



belinBac

SVT

2^e

- > rappels de cours
- > exercices résolus
- > solutions commentées





Digitized by the Internet Archive
in 2023 with funding from
Kahle/Austin Foundation

belinBac

SVT

2^e

Xavier de Valance

Professeur au lycée René Cassin, Gonesse



8, rue Férou - 75278 Paris cedex 06
www.editions-belin.com

L'indispensable pour réussir le Bac !



Toutes les matières
Tous les meilleurs
sites

Composition et schémas : IGS-CP.
Illustrations : Laurent Blondel/Coredoc.

Le code de la propriété intellectuelle n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » [article L. 122-5]; il autorise également les courtes citations effectuées dans un but d'exemple ou d'illustration. En revanche « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » [article L. 122-4]. La loi 95-4 du 3 janvier 1994 a confié au C.F.C. (Centre français de l'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris), l'exclusivité de la gestion du droit de reprographie. Toute photocopie d'œuvres protégées, exécutée sans son accord préalable, constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

© Éditions Belin, 2004.

ISBN 2-7011-3704-7

Sommaire

1	La Terre, planète du système solaire	7
2	La planète Terre et son environnement	27
3	Évolution des enveloppes terrestres	49
4	L'adaptation de l'organisme à l'effort	69
5	Intégration des fonctions dans l'organisme	97
6	Unité et diversité du vivant : la cellule	117
7	Universalité et variabilité de l'ADN	141
8	Unité et diversité des organismes	163
	Fiches méthodes	187
	Corrigés des exercices	202
	Index des mots-clés	222

Mode d'emploi

Des connaissances

les points importants du cours

de nombreux schémas explicatifs

un bilan pour retenir l'essentiel

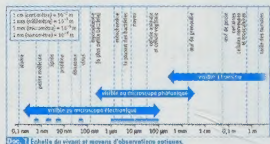
Les connaissances

1 La cellule : unité de structure et de fonction des êtres vivants

L'observation des cellules

Tout organisme profane de la division d'une cellule. Nous allons voir dans ce chapitre que ce caractère cellulaire est conservé chez tous les individus, tout au long de leur vie.

Les cellules sont de petite taille (généralement comprise entre 2 micromètres et le millimètre, mais il existe des cellules de plus grande taille). Leur observation nécessite l'emploi de microscopes.



Il existe plusieurs techniques de microscopie, dont deux sont particulièrement utilisées pour observer des cellules.

- La microscopie optique (ou **photonique**), employée au Collège et au lycée, qui permet d'observer des cellules vivantes.
- La microscopie électronique, d'usage plus récent (1950), qui a permis la découverte de nombreuses structures intracellulaires.

2 La structure des cellules

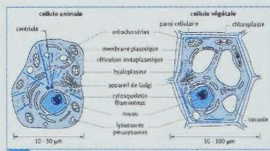
Les cellules sont présentes aussi bien chez les animaux que chez les végétaux. Tous les organismes vivants sont formés exclusivement de cellules, avec des fluides qui les nourrissent et les produits qu'elles sécrètent.

Les observations au microscope permettent de constater que les cellules sont de forme et de taille variées et exercent différentes fonctions. Toute cellule est limitée par une membrane plasmique, qui sépare le milieu extérieur du milieu intérieur. Certaines substances peuvent la traverser de manière contrôlée, dans les deux sens. La membrane plasmique des cellules végétales est doublée par une paroi qui assure la rigidité de l'organisme.

On distingue deux types d'organisation cellulaire.

- Les cellules eucaryotes confinent dans leur cytoplasme des organites, en particulier des mitochondries, qui assurent la respiration cellulaire, et les chloroplastes, qui dans les cellules chlorophylliennes des végétaux, réalisent la photosynthèse. Le cytoplasme est un milieu riche en eau et en substances dissoutes. Les organites baignent dans le **cytoplasme**. Les animaux, les végétaux, les champignons sont formés de cellules eucaryotes.

Les cellules procaryotes ne possèdent pas d'organites. Il n'y a pas de noyau. La chromosome baigne dans le cytoplasme. Les réactions métaboliques se déroulent donc dans l'ensemble du cytoplasme. Les cellules procaryotes sont plus petites que les cellules eucaryotes. Les bactéries sont des cellules procaryotes. La majorité des procaryotes sont des organismes unicellulaires.



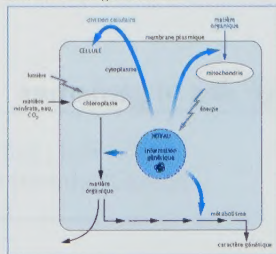
200-2 Comparaison de deux cellules eucaryotes (sources : Louis).

Le bilan

Malgré leur diversité, tous les êtres vivants sont constitués de cellules, toutes formées d'une membrane plasmique et d'un cytoplasme. Il existe différents types de cellules. Les cellules eucaryotes possèdent des organites, en particulier un noyau qui contient les chromosomes. Les cellules procaryotes n'ont pas d'organites, leur chromosome baigne dans le cytoplasme.

Les cellules se distinguent également par leur métabolisme. Les cellules autotrophes synthétisent leurs molécules organiques à partir de matières minérales, en présence de lumière (cette réaction est la photosynthèse, réalisée dans les chloroplastes des cellules chlorophylliennes). Les cellules hétérotrophes ont besoin de molécules organiques qu'ils prélèvent dans le milieu.

Le métabolisme est sous le contrôle de l'information génétique de la cellule. Cette information génétique est portée par les chromosomes et se transmet intégralement de la cellule mère aux cellules filles lors des divisions cellulaires successives au cours du développement d'un individu.



CHAPITRE 6 UNITÉ ET DIVERSITÉ DU VIVANT - LA CELLULE

Les mots-clés

Animal (n. m.) : organisme dont toutes les cellules sont hétérotrophes.

Autotrophie (n. f.) : métabolisme qui permet aux cellules de fabriquer leur matière organique à partir de la matière minérale présente dans le milieu.

Cellule (n. f.) : cellule de base de la vie, dotée d'un noyau et d'un cytoplasme.

Chloroplaste (n. m.) : organe présent dans certaines cellules des végétaux. Riche en chlorophylle, le chloroplaste permet à la cellule de réaliser la photosynthèse.

Cytoplasme (n. m.) : corps filamenteux visible au microscope présent dans toutes les cellules. Support de l'architecture générale.

Cytoplasme (n. m.) : espace cellulaire délimité par la membrane plasmique. Le cytoplasme contient les organites chez les eucaryotes.

Hétérotrophisme (n. m.) : processus biologique par lequel les cellules des organismes multicellulaires s'alimentent en se nourrissant de molécules organiques qu'ils prélèvent. Les cellules hétérotrophes ont besoin de molécules organiques pour réaliser des fonctions spécialisées.

Eucaryote (n. m. ou n. f.) : cellule possédant des organites (en particulier, les chloroplastes et les mitochondries) contrastés les chromosomes.

Hétérotrophie (n. f.) : métabolisme qui permet aux cellules de fabriquer leur matière organique à partir de la matière organique fabriquée par d'autres.

Hétérotrophie (n. f.) : partie du cytoplasme des eucaryotes délimitée de son organe.

Membrane plasmique (n. f.) : couche de lipides qui sépare une cellule et la sépare du milieu extérieur.

Métabolisme (n. m.) : ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans un organisme ou une cellule.

Mitochondrie (n. f.) : organe qui convertit les molécules cellulaires. Le mitochondrie permet l'oxydation.

Organe (n. m.) : composant intracellulaire limité par une membrane (exemple : organe chloroplaste).

Photosynthèse (n. f.) : processus qui permet la formation de matière organique à partir de matières minérales en présence de lumière et de chlorophylle. La photosynthèse se déroule dans le chloroplaste.

Plasmolysée (n. m. ou n. f.) : organisme contracté, à l'état de plasmolysée.

Procaryote (n. m. ou n. f.) : cellule dépourvue d'organites (en particulier, les chloroplastes) ou non possédant de noyau.

Unicellulaire (n. m. ou n. f.) : organisme qui n'est constitué que d'une seule cellule (exemple : levure, bactérie).

Végétal (n. m.) : organisme dont certaines cellules sont autotrophes.

les mots-clés : principales définitions

Des exercices

des exercices pour tester ses connaissances (avec corrigés en fin d'ouvrage)

des exercices pour s'entraîner (avec corrigés en fin d'ouvrage)

des exercices résolus

des conseils de méthode

Exercices

Faire le point

1. Rédiger une phrase avec les termes suivants : cellule, cytoplasme, membrane, organelle.
2. Établir deux différences entre une cellule procaryote et une cellule eucaryote.
3. Justifier l'expression « cette fibre vivante est procaryote ».
4. Indiquer trois caractères des cellules autotrophes.
5. Définir l'hétéotrophie.
6. Déterminer si toutes les cellules ont une origine commune à l'échelle internationale.
7. Donner une définition de l'expression « information génétique ».

S'entraîner

EXERCICE 1 : Différents types de cellules

Représenter, sous forme de schémas légendés et annotés, trois types cellulaires :
 - une cellule procaryote ;
 - une cellule végétale eucaryote réalisant la photosynthèse ;
 - une cellule eucaryote hétéotrophique.

EXERCICE 2 : Conditions de vie de deux organismes unicellulaires

Dans l'eau d'un vase de fleur, on découvre des êtres unicellulaires : les paramecetes. D'autre part, on recueille la surface d'un étang d'autres unicellulaires : les chlorelles. Pour déterminer si les paramecetes et les chlorelles sont autotrophes ou autotrophes, on cultive ces organismes dans des tubes à essai dont on fait varier le contenu. L'effet sur la croissance, donc les divisions cellulaires, se mesure par un procédé optique. Les résultats figurent dans le tableau page suivante.

130

CHAPITRE 6 : VIE ET DIVERSITÉ DU VIVANT : LA CELLULE

	Matériau nutritif solide	Matériau nutritif liquide	À la lumière	À l'obscurité	Effet sur la croissance
Chlorelles	0	0	0	0	—
	0	0	P	0	+++
	P	0	0	P	—
Paramecetes	0	P	0	0	—
	0	P	0	P	—
	P	0	P	0	—
	P	0	P	P	+++

0 : pas de croissance ; P : croissance ; +++ : croissance maximale. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la croissance maximale observée dans les conditions optimales.

1. Déterminer quelles sont les conditions optimales pour la croissance des chlorelles, puis pour celle des paramecetes.
2. Déterminer si ces êtres vivants sont autotrophes ou hétéotrophes.
3. Nommer les processus qui leur permettent de fournir de l'énergie.
4. Expliquer le rapport entre croissance et division cellulaire.

EXERCICE 3 : La composition de deux aliments

On cherche à déterminer la composition en matière organique de trois aliments (graines ou fruits) : la pomme, la banane et le haricot. On émet les hypothèses suivantes :

- la pomme contient un glucide, comme le glucose ;
- la banane riche de l'amidon ;
- le haricot possède des protéines en réserve.

On réalise une série d'analyses, dont les résultats sont schématisés ci-après.

131

la solution détaillée

Exercices

Exercices guidés

EXERCICE RÉSOLU 1 : Universalité et variabilité de l'ADN

Analyser les documents

On mesure la proportion des 4 nucléotides dans l'ADN de huit espèces. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Espèce	A	T	G	C
Bœuf	27,3	27,1	22,7	22,8
E. coli	24,7	23,6	26,6	25,1
Humain	28,4	27,5	12,9	18,8
Levure	31,3	30,3	18,7	17,1
Mathemobacter	34,5	34,2	15,3	15,5
Oursin	29,9	29,1	17,1	17,5
Proche	28,8	29,2	18,5	17,5
Souris	29,3	29,3	20,8	20,7

Document : Proportion des nucléotides dans l'ADN de différents organismes. Les données sont exprimées en pourcentage de la somme des quatre nucléotides.

1. Rappeler ce que signifient les lettres portées en tête de colonnes.
2. Décrire les étapes nécessaires pour que le séquençage de l'ADN soit possible pour les huit espèces.
3. Pour une espèce, comparer les proportions relatives des nucléotides. À l'aide de vos connaissances, expliquer cette observation.
4. Calculer et comparer le rapport $(A+T)/(C+G)$ dans deux espèces. Proposer une interprétation à cette comparaison.
5. Montrer que ce tableau permet d'affirmer que l'ADN est une molécule universelle.

Conseils

- L'espèce humaine a été choisie pour la mesure de la longueur de la chaîne de bases.
- Le rapport sur une base azotée du tableau, qui représente une base, est égal à 1.
- Le séquençage suppose l'existence de l'ADN, ce qui est démontré au chapitre 8 de ce manuel.

Solution

1. A, T, G et C sont les initiales désignant les quatre nucléotides composant l'ADN.
2. Pour séquencer l'ADN, il faut :
 - isoler les cellules de l'organisme (ici à partir d'une cellule) ;
 - isoler le noyau de ces cellules (eucaryotes) ;
 - extraire et purifier l'ADN (des cellules eucaryotes) ;
 - digérer l'ADN dans une machine qui en détermine la séquence.
3. Prenons le bœuf. On constate que, aux erreurs de mesure près, le pourcentage de A est égal à celui de T et que le pourcentage de C est égal à celui de G. On interprète cela en se rappelant que les deux brins de l'ADN sont complémentaires : si l'un de A, on trouve T (et en face de G, on trouve C).
4. Pour le bœuf, le rapport $(A+T)/(C+G) = 24,7 + 27,1 / 22,7 + 22,8 = 1,13$. Pour la souris, ce rapport est $29,3 + 29,3 / 20,8 + 20,7 = 1,13$. Les deux de A et T sont égaux et les deux de C et G sont égaux dans les deux espèces. On interprète cela en se rappelant que les deux brins de l'ADN sont complémentaires : si l'un de A, on trouve T (et en face de G, on trouve C).
5. Dans les différents organismes, on retrouve les mêmes nucléotides, avec les mêmes proportions relatives. On interprète cela en se rappelant que les règles de complémentarité de nucléotides (A = T, C = G) On peut donc retrouver dans ce tableau tous les aspects de la molécule d'ADN, molécule universelle.

EXERCICE RÉSOLU 2 : Origine et rôle de l'ADN

Revoir des connaissances

Expliquer pourquoi la « sorte de sac » réalisée par les plantes, puis les animaux au cours de l'ère primaire (420 millions d'années) n'avait pas pu avoir lieu plus tôt. On rappelle que :
 - l'ADN est formé de dihydroxyphosphates d'origine végétale exclusivement ;
 - l'ADN est formé par des réactions chimiques dans la haute atmosphère ;
 - les ribonucléotides sont abondants après avoir traversé quelques millions d'années ;
 - les premiers êtres vivants n'ont colonisé que l'océan, exclusivement.

Conseils

- L'ADN est formé de dihydroxyphosphates d'origine végétale exclusivement ;
- L'ADN est formé par des réactions chimiques dans la haute atmosphère ;
- les ribonucléotides sont abondants après avoir traversé quelques millions d'années ;
- les premiers êtres vivants n'ont colonisé que l'océan, exclusivement.

160

161

LA TERRE, PLANÈTE DU SYSTÈME SOLAIRE

La Terre est une planète parmi d'autres astres dans le système solaire, ensemble d'objets sous l'influence du Soleil. Elle semble être la seule planète du système solaire où la vie a pu se développer.

- ▶ **1** Quelle est la place de la Terre dans le système solaire ?
- ▶ **2** Quel est l'effet du Soleil sur la Terre ?

Quelques rappels

Programme de physique de 2^e :

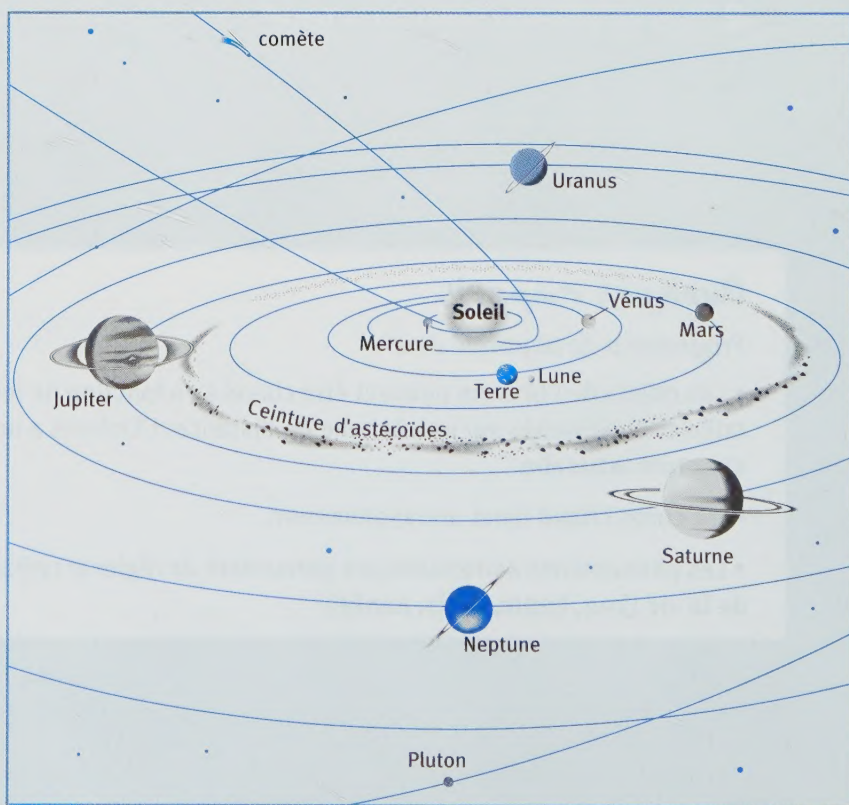
- Les objets de l'Univers peuvent être classés en fonction de leur taille et positionnés sur une échelle de distance. L'Univers a une structure lacunaire.
- Un corps chaud émet un rayonnement.
- Les phénomènes astronomiques permettent de régler le rythme de la vie (jour, heure, mois, année).

I La place de la Terre dans le système solaire

1 La Terre dans le système solaire

Le système solaire est formé de l'ensemble des **astres** qui gravitent autour du Soleil. Le Soleil est une **étoile**, car c'est le seul astre du système solaire qui produit de l'énergie, entre autres sous forme de lumière, grâce à des réactions nucléaires. Une **planète** est un astre qui est en orbite autour du Soleil, dans un plan commun appelé le plan de l'**écliptique**.

Le système solaire comporte neuf planètes : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. Un **satellite** est un astre en rotation autour d'une planète (par exemple, la Lune est le satellite de la Terre). Enfin, les **comètes** (formées de glaces et de poussières) et les **astéroïdes** (blocs rocheux) sont aussi en rotation autour du Soleil, mais sur des orbites très inclinées sur le plan de l'écliptique. Une ceinture d'astéroïdes se situe entre les planètes Mars



Doc. 1 Schéma du système solaire.

et Jupiter, les comètes viennent de réservoirs situés au-delà de l'orbite de Pluton. Du fait de leur état lors de leur formation ou de leur composition gazeuse, de leurs mouvements, les astres ont une forme quasi-sphérique, à l'exception des comètes et des astéroïdes, plus irréguliers.

2 Les planètes telluriques et les planètes géantes

Les planètes du système solaire peuvent être classées en deux catégories, selon leur distance au Soleil, leur densité et leur taille (voir tableau de l'exercice 1 p. 19) :

- Les **planètes telluriques**, ou internes (Mercure, Vénus, la Terre et Mars), sont :
 - proches du Soleil ;
 - de densité supérieure à 4 ;
 - rocheuses, elles possèdent une surface solide ;
 - de petite taille : diamètre à l'équateur inférieur à 13 000 km.
- Les **planètes géantes**, ou gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune) sont :
 - éloignées du Soleil ;
 - de densité inférieure à 2 ;
 - formées de gaz, elles ne présentent donc pas de surface solide ;
 - de grande taille : diamètre à l'équateur supérieur à 50 000 km.

La composition chimique des planètes explique ces différences. Les planètes telluriques, chauffées par la proximité du Soleil, ont perdu une partie de leur gaz que leur faible masse empêchait de retenir. Elles sont donc formées d'éléments lourds comme les silicates (assemblage de silicium et d'oxygène) et le fer. Les planètes géantes ont conservé leurs gaz car elles sont soumises à des températures inférieures à $-175\text{ }^{\circ}\text{C}$, la part d'éléments lourds étant alors bien moindre.



Remarque : Pluton apparaît comme une planète à part du fait de sa petite taille (diamètre à l'équateur : 2 324 km), de sa composition chimique et de l'inclinaison de son orbite sur le plan de l'écliptique.

Certains astres présentent une activité interne actuelle : c'est le cas, par exemple, de la Terre et de Io, un satellite de Jupiter. Cela se traduit par des manifestations géologiques comme les failles, les séismes, le volcanisme, la formation de chaînes de montagnes. Sur Mars, on peut observer une gigantesque faille et des édifices volcaniques imposants. Mais l'âge estimé des roches volcaniques martiennes montre que toute activité interne a cessé sur cette planète depuis 2 milliards d'années. Vénus présente également une activité volcanique passée avec des coulées de lave solidifiée et des failles étendues.

Type de planètes	Planète	Composition chimique (éléments principaux)	Points communs
Planètes telluriques, ou internes	Mercure, Vénus, Terre, Mars	Silicates, fer	• proches du Soleil • formées de roches • possèdent une surface solide • diamètre à l'équateur < 13 000 km
Planètes géantes, ou gazeuses	Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	Hydrogène, hélium	• éloignées du Soleil • formées de gaz • dépourvues de surface solide • diamètre à l'équateur > 50 000 km
	Pluton	Glace + silicates	

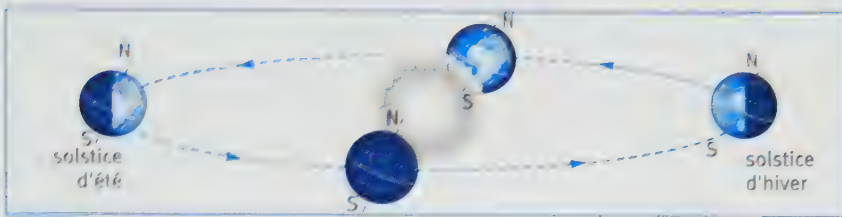
Doc. 2 Les deux types de planètes et leurs principales caractéristiques.

Ainsi, certains astres sont encore géologiquement actifs. D'autres l'ont été, mais ne le sont plus : leur surface est définitivement figée, hormis des traces d'impacts météoritiques que plus rien n'efface. L'activité géologique de surface d'un astre est liée au refroidissement du corps. Les gros astres se refroidissent plus lentement : ils présentent une activité interne d'une durée plus longue que les astres plus petits. Les planètes géantes ne présentent, évidemment, pas d'activité géologique de surface.

Par comparaison avec les phénomènes terrestres, il est donc possible de connaître l'activité géologique passée d'une planète à partir de l'étude de sa surface.

3 Le mouvement des planètes

Les trajectoires des planètes décrivent des ellipses (sortes de « cercles allongés », comme « aplatis ») autour du Soleil : ce mouvement détermine la **période** de révolution. Les planètes tournent aussi sur elles-mêmes : c'est la période de rotation. Par exemple, la Terre, qui se déplace sur une orbite presque circulaire, passe au même endroit par rapport aux étoiles lointaines, que l'on considère alors comme fixes dans le ciel, tous les 365 jours et 6 heures : une année terrestre correspond à sa période de révolution. Elle tourne sur elle-même en presque 24 heures : un jour terrestre correspond au temps de rotation de la Terre. Enfin, l'axe de rotation de la Terre est incliné sur le plan de révolution, appelé aussi le plan de l'écliptique, selon un angle de 23° 27'.

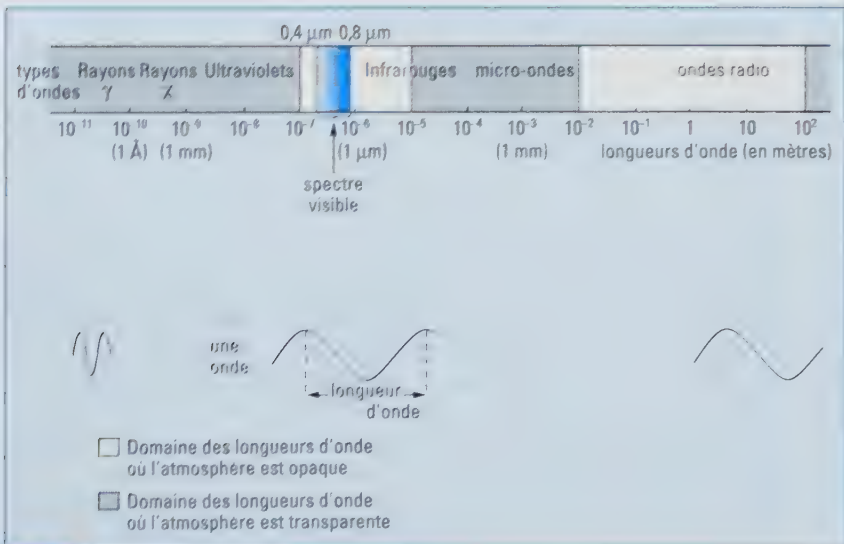


Doc. 3 Les deux mouvements de la Terre.

II La Terre reçoit de l'énergie en provenance du Soleil

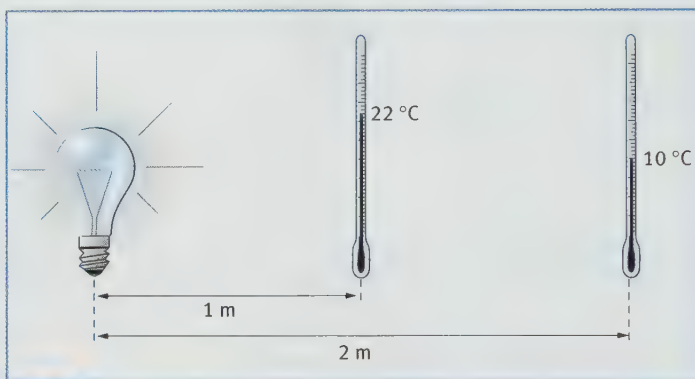
1 Le Soleil fournit de l'énergie aux planètes

Tous les objets du système solaire reçoivent de l'énergie émise par le Soleil, dans toutes les directions de l'espace, sous forme de **rayonnement** électromagnétique. Les planètes reçoivent de la lumière et de la chaleur. Sur Terre, le rayonnement solaire est pour partie visible (il nous éclaire), mais également présent sous forme d'ultraviolets et d'infrarouges, voire d'ondes radio.



Doc. 4 Le spectre électromagnétique du Soleil.

Des mesures expérimentales permettent de confirmer les prévisions théoriques : la quantité d'énergie reçue par une planète diminue avec le carré de sa distance au Soleil ; plus une planète est éloignée du Soleil, moins elle reçoit de rayonnement solaire, plus sa surface doit être froide.



Doc. 5 Influence de la distance de la source sur la température (et l'éclairement).

Enfin, l'observation montre que l'énergie absorbée par un astre dépend de la couleur de sa surface et de celle de son **atmosphère** éventuelle. Une planète sombre absorbe plus le rayonnement, donc emmagasine plus de chaleur : sa température est plus élevée qu'une planète présentant une surface claire.

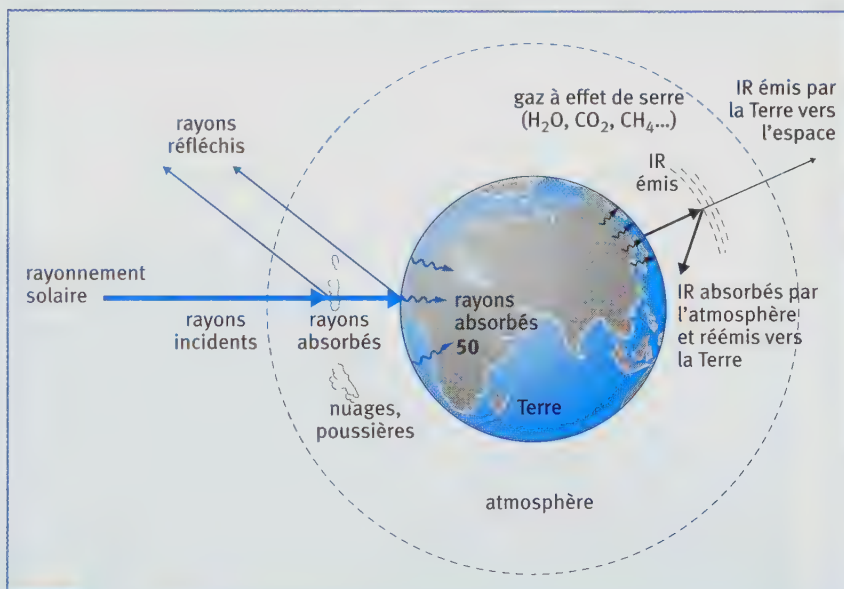
2 L'atmosphère et l'effet de serre

La température de l'atmosphère d'une planète ne résulte pas seulement de l'action directe des rayons du Soleil frappant sa surface. La présence d'une atmosphère, sa composition particulière, détermine un effet naturel, l'**effet de serre**. Prenons le cas de la Terre. L'atmosphère terrestre est transparente à certaines longueurs d'ondes du spectre solaire. Les rayons qui atteignent le sol transmettent de la chaleur à la Terre, qui renvoie une partie de cette chaleur vers l'atmosphère sous forme de rayonnements infrarouges. Mais un certain nombre de gaz peu abondants dans l'atmosphère (eau, dioxyde de carbone, méthane...), appelés « gaz à effet de serre », absorbent ces rayonnements infrarouges, contribuant ainsi au réchauffement de l'atmosphère. Ce phénomène, analogue à l'élévation de chaleur produite par le verre dans la serre du jardinier, est appelé « effet de serre naturel de la Terre ».

La température de l'atmosphère terrestre dépend de l'échauffement direct par le Soleil et de l'effet de serre.

Ce qui vient d'être décrit au sujet de la Terre peut être étendu aux astres qui possèdent une atmosphère contenant des gaz à effet de serre. Vénus présente aussi un très fort effet de serre.

Ainsi, la température de surface d'une planète dépend de sa distance au Soleil et de sa couleur (voir II. 1.), mais aussi de la présence ou non de gaz à effet de serre dans son atmosphère. Sans effet de serre, la Terre aurait une température moyenne en surface de -17°C environ, soit inférieure de 32°C à sa température actuelle : c'est donc un phénomène sans lequel les océans seraient entièrement gelés.



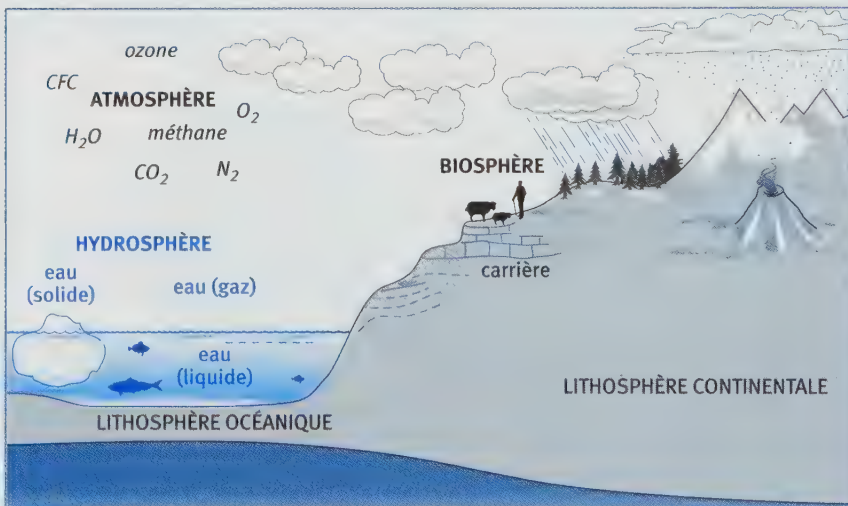
Doc. 6 Un bilan énergétique simplifié de la Terre. Les chiffres sont en unité arbitraire, ils représentent la quantité d'énergie mesurée par seconde et par mètre carré. Le rayonnement IR absorbé par l'atmosphère et réémis vers la Terre peut être absorbé par la Terre ou à nouveau émis vers l'atmosphère.

3 Les particularités de la planète Terre

- La Terre est une planète tellurique, rocheuse : elle possède une **lithosphère** formée de roches d'origine et de densité variées.
- La Terre possède une **atmosphère**, enveloppe de gaz entourant une planète, lui faisant bénéficier d'un effet de serre.
- La Terre est la seule planète du système solaire qui possède de l'eau sous les trois états (solide, liquide et gazeux). La présence de l'**hydrosphère** est rendue possible par la température moyenne sur Terre et par la pression atmosphérique, directement liée à la masse de la Terre (suffisante pour retenir les gaz).

- L'existence d'eau liquide sur Terre permet la présence d'êtres vivants : la Terre possède une **biosphère**.

Ces quatre enveloppes externes sont l'objet de flux : par exemple, dans la biosphère, certains animaux se nourrissent de végétaux. De même, il existe des échanges permanents entre ces enveloppes : par exemple, l'eau de l'atmosphère est à l'origine des pluies qui irriguent les plantes et érodent les roches en surface.



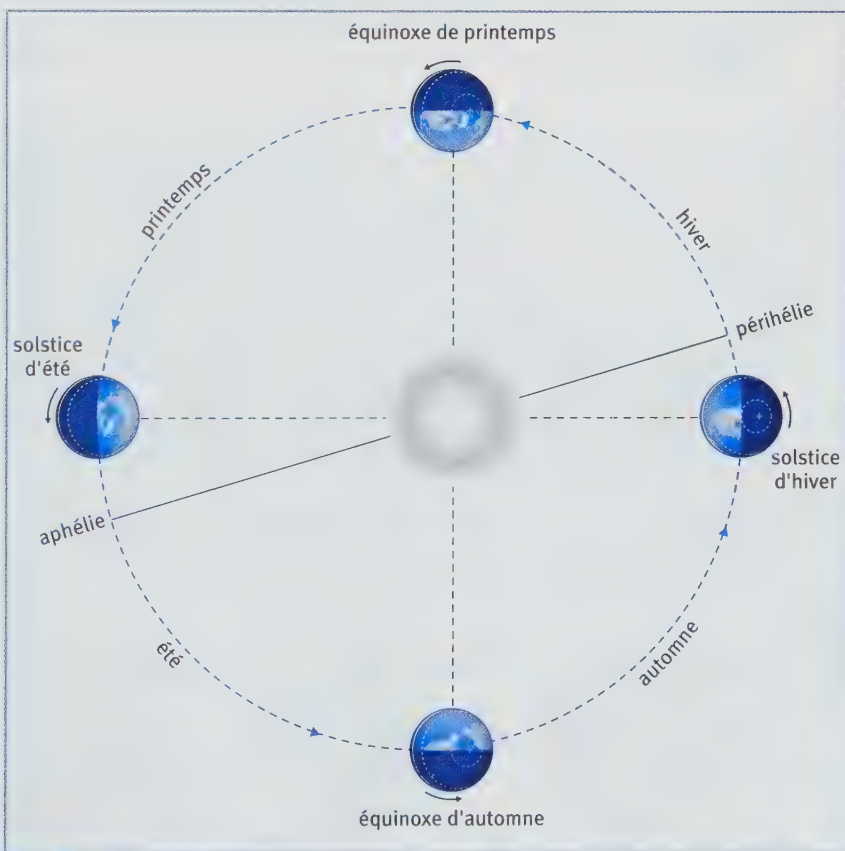
Doc. 7 Représentation schématique des quatre enveloppes terrestres.

4 L'origine des saisons et des climats sur Terre

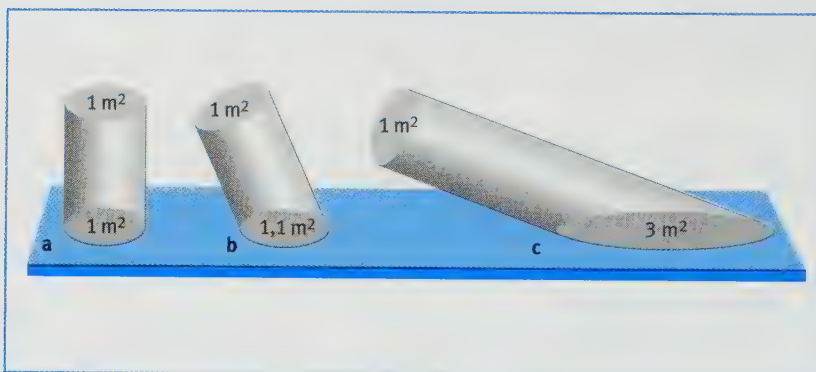
- L'existence des **saisons** est liée à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique : l'orientation de la Terre par rapport au Soleil dépend de cette inclinaison. On distingue quatre positions particulières : les **solstices** d'hiver et d'été, et les **équinoxes** d'automne et de printemps. Dans l'hémisphère nord, par exemple en France à 42° N, l'été est la saison la plus chaude parce que le Soleil frappe le sol avec l'angle d'**incidence** le plus faible : un même faisceau de lumière chauffe une plus petite surface au mois de juillet, donc l'élévation de température est plus importante. Par ailleurs, les journées étant deux fois plus longues en été, la quantité d'énergie reçue au sol favorise également l'augmentation de température.

En hiver, dans l'hémisphère nord, les basses températures sont liées à l'inclinaison importante des rayons incidents (associée à une épaisseur d'atmosphère plus importante) et à la brièveté de la durée du jour.

- La répartition des **climats** sur Terre est associée aux latitudes, ces lignes parallèles à l'équateur. Aux pôles, les rayons du Soleil doivent traverser une couche épaisse d'atmosphère en raison de l'inclinaison de l'axe de la Terre. La surface éclairée par un même faisceau est plus importante aux pôles qu'à l'équateur : l'énergie reçue au sol est plus faible. De plus, un seul pôle à la fois est éclairé (sauf aux équinoxes).



Doc. 8 Positions relatives de la Terre et du Soleil au cours de l'année. Le périhélie est le moment de l'année où le Soleil est le plus proche de la Terre ; l'aphélie est le moment de l'année où le Soleil est le plus éloigné de la Terre.



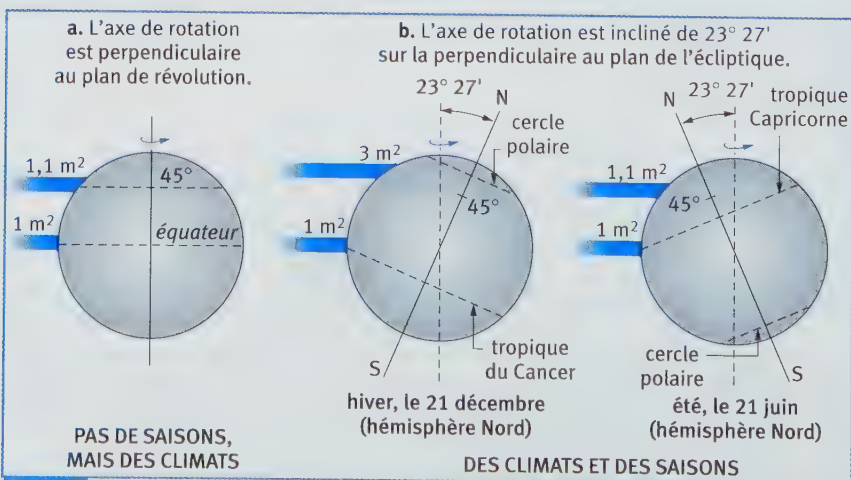
Doc. 9 Surface éclairée par un même rayon incident, en fonction de l'angle d'incidence : 90° (a), 66° (b) ou 47° (c).

En revanche, à l'équateur, les rayons globalement perpendiculaires à la surface du sol sont « concentrés » et traversent une faible épaisseur d'atmosphère. La température varie positivement des pôles à l'équateur.

L'autre composante du climat, les précipitations, sont dépendantes de la latitude, de la position des océans et du relief des continents.



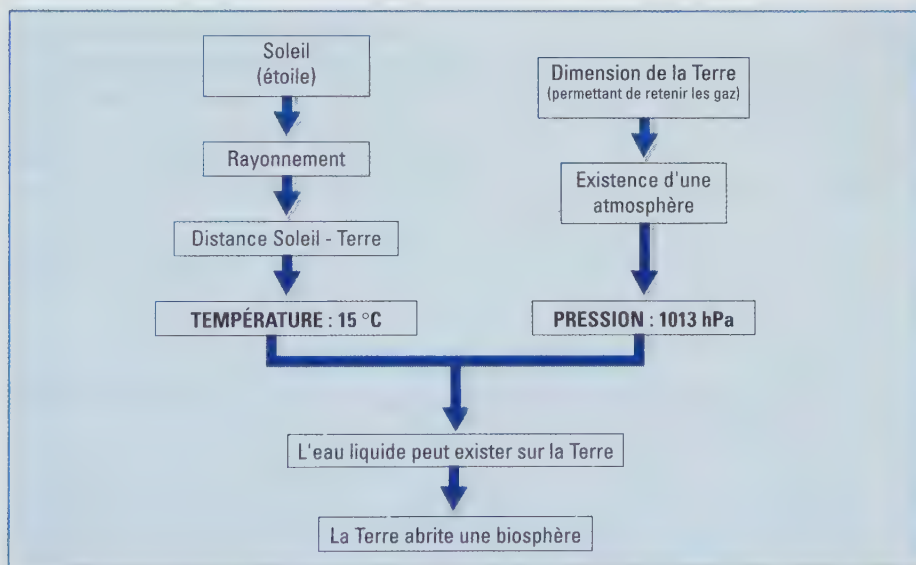
Attention : les saisons ne sont pas liées à la distance de la Terre au Soleil. Celle-ci est presque constante. De plus, c'est au début du mois de janvier que la Terre est la plus proche du Soleil.



Doc. 10 Climats et saisons sur une planète imaginaire (a) et sur Terre (b).

le bilan

- La Terre est un astre parmi d'autres dans le système solaire. Le Soleil est une étoile, source d'énergie pour ces astres.
- La masse de la Terre et sa position par rapport au Soleil permettent la présence d'une atmosphère et d'eau liquide, indispensable aux êtres vivants.
- La sphéricité de la Terre et l'inclinaison de son axe sur le plan de l'écliptique expliquent l'alternance des saisons et les climats variés.
- Dans le système solaire, seule la Terre se caractérise par la présence de quatre enveloppes externes (atmosphère, lithosphère, hydrosphère et biosphère) qui interagissent.



les mots-clés

Astéroïde (n. m.) : astre rocheux de forme irrégulière, de petite taille, en orbite sur une ellipse très allongée.

Astre (n. m.) : objet solide ou gazeux présent dans l'Univers.

Atmosphère (n. f.) : enveloppe gazeuse entourant un astre.

Climat (n. m.) : ensemble des données météorologiques associées à une région.

Comète (n. f.) : astre du système solaire formé de glaces et de poussières.

Écliptique (n. m.) : plan de révolution de la plupart des planètes autour du Soleil, à l'exclusion de Pluton.

Effet de serre (n. m.) : phénomène naturel qui tend à augmenter la température de l'atmosphère d'une planète du fait de la présence de gaz atmosphérique (à effet de serre) piégeant les rayons infrarouges réémis par la planète.

Équinoxe (n. f.) : moment de l'année où la durée du jour égale la durée de la nuit ; les équinoxes ont lieu vers le 21 septembre et le 21 mars.

Étoile (n. f.) : astre capable de produire de l'énergie.

Incidence (n. f.) : angle formé par un rayon se dirigeant vers un point avec la perpendiculaire en ce point.

Période (n. f.) : temps au bout duquel un phéno-

mène cyclique se reproduit identique à lui-même.

Planète (n. f.) : astre doté d'un mouvement de rotation (révolution) autour du Soleil et d'un mouvement de rotation sur lui-même.

Planète géante (n. f.) : planète de faible densité (car formée de gaz) de grand diamètre, et en révolution à une grande distance du Soleil.

Planète tellurique (n. f.) : planète de densité élevée (car formée de roches), de faible diamètre, et en révolution à une distance relativement proche du Soleil.

Rayonnement (n. m.) : forme de transport de l'énergie grâce à des ondes électromagnétiques.

Saison (n. f.) : période de l'année marquée par des conditions météorologiques données.

Solstice (n. m.) : moment de l'année où l'un des hémisphères connaît le jour le plus court pendant que l'autre connaît le jour le plus long ; les solstices ont lieu le 21 juin et le 21 décembre.

Exercices

Exercices

Faire le point

1. Définir les termes d'astronomie : étoile, planète, satellite.
2. Indiquer la différence entre une comète et un astéroïde.
3. Préciser les facteurs qui déterminent la température à la surface d'une planète.
4. Expliquer l'origine des saisons à la surface de la Terre.
5. Définir les quatre enveloppes externes de la Terre.
6. Citer les conditions qui permettent l'existence d'une biosphère.
7. Expliquer l'écart entre la température mesurée (15 °C en moyenne) et la température calculée de la Terre (- 17 °C).
8. Expliquer l'origine des climats.

S'entraîner

EXERCICE 1 Données astronomiques sur les planètes du système solaire

Dans le tableau ci-dessous, on a réuni différentes données astronomiques concernant les neuf planètes du système solaire.

Planètes	Distance au Soleil (millions de kilomètres)	Diamètre à l'équateur (kilomètres)	Temps de révolution (années terrestres)	Temps de rotation (« temps » terrestre)
Mercuré	57,9	4 878	0,24	58 j 15 h 30'
Vénus	108,2	12 104	0,61	243 j 2 h 40'
Terre	149,6	12 756	1	23 h 56' 4,1''
Mars	227,9	6 794	1,9	24 h 37' 22''
Jupiter	778,3	142 984	11,9	9 h 50
Saturne	1 427,0	120 536	29,5	10 h 39'
Uranus	2 871,0	51 118	84,1	17 h 14
Neptune	4 497,1	50 538	164,9	16 h 3'
Pluton	5 913,5	2 324	248,5	6 j 9 h 17'

Doc. Différents paramètres astronomiques des planètes du système solaire.

1. Rechercher dans quel ordre sont présentées les lignes de ce tableau.
2. Indiquer, en années terrestres, la durée d'une « année plutonienne ».
3. Calculer, en jours terrestres, la durée d'une « année vénusienne ». Montrer alors que sur Vénus, le jour et l'année ont un rapport singulier.
4. Déterminer quelle colonne permet de distinguer les planètes telluriques et les planètes géantes (hormis Pluton).
5. Sachant que la lumière parcourt 300 000 km par seconde, calculer combien de temps met la lumière du Soleil pour nous parvenir sur Terre. Imaginer une conséquence de ce résultat.

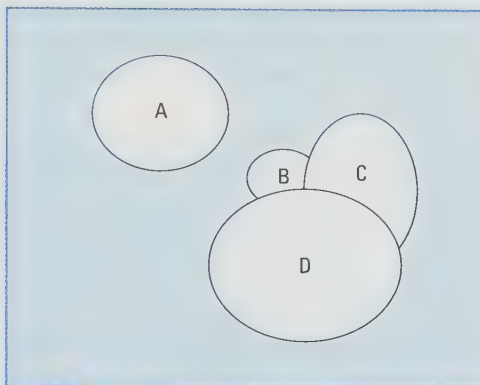
EXERCICE 2 Pourquoi les impacts météoritiques sont-ils rares sur Terre ?

Un impact météoritique est la trace du choc d'un astéroïde sur une planète. Ces amas rocheux, nombreux dans le système solaire, sont de taille très variable (de 1 mm à 10 km), et leur âge est celui du système solaire (4,5 milliards d'années). Les planètes ou les satellites attirent, par leur gravité, les objets plus petits qui passent à leur portée : quand deux astres passent à proximité l'un de l'autre, le corps le plus lourd (planète ou satellite) attire l'astéroïde, qui percute alors la planète ou le satellite, après avoir traversé éventuellement son atmosphère. On observe ainsi sur la Lune une surface entièrement cratérisée et des images satellitales attestent la présence de nombreux cratères d'impacts météoritiques à la surface de Mercure, de Vénus, moins nombreux sur Mars.

À part quelques exemples célèbres (Meteor Crater en Arizona, daté de 50 000 ans ; impact daté de 220 millions d'années à Rochechouart, en Vendée ; ou encore impact probable d'une comète en 1908, en Sibérie...), les impacts météoritiques sont rares sur Terre. Pourtant, notre planète croise sans cesse la trajectoire d'astéroïdes, surtout en février et en août : les étoiles filantes sont la trace visuelle de la traversée de la haute atmosphère par des astéroïdes, le plus souvent de petite taille. Ils se consomment alors par frottement dans l'air : ils n'atteignent que rarement la surface de la Terre, dont l'atmosphère joue le rôle de filtre protecteur.

Trois autres éléments peuvent être avancés pour expliquer la rareté des traces d'impacts météoritiques sur Terre. D'abord, les océans couvrent 75 % de la surface du globe. Une météorite a trois chances sur quatre de tomber dans l'océan, sans laisser de trace, donc. Par ailleurs, la lithosphère est l'objet de remaniements constants à l'échelle des temps géologiques, qui effacent les traces d'impacts météoritiques. Enfin, l'altération des sols (ancrage racinaire des végétaux, piétinement des animaux, érosion...) provoque l'effacement rapide (à l'échelle des temps géologiques) des traces d'impacts.

Ainsi, la collision avec des astéroïdes est un phénomène qui atteint statistiquement autant toutes les planètes, mais qui est de relativement peu de conséquence sur Terre.



Doc. Quatre impacts météoritiques sur la Lune.

1. Écrire simplement le problème scientifique traité par ce texte.
2. Expliquer l'absence d'impact météoritique sur les planètes géantes.
3. Proposer une explication à la lumière associée aux étoiles filantes.
4. Montrer que les quatre enveloppes caractéristiques de la Terre sont à l'origine du faible nombre d'impacts météoritiques terrestres.
5. Expliquer alors l'aspect cratérisé de la surface lunaire.
6. Retracer la chronologie relative des quatre impacts schématisés sur le document ci-dessus.

EXERCICE 3 L'âge des impacts météoritiques sur la Lune

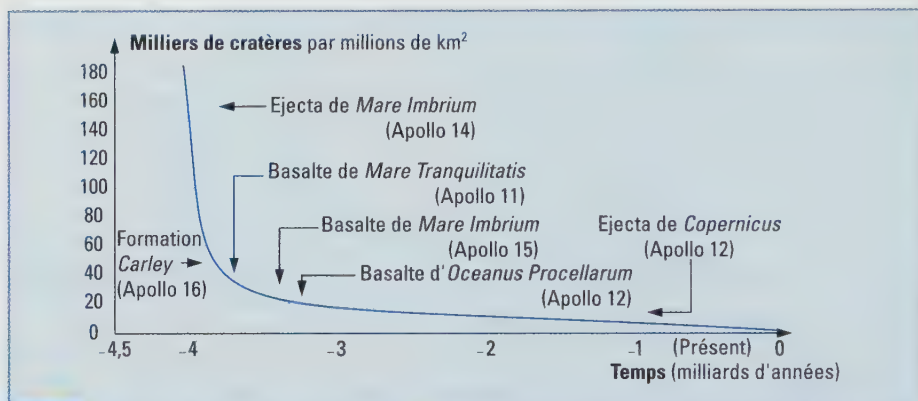
Les missions américaines *Apollo*, entre 1969 et 1972, ont permis de ramener sur Terre des échantillons de roches lunaires (du basalte et des éjecta). Ces roches prélevées près d'impacts météoritiques, en diverses régions de la face visible de la Lune, ont pu être datées à leur retour sur Terre. Pour l'analyse des résultats, on fait deux hypothèses :

- les roches à proximité des impacts ont été formées par ces impacts ;
- la Lune a été formée en même temps que tous les objets du système solaire.

Depuis le début de la formation du système solaire, les impacts météoritiques sur les planètes et les satellites sont de moins en moins nombreux : après une époque cataclysmique, les planètes connaissent une existence plus apaisée. La Lune n'ayant pas d'activité géologique de surface, elle conserve toutes les traces d'impacts météoritiques. On peut donc établir une corrélation entre l'âge mesuré des échantillons lunaire et la densité de cratères de la zone d'où provient cet échantillon. Cette corrélation peut

Exercices

ensuite être utilisée pour déterminer l'âge d'une formation géologique sur une planète du système solaire dont il est impossible de récolter des échantillons, simplement en mesurant la densité de cratères de la zone étudiée.



Doc. Les noms indiqués sont ceux des différentes régions lunaires où ont été récoltés les échantillons. Les éjecta sont des produits rocheux expulsés lors de l'impact. Les basaltes sont des roches provenant des impacts sur la surface lunaire.

1. Indiquer ce que représente l'axe des ordonnées.
2. Déterminer ce que figure l'axe des abscisses ; préciser le sens choisi.
3. Donner un titre à ce graphique.
4. Rédiger l'information apportée par ce graphique.
5. Proposer une hypothèse pour rendre compte de cette observation.

EXERCICE 4 La température de surface des planètes telluriques

	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil (en million de km)	58	108	150	228
Température de surface (moyenne en °C)	+ 300	+ 460	+ 15	- 50

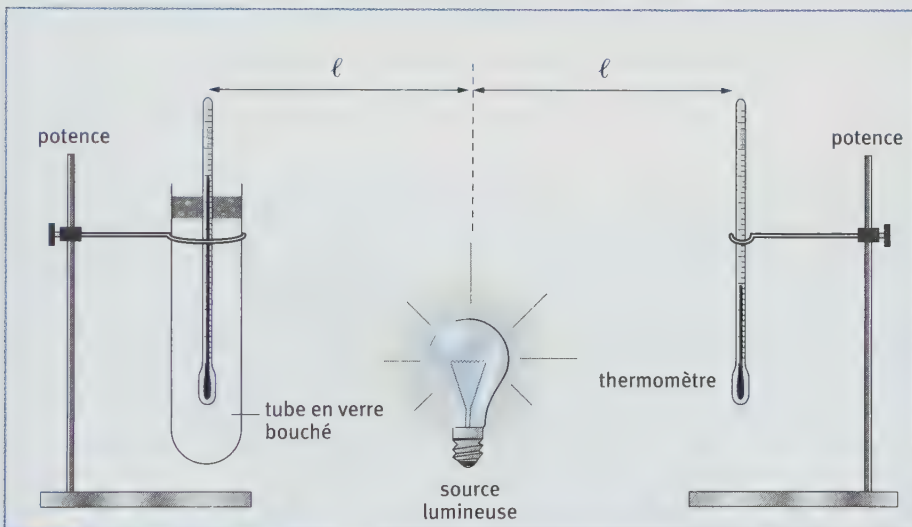
Doc. Distance au Soleil et températures des planètes telluriques.

1. Indiquer comment devrait théoriquement évoluer la température des planètes, de Mercure à Mars.
2. Déterminer si l'observation est conforme à la prévision.

3. Proposer une hypothèse qui explique l'écart entre la prévision et la mesure.
4. Déterminer s'il est possible d'affirmer que Mercure et Mars ne possèdent pas d'atmosphère.

EXERCICE 5 Une modélisation de l'effet de serre

Dans une pièce à la température maintenue à 0°C , on réalise l'expérience suivante :



Doc. Modèle de l'effet de serre.

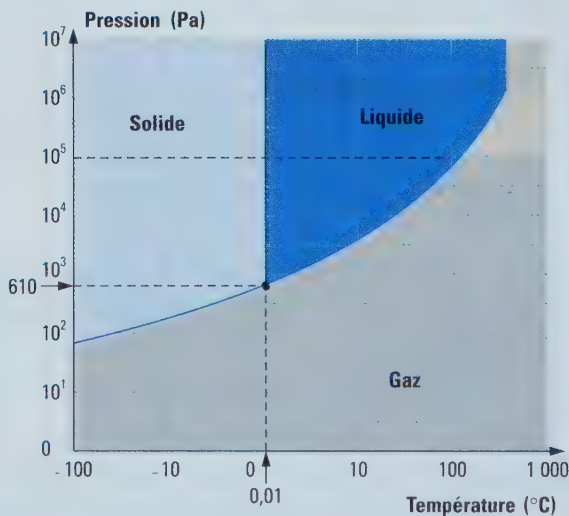
1. Déterminer les paramètres constants et les facteurs variables dans cette expérience.
2. Indiquer à quoi est attribuable la différence de température observée.
3. Retrouver les analogies entre ce modèle et la température de surface d'un astre.

Exercices guidés

EXERCICE RÉSOLU 1 Les différents états de l'eau

Analyser un document

En laboratoire, dans une enceinte hermétique, on peut faire varier la pression grâce à des pompes et la température par des systèmes de chauffage ou de réfrigération. Dans une telle enceinte, on dispose de l'eau pure, et l'on observe dans quel état elle se trouve (solide, liquide ou gazeux) en fonction de la température et de la pression imposées. Les résultats de cette expérience sont représentés dans le graphique ci-dessous.



Doc. État de l'eau en fonction de la température et de la pression.

1. La Terre possède une atmosphère dont la pression au sol est de 10^5 pascals. Déterminer les conditions de température qui rendent possible l'existence d'eau liquide sur la Terre.
2. Sur Mars, la pression atmosphérique est de 610 pascals. Montrer que l'eau – éventuellement présente – ne pourrait être liquide.
3. Déterminer dans quel état se trouverait l'eau sur Mars, dont la température varie entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

4. Prenons de l'eau sur Terre à $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Décrire les deux possibilités pour obtenir de l'eau sous forme gazeuse.
5. D'après les données du document, citer les conditions physiques qui rendent possible l'existence de l'eau liquide sur Terre.

◆ Conseils

- Noter que la température varie selon l'axe des abscisses et la pression selon l'axe des ordonnées.
- Savoir que l'on peut faire varier aussi bien la température que la pression.
- Comprendre que l'état de l'eau ne dépend que de la température et de la pression.

◆ Solution

1. Pour une pression de 10^5 pascals, l'eau est liquide entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ.
2. À 610 pascals, l'eau ne peut être que solide (entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou gazeuse (au-delà de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). La pression de l'atmosphère martienne est trop faible pour que l'eau puisse être liquide.
3. L'eau sur Mars, entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ne peut être que solide.
4. Pour obtenir un gaz à partir d'un liquide (ébullition), on peut soit augmenter la température au-delà de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, soit abaisser la pression en dessous de 5 000 pascals.
5. La présence d'eau est liquide sur Terre est due à la pression et à la température qui règnent dans son atmosphère.

EXERCICE RÉSOLU 2 De l'eau liquide sur Terre

Restituer ses connaissances

La présence d'eau n'est pas exceptionnelle dans le système solaire et dans l'Univers, mais il semble que seule l'eau à l'état liquide permette le développement de la vie, comme c'est le cas sur notre planète.

En mettant en relation les conditions physiques (présentées dans le graphique de l'exercice résolu n° 1, p. 24) et les conditions astronomiques propres à la Terre, déterminer les conditions qui rendent possible la présence d'eau liquide sur Terre.

◆ Conseils

- La réponse doit s'appuyer sur l'étude du graphique de l'exercice résolu n° 1.
- Mettre en relation les conditions physiques (de laboratoire) et les données astronomiques.
- Rechercher l'origine de cette température de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en moyenne sur la Terre.
- Rechercher l'origine de la pression atmosphérique terrestre.

◆ Solution

Introduction

L'eau est une molécule abondante dans l'Univers. Sur Terre, la présence des êtres vivants est rendue possible par l'existence d'eau liquide. L'état d'un corps, en particulier l'eau, dépend de deux paramètres physiques : la pression et la température.

Développement

1. Le rôle de la pression. La Terre a une masse suffisante pour retenir les gaz, grâce à la force gravitationnelle : la Terre possède une atmosphère, qui permet le maintien d'une pression convenable à sa surface pour que l'eau existe à l'état liquide.

2. Le rôle de la température. La température, autre facteur agissant sur l'état de l'eau, dépend de plusieurs paramètres :

- la distance au Soleil : plus près du Soleil, l'eau serait gazeuse ; plus loin, l'eau serait solide (gelée) ;
- l'effet de serre (phénomène naturel lié à l'existence de l'atmosphère), qui permet une température moyenne suffisante pour disposer d'eau liquide ;
- la couleur de la Terre, « planète bleue », qui permet une absorption du rayonnement solaire et augmente ainsi sa température en surface.

Conclusion

La présence d'une biosphère sur Terre, liée à l'existence d'eau liquide, résulte de facteurs astronomiques et physiques particuliers, difficiles à réunir. Il existe une « fenêtre de l'eau liquide » (la pression et la température doivent avoir des valeurs déterminées). Dans le système solaire, il semble que ces conditions exigeantes ne soient réunies que sur la Terre.

LA PLANÈTE TERRE ET SON ENVIRONNEMENT

Le Soleil est la seule source d'énergie extérieure à notre planète. Cette énergie reçue par la Terre est inégalement répartie à sa surface.

- ▶ **1** Comment la Terre redistribue-t-elle cette énergie ?
- ▶ **2** Quelles sont les conséquences de ces échanges thermiques ?

Quelques rappels

- L'eau présente dans l'environnement provient de vastes réservoirs, à l'échelle de la planète, et est destinée à y retourner (6^e).
- L'air est un mélange gazeux (physique-chimie, collège).

Programme de physique-chimie de 2^e :

- Les spectres d'absorption [le message de la lumière].
- Tous les corps gazeux portés à haute température émettent un spectre continu de radiation.
- La pression est une force pressante sur une surface, exercée perpendiculairement à cette surface.

I Observation de la Terre depuis l'espace

Une observation globale de la Terre nécessite un point de vue éloigné, hors de l'atmosphère. Cette observation est réalisée grâce aux nombreux satellites artificiels qui, depuis 1958, sont placés en orbite autour de la Terre.

Les instruments de mesure embarqués permettent l'étude de nombreux paramètres. Par exemple, les radiomètres imageurs mesurent les rayonnements émis ou réfléchis par la Terre dans différents domaines de longueurs d'onde (voir doc. 4, p. 11), car chaque élément de la surface terrestre possède un **comportement spectral** caractéristique. Les images satellitales ne sont pas des photographies, mais un ensemble de données numériques permettant des traitements informatiques.

D'autres instruments permettent de mesurer la température, l'altitude, d'étudier les mouvements de l'air et de l'eau, le couvert végétal et l'urbanisation, ainsi que leurs évolutions.

Selon les besoins, les satellites sont placés sur des orbites géostationnaires (à la verticale d'un point fixe), héliosynchrones (qui balayent chaque point de la surface à la même heure solaire locale chaque jour), ou à défilement (deux passages par jour à la verticale d'un point).

II Le bilan énergétique de la Terre

1 Le rayonnement énergétique

Le rayonnement émis par le Soleil est diffusé par les particules de l'atmosphère et réfléchi par les nuages et par la surface terrestre. L'énergie du rayonnement solaire incident est maximale pour une longueur d'onde de $0,50\ \mu\text{m}$ (dans la teinte jaune du spectre solaire). La Terre « gagne » donc de l'énergie, qu'elle restitue en partie à l'espace interplanétaire sous forme de rayonnement infrarouge (longueur d'onde autour de $10\ \mu\text{m}$).

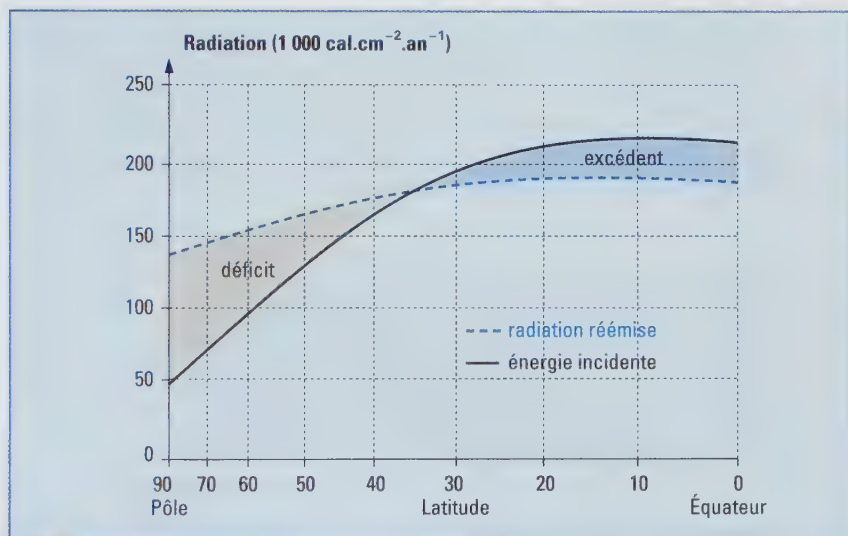
Le bilan énergétique de la Terre permet d'évaluer les gains énergétiques (sous forme de rayonnements solaires) par rapport aux pertes énergétiques de la Terre (par radiation vers l'espace interplanétaire).

2 Variations du rayonnement reçu avec la latitude

Le bilan énergétique annuel est équilibré. Mais nous avons vu (chapitre 1) que la quantité d'énergie reçue par unité de surface varie selon la latitude : localement, le bilan énergétique n'est pas équilibré.

Aux pôles, l'énergie incidente est inférieure aux pertes par énergie réémise dans l'espace (déperdition) : les pôles présentent un déficit thermique. En revanche, dans la zone intertropicale, il y a un excès de l'énergie incidente par rapport à l'énergie réémise sous forme d'infrarouges.

Or, la température de l'atmosphère à l'équateur n'augmente pas : cet excès n'est donc pas « absorbé ». On en conclut que l'équateur cède sa chaleur aux pôles.



Doc. 1 Bilan énergétique de la Terre selon la latitude.

Le **déficit thermique polaire** est donc compensé par l'**excès équatorial**. On met ainsi en évidence un transfert de chaleur de la région intertropicale vers les pôles. Seules deux des enveloppes externes de la Terre peuvent conduire la chaleur : l'atmosphère et l'hydrosphère, car elles sont fluides et continues.

On note sur le document 1 que la surface du déficit polaire est égale à celle de l'excès équatorial : ainsi le bilan thermique global de la Terre est équilibré. C'est pourquoi sa température moyenne de l'atmosphère n'augmente pas indéfiniment.



Les mouvements de l'atmosphère

1 Structure verticale et composition de l'atmosphère

L'air est composé principalement de diazote, de dioxygène, auxquels s'ajoutent des gaz rares. Le dioxyde de carbone ne représente que 0,03 % (en volume) de sa composition.

Nom du gaz	Pourcentage (en volume)
Diazote (N_2)	78 %
Dioxygène (O_2)	21 %
Gaz rares (hélium, argon, néon, xénon, krypton, radon)	0,97 %
Dioxyde de carbone (CO_2)	0,03 %

Doc. 2 La composition chimique de l'atmosphère.



Remarques :

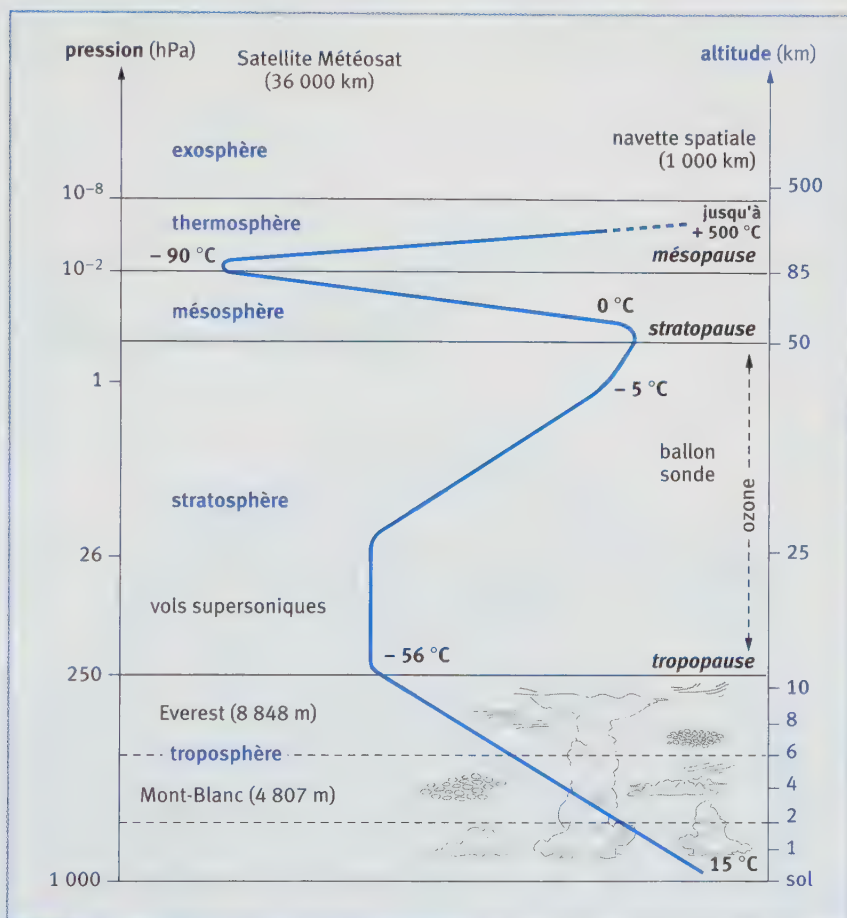
- La composition chimique standard de l'atmosphère exclut l'eau, dont la proportion varie selon les conditions météorologiques.
- Seuls sont figurés dans le document 2 les gaz dont la proportion dépasse une partie pour un million.

L'atmosphère est constituée de différentes couches définies par les variations de température avec l'altitude. Dans la **troposphère**, entre 10 et 12 km d'altitude, la température est en moyenne de 15 °C au sol et diminue ensuite de 6,5 °C par km. La limite supérieure de la troposphère, la tropopause, est caractérisée par une température constante de - 56 °C. L'essentiel des phénomènes météorologiques a lieu dans la troposphère (de même que la majorité des phénomènes impliquant la biosphère). Au-delà de la tropopause, on rencontre la stratosphère (de 12 à 50 km), puis la mésosphère (de 50 à 85 km) et l'ionosphère.

La pression atmosphérique diminue de manière continue avec l'altitude. La limite supérieure de l'atmosphère est floue : au-delà de 100 km d'altitude, on considère que la **densité** des gaz est suffisamment faible pour marquer la fin de l'enveloppe gazeuse autour de la Terre.

La proportion des gaz ne varie pas avec l'altitude, l'atmosphère est donc globalement homogène. Seul l'ozone fait exception à ce constat : ce gaz, dont la teneur est inférieure à 150 parties par milliard, présente une concentration relativement plus élevée vers 25 km d'altitude, dans la stratosphère.

Actuellement la composition de l'atmosphère varie peu, mais cette enveloppe gazeuse est animée de mouvements horizontaux et verticaux.

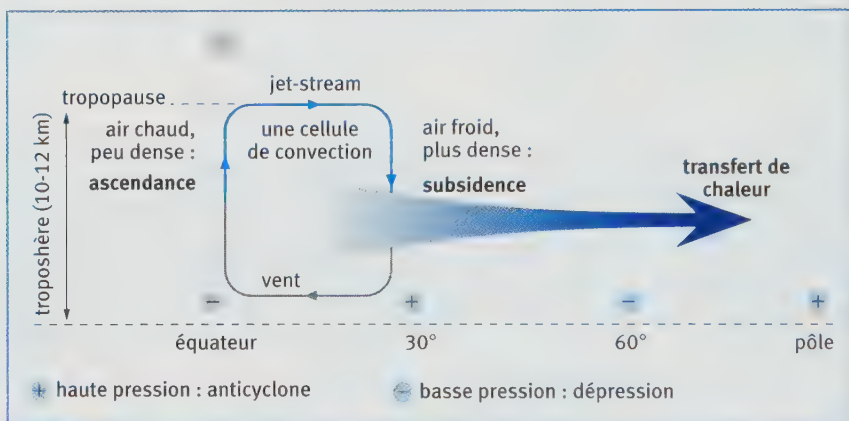


Doc. 3 La stratification verticale de l'atmosphère.

2 Les déplacements d'air fondés sur les variations de densité

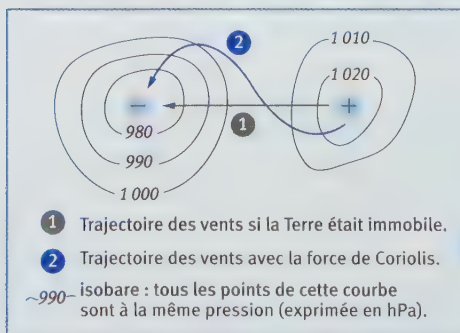
La densité de l'air diminue quand sa température augmente. À l'équateur, l'air chaud (donc plus « léger ») s'élève dans une **ascendance**, créant une **dépression**. En altitude, au sommet de la troposphère, l'air se refroidit : sa densité augmente. Il redescend dans un mouvement de **subsidence** en créant un **anticyclone**. Un vent de basse altitude ramène l'air de l'anticyclone vers la dépression. Ces cellules de circulation atmosphérique constituent des cellules de **convection**. Elles mettent en jeu des mouvements verticaux (ascendance, vers le haut, et subsidence, vers le bas) ainsi que des mouvements horizontaux

(vent au sol, **jet-stream** en altitude). Dans chaque hémisphère, trois cellules se succèdent de l'équateur vers le pôle. Tous ces déplacements d'air n'affectent que la troposphère.



Doc. 4 Les cellules de circulation atmosphérique dans la troposphère (représentation schématique pour un hémisphère).

Du fait de la rotation de la Terre, les vents de basse altitude ne suivent pas une ligne droite, mais sont déviés (vers leur gauche dans l'hémisphère nord, vers leur droite dans l'hémisphère sud) par la force de Coriolis. Par exemple, les vents Alizés partent de l'anticyclone situé à 30° de latitude Nord, dans l'Atlantique, et rejoignent la dépression localisée à l'équateur, tout en étant déviés vers leur droite. Les Alizés sont mis à profit par les navigateurs marins, car ces vents sont constants : ils les amènent de l'Afrique vers l'Amérique régulièrement.

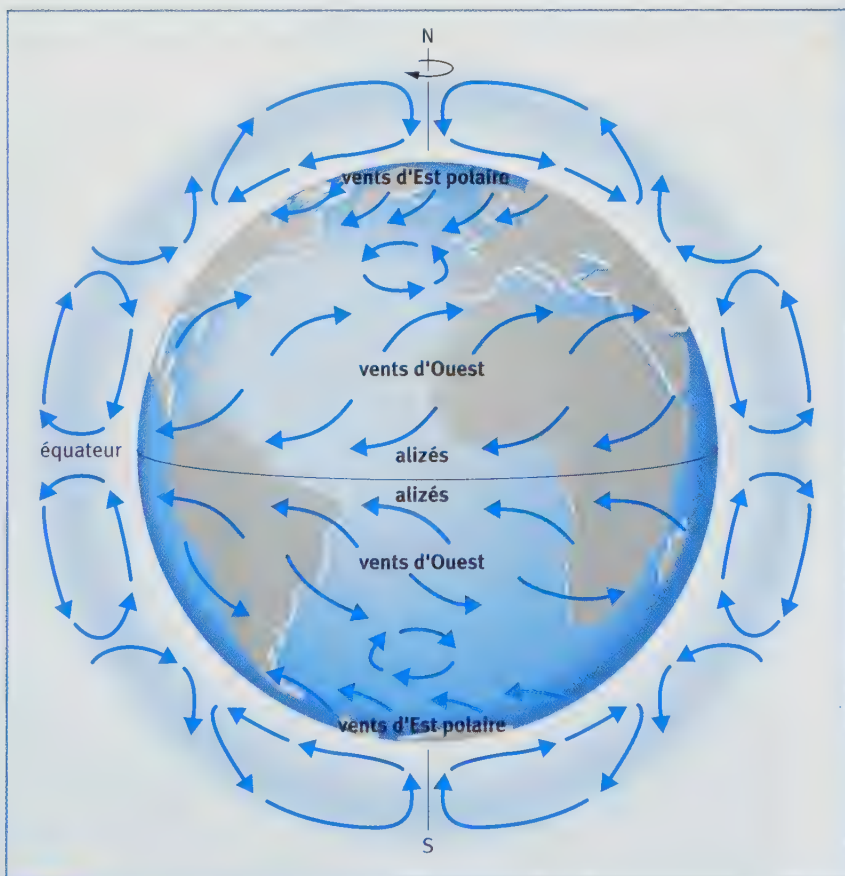


Doc. 5 Origine des vents en surface. Les vents se déplacent d'un anticyclone vers une dépression. L'air est dévié en raison de la rotation de la Terre.

3 Les conséquences des circulations atmosphériques

Les vents sont des déplacements d'air dans un plan horizontal. Ils traduisent un transfert d'énergie de l'équateur vers les pôles. Grâce aux circulations atmosphériques, les pôles se réchauffent et l'équateur se refroidit. Ces échanges énergétiques sont à l'origine des phénomènes météorologiques.

Par ailleurs, ces mouvements d'air horizontaux permettent un brassage de l'air qui homogénéise la composition de la partie inférieure de l'atmosphère, la troposphère. Les vitesses en jeu (de l'ordre de la dizaine de mètres par seconde) autorisent la dispersion rapide des produits polluants dans l'atmosphère.



Doc. 6 Une vue globale des circulations atmosphériques.



Attention

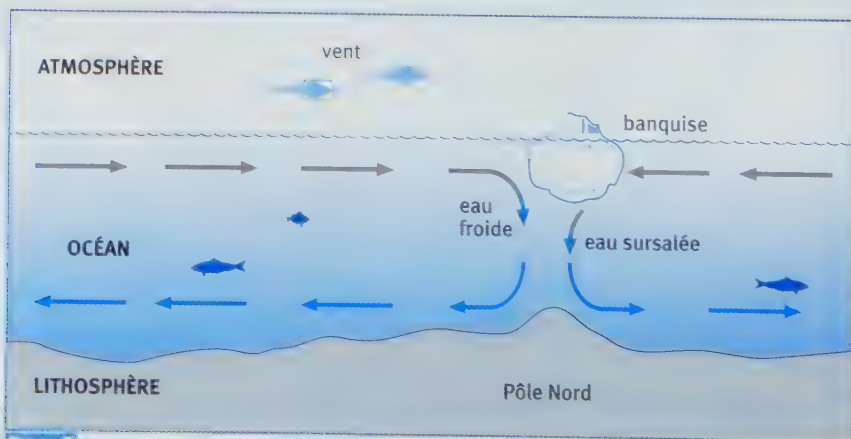
Ne pas confondre la **température** (exprimée en $^{\circ}\text{C}$) qui se mesure avec un thermomètre et la **chaleur** (exprimée en calories ou en joules, mesurée par un calorimètre), qui dépend de la température et du corps considéré. La chaleur est une grandeur physique équivalente à un travail; elle mesure un transfert d'énergie thermique.

IV Les mouvements des masses océaniques

1 Stratification de l'océan

La partie superficielle de l'océan, au-dessus de 200 à 1 000 mètres de profondeur, est soumise à l'action des vents. Par exemple, le Gulf Stream est un courant océanique superficiel, induit par les vents dominants d'Ouest. Les mouvements océaniques superficiels sont également soumis à la force de Coriolis.

La partie profonde de l'océan est mise en mouvement par des différences de densité et de **salinité**. Une eau froide est plus dense qu'une eau chaude : aux pôles, l'eau froide s'enfonce en repoussant la couche inférieure. De même, une eau salée est plus dense qu'une eau douce : les eaux polaires, enrichies en sel suite à la formation de la banquise, « coulent » au fond des océans Arctique et Antarctique.

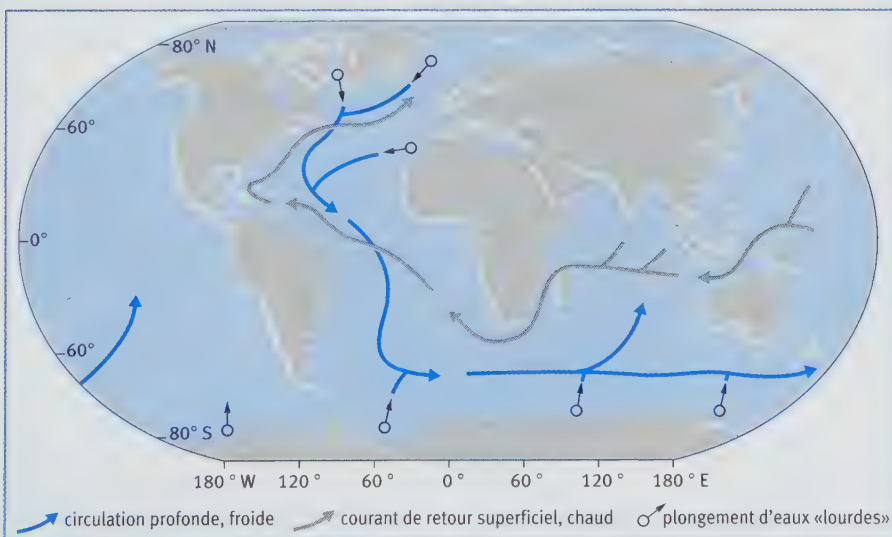


Doc. 7 Origine des courants marins.

Suivons un petit volume d'eau en surface de l'océan Atlantique. Lorsqu'il arrive vers le pôle Nord, il a cédé sa chaleur à l'atmosphère : l'eau s'est refroidie. De plus, la formation de la banquise expulse de l'eau sursalée. Cette eau froide et sursalée plonge alors verticalement à l'aplomb des régions polaires. Un courant marin froid profond s'écoule donc du pôle Nord à l'Antarctique, sans échanger de chaleur avec le reste de l'océan. Le continent Antarctique est contourné. Cette eau froide et salée ne peut s'accumuler : elle est ensuite emportée vers l'océan Pacifique et l'océan Indien. Toujours glissant sur le fond, le courant remonte lorsqu'il rencontre un continent. À cet endroit, l'eau se réchauffe. Les vents, les courants de surface (Gulf Stream, par exemple) ramènent cette eau superficielle vers le pôle Nord, où le cycle recommence ; celui-ci aura pris 30 000 ans...

La vitesse des courants océaniques (entre 1 et 3 m.s⁻¹) ne permet pas une bonne dispersion des polluants dans l'eau de mer : localement, ces produits indésirables s'accumulent.

Les volumes en jeu sont gigantesques : le courant autour de l'Antarctique déplace 130 millions de m³ par seconde. L'énergie thermique en jeu est donc considérable.



Doc. 8 Le trajet des courants marins.

2 Transfert de chaleur par les courants océaniques

L'exemple du Gulf Stream illustre le transfert de chaleur du golfe du Mexique à la Norvège. Partie des Antilles, au large du Mexique, cette masse d'eau chaude parcourt tout l'Atlantique Nord et longe les régions les plus septentrionales de l'Europe. Il constitue un courant chaud de surface. L'arrivée de ces masses d'eau chaude permet au pôle Nord de gagner de la chaleur, tout en réchauffant l'Europe. De la même façon, l'Antarctique bénéficie d'un apport de chaleur en provenance de l'océan Indien.

Globalement, les courants océaniques superficiels et profonds participent donc à l'homogénéisation des températures à la surface de la Terre.

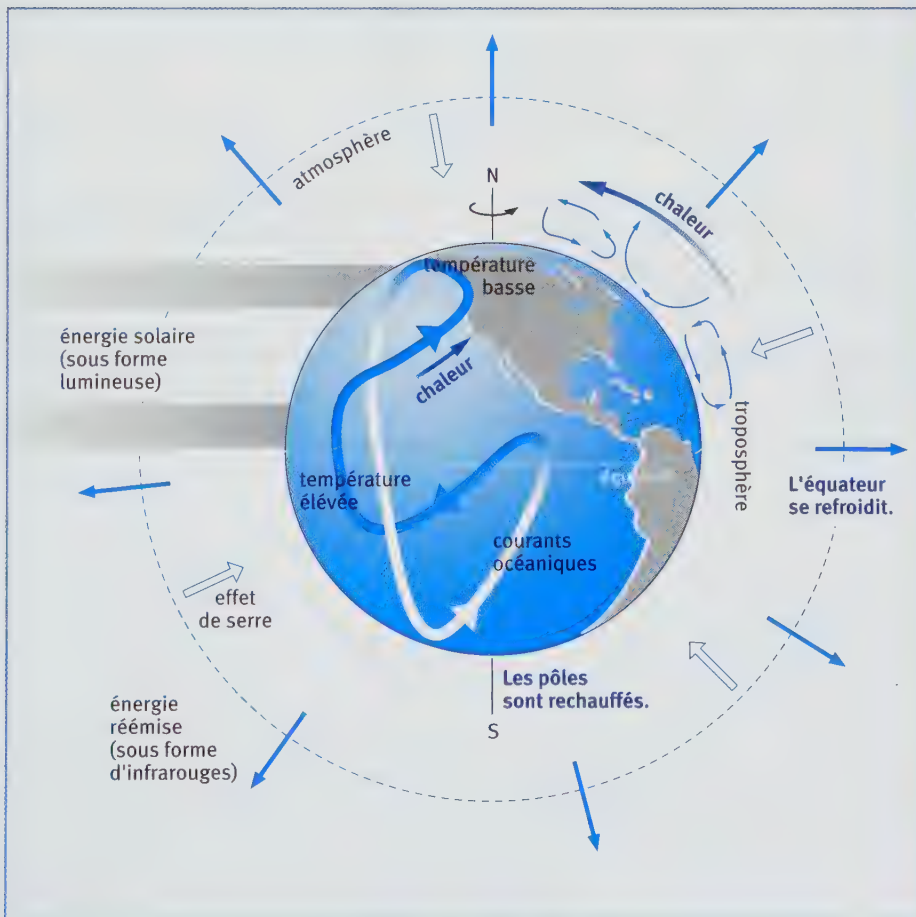


Remarque : quelques données concernant le Gulf Stream : longueur = 7 000 km ; débit = 70 millions $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; vitesse = 1,2 à 2,7 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La trajectoire des courants et leur intensité sont dépendantes des contours continentaux. À l'échelle des temps géologiques, ces courants océaniques ne sont donc pas « figés ».

le bilan

- Les circulations océaniques et atmosphériques participent à l'égalisation du bilan énergétique terrestre. Avec l'air de l'atmosphère, l'eau des océans fait circuler l'énergie thermique à la surface de la Terre.
- Ainsi, malgré un apport énergétique plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, l'équateur ne se réchauffe pas et les pôles ne refroidissent pas. Globalement, la Terre est en équilibre thermique : sa température moyenne reste constante sur une longue période.



les mots-clés

Anticyclone (n. m.) : zone géographique où règne une pression atmosphérique élevée, supérieure à 1013 hPa; région où il y a relativement « plus d'air » qu'ailleurs.

Ascendance (n. f.) : mouvement vertical, vers le haut, d'une masse d'air échauffé, moins dense que l'air environnant; associée à une dépression.

Comportement spectral (n. m.) : effet du rayonnement solaire sur une surface terrestre, estimé par la proportion des rayons absorbés et réfléchis.

Convection (n. f.) : mode de propagation de la chaleur par déplacement de matière, créant des cellules en mouvement du fait des densités variables.

Déficit polaire (n. m.) : situation des pôles où l'énergie du rayonnement incident est inférieure aux pertes par radiation; ce phénomène traduit un apport de chaleur issue d'autres régions terrestres.

Densité (n. f.) : rapport entre la masse volumique d'un corps (sa masse divisée par son volume) et la masse volumique de l'eau; grandeur sans unité.

Dépression (n. f.) : zone géographique caractérisée par une pression atmosphérique basse, inférieure à 1013 hPa; région où règne un « manque relatif » d'air.

Excès équatorial (n. m.) : situation de la zone intertropicale où l'énergie du rayonnement incident est supérieure aux pertes par radiation; ce phénomène traduit un transfert de chaleur vers d'autres régions terrestres.

Jet-stream (n. m.) : vent violent (plus de 200 km.h^{-1}) de haute altitude (entre 10 et 12 km), de faible épaisseur, assez régulier, qui correspond au départ de l'air d'une dépression vers un anticyclone.

Salinité (n. f.) : masse de sel (en gramme) dans un litre d'eau.

Subsidence (n. f.) : mouvement vertical, vers le bas, d'une masse d'air échauffé, plus dense que l'air environnant; associée à un anticyclone.

Troposphère (n. f.) : couche la plus basse de l'atmosphère (de 0 à 12 km d'altitude) où se déroulent tous les phénomènes météorologiques et où se développe exclusivement la biosphère.

Exercices

Exercices

► Faire le point

1. Expliquer pourquoi les pôles ne sont pas de plus en plus froids.
2. Déterminer l'origine des transferts thermiques sur Terre.
3. Justifier le fait que les échanges thermiques ne concernent que l'océan et l'atmosphère.
4. Expliciter l'expression « l'équateur présente un excès thermique ».
5. Déterminer l'origine des mouvements verticaux de l'air.
6. Citer les deux phénomènes qui déterminent la direction du vent.
7. Rappeler quels sont les deux facteurs responsables de la variation de densité de l'eau.
8. Expliquer l'origine des courants marins superficiels ; puis celle des courants marins profonds.
9. Expliquer la conséquence des courants océaniques sur la température de l'équateur et des pôles.
10. Comparer l'influence relative de l'atmosphère et de l'océan pour ce qui est de la dispersion des produits polluants.

S'entraîner

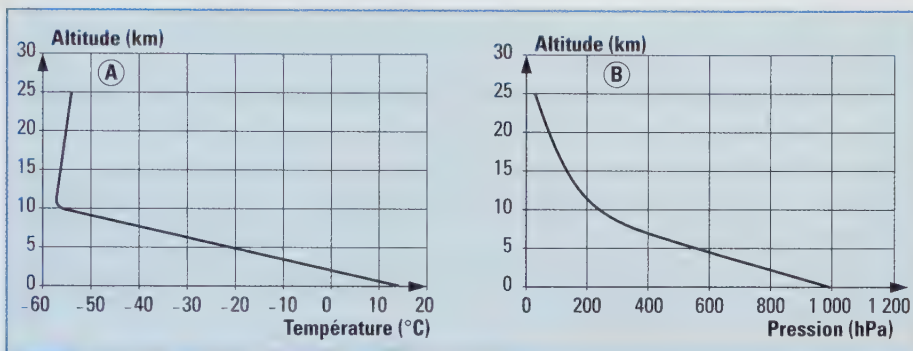
EXERCICE 1 La composition de l'atmosphère

Le tableau ci-dessous indique les gaz composant l'atmosphère, ainsi que leur proportion en volume. La composition de l'atmosphère standard exclue l'eau (sous forme de vapeur) car sa teneur varie trop selon les conditions locales.

Nom du gaz	Formule chimique	Proportion dans l'air (en pourcentage volumique)	Masse molaire du gaz (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)
Azote	N_2	78,09	28
Dioxygène	O_2	20,95	32
Argon	Ar	0,93	40
Dioxyde de carbone	CO_2	0,035	44
Néon	Ne	$1,8 \cdot 10^{-5}$	20
Hélium	He	$5,24 \cdot 10^{-4}$	4
Krypton	Kr	$1,0 \cdot 10^{-4}$	83
Hydrogène	H_2	$5,0 \cdot 10^{-5}$	2
Xénon	Xe	$8,0 \cdot 10^{-6}$	131
Ozone	O_3	$1,0 \cdot 10^{-6}$	78
Radon	Rn	$6,0 \cdot 10^{-18}$	222

Doc. Composition en volume de l'air sec : Masse molaire totale de l'air sec : $28,966 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

- Déterminer comment sont rangés les gaz dans ce tableau.
- Expliquer ce que signifie 78,09, à la première ligne.
- « L'air sec est un mélange de diazote et de dioxygène ». Indiquer si cette affirmation est vraie ou fausse.
- Sans faire de calcul, déterminer la somme de la colonne « proportion dans l'air ».
- Retrouver quels gaz sont produits ou utilisés par les êtres vivants.
- Établir la liste des gaz rares présents dans l'atmosphère, sachant qu'ils sont sous forme monoatomique.
- Expliquer comment la masse molaire de l'air sec est calculée.
- Sachant qu'une mole d'air sec occupe un volume de 22,4 litres, calculer la masse volumique de l'air sec.

EXERCICE 2 La structure de l'atmosphère

Doc. Données graphiques sur l'atmosphère terrestre.

1. Donner un titre à chacun des deux graphiques.
2. Déterminer la pression et la température moyennes au niveau du sol.
3. Décrire l'évolution la pression avec l'altitude. Expliquer cette évolution à l'aide vos connaissances sur la pression.
4. Déterminer à quelle altitude l'air est à 0 °C.
5. Déterminer quelle est la température à 12 km d'altitude et indiquer quelle est la pression à cette altitude.
6. Nommer la tranche de l'atmosphère comprise entre le sol et 12 km d'altitude. Justifiez votre réponse.

EXERCICE 3 L'origine du vent

Le vent est un mouvement horizontal de l'air, produit par la force de pression qui tend à déplacer l'air des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions, pour parvenir à une pression uniforme. Le vent devrait donc converger vers le centre d'une dépression et diverger à partir du centre d'un anticyclone. Or, on constate que le vent au sol circule parallèlement aux lignes isobares (lignes d'égale pression atmosphérique). Cela est la conséquence de la rotation de la Terre, qui introduit une force supplémentaire : la force de Coriolis. Cette force agit sur tout objet en mouvement, déviant sa trajectoire vers sa droite dans l'hémisphère nord et vers sa gauche dans l'hémisphère sud. La déviation est nulle à l'équateur et maximale aux pôles.

Cette force, parfaitement négligeable dans la vie courante (les trains restent bien sur leurs rails, par exemple), ne l'est plus pour les grands mouvements atmosphériques et océaniques qui mettent en jeu des masses considérables.

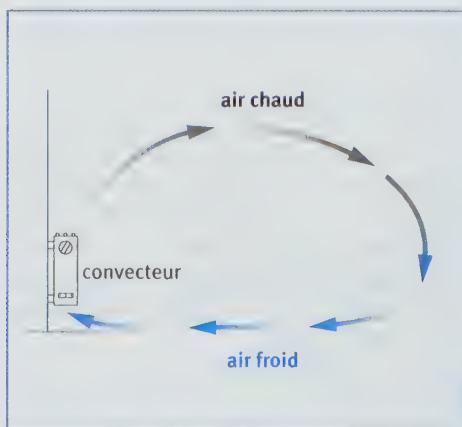
Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens anti-horaire autour d'un centre dépressionnaire et dans le sens horaire autour d'un anticyclone. Dans l'hémisphère sud, les mouvements du vent sont inversés.

La vitesse du vent est d'autant plus élevée que les différences de pression sont fortes et qu'elles se font sur de courtes distances (lignes isobares rapprochées). La latitude joue également un rôle important. On peut exprimer cette vitesse du vent par l'échelle anémométrique de Beaufort, graduée de 0 (vent nul) à 12 (ouragan).

1. Représenter schématiquement une dépression (isobares 995 et 990 hPa) et un anticyclone (isobares 1 015 et 1 020 hPa) proches, dans l'hémisphère nord.
2. Figurer le trajet et le sens du vent en absence de rotation de la Terre.
3. Figurer le même vent en tenant compte de la force de Coriolis liée à la rotation de la Terre.
4. Déterminer en quoi l'océan et l'atmosphère sont – physiquement – différents d'un train.
5. Expliquer de quoi dépend la vitesse du vent.
6. Indiquer dans quel sens tourne le vent dans l'hémisphère nord.
7. Si l'on connaît la répartition des pressions dans une vaste région, que peut-on alors prévoir ?

EXERCICE 4 Une analogie avec un appareil de chauffage électrique

Un convecteur est un type de chauffage électrique, dont le principe est le suivant : une résistance électrique « noyée » dans une plaque conductrice de la chaleur chauffe l'air environnant. Cet air chaud, moins dense, s'élève. En s'éloignant de l'appareil (placé au niveau du sol de la pièce), il se refroidit, devient plus dense et retombe. Il est alors « repris » par le convecteur, qui le réchauffe à nouveau. Une cellule de convection se met en place dans la pièce. On cherche à repérer des analogies entre cette pièce chauffée par un convecteur et la région de la Terre comprise entre l'équateur et les 30° de latitude.

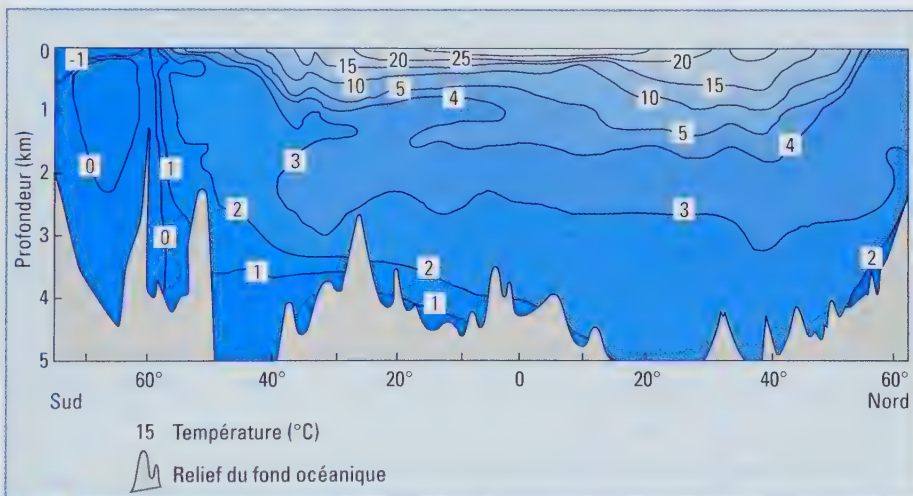


Doc. Une pièce chauffée par un convecteur électrique.

1. Déterminer l'analogie du convecteur dans cette pièce avec la Terre.
2. Indiquer l'endroit le plus chaud dans une pièce.
3. Rechercher alors où est l'air le plus dense.
4. Bien que le convecteur soit fixé en un point de la pièce, toute celle-ci se trouve réchauffée. Établir les comparaisons avec le système Soleil-Terre-atmosphère.

EXERCICE 5 Le profil des températures dans l'océan

Le document ci-dessous représente les températures moyennes mesurées dans une coupe de l'océan Atlantique ouest en fonction de la profondeur et de la latitude.

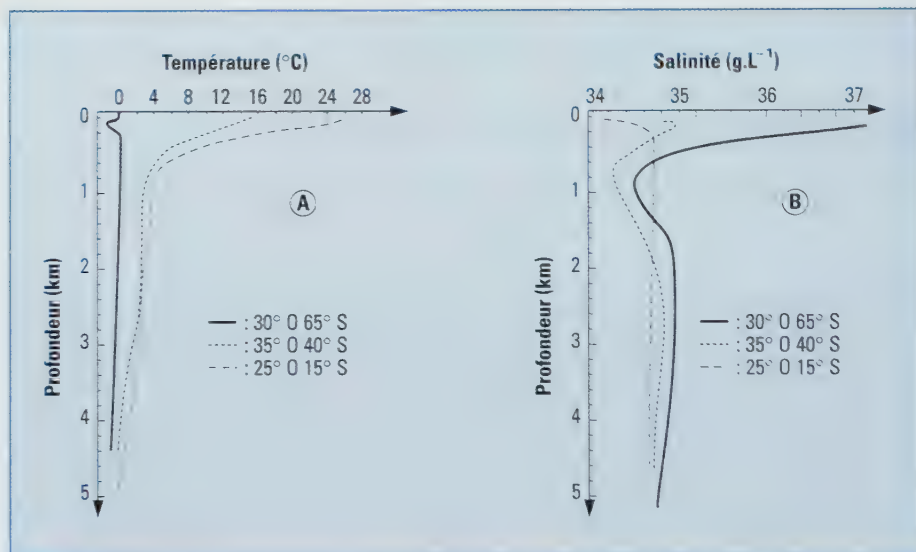


Doc. Températures moyennes (en °C) mesurées dans une coupe de l'océan Atlantique ouest.

1. Expliquer la variation de température en fonction de la latitude, en surface.
2. Indiquer où se rencontrent les températures les plus basses.
3. Justifier cette localisation en vous appuyant sur vos connaissances.
4. Montrer que l'influence directe du Soleil est limitée dans l'océan.
5. Montrer qu'il existe un courant océanique particulier à proximité de l'Antarctique (autour du pôle Sud).

EXERCICE 6 Évolution des paramètres océaniques en fonction de la profondeur

On rappelle que la salinité de l'eau de mer est la quantité de sel dissoute dans un litre d'eau. Elle est exprimée en g.L^{-1} .

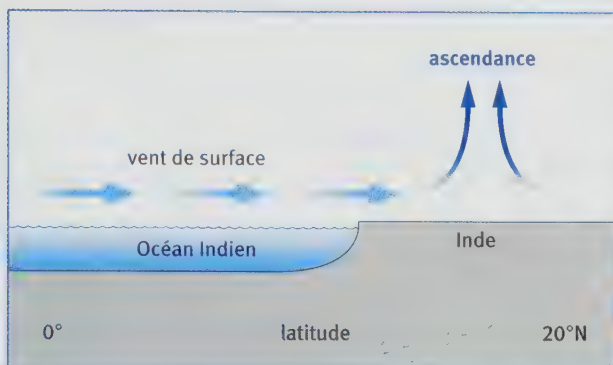


Doc.

1. Donner un titre aux graphiques A et B.
2. Décrire comment évolue la température en fonction de la profondeur.
3. Expliquer les différences de température en surface selon la latitude.
4. Déterminer les facteurs qui peuvent faire varier la salinité, en précisant le sens de ces variations.
5. Expliquer la salinité à 15°S en surface, et celle mesurée en surface à 65°S .
6. Montrer que l'eau des régions polaires « coule ».
7. Montrer que les eaux de l'océan mondial reçoivent de l'eau issue des régions polaires.

EXERCICE 7 La mousson d'été en Inde

L'Inde est un sous-continent de faible latitude : l'ensoleillement y est généreux. L'océan Indien qui la borde est refroidi par l'arrivée des eaux antarctiques. De cet écart thermique naît la mousson, un phénomène à l'origine de pluies torrentielles en été dans l'Asie du Sud.



Doc. Représentation schématique de la mousson en Inde (en été).

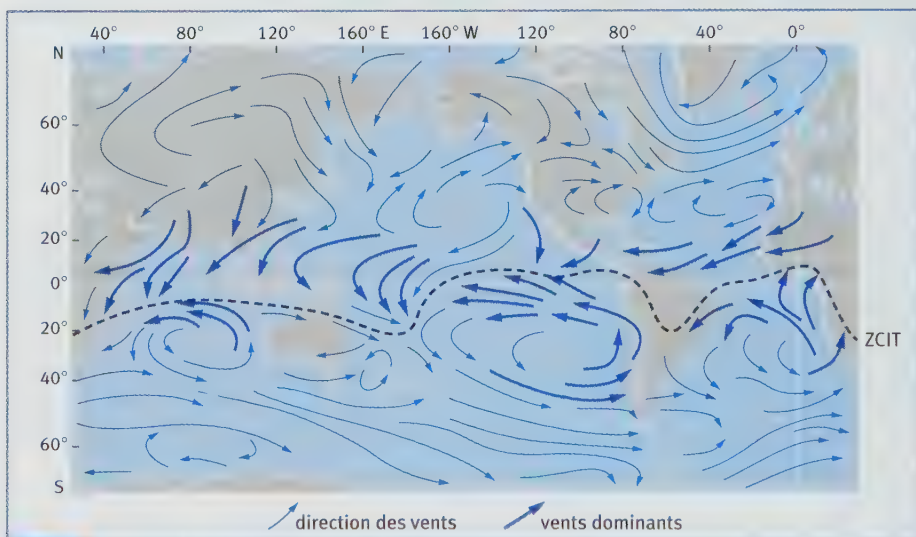
1. Justifier le mouvement ascendant de l'air au-dessus de l'Inde.
2. Expliquer pourquoi un vent balaie l'océan Indien vers le continent.
3. L'air contient d'autant plus d'humidité qu'il est à une température élevée. Déterminer une conséquence de ce fait sur le vent qui souffle dans cette région tropicale.
4. Lorsque la température d'un air saturé en humidité diminue, l'eau contenue dans cet air se condense : la vapeur d'eau devient de l'eau liquide. Déterminer la conséquence de ce principe sur l'Inde.
5. Justifier la phrase : « dans la mousson, le continent fournit l'énergie et l'océan Indien apporte la matière. »

Exercices résolus

EXERCICE RÉSOLU 1 Le rôle du vent

Analyser un document

Voici une carte simplifiée des vents de surface.



Doc. Les vents à la surface de la Terre (été dans l'hémisphère sud). ZCIT = zone de convergence intertropicale (c'est une sorte d'équateur météorologique dont la position varie au cours de l'année).

1. Décrire le trajet de l'air présent aux Açores, vers 30° N et 120° W, et nommer ce vent.
2. En fonction de sa latitude, préciser si cet air des Açores est froid, tiède ou chaud.
3. Déterminer l'effet de ce vent sur la zone équatoriale.
4. Expliquer pourquoi ce vent ne se déplace pas perpendiculairement à l'équateur (ce qui réduirait son trajet).
5. Décrire le trajet l'air situé vers 50° N dans l'Atlantique.
6. Indiquer son effet sur le pôle Nord.
7. Rappeler le mouvement de l'air qui est présent à l'équateur.
8. En résumé, analyser l'effet général des vents sur les températures de l'équateur et des pôles.

◆ **Conseils**

- Se rappeler l'origine des vents, leur trajet, la cause de la déviation qu'ils subissent.
- Appliquer le principe des cellules de convection aux latitudes réellement portées sur la carte.
- Relier le trajet des vents avec le fait qu'ils transportent de la chaleur.
- Relier les connaissances aux conditions réelles décrites.

◆ **Solution**

1. La carte montre que l'air issu des Açores se dirige vers l'équateur. Ce déplacement massif d'air forme les Alizés du Nord-Est.
2. Cet air est tiède, l'apport d'énergie solaire étant plus faible à cette latitude qu'à l'équateur.
3. Du fait de l'arrivée de ce vent tiède, l'équateur, zone d'ensoleillement maximal, se refroidit.
4. Le trajet du vent est modifié par la rotation de la Terre : la force de Coriolis dévie le trajet des masses vers leur droite (donc vers l'Ouest) dans l'hémisphère Nord.
5. La carte montre que l'air situé à 50° N se dirige vers le pôle Nord.
6. Cette arrivée d'air relativement tiède a pour effet de réchauffer le pôle Nord.
7. L'air chaud présent à l'équateur s'élève avant de se refroidir en formant les jet-streams dans la haute troposphère.
8. L'équateur cède la chaleur « emportée » par le vent. La chaleur perdue par la zone équatoriale profite aux pôles qui se réchauffent. Les circulations atmosphériques participent à l'homogénéisation de la température mondiale.

EXERCICE RÉSOLU 2 L'atmosphère et l'hydrosphère dans le transfert de la chaleur**Restituer ses connaissances**

Deux enveloppes terrestres, l'atmosphère et l'hydrosphère, sont responsables d'un transfert de chaleur depuis la zone intertropicale jusqu'aux pôles, ce qui contribue à refroidir la région équatoriale et à réchauffer les deux pôles.

Expliquer les ressemblances et les différences manifestées par ces deux enveloppes vis-à-vis des échanges de chaleur sur Terre.

◆ **Conseils**

- S'interroger sur les particularités de l'atmosphère et de l'hydrosphère par rapport à la lithosphère.
- Comprendre que l'eau et l'air ont une bonne conductivité thermique par rapport aux roches, isolantes.
- Comprendre les phénomènes d'échauffement et de refroidissement en termes d'échanges de chaleur.

- Rédiger au brouillon un tableau présentant les ressemblances et les différences entre les courants océaniques et les vents.

◆ Solution

Introduction

L'atmosphère est l'enveloppe de gaz mobile qui entoure la Terre. La partie inférieure de cette couche, la troposphère, est la plus influencée par le réchauffement du sol dû au rayonnement solaire. L'hydrosphère est également mobile, car 97 % de l'eau liquide sur Terre est présente dans l'océan. Or, tous les océans communiquent « géographiquement » entre eux. Ces deux enveloppes sont susceptibles de se déplacer, et donc de transférer leur chaleur d'une région à une autre.

Développement

1. Des enveloppes fluides aux propriétés thermiques comparables

Ces deux milieux, l'air et l'eau, sont capables de se réchauffer ou de se refroidir facilement (en emmagasinant ou en cédant de la chaleur) : ce sont de relativement bons conducteurs thermiques. Cela les distingue de la lithosphère dont les roches sont plutôt des isolants thermiques. Ces deux milieux manifestent le même comportement vis-à-vis de la chaleur : la densité de l'air et celle de l'eau diminuent d'autant plus que ces corps sont à des températures plus élevées. L'air chaud s'élève, l'eau chaude se place en surface de l'océan.

L'eau océanique bénéficie d'un autre facteur agissant sur la densité : une eau salée est plus dense qu'une eau douce. L'air atmosphérique a une composition constante.

2. Des enveloppes animées de mouvements différents

Mais c'est au niveau des vitesses de transfert que les différences apparaissent : l'eau est moins fluide que l'air. Cela se traduit par des vitesses de déplacement différentes. La vitesse du vent se mesure en dizaine de km.h^{-1} , les courants marins en quelques km.h^{-1} . Les volumes mis en jeu sont considérables pour les courants marins (des centaines de millions de m^3), moins importants pour les vents dont les masses sont également moins importantes (en effet, l'air est moins dense que l'eau).

Les cellules de convection aérienne sont bien définies, relativement localisées à grande échelle. En revanche, la circulation océanique englobe la totalité des océans. Le trajet des courants océaniques est également dépendant de la forme des continents, alors que les vents s'affranchissent globalement de ces irrégularités.

Conclusion

Le trajet des courants océaniques et aériens permet donc, avec des spécificités, de transférer de la chaleur des zones chaudes (équatoriales) vers les zones froides (polaires). Sans atmosphère, ni hydrosphère, l'équateur s'échaufferait considérablement, et les pôles se refroidiraient en proportion. Les nuits et les jours seraient encore plus thermiquement contrastés. La connaissance des circulations océaniques et atmosphériques permet, dans une certaine mesure, les prévisions météorologiques.

ÉVOLUTION DES ENVELOPPES TERRESTRES

On connaît le rôle de l'atmosphère et de l'hydrosphère dans le transfert de chaleur à l'échelle du globe.

- **1** Quelles sont les relations qui s'établissent entre les quatre enveloppes terrestres ?
- **2** Quelle est l'action de l'homme et ses conséquences sur l'une d'entre elles : l'atmosphère ?

Quelques rappels

En 6^e :

- Chez les animaux et les végétaux, la respiration consiste à absorber du dioxygène et rejeter du dioxyde de carbone.
- Pour leur nutrition, les êtres vivants dépendent les uns des autres et des substances minérales du milieu.
- En fonction de ses choix et de ses besoins, l'homme agit sur l'environnement.

En 5^e et 4^e :

- La Terre change en surface du fait de l'activité interne du globe.
- Les roches sédimentaires sont les témoins d'un passé que l'on peut reconstituer.

Programme de physique du collège :

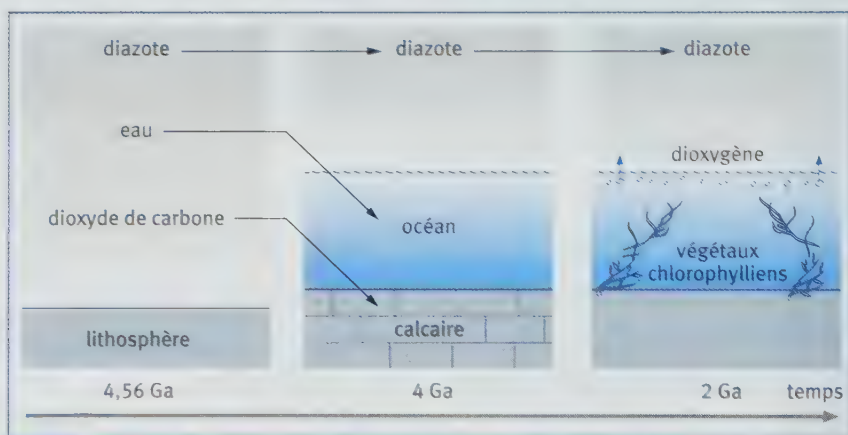
- L'air qui nous entoure est un mélange gazeux. Les réactions d'oxydation.

I La composition de l'atmosphère et ses variations

1 Variations de la composition de l'atmosphère avec le temps

La composition chimique de l'atmosphère terrestre varie avec le temps. L'atmosphère initiale a été formée par le dégazage de la Terre primitive en refroidissement. Il y a 4,56 milliards d'années, cette enveloppe contenait majoritairement du diazote (1 %), du dioxyde de carbone (18 %), de la vapeur d'eau (80 %). L'eau s'est condensée pour former les océans, et une grande majorité du dioxyde de carbone a été fixée dans les océans sous forme de calcaire. L'atmosphère actuelle contient donc principalement du diazote primitif et du dioxygène d'origine biologique fabriqué ultérieurement par les végétaux chlorophylliens.

L'homme intervient dans la composition de l'atmosphère du fait son action sur deux gaz en quantité mineure : l'ozone et le dioxyde de carbone.



Doc. 1 Evolution de l'atmosphère depuis la formation de la Terre. Ga : milliard d'années.

2 L'atmosphère et les gaz peu abondants

L'atmosphère est une enveloppe de gaz qui entoure la Terre jusqu'à une altitude de quelques centaines de kilomètres. Les variations de température avec l'altitude permettent de découper l'atmosphère en différentes couches. La troposphère est la couche la plus basse, où la température diminue avec l'altitude ; c'est le lieu de vie de tous les êtres vivants. La stratosphère débute au-delà de la tropopause (entre 10 et 12 km), limite où la température cesse de décroître avec l'altitude. Encore plus haut, on trouve la mésosphère à plus de 50 km, puis la thermosphère (voir p. 31).

L'air est un mélange gazeux. Sa composition actuelle est de 78 % de diazote et de 21 % de dioxygène, auxquels s'ajoutent les gaz rares, chimiquement inertes (hélium, argon, néon, xénon, krypton, radon). Divers autres gaz peu abondants sont également présents dans l'atmosphère : le dioxyde de carbone (0,003 %) et l'ozone (150 parties par milliard). Sa localisation est particulière, l'essentiel de l'ozone se rencontrant dans la stratosphère vers 20 km d'altitude. Les activités humaines produisent des gaz comme le dioxyde de carbone, le méthane (CH_4), l'ozone... L'homme modifie donc la composition de l'atmosphère.



La concentration d'un gaz dans un mélange peut s'estimer par la proportion des volumes : ainsi, le dioxygène représente 21 % de l'air. Pour les gaz peu abondants, on mesure la proportion en ppm (partie par million). Le CO_2 représente 300 ppm, cela veut dire que dans 1 million de litres (ou m^3) d'air, il y a 300 litres (ou m^3) de CO_2 . De la même façon, la notation ppb signifie partie par milliard (« b » pour billion, qui signifie milliard en anglais).

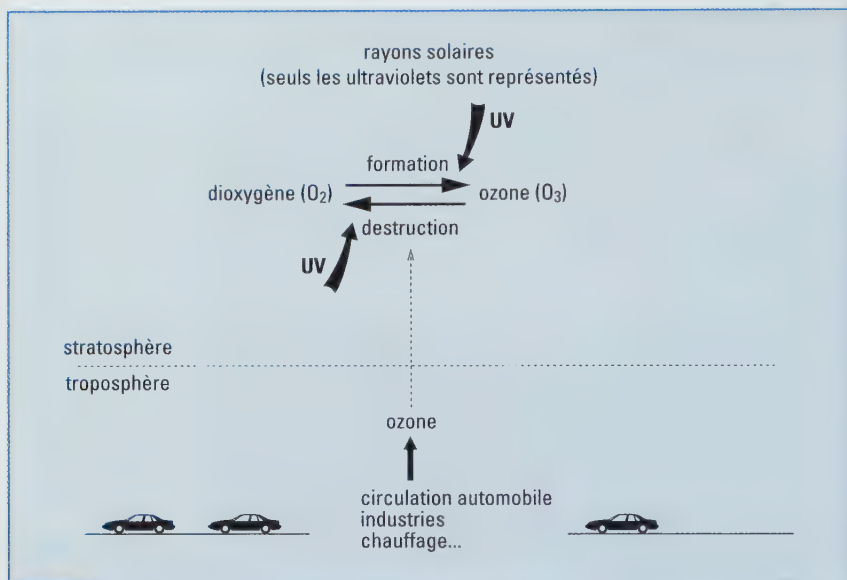
II Importance de l'ozone dans l'atmosphère

1 L'origine et la localisation de l'ozone

La molécule d'ozone, formée de trois atomes d'oxygène (O_3), est instable chimiquement. L'ozone est principalement localisé dans la stratosphère. Sa concentration y est faible. À la pression au sol, tout l'ozone de l'atmosphère tiendrait dans 3 millimètres d'épaisseur.

Sa formation a lieu entre 20 et 60 km d'altitude, par action des ultraviolets d'origine solaire sur le dioxygène. La molécule est détruite ensuite par les mêmes rayons. Donc, à chaque instant, la quantité formée est égale à la quantité détruite : sa concentration ne varie pas.

Il existe également une production d'ozone troposphérique, principalement due aux activités humaines (circulation automobile, chauffage et industrie) : certains des gaz issus de ces activités participent à des réactions chimiques complexes avec le dioxygène de l'air pour former de l'ozone. Cette production d'ozone, combinée avec des conditions atmosphériques particulières (anticyclones), est à l'origine des fameux « pics d'ozone ».



Doc. 2 Équilibre de l'ozone atmosphérique. À chaque instant, la quantité d'ozone formée est égale à la quantité d'ozone détruite. Cet équilibre est perturbé par les activités humaines.

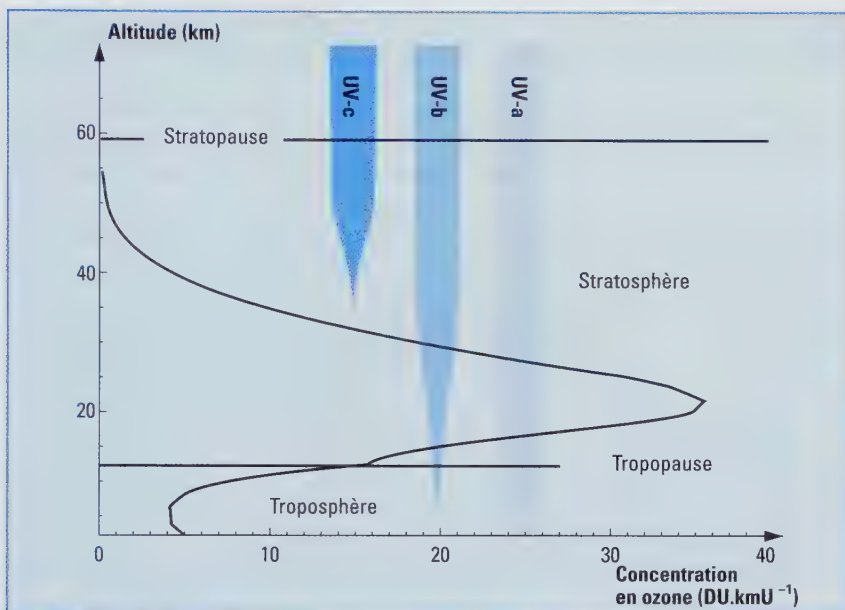
2 Le rôle de l'ozone atmosphérique

L'ozone stratosphérique absorbe une partie des rayonnements ultraviolets (UV) solaires. Cela a trois conséquences :

- de l'ozone est produit et détruit dans la stratosphère ;
- la température de cette couche augmente du fait de cette absorption ;
- cette absorption limite la quantité d'UV arrivant à la surface de la Terre.

Or, les UV sont nocifs pour les organismes vivants : ce rayonnement provoque, entre autres, des mutations dans les cellules de l'épiderme, et la fécondité des animaux se trouve également affectée. La couche d'ozone stratosphérique agit comme un filtre protecteur sans lequel le développement de la biosphère serait impossible à la surface des continents. Car l'eau absorbe les UV, donc la vie marine seule pourrait exister.

En revanche, l'ozone présent dans la troposphère, issu de la pollution, est irritant pour les voies respiratoires, pouvant provoquer des troubles respiratoires lors des « pics d'ozone ».



Doc. 3 Distribution de l'ozone stratosphérique et son effet sur les UV. DU : unité Dobson, qui est une tranche d'ozone atmosphérique épaisse de 0,01 mm, ramenée à la pression standard au sol (1013 hPa). La teneur normale de l'atmosphère est de 300 DU.

3 Le « trou dans la couche d'ozone »

L'expression « trou dans la couche d'ozone » tire son origine d'une observation réalisée par un satellite en 1983, lors de l'hiver austral (hiver de l'hémisphère sud, qui correspond à l'été de l'hémisphère nord) : la concentration de l'ozone dans la stratosphère au-dessus du continent Antarctique était devenue négligeable : il y avait un « trou », un déficit par rapport à la teneur normale. Des mesures ultérieures ont confirmé pour partie cette observation, avec un déplacement et un comblement saisonnier du déficit (voir exercice n° 5).

L'origine de cette disparition périodique de l'ozone stratosphérique a été expliquée par des expériences en laboratoire. Il s'avère que les chlorofluorocarbones (CFC) sont à l'origine de la destruction de la molécule d'ozone. Les CFC, dont l'utilisation est interdite depuis le 1^{er} octobre 2000, étaient utilisés dans les dispositifs de climatisation ou de réfrigération. Les mouvements horizontaux des masses d'air expliquent la circulation des CFC vers le pôle austral. L'origine **anthropique** de cette atteinte de l'atmosphère est attestée.

Sans cette couche protectrice d'ozone stratosphérique, la vie continentale deviendrait impossible.



Le cycle du carbone et le dioxyde de carbone atmosphérique

L'atome de carbone est inclus dans de nombreuses molécules et édifices minéraux. Cet élément très abondant sur Terre est présent dans les quatre enveloppes terrestres. Le tableau ci-dessous indique les estimations des masses. On constate que c'est dans la lithosphère qu'il est le plus abondant, la biosphère étant de faible importance quantitative. Ces enveloppes sont autant de réservoirs de carbone qui sont l'objet d'échanges, de transferts permanents.

	Masse de carbone stocké (en Gt)	Forme (molécule ou minérale) sous laquelle le carbone est présent	Temps de résidence dans une enveloppe
Atmosphère	770	CO ₂ , CH ₄	4 ans
Hydrosphère	39 000	CO ₂ dissous dans l'eau	385 ans (océan superficiel) à 100 000 ans (océan profond)
Biosphère	610	Molécules organiques (glucides, lipides, protides) + squelettes	11 ans
Lithosphère	50 000 000	Roches sédimentaires carbonatées (calcaire)	200 millions d'années
	5 000	Roches sédimentaires carbonées (charbon, pétrole)	

Doc. 4 Le carbone dans les quatre enveloppes terrestres. Gt : gigatonne — 1 milliard de tonnes.

1 L'équilibre à long terme du cycle de carbone

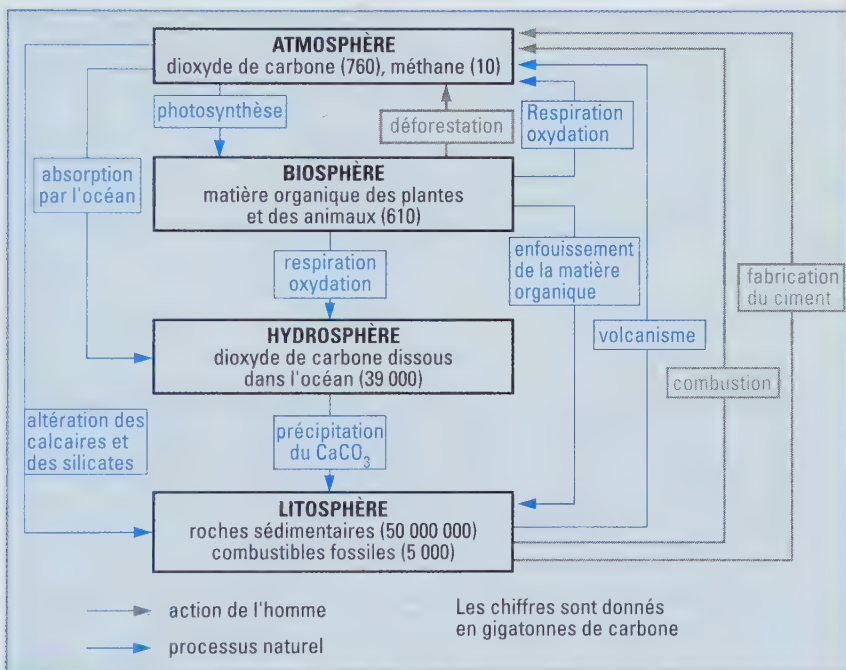
L'atome de carbone entre dans la composition des molécules **organiques** (c'est-à-dire fabriquées par les êtres vivants) ou de molécules **minérales** (comme CO₂, CaCO₃...).

Le dioxyde de carbone de l'atmosphère est utilisé par les végétaux chlorophylliens qui réalisent la **photosynthèse** : ils utilisent l'énergie solaire pour fixer le carbone atmosphérique dans des molécules organiques.

Les animaux qui consomment ces molécules organiques réalisent la respiration : ils absorbent le dioxygène de l'atmosphère et y rejettent du dioxyde de carbone. La fermentation rejette également du CO₂.

À côté de ce cycle, dont la durée est inférieure à un siècle, il existe un cycle du dioxyde de carbone qui fait intervenir, sur des durées géologiques, la biosphère, la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère. D'une part, l'enfouissement des cadavres conduit à la formation de sédiments carbonatés (calcaire) ou carbo-

nés (charbon ou pétrole). D'autre part, l'eau des océans dissout une quantité importante de dioxyde de carbone, qui peut être fixé dans le carbonate de calcium par les organismes vivants, autre origine des calcaires. Lors de ces échanges, les réservoirs gardent globalement les mêmes quantités de carbone (quelle que soit sa forme – organique ou minérale), certes considérables : le bilan du carbone est en équilibre.



Doc. 5 Le cycle du carbone.

2 Les perturbations actuelles du cycle du carbone

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre (voir chapitre 1), phénomène naturel responsable de la température moyenne clémente sur Terre qui rend possible la présence d'eau liquide et de la vie.

Gaz	Teneur	ΔF	Durée de vie dans l'atmosphère (en années)	Origine de l'excès actuel
H ₂ O	3-4 %			
CO ₂	365 ppmv	1	100	Combustibles fossiles ; déforestation
CH ₄	1,7 ppmv	21	12	Combustibles fossiles ; rizières ; ruminants
N ₂ O	310 ppbv	206	120	Agriculture ; alimentation du bétail ; industrie chimique
CFC-12 (fréon)	274 pptv	15800	500000	Climatisation ; réfrigération

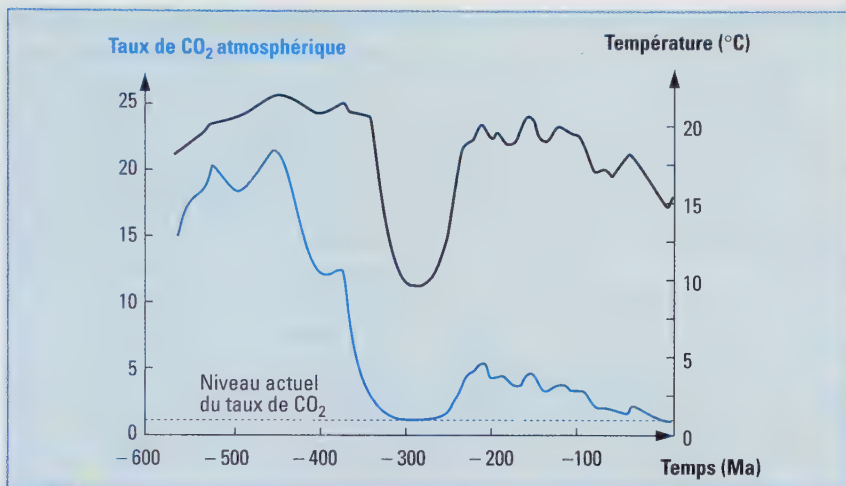
Doc. 6 Part relative de différents gaz dans l'effet de serre. ΔF : capacité d'absorption des infrarouges. On affecte arbitrairement un ΔF de 1 au CO₂ et on mesure le rapport entre le gaz et le CO₂. ppmv : partie par million en volume. ppbv : partie par milliard en volume. pptv : partie par mille milliards en volume.

Ce tableau indique que quelques gaz peu abondants, voire très diffus, ont une capacité à absorber les infrarouges, porteurs de la chaleur, très importante. Par exemple, la teneur en méthane (CH₄) est deux cent fois moins élevée que celle en dioxyde de carbone, mais ce gaz absorbe 21 fois plus les infrarouges. On notera la présence de la vapeur d'eau dans ce tableau, molécule exclue de la composition standard de l'atmosphère. Mais la vapeur d'eau effectivement présente dans l'atmosphère (1 à 3 % de vapeur d'eau en volume dans l'air), sa teneur variant selon le lieu, absorbe les infrarouges.

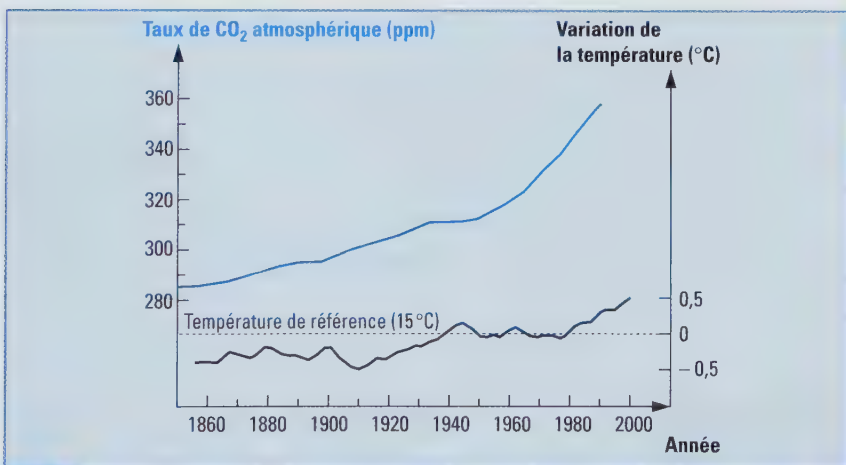
• **L'évolution du taux de CO₂ atmosphérique semble corrélée aux variations de température.** Par des mesures indirectes (études physico-chimiques des calottes glaciaires), il a été possible d'établir l'évolution des températures et du taux de CO₂ atmosphérique depuis 600 millions d'années, durée « géologique » longue (document 7).

Entre -200 000 ans et aujourd'hui, on trouve des traces de la composition de l'atmosphère dans l'étude des bulles emprisonnées dans les calottes glaciaires. Différentes méthodes permettent également de reconstituer les variations de la température pour de telles périodes (voir les documents de l'exercice 4).

Enfin, divers indicateurs attestent une augmentation du taux de dioxyde de carbone atmosphérique et de la température mesurée depuis 150 ans (document 8).



Doc. 7 Évolution de la température et du taux de CO₂ atmosphérique depuis 600 millions d'années. La teneur en CO₂ est exprimée par rapport à la teneur actuelle (300 ppm).



Doc. 8 Évolution de la température et du taux de CO₂ atmosphérique depuis 150 ans.

S'il est légitime d'imputer l'augmentation actuelle de la température au renforcement de l'effet de serre sous l'action de la pollution, des variations ont eu lieu avant l'intervention de l'homme. Des paramètres astronomiques, comme la variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, des variations de l'activité du Soleil, ou encore des changements d'activité de la lithosphère, ont pu intervenir.

• **Origine anthropique dans la période récente : rôle de l'industrialisation dans le rejet de CO₂ dans l'atmosphère.** L'origine de l'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère résulte de la croissance de la concentration du dioxyde de carbone du fait des activités humaines, en particulier de la combustion actuelle de roches carbonées fossiles (charbon et pétrole). Deux autres gaz manifestent une croissance : le méthane, issu des combustions et des organismes des ruminants, et l'oxyde nitreux provenant de l'agriculture, de l'alimentation pour le bétail et des industries chimiques.

• **Des modélisations possibles, mais discutables.** Les conséquences de l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont plus ou moins prévisibles, grâce à des modélisations mathématiques : le niveau des mers pourrait monter de 9 à 88 cm, les glaces et la neige reculer dans le Nord, alors que l'Antarctique se chargerait de glace du fait d'une pluviosité plus élevée.

Les effets à plus ou moins long terme se feront sentir : modification des **écosystèmes**, perturbation de la circulation océanique globale, température moyenne plus élevée...

Le nombre de paramètres à prendre en compte sont nombreux et de telles modélisations très complexes. Les résultats obtenus peuvent être très différents selon les modèles utilisés.

• **Des solutions « politiques » ?** L'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre constatée ces dernières décennies (depuis le début de la « révolution industrielle »), en particulier pour le dioxyde de carbone, est indéniablement en grande partie d'origine anthropique. Les effets sont globaux du fait de la circulation atmosphérique. Le protocole de Kyoto, un accord signé en 1997 par une quarantaine de pays, propose des solutions pour limiter l'action humaine sur l'atmosphère, en diminuant leurs émissions de gaz à effet de serre.

le bilan

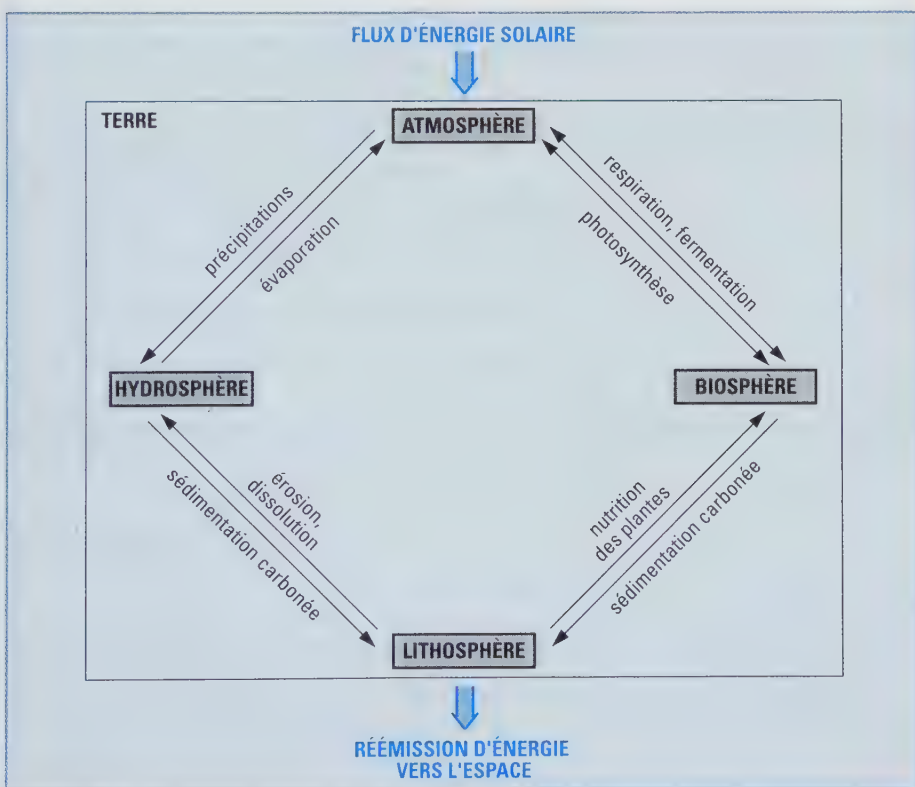
• L'atmosphère terrestre a une histoire. Ses constituants proviennent pour partie de la lithosphère, pour partie de la biosphère. L'atmosphère primitive est à l'origine de l'hydrosphère.

• Il y a des interactions entre les quatre enveloppes externes de la Terre (atmosphère, hydrosphère, biosphère et lithosphère). Par exemple, les êtres vivants respirent, puisent de l'eau et absorbent des sels minéraux.

• Le carbone est présent sous différentes formes (CO₂, molécules organiques, pétrole...) dans les réservoirs terrestres (atmosphère, biosphère, hydrosphère,

lithosphère). Les échanges permanents de carbone entre ces réservoirs se font à des vitesses variables.

- Au cours des temps géologiques, la composition de l'atmosphère a varié.
- L'homme agit sur la composition de l'atmosphère. Deux gaz peu abondants voient leur équilibre modifié : l'ozone (par les pratiques industrielles) et le dioxyde de carbone (par des combustions de produits carbonés fossiles).
- Une action concertée doit pouvoir éviter des modifications d'origine anthropique touchant aussi bien la biosphère que les climats.



les mots-clés

Anthropique (adj.) : dû à la présence et à l'activité de l'homme.

Écosystème (n. m.) : ensemble d'un milieu naturel et des organismes vivants qui s'y trouvent.

Fermentation (n. f.) : fourniture d'énergie par oxydation de molécules organiques, le plus souvent en absence de dioxygène, avec libération de dioxyde de carbone.

Minéral (adj.) : molécule dépourvue de carbone ou d'hydrogène ; composé dont la présence est indépendante des êtres vivants.

Organique (adj.) : molécule formé à partir de carbone et d'hydrogène ; matière fabriquée par les êtres vivants.

Photosynthèse (n. f.) : fabrication de matière organique par les végétaux chlorophylliens à partir de dioxyde de carbone et d'eau grâce à l'énergie lumineuse ; elle s'accompagne d'un dégagement de dioxygène.

Réservoir (n. m.) : partie d'une enveloppe terrestre où un élément chimique se trouve stocké pendant un temps très variable.

Respiration (n. f.) : fourniture en énergie par oxydation des molécules organiques, en présence de dioxygène, avec libération de dioxyde de carbone.

Stratosphère (n. f.) : couche de l'atmosphère terrestre située entre 10 et 60 km d'altitude.

Exercices

Exercices

Faire le point

1. Citer les principaux gaz qui constituent l'atmosphère.
2. Rappeler les deux origines de ces constituants.
3. Indiquer où et comment se forme l'ozone.
4. Déterminer les conditions pour que la concentration d'ozone soit constante dans la stratosphère.
5. Expliquer pourquoi on peut affirmer que l'ozone provient indirectement des végétaux, et qu'il les protège.
6. Préciser l'action des animaux et des végétaux chlorophylliens sur le dioxyde de carbone atmosphérique.
7. Expliquer pourquoi on peut parler de « cycle du carbone ».
8. Citer trois propriétés des gaz à effet de serre.
9. Citer trois origines des gaz à effet de serre.
10. Préciser à quelles conditions un réservoir de carbone a une masse qui reste constante.

S'entraîner

EXERCICE 1 Un cycle court du carbone

Imaginons une forêt dans laquelle travaille un bûcheron. Celui-ci utilise, après un temps de séchage, les bûches du bois qu'il a coupées pour les brûler dans un foyer. Une cheminée évacue les gaz de combustion. On cherche à déterminer le trajet d'un atome de carbone au long de cette histoire.

1. Rappeler quel type de matière ont besoin les arbres pour leur nutrition.
2. Déterminer où est puisé le carbone absorbé par les végétaux.
3. Préciser où se retrouve le carbone après son absorption par l'arbre.
4. Indiquer si le séchage du bois a un effet sur le carbone.

5. Localiser le carbone après combustion.
6. Mais le bûcheron respire ! Quelle en est la conséquence pour le carbone ?
7. Déterminer si l'on peut parler ici d'un « cycle du carbone ».
8. Réaliser alors un schéma représentant l'atmosphère, le bois et le foyer et la combustion. Noter les relations qui unissent ces éléments.

EXERCICE 2 Un autre cycle : le cycle de l'eau

La majorité de l'eau sur Terre se trouve dans l'océan (96 %). L'énergie solaire transforme l'eau liquide en vapeur. Cette évaporation a lieu principalement au niveau des océans. Les vents distribuent cette vapeur d'eau présente sous forme de nuages. La pluie fait descendre cette eau, qui ruisselle sur les continents et rejoint l'océan. Une partie de l'eau océanique ou de pluie est sous forme de glaces, qui fondront tôt ou tard.

Une fraction de l'eau se trouve dans la lithosphère. Par un phénomène appelé percolation (« infiltration »), l'eau de la lithosphère provient en partie de l'océan. Pour une part, l'eau lithosphérique est éjectée par les volcans continentaux dans l'atmosphère. Mais une autre partie rejoint l'océan par des sources hydrothermales au niveau des dorsales, où se concentrent les volcans sous-marins.

1. Tracer un rectangle pour chaque enveloppe décrite dans le texte.
2. Représenter les flux entre chaque enveloppe par des flèches. Légender votre schéma.
3. Justifier d'une phrase le terme de « cycle de l'eau ».
4. Identifier la quatrième enveloppe, non citée ici, et justifier d'une phrase cette absence.

EXERCICE 3 Les réservoirs et les flux de carbone organique

Les deux tableaux ci-après indiquent des données sur les réservoirs de carbone et sur les flux entre ces réservoirs, c'est-à-dire la valeur des échanges.

On souhaite représenter les réservoirs et les flux sur un même schéma.

Localisation	Forme de stockage	Masse de carbone stocké (en Gt)
Atmosphère	CO ₂	760
Sols terrestres et marins	Molécules organiques	1 600
Êtres vivants	Molécules organiques	600
Roches sédimentaires	Kérogène, charbon, pétrole	10 000 000

Doc. 1 Réservoirs de carbone. Gt = gigatonne (milliard de tonnes). Le kérogène est le liquide à partir duquel se forme le pétrole.

	Valeur des flux (en Gt par an)
Enfouissement et sédimentation	0,05
Mort	30
Fermentation	1
Respiration	30
Photosynthèse	60
Oxydation des sols	29

Doc. 2 Flux entre les réservoirs de carbone.

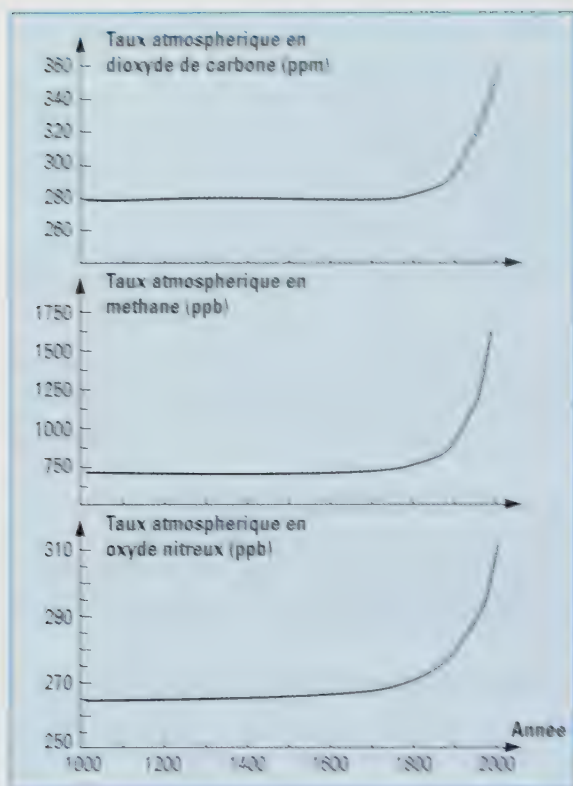
1. Tracer quatre rectangles figurant les quatre réservoirs (les disposer verticalement selon un ordre logique). Représenter les flux entre réservoirs par des flèches légendées.
2. Écrire les équations chimiques simplifiées des trois réactions : photosynthèse, respiration, fermentation.
3. Formuler une remarque sur les valeurs moyennes respectives des masses des réservoirs et des flux.
4. En tirer une conclusion concernant le renouvellement du carbone dans les réservoirs.
5. Montrer que le réservoir de l'atmosphère a une masse de dioxyde de carbone constante.
6. Rechercher l'élément qui ne figure pas dans ces données et qui perturbe ces flux.

EXERCICE 4 Évolution de la composition de l'atmosphère

L'analyse de minuscules bulles d'air piégées dans la glace des calottes polaires du sondage de Vostock (Sibérie) permet de connaître la composition des gaz constituant l'atmosphère depuis plus de 1 000 ans.

Les trois graphiques (page suivante) représentent les données recueillies pour trois gaz peu abondants dans la composition de l'air : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O). Les mesures portent sur le dernier millénaire.

1. Indiquer les valeurs de la concentration de ces trois gaz entre les années 1000 et 1600.
2. Indiquer la valeur en l'an 2000 de la concentration de ces trois gaz.
3. Déterminer à partir de quelle période les concentrations commencent à augmenter (on demande d'indiquer un siècle) et rappeler quel événement dans l'histoire de l'homme est associé à cette période.
4. Formuler une hypothèse pour rendre compte du rapport entre l'histoire humaine et les gaz étudiés dans ces trois graphiques.



Doc. Evolution des taux atmosphériques de CO_2 , CH_4 et N_2O depuis 1000 ans.

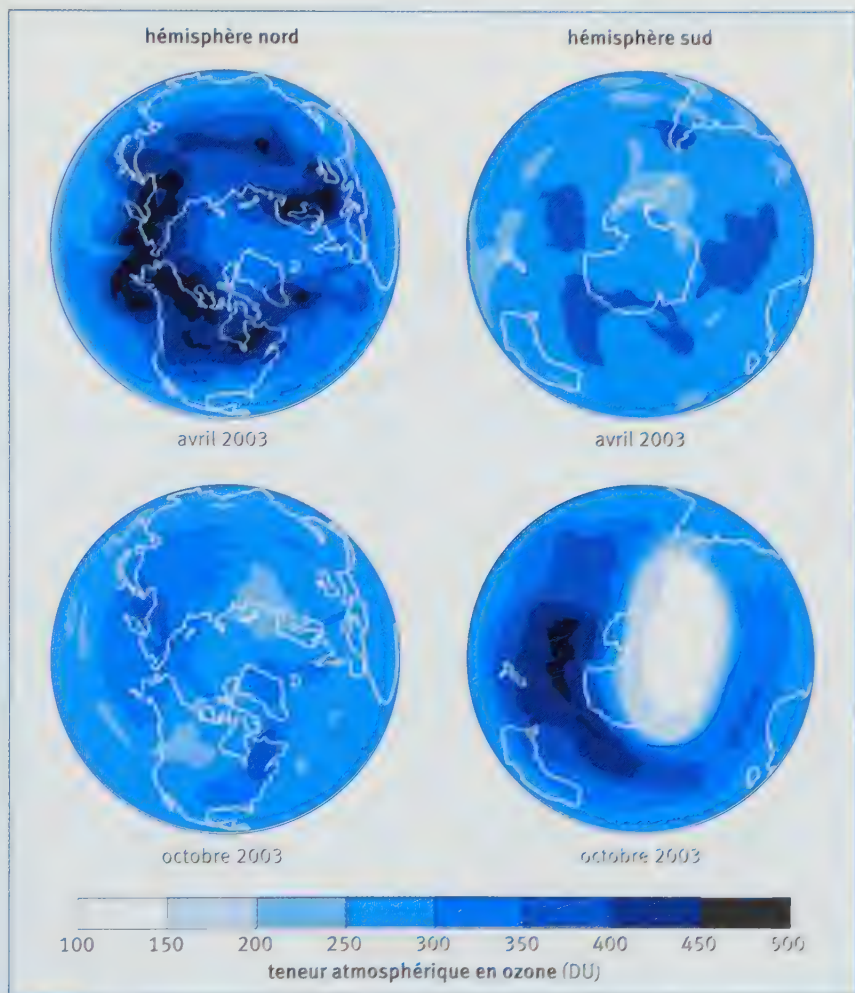
EXERCICE 5 Repartition de l'ozone atmosphérique

Diverses informations issues des satellites permettent de représenter la concentration en ozone stratosphérique à la verticale des hémisphères nord et sud (page suivante).

1. Localiser les minima dans l'hémisphère sud en fonction de la date.
2. Déterminer si le même phénomène existe au-dessus de l'hémisphère nord.

On sait que les CFC détruisent, par réactions chimiques, l'ozone localisé dans la stratosphère. Or, ces substances ont été produites dans l'hémisphère nord, par des activités humaines au niveau du sol, dans la troposphère donc.

3. Montrer que ces faits obligent à poser l'existence d'une circulation verticale et d'une circulation horizontale dans l'atmosphère.

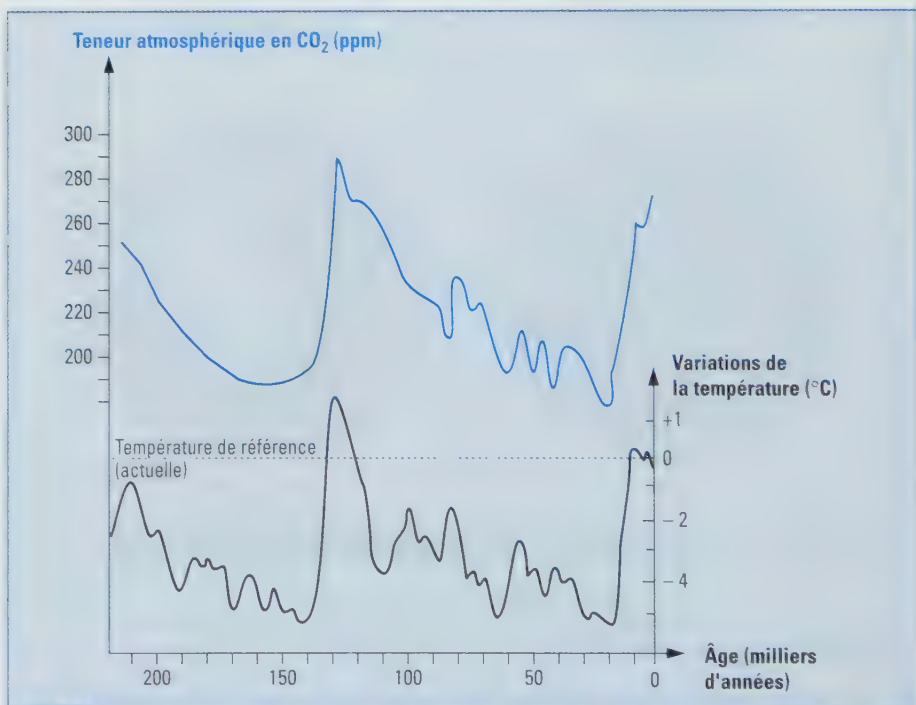


Doc. Cartes de répartition de l'ozone.

Exercices résolus

EXERCICE RÉSOLU 1 Évolution de deux paramètres pendant une longue période*Analyser des documents*

Diverses méthodes fondées sur les techniques physico-chimiques complexes permettent de mesurer la concentration en dioxyde de carbone et la température, ce pour les 200 000 dernières années. Les résultats figurent dans le graphique ci-dessous.



Doc. 11 Évolution de la température et de la concentration en dioxyde carbone depuis 200 000 ans.

Pour la courbe de température, le zéro correspond à la température actuelle (soit 15 $^{\circ}\text{C}$ environ).

1. Indiquer une période pendant laquelle la température moyenne fut plus élevée qu'actuellement. Préciser quelle était cette température et quelle était alors la teneur en CO_2 atmosphérique.
2. Indiquer une période pendant laquelle la température moyenne fut plus basse qu'actuellement.

3. Comparer l'allure des deux courbes et formuler une hypothèse concernant le lien entre les deux facteurs étudiés.
4. On suppose que pendant les deux cents derniers milliers d'années, l'intensité du rayonnement solaire n'a pas varié. Expliquer pourquoi cette supposition est utile pour formuler l'hypothèse précédente.
5. Qu'est-ce qui empêche l'hypothèse émise d'être une conclusion ?

◆ Conseils

- Noter que deux ordonnées représentent deux séries de données différentes.
- Comprendre que chacune des deux courbes renvoie à une seule ordonnée.
- Comprendre que le temps (attention au sens) est le point commun à la représentation graphique.
- Distinguer une hypothèse explicative devant une observation, d'une conclusion.

◆ Solution

1. Il y a 130 000 ans, la température était alors de 2 °C supérieure à l'actuelle (donc 17 °C). Le taux de CO₂ dans l'atmosphère était alors de 290 ppm.
2. La température a toujours été plus basse durant la période étudiée, sauf pendant 10 000 ans, entre 135 000 et 125 000 ans.
3. Les deux courbes ont un tracé parallèle : la température et le taux de CO₂ ont évolué de la même façon, aux mêmes moments. On peut donc faire l'hypothèse que la teneur en CO₂ et la température sont deux phénomènes liés.
4. On aurait pu interpréter ces variations de température comme une variation du rayonnement solaire incident pendant la période étudiée.
5. On met une évidence une relation entre le taux de CO₂ atmosphérique et la température (à rayonnement solaire constant). Mais on ne peut pas déterminer s'il s'agit d'une relation causale : « le taux de CO₂ atmosphérique est responsable de la température » (ou l'inverse), ou de deux paramètres indépendants « température et CO₂ varient de la même façon ».

EXERCICE RÉSOLU 2 L'ozone et les êtres vivants

Restituer ses connaissances

L'ozone est un gaz peu abondant dans l'atmosphère, mais dont la présence permet l'existence des êtres vivants. Expliquer l'origine de l'ozone, préciser ses particularités physiques et sa localisation dans l'atmosphère, puis montrer en quoi sa présence permet la diversité des êtres vivants actuels.

◆ Conseils

- Le plan de la réponse est suggéré par le questionnement.

- Les paragraphes, issus du cours, doivent alors être correctement articulés.
- L'introduction définit les termes et soulève un problème scientifique. La conclusion y répond et ouvre le problème.

◆ Solution

Introduction

L'atmosphère est formée d'air, qui est un mélange gazeux. L'ozone (ou trioxygène, O_3) est une molécule peu abondante, mais dont l'existence conditionne la vie sur Terre. Il s'agit d'expliquer pourquoi.

Développement

1. Origine et particularités physico-chimiques de l'ozone

L'ozone se situe principalement dans la stratosphère (concentration maximale autour de 25 km d'altitude). Ce gaz triatomique se forme par action des ultraviolets (UV) solaires sur les molécules de dioxygène (O_2). Mais l'ozone est instable : il se décompose spontanément en O_2 , par action de ces mêmes UV. Une source d'ozone, mineure, est localisée au sol : les combustions d'origine anthropiques en forment une très faible quantité à basse altitude. Une partie de cet ozone « troposphérique » profite des anticyclones pour rejoindre la stratosphère. Il existe un équilibre entre sa production et sa destruction : sa concentration dans la stratosphère reste globalement constante.

2. Répartition de l'ozone stratosphérique

L'ozone est donc un gaz cantonné dans une tranche élevée de l'atmosphère. L'agent qui en est à l'origine (les UV solaires) est le même que celui qui le détruit. Sa concentration, très faible (de l'ordre de 150 ppb), lui confère une importance quantitative mineure. Même s'il est présent en altitude sur une couche de 40 km d'épaisseur, il n'occuperait au sol que 3 mm. C'est un gaz diffus.

3. Implication de l'ozone dans les phénomènes biologiques

L'importance quantitative mineure de l'ozone est « compensée » par une importance qualitative majeure. En effet, l'ozone stratosphérique empêche (en partie) la pénétration des rayons ultraviolets nocifs pour les êtres vivants. Sans ozone dans la stratosphère, les mutations seraient beaucoup trop fréquentes et la vie sur les continents serait biologiquement impossible. Sans l'ozone stratosphérique, la vie aurait sans doute perduré dans les seuls océans, à l'abri des UV destructeurs.

Conclusion

L'ozone est un gaz « paradoxal » : peu abondant dans l'atmosphère, son rôle est fondamental. Il protège les êtres vivants d'un rayonnement qui le fabrique, et le détruit. Il a rendu possible l'expansion continentale des êtres vivants. Raison de plus pour s'inquiéter d'une éventuelle destruction par les activités humaines de cette « couche protectrice » d'ozone.

L'ADAPTATION DE L'ORGANISME À L'EFFORT

L'activité de l'organisme varie entre le repos et l'effort physique. L'ensemble de l'organisme est impliqué dans ce changement d'activité.

- **1** Comment l'organisme produit-il de l'énergie ?
- **2** Quelles sont les modifications de l'organisme lors d'un effort ?

Quelques rappels

En 5^e et 4^e :

- Les échanges gazeux sont permanents : les organes réalisent avec le sang des échanges qui répondent à leurs besoins. Dans les poumons, des échanges gazeux permanents avec l'air enrichissent le sang en dioxygène et l'appauvrissent en dioxyde de carbone.
- Les mouvements de la cage thoracique permettent le renouvellement de l'air dans l'appareil respiratoire.
- La circulation sanguine établit un lien entre les organes d'approvisionnement (en O₂ et en nutriments) et les autres organes.
- L'organisation du cœur permet une double circulation.
- La circulation du sang s'opère dans des artères et des veines.

En 3^e :

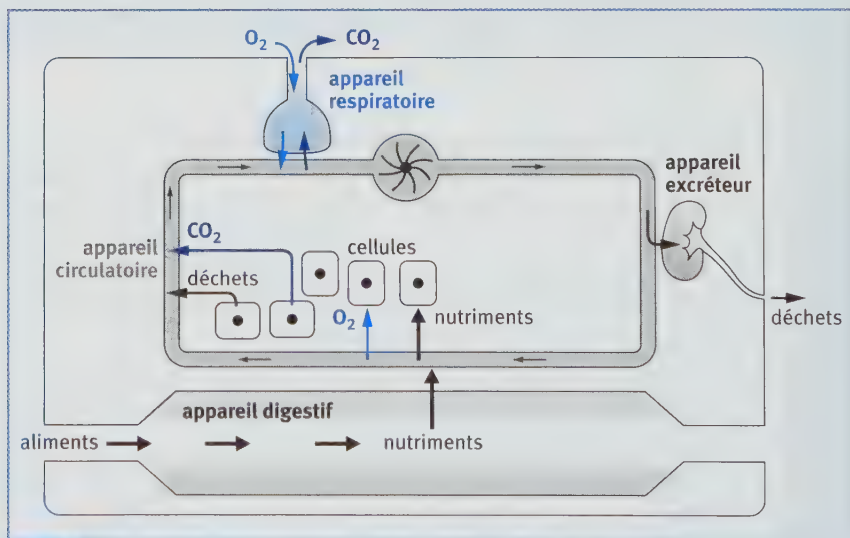
- Le fonctionnement de l'organisme est en relation avec l'activité de ses cellules.
- Les cellules ont besoin de matière et d'énergie.
- Les aliments subissent la digestion qui les transforme en nutriments, absorbés ensuite dans le plasma sanguin.
- Les échanges avec les cellules se font par l'intermédiaire de la lymphe.
- La cellule utilise des nutriments et du dioxygène pour produire de l'énergie.

Les connaissances

Comme tous les êtres vivants, l'organisme humain est formé de **cellules**. Une cellule est la plus petite unité structurale constituant les êtres vivants. Limitée par une membrane, elle possède un **noyau** qui baigne dans le cytoplasme. Des cellules ayant même forme et même fonction forment des **tissus**, qui constituent les **organes**.

Les organes participent au fonctionnement de l'organisme. Ils sont réunis dans des systèmes, ou appareils. Par exemple, l'estomac participe à la digestion et il appartient à l'appareil digestif.

L'être humain, comme tous les animaux, peut modifier son activité en réalisant des efforts physiques. Il s'agit, la plupart du temps, de déplacement de son corps (course, saut) ou de la manipulation d'objets plus ou moins lourds (cartable, haltères). L'effort physique nécessite donc de l'énergie. Un effort est associé à une production de chaleur accrue, qu'il faut alors éliminer pour maintenir constante la température corporelle.



Doc. 1 Le rôle de différents appareils de l'organisme et leurs relations.

Les besoins des cellules

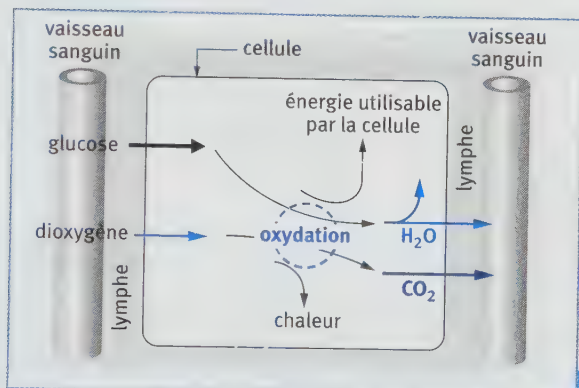
1 La respiration des cellules

Pour satisfaire leurs besoins en énergie, toutes les cellules de l'organisme réalisent la **respiration** cellulaire. Il s'agit d'un ensemble de réactions chimiques entre les **nutriments** (issus de la digestion des aliments et apportés aux cellules

par le sang) et le dioxygène contenu dans l'air inspiré. La respiration est globalement une **oxydation**, qui aboutit à la formation de dioxyde de carbone et d'eau.

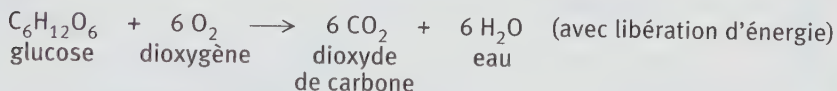


Attention : l'intérêt principal de la respiration réside dans le fait que l'oxydation libère de l'énergie, disponible pour la cellule.



Doc. 2 La respiration cellulaire.

À partir du glucose (nutriment le plus abondant), la réaction peut se résumer ainsi :



Cette réaction s'accompagne inévitablement d'un dégagement de chaleur. Le dioxyde de carbone est pris en charge par le sang avant d'être expulsé au niveau des poumons dans l'air expiré, alors que l'eau se disperse dans la cellule, puis dans l'ensemble de l'organisme.

Ainsi, pour disposer de plus d'énergie, la cellule doit :

- disposer de davantage de nutriments ;
- absorber davantage de dioxygène.

C'est pourquoi un effort, consommateur d'énergie, est associé à une **ventilation** pulmonaire plus rapide.



En toute rigueur, la respiration est l'oxydation des nutriments dans les cellules. Les mouvements de la cage thoracique constituant, eux, la ventilation pulmonaire. L'habitude conduit cependant à nommer respiration les deux phénomènes.

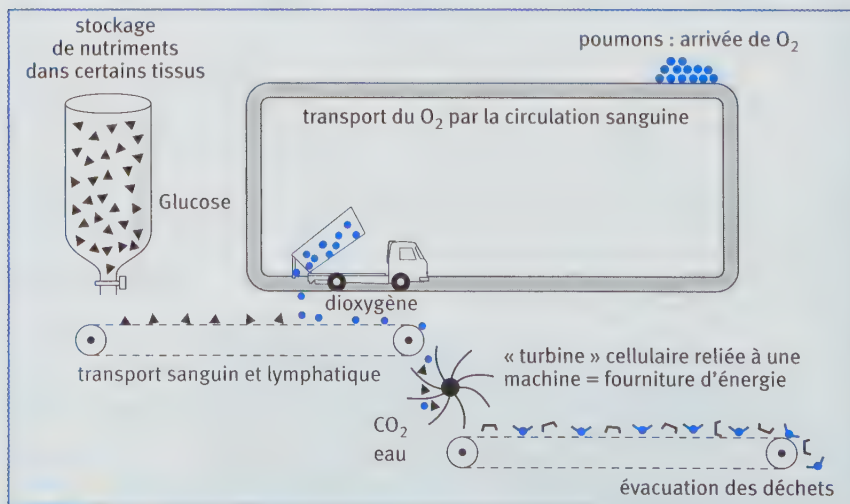
2 Des stocks variables dans l'organisme

La libération d'énergie qui s'effectue dans chaque cellule requiert des nutriments et du dioxygène. L'énergie doit être utilisée immédiatement : elle ne peut être stockée par l'organisme. Il faut donc la produire au moment des besoins, dans chaque cellule.

Les nutriments oxydés par les cellules sont majoritairement issus de la digestion des glucides et des lipides. Ces nutriments peuvent être stockés par l'organisme sous diverses formes. Le glucose est mis en réserve sous forme de glycogène par le foie (300 g), ou par les muscles (150 g). Le tissu adipeux peut contenir jusqu'à 90 % de sa masse en lipides, ce qui représente 15 kg pour un homme de 70 kg. Les nutriments, plus ou moins accessibles, sont donc présents à chaque instant, et l'organisme peut puiser dans ces stocks si son activité le nécessite. Ce stockage est réversible : par exemple, la cellule dégrade en cas de besoin le glycogène en glucose.

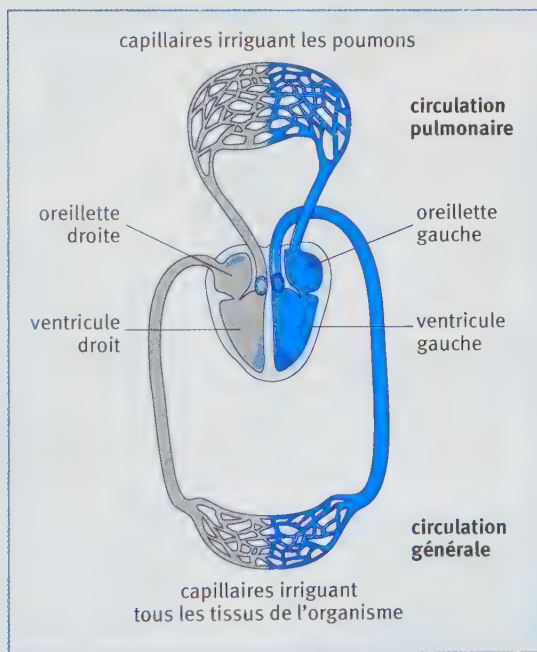
Mais il n'en est pas de même pour le dioxygène. Absorbée au niveau des poumons, la molécule est transportée jusqu'aux cellules par l'hémoglobine, protéine contenue dans les **hématies** du sang. Or, la quantité de dioxygène présente dans le sang est faible : elle assure la respiration des cellules pendant 3 minutes seulement. La faible quantité de dioxygène présente dans le muscle, associée à la myoglobine, n'intervient qu'au début de l'effort. Donc le dioxygène doit être renouvelé à chaque instant (la ventilation pulmonaire est permanente).

Finalement, toute fourniture accrue en énergie liée à l'effort peut se faire grâce aux réserves de nutriments, mais nécessite un apport en dioxygène plus important.



Doc. 3 La « machine énergétique » cellulaire.

Rappels : la circulation sanguine se déroule dans deux circuits (document 4). La circulation générale part du ventricule gauche, irrigue les organes avant de revenir dans l'oreillette droite. La circulation pulmonaire part du ventricule droit, irrigue les poumons avant de revenir dans l'oreillette gauche. Enfin, une circulation coronaire, prélevée sur la circulation générale, irrigue le muscle cardiaque.



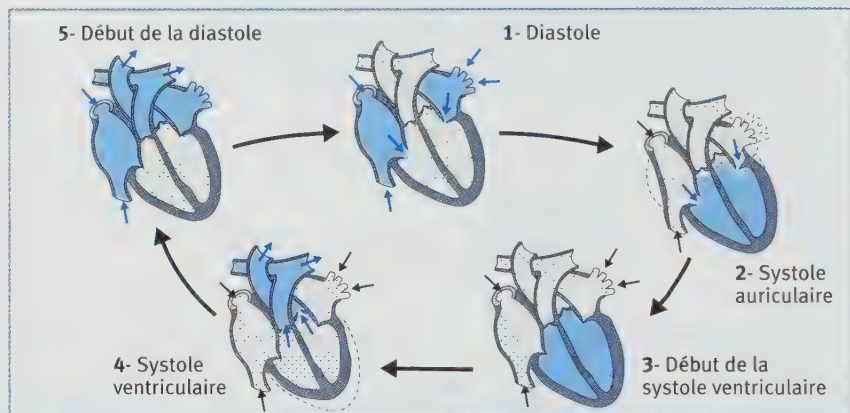
Doc. 4 La circulation sanguine chez les mammifères.

II L'adaptation de l'appareil circulatoire

1 L'activité cyclique du cœur

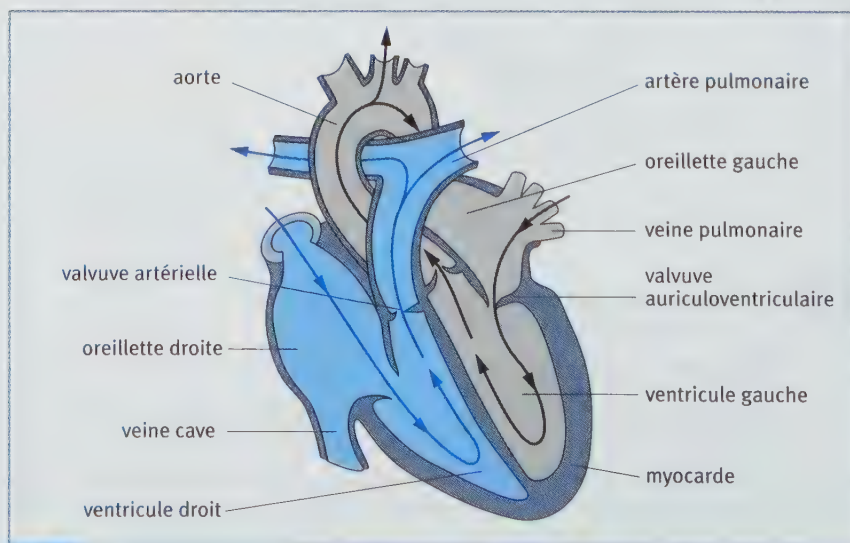
Le cœur, organe creux et cloisonné, est formé par un tissu musculaire (le **myocarde**) qui lui permet de se contracter. Le fonctionnement du cœur est **périodique** : chaque cycle, de durée variable selon les individus, manifeste toujours la même séquence. Le sang emplit les oreillettes, le cœur étant au repos. Puis les oreillettes se contractent : on parle de **systole** auriculaire. Le sang, alors comprimé, est expulsé vers les ventricules. Une fois remplis, les ventricules

se contractent à leur tour : c'est la systole ventriculaire. Lors de la systole ventriculaire, le sang repousse les valvules artérielles, ce qui lui ouvre le passage dans l'**artère**. Le sang ne peut revenir vers les oreillettes dans la mesure où le flux sanguin provoque la fermeture des valvules auriculo-ventriculaires. Puis l'ensemble du cœur revient au repos, c'est la **diastole** générale.



Doc. 5 Le cycle cardiaque.

Du fait de l'organisation du cœur (présence de valvules), le sang a un trajet unique : il circule toujours dans le même sens. De même, les côtés droit et gauche fonctionnent de manière simultanée. On notera enfin la séparation stricte entre le sang enrichi en dioxygène et le sang appauvri en dioxygène.

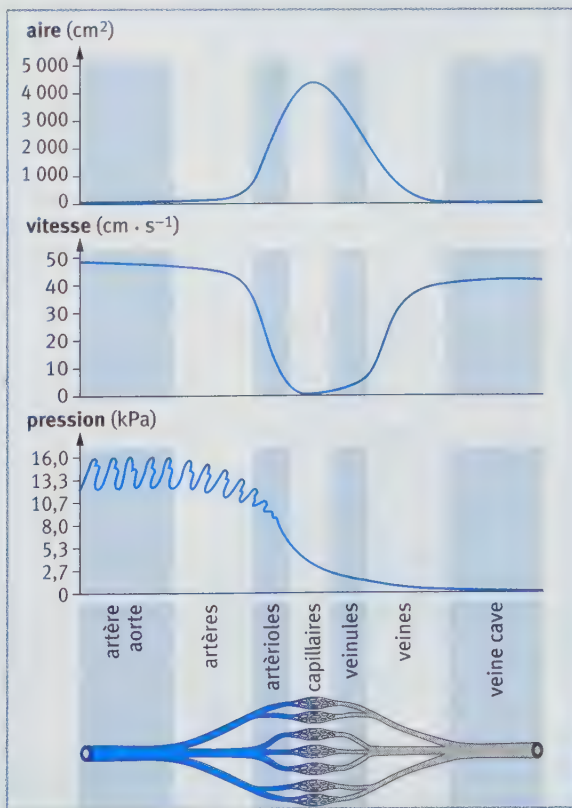


Doc. 6 Une coupe du cœur.

Attention : par définition, une **artère** est un vaisseau qui part du cœur (le sang qu'elle transporte s'éloigne du cœur) et une **veine** est un vaisseau qui ramène le sang au cœur. Il ne faut pas associer « artère » avec sang « rouge » hématosé (riche en dioxygène). Par exemple, l'artère pulmonaire transporte du sang « bleu », appauvri en dioxygène.

2 Les échanges au niveau des capillaires

Rappel : prenons un élément sanguin, par exemple, une hématie. Elle quitte le cœur par une artère qui devient une artériole, elle poursuit son trajet dans des capillaires très fins, et revient au cœur par une veinule, puis une veine. Ce trajet dure, en moyenne, une minute. Des données recueillies lors de ce tour complet sont présentées dans le document 7.



Doc. 7 Divers paramètres de la circulation sanguine.

Le premier graphique du document 7 indique que la section (cumulée) des capillaires est plus de 4 500 fois plus importante que celle des plus gros vaisseaux de l'organisme (artère aorte et veine cave). Or, c'est au niveau des capillaires qu'ont lieu les échanges entre le sang et les tissus. La surface de contact est donc considérable.

Le deuxième graphique montre que la vitesse diminue quand le sang s'éloigne du cœur. Elle est presque nulle dans les capillaires. Ce second facteur favorise également les échanges entre le sang et les tissus.

Le troisième graphique atteste que la pression diminue quand on s'éloigne du cœur et que l'aspect pulsatile de la circulation (matérialisé par les oscillations de la pression dans les artères) disparaît rapidement : le flux sanguin dans les tissus est régulier, continu et à faible pression.

Le schéma décrit une circulation en parallèle : le sang ne passe pas systématiquement dans tous les vaisseaux. Cette disposition permet un apport préférentiel aux muscles en activité.



Cette circulation en parallèle est analogue aux circuits électriques de même nom, les propriétés en sont identiques : conservation de la tension (pression sanguine) et division de l'intensité (débit sanguin) entre les différentes branches (capillaires sanguins) du circuit.

La structure des vaisseaux facilite donc les échanges entre le sang et les cellules : surface de contact élevée, vitesse de passage faible, paroi vasculaire fine. Ainsi, les cellules sont **perfusées** régulièrement par l'apport sanguin.

3 Modifications de l'apport sanguin selon les besoins

La fréquence cardiaque (nombre de battements par minute) est plus faible au repos que lors d'un effort. Lors d'un exercice physique, le débit cardiaque (flux sanguin qui traverse le cœur en une minute) augmente. Le débit cardiaque (D. C.) est obtenu en multipliant la fréquence cardiaque (F. C.) par le volume d'éjection systolique (V. E. S., qui est le volume de sang éjecté à chaque systole ventriculaire) :

$$D. C. (L.min^{-1}) = F. C. (nombre.min^{-1}) \times V. E. S. (L)$$

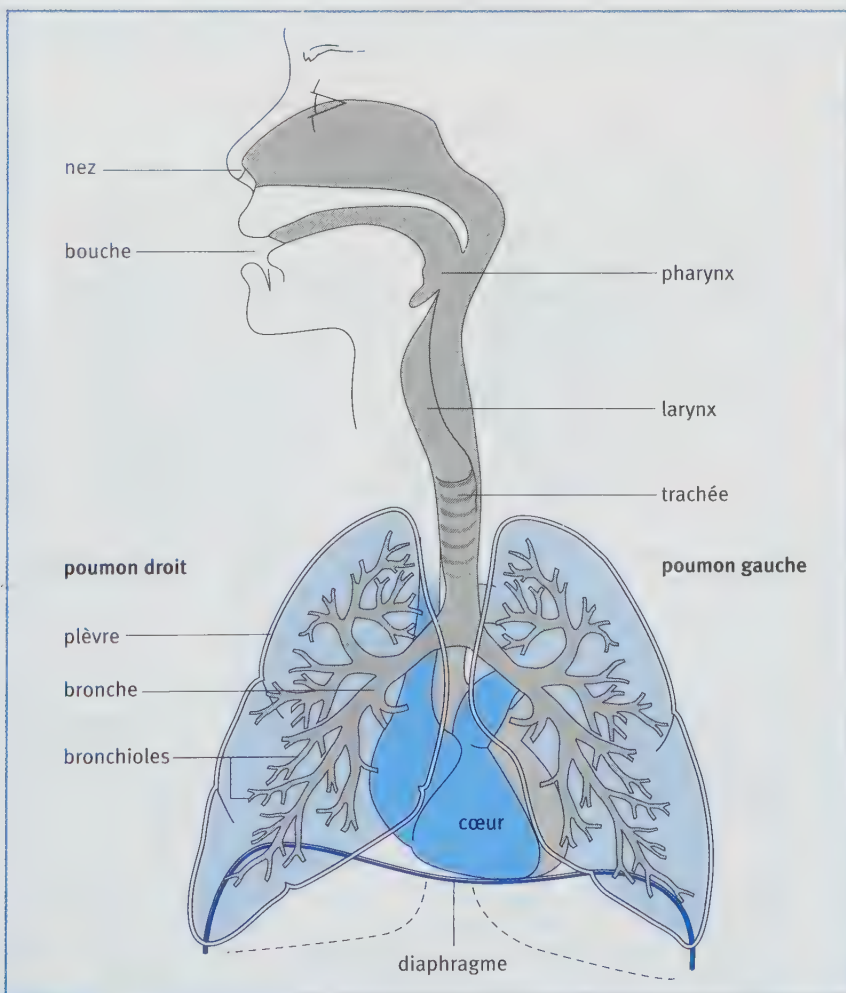
Le débit cardiaque, au repos, est de l'ordre de 5 L.min⁻¹. Lors d'un effort physique, cette valeur peut être jusqu'à cinq fois plus élevée.

L'apport sanguin aux tissus musculaires peut également être modifié grâce à l'**adaptation** des capillaires. En effet, au repos, 90 % des capillaires sanguins irriguant les muscles sont fermés par des cellules musculaires. On parle de vasoconstriction des vaisseaux. Pendant l'activité musculaire, des capillaires s'ouvrent par relâchement de ces cellules musculaires (vasodilatation). Alors, les muscles reçoivent un supplément en nutriments et en dioxygène. Tous les capillaires de l'organisme ont la possibilité de modifier ainsi leur diamètre.



L'adaptation de l'appareil respiratoire

La ventilation représente l'entrée d'air (lors d'une inspiration) et la sortie d'air (lors d'une expiration) qui accompagnent les mouvements de la cage thoracique contenant les poumons. Entré par le nez ou la bouche, l'air passe dans la trachée, puis dans les bronches avant d'arriver dans les alvéoles pulmonaires qui constituent l'ensemble du poumon.



Doc. 8 L'appareil respiratoire.

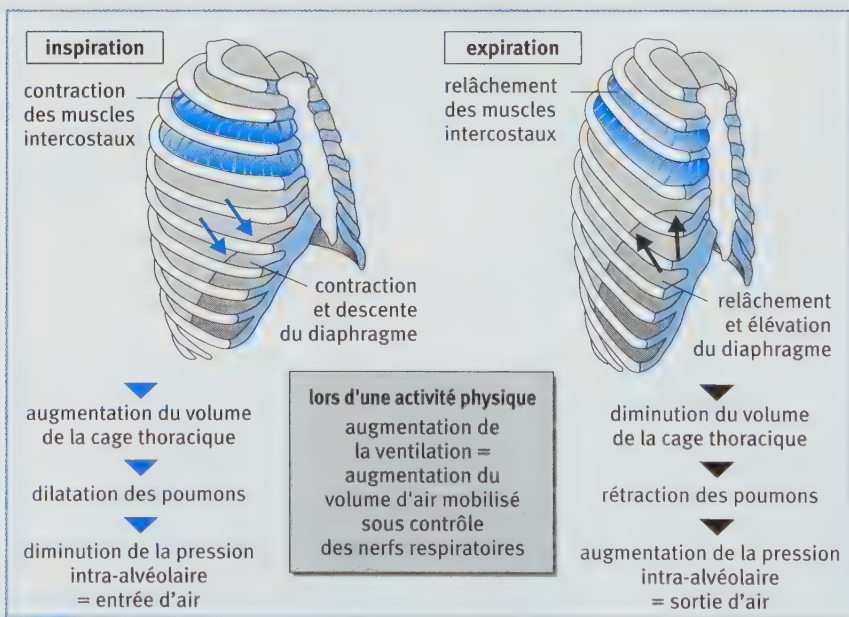
1 La mécanique ventilatoire

Les poumons droits et gauches sont intimement liés aux côtes et au diaphragme par un tissu, la plèvre. Les poumons sont mis en mouvement par la déformation de la cage thoracique, « boîte » formée par le diaphragme en bas et les côtes latéralement, les clavicules et les omoplates au-dessus.

Lors d'une inspiration, des muscles intercostaux écartent les côtes ; le diaphragme se contracte également, ce qui provoque son abaissement. Le volume de la cage thoracique augmente. Les poumons subissent un étirement, ce qui entraîne un appel d'air : les poumons s'emplissent d'air.

Lors de l'expiration, les muscles intercostaux et le diaphragme se relâchent. Par élasticité, le volume des poumons est alors réduit. L'air est comprimé et chassé vers l'extérieur.

Au repos, l'inspiration est le seul mouvement actif, alors que l'expiration, passive, ne demande aucune énergie.



Doc. 9 La mécanique ventilatoire.

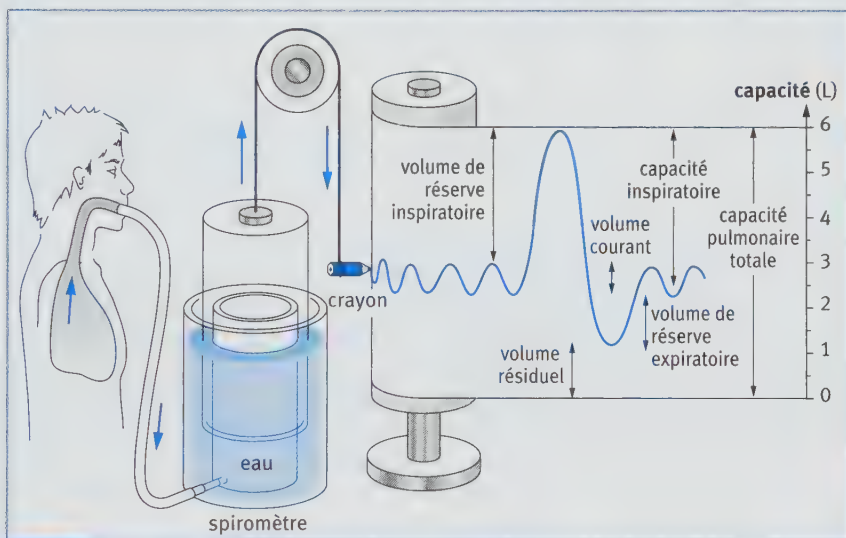
2 Les volumes mis en jeu

Les volumes respiratoires peuvent être mesurés avec un spiromètre (éventuellement en ExAO). Au repos, on mesure le volume courant (V. C.), qui est le volume d'air brassé de manière involontaire.

On peut inspirer volontairement « au maximum » : on mesure alors le volume inspiratoire de réserve (V. I. R.). On peut également expirer volontairement « au maximum » : on mesure alors le volume expiratoire de réserve (V. E. R.). Mais il reste toujours un volume inaccessible dans les poumons (air que l'on ne peut pas expulser), c'est le volume résiduel (V. R.). Celui-ci dépend de l'âge, de la taille et du sexe de l'individu. Ce volume résiduel empêche les poumons de se coller lors de l'expiration.

La spirométrie permet de calculer la capacité pulmonaire totale (C. P. T.), somme des volumes cités précédemment.

$C. P. T. = V. C. + V. I. R. + V. E. R. + V. R.$ (litres).



Doc. 10 Mesure de la capacité respiratoire chez l'homme.

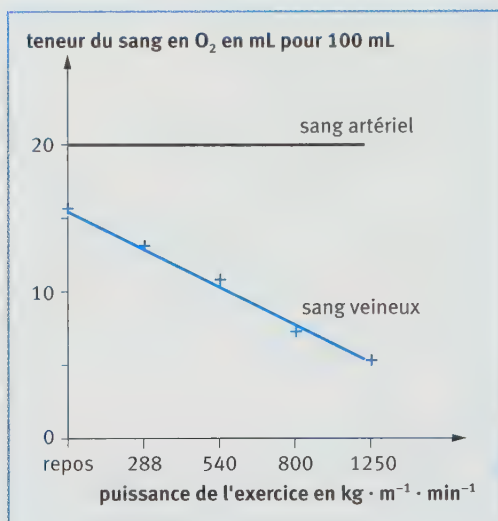
3 Variations de l'apport en dioxygène selon les besoins

Le volume d'air brassé par les poumons est donc modulable et l'apport en dioxygène contenu dans l'air peut varier selon les circonstances. On définit le débit ventilatoire (D. V.) comme le produit de la fréquence ventilatoire (F. V.) par le volume courant (V. C.) :

$$D. V. (L.min^{-1}) = F. V. (nombre\ min^{-1}) \times V. C. (L).$$

Le débit ventilatoire au repos est de l'ordre de 4 litres par minute.

Sachant que l'air contient 21 % (en volume) de dioxygène, on peut mesurer la quantité de ce gaz présente dans le sang entrant (sang artériel) et sortant (sang veineux) d'un muscle au repos et pendant un exercice de puissance croissante.



Doc. 11 Teneur du sang en O_2 selon la puissance de l'exercice, à l'entrée et à la sortie d'un muscle.

Le graphique du document 11 montre que le sang artériel est constamment saturé en O_2 , quelle que soit l'intensité de l'effort. Cela signifie que, en toutes circonstances, le sang sortant des poumons contient le maximum de dioxygène (toute l'hémoglobine est alors sous forme d'oxyhémoglobine).

En revanche, le sang veineux (qui vient de passer dans les tissus) présente une teneur en dioxygène variable : la quantité de dioxygène libérée par l'oxyhémoglobine dépend de la puissance de l'exercice.

N. B. : on peut lire la quantité de dioxygène prélevée en mesurant la hauteur séparant les deux courbes, à une puissance donnée :

- au repos, $20 - 15 = 5$ mL de dioxygène pour 100 mL de sang entre dans les cellules ;

- à la puissance maximale de l'exercice, $20 - 5 = 15$ mL de dioxygène passe du sang vers les cellules.

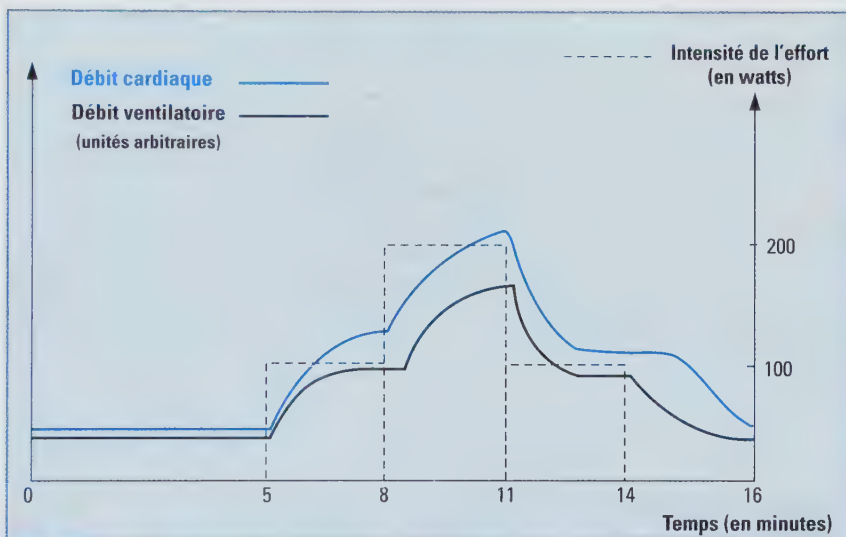
Le prélèvement (c'est-à-dire la consommation de dioxygène) est alors $15 / 5 = 3$ fois plus important lors d'un exercice à puissance maximale qu'au repos.

IV L'adaptation à l'effort

1 La nécessité de l'adaptation

Avec l'exercice physique, la circulation sanguine et l'activité ventilatoire varient. Les deux appareils sont couplés : il est évident qu'un apport sanguin supplémentaire (travail de l'appareil circulatoire) n'a d'intérêt que si une fixation

supplémentaire de dioxygène intervient (travail de l'appareil respiratoire). Ces variations d'activité sont en partie proportionnelles à l'effort. Ces adaptations permettent aux cellules musculaires de recevoir un supplément en nutriments et en dioxygène, nécessaire à la production d'énergie demandée par l'augmentation de leur activité.



Doc. 12 Variation de deux paramètres selon l'activité : le débit cardiaque et le débit ventilatoire.

2 Les conditions de l'adaptation

Il faut cependant distinguer deux sortes d'adaptations selon le temps considéré.

- Lorsque l'on passe du repos à un exercice d'intensité croissante, l'adaptation est rapide et d'une durée sensiblement égale au temps de l'effort. Les modifications physiologiques ont été signalées : augmentation du débit cardiaque et du débit ventilatoire, modifications de la circulation dans les capillaires de tous l'organisme, épuisement des stocks glucidiques facilement disponibles (comme le glycogène). La fin de l'activité marque le retour aux constantes physiologiques préalables. C'est une adaptation à court terme.

- Une adaptation à long terme peut également intervenir : elle résulte de l'entraînement constant et régulier des sportifs. Cette adaptation est longue à acquérir et conduit à la modification durable des constantes physiologiques :

ralentissement des rythmes cardiaque et ventilatoire, capacité pulmonaire totale augmentée, plus grande réactivité immédiate lors de l'effort (les débits cardiaque et ventilatoire sont ainsi rapidement augmentés).

L'adaptation de l'organisme à l'effort présente toutefois des limites physiologiques que l'entraînement ne peut pas repousser indéfiniment : il ne peut y avoir une augmentation constante des performances de l'être humain.

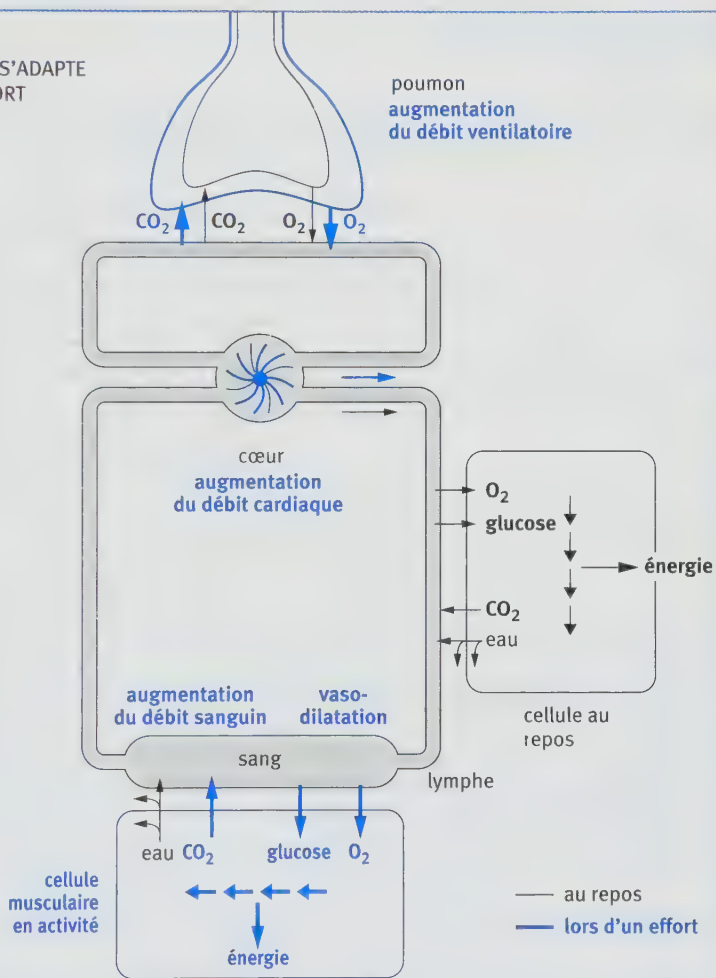
L'adaptation est un phénomène biologique qui tend à ramener les constantes physiologiques à leur valeur initiale après une perturbation. De fait, les conditions de vie de chacune des cellules de l'organisme sont maintenues constantes. Pour mettre en œuvre cette constance, les appareils (les systèmes) agissent de manière coordonnée.

Enfin, soulignons que le phénomène d'adaptation est un très général en biologie : les animaux, comme l'homme, peuvent modifier – involontairement et inconsciemment – leur organisme à des facteurs de l'environnement : les hautes (et les basses) températures, la diminution de la pression de dioxygène avec l'altitude...

le bilan

- Certains nutriments issus de la digestion peuvent être mis en réserve par l'organisme, sous différentes formes (par exemple, le glycogène est la forme de stockage réversible du glucose). Les cellules puisent dans ces stocks et, par la respiration cellulaire, oxydent les nutriments pour fournir l'énergie dont elles ont besoin pour leur fonctionnement.
- La respiration cellulaire nécessite du dioxygène, provenant de l'air inspiré et apporté aux cellules par l'appareil circulatoire, de manière continue car le dioxygène ne peut pas être stocké par l'organisme.
- Les besoins des cellules dépendent de leur activité (plus l'effort physique est intense, plus les besoins sont grands). Les apports en nutriments et en dioxygène sont régulés grâce à l'adaptation des appareils circulatoires et respiratoire, rendue possible par les caractéristiques anatomiques et fonctionnelles de ces organes.
- L'adaptation, phénomène général de la biologie, est le fait d'une modification de l'activité des organes en fonction de facteurs variables de l'environnement. Elle permet, dans certaines limites, de maintenir les conditions optimales de survie de toutes les cellules de l'organisme.

L'ORGANISME S'ADAPTE
À L'EFFORT



les mots-clés

Adaptation (n. f.) : mécanisme biologique qui tend à permettre la survie des individus dans un milieu, dans des conditions données.

Artère (n. f.) : vaisseau transportant le sang hors du cœur.

Débit (n. m.) : volume transporté par unité de temps (unité : litre par minute).

Diastole (n. f.) : période du cycle cardiaque qui correspond au repos des oreillettes ou des ventricules ; diastole générale : période de repos du myocarde.

Hématie (n. f.) : cellule dépourvue de noyau présente dans le sang et qui a pour rôle de transporter le dioxygène grâce à une protéine, l'hémoglobine. Synonymes : globule rouge, érythrocyte.

Myocarde (n. m.) : tissu musculaire formant les parois du cœur.

Nutriment (n. m.) : molécule résultant de la digestion des aliments dans le tube digestif.

Oxydation (n. f.) : réaction chimique qui conduit à la destruction d'une molécule en présence de dioxygène (sens restreint, ici, tel qu'il est employé dans ce chapitre). Une oxydation libère de l'énergie.

Perfusion (n. f.) : apport continu et régulier des substances indispensables aux cellules par le liquide d'origine sanguine.

Période (n. f.) : temps au bout duquel un phénomène se reproduit identique à lui-même.

Respiration (n. f.) : ensemble des phénomènes qui permettent l'apport de dioxygène aux cellules, son utilisation cellulaire, ainsi que l'élimination du dioxyde de carbone.

La respiration cellulaire qualifie plus précisément l'ensemble des réactions chimiques qui conduit à l'oxydation des nutriments dans les cellules.

Systole (n.f) : période de la pulsation cardiaque qui correspond à la contraction soit des oreillettes, soit des ventricules ; systole générale : période de contraction du cœur.

Veine (n. f.) : vaisseau transportant le sang vers le cœur.

Ventilation (n. f.) : ensemble des phénomènes mécaniques de la cage thoracique qui assurent le renouvellement de l'air pulmonaire. Succession d'inspirations et d'expirations.

Exercices

Exercices

Faire le point

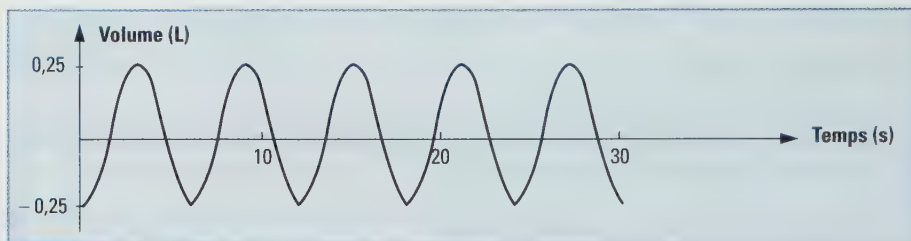
1. Définir les termes : appareil, organe, tissu.
2. Indiquer l'origine de l'énergie cellulaire.
3. Expliquer la phrase : « la cellule est autonome en énergie ».
4. Expliquer le lien entre l'activité physique et la respiration cellulaire.
5. Déterminer la différence entre l'état des stocks en dioxygène et celui des stocks en nutriments.
6. Définir les termes « diastole » et « systole ». Préciser ce qu'est la systole ventriculaire.
7. Donner la définition du volume d'éjection systolique.
8. Définir le débit cardiaque.
9. Expliquer le mécanisme de l'entrée de l'air dans les poumons.
10. Expliquer pourquoi la fixation du dioxygène par le sang est dite réversible.
11. Donner une explication au calcul du débit ventilatoire.
12. Décrire le trajet et le mode de transport du dioxygène des poumons vers les cellules.
13. Définir l'expression : « adaptation de l'organisme à l'effort ».

S'entraîner

EXERCICE 1 Étude d'un spirogramme

Voici un spirogramme (page suivante), c'est-à-dire un enregistrement graphique de la ventilation tel qu'il est possible de le réaliser avec l'appareil décrit sur le document 10, p. 79.

Le sujet est au repos depuis un certain temps ; on lui demande « respirer normalement ».

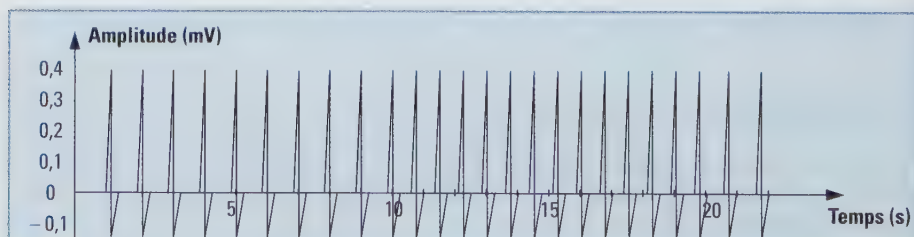


Doc. Spirogramme d'un sujet au repos.

1. Expliquer à quoi correspond une oscillation visible sur cet enregistrement.
2. Déterminer graphiquement l'amplitude d'une oscillation. En déduire le volume qu'elle représente.
3. En tenant compte des conditions de mesure, nommer ce volume représenté.
4. Déterminer graphiquement la durée d'une oscillation. Calculer alors le nombre d'oscillation dans une minute.
5. Nommer le résultat précédemment obtenu.
6. Rappeler le mode de calcul du débit ventilatoire. Retrouver dans les réponses précédentes les valeurs nécessaires à son calcul. Calculer alors le débit ventilatoire de ce sujet au repos.
7. Imaginer un moyen pour déterminer si la phase ascendante d'une oscillation correspond à une expiration ou à une inspiration.

EXERCICE 2 L'électrocardiogramme

Voici un électrocardiogramme, enregistrement de l'activité électrique du cœur. Un « pic » correspond à un battement cardiaque. Le sujet est maintenu au repos pendant un certain temps, puis entre $t_1 = 10$ s et $t_2 = 20$ s, on lui demande de réaliser un exercice simple : soulever deux haltères de 2 kg toutes les 2 secondes.



Doc. Électrocardiogramme.

1. Indiquer une propriété graphique de l'amplitude des activités électriques cardiaques enregistrées.
2. Déterminer le facteur qui varie sur cet enregistrement.
3. Calculer le nombre de battement cardiaque pendant 10 secondes au repos avant l'effort, puis pendant l'effort.
4. Calculer alors la fréquence cardiaque dans les deux situations.
5. D'autres mesures indiquent que le volume pulsé à chaque systole est de 70 mL au repos et de 80 mL pendant l'effort. Préciser le nom de ce volume estimé.
6. Après avoir rappelé le mode de calcul du débit cardiaque, calculer alors sa valeur dans les deux situations.
7. Estimer le facteur d'augmentation entre les deux activités. Justifier cette constatation.

EXERCICE 3 Variation de débits

Le tableau ci-dessous récapitule la distribution du débit sanguin aux divers organes au repos, et lors d'un exercice.

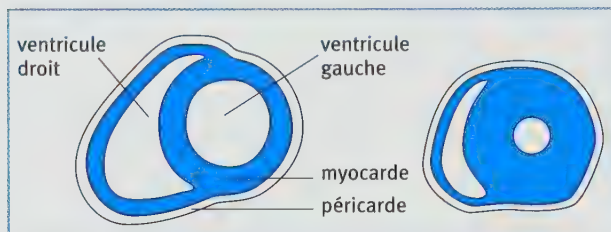
	Distribution du débit sanguin (mL.min ⁻¹)	
	Repos	Exercice
Cerveau	750	750
Cœur	250	750
Muscles	1 200	12 500
Peau	500	1 900
Reins	1 100	600
Abdomen	1 400	600
Autres	600	400
TOTAL	5 800	17 500

Doc. Variation de la distribution du sang aux organes au repos et lors d'un exercice.

1. Faire la liste des organes dont le débit sanguin augmente, ceux dont le débit diminue, et ceux dont le débit reste constant lorsque le sujet passe du repos à l'exercice.
2. Proposer une explication à l'augmentation du débit sanguin dans certains organes.
3. Proposer un mécanisme biologique qui permet ces variations.
4. Préciser si l'exercice peut durer longtemps.
5. Sachant que cet individu a un volume sanguin de 5 litres, déterminer l'évolution de la vitesse de circulation au repos et lors de l'exercice.
6. Montrer que l'organisme agit de manière coordonnée en fonction des circonstances.

EXERCICE 4 Deux ventricules inégaux

Les schémas ci-dessous proposent une coupe transversale du cœur, au niveau des ventricules.



Doc. Coupe transversale du cœur à deux moments du cycle. Le péricarde est l'enveloppe du cœur.

1. Déterminer le schéma qui correspond à la diastole et celui qui correspond à la systole. Justifier votre réponse.
2. Comparer l'épaisseur de la paroi musculaire (appelée myocarde) du ventricule droit et celle du ventricule gauche.
3. À l'aide vos connaissances sur la circulation sanguine, justifier cette observation.

EXERCICE 5 Ventilation et efficacité alvéolaire

Les échanges entre l'air et le sang interviennent dans les poumons, au niveau des alvéoles pulmonaires. Seul l'air arrivant dans ces alvéoles peut échanger avec le sang. Mais l'appareil respiratoire (larynx, trachée, bronches – voir document 8, p. 77) contient aussi de l'air. Aussi, dans les calculs, il convient d'éliminer cet air « inutile », l'espace mort (noté E. M.). Il correspond à l'air qui entre, par exemple, dans la gorge lors d'une inspiration pour en ressortir à l'expiration suivante, sans aller jusqu'aux alvéoles.

On a vu que $D. V. = F. V. \times V. C.$ Il faut, pour être plus précis, écrire :

$D. V. = F. V. \times (V. C. - E. M.).$ E. M. est fixe, de l'ordre de 150 mL chez un adulte.

On cherche dans cet exercice l'importance de l'espace mort, négligé jusque-là.

1. Déterminer « algébriquement » quelles sont les deux méthodes possibles pour augmenter le débit ventilatoire.
2. Indiquer à quoi correspondent biologiquement ces deux possibilités.
3. Envisageons deux cas :
 - un individu ventile plus vite pour augmenter son débit ventilatoire (à volume courant constant) : il « halète ».
 - ce même individu, ventile plus profondément (à fréquence ventilatoire constante) pour obtenir le même effet.

En utilisant l'équation qui prend en compte l'espace mort, montrer que l'effet ne sera pas identique.
4. En tirer une conséquence biologique utile pour les sportifs.

EXERCICE 6 Évolution de la fréquence cardiaque

On cherche à représenter schématiquement les périodes de diastole et de systole auriculaires et ventriculaires, puis à comprendre comment le cœur peut augmenter sa fréquence de pulsation.

On fournit les données suivantes, obtenues sur un sujet au repos, puis chez le même sujet lors d'un exercice modéré :

		Durée (s)
Au repos	Systole auriculaire	0,2
	Systole ventriculaire	0,3
	Diastole générale	0,5
Lors d'un exercice	Systole auriculaire	0,2
	Systole ventriculaire	0,3
	Diastole générale	0,2

1. Réaliser un schéma de la manière suivante :

a. Représenter trois axes horizontaux parallèles qui représenteront :

- première ligne : durée des événements dans l'oreillette ;
- deuxième ligne : durée des événements dans le ventricule ;
- troisième ligne : durée des événements pour l'ensemble du cœur.

Les trois segments seront alignés, c'est-à-dire que l'origine des temps est sur la même verticale.

b. Représenter sur chaque ligne chacun des événements mesurés dans le tableau par des segments de longueur proportionnelle à la durée de l'événement. On donne l'échelle : 1 seconde = 5 cm.

c. Appliquer ces consignes dans le cas de l'activité cardiaque lors du repos et dans le cas de cette activité lors de l'effort.

2. Estimer sur le schéma la durée d'un cycle cardiaque (qui est la durée totale d'un battement cardiaque). Déterminer d'autre part cette durée à partir des données du tableau. Calculer la fréquence cardiaque au repos et lors de l'exercice.

3. Déterminer graphiquement et par les données du tableau la période de repos du cœur dans chaque cas.

4. Rédiger une conclusion rendant compte de l'accélération de la fréquence cardiaque lors de l'effort.

EXERCICE 7 Activités sportives et activité cardiaque

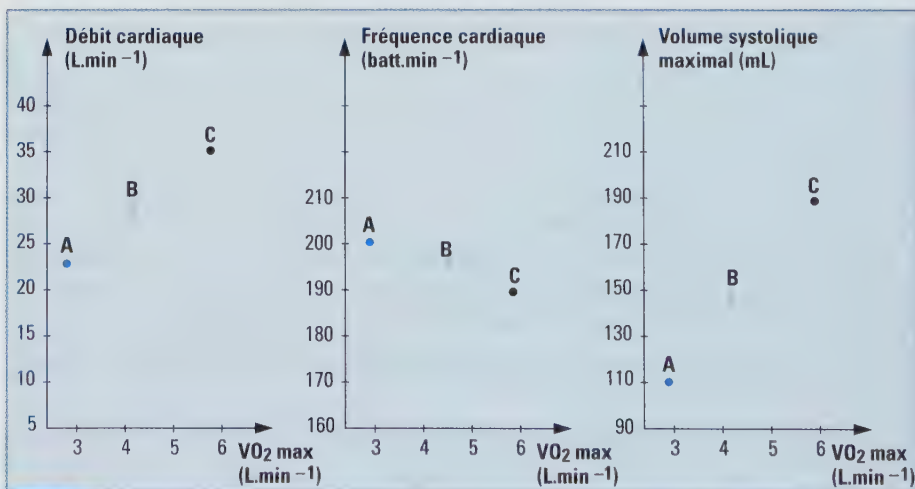
On considère trois groupes de sujets de mêmes caractéristiques physiques (masse, taille, âge, sexe).

Ceux du groupe A ne pratiquent aucun sport. Ceux du groupe B pratiquent régulièrement des sports. Ceux du groupe C sont des athlètes spécialisés d'épreuves de fond.

On fait pédaler chacun d'entre eux dans des conditions identiques. On leur demande de fournir l'effort maximal dont ils sont capables. À cet effort maximal correspond une consommation de dioxygène, maximale elle-aussi, notée $VO_2 \text{ max}$ (exprimée en $L \cdot \text{min}^{-1}$) que l'on mesure (document 1).

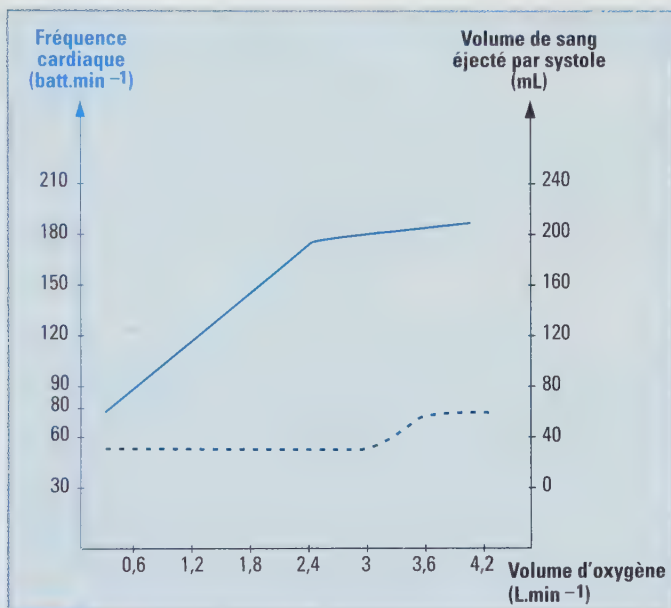
Le document 2 montre les résultats obtenus avec les sujets du groupe B au cours d'un exercice d'intensité croissante les conduisant à l'épuisement.

1. Rappeler ce que représentent la fréquence cardiaque, le volume systolique, le débit cardiaque.
2. Pour chaque groupe, étudier les facteurs responsables de l'évolution du débit cardiaque. En tirer une conclusion.
3. Dédurre de cette analyse les bénéfices, pour le cœur, d'une activité sportive.
4. À partir du doc. 2, établir une relation entre l'effort musculaire et l'activité cardiaque.



Doc. 1 Évolution de différents paramètres avec l'intensité de l'effort pour trois groupes d'individus.

Sur chaque graphique, un point représente une moyenne des mesures de chaque groupe.



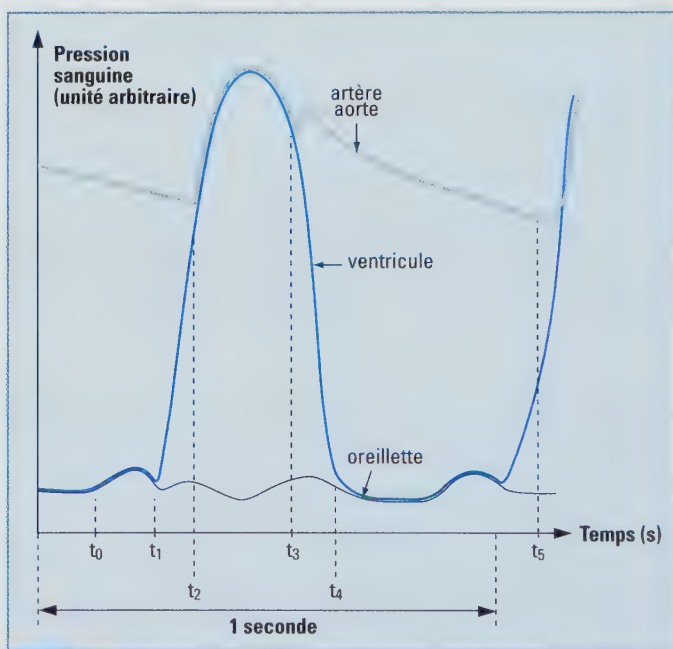
Doc. 2 Variation de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique en fonction d'un effort d'intensité croissante.

Exercices résolus

EXERCICE RÉSOLU 1 L'activité cardiaque

Analyser des documents

La pression sanguine peut être mesurée dans les oreillettes, les ventricules, aussi bien que dans l'aorte. Le document 1 produit les résultats obtenus lors d'un cycle cardiaque.



Doc. 1 Mesure de la pression dans le cœur et l'aorte au cours d'un cycle cardiaque.

On représente d'autre part l'état des valvules auriculo-ventriculaires et des valvules artérielles au cours de ce même cycle cardiaque (document 2).

	Diastole générale	Systole auriculaire	Début de systole ventriculaire	Systole ventriculaire	Fin de systole ventriculaire
Valvules auriculo-ventriculaires	Fermées	Ouvertes	Fermées	Fermées	Fermées
Valvules artérielles	Fermées	Fermées	Fermées	Ouvertes	Fermées

Doc. 2 État des valvules cardiaques à différents moments du cycle cardiaque.

1. Rappeler la localisation des valvules citées dans le tableau et rappeler leur rôle.
2. Calculer graphiquement la durée d'un cycle cardiaque. En déduire la fréquence cardiaque.
3. Indiquer comment on repère sur le graphique la systole auriculaire, puis la systole ventriculaire.
4. Décrire le trajet du sang lors de la systole auriculaire.
5. Déterminer l'état des valvules en début de systole ventriculaire ; en tirer une conséquence observable sur le graphique.
6. Donner une explication au fait que la pression augmente à certains moments dans l'aorte.
7. D'après le graphique, déterminer si la systole ventriculaire correspond totalement à l'expulsion du sang hors du ventricule. Préciser le moment de l'expulsion du sang dans l'aorte.
8. Déterminer quelle est la condition concernant la pression sanguine pour que la valvule artérielle s'ouvre d'une part, puis se ferme ensuite.
9. Montrer alors que les valvules artérielles ont un rôle passif, mais indispensables.

◆ Conseils

- Revoir les étapes de la contraction cardiaque, la définition des mots présentés dans le tableau.
- Se souvenir que le cœur est symétrique : les parties droite et gauche évoluent en même temps.
- Associer systole (contraction) avec augmentation de pression.
- Un fluide (ici le sang) va des zones de haute pression vers les régions de basse pression.

◆ Solution

1. Les valvules auriculo-ventriculaires séparent l'oreillette du ventricule. Les valvules artérielles sont situées entre les ventricules et les artères aorte et pulmonaire. Les valvules cardiaques s'opposent au reflux sanguin.
2. Une seconde est représentée par 6 cm. L'intervalle qui sépare deux moments identiques (par exemple, deux minima aortiques successifs $t_2 - t_1$) mesure 4,5 cm. La durée

d'un cycle (sa période) est donc de $4,5 / 6 = 0,75$ seconde. La fréquence cardiaque est alors de $1 / 0,75 \times 60 = 80$ pulsations par minute.

3. La systole auriculaire correspond à la contraction de l'oreillette, la pression dans l'oreillette augmente alors : cela correspond au temps $t_0 - t_1$. La systole ventriculaire correspond à la contraction du ventricule, la pression dans le ventricule augmente donc : cela correspond au temps $t_1 - t_4$.

4. Lors d'une systole auriculaire, la contraction de l'oreillette expulse le sang vers le ventricule à travers la valvule auriculo-ventriculaire ouverte.

5. Au début de la systole ventriculaire, les deux valvules sont fermées : la pression augmente dans le ventricule car le sang ne peut « s'échapper ». C'est ce que l'on observe entre t_1 et t_2 .

6. Pour que la pression augmente dans l'aorte, il faut que le sang soit expulsé hors du ventricule pendant la systole ventriculaire.

7. L'augmentation de la pression dans l'aorte ne concerne qu'une faible partie du temps de la systole ventriculaire. Le sang n'entre dans l'aorte qu'entre t_2 et t_3 .

8. Le sang n'est injecté dans l'aorte qu'à partir de t_2 : c'est le moment où la pression dans le ventricule devient égale, puis supérieure à la pression qui subsiste dans l'aorte. Le flux sanguin repousse la valvule artérielle. Le sang cesse de pénétrer dans l'aorte en t_3 : c'est le moment où la pression dans le ventricule devient insuffisante, inférieure à celle régnant dans l'aorte : la valvule artérielle se referme alors.

9. Les valvules ont un rôle passif, car elles ne font que subir les pressions de part et d'autre. Mais, faute de valvules aortiques, le sang reviendrait de l'aorte dans le ventricule : ce retour annulerait une part du travail cardiaque. De plus, la pression dans l'aorte (plus grosse artère de l'organisme) chuterait, de sorte que la circulation générale ne serait plus assurée.

EXERCICE RÉSOLU 2 Les conséquences de l'infarctus du myocarde

Restituer ses connaissances

Il arrive parfois qu'une artère coronaire subisse un rétrécissement (diminution de son diamètre), voire une obturation (l'artère est bouchée). Divers facteurs (alimentation, tabac, facteurs génétiques) favorisent cette situation à l'origine de maladies.

Alors, une région du myocarde est mal irriguée, voire n'est plus irriguée. La pompe cardiaque perd ainsi de son efficacité. On appelle cet accident « infarctus* du myocarde ». On précise que les cellules du myocarde ne se divisent pas : quand elles meurent, elles ne sont pas remplacées.

À l'aide de vos connaissances, expliquer les conséquences du rétrécissement des artères coronaires, puis celles de l'obturation de ces artères.

* Infarctus, car le myocarde est « infarci », c'est-à-dire dur, nécrosé, inefficace.

◆ Conseils

- D'abord, envisager l'effet d'un ralentissement du débit sanguin dans un muscle comme le cœur. En tirer des conséquences sur tout l'organisme.
- Puis, envisager l'arrêt de cette irrigation sur le cœur, connaissant les propriétés des cellules cardiaques.
- Prendre l'habitude de rédiger une introduction pour définir les termes du problème posé et une conclusion qui résume la réponse à ce problème.

◆ Solution

Introduction

La circulation sanguine apporte dans tout l'organisme les nutriments indispensables à la vie des cellules, en particulier pour leurs besoins en énergie ; elle évacue également les déchets de l'activité cellulaire. Le cœur, qui propulse le sang dans le système cardio-vasculaire, est lui-même irrigué par un réseau coronaire. Que se passe-t-il quand la circulation coronaire ralentit, voire s'arrête localement ? La question prend son importance du fait du rôle de pompe du cœur, et de la particularité des cellules myocardiennes qui le composent.

Développement

1. Le ralentissement du débit sanguin coronaire

Un rétrécissement des artères coronaires qui irriguent le cœur limite l'apport sanguin dans la région concernée. Alors, le dioxygène et les nutriments n'arrivent plus en quantité suffisante dans les cellules musculaires. La respiration cellulaire est limitée. De plus les déchets, comme le CO_2 , ne sont plus évacués. Les cellules s'intoxiquent. Peu d'énergie est disponible : le cœur « souffre », il perd de son efficacité. Avec un cœur moins efficace, l'exercice physique devient difficile, car les muscles du squelette ne reçoivent plus un apport sanguin suffisant. Plus généralement, les circulations sanguines générale et pulmonaire sont ralenties. L'adaptation de l'organisme à l'effort devient limitée. Le sujet est de plus en plus « condamné » au repos.

2. Les conséquences d'un arrêt local de la circulation coronaire

Quand les artères coronaires sont bouchées, alors les cellules cardiaques ne reçoivent plus les matières indispensables à leur fonctionnement. La respiration cellulaire cesse. Faute d'énergie pour assurer leur survie, les cellules myocardiennes meurent : une région du cœur perd ses possibilités contractiles. C'est là qu'intervient l'infarctus du myocarde. Or, ces cellules ne sont pas remplacées. Donc, la perte d'efficacité de la pompe cardiaque est définitive. Sans traitement, le cœur ne retrouvera jamais son activité normale, la contraction devenant moins efficace : les exercices physiques sont alors très difficiles.

Conclusion

La biologie propre du cœur (rôle de pompe, cellules mortes non remplacées) fait qu'une restriction de la circulation coronaire a des répercussions particulièrement graves. Le travail cardiaque s'en trouve trop limité. Outre la prévention par une éducation aux risques concernant le cœur, il existe des traitements. En particulier, on peut par la chirurgie remplacer l'artère coronaire défaillante, cela s'appelle un pontage coronarien.

INTÉGRATION DES FONCTIONS DANS L'ORGANISME

L'effort physique s'accompagne de modifications dans l'activité des appareils circulatoire et respiratoire. Ces adaptations de l'organisme permettent un apport supplémentaire en nutriments et dioxygène aux cellules actives grâce à la respiration cellulaire.

- **1** Quels sont les organes impliqués dans cette adaptation de l'organisme à l'effort ?
- **2** Quels liens unissent ces organes dans la réalisation du couplage des activités cardiaque et respiratoire ?

Quelques rappels

En 2^e (chapitre 4) :

- Le cœur a une activité pulsatile, périodique. La ventilation est un phénomène alternatif créé par l'action des muscles de la cage thoracique.
- Le débit cardiaque dépend de la fréquence cardiaque ; le débit ventilatoire varie avec la fréquence ventilatoire.

En 5^e et 4^e :

- Le fonctionnement des muscles est commandé par les centres nerveux.
- Les messages nerveux sont transmis par les centres nerveux (cerveau et moelle épinière) et les nerfs.

En 3^e :

- L'organisme capte en permanence des informations liées à des variations de paramètres physico-chimiques de son environnement.
- L'activité de récepteurs sensoriels provoque la naissance de messages nerveux.
- La propagation de ces messages se fait le long de fibres nerveuses dans un nerf.
- Ces fibres sont en relation avec des aires spécialisées du cortex cérébral.
- Les messages nerveux sont élaborés et transmis par des cellules spécialisées, les neurones.
- Un message nerveux naît dans un récepteur, circule sur un nerf sensitif vers un centre nerveux qui envoie un message par le nerf moteur vers un organe effecteur.

L'effort physique s'accompagne d'une accélération du rythme cardiaque et de la fréquence respiratoire, car les cellules musculaires en activité doivent être suffisamment approvisionnées en nutriments et en dioxygène, nécessaires à la fourniture d'énergie. L'adaptation de l'organisme permet également une évacuation accélérée des déchets de la respiration cellulaire : dioxyde de carbone, urée...

L'organisme est donc capable de modifier son activité interne, c'est-à-dire celle de ses organes. Dès le début de l'effort, un apport en dioxygène et en nutriments convenable est assuré à toutes les cellules de l'organisme. Ce phénomène est appelé **l'intégration** au sein de l'organisme. L'activité cardiaque et la respiration sont régulées en fonction des besoins.

I La régulation nerveuse de l'activité cardiaque

1 L'automatisme cardiaque

Diverses observations montrent un fait surprenant : le cœur humain bat « tout seul ». On parle d'**automatisme** cardiaque : un cœur isolé du reste de l'organisme, aussi bien chez l'escargot que chez l'huître, continue de battre s'il est placé dans un milieu convenable qui lui apporte les éléments nécessaires à la vie cellulaire.

Le battement cardiaque est donc indépendant du **système nerveux**. Il existe dans le myocarde des cellules spécialisées à l'origine de ces battements spontanés. Mais l'organisme module l'activité du cœur, c'est-à-dire augmente ou diminue la fréquence cardiaque qui est propre à cet organe.



L'origine des battements cardiaques est un phénomène électrique qui est intégré au cœur. Il est possible d'enregistrer, à la surface de la peau, les conséquences de cette activité électrique. Cet enregistrement est un électrocardiogramme.

Ce phénomène d'automatisme cardiaque permet une greffe de cœur, lorsque celle-ci est rendue nécessaire par l'insuffisance de la pompe cardiaque. Une telle opération consiste à disposer un greffon (cœur prélevé sur un donneur, qui reste viable pendant 4 heures environ) en lieu et place du cœur défaillant. L'intervention impose une section plus ou moins étendue des **nerfs** qui innervaient le cœur du receveur.

On observe qu'un cœur humain isolé bat plus vite (100 pulsations par minute) que lorsqu'il est en place (entre 60 et 80 pulsations par minute). Il existe donc un système qui ralentit en permanence le cœur dans l'organisme.

2 La modulation du rythme cardiaque par les nerfs

La section des nerfs arrivant au cœur supprime la propagation des messages nerveux. Le cœur continue alors de battre, mais un peu plus vite. Ce sont donc les messages véhiculés par des nerfs qui diminuent la fréquence cardiaque. Issus du **bulbe rachidien** (situé dans l'encéphale), des messages nerveux arrivent au cœur, qui modifie alors son activité : ces messages nerveux sont donc véhiculés par des nerfs **moteurs**.

Deux nerfs moteurs arrivent au cœur, au niveau de l'oreillette droite (voir document 1) :

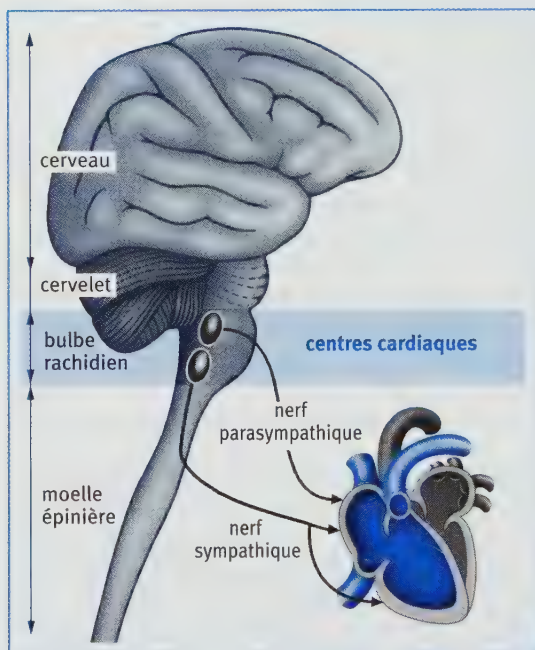
- les messages issus du nerf **sympathique** augmentent la fréquence cardiaque : c'est un nerf cardio-accélérateur ; ce nerf détermine également l'activité des cellules musculaires présentes autour des capillaires sanguins ;
 - les messages issus du nerf **parasymphatique** (ou nerf pneumogastrique) ralentissent la fréquence cardiaque : c'est un nerf cardio-modérateur. Il propage des messages nerveux en continu, puisque le cœur est constamment ralenti.
- Ces deux nerfs sont qualifiés de nerfs **antagonistes**, car leur action sur la fréquence cardiaque est opposée.

Ces nerfs proviennent de la **moelle épinière** (nerf sympathique), ou du bulbe rachidien (nerf parasymphatique). La moelle épinière et le bulbe rachidien sont donc les **centres nerveux** qui régulent l'activité cardiaque.

Ces deux centres sont liés par des fibres nerveuses : ils agissent de manière coordonnée.



Les nerfs innervant le cœur, comme les nerfs commandant la respiration, sont doubles et symétriques : du bulbe rachidien ou de la moelle épinière partent deux nerfs, de part et d'autre des centres nerveux, et se dirigent vers les parties droite et gauche du cœur et de la cage thoracique. Par souci de simplicité, on convient de n'en représenter qu'un seul.

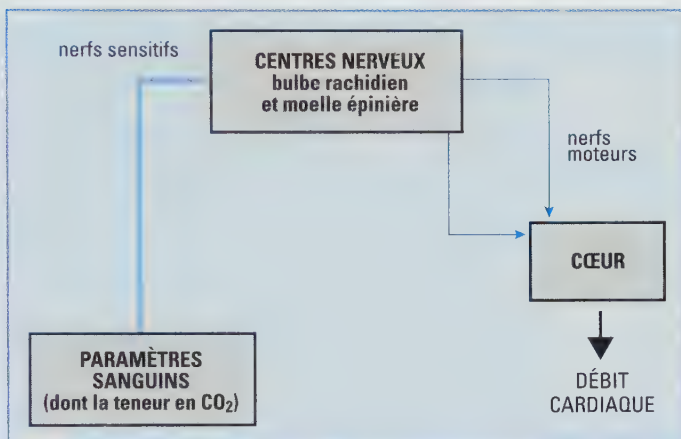


Doc. 1 Innervation du cœur.

3 Intégration par les centres nerveux

L'activité des centres nerveux qui commandent le rythme cardiaque est dépendante de messages nerveux provenant de récepteurs spécialisés. Ainsi, le bulbe rachidien reçoit en permanence des informations sur l'état de l'organisme : volume sanguin, pression sanguine, pression partielle du dioxygène ou du CO_2 , pH dans le sang... sont mesurés à chaque instant par ces récepteurs spécialisés. Les valeurs de ces paramètres sont transmises aux centres nerveux, qui réagissent alors en envoyant des messages moteurs au cœur, *via* les nerfs sympathique et parasympathique, pour ajuster la fréquence cardiaque (qui détermine le débit cardiaque) en fonction de l'activité.

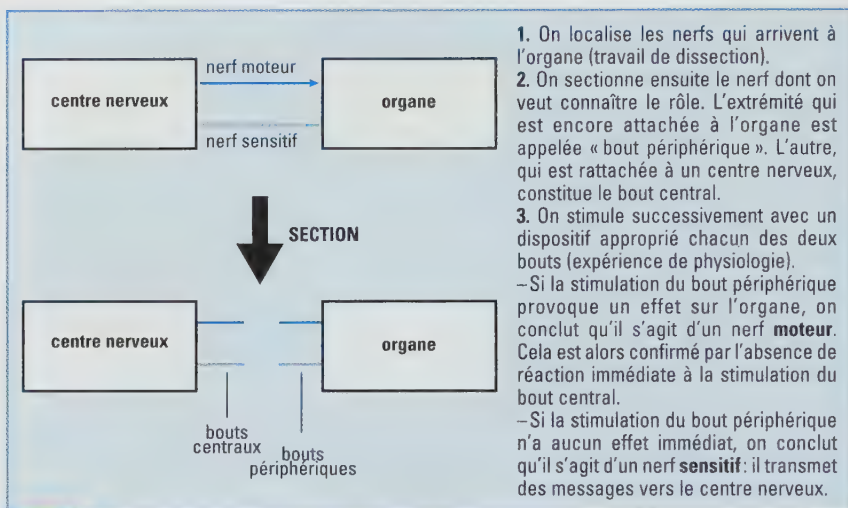
Le rôle du bulbe rachidien est donc de former des messages moteurs qui sont une réponse aux variations détectées par des récepteurs spécialisés. On parle d'intégration quand un centre nerveux commande l'activité des effecteurs en fonction des informations issues de récepteurs spécialisés.



Doc. 2 Régulation du débit cardiaque en fonction de différents paramètres physico-chimiques.

Deux remarques

- 1) La régulation du débit cardiaque n'est pas aussi automatique, inconsciente et involontaire que le document 2 ne le laisse supposer. En effet, des mesures réalisées sur des sportifs de haut niveau attestent que le débit cardiaque augmente juste avant le départ de la course, au moment où le sportif se « prépare ». Des aires corticales, conscientes, jouent donc aussi un rôle. Le même mécanisme d'anticipation est à l'œuvre lors du réveil.
- 2) Ce système de régulation nerveuse, d'action immédiate et dont la durée est liée à l'effort, est doublé par une régulation hormonale. Par exemple, la « décharge d'adrénaline », hormone produite par les glandes surrénales, a pour effet, entre autres, d'accélérer la fréquence cardiaque en réaction à un stress.



Doc. 3 Une expérience pour déterminer le rôle des nerfs.

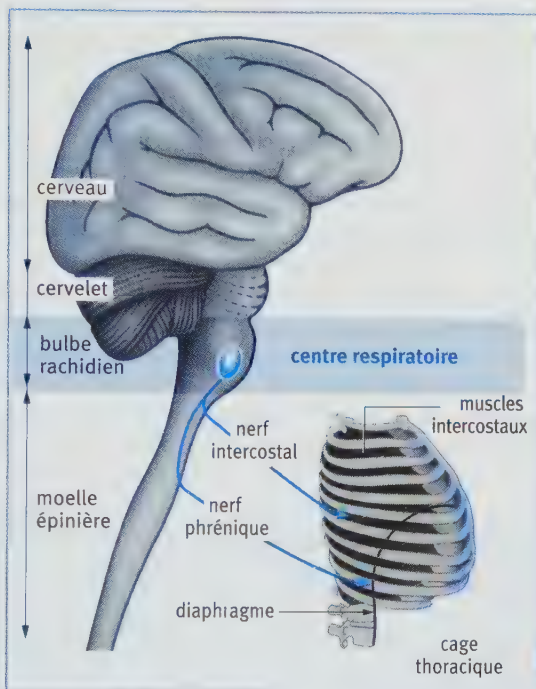
II La régulation nerveuse de l'activité respiratoire

Les poumons, lieu d'échange entre l'air et le sang, ne sont actionnés que par les mouvements de la cage thoracique. Celle-ci est formée d'os (côtes, clavicules, vertèbres) et de muscles (intercostaux et diaphragme). Le déplacement des os est réalisé grâce à la contraction (ou au relâchement) des muscles, elle-même dépendante des messages nerveux reçus par les muscles. Il n'y a pas d'automatisme respiratoire.

1 L'entretien du rythme respiratoire par le bulbe rachidien

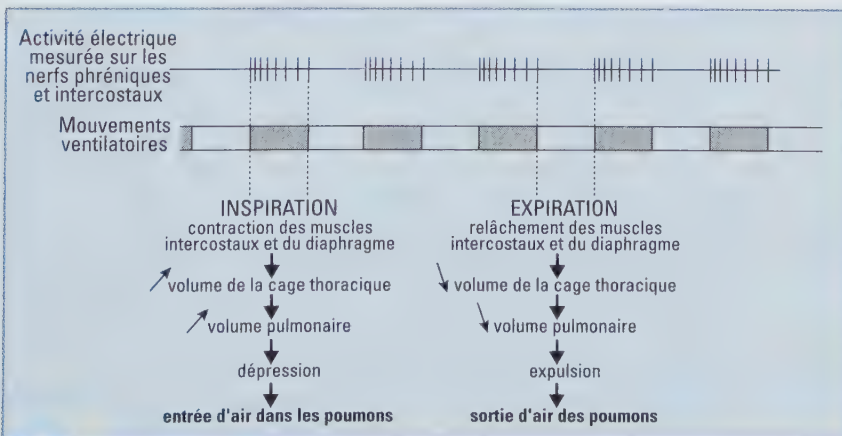
La respiration est une fonction involontaire. Le rythme respiratoire ne demande aucune action consciente. Des expériences de section ou les conséquences de certains traumatismes cérébraux permettent de montrer que le siège de la coordination des mouvements respiratoires se situe dans le bulbe rachidien, à la base de l'encéphale.

La fin de l'expiration (phénomène passif) provoque l'activité d'un centre bulbaire déclenchant l'inspiration, seul mouvement actif de la respiration. L'alternance expiration-inspiration est automatique.



Doc. 4 Activité bulbaire et respiration.

Les messages nerveux véhiculés par les nerfs qui arrivent aux muscles de la cage thoracique (intercostaux et diaphragme) prennent naissance dans le bulbe rachidien et passent dans la moelle épinière. Ces nerfs rachidiens impliqués dans la respiration sont les nerfs phréniques et les nerfs intercostaux.



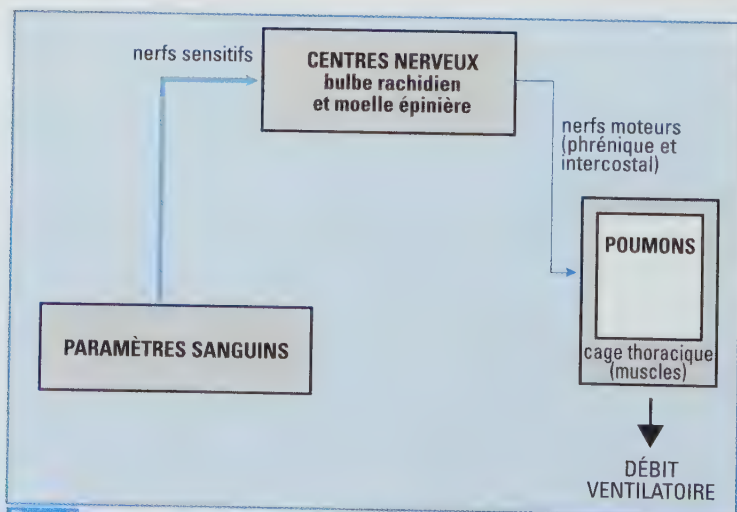
Doc. 5 Commande de la respiration.

2 Adaptation du rythme respiratoire à l'effort

Une valeur élevée de la teneur en dioxyde de carbone dans le sang provoque une augmentation de la fréquence respiratoire. Or, c'est la situation rencontrée pendant un exercice physique, lors duquel c'est la production excessive de CO_2 qui détermine une accélération du rythme de l'activité du bulbe rachidien. Certaines régions du cerveau modifient cet automatisme géré par le bulbe rachidien. Ce rythme s'adapte à la parole, à l'alimentation, à la toux, au bâillement... La volonté peut aussi déterminer (un peu...) le rythme respiratoire. L'accélération du rythme ventilatoire débute quand les récepteurs perçoivent une accumulation de CO_2 ou une diminution du taux de dioxygène dans le sang. Ce déclenchement est relativement rapide (de l'ordre de la dizaine de secondes), puisqu'on a vu que le sang dispose de faible réserve de dioxygène. La ventilation s'accélère dès qu'un quart de l'hémoglobine ne transporte plus de dioxygène. Avant un effort, il existe, comme pour l'appareil cardio-vasculaire, une anticipation plus ou moins consciente.



L'essoufflement vient-il du manque de dioxygène ou d'un excès de CO_2 dans le sang ? Une cellule active absorbe du dioxygène (dont la teneur dans le sang diminue) et produit du CO_2 (qui s'accumule dans le sang) ; ce dernier facteur abaisse le pH sanguin. Les trois paramètres sont donc très liés. Des mesures des gaz dans le sang montrent que c'est l'accumulation du CO_2 sanguin qui détermine l'hyperventilation (c'est ce qui nous oblige à interrompre une apnée).



Doc. 6 Régulation de la respiration en fonction de paramètres physico-chimiques.



Intégration des fonctions par l'organisme

Au repos, le cœur a un fonctionnement automatique. Seule sa fréquence est abaissée par l'action constante des nerfs pneumogastriques (ou parasympathiques). Le rythme de la respiration est contrôlé par le bulbe rachidien, selon une séquence automatique. Ainsi, le dioxygène et le glucose arrivent aux cellules, le dioxyde de carbone et les autres déchets sont éliminés, à un taux constant. Lors d'un exercice, au tout début, il ne se passe « rien » : les cellules musculaires puisent dans leurs réserves en glycogène, le dioxygène présent dans le sang est encore en quantité suffisante et le taux de dioxyde de carbone dans le sang reste faible.

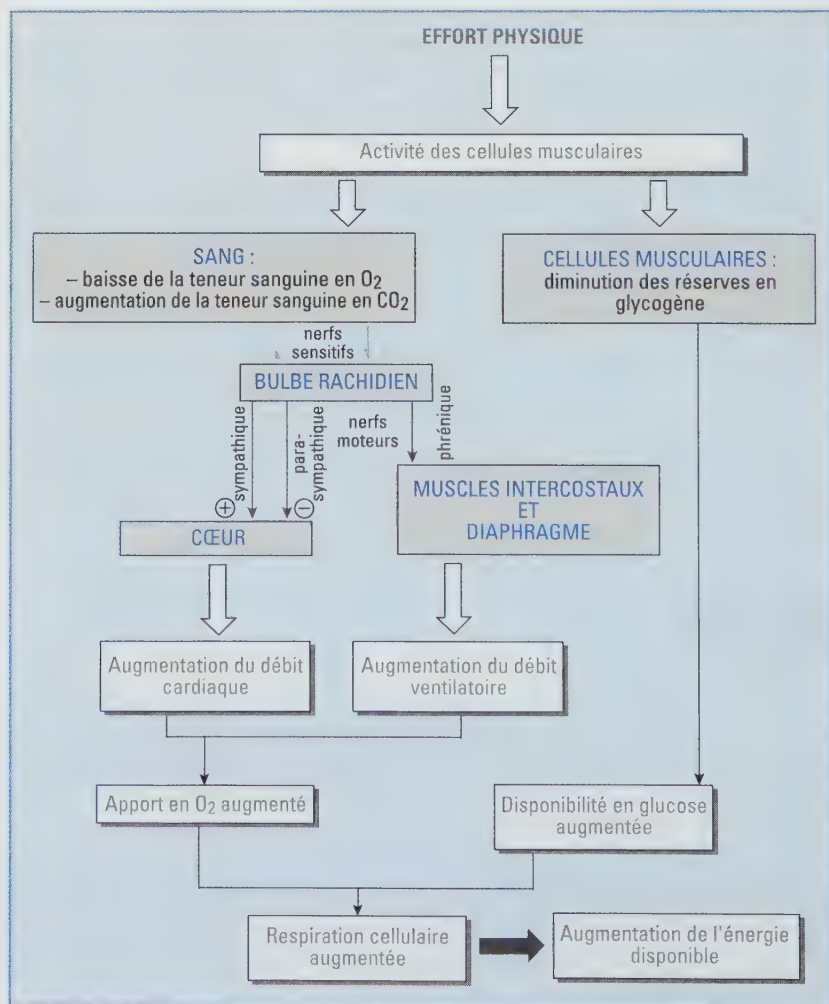
Mais si l'exercice se poursuit, ou s'intensifie, alors le CO_2 tend à s'accumuler dans le sang. Il en résulte une accélération de la respiration, ce qui permet un apport plus important de dioxygène dans le sang et une meilleure évacuation du CO_2 dans l'air ambiant. L'élévation de la teneur du sang en CO_2 produit également une augmentation de la fréquence cardiaque, donc du débit cardiaque. On assiste à une intégration portant sur l'ensemble de l'organisme : un centre nerveux supérieur (le bulbe rachidien), informé des variations des paramètres sanguins par des nerfs sensitifs, commande le changement d'activité de la ventilation et de la circulation *via* des nerfs moteurs. Si l'un seulement de ces appareils modifiait son activité, le résultat ne serait pas de nature à assurer une perfusion convenable aux cellules qui réalisent l'effort. Et l'ensemble des cellules de l'organisme souffrirait des nouvelles conditions créées par l'exercice physique.

Ainsi, les produits indispensables (nutriments et O_2) et les déchets de l'activité cellulaire (dont le CO_2) sont échangés plus rapidement. Les cellules, où qu'elles soient dans l'organisme, bénéficient alors des conditions de vie optimales, malgré le changement d'activité de l'organisme.

le bilan

- Lors d'un effort physique, les cellules musculaires doivent bénéficier d'un apport supplémentaire en nutriments et en dioxygène pour leur respiration. Les déchets doivent être évacués plus rapidement. L'ensemble des autres cellules de l'organisme bénéficie d'un apport régulier en substances pour continuer à assurer leur bon fonctionnement.
- Cette adaptation de l'organisme à l'effort passe par une accélération du rythme cardiaque. Le cœur a un fonctionnement automatique, mais le système nerveux peut ajuster le débit sanguin de chaque organe en modulant la fréquence cardiaque. C'est le rôle des nerfs sympathiques et parasympathiques, commandés par le bulbe rachidien.

- Lors d'un effort, la ventilation pulmonaire est également accrue. Les muscles de la cage thoracique à laquelle sont attachés les poumons reçoivent des messages moteurs plus nombreux. Ces messages transitent par les nerfs phréniques en provenance du bulbe rachidien. Les échanges gazeux sont réalisés plus rapidement dans les alvéoles pulmonaires. Les muscles bénéficient alors d'un apport supplémentaire en dioxygène et le CO_2 est plus vite éliminé.
- Grâce au système nerveux, l'organisme réagit aux nouvelles conditions créées par l'activité physique. Un centre nerveux, ici le bulbe rachidien, coordonne les réponses circulatoires et ventilatoires adaptées au maintien des conditions de vie cellulaire optimales.



les mots-clés

Antagoniste (adj.) : se dit d'un mécanisme dont l'effet s'oppose à un autre (muscles antagonistes, messages nerveux antagonistes).

Automatisme (n. m.) : activité qui se produit sans intervention extérieure.

Bulbe rachidien (n. m.) : région de l'encéphale, située sous le cervelet, juste au-dessus de la moelle épinière.

Centre nerveux (n. m.) : organe formé de cellules nerveuses qui produit un message moteur en réponse à l'arrivée de messages sensitifs.

Intégration (n. f.) : propriété des organismes vivants qui consiste à fournir une réponse adaptée à la suite d'un changement du milieu intérieur.

Moelle épinière (n. f.) : partie du système nerveux central rattachée à l'encéphale qui est contenue dans la colonne vertébrale; point de départ des nerfs rachidiens.

Moteur (adj.) : qualifie un nerf issu d'un centre nerveux et qui propage des messages nerveux (moteurs) en direction d'un organe effecteur (par exemple, un muscle).

Nerf (n. m.) : ensemble de prolongements des neurones, regroupés en fibres. Les nerfs propagent des messages nerveux.

Parasympathique (adj.) : qualifie les nerfs cardio-modérateurs qui relient le bulbe rachidien au cœur. Synonymes : nerf vague, nerf X.

Rachidien (adj.) : qualifie un nerf qui est issu de la moelle épinière.

Sensitif (adj.) : qualifie un nerf issu d'un récepteur et qui propage des messages nerveux (sensitifs) en direction d'un centre nerveux.

Sympathique (adj.) : caractérise les nerfs cardio-accélérateurs qui relient le bulbe rachidien, puis la moelle épinière au cœur. Synonyme : ortho-sympathique.

Système nerveux (n. m.) : ensemble des tissus nerveux formés de neurones qui assurent la transmission des informations sous forme de messages nerveux. Le système nerveux central comporte l'encéphale et la moelle épinière.

Exercices

Faire le point

1. Expliquer l'expression « automatisme cardiaque ».
2. Déterminer les deux actions possibles du système nerveux sur la fréquence cardiaque.
3. Indiquer le nom et le rôle des deux nerfs agissant sur le cœur.
4. Préciser à quel niveau agissent les nerfs commandant la respiration.
5. Donner deux définitions du mot « respiration ».
6. Décrire le trajet des nerfs commandant les mouvements de la cage thoracique.
7. Trouver une différence entre la commande nerveuse de l'activité cardiaque et celle de l'activité respiratoire.
8. Indiquer les facteurs qui déclenchent une augmentation de la fréquence ventilatoire.

S'entraîner

EXERCICE 1 Une analogie entre le cœur et une voiture

Imaginons une voiture, au point mort, placée à l'arrêt en haut d'une route en pente. Sous l'action de son poids seul, cette voiture accélère d'abord, puis acquiert une vitesse constante (quand les frottements équilibrent son poids). Pour que la descente soit plus rapide, le conducteur doit passer une vitesse et accélérer. Pour ralentir, il suffit de se servir des freins de la voiture.

Imaginer une analogie entre le mouvement de cette voiture et l'influence du système nerveux sur le rythme cardiaque.

EXERCICE 2 Prévoir les effets des stimulations et sections de nerf

Le nerf de Hering provient d'un récepteur sanguin sensible à la teneur en CO_2 : quand le taux sanguin de dioxyde de carbone augmente, le message nerveux que ce nerf propage devient plus intense. Le nerf de Hering débouche dans le bulbe rachidien.

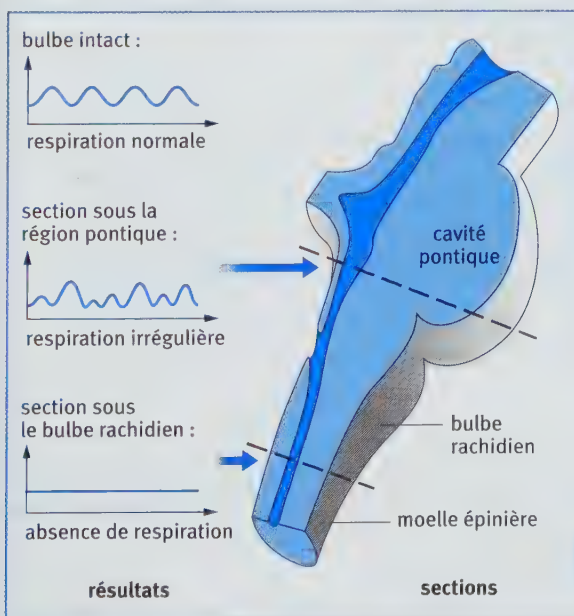
On cherche à prévoir les effets de stimulations et de sections de différents nerfs sur la fréquence cardiaque.

1. Recopier et compléter le tableau ci-dessous en utilisant vos connaissances pour prévoir les effets obtenus selon les expériences.
2. Déterminer quels sont les nerfs moteurs et les nerfs sensitifs.

	Effet de la section	Effet de la stimulation du bout de chaque nerf	
Nerf de Hering		Bout périphérique	
		Bout central	
Nerf sympathique		Bout périphérique	
		Bout central	
Nerf parasympathique (pneumogastrique)		Bout périphérique	
		Bout central	

EXERCICE 3 Déterminer le centre nerveux respiratoire

Des sections transversales du bulbe rachidien à différents niveaux permettent d'isoler le centre nerveux responsable du rythme respiratoire. Les expériences réalisées chez des chiens, et les effets constatés sont représentés dans le document ci-dessous.

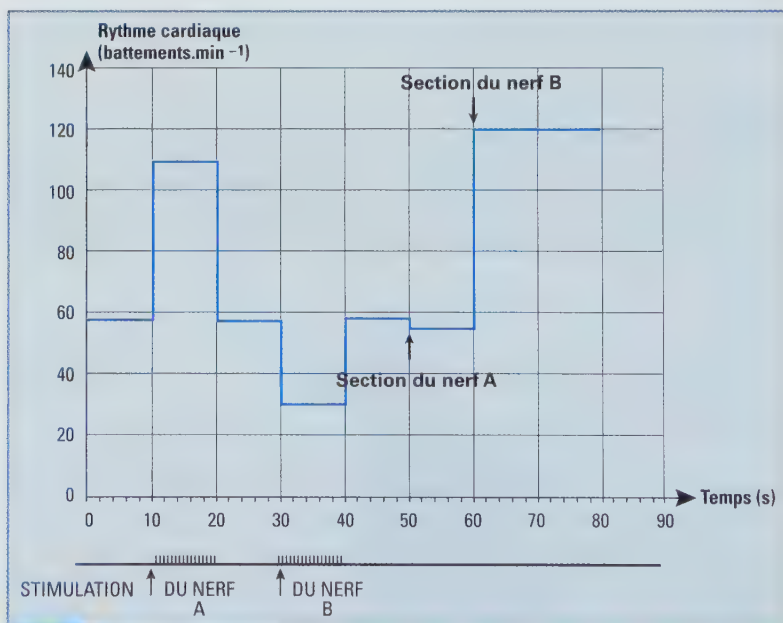


Doc. Expériences de sections et effet sur le rythme de la respiration.

1. Déterminer l'intérêt de l'expérience qui laisse le bulbe rachidien intact.
2. Rechercher le rôle de la cavité pontique.
3. Expliquer l'effet de la section sous le bulbe rachidien.
4. Expliquer pourquoi une lésion importante de la colonne vertébrale à la base du crâne (à la suite d'un grave accident) peut avoir des conséquences graves.

EXERCICE 4 Identification des nerfs agissant sur le cœur

Chez le chien, le rythme cardiaque est à peu près semblable à celui de l'homme. On stimule chez un chien, le nerf A, puis le nerf B. Dans un second temps, on sectionne le nerf A, puis le nerf B. Les résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous.



Doc. Effet de la stimulation ou de la section des nerfs innervant le cœur chez un chien.

1. Déterminer la fréquence cardiaque de repos du chien dans cette expérience.
2. À partir des expériences de stimulation, retrouver le nom du nerf A, puis celui du nerf B. Argumenter votre réponse.
3. Interpréter les résultats des sections pratiquées.
4. Déterminer la fréquence propre (celle sans influence des nerfs cardiaques) du cœur.

EXERCICE 5 Origine de l'augmentation du rythme ventilatoire

On se propose ici de déterminer ce qui est à l'origine de l'accélération du débit ventilatoire lors d'une modification de la composition de l'air ambiant.

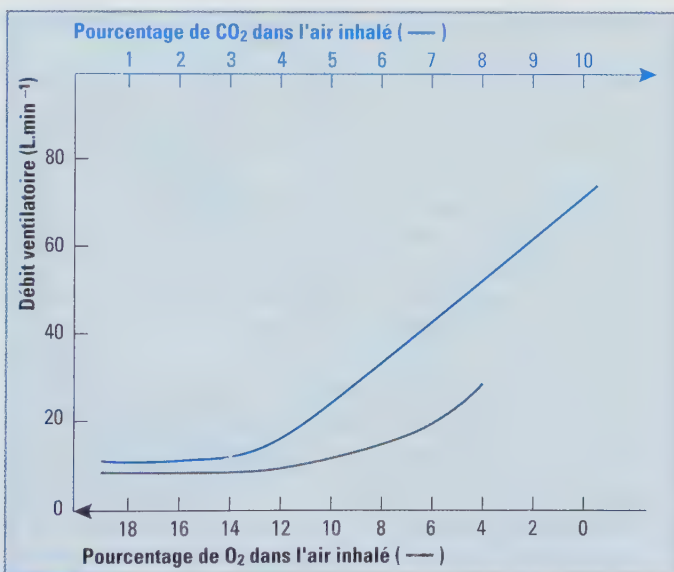
On émet deux hypothèses :

– l'augmentation du CO_2 dans l'air atmosphérique déclenche l'accélération de la ventilation ;

– la diminution du dioxygène de l'air ambiant ralentit la ventilation.

Pour valider ou invalider ces hypothèses, on réalise des expériences au cours desquelles on mesure le débit ventilatoire en fonction de la teneur de l'air inspiré en CO_2 , puis de la teneur en dioxygène.

Les résultats figurent dans le graphique suivant :



Doc. Variation du débit ventilatoire en fonction de la teneur en gaz de l'air ambiant inspiré.

1. Préciser pour chaque expérience quels sont les paramètres que l'on fait varier et les paramètres que l'on mesure.
2. Décrire l'effet commun de ces deux situations sur le débit ventilatoire.
3. Déterminer le débit ventilatoire de référence. Déterminer quel est le facteur variable pour lequel l'effet apparaît le plus rapidement.
4. Discuter l'hypothèse : « c'est le manque de dioxygène qui déclenche la ventilation accélérée ».
5. Établir une comparaison avec le sportif en début d'exercice.

Exercices résolus

EXERCICE RÉSOLU 1 L'adaptation de l'organisme à l'altitude

Analyser des documents

On cherche à étudier l'adaptation de l'homme aux conditions qui règnent en altitude élevée.

Deux rappels :

– La pression partielle d'un gaz est une mesure de sa « concentration » dans un milieu. On peut la calculer en multipliant la pression totale d'un mélange gazeux par la proportion (en volume) de ce gaz dans le mélange. Par exemple, la pression partielle du dioxygène (21 % en volume) dans l'air, où la pression atmosphérique est de 100 kPa, est $P_{O_2} = 100 \times 0,21 = 21$ kPa.

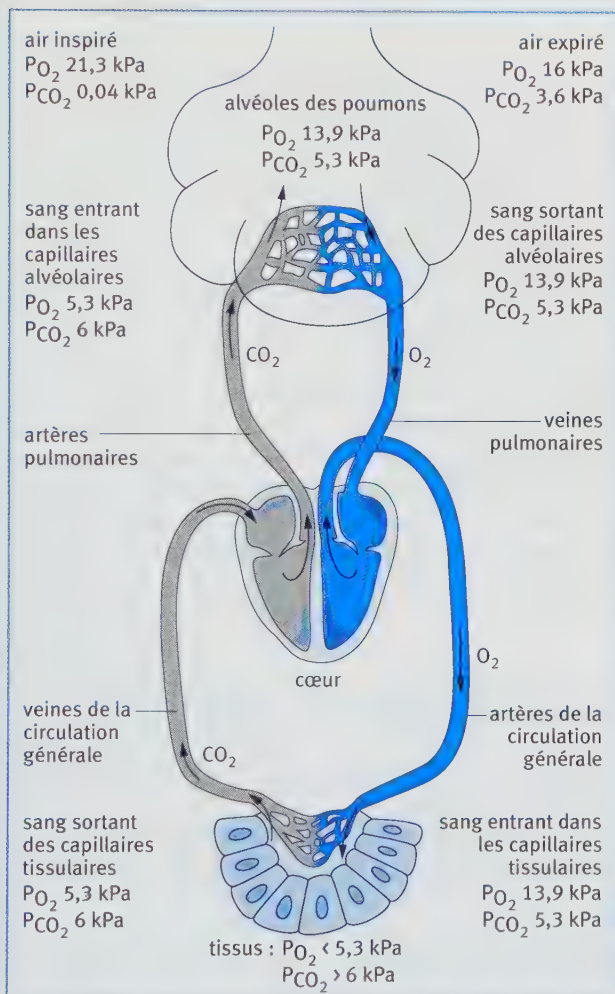
– Un principe général indique que les substances vont toujours du milieu où elles sont les plus concentrées vers le milieu où elles sont le moins concentrées ; donc les gaz diffusent d'un milieu à l'autre dans le sens des pressions partielles décroissantes.

Les Péruviens ou les Boliviens, qui vivent en Amérique du Sud, dans la Cordillère des Andes (entre 4 000 et 5 000 m), ont des caractéristiques anatomiques et physiologiques particulières par rapport à des individus vivant à plus basse altitude : un thorax volumineux en forme de tonneau, un nombre d'hématies par unité de volume et un volume sanguin plus élevés, une fréquence cardiaque plus élevée.

1. À partir des données du document 2, prévoir le sens des échanges entre l'air atmosphérique, le sang et les tissus pour le dioxygène, puis pour le dioxyde de carbone.
2. Déterminer l'évolution de la pression partielle de dioxygène en fonction de l'altitude. En tirer une conclusion sur les échanges gazeux dans les poumons.
3. Expliquer pourquoi il est impossible pour un homme d'atteindre et de dépasser 5 000 mètres, sans adaptation, ou sans équipement respiratoire annexe.
4. À l'aide de vos connaissances, expliquer l'intérêt de chacune des adaptations biologiques des populations vivant en altitude.

Altitude (en mètres)	Pression de l'air (en kPa)	Pression partielle du dioxygène (en kPa)
0	100	21
2 000	85	18,2
4 000	68	14,4
6 000	52	11,1

Doc. 1 Pression partielle du dioxygène dans l'air en fonction de l'altitude.



Doc. 2 Mesure des pressions partielles en O_2 et CO_2 dans différents milieux de l'organisme.

◆ Conseils

- Lire et comprendre les données physiques qui sont fournies sur les gaz.
- Rechercher une vision dynamique des échanges (dans quel sens ont-ils lieu ?).
- Tirer une conclusion logique de ces représentations.
- Se rappeler le rôle du sang, des poumons et du cœur dans la respiration cellulaire.

◆ Solution

1. Si le gaz va toujours vers les pressions décroissantes, le dioxygène passe de l'air inspiré aux alvéoles des poumons, puis dans le sang sortant des capillaires alvéolaires, dans la circulation générale, avant de pénétrer dans les cellules. Le dioxyde de carbone fabriqué par les cellules va dans les veines de la circulation générale, passe dans l'air alvéolaire avant d'être rejeté dans l'air expiré.

2. La pression partielle de dioxygène diminue avec l'altitude, en même temps que la pression atmosphérique (il existe toujours 21 % de dioxygène). Si la pression partielle de dioxygène baisse, il doit exister une « altitude limite », pour laquelle l'échange pulmonaire cesse, quand la pression en dioxygène dans l'air inspiré est égale à celle dans l'alvéole. Aucun échange ne peut plus avoir lieu. D'après les données du document 2 et du tableau, c'est à 5 000 m que la pression atmosphérique devient inférieure à la pression partielle du dioxygène dans les alvéoles.

3. À 6 000 mètres et au-delà, le rapport des pressions partielles en dioxygène devient défavorable : le dioxygène tend à quitter le sang dans les poumons pour aller dans l'atmosphère où il est plus rare... Situation très malsaine, car la respiration cesse ! Cela signifie que les alpinistes doivent s'équiper de bouteilles contenant du dioxygène sous pression, ou encore respecter des paliers dans leur ascension pour permettre à leur organisme de s'adapter (en particulier en augmentant le nombre de globules rouges).

4. Les Péruviens et les Boliviens s'adaptent aux conditions d'altitude grâce à :

- une cage thoracique plus développée, ce qui augmente le volume courant et accroît le débit ventilatoire ;
- un nombre d'hématies et un volume sanguin plus importants, ce qui favorise la fixation de dioxygène par l'hémoglobine plus abondante ;
- une fréquence cardiaque plus élevée, ce qui permet un débit cardiaque plus important et donc un apport plus important en dioxygène et en nutriments aux organes.

Mais :

- ces adaptations sont lentes, déterminées pour partie génétiquement ;
- cela augmente le travail de la pompe cardiaque, qui « s'use » plus vite, ce qui diminue l'espérance de vie.

EXERCICE RÉSOLU 2 Les conséquences de l'exercice sur l'organisme

Organiser ses connaissances

Décrire la séquence des événements qui se déroulent du début d'un exercice physique jusqu'à l'adaptation rapide de l'organisme aux nouvelles conditions.

◆ Conseils

- Établir une chronologie des événements depuis la cellule active.
- Suivre les conséquences de chaque élément cité.
- Intégrer le rôle du sang, du cœur, des poumons.
- Rappeler l'intérêt cellulaire de toutes ces modifications.
- Il s'agit, là encore, d'établir des liens logiques et distincts entre les causes et leurs conséquences.

◆ Solution

Introduction

L'exercice physique est caractérisé par une activité cellulaire accrue. Les cellules musculaires activent la respiration cellulaire, oxydation productrice d'énergie. Cela suppose un apport supplémentaire en dioxygène et en nutriments, et s'accompagne d'une surproduction de dioxyde de carbone. Comment l'organisme maintient-il constant le milieu de vie des cellules au moment où les paramètres sanguins sont modifiés ?

Développement

1. Adaptation de l'appareil cardio-vasculaire

Le sang artériel reste un certain temps saturé en dioxygène : la diminution du taux de O_2 sanguin n'est donc pas le déclencheur de l'adaptation. C'est la surproduction de CO_2 qui détermine l'activation de récepteurs sanguins, qui produisent alors un message nerveux propagé par des nerfs sensitifs vers le bulbe rachidien.

Le bulbe rachidien, structure encéphalique, réagit en élaborant deux types de messages nerveux : des messages plus intenses partent par les nerfs sympathiques vers le cœur, dont le rythme accélère, et vers les vaisseaux, qui se contractent. D'autre part, des messages moins nombreux circulent sur le nerf parasympathique.

L'augmentation de la teneur en CO_2 dans le sang a provoqué une accélération du rythme cardiaque qui favorise un apport sanguin plus intense aux cellules.

2. Adaptation de l'appareil respiratoire

Les mêmes variations (baisse du dioxygène, augmentation du CO_2 dans le sang) provoquent une stimulation du bulbe rachidien qui réagit en émettant des messages nerveux plus nombreux *via* les nerfs phréniques. La fréquence respiratoire augmente, avec l'accroissement du volume courant, de sorte que le débit ventilatoire peut être multiplié par 3. Les échanges gazeux entre l'air alvéolaire et le sang des capillaires pulmonaires sont plus rapides et en quantité plus importante.

Les conséquences de l'activité déterminent une augmentation de la ventilation à l'origine d'échanges pulmonaires plus intenses : le sang renouvelle rapidement les gaz qu'il transporte.

3. Intégration rapide de l'organisme

La fréquence cardiaque augmente, entraînant un débit sanguin accru qui permet un apport plus important de nutriments et une évacuation plus efficace des substances devenues toxiques (CO_2 , urée). La ventilation augmente : le dioxygène passe plus vite dans le sang, qui circule plus vite. La coordination de l'appareil circulatoire et de l'appareil respiratoire est réalisée par un même organe nerveux central : le bulbe rachidien, qui synchronise les réponses de l'organisme. Malgré l'exercice physique et les brèves perturbations qu'il déclenche, toutes les cellules de l'organisme bénéficient de conditions de vie qui n'ont pas varié. L'organisme a réalisé une adaptation aux conditions nouvelles et transitoires.

Conclusion

L'organisme s'adapte à l'effort physique, dans la mesure où la perturbation (l'augmentation du taux de CO_2 sanguin) entraîne son effacement. De la sorte, l'adaptation apparaît comme un phénomène constant, facilement décrit ici dans le cadre d'un écart à des conditions optimales de vie cellulaire. Une adaptation à plus long terme met en œuvre d'autres modifications physiologiques. C'est, par exemple, l'objet de l'entraînement du sportif.

UNITÉ ET DIVERSITÉ DU VIVANT : LA CELLULE

Malgré la très grande diversité des organismes, il existe des propriétés communes à tous les êtres vivants. L'universalité de la présence de cellules à la base des organismes est l'une d'entre elles.

- **1** Quels sont les caractères communs à toutes les cellules ?
- **2** Par quoi sont gouvernés les caractères d'une cellule ?

Quelques rappels

En 6^e :

- Tous les êtres vivants sont constitués de cellules.
- Animaux et végétaux chlorophylliens ont des besoins nutritifs différents.
- Tous les êtres vivants sont des producteurs, c'est-à-dire qu'ils prélèvent de la matière dans leur milieu pour former leur propre matière organique.
- La fécondation aboutit à la formation d'une cellule-œuf qui est à l'origine d'un nouvel individu.

En 3^e :

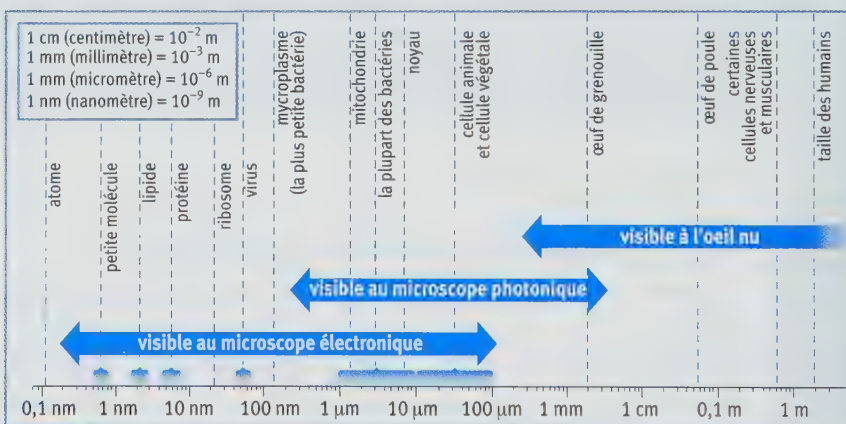
- Chaque individu présente des caractères de l'espèce avec des variations qui lui sont propres. C'est le résultat de l'expression de l'information génétique. Les conditions de vie peuvent modifier certains caractères.
- Le fonctionnement de l'organisme et ses échanges avec le milieu extérieur sont en relation avec l'activité de ses cellules.
- Les chromosomes présents dans le noyau des cellules sont le support de l'hérédité.
- Les cellules des individus d'une même espèce ont le même patrimoine génétique. Chaque cellule utilise une partie seulement de son programme génétique, selon sa fonction dans l'organisme.

I La cellule : unité de structure et de fonction des êtres vivants

1 L'observation des cellules

Tout organisme provient de la division d'une **cellule-œuf**. Nous allons voir dans ce chapitre que ce caractère cellulaire est conservé chez tous les individus, tout au long de leur vie.

Les cellules sont de petite taille (généralement comprise entre 2 micromètres et le millimètre, mais il existe des cellules de plus grande taille). Leur observation nécessite l'emploi de microscopes.



Doc. 1 Échelle du vivant et moyens d'observations optiques.

Il existe plusieurs techniques de microscopies, dont deux sont particulièrement utilisées pour observer des cellules.

- Le **microscope optique (ou photonique)**, employé au Collège et au Lycée, qui permet d'observer des cellules vivantes.
- Le **microscope électronique**, d'usage plus récent (1950), qui a permis la découverte de nombreuses structures intracellulaires.

2 La structure des cellules

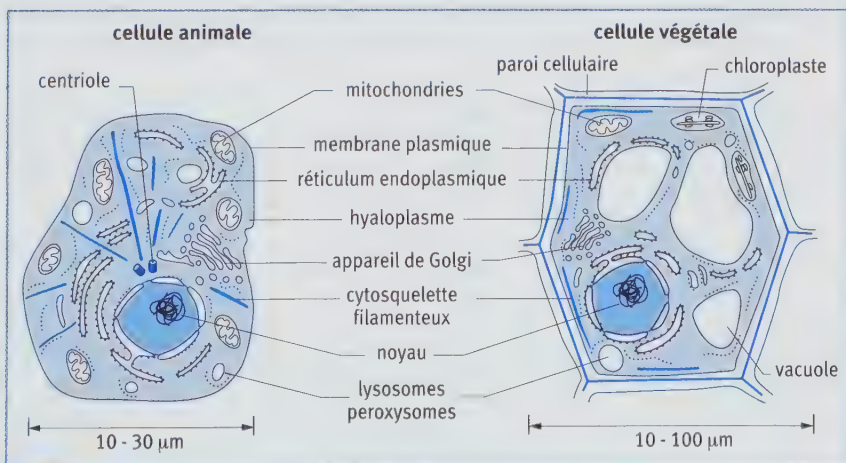
Les cellules sont présentes aussi bien chez les animaux que chez les végétaux. Tous les organismes vivants sont formés exclusivement de cellules, avec des fluides qui les nourrissent et les produits qu'elles sécrètent.

Les observations au microscope permettent de constater que les cellules sont de forme et de taille variées et peuvent avoir différentes fonctions. Toute cellule est limitée par une **membrane plasmique**, qui sépare le milieu extérieur du milieu intérieur. Certaines substances peuvent la traverser de manière contrôlée, dans les deux sens. La membrane plasmique des cellules **végétales** est doublée par une paroi qui assure la rigidité de l'organisme.

On distingue deux types d'organisation cellulaire :

- **Les cellules eucaryotes** contiennent dans leur **cytoplasme** des **organites**, compartiments cellulaires délimités par des membranes plasmiques, en particulier un noyau qui contient les **chromosomes**. Parmi les organites, on peut citer les **mitochondries**, qui assurent la respiration cellulaire, et les **chloroplastes** qui, dans les cellules chlorophylliennes des végétaux, réalisent la **photosynthèse**. Le cytoplasme est un milieu riche en eau et en substances dissoutes. Les organites baignent dans le **hyaloplasme**. Les animaux, les végétaux, les champignons sont formés de cellules eucaryotes.

- **Les cellules procaryotes** ne possèdent pas d'organites. Il n'y a pas de noyau, le chromosome baigne dans le cytoplasme. Les réactions métaboliques se déroulent donc dans l'ensemble du cytoplasme. Les cellules procaryotes sont plus petites que les cellules eucaryotes. Les bactéries sont des cellules procaryotes. La majorité des procaryotes sont des organismes **unicellulaires**.



Doc. 2 Comparaison de deux cellules eucaryotes (coupes fines).

3 Des molécules à l'organisme

Les molécules réagissent au sein des cellules pour former d'autres molécules. L'ensemble de ces réactions chimiques constitue le **métabolisme** des cellules. Dans les cellules eucaryotes, les organites concentrent les substances de sorte que les molécules plus proches réagissent plus rapidement. Les organites cellulaires fonctionnent de manière coordonnée : par exemple, la respiration cellulaire débute dans le hyaloplasme et se termine dans les mitochondries.

La cellule apparaît comme une **unité de structure** : tout organisme est formé de cellules. Mais une cellule est aussi une **unité de fonction** : le fonctionnement de l'organisme est le fait des seules cellules.

Certains organismes sont formés d'une seule cellule : ce sont des organismes unicellulaires. C'est le cas, par exemple, des bactéries, de certains organismes eucaryotes comme des champignons (les levures), des algues ou des animaux microscopiques (comme les paramécies).

D'autres sont formés de plusieurs cellules : ce sont des organismes **pluricellulaires**, comme tous les organismes visibles à l'œil nu (le champignon de Paris, le chêne ou l'homme, par exemple).

Dans les organismes pluricellulaires, les cellules sont regroupées en tissus, ensemble de cellules ayant la même forme et assurant une même fonction. Dans les tissus, les cellules sont **différenciées**, c'est-à-dire qu'elles acquièrent au cours du développement des propriétés particulières. Les cellules différenciées réalisent une véritable spécialisation. On peut citer comme exemples les cellules du tissu musculaire ou les neurones du tissu nerveux des animaux, le tissu chlorophyllien des feuilles chez les végétaux.

Les organes sont des ensembles de tissus qui réalisent une fonction dans l'organisme. Par exemple, chez les animaux, les muscles participent au mouvement. Chez les plantes, les feuilles forment un organe.

Les organes sont regroupés dans des appareils (ou systèmes) qui assurent une fonction de l'organisme : l'encéphale (organe) formé de tissu nerveux organisé à partir de neurones (cellules) est un organe du système nerveux (appareil) qui assure la circulation et le traitement des messages nerveux.

ORGANISME

exemples : pâquerette
éléphant

ORGANE

exemples : feuille
encéphale

TISSU

exemples : tissu chlorophyllien
tissu nerveux

CELLULE

exemples : cellule chlorophyllienne
neurone

ORGANITE

exemples : chloroplaste
mitochondrie

MOLÉCULE

exemples : CO_2 , H_2O ,
 O_2

Doc. 3 De l'organisme à la molécule.



Deux types de métabolisme cellulaire

Tout être vivant est producteur. Toutes les cellules d'un organisme sont capables de produire la matière organique dont elles ont besoin pour leur fonctionnement et leur renouvellement, à partir des éléments que l'organisme prélève dans son milieu. On appelle **métabolisme** l'ensemble des réactions chimiques qui interviennent dans les cellules d'un organisme.

Il existe différents types de métabolismes. Certains organismes (par exemple, les végétaux chlorophylliens et certaines bactéries) n'ont besoin que de matière minérale pour produire (en présence de lumière) leurs propres molécules organiques : leur métabolisme est **autotrophe**. D'autres organismes (par exemple, les animaux, les champignons ou certaines bactéries) sont dépendants de la matière organique produite par les autres : leur métabolisme est **hétérotrophe**.

Un aliment provient toujours d'un être vivant. La composition chimique d'un aliment reflète donc l'inventaire des molécules qui constituent les êtres vivants.

Sur l'étiquette d'un plat cuisiné, on lit les indications suivantes :

Glucides : 9,6 g

Lipides : 5,2 g

Protéines : 5,5 g

Sels minéraux : 0,2 g

Eau : 79,5 g

On peut regrouper ces cinq constituants alimentaires en deux grandes classes de molécules.

La matière organique : elle est définie comme la matière fabriquée spécifiquement par les organismes vivants, ou encore comme l'ensemble des molécules contenant à la fois des atomes de carbone et d'hydrogène.

On distingue alors :

- les **glucides** (parfois appelés « sucres »), par exemple le glucose, le saccharose, le glycogène, l'amidon...;

- les **lipides** (parfois appelés « graisses »), qui sont de longues molécules souvent insolubles dans l'eau, employées par les organismes comme des molécules de réserves énergétiques, formées et stockées quand les conditions sont favorables ;

- les **protéines**, qui sont des grosses molécules formées à partir d'acides aminés. Les protéines jouent des rôles très variés dans les cellules : structure, transport, enzyme...

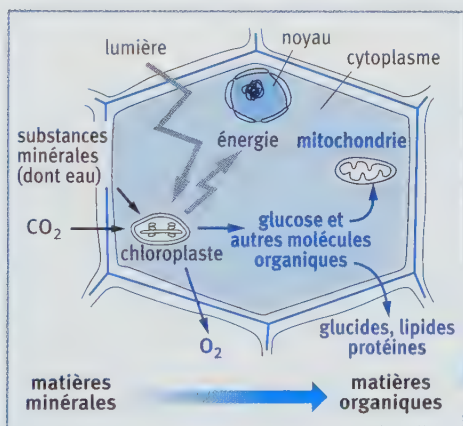
La matière minérale : elle est définie comme la matière dont l'existence ne dépend pas des êtres vivants, ou comme l'ensemble des molécules ne contenant pas à la fois du carbone et de l'hydrogène.

L'**eau**, élément minéral, est le principal constituant des êtres vivants (70 % de la masse d'un homme). Les **sels minéraux** sont également présents, sous forme d'ions, comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+})...

Remarque : sur la planète Mars, sur la Lune, il existe de la matière minérale, mais on n'a pas à ce jour trouvé de matière organique.

1 Le métabolisme autotrophe

Les cellules autotrophes fabriquent leur propre matière organique à partir de matière minérale, en présence de lumière. Ces réactions ont lieu dans le chloroplaste, un organite riche en chlorophylle. La chlorophylle est un pigment qui absorbe l'énergie lumineuse et l'utilise pour la synthèse de nouvelles molécules organiques à partir des molécules minérales (eau, dioxyde de carbone...) prélevées dans le milieu. Cette réaction, appelée photosynthèse, s'accompagne d'un rejet de dioxygène. Les molécules produites (par exemple, des sucres) sont utilisées par le reste de la cellule et par l'ensemble de l'organisme. Seules les cellules possédant des chloroplastes peuvent assurer la photosynthèse. Quand elles sont placées à l'obscurité, les cellules autotrophes pratiquent également la respiration cellulaire dans les mitochondries, à partir de molécules organiques nouvellement synthétisées.

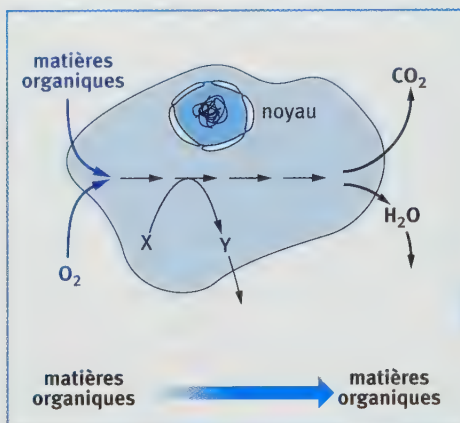


Doc. 5 Le métabolisme autotrophe : représentation schématique de la photosynthèse.

2 Le métabolisme hétérotrophe

Les cellules hétérotrophes ont besoin de matière organique fabriquée par d'autres organismes pour produire les molécules et l'énergie nécessaires à leur fonctionnement. Les composés organiques qu'elles utilisent peuvent provenir de l'alimentation, ou de synthèses par les cellules de l'organisme. La matière organique produite subit une oxydation : c'est la respiration cellulaire, seule source d'énergie de ces cellules. Ce qui n'est pas oxydé peut être stocké, ou être utilisé pour des synthèses de nouvelles molécules organiques.

Toutes les cellules **animales**, celles des champignons, les bactéries, les cellules végétales non chlorophylliennes sont hétérotrophes.



Doc. 6 Le métabolisme hétérotrophe. X et Y sont des molécules organiques. La respiration cellulaire dans le cytoplasme, puis la mitochondrie permet le métabolisme $X \rightarrow Y$.



Le contrôle du métabolisme cellulaire par le programme génétique

Le métabolisme permet aux cellules d'utiliser de l'énergie et de réaliser des réactions chimiques de synthèse ou de dégradation de très nombreuses molécules. Ces réactions chimiques permettent la croissance et la reproduction des organismes. Les fonctions d'une cellule dépendent de la présence d'organites. Toutes les réactions chimiques du métabolisme sont dépendantes d'une ensemble d'instructions, que l'on appelle le **programme génétique**.

1 Les caractères héréditaires

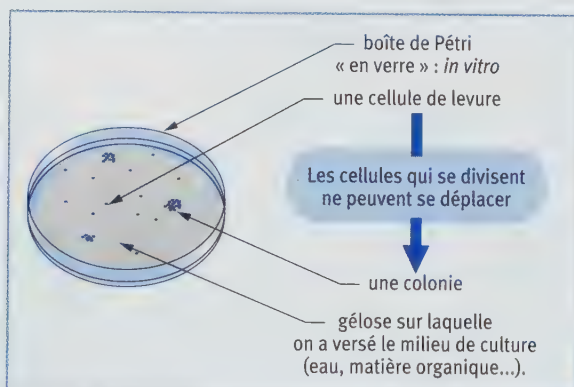
Les cellules sont formées par des divisions successives d'une cellule-mère. Chacune des cellules-filles possède les mêmes caractéristiques de structure et de fonction que la cellule-mère dont elle est issue : on parle de caractères héréditaires.

Prenons l'exemple d'un organisme unicellulaire hétérotrophe : *Schyzosaccharomyces pombe*. Cette levure absorbe des substances organiques, ce qui assure sa croissance. Quand son volume dépasse une certaine valeur, la levure se divise : c'est une forme de reproduction asexuée. La taille maximale d'un *S. pombe* est une constante, un caractère manifesté par tous les individus de l'espèce.

On connaît deux sortes de variants dans l'espèce *S. pombe* : les variants Cdc ne peuvent se diviser que si la température est inférieure à une certaine valeur ; les variants Wee se divisent prématurément, de sorte que les levures sont toujours petites.

Tous les descendants de chacun de ces variants conservent ces caractères (impossibilité de se diviser au-dessus d'une certaine température, taille petite, etc.) : ce sont des caractères héréditaires.

Les caractères décrits (Cdc, Wee) sont des particularités acquises par certaines cellules, qui les transmettent à leurs descendants : il s'agit de mutations. Les variants résultent donc de mutations (voir chapitre 7).



Doc. 7 Culture *in vitro* de levures.

Chez *S. cerevisiae*, une autre espèce de levure, on distingue deux sortes d'individus : les individus de couleur blanche, capables de fabriquer une molécule indispensable, l'adénine, et les individus de couleur rouge, incapables de synthétiser l'adénine (qui doit donc leur être apportée dans le milieu de culture).

Quand on dépose une suspension diluée de levures dans le fond d'une boîte de Pétri, on constate après quelques jours la présence de taches blanches et de taches rouges. Une tache correspond à l'ensemble des descendants d'une seule cellule : on parle de colonie (voir doc. 7). Le fait que la couleur de la colonie soit homogène, c'est-à-dire que toutes les levures sont blanches, ou rouges, signifie que les descendantes partagent toutes le même caractère génétique hérité, la couleur de la cellule.

La division cellulaire a conservé l'information génétique. On appelle information génétique l'information responsable de l'expression des caractères qui se transmettent de génération en génération. La division cellulaire conserve l'ensemble des caractères génétiques.

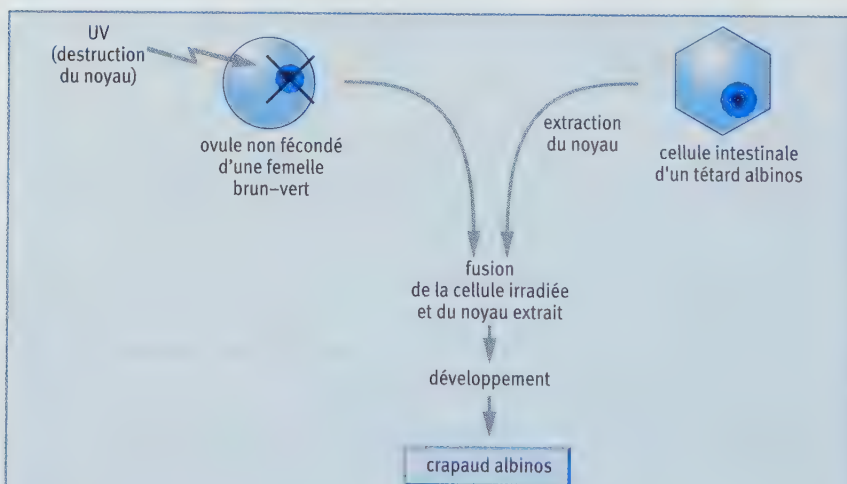
Ces résultats obtenus chez la levure peuvent être étendus à l'ensemble des cellules. Le métabolisme cellulaire est systématiquement placé sous le contrôle de l'information génétique. La croissance des êtres vivants qui est assurée par la division cellulaire est donc dépendante d'un message héréditaire.

2 La localisation de l'information génétique dans une cellule eucaryote

Un organisme pluricellulaire se construit par divisions successives d'une cellule initiale : la cellule-œuf. D'après ce qui précède, toutes les cellules de cet organisme possèdent la même information génétique que celle de la cellule-œuf issue de la fécondation. L'expérience ci-dessous le démontre.



Certains organismes pluricellulaires n'ont pas la possibilité de se reproduire par voie sexuée : ils se reproduisent par « multiplication végétative ». Les individus présentent tous les mêmes caractères génétiques. Mais ceux-ci dérivent de toute façon d'une cellule-œuf, même si celle-ci fut formée il y fort longtemps.



En 1960, le biologiste anglais John Gurdon travaille sur des crapauds, les xénopes. Il élève deux variétés, l'une sauvage de couleur brun-vert (qui représente la couleur naturelle du xénope), l'autre albinos (dépigmentée).

Des ovules non fécondés pondus par des femelles de variété sauvage sont irradiés aux ultraviolets, ce qui détruit leur noyau. Par ailleurs, des noyaux de cellules intestinales sont prélevés chez un têtard de la variété albinos. Chacun de ces noyaux est transplanté dans un ovule irradié (dépourvu de noyau).

Sur 54 œufs ainsi préparés, 30 ont donné des adultes, tous identiques entre eux et albinos.

Doc. 8 L'expérience de Gurdon.

Cette expérience permet de montrer que l'information génétique est contenue dans le noyau des cellules, et que toutes les cellules d'un individu ont la même information génétique.

On peut encore le vérifier avec le protocole à l'origine de la naissance de Dolly, le premier mammifère cloné. Cette brebis a été obtenue en 1997 à partir d'un ovule énucléé de brebis donneuse et du noyau d'une cellule mammaire d'une autre brebis.

3 Les chromosomes du noyau, support de l'information génétique

Le noyau des cellules eucaryotes contient les **chromosomes**, corps filamenteux observables au microscope lors de la division cellulaire. Dans l'espèce humaine, chaque cellule possède 23 paires de chromosomes (soit 46 chromosomes), dont une paire de chromosomes sexuels. On peut observer et étudier les chromosomes grâce à des caryotypes. Les chromosomes sexuels des femmes sont identiques et notés XX, ceux des hommes sont deux chromosomes différents, notés X et Y.

Or, au sein de l'espèce humaine, il existe des caractères héréditaires propres aux filles, d'autres propres aux garçons. On peut donc supposer que les chromosomes sexuels sont responsables de cette différence.

Par exemple, la présence du chromosome Y est responsable des caractères masculins, comme la présence de testicules. On peut généraliser ce résultat en affirmant que les chromosomes sont les porteurs de l'information génétique. Cette hypothèse est validée par l'observation d'anomalies chromosomiques.

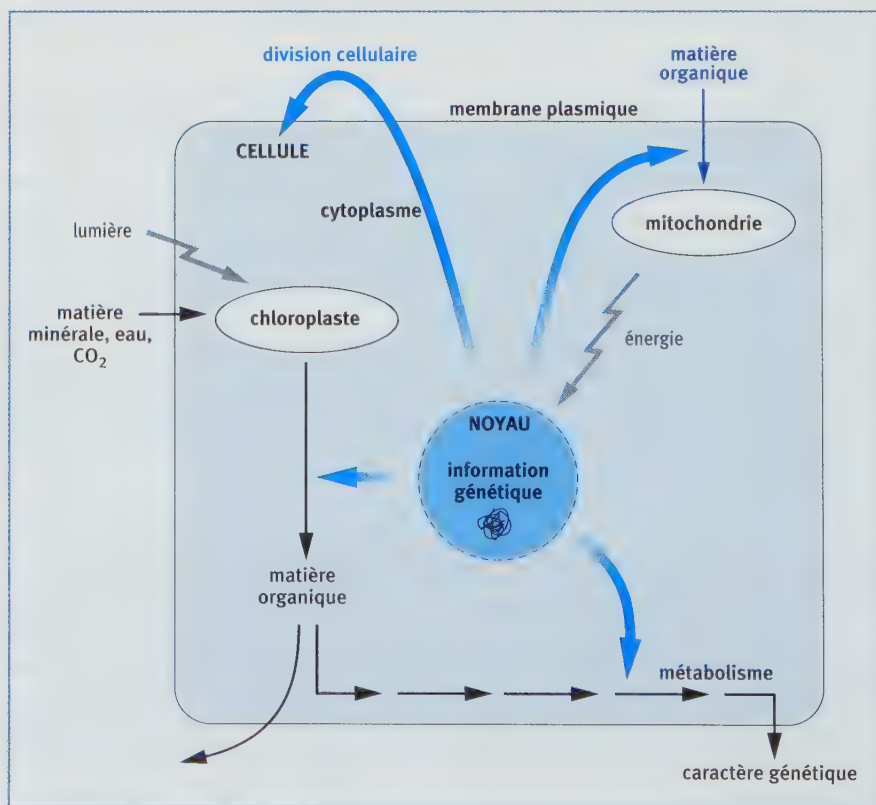
L'anomalie chromosomique la plus fréquente (environ un pour mille) est la trisomie 21. Les enfants possèdent trois chromosomes de la paire 21 dans le noyau de toutes leurs cellules. Ils souffrent d'un syndrome (un ensemble de signes) de Down. Ils manifestent diverses anomalies du développement de la face, des mains, et un retard mental. Ce syndrome n'existe que chez les enfants trisomiques : cela montre que le chromosome excédentaire est responsable d'une défaillance du développement de nombreux organes. Cet exemple montre que les chromosomes déterminent des caractères comme le développement des organes.

Doc. 9 La trisomie 21.

Toutes les cellules d'un organisme ont la même information génétique contenue dans le même stock chromosomique. Mais le développement des organismes conduit les cellules à ne pas exprimer toute l'information génétique. Selon le tissu dans lequel elles se trouvent, les cellules n'utilisent qu'une partie de l'information génétique disponible. C'est le phénomène de la **différenciation**. Cela rend compte de la spécialisation des cellules en fonction de leur forme ou de leur fonction. Ces cellules expriment des caractères spécifiques, alors qu'elles dérivent de la même cellule et possèdent donc la même information génétique.

le bilan

- Malgré leur diversité, tous les êtres vivants sont constitués de cellules, toutes formées d'une membrane plasmique et d'un cytoplasme. Il existe différents types de cellules. Les cellules eucaryotes possèdent des organites, en particulier un noyau qui contient les chromosomes. Les cellules procaryotes n'ont pas d'organites, leur chromosome baigne dans le cytoplasme.
- Les cellules se distinguent également par leur métabolisme. Les cellules autotrophes synthétisent leurs molécules organiques à partir de matière minérale, en présence de lumière (cette réaction est la photosynthèse, réalisée dans les chloroplastes des cellules chlorophylliennes). Les cellules hétérotrophes ont besoin de matière organique qu'elles prélèvent dans le milieu.
- Le métabolisme est sous le contrôle de l'information génétique de la cellule. Cette information génétique est portée par les chromosomes et se transmet intégralement de la cellule-mère aux cellules-filles lors des divisions cellulaires successives au cours du développement d'un individu.



les mots-clés

Animal (n. m.) : organisme dont toutes les cellules sont hétérotrophes.

Autotrophie (n. f.) : métabolisme qui permet aux cellules de fabriquer leur matière organique à partir de la matière minérale prélevée dans le milieu.

Cellule-œuf (n. f.) : cellule issue de la fécondation, à l'origine d'un nouvel individu.

Chloroplaste (n. m.) : organe présent dans certaines cellules des végétaux. Riche en chlorophylle, le chloroplaste permet à la cellule de réaliser la photosynthèse.

Chromosome (n. m.) : corps filamenteux visible au microscope pendant la division cellulaire. Support de l'information génétique.

Cytoplasme (n. m.) : espace cellulaire délimité par la membrane plasmique. Le cytoplasme contient les organites chez les eucaryotes.

Différenciation (n. f.) : processus biologique qui conduit les cellules des organismes pluricellulaires à n'exprimer qu'une partie de l'information génétique qu'elles possèdent. Les cellules différenciées ont acquis une forme et des structures propres pour réaliser des fonctions spécialisées.

Eucaryote (n. m. ou adj.) : cellule possédant des organites (en particulier un noyau séparé du cytoplasme contenant les chromosomes).

Hétérotrophie (n. f.) : métabolisme qui permet aux cellules de fabriquer leur matière organique à partir de la matière organique fabriquée par d'autres.

Hyaloplasme (n. m.) : partie du cytoplasme des eucaryotes débarrassé de ses organites.

Membrane plasmique (n. f.) : couche de lipides qui entoure une cellule et la sépare du milieu extérieur.

Métabolisme (n. m.) : ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans un organisme ou une cellule.

Mitochondrie (n. f.) : organe qui assure la respiration cellulaire. La mitochondrie permet l'hétérotrophie.

Organe (n. m.) : composant intracellulaire limité par une membrane. Exemples : noyau, chloroplaste.

Photosynthèse (n. f.) : processus qui permet la formation de matière organique à partir de matière minérale en présence de lumière captée dans les chloroplastes. La photosynthèse assure l'autotrophie.

Pluricellulaire (n. m. ou adj.) : organisme constitué, à l'état adulte, de plusieurs cellules.

Procaryote (n. m. ou adj.) : cellule dépourvue d'organites (en particulier, les chromosomes ne sont pas isolés du reste du cytoplasme).

Unicellulaire (n. m. ou adj.) : organisme qui n'est constitué que d'une seule cellule (exemples : levure, amibe, paramécie).

Végétal (n. m.) : organisme dont certaines cellules sont autotrophes.

Exercices

Faire le point

1. Rédigez une phrase avec les termes suivants : cellule, cytoplasme, molécule, organite.
2. Établir deux différences entre une cellule procaryote et une cellule eucaryote.
3. Justifier l'expression : « tout être vivant est producteur ».
4. Indiquer trois caractères des cellules autotrophes.
5. Définir l'hétérotrophie.
6. Déterminer si toutes les cellules de notre organisme ont la même information génétique.
7. Donner une définition de l'expression « information génétique ».

S'entraîner

EXERCICE 1 Différents types de cellules

Représenter, sous forme de schémas légendés et annotés, trois types cellulaires :

- une cellule procaryote ;
- une cellule végétale eucaryote réalisant la photosynthèse ;
- une cellule eucaryote hétérotrophe.

EXERCICE 2 Conditions de vie de deux organismes unicellulaires

Dans l'eau d'un vase de fleurs, on récupère des êtres unicellulaires : les paramécies. D'autre part, on recueille à la surface d'un étang d'autres unicellulaires : les chlorelles. Pour déterminer si les paramécies et les chlorelles sont hétérotrophes ou autotrophes, on cultive ces organismes dans des tubes à essai dont on fait varier le contenu. L'effet sur la croissance, donc les divisions cellulaires, se mesure par un procédé optique. Les résultats figurent dans le tableau page suivante.

	Matière minérale seule	Matière organique seule	À la lumière	À l'obscurité	Effet sur la croissance
Chlorelles	0	0	0	0	—
	P	0	P	0	+++
	P	0	0	P	—
	0	P	P	0	—
	0	P	0	P	—
Paramécies	0	0	0	0	—
	P	0	P	0	—
	P	0	0	P	—
	0	P	P		+++
	0	P	0	P	+++

Doc. Conditions de croissance de deux organismes unicellulaires. P signifie la présence d'un élément ou d'une condition ; 0 son absence. +++ signifie un effet très favorable sur la croissance ; — qualifie une absence de développement.

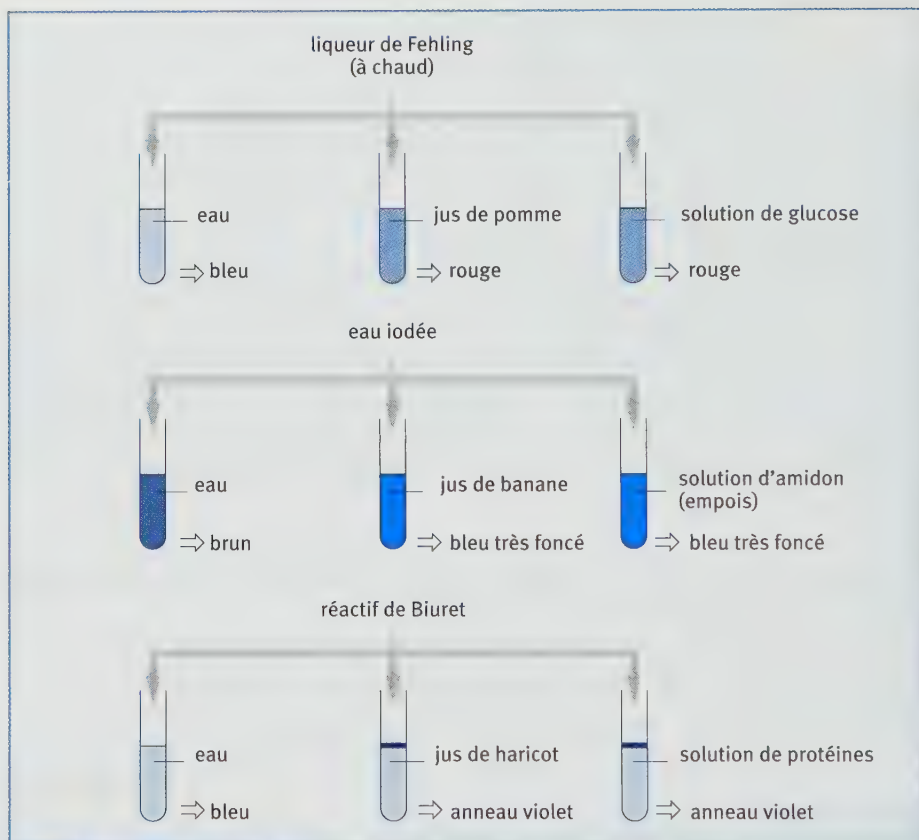
1. Déterminer quelles sont les conditions optimales pour la croissance des chlorelles, puis pour celle des paramécies.
2. Déterminer si ces êtres vivants sont autotrophes ou hétérotrophes.
3. Nommer les processus qui leur permettent de fournir de l'énergie.
4. Expliquer le rapport entre croissance et division cellulaire.

EXERCICE 3 La composition de trois aliments

On cherche à déterminer la composition en matière organique de trois aliments (graines ou fruits) : la pomme, la banane et le haricot. On émet les hypothèses suivantes :

- la pomme contient un glucide, comme le glucose ;
- la banane stocke de l'amidon ;
- le haricot possède des protéines en réserve.

On réalise une série d'expériences, dont les résultats sont schématisés ci-après.



Doc. Expériences et résultats.

Les trois réactifs suivants sont utilisés :

- la liqueur de Fehling (bleue) devient rouge brique, à chaud, en présence de sucres, comme le glucose.
- l'eau iodée (brune) devient bleue très foncée en présence d'amidon.
- le réactif du Biuret (soude, sulfate de cuivre) forme un anneau violet en présence de protéines.

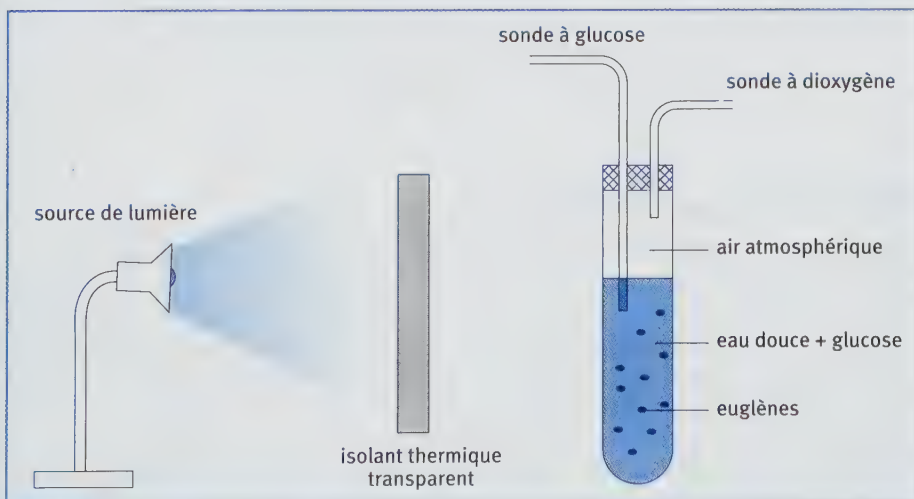
1. Donner un nom aux expériences de la première colonne. Déterminer l'intérêt de ces réactions et en déduire le type de résultat attendu.
2. Donner un nom aux réactions de la dernière colonne. Déterminer l'intérêt de ces réactions et en déduire le type de résultat attendu.
3. Établir si les trois hypothèses de départ sont validées.

4. Expliquer l'origine de la matière organique identifiée dans ces trois aliments.
5. Établir le rapport entre les cellules des feuilles et les cellules des graines.

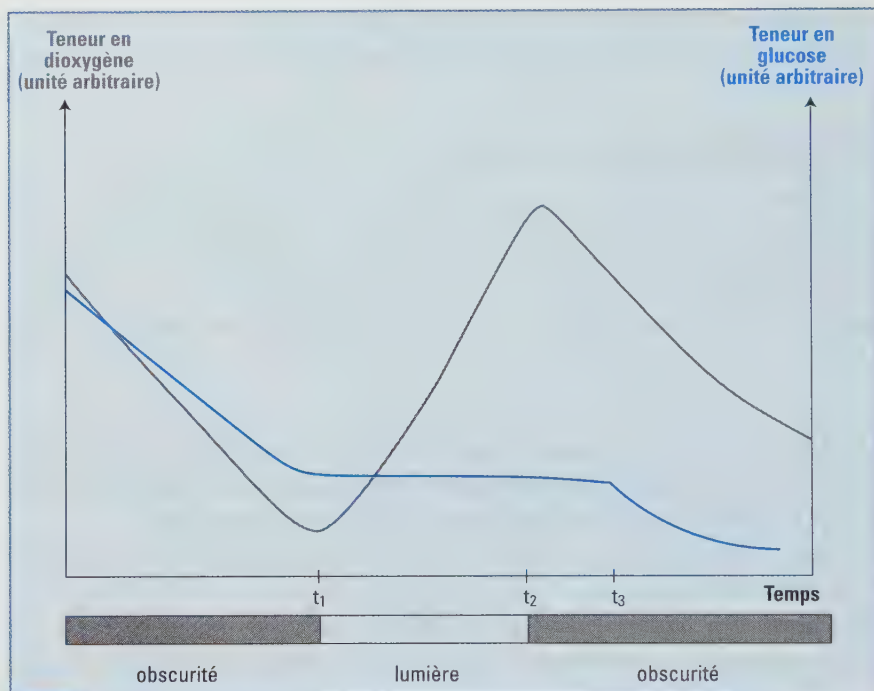
EXERCICE 4 Métabolisme des euglènes

Des euglènes, organismes unicellulaires vivant dans l'eau douce (contenant des sels minéraux), sont placées dans une enceinte emplies d'une solution de glucose. Un capteur mesure l'évolution des teneurs en dioxygène et en glucose de l'enceinte. Le dioxygène et le CO_2 diffuse entre l'air et l'eau. Au cours de l'expérience, on fait varier une condition : l'éclairement. Les résultats de l'expérience sont présentés dans le document 2.

1. Donner une interprétation aux phénomènes observés d'abord à l'obscurité.
2. Expliquer les variations observées de la teneur en dioxygène et de la teneur en glucose à la lumière. Imaginer une mesure qui attesterait votre réponse.
3. Montrer qu'à l'obscurité, les euglènes respirent. Imaginer une mesure qui attesterait votre réponse.
4. Expliquer la stagnation de la teneur en glucose entre t_2 et t_3 .
5. Montrer que le mode de vie de l'euglène dépend d'une information génétique particulière.



Doc. 1 Schéma du montage.



Doc. 2 Évolution des teneurs en glucose et en dioxygène en présence d'euglènes.

EXERCICE 5 Alimentation et êtres vivants

L'homme est un animal hétérotrophe. Son alimentation lui apporte la matière organique fabriquée par d'autres, pour produire la sienne propre.

Jules se compose un repas, avec en entrée des carottes râpées et une sauce vinaigrette (moutarde, huile, vinaigre, sel, poivre), un beefsteak et des frites, un morceau de camembert et un gâteau au chocolat (farine, sucre, chocolat, levure). Jules ira mieux après, mais ce matin, il avait cours d'E. P. S...

On rappelle que certains aliments sont produits par fermentation, comme le vinaigre (fermentation acétique), ou les fromages (fermentation lactique). La fermentation est également utilisée en pâtisserie : les levures font lever la pâte en provoquant un dégagement de CO_2 .

1. Retrouver tous les êtres vivants qui ont servi à la constitution de ces plats, ainsi que les sels minéraux. Présenter la réponse sous forme de tableau avec les ingrédients

en ligne, et cinq colonnes : animal, végétal, unicellulaire, procaryote, ainsi que les sels minéraux. Dans chaque case, on portera l'organe (ou le rôle) qui est utilisé.

2. Pour justifier la remarque concernant le cours d'E. P. S. de Jules, rappeler le rapport entre alimentation et effort physique.

EXERCICE 6 La greffe d'un fragment de chromosome

Il existe des souris qui ont une masse double de celle de leurs congénères : leurs os sont anormalement développés, ce qui entraîne une croissance accentuée de leurs muscles et des autres tissus. On les qualifie de souris obèses. Cette caractéristique est génétique, dans la mesure où elle est transmise aux générations suivantes. Une étude montre que ces souris fabriquent en excès une molécule : l'hormone de croissance. Des scientifiques ont réussi à prélever un fragment de chromosome d'une souris obèse et à le greffer dans le noyau d'une cellule-œuf de souris normales. Certaines de ces dernières sont devenues obèses. (Ces observations ne sont pas applicables à l'homme.)

1. Déterminer le caractère génétique étudié dans cette expérimentation.
2. Localiser le support de l'information génétique d'après l'expérimentation décrite ; justifier la réponse.
3. À l'aide des connaissances sur les chromosomes, justifier le caractère génétique de cette anomalie.
4. Expliquer le choix de la cellule-œuf pour la greffe du fragment de chromosome.
5. Émettre une hypothèse concernant le rôle du fragment de chromosome greffé.

Exercices résolus

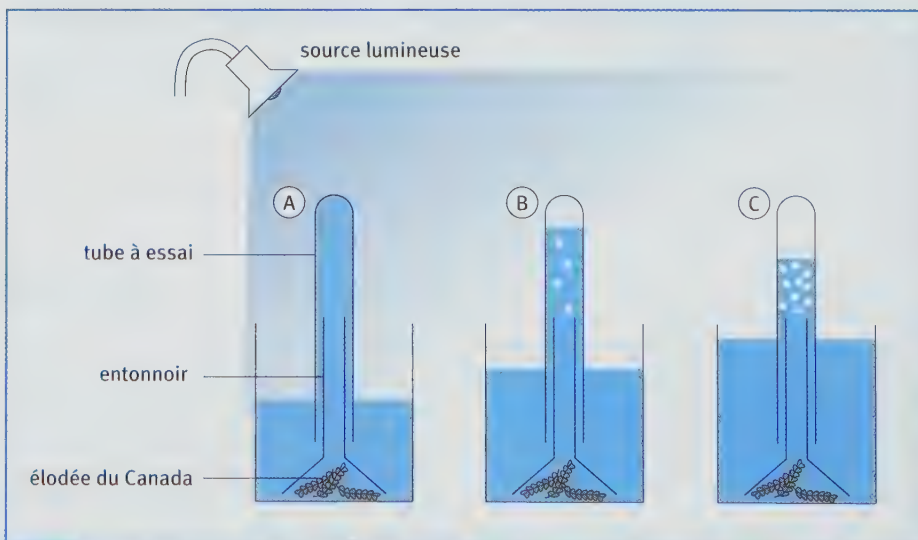
EXERCICE RÉSOLU 1 Les conditions de l'autotrophie

Analyser des documents

A. La production de matière organique par une plante verte nécessite une source de carbone. Lors d'une première expérience, des plantes aquatiques, comme l'élodée du Canada, sont placées dans de l'eau et recouvertes par un entonnoir et un tube à essai remplis d'eau (document 1).

L'expérience est réalisée en présence d'eau distillée dépourvue de CO_2 (A), d'eau du robinet contenant des gaz dissous (B) et d'une solution de dihydrogénocarbonate de sodium* (C).

L'intensité de la production de matière organique est estimée par la production de dioxygène. Pour caractériser ce gaz, une baguette de bois enflammée puis éteinte (extrémité encore incandescente) est plongée dans un tube de dégagement. Si la baguette se rallume, il s'agit de dioxygène. Dans les expériences du doc. 1, quand un dégagement de gaz apparaît, alors la baguette incandescente se rallume.



Doc. 1 Dégagement gazeux produit par les églènes. A : eau distillée dépourvue de CO_2 ; B : eau du robinet; C : solution de dihydrogénocarbonate de sodium*.

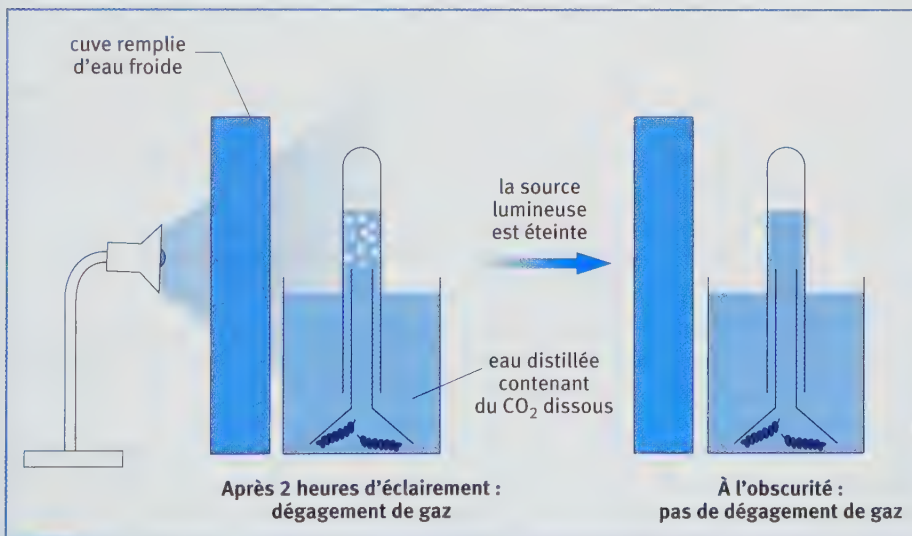
* Molécule libérant du dioxyde de carbone au contact de l'eau.

1. Formuler le problème qui justifie cette expérimentation.
2. Indiquer l'hypothèse testée avec cette expérimentation.
3. Préciser comment le résultat de l'expérience est estimé.
4. Donner le résultat de cette expérience.
5. Conclure à partir de ces résultats.

B. On veut démontrer que la lumière est la source d'énergie pour la photosynthèse. On réalise alors le montage expérimental schématisé sur le document 2.

La cuve d'eau froide placée entre la lampe et le bac d'élodées permet d'éviter une élévation de température. L'eau utilisée contient du CO_2 .

Comme pour l'expérience précédente (doc. 1), la production de matière organique est estimée par la production de dioxygène, dont la présence dans le tube de dégagement est mise en évidence grâce à une baguette incandescente.



Doc. 2 Dégagement gazeux en fonction de l'éclairement.

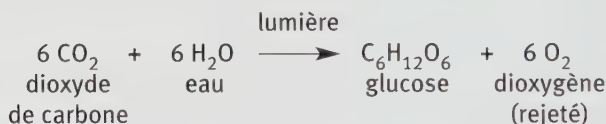
1. Identifier le problème qui justifie cette expérimentation.
2. Déterminer quelle hypothèse est testée avec cette expérimentation.
3. Indiquer quelle hypothèse permet d'éliminer la présence de la cuve d'eau froide.
4. À partir de l'observation du dispositif expérimental, écrire les résultats de cette expérience.
5. Rédiger alors la conclusion que l'on peut tirer de ces résultats.
6. À l'aide de vos connaissances sur les structures cellulaires, montrer que les plantes vertes peuvent réaliser la photosynthèse.

◆ Conseils

- Il s'agit de retrouver les étapes de la démarche expérimentale. Bien distinguer les éléments qui se « voient » (en particulier les résultats), des conclusions qui demandent une interprétation, donc des connaissances.
- Commencer par écrire l'équation générale de la photosynthèse (puisqu'on parle de « plante verte »), cela sert de fil conducteur pour l'interprétation des résultats.

◆ Solution

Rappel : équation générale de la photosynthèse :



- A. 1.** Problème scientifique posé : quelle est la source de carbone utilisée par les plantes pour fabriquer leur matière organique ?
- 2.** Hypothèse : le carbone est apporté par le dioxyde de carbone (CO_2) dissout dans l'eau.
- 3.** On estime que la plante produit d'autant plus de matière organique que le dégagement de dioxygène est important.
- 4.** La baguette incandescente se rallume, le gaz produit est donc du dioxygène. En comparant les conditions dans ces trois expériences, on déduit que la plante produit d'autant plus de dioxygène que le milieu contient de dioxyde de carbone.
- 5.** Donc, la plante fabrique d'autant plus de matière organique que le milieu est riche en dioxyde de carbone. Cela signifie que la matière organique de la plante est fabriquée à partir du dioxyde de carbone prélevé dans le milieu.
- B. 1.** Problème scientifique posé : quelle est la source d'énergie permettant la synthèse de matière organique par les plantes vertes ?
- 2.** Hypothèse : la lumière apporte cette énergie.
- 3.** La cuve d'eau froide empêche l'eau qui baigne la plante de se réchauffer. Sa présence permet donc d'éliminer l'hypothèse selon laquelle ce serait la température qui apporte l'énergie.
- 4.** À l'obscurité, le dégagement de dioxygène est nul. Alors qu'à la lumière, le dégagement de dioxygène intervient.
- 5.** La photosynthèse (production de matière organique et dégagement de dioxygène) n'a lieu qu'en présence de lumière. Donc, c'est bien l'énergie lumineuse qui permet la synthèse de matière organique par les plantes vertes.
- 6.** Les plantes vertes contiennent de la chlorophylle, pigment présent dans les chloroplastes. Seuls ces organites sont capables de capter la lumière pour réaliser la photosynthèse. Donc les plantes vertes peuvent réaliser la photosynthèse.

EXERCICE RÉSOLU 2 L'unité du monde vivant**Restituer des connaissances**

Montrer que dans l'ensemble du monde vivant, la cellule est l'unité de structure et de fonction des organismes vivants.

◆ Conseils

- D'abord décrire une cellule.
- Puis montrer que la cellule est le siège du métabolisme.
- Enfin, montrer que le fonctionnement des organismes repose sur le fonctionnement cellulaire.

◆ Solution**Introduction**

Il existe une grande diversité des formes et des organisations dans le monde vivant. Mais, depuis l'invention du microscope, il a été possible d'isoler un élément à partir duquel sont construits tous les êtres vivants : la cellule. L'usage du microscope a montré l'universalité de la structure cellulaire et différentes techniques ont permis de comprendre le fonctionnement des cellules. On dispose donc d'un modèle cellulaire permettant de comprendre le fonctionnement de l'organisme.

Développement**1. Caractères communs des cellules**

La cellule apparaît comme une « boîte » limitée par une membrane plasmique qui contrôle les échanges entre la cellule et le milieu extérieur. À l'intérieur de la cellule, on trouve le cytoplasme où se déroule l'ensemble du métabolisme. Les cellules eucaryotes ont des organites, dont un noyau qui contient les chromosomes, porteurs de l'information génétique. Les cellules eucaryotes autotrophes ont un organe particulier, le chloroplaste, qui permet la photosynthèse. Toutes les cellules eucaryotes possèdent des mitochondries qui réalisent une part de la respiration. Les cellules procaryotes n'ont pas d'organites.

Malgré des variations de forme et de taille, on retrouve systématiquement les mêmes types d'éléments dans toutes les cellules.

2. Le métabolisme cellulaire

Dans les cellules, des réactions chimiques ont lieu : c'est le métabolisme cellulaire. Les cellules produisent leur propre matière organique. La réalisation de ce métabolisme est contrôlée par l'information génétique. Celle-ci est contenue dans les chromosomes, visibles lors de la division des cellules eucaryotes.

Les nouvelles molécules produites par une cellule peuvent être utilisées pour elle-même, ou pour les besoins de l'organisme, ce qui nécessite leur exportation par un liquide de transport (sang ou sève).

3. Des cellules à l'organisme

La cellule représente aussi une unité du fonctionnement des organismes. Chez les organismes unicellulaires, la cellule constitue un individu autonome. Un être vivant pluricellulaire est formé d'organes, dont la fonction est assurée par les cellules, regroupées en tissus. Par exemple, un muscle squelettique assure, par sa contraction, son rôle de rapprochement des os. Cette fonction de contraction est le fait de chacune des cellules qui le constitue : chaque cellule musculaire peut faire varier sa longueur. Quand toutes ces cellules jointes se raccourcissent, le muscle se contracte. C'est l'ensemble des cellules qui détermine l'activité d'un organe.

Conclusion

La cellule apparaît donc comme une unité biologique (dans la description des êtres vivants, elle est l'unité de structure commune à tous les êtres vivants), mais aussi physiologique (le fonctionnement d'un organisme dépend de l'activité des cellules qui le constituent).

UNIVERSALITÉ ET VARIABILITÉ DE L'ADN

On sait que l'information génétique est contenue dans le noyau des cellules eucaryotes, sous forme de chromosomes. Toutes les cellules d'un individu possèdent les mêmes chromosomes.

- **1** Quel est le support chimique de l'information génétique ?
- **2** Comment expliquer la diversité des individus au sein d'une espèce ?

Quelques rappels

Vu au collège

- Les chromosomes portent les gènes, unités d'information héréditaires qui déterminent les caractères héréditaires.
- Les chromosomes sont visualisés sur le caryotype.
- Ils sont en deux exemplaires, appelés chromosomes homologues, l'un d'origine paternelle, l'autre d'origine maternelle.
- À un gène correspondent des informations différentes pour un caractère : ce sont des allèles.

En 2^e

- L'ozone stratosphérique protège la Terre du rayonnement solaire ultraviolet.

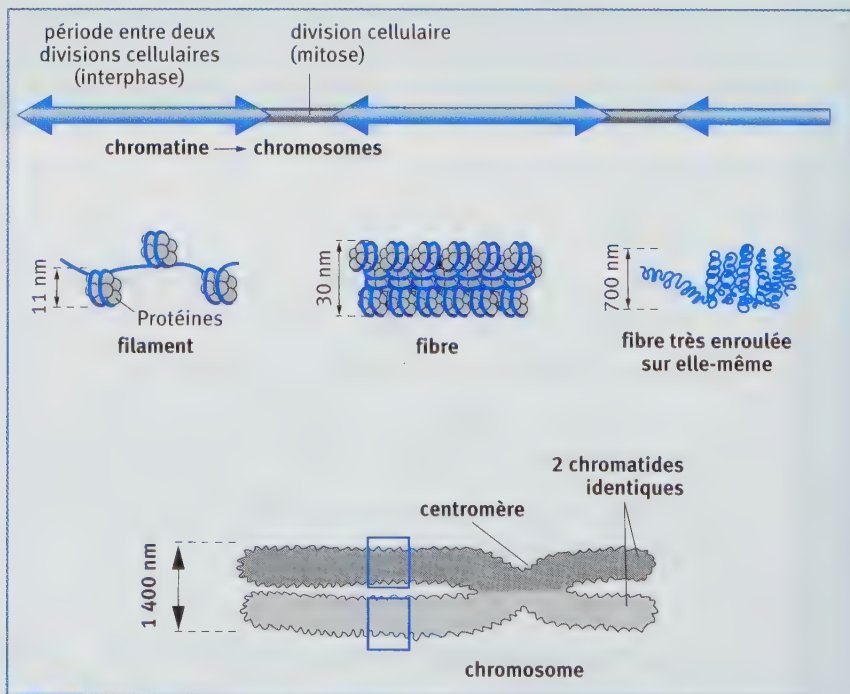
I L'ADN, support de l'information génétique

Les chromosomes sont le support de l'information génétique (chapitre 6) de toutes les cellules. Nous allons à présent voir quelle est leur structure chimique

1 La structure moléculaire des chromosomes

Dans toutes les cellules et chez toutes les espèces, un chromosome est constitué de la même façon : c'est un long filament formé de protéines et d'une molécule complexe, l'**ADN** (acide désoxyribonucléique). Une molécule d'ADN peut être très longue : si on déroulait tous les chromosomes d'une cellule humaine et que l'on mettait bout à bout toutes les molécules d'ADN, on obtiendrait un filament d'environ 2 mètres de longueur. L'ADN est très fortement pelotonné autour de protéines.

Entre deux divisions cellulaires, l'ADN est déroulé sous une forme visible au microscope dans le noyau : la **chromatine**. Pendant la division cellulaire, l'ADN est compacté : ce sont les chromosomes. La division est ainsi précédée d'un pelotonnement de l'ADN autour de protéines nucléaires. Les chromosomes visibles à ce seul moment, chez les eucaryotes, permettent l'établissement du **caryotype**.

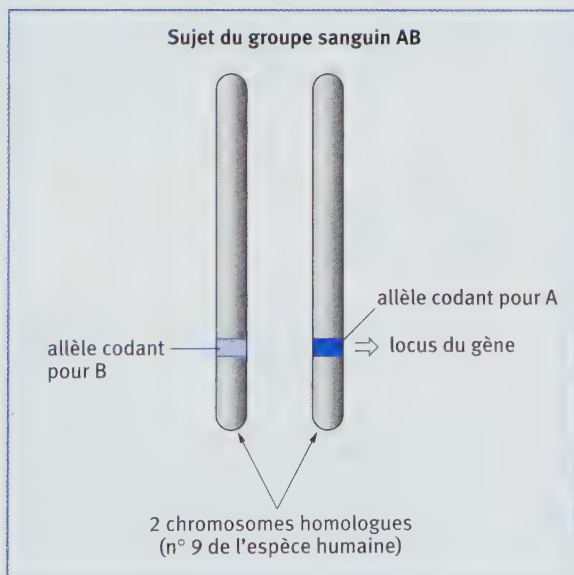


Doc. 1 Les différentes formes de l'ADN au cours de la vie cellulaire.

2 Le rôle de l'ADN

Les chromosomes portent les **gènes**, unités d'information génétique qui déterminent les **caractères** héréditaires. Sauf dans les gamètes, un gène existe en deux exemplaires dans toutes les cellules, occupant la même position (**locus**) sur chacun des deux chromosomes d'une paire. Les exemplaires de ce gène s'appellent des **allèles**. L'ensemble des allèles d'un individu détermine son génotype. Le phénotype est l'ensemble des caractères génétiques exprimés par un individu.

Chaque cellule possède l'ensemble du programme génétique de l'individu, puisque l'ADN présent dans la cellule-œuf a été transmis, par les chromosomes, à toutes les cellules d'un être vivant. L'information génétique est intégralement conservée dans chaque cellule. Mais chaque cellule n'en exprime qu'une partie selon la région où elle se trouve : c'est le principe de la différenciation (vu au chapitre 6).



Doc. 2 Détermination d'un caractère génétique : le groupe sanguin.



Universalité de l'ADN

1 Transgénèse : définition

La **transgénèse** est le transfert d'une portion d'une molécule d'ADN d'une espèce (donneuse) dans l'ADN d'une autre espèce (receveuse). Il existe des transferts d'ADN naturels, mais ils peuvent également être réalisés expérimentalement

en laboratoire. L'expérience est réussie si les cellules de l'espèce receveuse expriment le nouveau caractère génétique apporté par l'ADN de l'espèce donneuse.

Comment une bactérie profite de la blessure d'un plant de vigne pour assurer sa croissance !

1. À la faveur d'une blessure d'un pied de vigne, la bactérie du sol (*Agrobacterium tumefaciens*) entre en contact avec une cellule de la plante.
2. Une partie de l'ADN de la bactérie est transférée et incorporée dans le matériel génétique (chromosome) situé dans le noyau de la cellule végétale.
3. Une séquence d'événements programmés par la « fonction de virulence » (VIR) de la bactérie débute.
4. L'expression de l'ADN bactérien dans la cellule végétale entraîne :
 - la multiplication continue incontrôlée de la cellule végétale et développement d'une tumeur, massif de cellules se divisant de manière anormale, sans contrôle ;
 - la synthèse de substances spécifiques à la bactérie, appelées « opines ».
5. Des opines sont libérées dans le milieu extracellulaire.
6. Les opines sont prélevées par la bactérie et utilisées pour sa propre croissance.

Dans cet exemple, la vigne a été transformée génétiquement : elle fabrique des substances bactériennes.

Doc. 3 Une transgénèse naturelle.

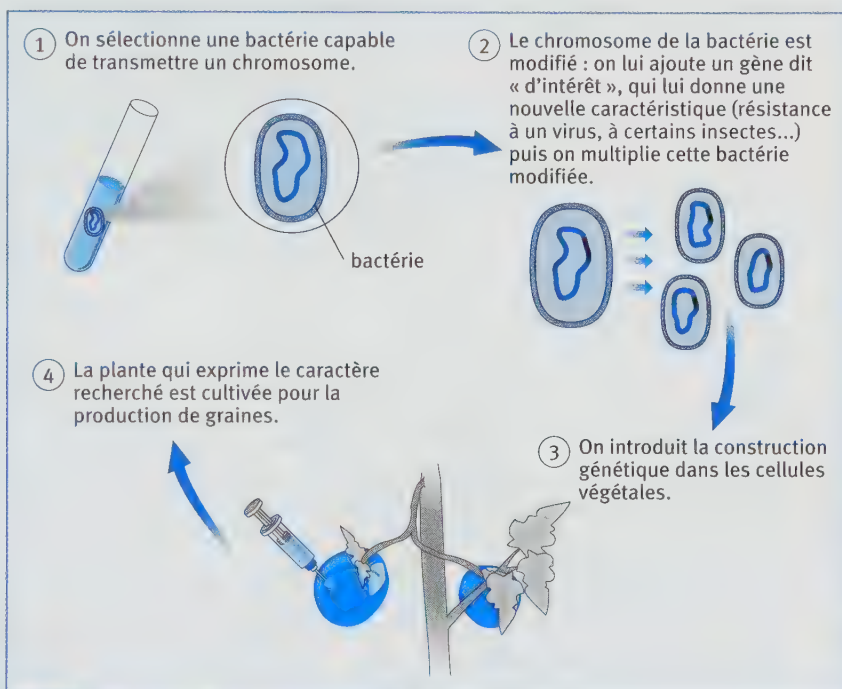
2 Transgénèse : interprétation

Le résultat expérimental présenté dans le document 3 met en évidence le fait que l'ADN bactérien peut s'exprimer aussi bien dans une bactérie (cellule procaryote) que dans une cellule de la vigne (eucaryote). De nombreuses expériences permettent une généralisation de ce résultat. L'ADN est une molécule **universelle**, elle est présente dans toutes les cellules de tous les êtres vivants. Son rôle est identique dans toutes les cellules de toutes les espèces. Une cellule peut utiliser aussi bien son ADN, qu'une autre portion qui lui serait transmise d'un organisme étranger. Cette universalité de l'ADN est mise à profit par les virus (particules sub-microscopiques formée seulement de quelques protéines et d'une courte molécule d'ADN) pour parasiter les cellules d'autres êtres vivants.

3 Transgénèse : applications

Les expériences de transgénèse permettent la transformation des organismes pour produire des substances intéressantes pour l'homme. On obtient ce que l'on appelle des OGM (organisme génétiquement modifié). Par exemple, des bactéries sont capables de produire des molécules d'intérêt pharmaceutique ; des animaux fabriquent des produits de substitution pour l'alimentation ; des

plantes acquièrent une résistance à certains herbicides. Actuellement, 58 millions d'hectares de plantes transgéniques sont cultivés dans le monde, dont 1 % est destiné à la recherche médicale.



Doc. 4 Comment fabrique-t-on un OGM ?

L'usage de la transgénèse suscite de nombreuses interrogations et des refus de la part d'associations et d'individus. Ces inquiétudes proviennent d'un questionnement sur les effets non prévisibles, à plus ou moins long terme, de ces technologies sur l'environnement et la santé humaine.



Universalité de la composition chimique et de la structure de l'ADN

1 Composition chimique de l'ADN

L'analyse chimique de l'ADN révèle que cette molécule est formée d'un assemblage de **nucléotides**. Un nucléotide comporte trois éléments :

- un sucre, appelé le désoxyribose ;

- un groupement phosphate ;
- une base azotée (parfois appelée simplement base) parmi les quatre suivantes : l'adénine (A), la thymine (T), la cytosine (C) et la guanine (G).

Il existe donc quatre nucléotides possibles selon la base azotée qu'il contient. On appelle **séquence** de l'ADN la liste ordonnée des nucléotides qui la composent et séquençage de l'ADN l'opération qui consiste à établir cette séquence. Il apparaît que la séquence varie d'un individu à l'autre, mais encore plus, d'une espèce à l'autre.

Le **génom**e d'un individu est constitué par la séquence complète de son ADN. La séquence de l'ADN forme un message : on dit qu'un gène, séquence d'ADN, code pour un caractère génétique. Tout changement de nucléotide peut se traduire par la modification d'un caractère héréditaire, par exemple, une modification du métabolisme.

2 Structure spatiale de l'ADN

La structure spatiale de la molécule d'ADN a été décrite par James Watson et Francis Crick à Cambridge, en 1953. L'ADN est constitué de deux brins. Chaque brin est une succession linéaire de nucléotides. Les deux brins sont associés l'un à l'autre grâce à la **complémentarité** des nucléotides deux à deux formant les barreaux d'une échelle (voir document 5) :

- en face de l'adénine, on trouve la thymine ;
- en face de la guanine, on trouve de la cytosine.

D'où les constatations expérimentales suivantes : chez un individu, la proportion d'adénine est égale à celle de thymine ; celle de cytosine est égale à celle de guanine ; ces proportions varient d'une espèce à l'autre (voir l'exercice résolu n° 1).

Donc, la connaissance de la séquence d'un brin détermine celle du brin complémentaire.

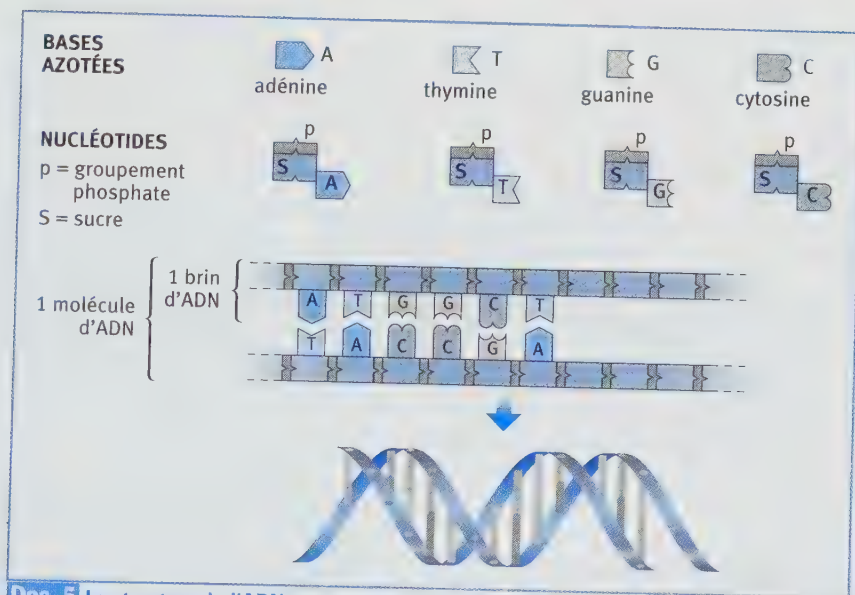
Par exemple, si un brin comporte la séquence de nucléotides G A T T A C C A, l'autre brin contient alors la séquence

C T A A T G G T.

Dans l'espace, les brins de la molécule d'ADN s'enroulent en formant une double hélice (doc. 5). Cette organisation dans l'espace est la même chez tous les êtres vivants. L'élucidation de cette structure de l'ADN par Watson et Crick est une découverte fondamentale, dans la mesure où elle rend compte de nombreuses observations en biologie.

Remarque : la complémentarité des nucléotides repose sur la forme des bases, leur encombrement spatial. Seules les configurations indiquées (A-T et C-G) sont chimiquement possibles. De plus, les nucléotides sont associés par des liaisons chimiques particulières, les « liaisons hydrogène », des liaisons faibles qui participent au maintien de la structure dans l'espace de cette longue molécule.

Une analogie peut être établie entre les molécules d'ADN et les livres. Tous les livres ont la même structure : des feuilles de papier, sur lesquelles le texte est imprimé, reliées entre elles. Ce qui fait la différence entre deux livres, c'est l'ordre des caractères (formant les mots, les phrases). De même, l'ADN a une structure constante (double hélice), mais l'enchaînement des nucléotides varie. L'alphabet français utilise 26 lettres, « l'alphabet » de l'ADN ne comporte que 4 signes (A, T, G et C).



Doc. 5 La structure de l'ADN.

IV Variabilité de l'ADN

1 Les gènes et les allèles

À un gène correspondent des informations différentes pour un caractère : ce sont ses allèles. Un gène code pour un caractère donné, mais les allèles peuvent commander des formes différentes pour ce caractère. Les caractères génétiques de l'individu reposent sur l'expression des cellules qui le constituent (chapitre 6). Les cellules possèdent, pour un même gène :

- soit deux fois le même allèle : on dit que l'individu est **homozygote** ;
- soit deux allèles différents : on qualifie alors l'individu **d'hétérozygote** pour le caractère étudié.

Dans ce dernier cas, les deux allèles peuvent s'exprimer ou l'un peut s'exprimer et pas l'autre.

Par exemple, tous les êtres humains possèdent le caractère « groupe sanguin ABO » codé par un gène porté par le chromosome n° 9 ; pour ce gène, il existe trois allèles : A, B et O. Certains individus possèdent deux allèles identiques (par exemple, A et A : leur phénotype est le groupe sanguin A), d'autres seront hétérozygotes (par exemple avec le génotype A et B : ils sont de groupe sanguin AB ; avec le génotype A et O, ils sont du groupe A).

La structure de l'ADN explique l'existence des allèles : un gène est une séquence d'ADN, un enchaînement de nucléotides dans un ordre donné ; les allèles présentent au même **locus** une séquence présentant quelques différences.

Par exemple, le gène ABO est formé d'une séquence de 1065 nucléotides, il existe chez tous les êtres humains. Dans l'espèce humaine, les séquences des trois allèles connus sont les suivantes :

	Position dans le gène	Extrait de la séquence	Position dans le gène	Extrait de la séquence
Allèle A	292 à 300	G G C A C A T T C	254 à 262	G T G G T G A C C
Allèle B	292 à 300	G G C A C G T T C		
Allèle O			254 à 262	G T G G T A C C A

Doc. 6 Variations des séquences dans l'ADN entre les allèles du gène ABO. Le locus de ce gène est localisé sur le chromosome n° 9 dans l'espèce humaine. Les autres parties de la séquence d'ADN de ce gène sont communes aux trois allèles. En France, la fréquence des groupes sanguins est la suivante : A = 42 % ; B = 10 % ; AB = 3 % ; O = 45 %.

2 Les mutations

On appelle **mutation** un changement aléatoire dans une séquence d'ADN. Ce sont des mutations successives qui sont à l'origine des différents allèles d'un gène. Une mutation modifie donc la séquence d'un gène.

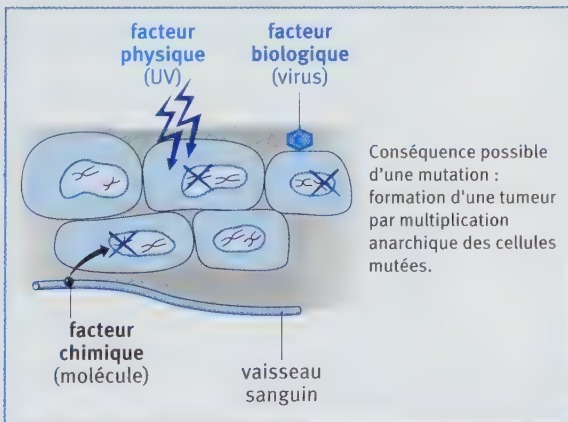
Les mutations sont des phénomènes aléatoires, c'est-à-dire entièrement liés au hasard : la nature et la place du nucléotide affecté ne sont pas prévisibles. Il s'agit d'un phénomène rare (les taux de mutations mesurés sont très faibles, inférieurs à une cellule mutée sur 10 millions chez l'homme), mais constant, dans la mesure où il est inévitable. Les mutations ont des conséquences variables selon les cellules et la portion d'ADN qu'elles atteignent.

Les mutations peuvent être spontanées ou être favorisées par divers facteurs environnementaux. Parmi ces facteurs **mutagènes** (c'est-à-dire qui augmentent la probabilité de mutations), on distingue les facteurs physiques, chimiques et biologiques. Des facteurs physiques de l'environnement augmentent le risque

d'altération de l'ADN (donc de mutations). Par exemple, les ultraviolets lèsent la structure de la molécule d'ADN, surtout dans les cellules cutanées : ainsi, le Soleil est à l'origine de mutations, d'où l'importance déjà signalée de la couche protectrice d'ozone dans la haute atmosphère (voir chapitre 3). Des facteurs chimiques accélèrent les modifications de la séquence d'ADN, comme les molécules à usage de colorants, certains dérivés du pétrole, les produits du tabac ; ces produits peuvent agir au contact de la peau, ou sur toutes les cellules après ingestion ou inhalation et passage dans le sang. Enfin, des éléments biologiques, comme des virus, peuvent être à l'origine de remaniement du génome, donc de mutations.

3 Les conséquences des mutations

Dans un organisme pluricellulaire, on distingue les cellules **somatiques**, qui constituent l'ensemble des tissus à l'exclusion de la lignée des cellules reproductrices. Si une mutation touche une cellule somatique, elle ne sera pas transmise à la descendance de l'individu, mais elle sera transmise aux cellules qui en dérivent par division cellulaire. Une cellule mutée peut donner naissance à une tumeur, formée d'un ensemble de cellules qui se multiplient en échappant à tout contrôle. La tumeur peut être bénigne si ce massif de cellules reste bien circonscrit. La tumeur maligne est caractérisée par la dissémination par voie sanguine des cellules mutées anormales. Il en résulte une maladie : le cancer.

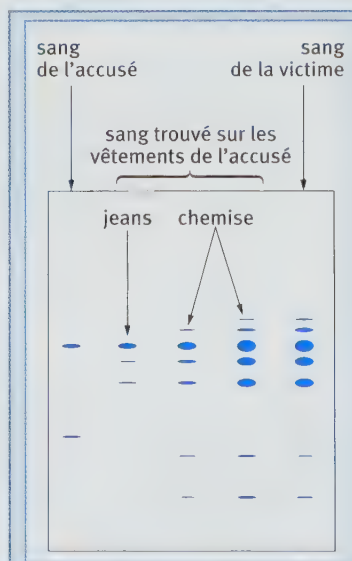


Doc. 7 La mutation d'une cellule somatique.

Une autre catégorie de cellules peut subir des mutations : ce sont les cellules reproductrices, ou gamètes. Ces cellules forment la lignée **germinale**. Si une mutation atteint la lignée germinale, elle peut être transmise à la descendance de l'individu. Les descendants sont alors susceptibles d'exprimer un caractère nouveau, pouvant conférer un avantage dans un environnement donné. Mais

la plupart du temps, la mutation implique une disparition d'un élément nécessaire au métabolisme. Cela explique les maladies génétiques dans lesquelles le métabolisme subit une modification qui empêche la cellule mutée d'assurer sa fonction biologique. Les maladies génétiques sont héréditaires, présentes dès la fécondation, même si elles peuvent s'exprimer plus tardivement, et ne peuvent bénéficier actuellement que d'un traitement qui limite les conséquences de cette affection. Il existe même des mutations qualifiées de létales, qui entraînent la mort de l'individu qui les porte.

La mutation est un phénomène spontané et constant. Même avec une vie protégée (du Soleil, du tabac...), ces changements « accidentels » dans la séquence de l'ADN interviennent. Une mutation peut avoir des conséquences graves pour l'individu touché. Mais toutes les mutations ne sont pas dramatiques : certaines contribuent à l'expression de caractères nouveaux. Chaque individu issu de la reproduction sexuée possède un programme génétique qui contribue à le rendre unique. Il n'existe pas deux individus possédant la même séquence d'ADN.



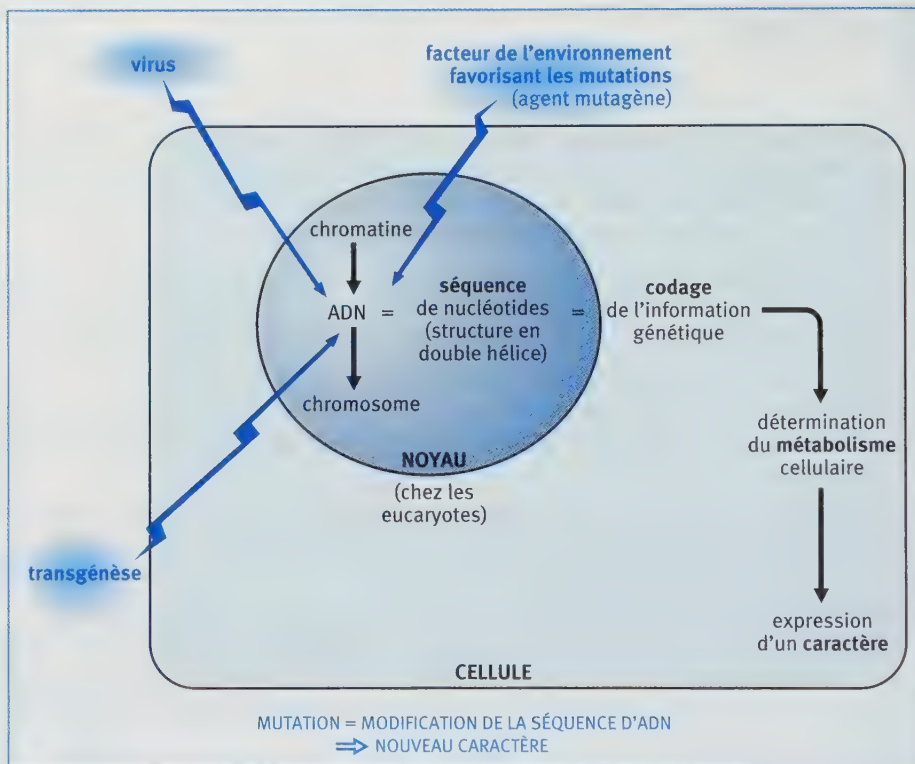
À partir d'un matériel biologique trouvé sur les lieux d'un crime (taches de sang, par exemple), on cultive les cellules retrouvées pour en augmenter le nombre, puis on casse par des procédés physico-chimiques ces cellules dont on récupère le noyau. L'ADN est alors extrait et découpé en fragments par des enzymes particulières. Les fragments sont ensuite séparés par une technique dite d'électrophorèse (ci-contre). Chaque bande sombre qui correspond à un fragment d'ADN se place sur une rangée qui constitue une « empreinte génétique » du matériel biologique prélevé. Un raisonnement mathématique simple utilise la propriété de variabilité des êtres vivants pour montrer qu'il n'existe pas deux individus ayant la même empreinte génétique. Comme le montre l'analyse de l'ADN ci-contre, l'empreinte génétique provenant des taches de sang trouvées sur les vêtements de l'accusé correspond à celle de la victime et non à celle de l'accusé.

Doc. 8 Une utilisation policière de la variabilité de l'ADN.

Enfin, la vie telle que nous la connaissons n'aurait pas pu se développer et se diversifier en absence de mutations dans le monde vivant. La diversité génétique des individus, qui introduit des différences entre eux, permet à certains de vivre dans le milieu et donc de se reproduire, là où d'autres ne possédant pas ces caractères ne le pourraient pas. Les mutations permettent l'adaptation au milieu, ce qui est le gage de l'évolution des espèces.

le bilan

- La molécule d'ADN est constituée de deux chaînes de nucléotides enroulées en double hélice. L'association des deux chaînes est réalisée grâce à la complémentarité des bases qui constituent les nucléotides. La structure de l'ADN, c'est-à-dire l'organisation de cette molécule, est un facteur d'unité du monde vivant. Toutes les cellules de tous les êtres vivants en possèdent.
- Les mutations ou les expériences de transgénèse montrent que le rôle de l'ADN est identique dans toutes les cellules. Cette unité de la structure et de la fonction de la molécule d'ADN plaide en faveur d'une origine commune de la vie.
- Un gène est une portion d'ADN qui détermine un caractère génétique : sa séquence de nucléotides code une information génétique. L'ADN est donc porteur de messages héréditaires susceptibles de s'exprimer et d'être transmis à la descendance.
- Lors de la division cellulaire chez les eucaryotes, les chromosomes s'individualisent à partir de la chromatine : chaque chromosome contient une molécule d'ADN très pelotonnée.
- Il existe une variabilité due aux mutations dans les séquences de l'ADN. Cette variabilité est à l'origine des différentes formes alléliques d'un gène. La variabilité du génome à l'intérieur d'une espèce est telle que chaque individu est unique. La diversité est un argument en faveur d'une évolution des espèces au cours des temps géologiques.



les mots-clés

ADN (n. m.) : acide désoxyribonucléique, support universel de l'information génétique.

Allèle (n. m.) : forme possible d'un gène.

Caractère (n. m.) : facteur présent chez un individu.

Caryotype (n. m.) : inventaire des chromosomes d'un individu.

Chromatine (n. f.) : forme sous laquelle est l'ADN dans le noyau entre deux divisions cellulaires ; les chromosomes sont la forme condensée de la chromatine.

Complémentarité (n. f.) : association privilégiée des nucléotides deux à deux, A avec T et C avec G.

Gène (n. m.) : séquence d'ADN codant pour un caractère.

Génome (n. m.) : ensemble des informations génétiques d'un individu.

Germinal (adj.) : qui a rapport avec les cellules reproductrices de l'organisme (spermatozoïdes ou ovules).

Locus (n. m.) : localisation du gène dans un chromosome.

Mutation (n. f.) : changement rare, aléatoire dans une séquence d'ADN ; phénomène spontané, mais qui peut être induit par différents facteurs de l'environnement.

Mutagène (adj.) : qui provoque des mutations.

Nucléotide (n. m.) : constituant élémentaire de l'ADN, formé par l'association d'un sucre (le désoxyribose), d'un groupement phosphate et d'une des 4 bases azotées possibles (A, T, G ou C).

Séquence (n. f.) : ordre dans lequel s'enchaînent les nucléotides dans un brin d'une molécule d'ADN.

Somatique (adj.) : qualifie les cellules non reproductrices de l'organisme.

Transgénèse (n. f.) : procédé biotechnologique qui consiste à insérer dans le programme génétique d'une espèce un gène venant d'une autre espèce, pour la production de molécules recherchées.

Universel (adj.) : de même nature chez tous les êtres vivants.

Exercices

Faire le point

1. Donner la définition de l'expression : « universalité de l'ADN ».
2. Expliquer l'apport des expériences de transgénèse sur la compréhension du rôle de l'ADN.
3. Définir le terme OGM.
4. Écrire la composition d'un nucléotide.
5. Décrire la structure d'une molécule d'ADN.
6. Définir la différence, au niveau de l'ADN, entre deux individus.
7. Déterminer le rapport entre chromosome, gènes et allèles.
8. Préciser les propriétés d'une mutation.
9. Écrire la différence entre une mutation somatique et une mutation germinale.
10. Indiquer des facteurs qui favorisent les mutations.
11. Établir le rapport qui existe entre une mutation et un cancer.
12. Les rayons X, très énergétiques, sont mutagènes. Expliquer alors pourquoi on ne fait jamais de radiographie (qui utilise les rayons X) d'une femme enceinte, pas plus que des testicules ou des ovaires.

S'entraîner

EXERCICE 1 Bases, nucléotides et ADN

Voici une séquence d'ADN : ...A C T A T T A C C G T C G C G A G...

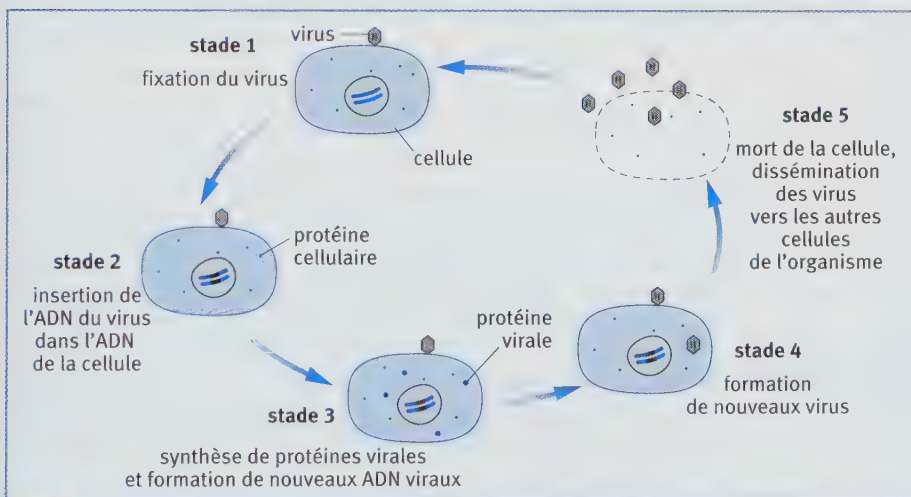
1. Donner la signification de chaque lettre.
2. Préciser ce que représente cette suite de lettres.
3. Écrire la séquence du brin complémentaire.

4. Que se passe-t-il si T est remplacé par G à la troisième position ? Donner le nom de cet événement.

5. La nicotine est une molécule contenue dans la fumée de tabac, de forme assez semblable à la cytosine. Proposer une hypothèse pour rendre compte de l'effet mutagène de la nicotine.

EXERCICE 2 Le cycle viral

Le document ci-dessous représente schématiquement un cycle viral, c'est-à-dire les différentes étapes qui interviennent de la fixation d'un virus sur une cellule jusqu'à la mort de cette cellule et à la libération de nombreux virus. Un virus est formé d'une « coque » protéique et d'une molécule d'ADN.



Doc. Le cycle d'un virus dans une cellule.

1. Rédiger un texte court décrivant les différentes étapes du cycle viral.
2. Indiquer l'origine des différentes protéines présentes au stade 3.
3. Montrer que l'existence des virus repose sur l'universalité de l'ADN.
4. Montrer que les produits formés par la cellule infectée par un virus ont deux origines.

EXERCICE 3 Levures et métabolisme de l'adénine

L'adénine est un produit indispensable à la survie des levures *Saccharomyces cerevisiae*. Il est en principe produit par le métabolisme des levures. On expose des levures

Saccharomyces cerevisiae à des doses croissantes de rayonnement UV et l'on étudie leur métabolisme de l'adénine.

Après 24 heures d'exposition, on prélève 20 levures que l'on dépose sur une boîte de Pétri dans laquelle on a répandu un milieu nutritif dépourvu d'adénine et l'on compte le nombre de colonies. Les résultats de l'expérience sont présentés dans le tableau suivant :

Dose d'UV pendant 24 heures (unité arbitraire)	0	10	20	30	40	50	60	70
Nombre de colonies sur le milieu	20	19	17	14	13	11	8	5

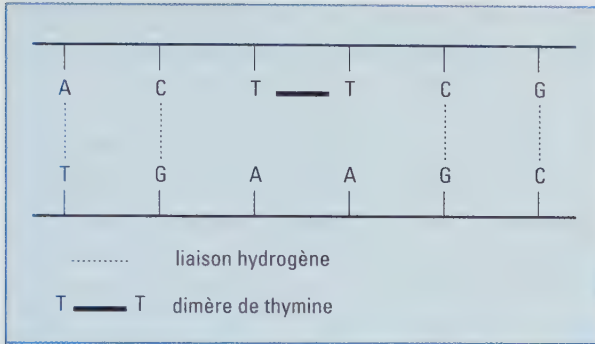
Dans une seconde expérience, on cultive ces levures sur un milieu contenant de l'adénine. Certaines levures se développent alors : elles forment des colonies rouges. Mais on n'arrive jamais à obtenir 20 colonies.

1. Représenter graphiquement les résultats de l'expérience.
2. Indiquer quelle information peut être extraite de ce graphique.
3. Après avoir précisé l'importance de l'adénine pour les levures, indiquer si les colonies décomptées sont capables de le synthétiser ou non.
4. Proposer une hypothèse pour expliquer le résultat mis en évidence sur le graphique.
5. Proposer une hypothèse pour expliquer le résultat de la seconde expérience.

EXERCICE 4 Étude de l'origine d'une maladie

Le *Xeroderma pigmentosum* est une maladie rare caractérisée par des taches brunes sur la peau. Cette pigmentation anormale est due à une mortalité cellulaire importante.

A. Les radiations ultraviolettes peuvent affecter des cellules en entraînant, par exemple, la formation de liaisons entre deux thymines successives : on obtient des dimères de thymine (document 1). La présence de dimères perturbe le fonctionnement cellulaire et provoque la mort de la cellule atteinte.

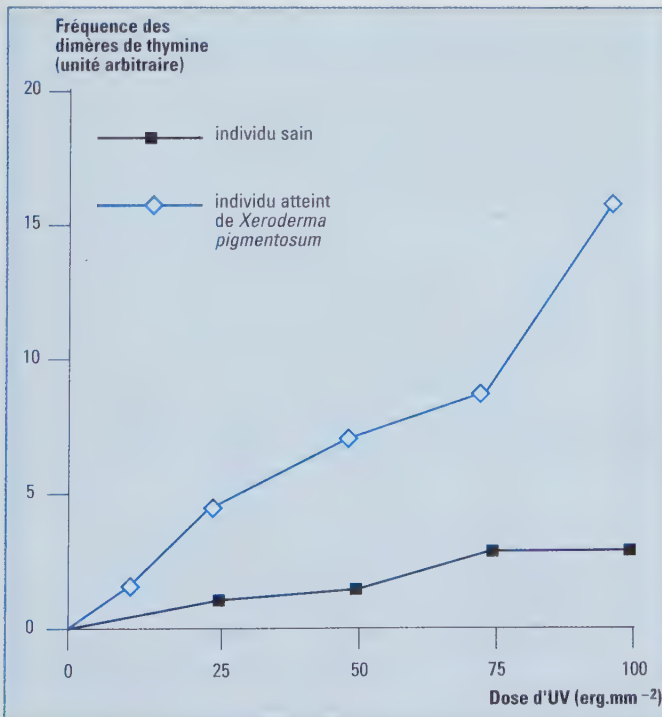


Doc. 1 Les dimères de thymine au sein d'une molécule d'ADN.

1. Préciser ce que représente ce schéma.
2. Indiquer l'événement anormal signalé.

B. Des cellules sont prélevées chez un individu sain et chez un individu atteint de *Xeroderma pigmentosum*. Ces cellules sont soumises à des doses croissantes de radiation UV. On mesure le nombre de dimères 24 heures plus tard. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Quelles informations apporte ce graphique ?



Doc. 2 Fréquence des dimères en fonction de la dose d'UV reçue.

Exercices

C. Chez un individu sain il existe un mécanisme permettant d'éliminer les dimères de thymine. Ce mécanisme de réparation n'existe pas chez les individus atteints de *Xeroderma pigmentosum*. Les portions d'ADN responsables de ce mécanisme ont été séquencées chez les individus sains et les individus atteints.

Individu sain : ... AAAGAAGAGCAACAACAG ...

Individu atteint de *Xeroderma pigmentosum* : ... AAAGAAGAGAAACAACAG ...

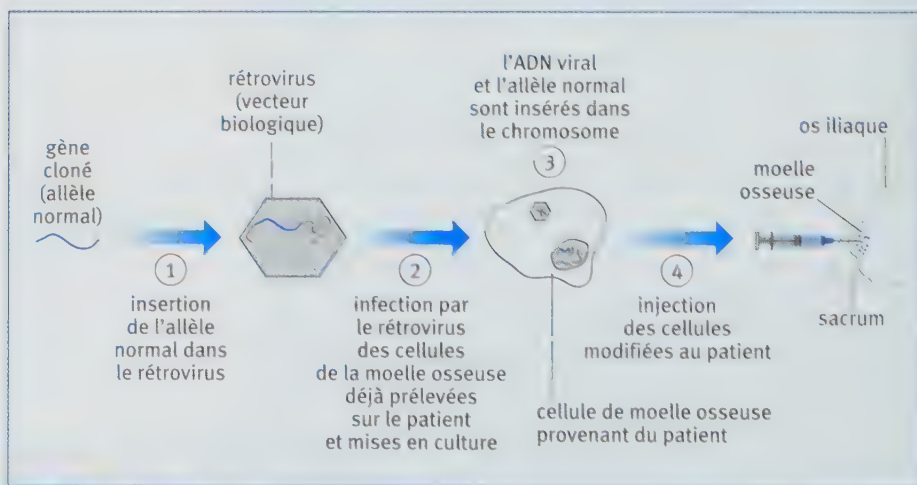
1. Rappeler ce que représente la suite des lettres données ci-dessus. Pourquoi une seule ligne est-elle suffisante ?
2. Citer les différences observées entre l'individu sain et celui atteint de *Xeroderma pigmentosum*.
3. Préciser l'origine de cette différence, et donc de la maladie.
4. Indiquer alors quel mode de vie doivent adopter les sujets atteints de *Xeroderma pigmentosum*.

EXERCICE 5 Schéma d'une transgénèse naturelle

Reprendre les données du document 3 de ce chapitre. Réaliser un schéma fonctionnel expliquant la transgénèse naturelle.

EXERCICE 6 La thérapie génique

Le schéma ci-dessous décrit le protocole expérimental de la thérapie génique, qui permet d'insérer un allèle « normal » dans les cellules de la moelle osseuse d'un patient atteint d'une maladie due à un allèle « anormal ». L'allèle « normal » a été extrait des cellules d'une personne non atteinte par cette maladie. Le transfert de l'allèle « sain » est réalisé par un vecteur biologique (rétrovirus rendu inoffensif). Les résultats de cette expé-



Doc. Les étapes de la thérapie génique.

rience sont peu satisfaisants pour l'instant : la maladie régresse peu car l'intégration du nouvel allèle à la bonne place est assez rare.

1. Montrer que les données du texte évoque une maladie génétique.
2. Rappeler les points communs de toutes maladies génétiques.
3. Expliquer le principe de la thérapie génique.
4. Justifier le terme de « thérapie » (acte de soigner) employé pour ce procédé encore expérimental.

EXERCICE 7 Les expériences de transgénèse

Depuis 1983, date à laquelle on a réussi à insérer un gène bactérien de résistance à un antibiotique dans un plant de tabac, les expériences de transgénèse se sont multipliées. On a transféré à des plantes des gènes animaux qui permettent la production d'hémoglobine, ou encore de protéines bio-luminescentes (qui produisent de la lumière). Des gènes conférant une résistance aux herbicides provenant d'espèces végétales ont été apportées à d'autres espèces végétales. On a transféré des gènes à des organismes animaux : hormone de croissance humaine chez des souris, gènes de synthèse d'antibiotiques provenant de champignons ou de synthèse de facteurs anti-coagulants à des vaches. Des bactéries sont aussi génétiquement modifiées : elles peuvent alors fabriquer de l'insuline humaine. Divers gènes bactériens déterminant la synthèse de produits dégradant le pétrole ont été réunis dans une espèce de bactérie qui sont répandues sur les nappes de pétrole lors de marées noires.

1. Montrer que la transgénèse est une application de l'universalité de l'ADN.
2. Réaliser un tableau où figurent, pour chaque expérience citée dans le texte, l'organisme donneur, l'organisme receveur et le caractère transféré.
3. On appelle transgénote (ou organisme génétiquement modifié, OGM) un organisme dont toutes les cellules bénéficient d'un transfert de gène. On appelle chimère un organisme dont quelques cellules seulement ont subi cette transformation. À l'aide de vos connaissances, justifier cette distinction et indiquer, dans les deux cas, si cette modification sera transmise à la descendance de ces organismes.
4. Établir le rapport entre les couples de termes : transgénote / chimère et mutation germinale / mutation somatique.

Exercices guidés

EXERCICE RÉSOLU 1 Universalité et variabilité de l'ADN

Analyser les documents

On mesure la proportion des 4 nucléotides dans l'ADN de huit espèces. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Espèce	A	T	G	C
Blé	27,3	27,1	22,7	22,8
<i>E. Coli</i>	24,7	23,6	26,0	25,7
Homme	30,4	29,9	19,9	19,8
Levure	31,3	32,9	18,7	17,1
<i>Methanococcus</i>	34,5	34,2	15,9	15,5
Oursin	32,8	32,1	17,7	17,3
Poulet	28,8	29,2	20,5	21,5
Sauterelle	29,3	29,3	20,5	20,7

Doc. Proportions des nucléotides dans l'ADN de différents organismes. Les données sont fournies aux erreurs de mesures près. *E. Coli* et *Methanococcus* sont deux espèces de bactéries.

1. Rappeler ce que signifient les lettres portées en tête de colonnes.
2. Décrire les étapes nécessaires pour que le séquençage de l'ADN soit possible pour les huit espèces.
3. Pour une espèce, comparer les proportions relatives des nucléotides. À l'aide de vos connaissances, expliquer cette observation.
4. Calculer et comparer le rapport $(A+T) / (C+G)$ dans deux espèces. Proposer une interprétation à cette comparaison.
5. Montrer que ce tableau permet d'affirmer que l'ADN est une molécule universelle.

◆ Conseils

- L'exercice consiste à retrouver des connaissances du cours à partir de ce tableau : il s'agit des mesures qui viennent confirmer le modèle de l'ADN.
- Il repose sur une bonne lecture du tableau : que représentent ces nombres ? Que remarque-t-on entre ces nombres ?
- Le séquençage suppose l'extraction de l'ADN : se reporter au document 8 de ce chapitre.

◆ **Solution**

1. A, T, G et C sont les initiales désignant les quatre nucléotides composant l'ADN.
2. Pour séquencer l'ADN, il faut :
 - isoler les cellules de l'organisme (s'il n'est pas unicellulaire) ;
 - isoler le noyau de ces cellules (eucaryotes) ;
 - extraire et purifier l'ADN du noyau (des cellules eucaryotes) ;
 - déposer l'ADN dans une machine qui en réalise la séquence.
3. Prenons le blé. On constate que, aux erreurs de mesure près, le pourcentage de A est égal à celui de T et que le pourcentage de C est égal à celui de G. On interprète cela en se rappelant que les deux brins de l'ADN sont complémentaires : en face de A, on trouve T (et en face de G, on trouve C).
4. Pour le blé, le rapport $(A+T) / (C+G) = 54,4 / 45,5 = 1,19$. Pour la sauterelle, ce rapport vaut $58,6 / 41,2 = 1,42$. L'excès de A et T sur G et C traduit une répartition inégale des bases dans la séquence du génome (la répartition ne se fait pas au hasard). Le fait que cet excès soit différent d'une espèce à l'autre montre que la séquence est propre à une espèce, qu'elle diffère des autres (le message contenu dans la séquence explique les différences de caractères génétiques).
5. Dans les différentes espèces, on retrouve les mêmes nucléotides, seules leurs proportions relatives varient. On relève également les règles attendues de complémentarité de nucléotides ($A = T$, $C = G$). On peut donc retrouver dans ce tableau tous les aspects de la molécule d'ADN, molécule universelle.

EXERCICE RÉSOLU 2 Origine et rôle de l'ozone**Restituer des connaissances**

Expliquer pourquoi la « sortie des eaux » réalisée par les plantes, puis les animaux au cours de l'ère primaire (420 millions d'années) n'aurait pas pu avoir lieu plus tôt. On rappelle que :

- l'ozone dérive du dioxygène, gaz atmosphérique d'origine végétale exclusivement ;
- l'ozone est formé par des réactions chimiques dans la haute atmosphère ;
- les ultraviolets sont absorbés après avoir traversé quelques millimètres d'eau ;
- les premiers êtres vivants n'ont colonisé que l'océan, exclusivement.

◆ **Conseils**

- S'appuyer sur les acquis des trois premiers chapitres.
- Retrouver le rôle de l'ozone vis-à-vis de l'ADN (chapitre 3) ; en déduire un danger possible.
- Justifier le fait que les débuts de la vie sont intervenus dans l'océan.
- Au brouillon, ordonner la séquence chronologique des événements. Ne pas se soucier de la datation.
- Établir une hiérarchie des contraintes qui explique la séquence des événements observée.

◆ Solution

Introduction

Le Soleil est la seule source d'énergie externe de la Terre. Cette étoile émet des rayonnements lumineux, infrarouges, ultraviolets, etc. Or, ces derniers sont fortement mutagènes. La vie a donc dû s'en abriter dans un milieu qui leur est opaque : l'eau. Les océans ont accueilli les premières formes de vie.

Développement

1. La production initiale du dioxygène

L'atmosphère primitive de la Terre était dépourvue de dioxygène, et donc d'ozone. La moindre tentative d'un organisme vivant pour s'établir sur un continent se serait soldée par des mutations qui auraient tôt ou tard entraîné la mort de l'aventurier, ou de ses descendants immédiats.

Puis, les algues, utilisant l'énergie lumineuse pour la photosynthèse, ont libéré du dioxygène dans l'eau. Quand l'océan fut saturé, le dioxygène a diffusé dans l'atmosphère jusque-là composé principalement de dioxyde de carbone.

2. La formation de l'ozone

Le dioxygène s'accumulant dans l'atmosphère, la stratosphère devint le siège de la réaction de formation de l'ozone (trioxygène, O_3). On notera cet apparent paradoxe : cette formation de l'ozone est réalisée sous l'action des UV, biologiquement destructeurs. Mais on sait que l'ozone est une molécule instable.

3. Conséquence de l'apparition de l'ozone

Quand l'ozone a été produit en quantité suffisante, ce gaz devint assez dense pour former une couche stratosphérique protectrice vis-à-vis des radiations UV solaires. Les continents, déserts, virent alors l'irruption d'abord des plantes (autotrophie oblige), puis des animaux. Depuis l'ère primaire (Silurien, -420 Ma), les ultraviolets ont cessé d'être un facteur de l'environnement limitant pour le développement de la vie. La vie continentale s'épanouit alors, sans que les mutations d'origine solaire ne soient trop nombreuses.

Conclusion

L'ozone formé à partir du dioxygène libéré par les êtres vivants a permis l'expansion de la biosphère sur les continents. On trouve ici le second paradoxe : c'est l'action des êtres vivants sur le milieu qui a permis le développement de la biosphère sur de nouveaux territoires.

La dégradation de la couche d'ozone stratosphérique par les activités de l'homme serait donc susceptible de ramener la biosphère à une situation très ancienne.

UNITÉ ET DIVERSITÉ DES ORGANISMES

Les vertébrés présentent des analogies de forme remarquables. Certaines étapes de leur développement embryonnaire sont comparables.

- **1** Sur quoi reposent ces ressemblances ?
- **2** Comment interpréter ces ressemblances ?

Quelques rappels

Vu au collège :

- Certains critères permettent de grouper les animaux en espèces et de les classer.
- Toute reproduction sexuée comporte l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle : la fécondation.
- La cellule-œuf issue de la fécondation se transforme en embryon avant de devenir adulte.
- L'histoire de la vie est marquée par la succession et le renouvellement des espèces et des groupes.
- Les espèces se sont formées les unes à partir des autres : c'est l'évolution. Tous les êtres vivants ont une origine commune.

En 2^e :

- Le phénotype est déterminé par le génotype.
- Le matériel génétique est universellement sous forme d'ADN.
- Les gènes sont alignés sur les chromosomes ; ils déterminent les caractères génétiques.

Dans tous ce chapitre, on convient de désigner par « groupe » un ensemble d'espèces présentant des caractères communs. Par exemple, on peut parler du groupe des étoiles de mer, ou du groupe des oiseaux.

I Des similitudes dans l'organisation des vertébrés

Les vertébrés constituent un groupe d'animaux présentant des caractères morphologiques et anatomiques communs :

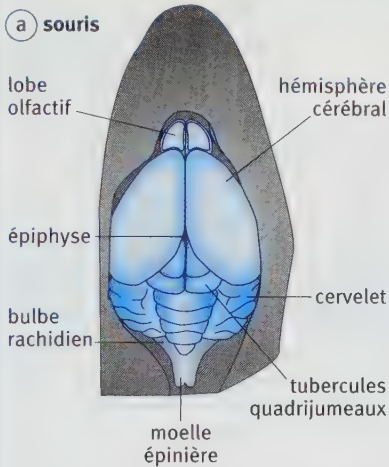
- le système nerveux est en position dorsale avec à l'avant, l'encéphale ;
- le système nerveux central est contenu dans des os (crâne, vertèbres) ;
- l'ensemble des pièces de soutien constitue un squelette interne ;
- la région du tronc est enfermée à l'avant par des côtes ;
- l'épiderme présente plusieurs couches de cellules ;
- le système cardio-vasculaire est clos : le cœur est compartimenté ;
- le tube digestif en position ventrale s'ouvre par la bouche à l'avant, l'anus à l'arrière.

On peut décrire des structures particulières pour établir des comparaisons :

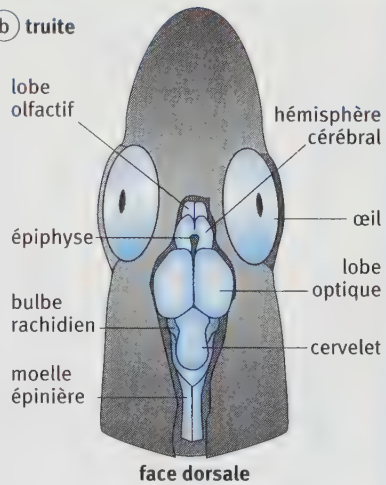
a. L'encéphale des vertébrés est constitué des mêmes éléments, dans le même ordre (document 1) : lobes olfactifs, hémisphères cérébraux, lobes optiques, cervelet et bulbe rachidien au départ de la moelle épinière. Ces éléments sont toujours présents dans le crâne des vertébrés, seule leur taille relative varie.

b. Les poissons actuels ont des ancêtres communs avec les **tétrapodes**, vertébrés possédant deux paires de membres locomoteurs dont le squelette s'insère à la colonne vertébrale par deux ceintures. Chaque membre est constitué de la même façon dans tous les cas (document 2) : un os long, puis deux os parallèles avant un ensemble osseux, départ des doigts. Ces éléments sont toujours présents, même s'ils sont rudimentaires, et même s'ils présentent des variations de forme et de fonction. Par exemple, un membre locomoteur peut être un bras chez l'homme, une nageoire pour la baleine, une aile pour le moineau. Des organes ayant la même origine embryonnaire (voir III) et la même fonction sont appelés « organes **homologues** ». Des organes homologues évoquent un ancêtre commun, possédant ces caractères, qui a légué cette structure à des descendants. Ceux-ci ont divergé par la suite, c'est-à-dire que des groupes possédant à l'origine ce caractère partagé se sont isolés. Il existe, par exemple, un ancêtre vertébré commun à tous les tétrapodes. Parmi les tétrapodes, la transformation d'un membre en aile a isolé le groupe des oiseaux.

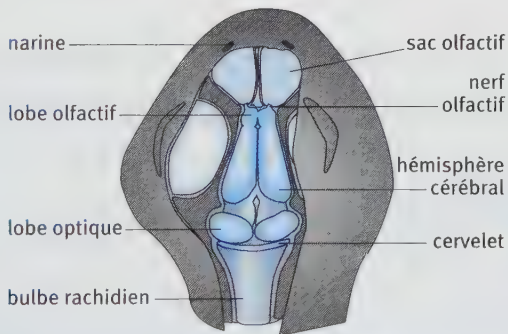
(a) souris



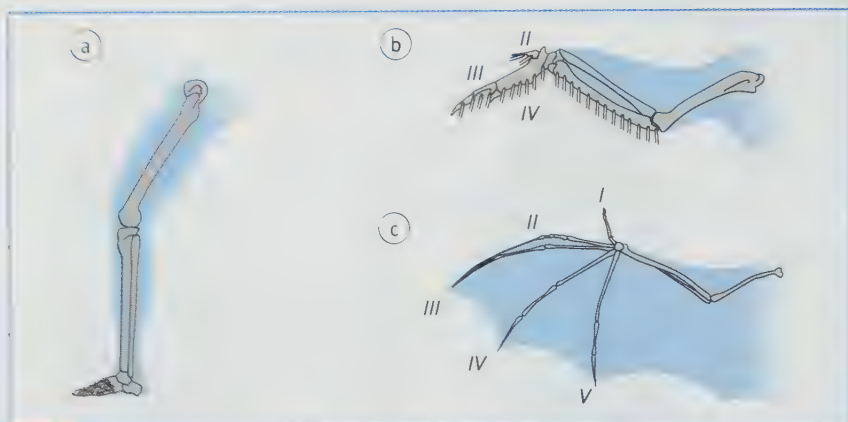
(b) truite



(c) grenouille



Doc. 1 Comparaison des encéphales de quelques vertébrés. a. Souris. b. Truite. c. Grenouille.



Doc 2 Comparaison des membres de quelques tétrapodes. Membre postérieur de l'homme (a), membre antérieur d'un oiseau (b) et de la chauve-souris (c).



Les plans d'organisation des animaux selon trois axes

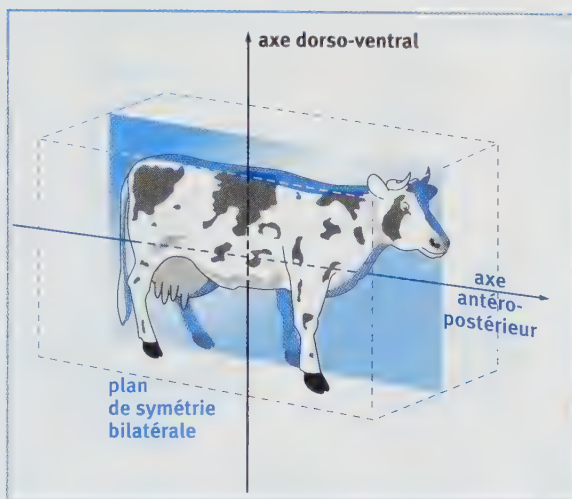
Dans l'organisation des vertébrés (et pour tous les animaux pluricellulaires), on peut définir un **plan** de symétrie et deux axes de **polarité** permettant de donner une orientation (document 3).

- Le **plan de symétrie bilatérale** permet la distinction des côtés droit et gauche du corps. Les quatre membres des tétrapodes sont placés symétriquement par rapport à ce plan.

- L'**axe antéro-postérieur** permet de distinguer la tête et la queue. Les différents organes du tube digestif (de la bouche à l'anus) sont disposés le long de cet axe.

- L'**axe dorso-ventral** sépare le ventre et le dos. Par rapport à cet axe, on définit une face ventrale (orientée vers le sol) et une face dorsale.

Les poissons ne possèdent pas de membres, même s'ils possèdent un plan de symétrie bilatérale. Tous les autres vertébrés possèdent les 4 membres de tétrapodes.



Doc. 3 Représentation schématisque des axes de polarité et du plan de symétrie chez une vache.

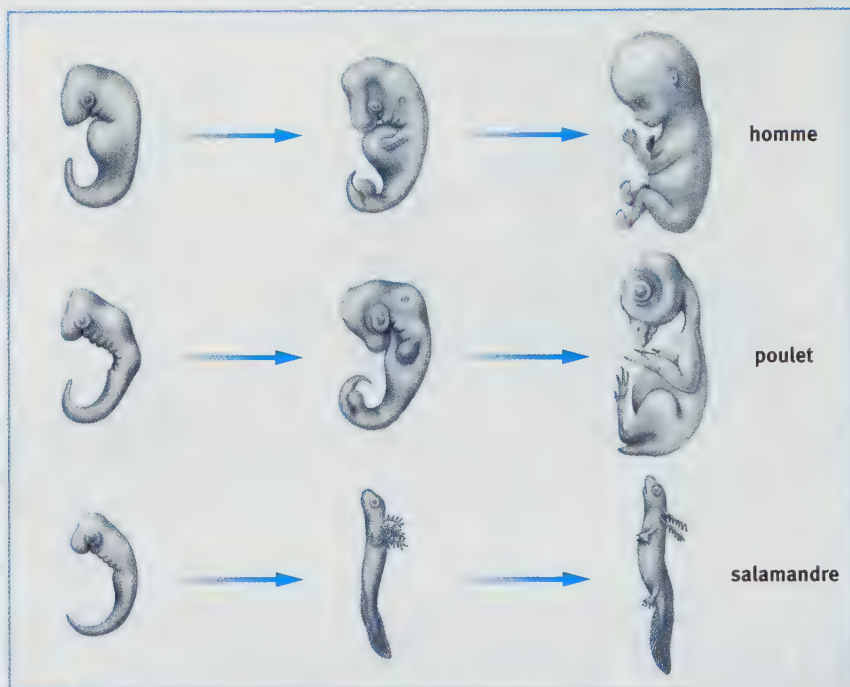


La mise en place des plans d'organisation

Les plans d'organisation se mettent en place lors du **développement embryonnaire**, qui regroupe l'ensemble des phénomènes permettant la transformation de la cellule-œuf, issue de la fécondation, en un animal pluricellulaire. Le noyau de la cellule-œuf possède toute l'information génétique de l'individu adulte, donc également les instructions destinées à son édification.

1 Les plans d'organisation chez les vertébrés

Les premiers stades du développement embryonnaire (ou **embryogenèse**) sont identiques chez tous les vertébrés. Les différences n'apparaissent que plus tard dans le développement de l'organisme.



Doc. 4 Ressemblances des stades précoces de développement des vertébrés.

2 L'acquisition de la polarité de l'embryon

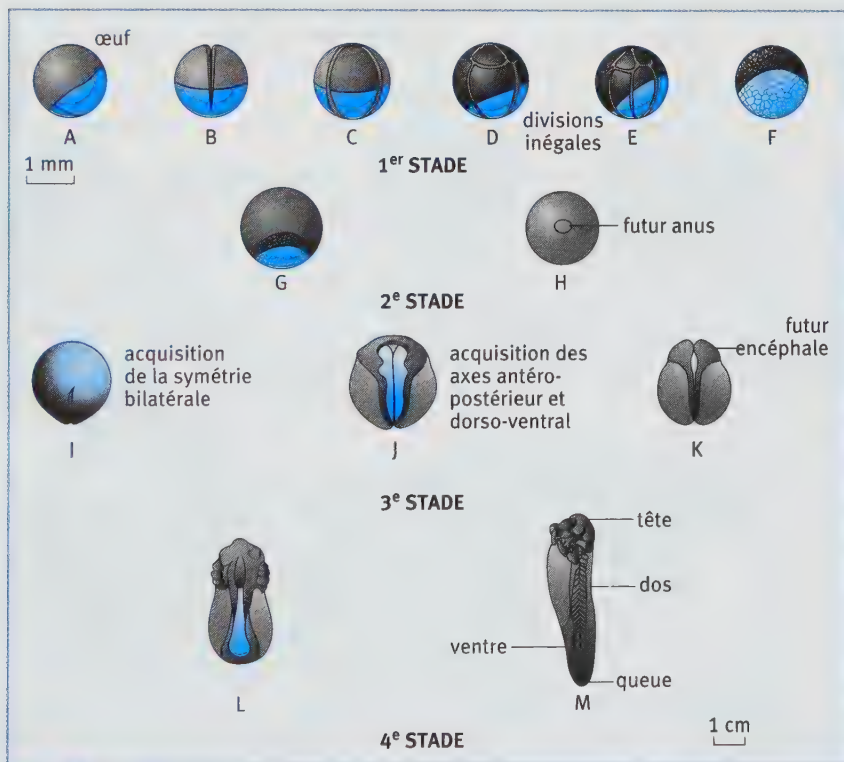
Chez le xénope (un organisme amphibien), le point d'entrée du spermatozoïde dans l'ovule détermine la polarité dorso-ventrale. C'est donc à un stade précoce, dès la fécondation, que l'organisation de l'adulte futur est déterminée.

La mise en place des organes chez l'embryon de tous les animaux pluricellulaires repose sur quatre mécanismes cellulaires :

- la division cellulaire augmente la taille des tissus et donc de l'embryon ;
- la mort cellulaire condamne certaines cellules à disparaître : cela contribue à modeler les organes ;
- la **différenciation**, par laquelle les cellules acquièrent un comportement spécifique (en rapport avec leur fonction), les distingue des autres cellules ;
- la migration cellulaire conduit à la colonisation d'organes par des cellules mobiles.

3 La mise en place des tissus embryonnaires chez les vertébrés

Au cours de leur développement, tous les vertébrés passent par des étapes communes qui modèlent l'embryon, puis l'adulte. Des tissus embryonnaires, appelés « **feuillet**s », se différencient : ils sont à l'origine des tissus de l'adulte. Les trois feuillets initiaux s'appellent l'ectoblaste, l'endoblaste et le mésoblaste. Le devenir des feuillets est commun à tous les animaux. Le devenir de ces feuillets et des tissus qu'ils engendrent est rigoureusement fixé : un défaut initial deviendra une déficience tissulaire chez l'adulte.

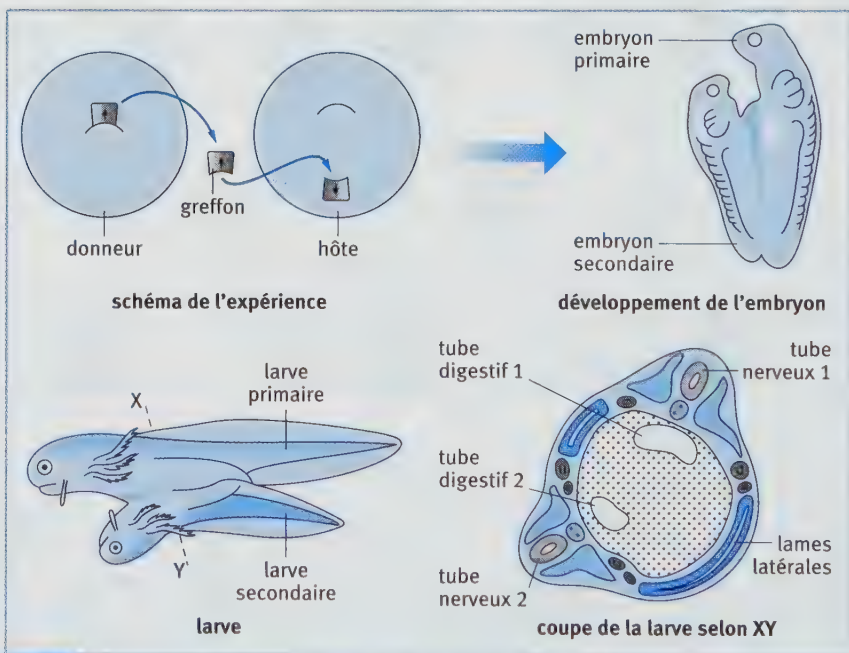


Doc. 5 Quelques stades de développement embryonnaire des vertébrés.

4 Le déterminisme du développement

De quoi dépend la mise en place des feuillets et des organes de l'embryon ? Le premier facteur est un **déterminisme** de position : à la suite des mouvements cellulaires, une cellule se retrouve à une certaine place dans l'organisme. Des expériences de transplantation chez l'embryon permettent de déplacer des

massifs cellulaires dans d'une région à une autre. Les résultats montrent que les cellules transplantées se différencient selon l'endroit où elles ont été placées, et non pas selon leur territoire d'origine : on parle d'induction. Il existe également un **déterminisme génétique**. De nombreux gènes de développement (voir IV) ont été mis en évidence. Ces gènes qui produisent des protéines dans le milieu extracellulaire s'expriment plus ou moins selon l'axe de polarité de l'animal. Il se crée un gradient moléculaire dans le milieu, autour de la cellule, qui détermine son devenir. La cellule s'engage dans une voie qui lui est propre : elle se différencie en acquérant des caractères propres, distincts d'autres cellules.



Doc. 6 Expérience de Spemann. Cette expérience consiste à greffer un ensemble de cellules (donneur) dans un autre embryon (hôte), mais pas au même endroit. Le greffon est à l'origine d'un nouvel individu, accolé à l'organisme hôte. Ce résultat montre que les cellules sont « programmées » : l'information génétique s'exprime indépendamment du lieu où elles se trouvent.

IV L'action des gènes de développement pendant l'embryogenèse

1 Les gènes de développement chez la drosophile

Les **gènes de développement**, encore appelés gènes **homéotiques** ou gènes architectes, ont été découverts au début des années 1970 chez un insecte, la mouche du genre drosophile, ou mouche du vinaigre, la « bête de laboratoire » favorite des généticiens. Divers mutants présentent des anomalies du développement, certaines pouvant être mortelles. Les gènes en cause ont été identifiés, dont certains sont présentés dans le tableau ci-dessous avec le phénotype associé à leur mutation.

Nom du gène	Phénotype résultant d'une mutation de ce gène
antennapedia	Une patte à la place d'une antenne
bicoïde	Ni tête, ni thorax, deux abdomens soudés
bithorax	Deuxième paire d'ailes
oskar	Absence d'abdomen
wingless	Absence d'ailes

 Effet de la mutation de certains gènes architectes.

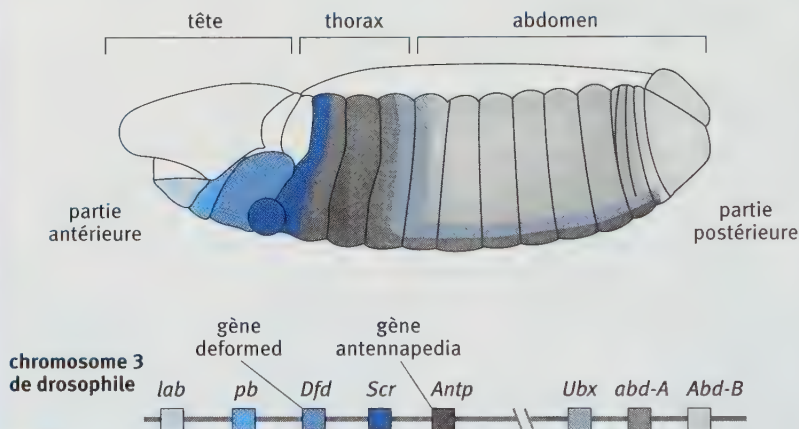


Attention : le gène « wingless » ne code pas pour une absence d'aile ! C'est la mutation de ce gène qui conduit à une absence d'ailes. La même remarque vaut pour les maladies génétiques : il n'y a pas de gène de la drépanocytose. Il y a un gène dont la mutation est à l'origine de la drépanocytose.

Ces gènes ont un rôle d'architecte : ils organisent le devenir de chaque partie de l'organisme embryonnaire selon l'axe antéro-postérieur. Leur mutation conduit à un développement anormal d'une partie du corps.

La quinzaine de gènes homéotiques connue chez la drosophile est disposée sur le chromosome n° 3. Leur fonctionnement est guidé par le principe de la colinéarité : l'ordre dans lequel sont localisés ces gènes sur le chromosome est identique à l'ordre dans lequel se succèdent les régions du corps, depuis la tête jusqu'à l'extrémité de l'abdomen (document 8). Il y a une véritable information génétique de position.

embryon de drosophile



Doc. 8 Le principe de colinéarité chez la drosophile.

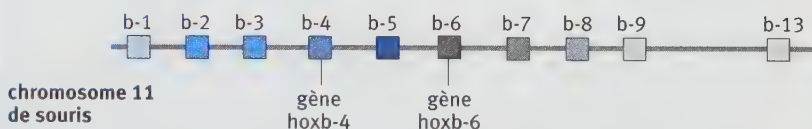
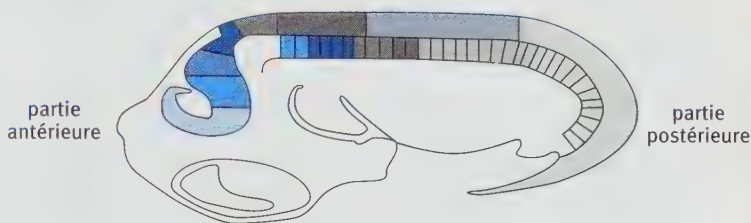
L'action de ces gènes a été identifiée : ils codent pour des protéines qui permettent ou **inhibent** l'expression d'autres gènes.

2 Les gènes de développement chez les mammifères

La découverte des gènes architectes chez la drosophile a été suivie de leur mise en évidence chez les vertébrés. L'étude a été menée chez les mammifères, surtout la souris (document 9), puis l'homme. On a alors pu établir les faits suivants :

- la séquence des gènes homéotiques est remarquablement conservée de la drosophile à la souris (document 10) : on retrouve les mêmes séquences de nucléotides dans les gènes homéotiques de nombreux organismes éloignés ;
- les gènes homéotiques, groupés en complexes, sont répartis sur deux chromosomes, mais le principe de colinéarité a été retrouvé chez tous les animaux étudiés ;
- les gènes homéotiques possèdent une séquence (appelée séquence **homéo-box**) qui code pour un **homéodomaine**, partie d'une protéine qui se fixe sur l'ADN, et stimule ou inhibe l'expression d'autres gènes. Ces gènes homéotiques fournissent une information de position, selon l'axe antéro-postérieur en particulier, qui est un des éléments déterminant ensuite la différenciation d'un ensemble de cellules donné.

embryon de souris

**Doc. 9** Le principe de colinéarité chez la souris.

Nom du gène	labial	deformed	antennapedia
Nombre de différences	19	10	1

Doc. 10 Nombre de différences sur 180 nucléotides pour trois gènes architectes chez la souris et la drosophile. Ces trois gènes homéotiques sont présents chez les deux organismes. Le faible pourcentage de ressemblance permet de dire que ces gènes sont homologues chez la souris et chez la drosophile.

3 Des similitudes troublantes et leur interprétation

On remarque que des séquences de gènes architectes sont très ressemblantes chez des organismes aussi différents que la drosophile et la souris (voir document 10). Des gènes qui présentent des séquences avec une grande proportion de nucléotides identiques au même endroit s'appellent des gènes homologues. De plus, les locus des gènes homéotiques sont placés dans le même ordre sur les chromosomes.

Des expériences de transgénèse réalisées avec des gènes homéotiques entre la drosophile et la souris montrent des modifications du développement de l'organisme receveur. Ces gènes homologues à séquence comparable ont donc le même rôle d'architecte.

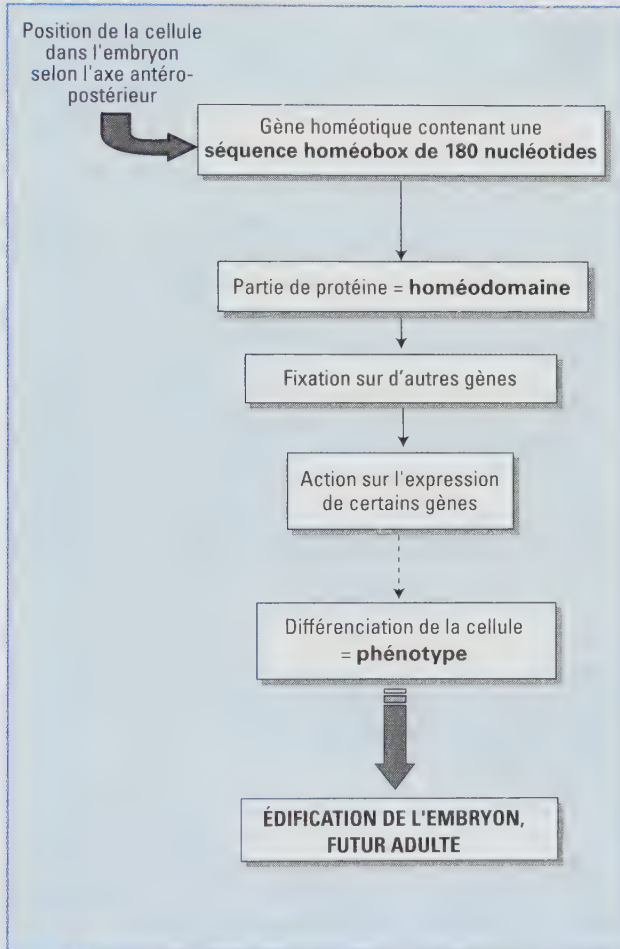
On connaît d'autres gènes homologues, chez les vertébrés en particulier, qui déterminent des familles géniques présentant des rôles semblables : on parle, par exemple, de la famille des globines (hémoglobine, myoglobine) des mammifères.

Des gènes homéotiques sont également présents chez des végétaux. Par exemple, chez l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), des mutations comme *agamous* entraînent le remplacement des étamines par des pétales. Les gènes homéotiques des végétaux présentent également de fortes ressemblances avec ceux étudiés chez les animaux et jouent le même rôle : ce sont également des gènes homologues.

Les gènes homologues s'interprètent comme un héritage d'un ancêtre commun aux espèces qui en dérivent. Les gènes homéotiques sont des gènes homologues présents chez la souris et la drosophile ; ils signifient que la souris et la drosophile ont un ancêtre en commun, et que cet ancêtre possédait ces mêmes gènes homéotiques. Les différences actuelles observées entre ces gènes résultent des mutations qui se produisent indépendamment dans les deux lignées et qui se sont accumulées.

L'étude des gènes homologues permet d'établir deux principes fondamentaux pour expliquer l'unité et la diversité du monde vivant :

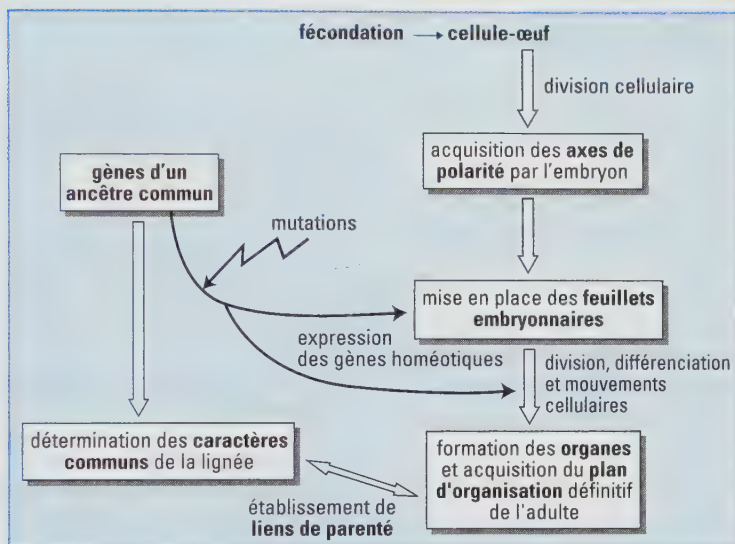
- des ressemblances entre gènes signifient une parenté : les deux groupes qui les possèdent ont un ancêtre commun ; il existe des liens de parenté entre espèces qui peuvent paraître très éloignées ;
- des différences entre des gènes homologues sont le fait des mutations qui se sont produites indépendamment dans les deux lignées ayant conduit aux deux groupes actuels.



Doc. 11 Représentation simplifiée de l'action des gènes homéotiques.

le bilan

- La parenté et la diversité des organismes ont été étudiées ici à l'occasion du développement embryonnaire. D'autres points communs et d'autres différences avaient déjà été envisagés dans les chapitres précédents.
- **Au niveau moléculaire** : tous les êtres vivants stockent et expriment leur information génétique au niveau de l'ADN. Cette molécule universelle a la même structure et la même fonction chez tous les êtres vivants.
- **Au niveau cellulaire** : tous les êtres vivants se développent à partir d'une cellule. Tous les organismes ont des cellules de même structure : une membrane plasmique qui entoure un cytoplasme, siège d'un métabolisme isolé du milieu extérieur. Certains ne possèdent qu'une seule cellule (unicellulaires), d'autres sont pluricellulaires. Certains protègent l'ADN dans le noyau (cellules eucaryotes), d'autres le laissent dans le cytoplasme (cellules procaryotes).
- **Au niveau des organismes** : les stades de développement embryonnaire présentent des similitudes, malgré les différences existant chez l'adulte. De plus, les vertébrés sont des animaux pluricellulaires qui partagent des caractères communs qu'ils sont les seuls à posséder : un squelette interne, un système nerveux dorsal, un tube digestif ventral... Des critères supplémentaires permettent d'isoler des groupes à l'intérieur de cet ensemble. Par exemple, les mammifères sont (entre autres) caractérisés par la présence de poils. Même dans des groupes éloignés, comme les insectes et les mammifères, on rencontre des gènes présentant une grande homologie.
- Toutes ces ressemblances entre organismes de formes éloignées ne peuvent s'interpréter en termes de hasard. La complexité des organismes, c'est-à-dire le nombre d'éléments qui les constituent, est trop grande pour être aléatoire. La seule hypothèse rationnelle consiste à poser une origine commune aux êtres vivants. Il existe des ancêtres communs qui lèguent une partie de leur information génétique. Les ressemblances s'interprètent alors en termes d'ancêtre commun : les insectes (comme la mouche) et les mammifères ont un ancêtre commun. L'unité du vivant découle d'héritages d'ancêtres communs.
- Les différences résultent d'une divergence qui isole un groupe : par exemple, les animaux ayant acquis des plumes forment le groupe des oiseaux. La diversité du monde vivant provient des mutations accumulées indépendamment dans l'information génétique.
- Ainsi, la vie est le siège d'une évolution qui fait entrer le temps dans la description de la biosphère actuelle.



les mots clés

Déterminisme (n. m.) : mécanisme par lequel les faits ont une cause identifiée.

Développement embryonnaire (n. m.) : ensemble des phénomènes qui transforment la cellule-œuf en animal pluricellulaire. Synonyme : embryogenèse (n. f.).

Différenciation (n. f.) : phénomène qui permet à une cellule indifférenciée (non spécialisée) d'évoluer dans une voie spécifique. Exemple : les cellules nerveuses sont différenciées.

Embryogenèse (n. f.) : voir *développement embryonnaire*.

Feuillet (n. m.) : tissu embryonnaire dont les cellules ne sont pas encore différenciées, n'existant que chez l'embryon, à l'origine de tous les tissus de l'organisme adulte.

Homeobox (n. f.) : séquence particulière des gènes homéotiques à l'origine des homeodomaines.

Homeodomaine (n. m.) : protéine codée par un gène homéotique et qui régule l'expression des gènes en se fixant sur l'ADN.

Homéotique (adj.) : qualifie les gènes architectes (gène du développement), responsables de la forme du corps et de la disposition des organes.

Homologue (adj.) : se dit de gènes, ou de structures, qui présentent des fonctions communes ; une homologie est issue d'un ancêtre commun.

Inhiber (verbe) : empêcher, s'opposer, avoir l'effet inverse.

Plan (n. m.) : surface de coupe qui sépare un corps en deux parties (dans le sens de plan de symétrie). Autre sens : patron qui décrit une organisation (dans le sens de plan d'organisation).

Polariser (verbe) : orienter, introduire une distinction.

Tétrapode (n. m.) : vertébré caractérisé, entre autres, par des membres paires locomoteurs et la présence de doigts.

Exercices

Faire le point

1. Citer les caractères qui déterminent l'appartenance aux vertébrés.
2. Citer les trois axes qui déterminent un organisme animal.
3. Donner un autre nom à l'axe céphalo-caudal.
4. Indiquer deux facteurs qui déterminent la polarité dorso-ventrale.
5. Citer deux facteurs qui gouvernent la mise en place des feuillets dans l'embryon.
6. Définir le rôle des gènes homéotiques.
7. Indiquer les similitudes observées entre les gènes homéotiques de la drosophile et ceux de la souris.
8. Préciser de quoi dépend la formation de l'axe antéro-postérieur.
9. Préciser les trois niveaux qui fondent l'unité du monde vivant.

S'entraîner

EXERCICE 1 Les plans de coupe d'un animal

Il existe trois plans de coupe pour la dissection d'un animal : la coupe transversale sépare la tête de la queue, la coupe longitudinale sépare le dos du ventre, la coupe sagittale sépare la droite de la gauche.

Remplir le tableau suivant :

Nom du plan de coupe	Nom de l'axe	Régions séparées par la coupe

EXERCICE 2 Des expériences sur de jeunes embryons

On veut déterminer si les cellules d'un jeune embryon ont un avenir totalement déterminé dès le départ, ou si elles sont capables de s'adapter à des changements, des bouleversements.

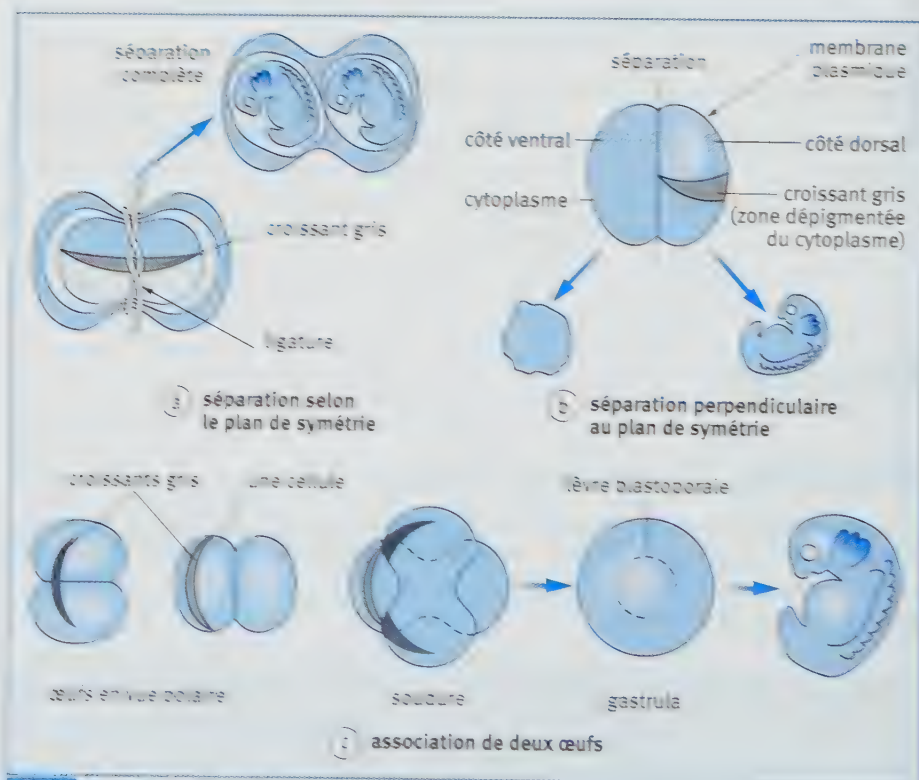
Pour répondre à ce problème, deux séries d'expériences sont réalisées.

Expérience 1 : on sépare par une ligature (on fait un nœud) les deux cellules initiales d'un œuf de grenouille. La ligature est faite selon un plan de symétrie (doc. a) ou selon un plan perpendiculaire au plan de symétrie (doc. b).

Le croissant gris est à l'opposé du point de pénétration du spermatozoïde dans l'ovule. Les embryons qui se forment sont à l'origine d'adultes viables.

Expérience 2 : on « colle » deux embryons de tritons au stade « 2 cellules » : de la fusion des 4 cellules résulte un embryon « 4 cellules » (doc. c).

Si les embryons se forment, alors ils donnent des adultes viables.



Doc. Expériences de séparation et de fusion

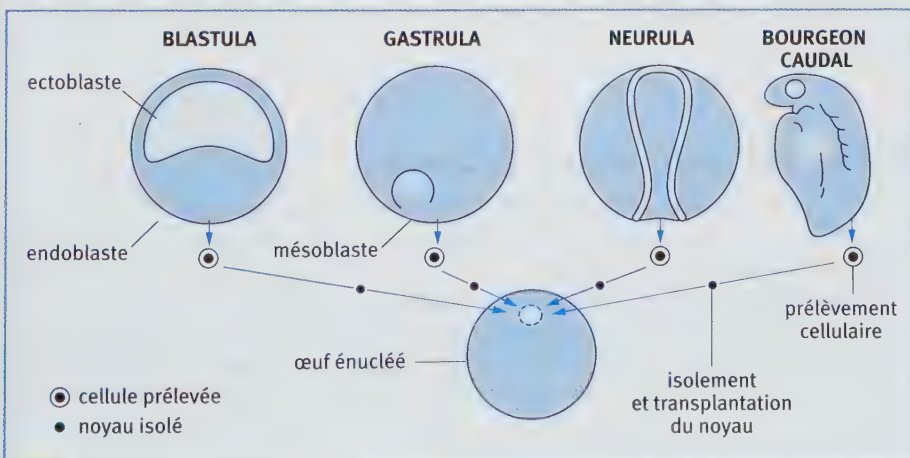
1. Décrire précisément les résultats de la première expérience en mettant en rapport les conditions expérimentales avec les effets observés.
2. Justifier l'importance de la région du croissant gris dans la formation de l'embryon. Proposer une hypothèse explicative à ce fait.
3. Décrire le résultat de l'expérience 2.
4. Montrer que, malgré la présence de deux génomes différents, une régulation génétique intervient dans l'embryon.
5. Si le devenir des cellules était déterminé rigoureusement dès le départ, imaginer le résultat de l'expérience 2.
6. Répondre alors au problème posé initialement.

EXERCICE 3 Déterminisme du devenir des feuillets embryonnaires

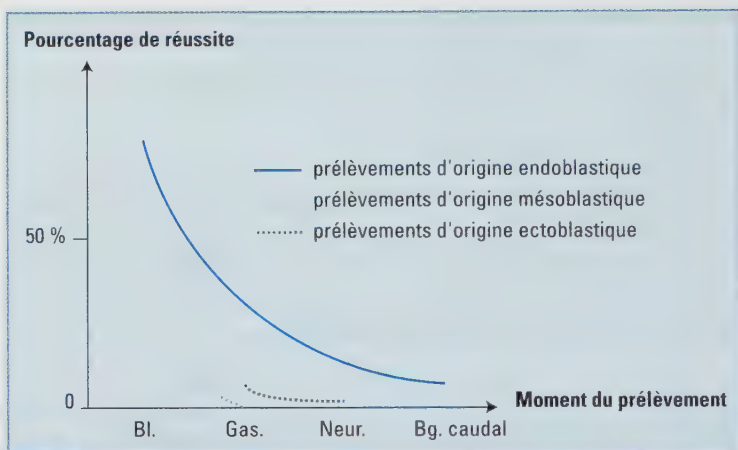
Il existe trois feuillets chez un embryon : l'ectoblaste, l'endoblaste, le mésoblaste. On indique dans le document 1 les étapes de développement d'un œuf de mammifère : blastula, gastrula, neurula et bourgeon caudal.

On souhaite estimer la proportion de réussite de transplantations nucléaires. Cette opération consiste à prélever le noyau d'une cellule à l'un des quatre stades du développement embryonnaire, pour le réimplanter à la place du noyau de l'œuf fécondé que l'on a privé de noyau.

Les résultats figurent dans le document 2.



Doc. 1 Réalisation de transplantations nucléaires.



Doc. 2 Évolution du pourcentage de réussite des transplantations en fonction du moment du prélèvement et de son origine.

1. Indiquer l'évolution du taux de réussite en fonction du moment de prélèvement pour un feuillet donné.
2. Indiquer l'évolution générale du taux de réussite comparé des trois tissus embryonnaires en fonction du moment de prélèvement.
3. Interpréter ces informations en termes de différenciation des cellules au cours du développement.

EXERCICE 4 La conservation de gènes homéotiques

Le gène *eyeless* de drosophile présente 94 % d'homologie avec le gène *Pax6* humain. La mutation de ce gène chez la drosophile cause la réduction, voire l'absence complète de l'œil composé de l'insecte. De même chez l'homme, il existe une mutation appelée *aniridia* qui se caractérise par des yeux de taille réduite et l'absence d'iris. Enfin, chez la souris, on sait provoquer la mutation de *Pax6* qui inhibe la fonction de ce gène. Cette mutation entraîne également la réduction du globe oculaire et l'absence d'iris. L'organisation de l'œil d'un insecte diffère pourtant de celle de l'œil d'un mammifère.

1. Nommer les deux mutations citées, les décrire et citer l'organisme qui les exprime. Préciser le type de gènes concernés en justifiant votre réponse.
2. Indiquer les points communs à ces deux mutations.
3. Expliquer l'expression « 94 % d'homologie ».

4. Donner les 3 organismes cités dans ce texte, en précisant les groupes auxquels ils appartiennent.
5. Rédiger une phrase courte pour formuler l'idée qui se dégage de ce texte.

EXERCICE 5 Transgénèse de gènes architectes

On cherche à déterminer si les gènes de développement sont propres à l'espèce, ou si les gènes sont plus ou moins communs à de grands groupes. On réalise une transgénèse : un gène de souris codant pour une extrémité de membre est inséré dans le génome de l'œuf d'une drosophile. Dans les cas les plus favorables, l'œuf de drosophile se développe.

1. Justifier le terme de transgénèse employé ici.
2. Extraire de ces résultats deux informations en rapport avec le problème posé.

EXERCICE RÉSOLU 1 Comparaisons de gènes homéotiques

184

◆ **Solution**

1. Ces quatre gènes présentent un grand nombre de nucléotides en commun et occupant la même place dans la séquence.

Nom du gène comparé à antennapedia de drosophile	Nombre de nucléotides différents sur 57	Pourcentage de ressemblance avec antennapedia du gène considéré
Deformed (drosophile)	10	82,5 %
Hoxb-6 (souris)	4	93 %
Hoxb-4 (souris)	12	79 %

2. Des gènes ayant même fonction (« gènes homéotiques ») et présentant des séquences comparables (voir tableau ci-dessus) sont dits homologues. La ressemblance entre les séquences est une homologie.

3. Des gènes homologues s'interprètent comme dérivant du gène d'un ancêtre commun à la drosophile et à la souris, qui l'a légué à ses deux descendants (entre autres).

4. C'est le gène Hoxb-6 de la souris qui ressemble le plus au gène antennapedia de la drosophile.

5. Pour les gènes étudiés, il y a plus de ressemblances entre ceux d'individus d'espèces différentes (Hoxb-6 de la souris et antennapedia de la drosophile) qu'entre ceux d'individus d'une même espèce (deformed et antennapedia de drosophile).

EXERCICE RÉSOLU 2 Diversité et unité du monde vivant**Restitutions des connaissances**

Expliquer l'intérêt des gènes homéotiques pour l'étude de l'unité du monde vivant.

◆ **Conseils**

- Il faut d'abord définir les gènes homéotiques.
- Puis expliquer leur homologie chez des organismes différents.
- Proposer une interprétation de cette homologie.
- Cette interprétation doit reprendre la notion d'unité du vivant.

◆ **Solution****Introduction**

Les gènes homéotiques (aussi appelés gènes architectes, ou gènes de développement) sont impliqués dans le développement embryonnaire. Ils sont présents dans

le génome d'organismes très variés. Découverts d'abord chez la drosophile (mouche du vinaigre), ils ont été mis en évidence dans des groupes fort éloignés, comme celui des mammifères (souris, homme). Les mutations de gènes homéotiques peuvent être à l'origine d'anomalies du développement d'une partie du corps.

Développement

1. Description et rôle des gènes homéotiques

Ces gènes homéotiques comportent une séquence particulière de 180 nucléotides, l'homéobox, qui code pour une partie d'une protéine (appelée homéodomaine) capable de se fixer sur l'ADN. Les gènes homéotiques sont un des éléments qui font qu'au cours du développement embryonnaire, une cellule acquiert un phénotype donné.

Ces gènes homéotiques sont à des locus disposés les uns à la suite des autres sur le chromosome. On parle de colinéarité : l'ordre des locus de ces gènes détermine la formation de l'embryon selon l'axe antéro-postérieur dans toutes les espèces étudiées.

2. Intérêt des gènes homéotiques pour la description du monde vivant

Les gènes homéotiques ont des séquences très proches (nucléotides identiques à la même place) chez des organismes appartenant à des groupes variés (par exemple, la drosophile et l'homme). On parle d'homologie.

Cette homologie des gènes homéotiques ne peut être liée au hasard. S'ils se ressemblent tant, c'est qu'ils ont été hérités de l'ancêtre commun à la drosophile et à l'homme. Cet ancêtre est nécessairement ancien, dans la mesure où les caractéristiques anatomiques et physiologiques de ces organismes, ainsi que leur position dans la classification diffèrent beaucoup. Les différences s'expliquent alors par les mutations (très rares) qui se sont accumulées au cours de l'évolution.

Conclusion

Le fait que l'on ait trouvé des parentés entre un insecte et des vertébrés mammifères est un argument en faveur d'une unité du monde vivant. Cette unité a ici été décrite au niveau des gènes. D'autres facteurs pourraient conforter cette vision unitaire : le modèle cellulaire, la présence de l'ADN sont universels dans toutes les espèces de la biosphère.

Dans cette partie de l'ouvrage, nous étudions des points de méthode. Il ne s'agit pas de séparer les connaissances des moyens de les acquérir ou de les restituer. Mais un certain nombre de « passages obligés » de la démarche scientifique doivent être connus. Par exemple, l'analyse d'un graphique est un moyen très utilisé pour représenter des données d'un problème dans de nombreux domaines, notamment en Sciences de la vie et de la Terre.

Pour chaque méthode présentée ici, après un énoncé des principes qui la guident, un exemple illustre l'exploitation possible du procédé.

- I. Construire un graphique
- II. Analyser un graphique
- III. Extraire des informations d'un tableau
- IV. Extraire des informations d'un texte
- V. Pratiquer une démarche scientifique
- VI. Concevoir un protocole expérimental
- VII. Réaliser un schéma

I Construire un graphique

Un graphique donne une représentation visuelle d'une série de données. Sans cette présentation, les résultats d'une expérience seraient moins lisibles et leur signification serait peu apparente.

1 Principe

Déterminer les axes. Par convention, l'axe des X (axe de l'abscisse, horizontal) porte le facteur que l'on fait varier ; par exemple, le temps, la concentration... On place sur l'axe des Y (axe de l'ordonnée, vertical) le facteur que l'on mesure ; par exemple, la croissance, la vitesse de l'absorption...

Choisir une échelle sur chaque axe. L'échelle est le rapport entre la valeur à représenter et la taille disponible sur la feuille de papier (millimétrée ou à carreaux). Pour déterminer l'échelle sur un axe, on calcule la longueur de l'intervalle total à représenter, puis on la divise par la longueur disponible sur l'axe du graphe. On arrondit le résultat (au dixième, à l'unité...) pour avoir une échelle facile à représenter.

Les échelles des deux axes sont souvent différentes (deux mesures ou deux facteurs différents à représenter).

On écrit à l'extrémité de chacun des axes le facteur représenté et son unité. Les valeurs remarquables (0, 5, 10...) sont portés sur les axes.

Construire la courbe. Chaque couple (X = variation, Y = mesure) de données, en général présentées sous la forme d'un tableau, est porté sur le graphique, selon les échelles. On trace un point nettement visible (une croix, par exemple), en prenant garde à ne pas se tromper sur les axes.

L'ensemble des points tracés est ensuite relié, à la main ou à la règle. Le segment de droite minimise les erreurs et les inconnues de la courbe.

Donner un titre au graphique. Le titre doit indiquer la relation représentée et être écrit de manière bien visible. Il est en général de la forme « Variation de [l'ordonné] en fonction de [l'abscisse] ».



Un graphique peut parfois apporter plus d'informations que les deux facteurs : dans l'exemple qui suit, on figure également la variation du facteur « éclairage ». De même, il est possible de construire un graphique avec deux axes des ordonnées représentant deux séries de valeurs variant avec la même abscisse : on peut, par exemple, représenter l'absorption de CO_2 et le rejet de O_2 par une plante en fonction du temps.

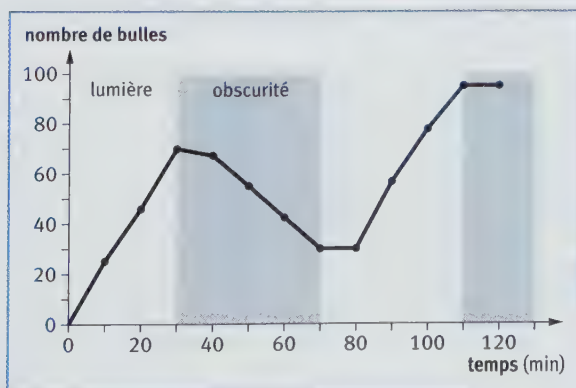
2 Exemple

On place une algue verte, l'élodée, dans une eau riche en CO_2 (eau gazeuse du commerce, par exemple). L'aquarium est placé devant une lampe que l'on peut allumer ou éteindre, et l'algue est recouverte d'un entonnoir sur lequel est renversé un tube à essai (schéma du montage : voir exercice résolu n° 1, chap. 6). Le tube à essai se remplit d'un gaz, le dioxygène, qui s'échappe en bulles. On compte le nombre de bulles qui s'accumulent dans le tube à essai. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

Lumière / Obscurité	L	L	L	L	O	O	O	O	L	L	L	L	O
Temps (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Nombre de bulles	0	25	46	70	68	55	42	30	30	56	79	95	95

Construction du graphique

1. Déterminer ce que l'on porte en abscisse et ce que l'on porte en ordonnée, ici le temps (ce qui varie) et le nombre de bulles (ce que l'on mesure).
2. Tracer les axes sur le papier millimétré, écrire les facteurs représentés avec leur unité. Noter les périodes de lumière et d'obscurité. Remarque : le paramètre « nombre de bulles » n'a pas d'unité (c'est un nombre).
3. Déterminer l'intervalle total de chaque valeur à représenter, puis en tenant en compte de la place disponible, indiquer sur les axes les valeurs remarquables :
 - en abscisse, l'intervalle total est de 120 minutes ; sur 12 cm, par exemple, on prendra 1 cm pour 10 minutes) ;
 - en ordonnée, le nombre de bulles varie de $95 - 0 = 95$, soit près de 100. Avec 10 cm, on peut prendre 1 carreau pour 10 bulles.
4. Reporter l'ensemble des points sur le graphique et tracer la courbe qui les joint, puis donner un titre au graphique. Voir graphique ci-dessous.



Doc. Évolution du nombre de bulles formées par l'élodée en fonction du temps et selon l'éclairage.

II Analyser un graphique

Un graphique est une forme condensée de l'information. Il faut connaître les moyens qui permettent de l'analyser, c'est-à-dire de déterminer les informations qu'il apporte.

1 Principe

Il faut connaître les conditions dans lesquelles ont été obtenues les données représentées. Un texte d'accompagnement doit le préciser. La plupart du temps, il s'agit des résultats d'une expérience, d'une observation. On fait varier un paramètre (en général porté en abscisse), on mesure quel est son effet sur une autre grandeur (portée en ordonnée) : par exemple, on augmente la dose d'un produit, et l'on mesure l'augmentation d'activité d'une cellule.

Le titre du graphique, généralement de la forme « évolution de Y en fonction de X », renseigne sur l'objectif recherché.

Le questionnement revient toujours à la forme : « quelle information apporte ce graphique ? »



Deux écueils à éviter :

– répondre en paraphrasant le titre : « Ce graphique apporte des informations sur Y en fonction de X ».

Certes, mais lesquelles ? On attend plutôt :

« Y augmente dans un premier temps, puis quand $X = 3$, Y décroît. »

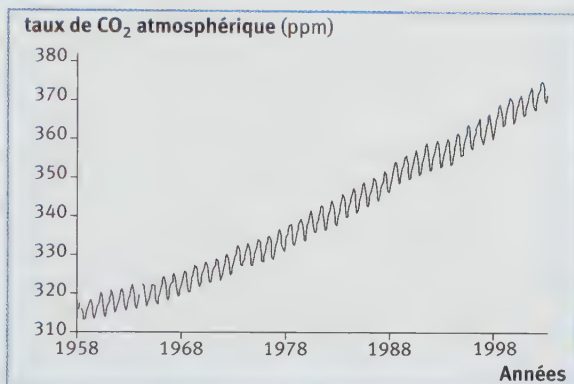
– commenter la forme de la courbe : « ça monte », et « ça descend »... »

Il faut rédiger des phrases qui prennent en compte à la fois les variations imposées, et les variations mesurées.

Sur un graphique, il est possible de lire la valeur de X quand Y est égal une certaine valeur, ou de Y quand X vaut tant. Les valeurs extrêmes, c'est-à-dire celles où le sens de variation change, sont à repérer. On ne cite de nombres que pour ces valeurs extrêmes, forcément peu nombreuses.

Un graphique comporte généralement une seule courbe, mais peut contenir plusieurs courbes si on fait varier deux paramètres ou plus.

2 Exemple



Doc. Évolution de la concentration atmosphérique en CO₂

Travail préparatoire. En abscisse, c'est le temps (exprimé en années) qui est porté. D'où le mot « évolution » dans le titre. La concentration atmosphérique en CO₂, mesurée en ppm (partie par million), est figurée en ordonnée. Entre 1958 et 2002, on a mesuré la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Se souvenir que la photosynthèse consomme du CO₂ et que la combustion des produits fossiles (utilisés, entre autres, pour le chauffage) produit du CO₂ dans l'atmosphère. On se limitera ici à ces deux faits.

Analyse du graphique.

1. Préciser les valeurs extrêmes : l'enregistrement commence en 1958 et s'interrompt en 2002. Initialement la teneur était de 315 ppm ; elle est de 373 ppm à la fin de 2002.
2. Décrire l'allure générale de la courbe : globalement, la teneur en CO₂ atmosphérique augmente régulièrement depuis 1958, mais on observe des oscillations régulières. Une oscillation dure une année.
3. Préciser à quoi correspondent les variations : une phase ascendante d'une oscillation correspond à un rejet massif de CO₂ (supérieur à l'absorption) dans l'atmosphère. Une phase descendante correspond aux conditions inverses (absorption supérieure au rejet).
4. Interpréter les variations décrites en s'appuyant sur les connaissances : en hiver, le chauffage est à l'origine de l'augmentation des rejets de CO₂. En été, la photosynthèse absorbe davantage de CO₂.
5. Interpréter l'allure générale de la courbe : globalement, la teneur en CO₂ augmente en raison de la combustion (automobile, industrie, chauffage...) des produits fossiles, ce qui libère plus de CO₂ que la photosynthèse ne peut en absorber.



Extraire les informations d'un tableau

Un tableau réunit de manière synthétique des données comparables et éparées.

1 Principe

La lecture d'un tableau consiste d'abord à lire le titre (objectif qu'il se fixe), puis à prendre connaissance des intitulés de lignes et de colonnes, enfin, à lire les chiffres.

Les questions à se poser sont : que représentent les lignes et les colonnes ? Quelles sont les unités ? Dans quel ordre le tableau est-il construit ? Y a-t-il des valeurs remarquables ?

Comme sur un graphique, la lecture peut se faire dans les deux sens :

- on peut chercher la donnée qui correspond à l'intersection d'une ligne et d'une colonne ;
- en partant d'une valeur, on peut remonter à la ligne et à la colonne qui lui sont attribuées.

2 Exemple 1

Constituant	Proportion en volume (%)	Proportion en masse (%)
Diazote	70,01	75,53
Dioxygène	20,95	23,14
Argon	0,93	1,28
Dioxyde de carbone	0,032	0,046

Doc. Composition de l'air sec.

Analyse du tableau

1. La première colonne figure les gaz entrant dans la composition de l'air atmosphérique, par proportion décroissante.
2. On remarque que tous les éléments de l'air ne sont pas donnés : il manque des gaz, car la somme des colonnes n'est pas égale à 100 %.
3. Le gaz le moins abondant dans l'atmosphère (parmi ceux cités dans ce tableau) est le dioxyde de carbone.
4. Le diazote a une masse volumique plus élevée que les autres gaz : sa masse est supérieure à celles des autres gaz. La proportion de ce gaz est donc plus importante dans la dernière colonne que dans la seconde.

3 Exemple 2

Planète	Distance au Soleil (millions de kilomètres)	Diamètre à l'équateur (kilomètres)	Période de révolution (années terrestres)	Période de rotation (jours terrestres)
 Mercure	57,9	4878	0,24	58,646 j
 Vénus	108,2	12 104	0,61	243,01 j
 Terre	149,6	12756	1	23 h 56' 4,1''
 Mars	227,9	6794	1,9	24 h 37' 22''
 Jupiter	778,3	142984	11,9	9 h 50
 Saturne	1427,0	120536	29,5	10 h 39'
 Uranus	2871,0	51 118	84,1	17 h 14
 Neptune	4497,1	50538	164,9	16 h 3'
 Pluton	5913,5	2324	248,5	6 j 9 h 17'

Doc. Différents paramètres astronomiques des planètes du système solaire.

Analyse du tableau

1. les lignes figurent les planètes du système solaire, les colonnes des grandeurs astronomiques ; les unités sont précisées entre parenthèses ; l'ordre des planètes est celui de la distance croissante au Soleil.

2. On peut signaler, par exemple, les valeurs remarquables suivantes :

- sur Vénus, un jour dure plus longtemps qu'une année (voir chapitre 1, exercice 1) ;
- la période de révolution de Pluton est de 248,5 années terrestres ;
- la période de révolution augmente avec la distance au Soleil.

IV Extraire des informations d'un texte

Un texte est proposé comme éclairage d'un point particulier que l'on veut développer. Un texte scientifique comporte un certain niveau d'abstraction, ce que l'on rencontre également dans de nombreuses disciplines.

1 Principe

Un texte scientifique requiert une lecture attentive, plusieurs fois si besoin. Les mots « compliqués » ou inconnus doivent être recherchés dans un dictionnaire ou dans le cours. Les crochets [...] indiquent une coupure par rapport au texte original ; une expression entre crochets signifie que le texte a été modifié ou raccourci par rapport au texte original.

2 Exemple

Voici un texte écrit en 1910 par Svante Arrhenius (1859-1927), un chimiste suédois célèbre pour ses travaux sur la dissociation dans les solutions ioniques. Prix Nobel de chimie en 1903.

« Fourier, le grand physicien français, admettait (vers 1800) que notre atmosphère exerce un puissant effet protecteur contre la perte de chaleur par rayonnement. Ses idées furent plus tard développées par Pouillet et Tyndall, leur théorie portant le nom de théorie de la serre chaude. [...] Il semble que la teneur en acide carbonique* de l'air doive augmenter constamment, et de façon assez sensible, par la consommation industrielle toujours croissante de houille, de pétrole, etc. [...] Par suite de l'augmentation de l'acide carbonique dans l'air, il est permis d'espérer des périodes qui offriront au genre humain des températures plus égales et des conditions climatériques** plus douces. [...] Ces périodes permettront au sol de produire des récoltes considérablement plus fortes qu'aujourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapide que jamais. »

D'après S. Arrhenius, *L'évolution des mondes*, traduit par T. Serig, Paris, Béranger, 1910.

* Ancien nom du dioxyde de carbone.

** Climatiques.

Lecture et compréhension immédiate du texte

1. L'idée initiale de Fourier est que l'atmosphère protège la Terre du refroidissement.
2. La théorie de Tyndall et Pouillet s'appelle « la serre chaude ».

3. La cause initiale est l'augmentation de la combustion des produits fossiles (houille, pétrole...). Sa conséquence immédiate est l'augmentation de la teneur en acide carbonique (ou dioxyde de carbone, CO_2) dans l'atmosphère. La conséquence finale est, selon la théorie de la « serre chaude », une limitation de la perte de chaleur par rayonnement.

4. Le second paragraphe évoque une autre conséquence : l'augmentation des rendements agricoles pour résoudre le problème de l'alimentation d'une population en expansion.

Compréhension scientifique (qui demande donc des connaissances)

5. Actuellement, on appelle le problème étudié « l'augmentation anthropique de l'effet de serre ».

6. On peut relier l'augmentation du CO_2 atmosphérique et des récoltes plus abondantes : l'augmentation du CO_2 atmosphérique favorise la production végétale du fait d'une photosynthèse plus intense.

Réflexion sur le texte, regard critique

7. Ce texte tranche par rapport à la perception actuelle du problème. La vision d'Arrhenius est optimiste : le climat devient plus doux, la production végétale augmente... La nôtre est négative, catastrophiste : l'augmentation anthropique de l'effet de serre est source de tempêtes, d'inondations, d'étés calamiteux...

8. L'analyse d'Arrhenius n'est pas remise en cause aujourd'hui, car le rôle du CO_2 comme « gaz à effet de serre », le principe de l'augmentation de l'effet de serre provoquée par les activités humaines, l'enchaînement des causes et des conséquences décrits en 1910 par Arrhenius sont toujours valables aujourd'hui.

V Pratiquer une démarche scientifique

La démarche scientifique a été codifiée pour la première fois en 1856 par Claude Bernard dans son ouvrage *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*.

1 Principe

Devant un problème scientifique, on fait une hypothèse *a priori*. On cherche à définir les conséquences de cette hypothèse, qui seront l'objet d'expériences. Les résultats conduisent à une conclusion qui répond au problème posé.

Un problème scientifique est une question qui découle logiquement des étapes précédentes du raisonnement, ou encore d'une observation à interpréter. Une **hypothèse** est une affirmation qui est susceptible de répondre au problème posé.

Une **conséquence** de l'hypothèse est une conséquence observable, logiquement déduite de l'hypothèse, qui peut faire l'objet d'une expérimentation.

Une **expérience** est une opération pratique réalisée dans des conditions précises et reproductibles pour tester une conséquence de l'hypothèse. Une expérience suppose la réalisation d'expériences témoins. Le **résultat** est le produit de l'expérience. C'est une observation, un changement de coloration, une lecture d'instrument... qui se compare aux résultats de l'expérience-témoin.

Une **conclusion** est le fruit d'un raisonnement qui reprend le résultat expérimental et le replace dans le contexte du problème posé initialement. Elle nécessite l'apport de connaissances antérieures.

2 Exemple

Claude Bernard (1813-1878), médecin et physiologiste français, a posé le principe de la médecine expérimentale. On lui doit des travaux restés célèbres sur la fonction du foie et du pancréas dans la régulation de la glycémie (taux de sucre dans le sang), et sur le rôle du nerf sympathique (chapitre 5).

« On m'apporta un jour dans mon laboratoire des lapins venant du marché. On les plaça sur une table où ils urinèrent et j'observai que leur urine était claire et acide. Ce qui me frappa, car les lapins ont ordinairement l'urine trouble et alcaline [basique] en leur qualité d'herbivores contrairement aux carnivores qui ont une urine claire et acide. Cette observation me fit venir la pensée que ces animaux devaient être dans la condition alimentaire des carnivores. Je supposai qu'ils n'avaient probablement pas mangé depuis longtemps et qu'ils se trouvaient ainsi transformés en véritables animaux carnivores vivant de leur propre sang. Rien n'était plus facile que de vérifier par l'expérience cette idée préconçue ou cette hypothèse. Je donnai à manger aux lapins et leurs urines [devinrent] troubles et alcalines. On soumit ensuite les lapins à un jeun, l'urine

redevenait claire et acide. J'arrivai à la proposition générale qui n'était alors pas connue à savoir qu'à jeun, tous les animaux se nourrissent de viande, de sorte que tous les herbivores ont leur urine semblable à celle des carnivores. »

D'après C. Bernard, *Introduction à la Médecine expérimentale*, 1865.

1. Le raisonnement de Claude Bernard commence par une observation : les lapins provenant du marché émettent une urine claire et acide.
2. Le problème posé est alors : pourquoi cette urine plutôt que celle commune aux herbivores (claire et basique) ?
3. Hypothèse : ces animaux doivent être dans la condition alimentaire des carnivores.
4. Expérience : Claude Bernard alimente les lapins à jeun. Puis il en met d'autres à jeun. Il observe et analyse leur urine dans chaque cas.
5. Résultat : un lapin convenablement nourri d'herbes produit une urine trouble et alcaline. Un lapin à jeun produit une urine claire et acide.
6. Conclusion : à jeun, tous les animaux se nourrissent de viande. (Aujourd'hui, on écrirait : « à jeun, tous les herbivores puisent dans leur stock protéique ».)
7. Critique de la conclusion de Claude Bernard : il étudie les lapins et conclut sur tous les animaux. C'est une extension abusive (ce qu'il note lui-même dans la suite du texte !).
8. Le problème qui succède logiquement à cette conclusion est : quel est le rapport entre l'alimentation et la qualité de l'urine ?

VI Concevoir un protocole expérimental

Une expérience s'inscrit dans une démarche scientifique. Elle doit permettre de résoudre un problème posé. Pour qu'elle soit la plus rigoureuse possible, il est indispensable d'établir un protocole expérimental, qui est la description du matériel et des étapes nécessaires à la réalisation de l'expérience.

1 Principe

Le principe de toute expérience consiste à fixer des conditions constantes, et à ne faire varier qu'un facteur. Le résultat ne dépend alors que de la variation de ce facteur. Ce dernier a été choisi en fonction de la conséquence de l'hypothèse testée. Il ne faut pas oublier de décrire précisément le matériel nécessaire.

Une bonne conception de l'expérience doit prendre en compte les résultats attendus. Dans le protocole, on doit lire : « si j'obtiens ceci, alors je pourrai conclure que.... Sinon, je conclurai que... »

Les résultats s'observant par comparaison, il convient de réaliser une expérience-témoin qui permet de tester l'influence des facteurs en dehors de l'objet de l'expérience. L'expérience-témoin sert de référence pour la lecture des résultats. Par ailleurs, une expérience-test consiste à « forcer » la réponse : on réalise une manipulation dont on sait que le résultat sera positif. L'expérience-test permet de tester les réactifs, les appareils et de visualiser les résultats.

2 Exemple

Concevoir un protocole expérimental qui met en évidence la présence de sucre, comme le glucose, dans la pomme.

L'hypothèse implicite est : « la pomme contient du sucre ».

On connaît le test à la liqueur de Fehling, qui atteste la présence ou l'absence de sucre. On sait que les sucres comme le glucose sont solubles dans l'eau.

Expérience-témoin : un tube à essai (n° 1) avec de l'eau distillée et de la liqueur de Fehling, à chaud. Le résultat doit montrer une solution bleue.

Expérience-test : un tube à essai (n° 2) avec une solution de glucose, avec de la liqueur de Fehling à chaud. Un précipité rouge brique doit apparaître.

Expérience : un tube à essai (n° 3) contenant un morceau de pomme dans de l'eau distillée. On ajoute de la liqueur de Fehling. On chauffe.

Matériel nécessaire :

- une pomme
- 3 tubes à essai

- un dispositif de chauffage des tubes à essai
- une solution de glucose
- un flacon de liqueur de Fehling

Résultats attendus :

- si la pomme contient des sucres, alors un précipité rouge brique doit apparaître dans le tube n° 3.
- si la pomme ne contient pas de sucres, le contenu du tube n° 3 reste bleu.

VII Réaliser un schéma

Un schéma est un outil courant de communication, en particulier dans le domaine scientifique. Il condense de multiples informations.

1 Principe

On distingue le schéma d'interprétation (ou schéma d'observation) et le schéma de synthèse (ou schéma fonctionnel).

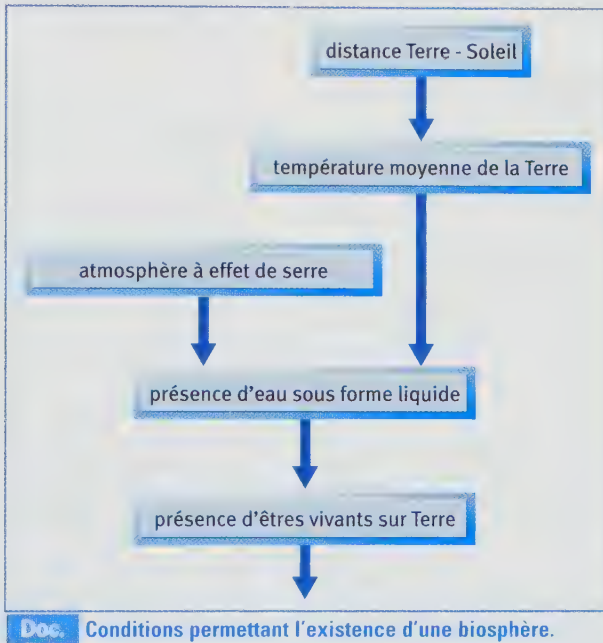
Un **schéma d'interprétation** est une représentation simplifiée d'une observation (résultats d'une expérience, observation au microscope...). Sans s'attarder aux détails, le schéma d'interprétation a une valeur de synthèse d'observations multiples, il rend compte de la réalité telle qu'on la voit. Un tel schéma comporte un titre, des légendes alignées pointant par des flèches (qui ne se croisent pas) des objets précis. Le tracé est entièrement réalisé au crayon papier ; aucune couleur n'est admise. L'épaisseur du trait peut représenter l'épaisseur d'une structure, comme une membrane, une paroi.

Un **schéma de synthèse** ne prétend pas représenter les objets réels. Il rend compte de la réalité telle qu'on la comprend.

Il figure abstraitement les objets (événements, organes...) par des rectangles. Les liens, logiques ou physiologiques, qui les unissent sont représentés par des flèches. Le problème consiste à savoir ce que représentent les flèches : « agit sur », « sécrète », « stimule ou inhibe » ? Le contexte permet de trancher. L'utilisation de flèches de formes ou de couleurs différentes permet parfois de leur donner plusieurs significations.

2 Exemple de schéma d'interprétation

Voir, par exemple, le document 3 du chapitre 6.

3 Exemple de schéma de synthèse

Les rectangles représentent des faits. Mais, les flèches signifient du haut en bas : « détermine / expliquent / permet. »

Corrigés des exercices

Chapitre 1 LA TERRE, PLANÈTE DU SYSTÈME SOLAIRE

Faire le point

1. Une étoile est un astre qui produit de l'énergie grâce à des réactions nucléaires. Une planète est un astre en révolution autour d'une planète. Un satellite est un astre en révolution autour d'une planète.

2. Les comètes sont des blocs de glaces et de poussières fines ; les astéroïdes sont des amas de roches.

3. La température d'une planète dépend surtout de sa distance au Soleil, mais aussi de la présence d'une atmosphère (susceptible de créer un effet de serre naturel) et de la couleur de sa surface.

4. L'alternance des saisons est la conséquence de la rotation de la Terre autour d'un axe incliné par rapport au plan de révolution autour du Soleil, ainsi que de sa sphéricité.

5. Sur Terre, il existe : une lithosphère formée de roches principalement silicatées ; une atmosphère, enveloppe de gaz ceinturant la planète ; une hydrosphère contenant de l'eau dans les trois états ; une biosphère regroupant tous les êtres vivants.

6. La présence d'êtres vivants sur Terre est conditionnée par l'existence d'eau sous forme liquide (rendue possible par la position de la Terre par rapport au Soleil et par l'effet de serre naturel).

7. La température théorique d'une planète est calculée grâce à sa distance au Soleil. La température mesurée sur Terre est plus élevée du fait d'une atmosphère à l'origine d'un effet de serre.

8. Les climats sont dus à l'inclinaison de l'axe de la Terre, planète sphérique donc symétrique, par rapport à l'écliptique : ils suivent globalement les latitudes.

Exercice 1

1. Les planètes sont classées sur les lignes par distance croissante au Soleil.

2. Une « année plutonienne » dure 248,5 années terrestres.

3. Une « année vénusienne » dure $365 \times 0,61 = 222,65$ jours terrestres.

Le jour (243,01 jours terrestres) sur Vénus dure plus longtemps qu'une année (la période de révolution est plus courte que la période de rotation).

4. Le diamètre à l'équateur sépare les planètes internes, ou telluriques (moins de 15 000 km) des planètes gazeuses, ou géantes (plus de 50 000 km). Rappelons que Pluton est un cas à part (c'est une planète externe, mais de petite taille).

5. Un temps est une distance divisée par une vitesse. Donc le temps mis par la lumière pour nous arriver du Soleil est de $149,6 \cdot 10^6 / 3 \cdot 10^8 = 498,6$ secondes = 8 min 18 s.

Ainsi, si le Soleil s'arrêtait maintenant (ce qui constitue une hypothèse absurde), la Terre serait encore éclairée pendant 8 minutes 18 secondes...

Exercice 2

1. Ce texte évoque le faible nombre d'impacts météoritiques sur la Terre, alors qu'ils sont très nombreux sur d'autres planètes ou satellites. Or, dans son mouvement de révolution, la Terre a la même probabilité de rencontrer un astéroïde que tout autre astre du système solaire.

2. Les planètes géantes ne peuvent avoir d'impacts, puisque qu'elles sont gazeuses et « engloutissent » les objets célestes qu'elles rencontrent.

3. La lumière associée aux étoiles filantes est due à la combustion des météorites pénétrant dans la haute atmosphère terrestre (en raison de frottements).

4. L'atmosphère « absorbe » les météorites pour une part ; la lithosphère, constamment remaniée

par l'activité interne de la Terre, efface les traces d'impact ; l'hydrosphère « absorbe » la majorité des météorites qui atteignent la surface terrestre ; la biosphère participe à l'effacement d'éventuelles traces d'impact.

5. La surface lunaire a été bombardée par des météorites, dont les impacts ne sont effacés ni par une lithosphère immobile, ni par une atmosphère, une biosphère ou une hydrosphère, ces enveloppes étant inexistantes sur ce satellite.

6. Le cratère B est recouvert par le cratère C, lui-même recouvert par le cratère D. Donc B est antérieur à C, qui est antérieur à D. Le cratère A ne peut être daté par rapport aux trois autres, faute de recouvrement.

Exercice 3

1. L'axe des ordonnées indique la densité de cratères, c'est-à-dire le nombre de cratères que l'on peut observer par unité de surface.

2. L'axe des abscisses figure le temps. Il est porté de la formation de la Lune solidifiée (et du système solaire) vers 4 milliards d'années (à droite), à l'époque actuelle (à gauche).

3. « Évolution de la densité des impacts météoriques sur la Lune au cours du temps ».

4. Après une période où les impacts de météorites furent fréquents, leur nombre a diminué au fur et à mesure que l'on se rapproche de la période actuelle.

5. Les débuts du système solaire (dont la Lune garde des traces qui n'ont pas été effacées) ont été une période d'intense bombardement par des météorites. Ce phénomène a progressivement diminué du fait de la diminution des objets errants susceptibles de percuter un astre. Les planètes ont subi la même évolution, qui a eu pour effet de « retirer » les météorites présentes dans l'espace du système solaire.

Exercice 4

1. La distance au Soleil augmente de Mercure à Mars : la température devrait diminuer régulièrement entre ces deux planètes.

2. L'observation n'est pas conforme à la prévision : Vénus, plus éloignée du Soleil que Mercure, présente une température de surface plus élevée.

3. Un autre paramètre explique la température de surface d'une planète : l'effet de serre naturel. Vénus doit bénéficier d'une atmosphère qui piège les rayons infrarouges, de sorte que sa température est plus élevée que prévu.

4. Avec les données fournies, il n'est pas possible de déterminer si ces deux planètes possèdent une atmosphère. Le tableau ne permet que de suivre l'évolution des températures. On ne dispose pas d'une loi indiquant la température d'une planète en fonction de sa distance au Soleil. Les mêmes remarques valent aussi pour la Terre.

Exercice 5

1. Les paramètres constants sont : la puissance de la lampe (inchangée) et la température de la pièce (maintenue à 0 °C). Le facteur variable est la présence ou non d'un tube en verre fermé autour du thermomètre.

2. La différence de température observée ne peut être imputée qu'au seul paramètre variable : la distance du thermomètre à la lampe.

3. Dans ce modèle, le Soleil est représenté par la lampe, l'espace interplanétaire par la pièce froide, et les planètes sont assimilées aux thermomètres chauffés par la source de chaleur, le tube représentant l'atmosphère. La présence d'une atmosphère peut être à l'origine d'un effet de serre.

Chapitre 2 LA PLANÈTE TERRE ET SON ENVIRONNEMENT

Faire le point

1. Les pôles reçoivent en permanence de l'énergie thermique en provenance de l'équateur.
2. Il y a des transferts thermiques car l'équateur réémet une partie de l'énergie thermique solaire reçue vers les pôles qui l'absorbent.
3. Des transferts thermiques ne peuvent concerner que ces deux enveloppes terrestres externes, fluides, mobiles et conductrices de la chaleur : l'atmosphère et l'hydrosphère (océan).
4. L'équateur reçoit plus d'énergie (rayonnement solaire maximal) que les pôles. Mais il ne garde pas toute l'énergie solaire reçue : il en perd une partie aux dépens des pôles, qui sont en déficit.
5. Les mouvements verticaux d'air s'expliquent par les variations de densité de l'air en fonction de la température : l'air chaud (moins dense) monte, l'air froid (plus dense) descend.
6. L'origine du vent est le passage de l'air « en excès » d'un anticyclone vers une dépression : les vents tendent à répartir l'air. Mais ce mouvement est modifié par la force de Coriolis (liée à la rotation de la Terre) qui fait dévier le trajet.
7. La densité de l'eau augmente quand la salinité augmente et quand la température diminue.
8. Les courants marins superficiels sont dus aux vents de surface et sont sous l'influence de la force de Coriolis. Les courants marins profonds sont générés par des différences de densité (qui dépend de la salinité et de la température) de l'eau.
9. Les courants océaniques participent au transfert de la chaleur de l'équateur vers les pôles.
10. Les vents dispersent mille fois mieux les produits polluants que les courants océaniques, du fait des différences de vitesse.

Exercice 1

1. Les gaz sont rangés en fonction de leur volume relatif dans l'air sec, du plus abondant (le diazote) au plus rare (le radon).

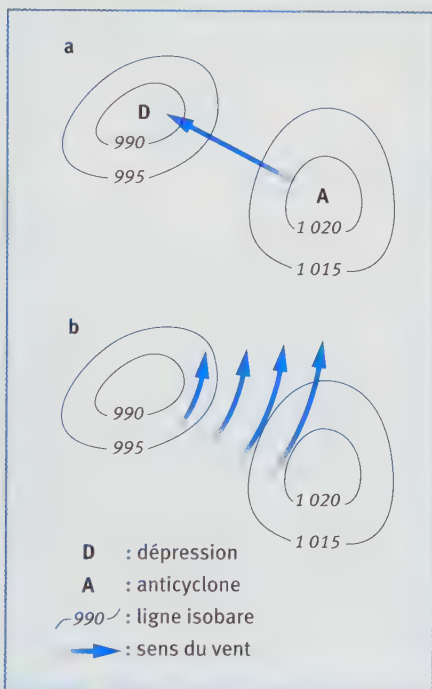
2. Cette donnée signifie que le diazote occupe 78,90 % du volume de l'air sec : 100 litres d'air contiennent 78,09 litres de diazote.
3. Ces deux gaz représentent à eux deux plus de 99 % de la composition en volume de l'air sec. L'expression est donc approximativement valable.
4. La somme des nombres de la colonne « proportion » doit être égale à 100. L'ensemble des constituants de l'air sec représente 100 %.
5. Les êtres vivants produisent ou consomment uniquement le dioxygène et le dioxyde de carbone.
6. Les gaz rares présents dans l'atmosphère sont : l'hélium, l'argon, le néon, le krypton, le xénon et le radon.
7. La masse molaire de l'air sec est calculée en faisant la somme des produits de la proportion et de la masse molaire de chaque gaz.
8. Si une mole occupe 22,4 litres et pèse 28,966 grammes, alors la masse volumique de l'air sec est : $28,966 / 22,4 = 1,29 \text{ g.L}^{-1}$.

Exercice 2

1. **Graphique A** : évolution de la température en fonction de l'altitude. **Graphique B** : évolution de la pression en fonction de l'altitude.
2. La pression moyenne au sol est légèrement supérieure à 1 000 hPa. La température moyenne au niveau du sol est de 15 °C.
3. La pression diminue régulièrement avec l'altitude. La pression atmosphérique est la force exercée par le poids de la colonne d'air sur une surface. Quand on s'élève, le poids de cette colonne diminue : la pression atmosphérique diminue.
4. L'air est à 0 °C vers 2 200 m d'altitude.
5. À 12 km d'altitude, l'air est à -56,5 °C. À cette altitude, la pression est de 200 hPa environ.
6. Cette tranche d'air s'appelle la troposphère : elle est caractérisée par une diminution constante (6,5 °C par 1 000 m) de la température.

Exercice 3

1, 2 et 3.



Doc. Sens et direction du vent : **a.** en absence de rotation de la Terre (sans force de Coriolis) ; **b.** avec la rotation de la Terre (avec la force de Coriolis).

4. Un train a une masse beaucoup plus faible qu'un océan ou que les masses d'air : la force de Coriolis est d'intensité beaucoup trop faible pour le dévier.
5. La vitesse du vent dépend de la distance entre l'anticyclone et la dépression et de la « profondeur » de la dépression (analogie avec un barrage).
6. Dans l'hémisphère nord, le vent s'enroule par la gauche autour des dépressions, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (anti-horaire).
7. Si les dépressions et les anticyclones sont localisés, on peut prévoir le trajet et la force des vents. Connaissant le trajet du vent, son origine, on peut déterminer l'humidité de l'air qui le

constitue. On peut donc également anticiper les précipitations. Cela constitue la base de travail de la météorologie, qui se fixe comme objectif la prévision du temps à venir.

Exercice 4

1. Le convecteur est la source de chaleur du système : on peut assimiler son action à l'effet du Soleil sur la zone intertropicale.
2. Dans une pièce chauffée par un convecteur, c'est vers le plafond que l'air est le plus chaud : l'air chaud, moins dense, monte et s'y refroidit.
3. L'air le plus dense, car le plus froid, s'enfonce ; il est près du sol.
4. L'air de la pièce représente l'atmosphère entre l'équateur et les 30° de latitude, le convecteur représente l'effet thermique du Soleil dans cette zone, le plancher jouant le rôle du sol terrestre. La convection tend à réchauffer l'ensemble de l'air de la pièce, tout comme les circulations atmosphériques tendent à homogénéiser les températures à la surface de la Terre.

Exercice 5

1. En surface, la température de l'océan ne dépend que de la latitude : elle est basse aux pôles, élevée à l'équateur. Le Soleil est la seule source de chaleur pour les eaux superficielles de l'océan.
2. Les températures les plus basses se rencontrent en profondeur ou aux pôles.
3. Les températures sont basses en raison du faible apport d'énergie solaire aux pôles. L'eau froide, plus dense, « coule » au fond de l'océan.
4. L'énergie thermique délivrée par le Soleil ne pénètre pas dans l'eau océanique. À 3 000 m de profondeur, l'influence équatoriale cesse.
5. Les eaux superficielles à proximité de l'Antarctique présentent une anomalie de température : l'eau la plus froide (-1 °C) flotte au-dessus d'une eau plus chaude (0 °C). Il existe donc un courant vertical ascendant qui, compensant l'effet de la densité, fait remonter une eau plus froide sur une eau plus chaude.

Exercice 6

1. A : évolution de la température en fonction de la profondeur de l'océan.

B : évolution de la salinité de l'eau de mer en fonction de la profondeur.

2. La température de surface dépend de la latitude. Elle varie de 26 °C à 15° de latitude Nord à 0 °C à 65° de latitude Sud. La température profonde est plus homogène. Vers 600 m de profondeur, les températures des eaux tropicales (15° N) et tempérées (40° S) deviennent très proches et basses (4 °C) ; seules les eaux antarctiques (65° S) restent bien individualisées.

3. La température de la surface dépend de la chaleur apportée par les rayons solaires : elle dépend donc de la latitude (voir chapitre 1).

4. La salinité (masse de sel / masse d'eau) augmente si : la quantité de sel augmente ; la quantité d'eau douce diminue. La salinité diminue quand : la quantité de sel diminue ; la quantité d'eau douce augmente.

5. À 15° S, l'énergie thermique solaire est importante, l'évaporation est intense : la concentration relative en sels augmente et la salinité augmente donc. À 65° S, la fonte des icebergs ajoute de l'eau douce dans l'océan (il y a une « dilution ») : la salinité diminue.

6. Les eaux froides (65° S) restent bien individualisées dans ce graphique. Aucun mélange ne se fait en profondeur (température distincte, salinité indépendante des variations constatées avec les autres eaux).

Froide, l'eau plonge à la verticale, sans recevoir de chaleur des eaux environnantes.

7. La baisse de salinité de l'océan mondial vers 500 m de profondeur ne peut s'interpréter que comme l'adjonction d'eau moins salée d'origine polaire (le sel ne disparaît pas « mystérieusement »).

■ Exercice 7

1. L'air monte au-dessus de l'Inde car le continent est surchauffé en été.

2. L'ascension de l'air au-dessus du continent provoque une dépression qui « aspire » l'air océanique.

3. Le vent chaud qui résulte de cette aspiration est saturé en humidité du fait de son passage au-dessus de l'océan.

4. En s'élevant au-dessus de l'Inde, l'air se refroidit. Il ne peut plus contenir autant d'eau. Celle-ci se condense : d'où les pluies torrentielles.

5. Le mécanisme est amorcé par la chaleur (énergie thermique) diffusée par le continent. L'air chaud ascendant crée une dépression. La pluie (matière) provient de l'aspiration de l'eau océanique à proximité.

Chapitre 3 ÉVOLUTION

DES ENVELOPPES TERRESTRES

Faire le point

1. Les principaux gaz qui composent l'air sont le diazote (78 %) et le dioxygène (21 %).

2. Le diazote provient du dégazage de la Terre primitive. Le dioxygène provient de l'activité photosynthétique des végétaux chlorophylliens.

3. L'ozone se forme sans la stratosphère par action des UV solaires sur les molécules de dioxygène. Il se forme aussi dans la troposphère par combustion des hydrocarbures.

4. La concentration d'ozone ne devrait pas varier dans la stratosphère, car à chaque instant, la vitesse de formation est égale à la vitesse de destruction de ce gaz peu stable.

5. L'ozone est formé à partir du dioxygène, fabriqué par les végétaux chlorophylliens avec la photosynthèse. Donc l'ozone provient indirectement des plantes. Mais c'est aussi l'ozone stratosphérique qui protège les organismes vivants des rayons UV solaires qui sont dangereux.

6. Les animaux rejettent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère par la respiration ; les plantes vertes absorbent ce gaz de l'atmosphère pour la photosynthèse.

7. Un cycle évoque un retour dans le même état : un atome de carbone passe par différents réservoirs et circule constamment entre eux.

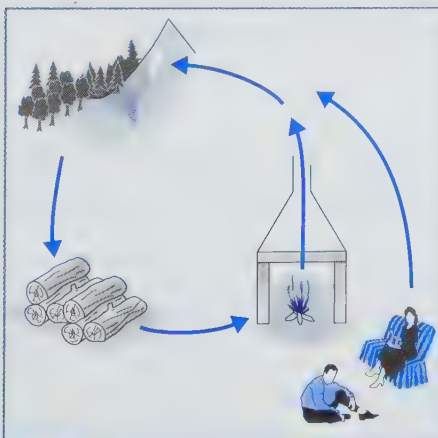
8. Les gaz à effet de serre sont peu abondants, absorbent les infra-rouges du rayonnement solaire, participent au réchauffement de l'atmosphère.

9. Les gaz à effet de serre proviennent des activités industrielles (chimie), agricoles (ruminants), domestiques (combustion de pétrole).

10. Un réservoir contient la même quantité de carbone si la masse du carbone qui entre dans ce réservoir est égale à la masse de celui qui en sort.

Exercice 1

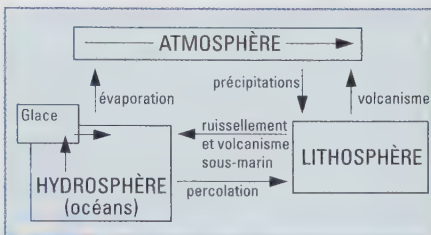
1. Les arbres ont besoin uniquement de matière minérale pour leur nutrition.
2. Le carbone est absorbé par les végétaux, dont les arbres, *via* le dioxyde de carbone de l'atmosphère.
3. Le carbone est incorporé dans les molécules organiques présentes dans les tissus de la plante.
4. Le séchage permet seulement d'évacuer l'eau du bois.
5. Après combustion, le carbone est sous forme de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.
6. La respiration du bûcheron produit également du dioxyde de carbone, rejeté dans l'atmosphère.
7. On parle de cycle dans la mesure où un atome de carbone passe de l'atmosphère dans le bois, puis revient dans l'atmosphère.
8. Voir schéma ci-dessous.



Doc. Un « mini-cycle » du carbone.

Exercice 2

1 et 2. Voir schéma ci-dessous.

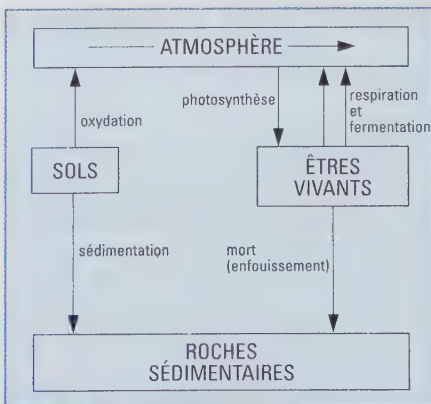


Doc. La circulation de l'eau entre les enveloppes terrestres.

3. Des flux permanents d'eau sous ses trois états (liquide, solide et gazeux) ont lieu entre les trois enveloppes terrestres (lithosphère, hydrosphère et atmosphère). On peut donc parler de cycle.
4. La biosphère est l'enveloppe manquante dans ce schéma. Cette absence se justifie par la très faible quantité d'eau présente dans l'ensemble des êtres vivants par rapport à la quantité présente dans les autres enveloppes (la *quantité* est sans rapport avec l'*importance* de son rôle !).

Exercice 3

1. Voir schéma ci-dessous.



Doc. Les échanges de carbone minéral et organique entre les réservoirs.

2. Photosynthèse :

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{molécules organiques} + \text{O}_2$.

Respiration :

$\text{molécules organiques} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Fermentation :

$\text{molécules organiques} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

3. Les masses fixées dans les réservoirs sont considérablement plus élevées que celles qui sont l'objet des transferts.

4. Cela signifie que le carbone passe beaucoup plus de temps dans un réservoir que dans les échanges.

5. La masse de carbone dans l'atmosphère est constante parce que les « entrées » (respiration + fermentation + oxydation) sont égales aux « sorties » (photosynthèse).

6. Dans ces données, l'action de l'homme (combustion des roches carbonées) n'est pas figurée.

3. Les teneurs de ces trois gaz augmentent au XIX^e siècle. Cette époque correspond à ce qu'on a appelé la révolution industrielle (développement de l'industrie et de l'extraction de matières minérales : charbon, puis pétrole).

4. On peut poser l'hypothèse que l'utilisation généralisée des machines, dont l'énergie provient de la combustion du charbon et du pétrole, est à l'origine de l'augmentation de la teneur de ces trois gaz depuis le début du XIX^e siècle.

Exercice 5

1. Un fort déficit apparaît à la verticale du continent Antarctique en octobre (été austral : de l'hémisphère Sud). Mais ce déficit se comble à l'aplomb de l'océan Antarctique en avril (hiver austral).

2. Dans l'hémisphère nord, à part un léger déficit au nord de l'Europe en octobre, il n'y a pas de « trou d'ozone » à l'aplomb du pôle.

3. Les CFC détruisent l'ozone par réactions chimiques : ces deux éléments doivent donc se rencontrer. Les mouvements atmosphériques permettent cette rencontre. Les CFC sont produits au niveau du sol. Des mouvements verticaux les transportent en altitude (vers la stratosphère). Les CFC sont produits au Nord : des vents stratosphériques horizontaux, les jets-streams, les amènent au pôle Sud.

Exercice 4

1. Entre 1000 et 1600, la teneur atmosphérique en :

- dioxyde de carbone = 280 parties par million ;
- méthane = 750 parties par milliard (ppb) ;
- oxyde nitreux = 270 ppb.

2. Actuellement $\text{CO}_2 = 350 \text{ ppm}$; $\text{CH}_4 = 1750 \text{ ppb}$; $\text{NO}_2 = 310 \text{ ppb}$.

Chapitre 4 L'ADAPTATION DE L'ORGANISME À L'EFFORT

Faire le point

1. Un appareil est un ensemble d'organes qui assure une fonction donnée dans l'organisme. Un organe est formé de tissus qui assurent une fonction précise. Un tissu regroupe des cellules ayant même aspect et même fonction.

2. L'énergie cellulaire est fournie grâce à la respiration cellulaire, qui est une oxydation des nutriments par le dioxygène.

3. La cellule est autonome en énergie, car elle doit fournir l'énergie dont elle a besoin : les cellules n'échangent pas d'énergie, l'énergie ne peut pas être stockée.

4. Une activité physique correspond à une dépense énergétique plus élevée qu'au repos pour réaliser le mouvement. Donc la respiration cellulaire est augmentée.

5. Il existe des stocks de nutriments, sous forme de glycogène (pour les glucides) ou de lipides. Mais il n'existe pas de stock de dioxygène : il doit être puisé pour être utilisé immédiatement.

6. La diastole est la période de repos du cœur ; la systole est une période d'activité (de contraction) du cœur. La systole ventriculaire est donc la contraction des ventricules.

7. Le volume d'éjection systolique est la quantité de sang expulsé, à chaque systole, des ventricules cardiaques dans les artères.

8. Le débit cardiaque est la quantité de sang qui transite par le cœur en une minute. Il est calculé en multipliant le volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque.

9. Lors d'une inspiration (entrée d'air dans les poumons), la contraction du diaphragme et des muscles intercostaux augmente le volume de la cage thoracique, créant une dépression dans les poumons qui y adhèrent. L'air est alors aspiré vers les alvéoles à travers l'appareil respiratoire supérieur.

10. La fixation de dioxygène est réversible, car les transferts peuvent s'effectuer dans les deux sens (vers le sang, ou hors du sang). Le dioxygène va du milieu le plus riche (en O_2) vers le milieu le plus pauvre.

11. Le débit ventilatoire est une estimation de la quantité d'air brassé par les poumons en une minute. Cette quantité est le produit du volume courant de chaque mouvement par le nombre de ces mouvements ventilatoires en une minute.

12. Le dioxygène présent dans l'air entre dans les poumons lors de l'inspiration, traverse la paroi des alvéoles pulmonaires, puis est pris en charge par le sang jusqu'aux cellules. Dans le sang, le dioxygène est fixé réversiblement sur l'hémoglobine (= oxyhémoglobine), protéine contenue dans les hématies du sang.

13. L'adaptation de l'organisme à l'effort qualifie les modifications physiologiques qui accompagnent la consommation accrue d'énergie pendant l'exercice, de sorte que les cellules continuent à bénéficier des conditions de vie optimales.

Exercice 1

1. Une oscillation correspond à une inspiration et une expiration. Il s'agit donc d'un mouvement ventilatoire complet.

2. L'amplitude d'une oscillation est la hauteur entre son sommet et sa base. Ici, elle est de 0,5 litre.

3. Le résultat précédemment obtenu constitue le volume courant (le sujet ventile sans effort).

4. On compte 5 oscillations en 30 secondes. La durée d'une oscillation est donc de $30 / 5 = 6$ secondes.

Deux façons de répondre :

– si en 30 secondes, il y a 5 oscillations, alors en 60 secondes (une minute), il y en aura 2 fois plus, c'est-à-dire 10 oscillations par minute ;
– si une oscillation dure 6 secondes, alors en 60 secondes, on peut placer $60 / 6 = 10$ oscillations par minute.

5. Le résultat précédent s'appelle la fréquence ventilatoire.

6. $D.V. = V.C. \times F.V.$, avec $V.C. = 0,5$ L, et $F.V. = 10$ battements.min⁻¹.
Donc $D.V. = 10 \times 0,5 = 5$ L.min⁻¹.

7. Pour déterminer si une montée correspond à une inspiration ou à une expiration, on peut remarquer qu'une expiration fait monter la cloche (partie mobile) du spiromètre, donc descendre le stylet (expiration = « descente »).

On peut aussi remarquer que lorsqu'on expire, le volume d'air contenu dans les poumons diminue, donc une expiration correspond à une descente des oscillations.

Exercice 2

1. L'amplitude de l'activité électrique enregistrée est constante ; elle ne varie pas avec l'intensité de l'effort.

2. Le facteur qui varie sur cet enregistrement est le nombre d'oscillation par unité de temps, autrement dit, seule la fréquence varie : la période diminue lors de l'effort.

3. On compte 10 battements en 10 secondes au repos, 13 battements dans le même temps pendant l'effort.

4. La fréquence cardiaque (F. C.) au repos est égale à $(10 \times 60) / 10 = 60$ battements par minute.

La fréquence cardiaque lors de l'exercice est égale à $(13 \times 60) / 10 = 78$ battements par minute.

5. Les indications fournies désignent le volume d'éjection systolique (V. E. S.).

6. On sait que $D.C. = F.C. \times V.E.S.$ Donc au repos, le débit cardiaque est de $60 \times 70 = 4\,200$ mL = 4,2 L. min⁻¹.

Lors de l'effort, le débit cardiaque est de $78 \times 80 = 6\,240$ mL = 6,24 L. min⁻¹.

7. Le facteur d'augmentation est de $6,24 / 4,2 = 1,48$ (nombre sans unité !). L'effort de cet exercice demande un apport sanguin aux muscles actifs environ une fois et demie plus important

que quand ces muscles sont au repos. Le dioxygène et les nutriments arrivent 1,5 fois plus rapidement aux cellules musculaires.

Exercice 3

1. Les muscles, le cœur et la peau voient leur débit sanguin augmenter ; le cerveau reçoit toujours le même débit. Le rein, les organes abdominaux et autres subissent une diminution du débit.

2. Les cellules musculaires doivent fournir plus d'énergie lors d'un exercice physique. Les éléments nécessaires à cette production d'énergie (nutriments et dioxygène) leur sont apportés pas le sang : une augmentation de la production d'énergie nécessite donc une augmentation du débit sanguin. Mais ce débit sanguin (multiplié par 10 pour les muscles !) nécessite un travail cardiaque plus important, d'où un apport augmenté au cœur. La peau est également plus irriguée, ce qui permet de mieux évacuer la chaleur dégagée par la respiration cellulaire dans les muscles.

3. L'ouverture (ou la fermeture) des cellules musculaires entourant les capillaires rend possible les variations de débit constatées.

4. L'exercice ne peut durer longtemps dans la mesure où la perfusion exagérée des organes (muscle, cœur, peau) se fait au détriment des organes essentiels à la survie de l'organisme : rein, organes abdominaux...

5. Avec 5 L de sang et un débit total de 5,8 L par minute au repos, on peut considérer que sang accomplit un cycle en $(5 / 5,8) \times 60 = 52$ secondes, au repos. Lors de l'exercice, ce temps est de $(5 / 17,5) \times 60 = 17$ secondes. Le sang circule $52 / 17 = 3$ fois plus vite lors de l'effort.

6. L'organisme s'adapte aux circonstances, car le débit sanguin varie selon l'organe et l'activité. Cela suppose que l'organisme règle l'ouverture de capillaires et la fermeture d'autres vaisseaux selon les besoins des cellules. On note que le cerveau subit une perfusion constante, quelles que soient les circonstances. L'organisme adapte le fonctionnement des organes aux conditions de son environnement à un instant donné.

Exercice 4

1. Le schéma de gauche correspond à la diastole : le volume ventriculaire est maximal, les deux ventricules se remplissent de sang.

Le schéma de droite représente la systole ventriculaire : le volume interne est minimum, les parois des ventricules sont épaisses (car contractées). Le sang, comprimé, est éjecté hors des ventricules.

2. La paroi musculaire du ventricule gauche est plus épaisse que son homologue du côté droit. Donc le myocarde gauche est plus puissant que le côté droit.

3. Cela s'explique par le fait que le côté gauche du cœur doit propulser le sang dans l'ensemble de l'organisme (circulation générale), alors que le côté droit n'envoie du sang « que » dans les poumons (circulation pulmonaire) qui sont proches, à la même hauteur : le travail est moindre.

Exercice 5

1. Algébriquement, pour augmenter un produit, il faut augmenter soit l'un des deux termes, soit les deux. Ainsi, pour que le débit ventilatoire augmente, il faut augmenter soit la fréquence ventilatoire, soit le volume courant, soit encore les deux en même temps.

2. Biologiquement, cela signifie que pour ventiler plus, il faut soit ventiler plus vite, soit ventiler plus profondément, soit encore faire les deux en même temps.

3. L'espace mort est un volume « perdu » pour les échanges ventilatoires : il contient l'air qui ne fait que rentrer et sortir de la partie supérieure de l'appareil respiratoire. Quand un individu halète, il ne ventile que l'espace mort : tout se passe comme si l'air alvéolaire n'était pas renouvelé. Quand un sportif inspire profondément, il balaie forcément cet espace mort, mais il bénéficie surtout d'un volume inspiratoire important, devant lequel l'espace mort devient négligeable.

Mathématiquement, l'équation qui prend en compte l'espace mort est :

$$D.V. = F.V. \times (V.C. - E.M.).$$

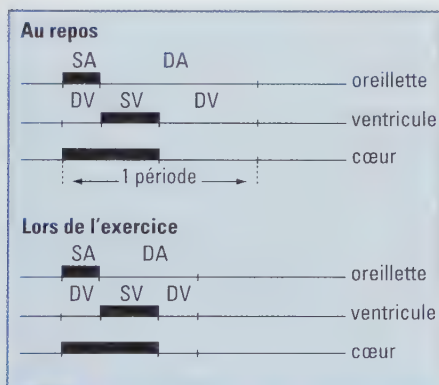
Comme E. M. est fixe, il faut que V. C. devienne le plus grand possible. On a donc intérêt à inspirer profondément. De plus l'augmentation de la fréquence a pour effet de « fatiguer » plus les muscles impliqués dans les mouvements de la cage thoracique.

4. Un sportif entraîné doit veiller à ne pas augmenter démesurément la fréquence ventilatoire, ce qui consomme de l'énergie musculaire. Mais il

doit apprendre à augmenter son volume courant, ce qui réduit l'influence de l'espace mort de l'appareil respiratoire. L'entraînement favorise l'adaptation en modifiant un « réflexe » spontané.

Exercice 6

1. Pour représenter schématiquement les deux périodes cardiaques, il faut se rappeler que le cycle cardiaque se déroule de la manière suivante : systole auriculaire, systole ventriculaire, diastole générale. Les segments représentant les durées des différents événements peuvent alors être tracés dans le bon ordre.



Doc. Représentation de la période cardiaque au repos et lors d'un exercice. Échelle : 1 seconde = 2,5 cm. S = systole, D = diastole, A = auriculaire, V = ventriculaire.

2. Au repos, une période « mesure » 2,5 cm, soit 1 seconde. Les données indiquent que la période cardiaque est de $0,2 + 0,3 + 0,5 = 1$ seconde. Dès lors, la fréquence est de 60 battements par minute. On obtient les mêmes résultats à partir des données du tableau.

Lors de l'exercice, la période « mesure » 1,75 cm, soit 0,7 seconde. Les données indiquent la même diminution ($0,2 + 0,3 + 0,2 = 0,7$ seconde). Donc la fréquence augmente et devient égale à $60 / 0,7 = 86$ battements par minute.

3. Le repos (diastole générale) dure 0,5 seconde au repos, soit 50 % de la durée d'un cycle. Le repos ne dure que 0,2 seconde lors d'un exercice, soit 30 % de la durée d'un cycle.

4. L'augmentation de la fréquence cardiaque lors d'un exercice équivaut à une diminution de la période cardiaque : le cœur bat plus vite. Cette diminution de la période est obtenue en réduisant le temps « de repos » du cœur. Mais la durée des systoles est invariante : les contractions prennent toujours le même temps.

Exercice 7

1. La fréquence cardiaque est le nombre de battements cardiaques en une minute. Le volume systolique évalue le volume de sang expulsé dans les artères à chaque systole (une par battement). Le débit cardiaque mesure la quantité de sang pulsé par le cœur en une minute ; il est calculé par le produit des deux paramètres précédents. (On peut penser à rechercher l'analogie avec le débit ventilatoire.)

2. Le groupe A a la fréquence cardiaque la plus élevée, mais le volume systolique est très faible : son débit est le plus faible.

Le groupe B a un débit cardiaque plus élevé du fait d'un volume systolique plus imposant, malgré une baisse de la fréquence.

Le groupe C a le débit le plus important, malgré la fréquence la plus basse : ce groupe bénéficie du volume systolique le plus élevé.

Les paramètres physiologiques de base, le rythme cardiaque de repos et l'efficacité du travail cardiaque peuvent être modifiés par une pratique (sportive) volontaire et régulière.

3. Une activité sportive régulière permet de réduire la fréquence cardiaque (limite de la fatigue cardiaque) et surtout d'augmenter le volume systolique (efficacité cardiaque stimulée). L'entraînement modifie le rythme et les volumes cardiaques et permet une adaptation de l'organisme à long terme.

4. L'intensité de l'effort se lit sur l'abscisse, car elle est proportionnelle à la consommation de dioxygène. L'effort croissant provoque d'abord une augmentation de la fréquence cardiaque (ce qui assure l'augmentation du débit sanguin), mais une limite intervient (vers 180 pulsations par minute).

À ce moment, c'est le volume systolique qui augmente, ce qui augmente encore le débit cardiaque. Mais l'effet est limité (la courbe atteint un palier). L'épuisement arrive alors...

Chapitre 5 INTÉGRATION DES FONCTIONS DANS L'ORGANISME

Faire le point

1. « Automatisme cardiaque » signifie que le cœur bat spontanément, indépendamment du système nerveux ; le siège de l'automatisme se trouve dans le cœur lui-même.

2. Le cœur a une fréquence propre (automatisme cardiaque). Cette fréquence peut être augmentée ou diminuée par l'action du système nerveux.

3. La fréquence cardiaque est influencée par deux nerfs :

- le nerf sympathique, cardio-accélérateur, augmente la fréquence cardiaque ;
- le nerf parasympathique (ou pneumogastrique), cardio-modérateur, ralentit cette fréquence.

4. Les nerfs commandant la respiration (les nerfs phréniques et les nerfs intercostaux) agissent sur les muscles de la cage thoracique (intercostaux et diaphragme). Les mouvements des poumons qui sont « collés » à la cage thoracique par la plèvre suivent les mouvements imposés par les muscles aux côtes et au diaphragme.

5. « Respiration » peut prendre deux sens :

- un sens commun, celui de ventiler (succession d'inspirations et d'expirations) ;
- un sens cellulaire, qui désigne l'oxydation des nutriments et la production d'énergie.

6. Les nerfs phréniques qui permettent l'inspiration sont issus du bulbe rachidien et aboutissent aux muscles intercostaux et au diaphragme.

7. L'activité cardiaque a son siège dans le cœur lui-même : le système nerveux accélère ou freine cette fréquence propre. Le mouvement de la

cage thoracique est strictement dépendant des messages nerveux d'origine bulbaire.

8. Le bulbe rachidien commande une augmentation de la fréquence ventilatoire quand la teneur en CO_2 dans le sang augmente (signe d'un exercice physique réalisé par l'organisme).

Exercice 1

La vitesse constante de la voiture représente l'automatisme cardiaque : sans intervention du conducteur, la voiture avance à une vitesse constante (dépendant de sa masse et de la pente de la route). De même, sans intervention du système nerveux, le cœur bat à une fréquence qui lui est propre.

L'accélération est provoquée par une action stimulatrice : il faut fournir de l'énergie à la voiture (utilisation de l'accélérateur permettant d'injecter plus d'essence). De même, pour augmenter la fréquence cardiaque, une action stimulatrice est nécessaire : elle est réalisée grâce au nerf sympathique.

Le freinage est une action inhibitrice : les freins diminuent la vitesse acquise. De même, le système nerveux modère fréquence cardiaque ; c'est le rôle du nerf parasympathique.

Exercice 2

1. Voir tableau ci-dessous.

	Effet de la section	Effet de la stimulation du bout de chaque nerf	
Nerf de Hering	FC constante	Bout périphérique	Rien
		Bout central	Accélération FC
Nerf sympathique	FC diminue (un peu)	Bout périphérique	Accélération FC
		Bout central	Rien
Nerf parasympathique (pneumogastrique)	FC augmente	Bout périphérique	Diminution FC
		Bout central	Rien

FC : fréquence cardiaque

2. Les nerfs moteurs (d'un centre nerveux vers un organe effecteur) sont caractérisés par le fait que seul le « bout central » provoque, après stimulation, une réaction de l'organe innervé. La stimulation sur un « bout central » ne provoque de réaction que s'il s'agit d'un nerf sensitif (d'un récepteur vers un centre nerveux). Sans innervation, le cœur continue de battre du fait de l'automatisme cardiaque.

Vu l'effet de stimulation des bouts après section, il apparaît que le nerf de Hering est un nerf sensitif (ce qui est confirmé par le texte : « lié à un récepteur, message augmenté... »).

Seule la stimulation des bouts périphériques a de l'effet sur les deux autres nerfs, qui sont donc moteurs.

■ Exercice 3

1. La respiration n'est normale que si le bulbe est intact : la commande de la respiration prend son siège dans le bulbe rachidien.

2. Le rythme respiratoire est imposé par le bulbe rachidien, mais sa régularité est assurée par des messages nerveux issus de la cavité pontique.

3. La section sous le bulbe rachidien supprime la propagation des messages nerveux en provenance du bulbe rachidien : la respiration devient impossible.

4. La moelle épinière passe dans un canal de la colonne vertébrale. Une lésion (traumatique) des vertèbres cervicales peut endommager gravement la moelle épinière : les messages nerveux ne peuvent plus passer. La respiration cesse, entraînant la mort à brève échéance (pas de stock de dioxygène, intoxication par le dioxyde de carbone qui n'est plus évacué).

■ Exercice 4

1. La fréquence de repos du chien, avant toute expérience, est de 77 pulsations par minute.

2. La stimulation du nerf A entraîne une augmentation de la fréquence à 110 pulsations par minutes. Cette accélération est le fait d'un nerf cardio-accélérateur : le nerf sympathique.

La stimulation du nerf B est suivie d'une baisse de la fréquence cardiaque, jusqu'à 35 battements par minutes. Ce freinage est le fait d'un nerf cardio-modérateur : le nerf parasympathique, appelé aussi nerf pneumogastrique.

3. La section du nerf A (sympathique) entraîne une très légère baisse de la fréquence. On peut dire que le nerf sympathique (en présence de l'autre nerf) permet une fréquence cardiaque au repos plus élevée.

La section des deux nerfs laisse le cœur libre de battre à son rythme propre (fréquence propre).

4. On lit alors sur le graphique la fréquence propre du cœur qui est de 120 battements par minute.

■ Exercice 5

1. Dans une première expérience, on fait varier la teneur en CO_2 de l'air inspiré ; puis dans une deuxième expérience, on fait varier la teneur en dioxygène dans l'air inspiré. Dans les deux cas, on mesure la variation du débit ventilatoire du sujet. En absence d'informations, on peut supposer que toutes autres conditions (température, pression de l'enceinte...) sont maintenues constantes.

2. L'augmentation de la teneur en CO_2 et la diminution de la teneur en O_2 ont le même effet : une augmentation du débit ventilatoire (attention : il faut noter que les échelles horizontales sont « en sens inverse »).

3. Le débit ventilatoire de référence est de $10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. L'augmentation du débit ventilatoire a lieu plus rapidement avec l'augmentation du taux de CO_2 de l'air inspiré qu'avec la diminution du taux de O_2 .

4. Non, ce n'est pas le manque de dioxygène qui détermine l'accélération ventilatoire, mais l'accumulation de CO_2 dans l'air inspiré.

5. On retrouve les données de l'effort physique : ce n'est pas le manque de dioxygène qui détermine l'effet ventilatoire, c'est l'augmentation du taux de CO_2 (dans la pièce pour cette expérience, dans le sang au début de l'effort) qui modifie la ventilation. L'air inspiré détermine les échanges gazeux pulmonaires, donc agit sur la composition des gaz du sang.

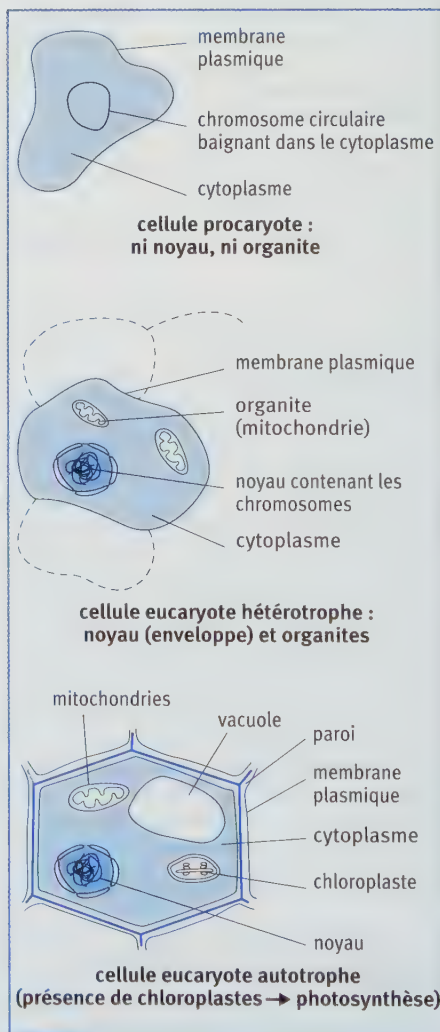
Chapitre 6 UNITÉ ET DIVERSITÉ DU VIVANT : LA CELLULE

Faire le point

1. La cellule contient des organites qui baignent dans le cytoplasme, dans lequel réagissent les molécules.
2. Une cellule procaryote ne possède pas d'organite, donc pas de noyau. Une cellule eucaryote, possède des organites, dont un noyau contenant les chromosomes.
3. Tout être vivant produit lui-même sa matière organique au sein de ses cellules.
4. Les cellules autotrophes n'absorbent que de la matière minérale ; les cellules autotrophes des végétaux renferment des chloroplastes ; les cellules autotrophes ont besoin d'une source d'énergie, comme la lumière pour les végétaux.
5. L'hétérotrophie est un type de métabolisme par lequel un organisme (ou une cellule) produit sa matière organique à partir de la matière organique fabriquée par d'autres.
6. Notre organisme résulte des divisions successives d'une seule cellule : la cellule-œuf. Or, la division cellulaire conserve l'information génétique. Donc toutes les cellules qui nous constituent ont la même information génétique.
7. L'information génétique est ce qui détermine les caractères héréditaires d'une cellule, donc d'un individu.

Exercice 1

- Cet exercice revient sur des définitions du cours des types cellulaires et des différents métabolismes.
- Un schéma légendé demande de nommer les structures représentées ; un schéma annoté présente une phrase courte qui résume dans les informations importantes présentées par l'illustration.
- Ne pas oublier de donner un titre à chaque schéma.



Doc. Représentation schématique de trois types cellulaires.

■ Exercice 2

1. Les chlorelles se développent à condition de disposer de matière minérale et de lumière.

Les paramécies se développent si elles trouvent de la matière organique.

2. Les chlorelles sont donc autotrophes : de la matière minérale suffit. Les paramécies sont hétérotrophes : de la matière organique est nécessaire.

3. Les chlorelles réalisent la photosynthèse dans les chloroplastes ; les paramécies pratiquent la respiration pour partie dans les mitochondries. Mais les autotrophes réalisent également la respiration.

4. La croissance des organismes unicellulaires ne se manifeste que par leur division cellulaire, ce qui augmente leur nombre dans le milieu. Si les conditions sont satisfaisantes, alors le nombre d'individus croît.

■ Exercice 3

1. Les expériences de la première colonne sont des expériences-témoins. Elles attestent que les réactifs ne changent pas de coloration seulement en présence d'eau, avec la chaleur... Les résultats attendus sont négatifs : pas de changement de coloration.

2. Les expériences de la dernière colonne sont des expériences-tests. Elles mettent en évidence le fait que les réactifs changent effectivement de coloration en présence du produit désigné (sucre, amidon, protéines...). Les résultats attendus sont positifs : changement de coloration.

3. Oui, les trois hypothèses de départ sont validées par ces expériences : la deuxième colonne met en évidence que la pomme contient du sucre, la banane de l'amidon et le haricot des protéines. Les résultats de cette colonne sont identiques à ceux des expériences-tests.

4. La matière organique présente dans ces fruits provient de l'activité photosynthétique des cellules chlorophylliennes de ces plantes. Ces cellules autotrophes, principalement localisées dans les feuilles, ont puisé de la matière minérale. Grâce à l'énergie lumineuse, de la matière organique est produite puis exportée vers les fruits. La pomme stocke le sucre ; la banane transforme les sucres simples en amidon, glu-

cide complexe formé par l'assemblage de molécules de glucose ; la gousse de haricot, elle-même autotrophe, bénéficie d'un double apport par la sève de matière organique et minérale qui lui permet de former ses protéines.

5. Les cellules des feuilles réalisent la photosynthèse grâce aux chloroplastes présents dans leur cytoplasme. Les sucres ainsi fabriqués participent à la respiration cellulaire dans les cellules de graines, fruits. La respiration cellulaire permet de fournir l'énergie nécessaire à la synthèse de produits plus complexes, comme l'amidon ou encore les protéines.

■ Exercice 4

1. À l'obscurité, l'euglène absorbe à la fois du dioxygène et du glucose : l'euglène respire.

2. À la lumière, du dioxygène est produit par les euglènes et le glucose cesse d'être puisé dans le milieu extérieur : l'euglène réalise la photosynthèse (elle synthétise le glucose dont elle a besoin pour son activité et rejette le dioxygène dans le milieu extérieur).

Pour réaliser la photosynthèse, l'euglène doit prélever du dioxyde de carbone dans le milieu. Une sonde à dioxyde de carbone devrait donc enregistrer une baisse de la teneur en ce gaz dans l'enceinte entre t_1 et t_2 .

3. À l'obscurité, les teneurs en glucose et en dioxygène diminuent. L'euglène respire, car le glucose participe à l'oxydation cellulaire (respiration) en présence de dioxygène. Une sonde à dioxyde de carbone devrait enregistrer une hausse de la teneur en ce gaz dans l'enceinte entre t_0 et t_1 .

4. À la fin de l'éclairement, l'euglène a des réserves de glucose qu'elle utilise pour la respiration, à l'obscurité. Ce n'est qu'en t_3 , quand les réserves intracellulaires sont épuisées, que les euglènes recommencent à puiser le glucose dans le milieu extérieur.

5. Les échanges gazeux de l'euglène avec le milieu et sa nutrition dépendent donc des conditions du milieu (lumière-obscurité), mais aussi d'une information génétique qui permet autant l'hétérotrophie (obscurité), grâce à la respiration, que l'autotrophie (à la lumière), avec la photosynthèse.

Exercice 5

1. Voir tableau ci-dessous.

Aliments	Animal	Végétal	Unicellulaire	Procaryote	Sels minéraux
Carottes		Racine			
Huile		Graine			
Vinaigre		Raisin		Fermentation acétique	
Sel					NaCl
Poivre		Graine			
Moutarde		Graine			
Beefsteak	Bœuf (muscle)				
Frite		Tubercule			
Fromage	Vache (lait)			Fermentation lactique	
Farine		Graine			
Sucre		Racine, tige			
Chocolat		Graine			
Levure			Champignon (levure)		

2. L'effort suppose la fourniture d'énergie. Chez les hétérotrophes, l'énergie est apportée par les aliments, sources de matière organique. Ces molécules servent à l'oxydation (respiration cellulaire) ou à la reconstitution des stocks utilisés.

Exercice 6

1. Le caractère génétique étudié est l'obésité, qui repose sur le développement anormal de certains organes.

2. Le support de l'information génétique est localisé dans les chromosomes, puisqu'un frag-

ment de chromosome de souris obèse permet l'expression d'un nouveau caractère chez une souris normale.

3. L'obésité étudiée ici est génétique, puisque ce caractère est porté par des chromosomes transmis par les gamètes au nouvel individu. D'où la transmission héréditaire observée.

4. Cette greffe doit avoir lieu dans la cellule-œuf, puisque c'est la cellule à l'origine de toutes les cellules de l'organisme. Une greffe de fragment de chromosome dans tout autre cellule modifierait uniquement les cellules qui en descendent.

5. Le fragment de chromosome greffé doit contenir l'information nécessaire à la fabrication de l'hormone de croissance.

Chapitre 7 UNIVERSALITÉ ET VARIABILITÉ DE L'ADN

Faire le point

1. Universalité de l'ADN signifie que l'ADN :
 - existe dans toute cellule de tous les êtres vivants ;
 - a la même structure (double hélice), avec les mêmes nucléotides, chez tous les êtres vivants ;
 - est porteur de l'information génétique.
2. Les expériences de transgénèse montrent que l'ADN est universel, qu'il n'y a pas de spécificité dans l'expression de l'ADN.
3. Un OGM est un organisme génétiquement modifié pour produire un produit recherché.
4. Un nucléotide est formé de l'association d'un sucre (le désoxyribose), d'un groupement phosphate et d'une des 4 bases azotées possibles. Les nucléotides sont les constituants de base de l'ADN.
5. La molécule d'ADN est constituée d'une double hélice. Les deux brins de l'hélice sont un alignement de nucléotides. Les deux brins sont complémentaires du fait de la complémentarité des nucléotides. La succession des nucléotides s'appelle la séquence.
6. Entre deux individus, la séquence des nucléotides des molécules d'ADN qu'il possède diffère.
7. Un chromosome est une succession de gènes, toujours situés au même locus. Un gène existe en double exemplaire chez un individu. Un gène peut exister sous différentes formes, appelées allèles.
8. Une mutation est un changement dans une séquence d'ADN. C'est un phénomène rare, constant, accidentel. Une mutation est à l'origine des différentes versions alléliques d'un gène.
9. Une mutation somatique intervient dans les cellules « banales » de l'organisme : elle n'est transmise qu'aux cellules filles de la cellule mutée. Elle disparaît avec l'individu. Une mutation germinale affecte les gamètes (spermatozoïdes ou ovules) : elle est transmise à la descendance de l'individu, chez qui elle peut s'exprimer.
10. Il existe des facteurs de l'environnement, du mode vie, qui augmentent le risque de mutation : des facteurs physiques (rayons X, UV) des fac-

teurs chimiques (produits contenus dans les cigarettes), des facteurs biologiques (certains virus).

11. Une cellule mutée perd généralement le contrôle de sa division. Il en résulte un massif cellulaire, ou tumeur, qui peut être à l'origine des maladies regroupées sous le terme de « cancer ».
12. Le principe des radiographies est fondé sur l'émission de rayons X, qui sont mutagènes. On évite d'irradier, même à des doses faibles, des cellules actives en voie de division (fœtus de la femme enceinte) pour limiter les mutations en cours de développement, ou de la lignée germinale (dans les ovaires et testicules) pour éviter les mutations affectant la descendance.

■ Exercice 1

1. Chaque lettre représente un nucléotide : A contient l'adénine comme base azotée, C la cytosine, G la guanine, T la thymine.
2. Cette suite est la séquence d'une région de la molécule d'ADN, c'est-à-dire la succession des nucléotides qui la composent.
3. La séquence du brin complémentaire est ...T G A T A A T G G C A G C G C T C...
4. Si T remplace G en position 3, alors le brin complémentaire contient C en 3. La séquence est modifiée. Cet événement, le remplacement spontané d'un nucléotide, s'appelle une mutation. La séquence, le message, est modifiée.
5. La nicotine peut s'insérer en lieu et place de la cytosine dans l'ADN. Mais le brin complémentaire sera alors modifié lui aussi. Une mutation est donc intervenue.

■ Exercice 2

1. Un virus se fixe sur la membrane plasmique de la cellule, puis injecte son ADN dans la cellule. Cet ADN viral s'insère dans l'ADN du noyau de la cellule. L'information génétique est à l'origine de la reformation d'ADN viral et de la production de protéines virales. De nombreux virus sont ensuite fabriqués par la cellule. Leur sortie de la

cellule entraîne la mort de la cellule parasitée, et la libération de nombreux virus, qui à leur tour vont détruire d'autres cellules.

2. Les protéines fabriquées par la cellule sont donc codées par l'ADN nucléaire de la cellule, mais aussi par l'ADN d'origine virale.

3. L'universalité de l'ADN permet l'insertion de l'ADN viral dans l'ADN nucléaire (structure universelle de l'ADN) et l'expression d'une information par la cellule infectée (fonctionnement universel de l'ADN).

4. Mais le message de l'ADN diffère entre la cellule, qui fabrique les produits nécessaires à son métabolisme, et la séquence virale qui, finalement, provoque la mort de la cellule parasitée.

dose d'UV imposée. Hypothèse : les UV provoquent des mutations de plus en plus nombreuses qui empêchent la synthèse de ce produit indispensable.

5. Les levures qui ne peuvent plus synthétiser l'adénine à la suite de leur exposition aux UV peuvent prélever ce constituant dans le milieu. Mais on n'arrive jamais aux 20 colonies issues des 20 levures initiales, car les mutations n'atteignent pas uniquement la synthèse de l'adénine. Des mutations affectent la fabrication d'autres produits, tout aussi indispensables à la survie des levures.

Exercice 4

A. 1. Ce schéma représente les deux brins d'un extrait d'une molécule d'ADN. On reconnaît les bases complémentaires associées. Les lettres symbolisent les bases azotées.

2. Deux thymines successives établissent une liaison, anormale à cet endroit : il s'agit du dimère dont il est question dans le texte. Les bases A du brin complémentaire ne peuvent plus être reliées à ces bases T : la structure de l'ADN est modifiée.

B. Lors d'une exposition croissante à des radiations UV, la formation de dimères de thymine est peu importante dans les cellules du sujet sain. Dans les mêmes conditions, les cellules de sujet atteint présentent jusqu'à 6 fois plus de dimères que les cellules d'un sujet sain. L'effet des UV est d'autant plus fort que la dose appliquée est élevée.

C. 1. La suite de lettres est la séquence (partielle) de nucléotides d'un brin d'ADN ; l'autre brin peut être déterminé par complémentarité.

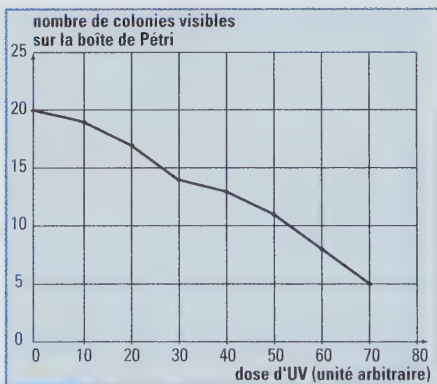
2. Le dixième nucléotide est C chez le sujet sain, alors qu'on trouve A, à la même place, chez le sujet atteint.

3. Ce remplacement d'un nucléotide est une mutation. Les dimères occasionnels dans l'ADN ne sont pas réparés chez le sujet atteint de la maladie : les « erreurs » s'accumulent, l'ADN ne fonctionne plus normalement et les cellules touchées meurent. La maladie a donc pour cause une mutation, c'est une maladie génétique.

4. Le sujet atteint doit éviter l'exposition au Soleil, principal émetteur naturel de rayons UV. (Le conseil est difficile à suivre et le pronostic réservé.)

Exercice 3

1. Voir graphique ci-dessous.



Doc. Influence de la dose d'UV sur la survie des levures.

2. Plus la dose de radiation UV augmente, plus le nombre de levures qui ne se développent pas augmente.

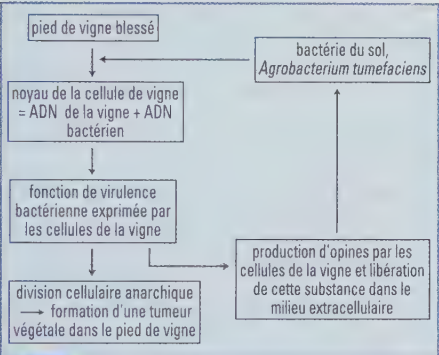
3. L'adénine est une base azotée, elle permet aux levures de synthétiser leur ADN. Toutes les levures « survivantes » peuvent le produire, sans quoi elles n'auraient pas pu se développer en colonies.

4. Le nombre de levures capables de synthétiser de l'adénine diminue avec l'augmentation de la

Exercice 5

Chaque action est figurée en abrégé dans un rectangle ; les liens logiques sont réalisés par des flèches partant de la cause vers la conséquence.

On pourra se reporter aux fiches méthodes page 200.



Doc. Schéma des étapes d'une transgénèse naturelle.

Exercice 6

1. Cette maladie est due à la présence d'un allèle à l'origine d'une maladie. Elle est donc génétique, puisque son origine est inscrite dans l'ADN.
2. Les maladies génétiques sont présentes dès la fécondation (même si elles ne se déclarent pas tout de suite). Elles sont transmissibles à la descendance. Elles ne sont pas susceptibles de traitements qui supprimeraient leur cause (hormis la thérapie génique, encore au stade expérimental).
3. Le principe de la thérapie génique consiste à

remplacer une partie de l'ADN du patient. Les cellules modifiées chez le patient par le vecteur, « moyen de transport » de l'information génétique, se multiplient par divisions cellulaires successives. Les cellules expriment désormais les informations apportées par l'ADN modifié.

4. On parle de thérapie quand les conséquences de la maladie sont limitées, voire supprimées, par un procédé : le patient n'est plus malade. Ce procédé fait appel à l'ADN : c'est une thérapie génique, car l'information contenue dans les gènes de ses cellules a été modifiée.

Exercice 7

1. La transgénèse (transfert de gènes d'une espèce donneuse dans les cellules d'une autre espèce receveuse) montre l'universalité de l'ADN. En effet, un gène, quelle que soit son origine, peut s'intégrer et s'exprimer dans une cellule d'une autre espèce (même si les réalisations pratiques se heurtent à de nombreuses difficultés).
2. Voir tableau ci-dessous.
3. Un transgénote est produit par insertion d'un gène dans la cellule-œuf : toutes les cellules de l'organisme sont alors modifiées. Un nouvel organisme, génétiquement modifié, est né. La modification sera transmise aux descendants de l'organisme. La chimère est obtenue par modification d'une seule cellule de l'organisme : seule la descendance directe de cette cellule exprime cette modification, mais pas les descendants de l'organisme.
4. On retrouve l'opposition entre mutations germinales (transmissibles aux descendants, présentes dans toutes les cellules de l'individu) et mutations somatiques (transmises aux seules cellules-filles qui dérivent de la cellule mutée).

Organisme donneur	Organisme receveur	Caractère transféré
Bactérie	Tabac	Confère une résistance à un antibiotique
Animaux	Végétaux	Synthèse de l'hémoglobine, de protéines bio-luminescentes
Végétaux	Végétaux	Résistance à un herbicide
Homme	Souris	Production de l'hormone de croissance
Champignon	Vache	Production d'antibiotique
Homme	Vache	Production de facteurs de coagulation
Homme	Bactérie	Production de l'insuline
Bactérie	Bactérie	Dégradation du pétrole

Chapitre 8 UNITÉ ET DIVERSITÉ DES ORGANISMES

Faire le point

1. Un vertébré est un animal pluricellulaire qui doit avoir un squelette interne, un système nerveux dorsal (avec un encéphale), un tube digestif ventral, un épiderme composé de plusieurs cellules.
2. Les trois axes descriptifs d'un animal sont l'axe antéro-postérieur, l'axe dorso-ventral, l'axe de symétrie.
3. On pourrait l'appeler l'axe antéro-postérieur (« céphalo » renvoie à la tête et « caudal » à la queue).
4. Le point d'entrée du spermatozoïde chez les amphibiens, l'hétérogénéité du cytoplasme de l'ovule pour d'autres groupes, détermine l'axe dorso-ventral.
5. La position des cellules et leur expression génétique dans ce contexte détermine l'avenir des feuillet embryonnaires.

6. Les gènes homéotiques contrôlent le développement de l'embryon, à partir duquel se forme l'adulte.

7. Les gènes homéotiques de ces deux espèces sont homologues : ils présentent des séquences communes. Ils s'expriment également selon l'axe antéro-postérieur (colinéarité).

8. Cet axe dépend de l'expression de gènes homéotiques.

9. Les trois niveaux d'unité du monde vivant sont : la molécule (ADN universel), la cellule (constituant de tout être vivant), le développement des organismes (gènes de développement).

■ Exercice 1

Nom du plan de coupe	Nom de l'axe	Régions séparées par la coupe
Transversale	Antéro-postérieur	La tête de la queue
Longitudinale	Dorso-ventral	Le dos du ventre
Sagittale	De symétrie	La droite de la gauche

■ Exercice 2

1. Quand la ligature conserve une partie du croissant gris, on obtient deux embryons complets.

Quand la ligature isole le cytoplasme, la seule région de la cellule-œuf qui donne un embryon est celle qui a conservé le croissant gris ; l'autre partie dégénère.

2. Le croissant gris est indispensable à la formation de l'intégrité de l'embryon, car son absence entraîne la dégénérescence. Une partie au moins est nécessaire au développement d'un embryon complet. On peut émettre l'hypothèse que la région du croissant gris est proche du noyau de la cellule-œuf.

3. Quand on accole deux embryons au stade 2 cellules, on obtient un seul embryon, intact.

4. L'adulte viable est composé de deux génomes provenant des deux œufs accolés. Mais une régulation intervient : chacun des deux génomes

n'exprime que les caractères requis par la position des cellules dans l'embryon.

5. Si le devenir des cellules était programmé de manière rigide, alors le résultat aurait été l'obtention de deux embryons accolés.

6. Les cellules de l'embryon sont capables d'adaptation (expérience 2), à condition de contenir au moins un fragment de croissant gris (expérience 1).

■ Exercice 3

1. Pour un prélèvement effectué dans feuillet donné, le taux de réussite est d'autant plus faible que le prélèvement est tardif. Par exemple, pour un prélèvement d'origine endoblastique, le taux de réussite est de 80 % si le prélèvement est fait au stade blastula, et inférieur à 10 % si le prélèvement est fait au stade bourgeon caudal.

2. Quel que soit le moment du prélèvement, le taux de réussite est le plus élevé avec des prélè-

vements d'origine endoblastiques, le plus faible avec les prélèvements d'origine mésoblastique.

3. Plus le temps passe après la fécondation, plus les cellules-filles sont « engagées » dans la différenciation. Donc l'expression de leur information génétique stockée dans le noyau s'oriente dans des voies de plus en plus spécialisées. Le retour en arrière, vers un état embryonnaire indifférencié, devient alors impossible.

■ Exercice 4

1. On cite la mutation du gène *eyeless*, qui provoque la réduction de l'œil chez la drosophile, et la mutation *anridia*, qui réduit l'œil et l'iris chez l'homme. Ces deux mutations affectent des gènes homéotiques (du développement) : les gènes *Pax6* et *eyeless* participent au développement d'un organe (l'œil), aussi bien chez la drosophile, que chez la souris ou l'homme.

2. Les deux mutations affectent le développement d'un même organe : l'œil (dont la structure est pourtant très différente chez l'homme et chez les insectes). Il existe donc des similitudes de fonction entre le gène *eyeless* de la drosophile et le gène *Pax6* de l'homme.

3. « 94 % d'homologie » signifie que 94 % des nucléotides qui composent la séquence des gènes *Pax6* et *eyeless* sont identiques, à la même position, chez l'homme et la drosophile.

Cette homologie des gènes homéotiques s'explique par le fait que la drosophile et l'homme ont une origine commune : les gènes homologues *eyeless* et *Pax6* sont deux formes dérivées d'un même gène « architecte » que possédait leur ancêtre commun.

4. Ce texte évoque un insecte, la drosophile, et deux vertébrés mammifères : l'homme et la souris.

5. Malgré les grandes différences anatomiques et physiologiques entre la drosophile et les mammifères, malgré la différence des structures de l'œil chez les organismes de ces deux groupes, on trouve des gènes dont la structure (homologie de séquence) et la fonction (contrôle du développement du même organe) sont très proches.

■ Exercice 5

1. La transgénèse est le transfert d'un gène d'une espèce dans le génome d'une autre espèce. Ici un gène de souris est inséré dans le génome d'une drosophile.

2. On constate que :

- les gènes homéotiques ont des rôles communs (ils agissent dans d'autres organismes) ;
- la cellule-œuf contient toute l'information (l'œuf se forme à partir du génome dont il a hérité).

Donc les gènes de développement sont plus ou moins communs à des espèces différentes.

Index des mots-clés

A

Adaptation 84
ADN 153
Allèle 153
Animal 129
Antagoniste 107
Anthropique 60
Anticyclone 38
Artère 84
Ascendance 38
Asthéroïde 17
Astre 17
Atmosphère 17
Automatisme 107
Autotrophie 129

B

Bulbe rachidien 107

C

Caractère 153
Caryotype 153
Cellule-œuf 129
Centre nerveux 107
Chloroplaste 129
Chromatine 153
Chromosome 129
Climat 17
Comète 18
Complémentarité 153
Comportement spectral 38
Convection 38
Cytoplasme 129

D

Débit 84
Déficit polaire 38

Densité 38
Dépression 38
Déterminisme 178
Développement
 embryonnaire 178
Diastole 84
Différenciation 129, 178

E

Écliptique 18
Écosystème 60
Effet de serre 18
Embryogenèse 178
Équinoxe 18
Étoile 18
Eucaryote 129
Excès équatorial 38

F

Fermentation 60
Feuillet 178

G

Génome 153
Germinal 153

H

Hématie 84
Hétérotrophie 129
Homéobox 178
Homéodomaine 178
Homéotique 178
Homologue 178
Hyaloplasme 129

I

Incidence 18
Inhiber 178
Intégration 107

J

Jet-stream 38

M

Membrane plasmique
 129
Métabolisme 129
Minéral 60
Mitochondrie 129
Moelle épinière 107
Moteur 107
Mutagène 153
Mutation 153
Myocarde 84

N

Nerf 107
Nucléotide 153
Nutriment 84

O

Organique 60
Organite 129
Oxydation 84

P

Parasympathique 107
Perfusion 84

Période 18, 84
 Photosynthèse 129
 Photosynthèse 60
 Plan 178
 Planète 18
 Planète géante 18
 Planète tellurique 18
 Pluricellulaire 129
 Polariser 178
 Procaryote 129

R

Rachidien 107
 Rayonnement 18
 Réservoir 60
 Respiration 60, 84

S

Saison 18
 Salinité 38
 Sensitif 107
 Séquence 153
 Solstice 18
 Somatique 153
 Stratosphère 60
 Subsidence 38
 Sympathique 107
 Système nerveux 107
 Systole 84

T

Tétrapode 178

Transgénèse 153
 Troposphère 38

U

Unicellulaire 129
 Universel 153

V

Végétal 129
 Veine 84
 Ventilation 84

Imprimé en France par I.M.E. - 25110 Baume-les-Dames
N° d'imprimeur : 17567 - N° d'édition : 003704-02
Dépôt légal : juillet 2004

belinBac

Tous les éléments pour préparer le Bac

Rappels de cours

avec de nombreux schémas, pour réviser efficacement.

Des exercices nombreux et variés

- des exercices pour tester ses connaissances
- des exercices pour s'entraîner.

Tous les corrigés des exercices

rédigés et commentés.

Des fiches méthodes

pour se familiariser avec la démarche scientifique.

Dans la même collection

Mathématiques 2^e

Mathématiques Term S

Mathématiques Term ES

Mathématiques Term STT

Mathématiques Term STI-STL

Enseignement

SES Term ES



Physique-Chimie 2^e

Physique-Chimie 1^{re} S

Physique Term S

Chimie Term S

Physique-Chimie (spécialité) T

SVT 1^{re} S

SVT Term S

SVT (spécialité) Term S



code 003704

