

SVT

2^{de}

RÉVISIONS

le
Guide
A B C

BAC

Progresser
avec méthode

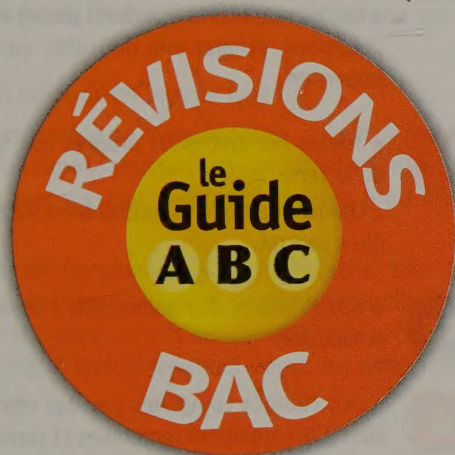
- Rappels de cours
- Méthodes
- Exercices
- Corrigés commentés



Nathan

Sciences de la Vie et de la Terre

2^{de}



Frédéric Lalevée

Professeur agrégé
Lycée Jean Rostand
(Villepinte)

Mode d'emploi

Ce guide **ABC BAC Révisions** est conçu pour vous aider à acquérir des bases solides en Sciences de la Vie et de la Terre 2^{de}. Sa présentation très claire, avec une couleur pour chaque rubrique (cours, méthode, exercices, corrigés) vous permettra de vous repérer très facilement.

■ Chaque chapitre se décompose ainsi :

Cours

- Le cours est structuré en courtes séquences d'une à deux double-page, qui faciliteront les révisions
- Des commentaires (sur fond jaune) viennent apporter des précisions, éclairer une difficulté, ou insister sur un point important.

Méthode

- Toutes les méthodes propres aux Sciences de la Vie et de la Terre
- Chaque méthode est présentée à partir d'un « Sujet-exemple » concret.

Exercices

- Des exercices d'entraînement à la méthode décrite dans le chapitre.

Corrigés

- Des corrigés complétés par des commentaires (sur fond jaune) qui apportent remarques et conseils.

■ En annexe :

- Un **lexique** rassemble les définitions essentielles (mots suivis d'un astérisque) ;
- Un **index** des notions.

Coordination éditoriale : Roselyne Messenger

Édition : Marielle Muret-Baudoin

Conception graphique intérieur : Killiwatch, avec la participation de Aude Gertou

Couverture : Team Créatif

Schémas : Corédoc

Mise en pages : Alinéa

© Nathan 2008-25, avenue Pierre de Coubertin, 75013 Paris.

ISBN : 978-2-09-187437-1

Présentation des exercices

- Des **exercices d'entraînement**, disposés par type d'exercice (restitution de connaissances, puis exploitation de documents).

Le niveau de difficulté des exercices est indiqué :

* facile ** de difficulté moyenne *** difficile

- Les exercices **Pour aller plus loin** ont été conçus pour avoir un premier contact avec des sujets tels qu'ils sont posés en Première S et surtout en Terminale S. Ils sont construits comme des sujets de bac, mais sur le programme de Seconde. Ils sont présents à la fin de chaque grand thème et portent sur tout le chapitre de ce thème.

Il y a deux grands types d'exercices de type bac :

– **Restitution organisée de connaissances** : il s'agit de restituer des connaissances sous forme d'un exposé structuré par une introduction, un plan et une conclusion. Des schémas sont presque toujours demandés. Il est généralement réalisé en 1 h 30 ;

– **Exploitation de documents** : il s'agit d'extraire dans 1 à 3 documents, des informations utiles à la résolution du problème scientifique posé dans la question. La question est unique et le candidat doit organiser lui-même la progression de sa démarche. Il faut absolument partir des documents pour répondre à la question posée.

Crédits photographiques :

p. 45 EUMETSAT ; p. 98 Frédéric Lalevée ; p. 142 bas Frédéric Lalevée ; p. 142 ht Frédéric Lalevée ; p. 143 bas ISM/CMEABG-UCBL 1 ; p. 143 ht ISM/Herve Conge ; p. 145 Frédéric Lalevée ; p. 156 INRA/Brigitte Delecolle ; p. 193 DARRIBERE Thierry.

Sommaire

Chapitre 1. La place de la Terre dans le système solaire	7
1 Le système solaire	8
2 Planètes telluriques et planètes gazeuses	10
3 Comparaison des planètes telluriques	12
4 La température externe des planètes telluriques	14
Méthode : Déterminer et utiliser une échelle	16
Exercices	19
Corrigés	24
 Chapitre 2. La terre et son environnement global	 29
1 L'étude de la Terre par satellite	30
2 Les climats et saisons	32
3 Les mouvements atmosphériques	34
4 Les mouvements des masses océaniques	36
Méthode : Analyser un graphique	38
Exercices	41
Corrigés	45
 Chapitre 3. L'évolution de l'atmosphère et ses relations avec les autres enveloppes terrestres	 49
1 L'atmosphère actuelle	50
2 Les échanges entre l'atmosphère et les autres enveloppes externes	52
3 L'étude du passé récent de l'atmosphère	54
4 Quel futur pour l'atmosphère ?	56
Méthode : Rédiger une restitution de connaissances	58
Exercices	61
Corrigés	68

Chapitre 4. Relations entre activités physiques et paramètres physiologiques	77
1 les variations des rythmes cardiaque et respiratoire lors d'un effort	78
2 Les besoins en dioxygène et en nutriments lors d'un effort	80
3 Mise en relation des différents paramètres modifiés lors d'un effort	82
Méthode : Représenter des données expérimentales par un graphique	84
Exercices	87
Corrigés	91
Chapitre 5. Couplage entre l'activité cardio-respiratoire et l'apport de dioxygène aux muscles	97
1 Le cœur propulse le sang dans un seul sens	98
2 La double circulation du sang	100
3 L'irrigation préférentielle des muscles lors de l'effort	102
Méthode : Comparer des valeurs numériques	104
Exercices	109
Corrigés	112
Chapitre 6. L'intégration des fonctions dans l'organisme au cours de l'activité physique	117
1 Le fonctionnement automatique du cœur est modulé par le système nerveux	118
2 L'activité rythmique des muscles respiratoires est commandée par le système nerveux	120
3 La coordination des réactions cardiaque et respiratoire	122
Méthode : Réaliser un schéma fonctionnel	124
Exercices	127
Corrigés	132
Chapitre 7. La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant	141
1 L'observation d'êtres vivants au microscope	142
2 Les principales caractéristiques cellulaires	144
3 L'hétérotrophie et l'autotrophie	146
4 La conservation des caractéristiques cellulaires de génération en génération	148
5 Les cellules sont les unités structurales et fonctionnelles des êtres vivants	150
Méthode : Représenter une observation	152
Exercices	155
Corrigés	160

Sommaire

Chapitre 8. L'universalité et la variabilité de la molécule d'ADN	165
1 La transgénèse repose sur l'universalité de la molécule d'ADN	166
2 Les chromosomes contiennent des molécules d'ADN	168
3 La signification de la séquence de nucléotides	170
4 Causes et conséquences des mutations	172
Méthode : Interpréter une expérience	174
Exercices	178
Corrigés	184
Chapitre 9. Parenté et diversité des organismes	189
1 Les similitudes du plan d'organisation des Vertébrés	190
2 La mise en place du plan d'organisation	192
3 L'importance des gènes homéotiques	194
4 Les gènes homéotiques confirment l'origine commune des espèces	196
Méthode : Comprendre la représentation schématique d'un phénomène scientifique	198
Exercices	201
Corrigés	207
Lexique	216
Index	223

La place de la Terre dans le système solaire

1 Le système solaire

➤ Le Soleil* est une boule de gaz au sein de laquelle des réactions chimiques produisent de l'énergie. Cette énergie est rayonnée dans toutes les directions de l'espace. Le Soleil appartient à un groupe de millions d'étoiles* appelées Voie Lactée. La Voie Lactée est notre galaxie*. Il existe des milliards de galaxies dans l'Univers.

1 Les éléments du système solaire

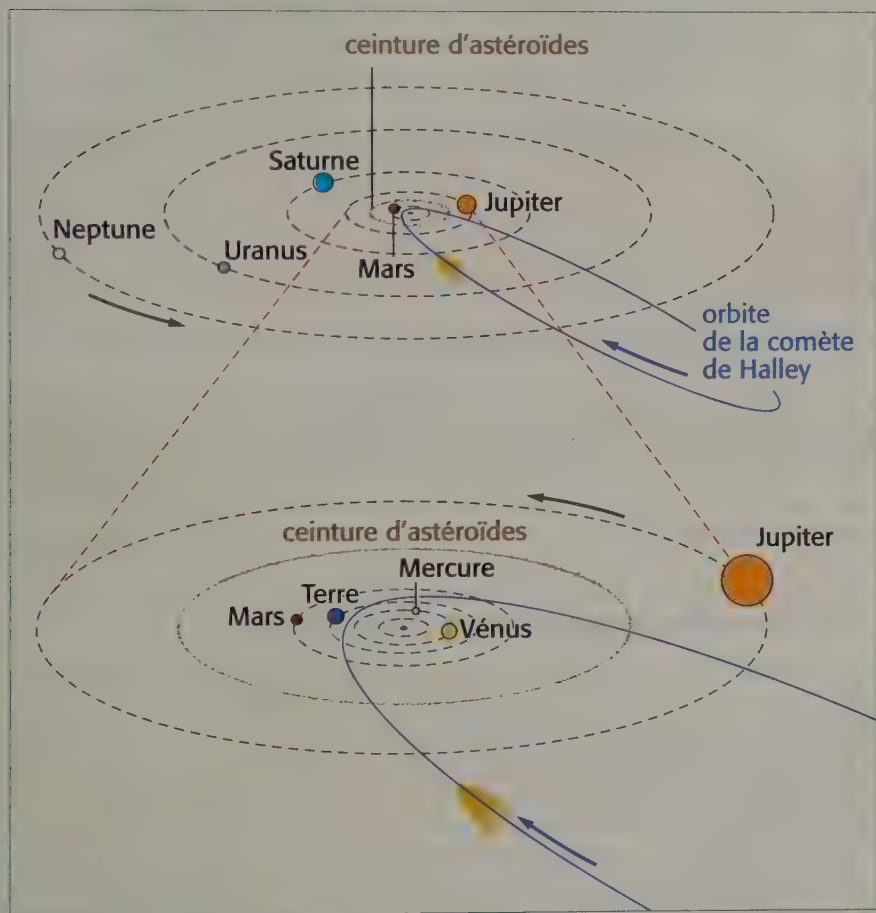
- Le **système solaire** est composé d'une étoile, le Soleil et des **corps célestes*** en orbite autour de lui. Parmi eux, on distingue essentiellement des planètes accompagnées de leurs satellites, des astéroïdes et des comètes. Ils sont de tailles et de compositions chimiques très variées.
- Le système solaire comprend 8 planètes* : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Elles décrivent des **orbites* elliptiques**, le plus souvent presque circulaires, autour du Soleil. Certaines possèdent des satellites*. Mercure et Vénus n'en possèdent pas. La Terre en possède un, la Lune, Mars en possède deux. Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune possèdent de nombreux satellites chacune.
- De nombreux autres corps célestes sont en orbite autour du Soleil. On réserve le terme de planètes à des objets en orbite autour du Soleil, suffisamment massifs et suffisamment éloignés d'autres corps en orbite autour du soleil. Les nouvelles découvertes de corps célestes obligent l'Homme à réviser sa classification. En 2006, Pluton a été exclue des planètes et placée dans la catégorie des planètes naines.
- Les **astéroïdes** sont de petits corps célestes. Certains appartiennent à la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. D'autres ont des orbites qui croisent les orbites planétaires.
- Les **comètes*** sont formées de poussières et de glaces. Elles ont des orbites très elliptiques. Lorsqu'elles passent à proximité du Soleil, elles sont partiellement vaporisées et présentent une chevelure souvent visible depuis la Terre.

Les météorites sont des blocs rocheux de tailles et d'origines variées, arrivés de l'espace et tombés sur une planète.

2 Les distances dans le système solaire

- Dans le système solaire, les distances sont énormes et se comptent en centaines de millions de kilomètres.

Par exemple, la Terre est à une distance moyenne de 150 000 000 km du Soleil. Pour ne pas manipuler des valeurs trop importantes, on a défini une nouvelle unité de distance, plus adaptée, l'**unité astronomique** (UA) qui vaut 150 000 000 km. Ainsi, la Terre est à 1 UA du Soleil. La planète la plus éloignée, Neptune est à 31 UA. La taille du système solaire est difficile à définir car on en connaît mal les zones les plus éloignées. L'étoile la plus proche du Soleil étant à 268 000 UA, la limite du système solaire est entre nous et cette étoile.



Doc. 1. Les planètes du système solaire.

(Les dimensions relatives des orbites ont été respectées.

Les dimensions des planètes sont exagérées par rapport aux orbites.)

2 Planètes telluriques et planètes gazeuses

→ Les 8 planètes du système solaire peuvent être regroupées en deux catégories : les **planètes telluriques***, semblables à la Terre, et les **planètes gazeuses***, semblables à Jupiter.

1 Distances et dimensions des différentes planètes

- Le tableau suivant fournit les distances au Soleil et les dimensions des planètes.

	Soleil	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distance au Soleil en UA	–	0,39	0,72	1	1,52	5,2	9,5	19,1	30
Diamètre équatorial en 10^3 km	1 400	4,8	12,1	12,7	6,7	142,7	120,8	51,3	49,5

On remarque que les distances sont proches de valeurs faciles à mémoriser : 0,4 ; 0,7 ; 1 ; 1,5 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30.

- En ce qui concerne les tailles, on voit que Mercure et Mars sont plus petites que la Terre, et que Vénus et la Terre ont à peu près la même taille. Jupiter a un diamètre 10 fois plus grand que celui de la Terre. Le Soleil a un diamètre 10 fois plus grand que celui de Jupiter.

Il n'est pas nécessaire de retenir toutes les valeurs. Vous pouvez vous limiter à la Terre et Jupiter.

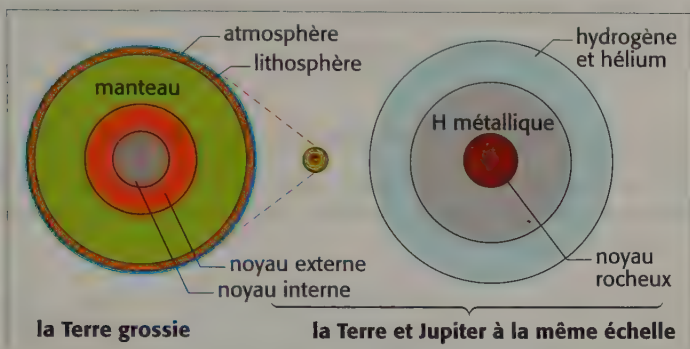
2 Il existe deux grands types de planètes

- Les planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) ressemblent à la Terre. Elles sont essentiellement rocheuses et possèdent une surface solide. Elles ont une densité* élevée. Elles sont structurées en couches concentriques rocheuses de compositions et d'épaisseurs variables (document 2). Elles sont de petites tailles et sont proches du Soleil (document 3). Certaines ont une atmosphère*. Mars et Mercure présentent de nombreux cratères de météorites. En revanche, le volcanisme sur Vénus, et l'érosion et la sédimentation sur la Terre masquent ou détruisent la plupart des cratères.

- Les **planètes gazeuses** (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) sont essentiellement gazeuses.

On appelle densité le rapport entre la masse volumique d'un corps sur celle de l'eau (1 g/cm^3). Un corps de masse volumique $2,8 \text{ g/cm}^3$ a une densité de 2,8.

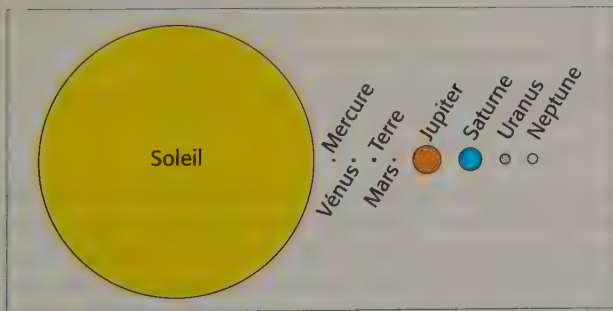
Elles ont une densité faible. Leur structure interne est encore mal connue. Elles sont de grandes tailles et sont éloignées du Soleil (document 3).



Doc. 2. La structure de la Terre et de Jupiter.

3 Les difficultés de la représentation du système solaire

- Il est très difficile de représenter le système solaire en respectant à la fois les distances au Soleil et les dimensions des planètes. En effet, si le Soleil avait la taille d'une orange, la Terre aurait la taille d'un grain de sable à 10 m de distance et Neptune serait encore 30 fois plus éloignée.
- La représentation de la page 9 respecte les distances, mais les dimensions planétaires ne sont pas représentées à la même **échelle***. La représentation qui suit respecte les dimensions relatives des planètes et du Soleil, mais pas les distances. Vous pouvez vérifier que Jupiter a bien un diamètre approximativement 10 fois plus grand que celui de la Terre.



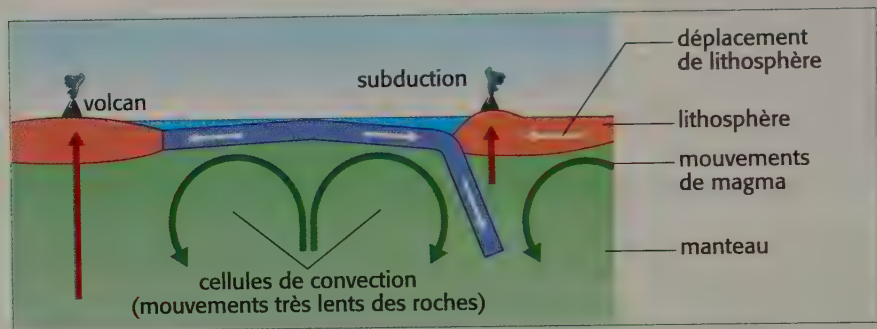
Doc. 3. Représentation du système solaire qui respecte les tailles.

3 Comparaison des planètes telluriques

→ Dans cette partie sont présentées deux caractéristiques planétaires qui dépendent de paramètres géométriques des planètes.

1 L'activité interne d'une planète dépend de sa taille

- On appelle **activité interne*** les déplacements de matière à l'intérieur d'une planète. L'activité interne terrestre, par exemple, se traduit en surface par le volcanisme et la tectonique des plaques.



Doc. 4. L'activité interne terrestre dans le manteau et la lithosphère.

- L'activité interne de la Terre consiste essentiellement en des **mouvements de convection*** et correspond à une sortie de chaleur, ce qui entraîne le refroidissement de notre planète. Les planètes ont été formées par des collisions entre blocs rocheux, ce qui a formé des boules de matière en fusion. C'est l'origine de la **chaleur initiale**, presque totalement évacuée actuellement. La Terre est malgré cela toujours assez chaude pour avoir encore une activité interne grâce à la radioactivité.

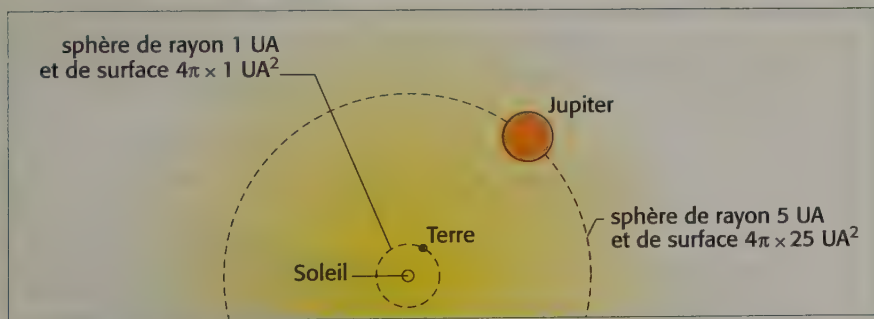
Une deuxième source de chaleur interne, toujours active, est la désintégration radioactive, étudiée en Première S.

- Vénus et Mars présentent aussi des volcans. Aucune éruption n'y a été observée, mais on est sûr que les volcans martiens sont éteints et que ceux de Vénus sont encore actifs. En effet, on sait que *plus un corps est gros, plus il refroidit lentement*. C'est pourquoi la planète Mars, plus petite que la Terre, est déjà trop froide pour avoir du volcanisme alors que Vénus, de taille comparable à la Terre, est encore assez chaude pour avoir un volcanisme actif.

2 L'énergie solaire reçue par une planète dépend de sa distance au Soleil

- Il est très courant de constater que plus on est loin d'une flamme, moins celle-ci nous transmet de l'**énergie thermique**. L'énergie solaire reçue par les planètes est aussi de moins en moins grande lorsque la distance au Soleil augmente. Mais selon quelle loi l'énergie baisse-t-elle?
- L'énergie solaire est rayonnée dans toutes les directions de l'espace. Si on imagine que l'**énergie solaire** touche des sphères fictives de plus en plus grandes dont le rayon correspond à la distance au Soleil des planètes, on voit qu'une même quantité d'énergie se répartit sur une surface de plus en plus grande. Comme Jupiter est 5 fois plus éloignée du Soleil que la Terre (5 UA contre 1 UA), la surface ($4\pi r^2$) de la sphère qui lui correspond est 25 fois plus grande que celle correspondant à la Terre ($4\pi \times 25$ comparé à $4\pi \times 1$). Comme une même quantité d'énergie touche la sphère de la Terre et celle de Jupiter, une **unité de surface** de la sphère de Jupiter recevra 25 fois moins d'énergie solaire. On dit que la quantité d'énergie qui touche une surface planétaire donnée diminue comme l'**inverse du carré de la distance au Soleil**.

On peut comparer des valeurs sans les calculer. Ici, on voit que $4\pi \times 25$ est 25 fois plus grand que $4\pi \times 1$.



Doc. 5. La diminution du flux solaire en fonction de l'éloignement au Soleil.

- On peut vérifier expérimentalement cette diminution en plaçant deux luxmètres à des distances différentes d'une lampe. Les luxmètres permettent de mesurer l'**énergie lumineuse** issue de la lampe. On constate que l'énergie lumineuse reçue par un luxmètre 3 fois plus éloigné est 9 fois moins grande que celle reçue par l'autre. Or 9 est précisément 3^2 . La quantité d'énergie qui touche une surface donnée diminue donc bien comme l'inverse du carré de la distance à la source d'énergie.

4 La température externe des planètes telluriques

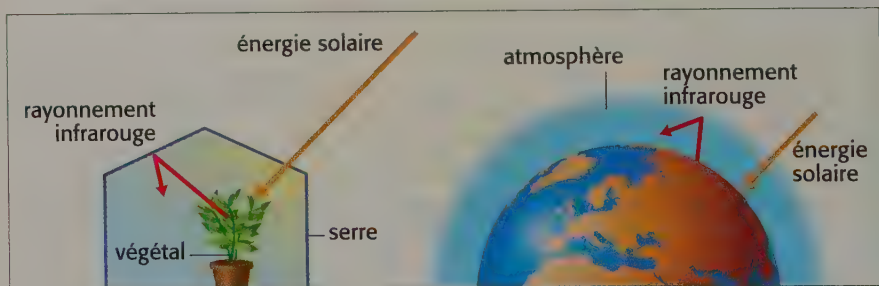
→ La **température externe** d'une planète est la température de sa surface. Elle dépend de sa distance au Soleil et de l'effet de serre dû à son atmosphère. La température externe et la **pression atmosphérique** conditionnent l'état de l'eau sur la planète.

1 L'effet de serre sur une planète dépend de la densité de son atmosphère

- Vénus est plus éloignée du Soleil que Mercure et, pourtant, elle possède une température de surface moyenne plus élevée (+ 485 °C contre +110 °C pour Mercure). C'est dû à l'**effet de serre***.

- Un objet exposé au **rayonnement solaire*** reçoit des rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges proches, ce qui le réchauffe. L'objet émet à son tour un rayonnement, mais celui-ci est dans l'infrarouge lointain car sa température est peu élevée. Ce rayonnement est fortement absorbé par certains gaz de l'atmosphère, dits à effet de serre. L'énergie solaire reste alors piégée dans l'atmosphère et la température augmente. C'est ce mécanisme qui est mis à profit dans les serres pour augmenter la température du milieu de culture.

Les gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane* et l'ozone*.



Doc. 6. L'origine de l'effet de serre dans le cas d'une serre et d'une planète.

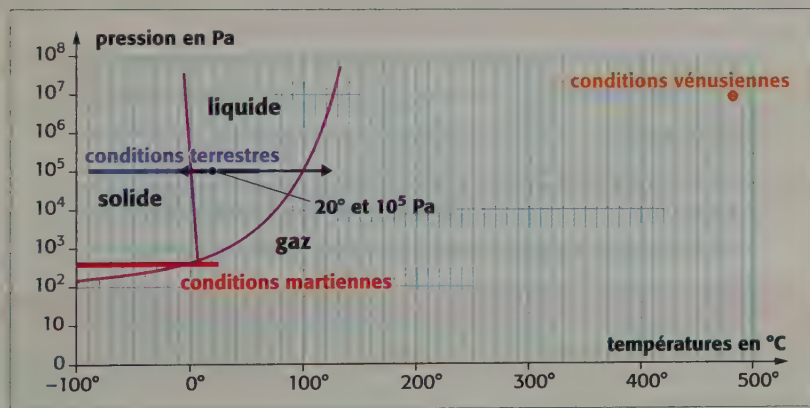
- L'importance de l'effet de serre dépend de la densité de l'atmosphère qui entoure la planète. Mercure, sans atmosphère, n'a pas d'effet de serre. Vénus, qui a une atmosphère très épaisse, a un effet de serre important, qui ajoute environ 440 °C à la température externe. Sur Terre, l'effet de serre est modéré (+ 35 °C environ), mais il permet de faire

passer la température externe moyenne de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ. Cette augmentation de température, due à l'effet de serre, conditionne la présence d'eau liquide sur notre planète. Enfin, l'effet de serre sur Mars n'apporte que quelques degrés et est négligeable.

2 La température externe d'une planète conditionne l'état de l'eau

- L'eau (H_2O) peut exister sous trois états : solide, liquide et gazeux. Ce sont les conditions de température et de pression atmosphériques qui conditionnent ces états.
- Dans le graphique suivant sont représentés les domaines des trois états de l'eau en fonction de la pression et de la température. Le point correspondant à un environnement habituel au sol ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et 10^5 pascals) se situe dans le domaine de l'eau liquide (document 7). Si on place de l'eau au congélateur, on fait baisser la température de l'eau, sans faire varier la pression. À $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, on entre dans le **domaine solide** (l'eau gèle à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, flèche de gauche). Si on chauffe l'eau, elle se **vaporisera** à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (flèche de droite).

La pression atmosphérique terrestre au sol vaut en moyenne 1 bar, soit 105 pascals (Pa), ou encore 1 000 hectopascals.



Doc. 7. Graphique des états de l'eau pour les conditions planétaires.

- Si on place sur le graphique l'ensemble des conditions terrestres ($-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ et 10^5 Pa), on constate que l'eau est liquide ou solide sur Terre (trait bleu). Il y a en effet 97 % d'eau liquide et 3 % de glace sur Terre.
- Le même travail effectué pour Mars (trait rouge) et Vénus (point orange, car la température y est constante) montre que l'eau ne peut pas y être liquide.

Méthode

Déterminer et utiliser une échelle

À SAVOIR : Qu'est-ce qu'une échelle ?

Pour représenter un objet de grande taille comme le système solaire, il faut lui appliquer un facteur de réduction appelé **échelle** (échelle de réduction).

L'échelle peut aussi être un facteur d'agrandissement (ou de grossissement). Lorsqu'on réalise une maquette de la molécule d'ADN, on multiplie les dimensions de la molécule par une valeur très élevée appelée échelle d'agrandissement.

Plusieurs types d'exercices peuvent vous être proposés. Le plus complet vous demandera de **calculer l'échelle d'une représentation, puis de l'utiliser pour représenter d'autres objets à la même échelle**.

Sujet exemple

Le Soleil a un diamètre réel de 1 400 000 km. On cherche à représenter les quatre planètes telluriques à la même échelle qu'un Soleil de 14 cm de diamètre. Les dimensions réelles arrondies des planètes figurent ci-dessous.

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Diamètre réel arrondi en km	5 000	12 000	12 000	7 000

Question : Calculez les dimensions des quatre planètes à la même échelle.

Étape 1 : Calculer l'échelle de la représentation

L'échelle est le nombre par lequel il faut multiplier une dimension réelle d'un objet pour obtenir la même dimension sur sa représentation.

$$\text{dimension réelle} \times \text{échelle} = \text{dimension représentée}$$

$$\text{D'où échelle} = \frac{\text{dimension représentée}}{\text{dimension réelle}}$$

Les deux dimensions doivent être à la même unité, ce qui impose souvent une conversion.

Conversion des deux dimensions dans la même unité, le cm.

$$1 \text{ km} = 10^5 \text{ cm, d'où } 1400\,000 \text{ km} = 1400\,000 \cdot 10^5 \text{ cm} = 14 \cdot 10^{10} \text{ cm.}$$

Détermination de l'échelle de la représentation du soleil :

$$\text{échelle} = \frac{\text{dimension représentée}}{\text{dimension réelle}} = \frac{14}{14 \cdot 10^{10}} = \frac{1}{10^{10}} = 10^{-10}$$

Le soleil est donc représenté à l'échelle de $1/10^{10}$, c'est-à-dire au dix milliardième.

Étape 2 : Utiliser l'échelle de la représentation

On calcule cette fois une dimension représentée à l'aide de la dimension réelle et de l'échelle. La formule de l'échelle est transformée comme suit :

$$\text{dimension représentée} = \text{dimension réelle} \times \text{échelle}$$

On applique à toutes les planètes la formule :

$$\text{dimension réelle} \times \text{échelle} = \text{dimension représentée}$$

Pour la Terre, de diamètre réel arrondi 12 000 km, on obtient :

$$\text{conversion en cm, } 12\,000 \text{ km} = 12\,000 \cdot 10^5 \text{ cm}$$

$$12\,000 \cdot 10^5 \cdot 10^{-10} = 12 \cdot 10^{-2} \text{ cm} = 0,12 \text{ cm.}$$

La Terre sera donc représentée par un rond de 1,2 mm de diamètre. C'est petit, mais cela peut être représenté sans compas avec un crayon bien taillé, ou mieux encore à l'écran, puis imprimé.

Les dimensions pour toutes les planètes telluriques figurent dans le tableau suivant :

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Diamètre réel en km	5 000	12 000	12 000	7 000
Diamètre représenté, en mm	0,5	1,2	1,2	0,7

Cas particulier de la représentation d'un objet vu au microscope

Le calcul du **grossissement** (facteur de grossissement ou encore échelle d'agrandissement) est souvent faux car tous les éléments ne sont pas pris en compte. On se contente bien souvent de multiplier le grossissement de l'objectif par celui de l'oculaire. Par exemple, $\times 40$ par $\times 10 = \times 400$.

Il faut aussi prendre en compte le grossissement opéré par le dessinateur. Le grossissement dû au microscope produit l'image que vous voyez dans l'oculaire. Vous pouvez ensuite choisir de représenter cette image à la même taille, ou plus petite, ou plus grosse. Le grossissement total sera donc :

$$\text{Grossissement total} = \text{gross}^{\circ} \text{ objectif} \times \text{gross}^{\circ} \text{ oculaire} \times \text{gross}^{\circ} \text{ dessinateur}$$

Si le dessinateur réduit l'image donnée par le microscope, le grossissement dû au dessinateur est inférieur à 1. C'est une réduction.

Si l'image du microscope est divisée par 2, le grossissement du dessinateur est $\frac{1}{2}$.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

➔ corrigé p. 24

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Les satellites naturels :

- ☐ a. sont aussi nombreux autour de chaque planète tellurique ;
- ☐ b. sont absents autour de certaines planètes ;
- ☐ c. sont parfois qualifiés de comètes.

2. Une unité astronomique :

- ☐ a. est égale à la distance de la Terre à la Lune ;
- ☐ b. est égale à une année lumière ;
- ☐ c. est égale à la distance de la Terre au Soleil.

3. Les planètes telluriques :

- ☐ a. sont constituées uniquement de gaz ;
- ☐ b. sont constituées uniquement de roches ;
- ☐ c. sont les plus éloignées du Soleil.

4. Jupiter :

- ☐ a. est environ cinq fois plus éloignée que la Terre du Soleil ;
- ☐ b. est la plus grosse des planètes telluriques ;
- ☐ c. est la planète gazeuse la plus proche de la Terre.

5. Des éruptions volcaniques ont été observées :

- ☐ a. sur Vénus ;
- ☐ b. sur Mars ;
- ☐ c. sur la Terre.

6. Saturne, 10 fois plus éloignée que la Terre du Soleil :

- ☐ a. reçoit 10 fois moins d'énergie solaire qu'elle ;
- ☐ b. reçoit 100 fois moins d'énergie solaire qu'elle ;
- ☐ c. reçoit 1 000 fois moins d'énergie solaire qu'elle.

7. L'effet de serre sur la Terre :

- ☐ a. ajoute environ 35 °C à la température moyenne de surface ;
- ☐ b. permet une température moyenne de surface supérieure à 0 °C ;
- ☐ c. contribue à l'activité volcanique terrestre.

Appliquez la méthode

2 Déterminer des distances à une certaine échelle

➔ corrigé p. 24

Question :

Calculez, en mètres, les distances auxquelles il faudrait placer les 8 planètes pour un Soleil de 10 cm de diamètre.

Les distances moyennes au Soleil des planètes en km sont :

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distances en millions de km	58	108	150	228	778	1 430	2 870	4 495

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 24

★★ La température externe des planètes

Question :

Exposez en une page maximum (schéma compris) les facteurs qui déterminent la température externe d'une planète du système solaire.

Votre exposé comprendra au moins un schéma.

4 Exploitation de documents.

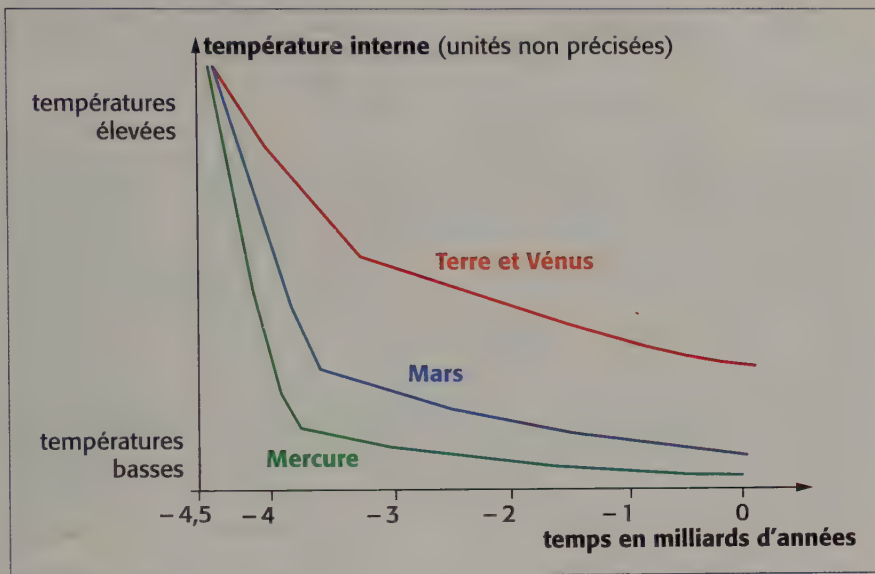
➔ méthode p. 38 ➔ corrigé p. 25

★ Le refroidissement des planètes telluriques

On pense que lors de leur formation, il y a 4,5 milliards d'années, les planètes étaient des boules de roches en fusion. Leur état actuel est dû à un refroidissement. Le graphique suivant représente l'évolution de la température interne des planètes depuis leur formation.

Questions :

1. Comparez l'évolution de la température interne des quatre planètes.
2. Expliquez les différences avec vos connaissances.



5 Exploitation de documents

➔ corrigé p. 26

★ La disparition de l'eau sur Mars

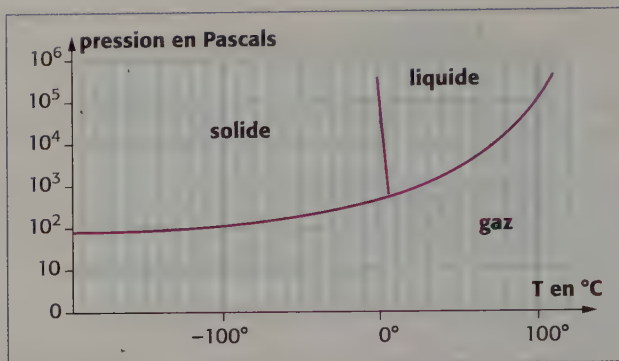
Les observations effectuées sur la planète Mars depuis les années 1970 ont montré des formes allongées qui évoquent fortement des fleuves asséchés. On cherche à comprendre une des raisons de la disparition de cette eau.

Les conditions martiennes et terrestres en pression atmosphérique et température au sol sont les suivantes :

	Température au sol en °C	Pression atmosphérique au sol en pascals
Mars	- 90 à + 60	10^5
Terre	- 140 à + 25	5.10^2

Questions :

1. Représentez les conditions terrestres et martiennes sur le graphique des états de l'eau. On considérera que l'ordonnée 500 pascals est située à égale distance des points 100 et 1 000 pascals.



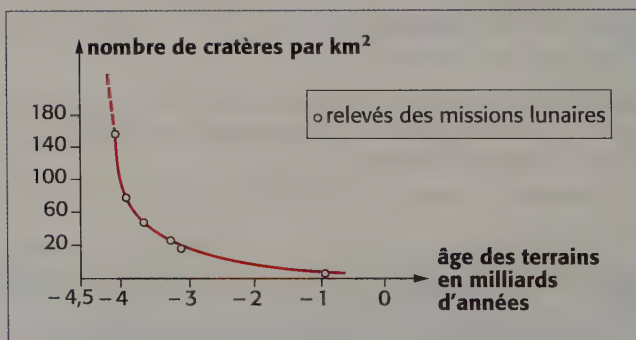
2. En utilisant la représentation graphique, trouvez une hypothèse qui permette d'expliquer la présence de rivières asséchées sur Mars.

6 Exploitation de documents

➔ méthode p. 38 ➔ corrigé p. 26

★★ La pluie météoritique lunaire

Sur Terre n'existent que quelques cratères de météorites, alors que la Lune en est couverte. Les missions lunaires Apollo ont permis de faire un relevé du nombre et de l'âge des cratères lunaires (voir le document ci-dessous).



Questions :

1. Quelles sont les caractéristiques de la pluie météoritique lunaire ?
2. Formulez deux hypothèses qui permettraient d'expliquer les différences de nombres de cratères entre la Lune et la Terre.

7 Exploitation de documents

➔ méthode p. 84 ➔ corrigé p. 27

★★★ La densité des planètes et des satellites

Les tableaux suivants fournissent les diamètres équatoriaux et les densités de 6 planètes et de leurs plus gros satellites.

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Uranus	Neptune
Diamètre (en km)	5 000	12 000	12 000	7 000	50 000	50 000
Densité (en g/cm ³)	5,45	5,18	5,52	3,96	1,57	1,77

Satellite	Lune (Terre)	Io (Jupiter)	Europe (Jupiter)	Ganymède (Jupiter)	Callisto (Jupiter)	Titan (Saturne)	Triton (Neptune)
Diamètre (en km)	3 500	3 500	3 000	5 000	4 500	4 700	3 000
Densité (en g/cm ³)	3,33	3,4	3	2	1,6	1,8	2

Questions :

1. Représentez dans un graphique le diamètre des corps célestes des tableaux précédents en fonction de leur densité.

2. Que pensez-vous de la répartition des planètes et des satellites dans ce graphique ?

On rappelle les caractéristiques de Jupiter et de Saturne, à ne pas faire figurer sur le graphique :

Jupiter	Saturne
140 000 km	120 000 km
1,33 g/cm ³	0,71 g/cm ³

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b ; 2. c ; 3. Aucune bonne affirmation ; 4. a et c ; 5. c ; 6. b ; 7. a et b.

Appliquez la méthode

2 Déterminer des distances à une certaine échelle

1. Calcul de l'échelle

On applique la formule de l'échelle après avoir converti le diamètre solaire en cm :

$$1 \text{ km} = 10^5 \text{ cm}, \text{ d'où } 1\,400\,000 \text{ km} = 1\,400\,000 \cdot 10^5 \text{ cm} = 14 \cdot 10^{10} \text{ cm}.$$

$$\text{échelle} = \frac{\text{dimension représentée}}{\text{dimension réelle}} = \frac{10}{14 \cdot 10^{10}} = \frac{10^{-10}}{1,4}$$

2. Utilisation de l'échelle

On utilise l'échelle calculée pour la distance de Mercure :

$$\text{dimension réelle} \times \text{échelle} = \text{dimension représentée}$$

$$58 \cdot 10^6 \text{ km} = 58 \cdot 10^{11} \text{ cm}$$

$$58 \cdot 10^{11} \cdot \frac{10^{-10}}{1,4} = \frac{580}{1,4} \text{ cm} = 4,14 \text{ m}$$

Les distances pour toutes les 8 planètes figurent dans le tableau suivant :

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distances réelles en 10^6 km	58	108	150	228	778	1430	2870	4495
Distances représentées en m	4,14	7,71	10,71	16,27	55,57	102,14	205	321,07

Exercices d'entraînement

3 La température externe des planètes

La température externe d'une planète est celle qui règne à sa surface. Elle est déterminée par deux facteurs.

1. La distance au Soleil

L'énergie solaire reçue par les planètes décroît en fonction de la distance au Soleil. Plus précisément, elle diminue comme l'inverse du carré de la distance au Soleil. Jupiter, 5 fois plus éloignée du Soleil que la Terre, reçoit ainsi $5^2 = 25$ fois moins d'énergie solaire par unité de surface. C'est pour cette raison que les planètes les plus éloignées comme Uranus et Neptune ont les températures de surface moyennes les plus basses, plus basses que $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

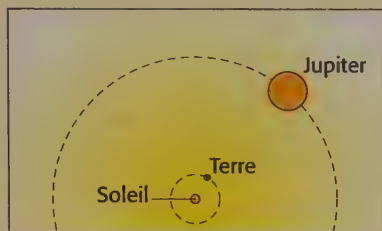


Figure 1. La décroissance de l'énergie solaire rayonnée.

2. L'effet de serre quand il existe

Vénus est la planète dont la température de surface est la plus élevée, or ce n'est pas la plus proche du Soleil. Elle possède une atmosphère très épaisse qui piège l'énergie solaire. L'énergie solaire entre dans l'atmosphère sous forme de rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges lointains. Réchauffée par ces rayonnements, la surface planétaire réémet uniquement des infrarouges proches qui traversent mal l'atmosphère et sont ainsi piégés. L'effet de serre sur Vénus augmente la température de plus de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sur Terre, l'effet est beaucoup plus faible ($+35\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Comme il y a deux facteurs, faites deux parties.

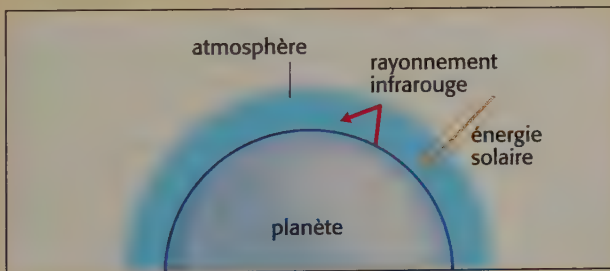


Figure 2. L'effet de serre.

4 Le refroidissement des planètes telluriques

1. Depuis la formation des planètes, leurs températures internes n'ont pas cessé de baisser. La baisse a été rapide jusqu'entre -4 et -3 milliards d'années, puis plus lente ensuite. Cette baisse lente se poursuit toujours.

La diminution de température ne s'est pas faite au même rythme pour chaque planète. Mercure a refroidi la plus vite.

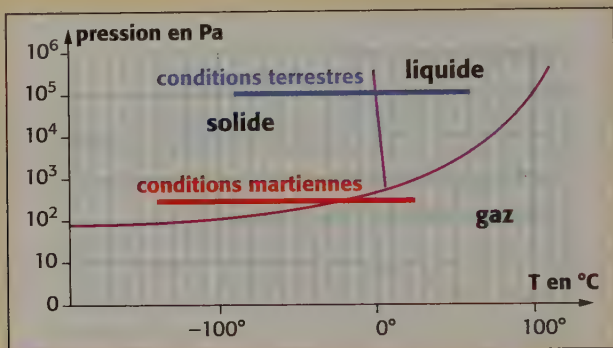
Repérez bien le changement de rythme de baisse de la température pour toutes les planètes.

Mars a refroidi plus lentement. La Terre et Vénus ont refroidi encore plus lentement et à la même vitesse.

2. Nous savons que la vitesse de refroidissement d'un corps chaud dépend de sa taille. Mercure est la plus petite des 4 planètes. Elle a donc refroidi plus vite que les 3 autres. La Terre et Vénus sont les plus grosses et ont sensiblement la même taille. Leur refroidissement se fait à la même vitesse et est le plus lent. Mars a une taille intermédiaire et un refroidissement intermédiaire.

5 La disparition de l'eau sur Mars

1.



2. Les conditions de pression et de température martiennes actuelles ne permettent pas la présence d'eau liquide. La présence de fleuves asséchés sur Mars semble indiquer que, par le passé, les conditions de pression et de température ont permis la présence d'eau liquide. Si on augmente la température à partir des conditions actuelles, on ne passe pas par le domaine de l'eau liquide. Pour atteindre ce domaine, il faut augmenter la pression. On aboutit ainsi à l'hypothèse que la pression martienne a été plus forte dans le passé de la planète Mars. La baisse de pression a solidifié ou vaporisé l'eau.

On pourrait représenter les conditions martiennes passées sur le graphique.

6 La pluie météoritique lunaire

1. La pluie météoritique lunaire était très intense, il y a 4 milliards d'années. Son intensité a diminué rapidement entre - 4 et - 3 milliards d'années. La pluie météoritique se poursuit ensuite mais avec une faible intensité et en baissant lentement.

2. Si on fait l'hypothèse que la Terre et la Lune ont toujours été associées dans le système solaire, on est obligé d'admettre que ces deux corps célestes ont reçu la même pluie

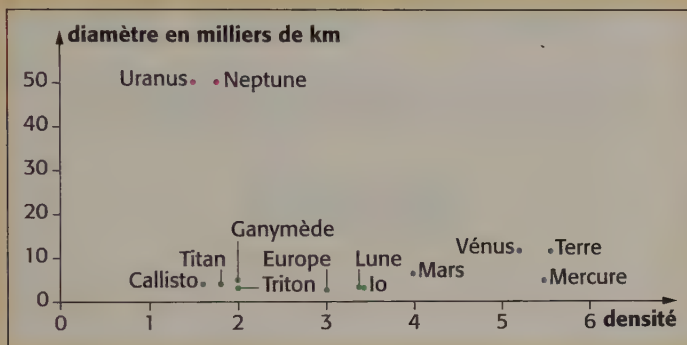
météoritique. La différence de nombre de cratères peut alors s'expliquer par l'érosion et la sédimentation terrestres, qui détruisent ou recouvrent les cratères.

Si on fait l'hypothèse que la Lune s'est associée tardivement (après – 3 milliards d'années) à la Terre, on pourrait imaginer que ses cratères sont dus à son histoire propre.

Attention à l'échelle de temps !
0 milliard d'année correspond à l'époque actuelle.

7 La densité des planètes et des satellites

1.



2. Les planètes telluriques, d'une part, et les planètes gazeuses, d'autre part, ont une répartition qui ne chevauche pas celle des satellites. Ils ne forment cependant pas des ensembles très groupés. Mars est assez éloignée des 3 autres planètes telluriques et si on imagine la représentation de Jupiter et de Saturne sur le graphique, on voit qu'elles se situent assez loin d'Uranus et de Neptune.

Certains satellites ont des densités qui se rapprochent de Mars, une planète tellurique. Ce sont Europe, la Lune et Io. D'autres ont une densité voisine de celles des planètes gazeuses. Ce sont Ganymède, Triton, Titan et Callisto.

Remarquez sur le graphique que Mars a une densité plus proche de la Lune que de celles des autres planètes telluriques.

La Terre et son environnement global

1 L'étude de la Terre par satellite

➔ Au début des années 1960, les premiers satellites d'observation sont envoyés. Ils prennent des photos et larguent leur pellicule depuis la haute atmosphère. Un avion est chargé de la récupérer avec un filet. Depuis, les progrès ont permis l'envoi des images satellitaires par radio.

1 Les deux grands types de satellites

- **Un satellite géostationnaire** est situé sur une orbite éloignée (36 000 km de la Terre) autour de l'équateur. Sa grande distance de la Terre lui permet de visualiser à chaque instant la presque totalité d'un demi-globe terrestre. Comme sa vitesse de rotation est la même que la Terre, il voit toujours la même face de notre planète. Par exemple, Météosat, satellite géostationnaire de météorologie, permet l'observation en continu de l'Europe et de l'Afrique. Un autre satellite géostationnaire permettra l'observation du continent américain, un autre observera l'Asie, etc. Les satellites géostationnaires ne permettent pas d'observer les détails. Ils conviennent au repérage d'objets de grande taille comme les nuages. Comme ces satellites sont sur une orbite équatoriale, les régions polaires ne sont pas observables.

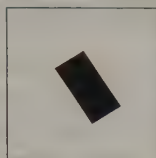
- **Un satellite à défilement** fait le tour de la Terre selon une orbite nord-sud passant par les pôles. Il repasse à intervalle régulier au même endroit. Proche de la Terre (850 km), il prend des images carrées de petites portions de notre planète. Pour avoir une image d'un pays, il faut en assembler de nombreuses images. Comme on possède plusieurs images du même endroit, on peut donc choisir pour chaque endroit les images où il fait beau et constituer une **mosaïque** parfaite. Les satellites à défilement sont utilisés pour observer les détails de notre planète. Les premiers satellites ne pouvaient voir que les bâtiments. Actuellement, des objets de la taille de quelques mètres peuvent être vus par les **satellites civils**. Les satellites militaires ont des performances bien supérieures.

2 La constitution des images satellitaires

- Une image satellite est faite de **pixels**. Un pixel est une zone carrée (1 m actuellement pour les satellites civils) à laquelle le capteur du satellite attribue une valeur unique de couleur. Plus les pixels sont petits, plus l'image est nette. Seuls les objets plus gros que les pixel sont vus (document 1).

Le capteur du satellite fonctionne comme celui d'un appareil photo numérique.

Ces représentations modélisent de façon simplifiée la façon dont la taille des pixels influe sur la précision de l'image satellitale. Le rectangle noir est un bâtiment de 20 m de long. Avec des pixels de 40 m de côté, il est indiscernable. Plus les pixels sont petits et plus sa forme apparaît avec précision.



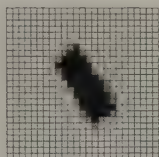
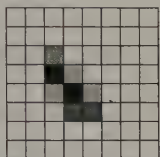
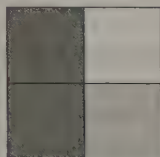
pixels de 40 m

20 m

10 m

50 m

1,5 m



Doc. 1. L'effet de la diminution de la taille des pixels.

3 L'utilisation des images satellites

- Les images satellites permettent d'observer la biosphère*, l'atmosphère, l'hydrosphère* et la lithosphère*.
- Les images en **couleurs naturelles** (longueurs d'ondes de la lumière visible, entre 4 et $8\ \mu\text{m}$) permettent d'observer les contours continentaux, les forêts, les fleuves, les villes, les nuages, l'étendue des glaces polaires, les zones enneigées, des cultures, etc. On ne peut observer les objets que s'ils sont nettement plus gros que les pixels.
- Les images utilisant les **rayons infrarouges thermiques** (de longueurs d'ondes comprises entre $10,5$ et $12,5\ \mu\text{m}$) permettent de mesurer la température des objets observés. On peut, par exemple, repérer les courants chauds dans l'océan.
- Certaines longueurs d'ondes de rayons infrarouges (longueurs d'onde comprises entre $5\ \mu\text{m}$ et $7,5\ \mu\text{m}$ et qualifiées de **canal vapeur d'eau**) sont très absorbées par la vapeur d'eau et sont utilisées pour repérer l'humidité de l'air. Leur sortie de l'atmosphère et leur enregistrement par le satellite indique que l'air est sec. Si le satellite ne capte rien, c'est que l'air est très humide.
- Les images utilisant les **ondes radar** permettent de voir à travers les nuages. Les ondes radar ont permis de faire de gros progrès dans l'étude de la planète Vénus, dont l'atmosphère est très épaisse et opaque. Comme les ondes radar sont arrêtées par la pluie, on peut repérer les zones où il pleut (c'est la carte des échos radar des bulletins météo).
- Il existe de multiples autres utilisations des satellites dans l'observation du globe. Il est possible depuis l'espace de suivre des concentrations de substances chimiques polluantes (SO_2 , ozone...), de mesurer la vitesse des vents, etc.

2 Les climats et saisons

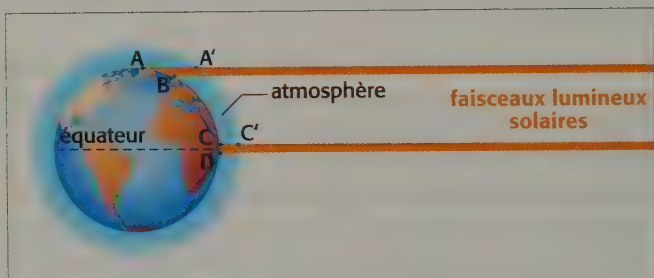
→ Un **climat*** est un ensemble de conditions atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe. Plus on s'éloigne de l'équateur, plus le climat est froid. Les saisons* correspondent aux variations des paramètres qui constituent le climat.

1 L'explication des différences climatiques sur la Terre

Les climats sont plus froids aux pôles qu'à l'équateur pour deux raisons.

→ La répartition de l'énergie lumineuse se fait sur une plus grande surface

Sur la figure suivante ont été tracés deux faisceaux lumineux issus du Soleil : l'un arrivant à la région polaire nord et l'autre à l'équateur. Le faisceau s'étale sur une plus grande surface au pôle qu'à l'équateur ($AB > CD$). L'énergie solaire se répartit donc sur une plus grande surface dans les régions polaires et il y fait plus froid.



Doc. 2. Le devenir de l'énergie solaire sur la Terre.

→ L'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons solaires est plus grande

- Les rayons supérieurs des faisceaux du document 2 ne traversent pas la même épaisseur d'atmosphère. Le rayon qui arrive aux régions polaires traverse l'épaisseur AA' plus longue que l'épaisseur CC'. Comme l'atmosphère absorbe d'autant plus l'énergie lumineuse que le trajet est long, l'énergie solaire est plus absorbée dans les régions polaires que dans les régions équatoriales. On comprend ainsi pourquoi il fait plus froid aux pôles.
- En conclusion, les différences climatiques sont dues à la **sphéricité** de la Terre qui fait varier en fonction de la latitude l'étalement de l'énergie solaire et l'épaisseur d'atmosphère traversée. Il en résulte une inégalité géographique de réception de l'énergie solaire.

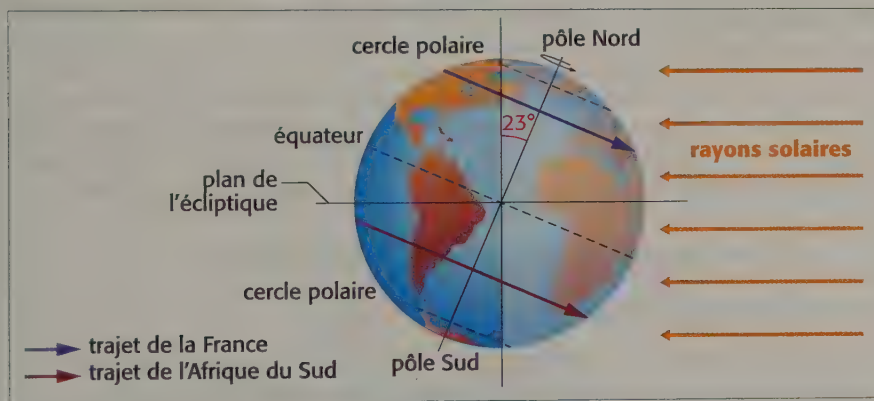
2 L'explication des variations saisonnières thermiques

Nous étudierons essentiellement les variations saisonnières de température et de longueur du jour dans les régions tempérées, en prenant l'exemple de la France.

→ Les conditions estivales dans l'hémisphère nord

- L'**axe de rotation** terrestre est incliné de 23° par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique (document 3). Il en résulte que les rayons solaires sont presque verticaux en été à la **latitude** de la France. De plus, lors de la rotation terrestre, notre pays est plus longtemps au Soleil qu'à l'ombre (document 3). Un jour long et un des rayons solaires presque verticaux expliquent l'été chaud en France.

Le plan de l'écliptique est le plan de révolution de la Terre autour du Soleil.



Doc. 3. Les conditions estivales (21 juin) dans l'hémisphère nord.

→ Les conditions hivernales dans l'hémisphère nord

- En hiver, c'est le contraire. Les rayons solaires sont très obliques et le jour est court (comme lors de notre été en Afrique du Sud sur le document 3).
- Si l'**axe de rotation terrestre** n'était pas incliné, les rayons solaires frapperaient notre pays avec toujours la même obliquité. Le jour et la nuit auraient la même longueur toute l'année. Il n'y aurait donc pas de saisons. Les variations saisonnières thermiques sont donc dues à l'**inclinaison de l'axe de rotation terrestre**.

3 Les mouvements atmosphériques

→ L'atmosphère est une enveloppe fluide, c'est-à-dire que des mouvements de matière rapides peuvent se produire en son sein. Ce sont les vents.

1 L'observation des mouvements atmosphériques

→ Les mouvements atmosphériques montrent une certaine organisation

- Un premier facteur de mouvements de l'air est la pression atmosphérique. Sur une carte météorologique, on peut observer que dans l'hémisphère nord, les vents s'éloignent des **centres de haute pression** en tournant dans le sens horaire (sens des aiguilles d'une montre) et se dirigent vers les **centres de basse pression** dans le sens antihoraire. Dans l'hémisphère sud, c'est le contraire.

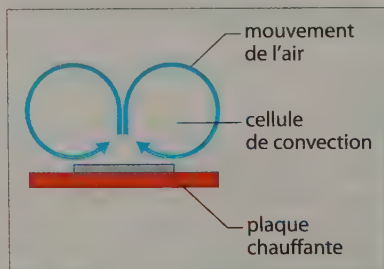
La rotation des vents est due à la déviation de Coriolis, elle-même due à la rotation terrestre.

- Un second facteur est constitué par les différences de température. Dans la zone inter-tropicale, les vents convergent vers une ligne nommée **Convergence InterTropicale (CIT)**, qui correspond à la ligne des points les plus chauds de la planète (équateur thermique). C'est aussi une zone de basse pression car la pression et la température sont liées.

2 Les causes des mouvements atmosphériques

→ Le rôle de la température sur les mouvements d'air

- Un objet très chaud comme une plaque chauffante produit une élévation de l'air au-dessus d'elle, ce qui peut être constaté avec de la fumée ou un ruban très fin.



- Ces mouvements sont dus au réchauffement de l'air. L'air chauffé devient moins dense que l'air environnant et s'élève. Il est remplacé par de l'air froid, ce qui génère des mouvements circulaires appelés cellules de convection*.

Doc. 4. L'effet d'un objet chaud sur les mouvements de l'air.

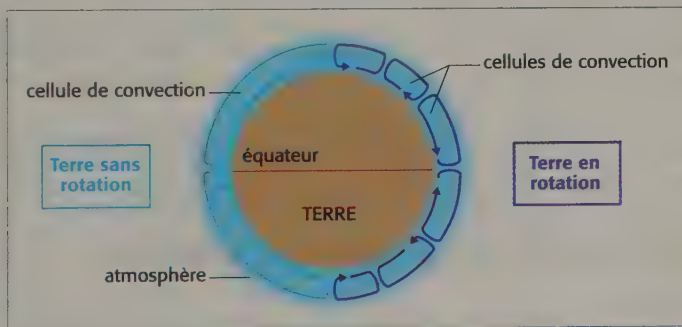
→ L'interaction de la pression et de la température

Les vents vont des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions et sont également produits par des différences thermiques. La pression et la température atmosphériques sont liées de façon complexe. Par exemple, la température influe sur la pression par les mouvements de l'air qu'elle produit. Les zones chaudes, où l'air s'élève, sont des zones de basses pressions au sol. Les zones froides, où l'air s'affaisse, sont des zones de hautes pressions.

→ Le mécanisme de la circulation planétaire

- Les régions équatoriales sont les plus chaudes de la planète pour les raisons vues précédemment. L'air y est donc moins dense et s'élève. Aux pôles, c'est l'inverse, l'air froid s'affaisse. Ces mouvements verticaux ont pour conséquence des différences de pression qui produisent des mouvements atmosphériques horizontaux. Si la Terre était immobile (doc. 5 gauche), ces mouvements formeraient de grandes cellules de convection s'étendant de l'équateur aux pôles, mais la rotation de la Terre fractionne ces cellules et on aboutit à la situation du document 5 droite.

La rotation terrestre ne crée pas les mouvements atmosphériques, mais les dévie (déviation de Coriolis*).



Doc. 5. Les cellules de convection atmosphériques en fonction de la rotation terrestre.

- Les **mouvements atmosphériques** trouvent leur origine dans les différences thermiques entre les régions équatoriales et polaires. Ils sont donc dus à l'inégalité géographique de réception de l'énergie solaire. Les mouvements atmosphériques consistent en des échanges d'air entre des régions de latitudes et de températures différentes. De l'air chaud équatorial se déplace en direction des régions polaires et tend à réchauffer ces régions. De l'air froid polaire rejoint les zones plus chaudes au sud et ont tendance à les refroidir. Sans ces mouvements, l'équateur serait donc plus chaud et les régions polaires plus froides. Les mouvements atmosphériques atténuent ainsi les écarts de température.

4 Les mouvements des masses océaniques

→ Comme l'atmosphère, l'**hydrosphère**, ensemble des milieux aquatiques de la planète, est une enveloppe fluide. Les masses océaniques représentent la majeure partie de l'hydrosphère (97 %). Les mouvements y sont appelés **courants marins**.

1 L'observation des courants marins

- Les **courants de surface** sont bien connus des marins car ils leur permettent des gains de vitesse importants lors des traversées océaniques. Leur connaissance peut aussi permettre de prévoir les déplacements de pollutions.

- En carte, les courants de surface dessinent des mouvements circulaires dans les différents océans. Dans l'Atlantique Nord, par exemple, le mouvement général est horaire.

Les courants longent l'équateur vers l'ouest, remontent vers le nord à l'ouest et redescendent vers le sud à l'est de l'Atlantique. Dans l'hémisphère sud, le mouvement général est antihoraire.

- Les **courants profonds** sont plus difficiles à mettre en évidence. Ils sont plus lents que les courants de surface (de l'ordre de quelques mètres par heure contre plusieurs km/h pour les courants de surface).

- Les vitesses des courants sont plus faibles que celles des vents et dispersent moins rapidement les polluants.

La surface des zones océaniques où les courants convergent est légèrement plus élevée. C'est l'inverse pour les zones de divergence.

2 Les causes des mouvements hydrosphériques

→ Le rôle des vents

- Les vents sont la cause principale des courants marins de surface.

- Lorsqu'on compare une carte des vents et une carte des courants marins, on constate que les courants et les vents ont des directions parallèles, mis à part que les courants ne peuvent franchir la limite océan-continent. Les déplacements de l'atmosphère et de l'hydrosphère sont en effet liés.

- Il est facile de faire avancer du colorant placé en surface de l'eau en soufflant sur l'eau. De la même façon, les vents, lorsqu'ils soufflent longtemps dans la même direction, produisent des courants superficiels. Les vents sont beaucoup rapides (jusqu'à 200 km/h) que les courants (quelques km/h).

→ Le rôle des différences de température

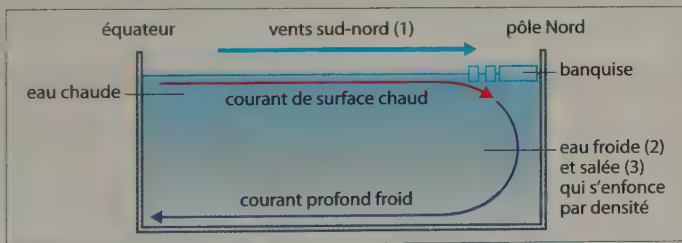
- Les différences de température sont surtout responsables des courants profonds.
- Comme l'atmosphère, l'eau est un fluide qui devient moins dense lorsqu'il est chauffé. Mais la source de chaleur qu'est le Soleil ne peut réchauffer l'eau qu'en surface et cette eau ne peut s'élever. C'est en réalité le froid des régions polaires qui initie les **mouvements océaniques**.

Comme les vents, les courants marins sont déviés par le mouvement de rotation de la Terre.

- Dans les régions polaires, l'eau devient plus froide, donc plus dense, et s'enfonce en profondeur (document 6). Cet enfoncement génère un courant chaud de surface et un courant froid de profondeur.

→ Le rôle des différences de salinité

- Comme pour les différences de température, les **différences de salinité** interviennent dans la formation des courants profonds, et ceci également dans les régions polaires.
- La glace qui se forme à partir de l'eau de mer dans les régions polaires ne contient pas autant de sel que l'eau de mer. L'eau résiduelle est donc plus riche en sel et est ainsi plus dense. Elle a tendance à s'enfoncer.
- Le document 6 résume les **trois causes des courants marins** dans l'Atlantique Nord.



Doc. 6. Les trois causes des courants marins.

- Les courants marins trouvent leur origine dans les différences thermiques de manière directe (enfoncement de l'eau froide) ou indirecte (prise en glace de l'eau de mer ou vents). Ils résultent donc aussi de l'inégalité géographique de réception de l'énergie solaire.
- Comme les mouvements atmosphériques, les mouvements hydrosphériques consistent en des échanges de fluides entre les régions de latitudes et de températures différentes. De l'eau chaude équatoriale se déplace (en surface) en direction des régions polaires et de l'eau froide polaire rejoint l'équateur (en profondeur). Sans les mouvements de l'atmosphère et de l'hydrosphère, l'équateur serait plus chaud et les régions polaires plus froides. Les mouvements des enveloppes fluides terrestres atténuent ainsi les écarts de température.

Méthode

Analyser un graphique

À SAVOIR : Qu'est-ce qu'un graphique ?

Un graphique est une représentation de résultats chiffrés, issus d'observations ou d'expériences. Il existe de très nombreuses sortes de graphiques (courbe, histogramme, graphique par secteur...) plus ou moins complexes à analyser.

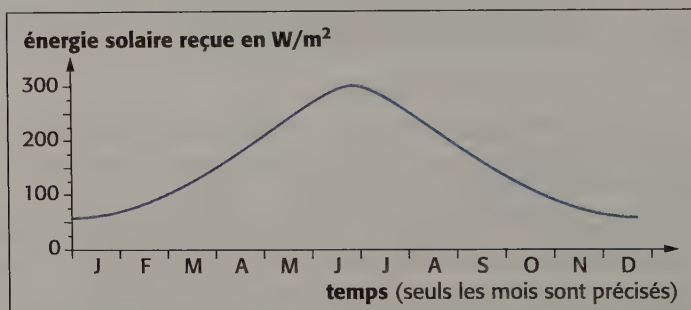
Dans le cas où le graphique est une courbe, c'est la représentation d'un paramètre mesuré en fonction d'un autre, choisi (ou fixé) par l'observateur ou l'expérimentateur. Le paramètre fixé (ou variable) est souvent le temps.

Le paramètre fixé est porté sur l'axe des abscisses (l'axe des x en mathématiques) et le paramètre mesuré est porté sur l'axe des ordonnées (l'axe des y). Lorsqu'en mathématiques, on écrit $y = f(x)$, on dit que y est une fonction de x . De la même manière, en sciences expérimentales, on dit que le paramètre mesuré est fonction du paramètre fixé. Par exemple, le graphique ci-dessous représente l'énergie solaire reçue en fonction du temps au cours de l'année.

Remarque importante : L'analyse d'un graphique est rarement demandée isolément. Elle fait en général partie d'un exercice plus long.

Sujet exemple

Question : Décrivez les variations de l'énergie solaire reçue en fonction du temps à 50° de latitude nord.



Doc. Variation de l'énergie solaire moyenne reçue au sol, par jour, au cours d'une année à la latitude de 50° (latitude d'Amiens, dans le nord de la France).

Étape 1 : Comprendre le graphique

- Lire et comprendre le titre du graphique ou la phrase qui le présente.
- Identifier les paramètres fixé et mesuré, et leurs unités.
- Essayer de comprendre comment les données ont été obtenues.

• Dans notre exemple, le titre est explicite mais un peu long. Il n'est pas anormal d'avoir à le lire cinq fois, dix fois, lentement, pour le comprendre. On a mesuré au cours d'une année l'énergie solaire reçue par jour. On nous indique aussi que l'on a fait une moyenne (sur plusieurs années).

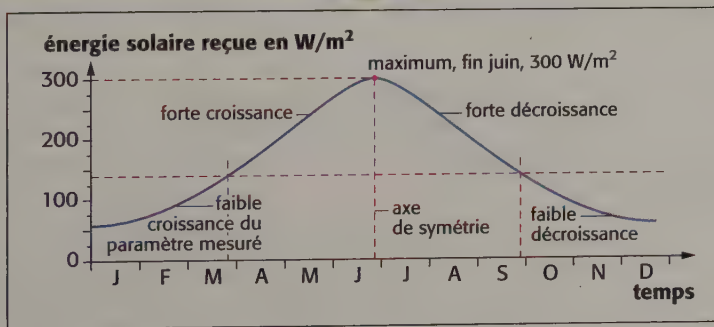
• Le **paramètre fixé** par l'observateur est le temps, au cours d'une année. On voit facilement qu'au cours des premiers mois de l'année, l'énergie solaire reçue augmente, ce qui est *a priori* en accord avec les connaissances.

Le **paramètre mesuré** est l'énergie solaire. L'unité d'énergie solaire est le Watt/m². Ce n'est peut-être pas une unité très familière, mais on voit qu'elle mesure une énergie reçue par m², c'est-à-dire par unité de surface.

• Une valeur d'énergie solaire reçue a été mesurée chaque jour. On en déduit que les 365 points de mesure ont été reportés sur le graphique.

Étape 2 : Analyser les données du graphique

- Identifier les points importants de la courbe (minimum, maximum, points de variation de la pente). Si l'évolution du paramètre mesuré est croissante puis devient décroissante, on a affaire à un maximum. Dans le cas contraire, c'est un minimum.
- Découper la courbe en secteurs, situés entre les points importants.
- Repérer les particularités de la courbe (symétrie, périodicité).
- Comparer les courbes s'il y en a plusieurs sur le graphique.



Les variations d'énergie solaire reçue sont symétriques par rapport à la fin juin.

Étape 3 : Faire une présentation ordonnée de l'analyse

- **Présenter les variations du paramètre mesuré** secteur par secteur.
- **Citer des valeurs** (coordonnées des minimum et maximum, valeurs extrêmes des différents secteurs...). Ce sont souvent des valeurs approximatives, dites « environ »).
- **Utiliser un vocabulaire adapté.** Par exemple, ne dites pas « la courbe monte ». C'est le paramètre qui augmente. Nommez les paramètres : dites « l'énergie solaire reçue augmente lorsqu'on passe de... »

De janvier à fin mars, la quantité d'énergie reçue au sol est faible (moins de 150 W/m^2 environ). Elle est légèrement croissante (elle passe de 50 à 150 W/m^2).

D'avril à fin juin, la quantité d'énergie reçue au sol croît fortement et passe de 150 W/m^2 à 300 W/m^2 . Elle atteint un maximum fin juin.

De juillet à décembre, la quantité d'énergie reçue au sol décroît d'abord rapidement jusqu'en septembre, puis plus lentement. Les variations d'énergie solaire reçue sont symétriques par rapport à la fin juin.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

➔ corrigé p. 45

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Un satellite à défilement :

- ☐ a. défile autour de la Terre sur une orbite équatoriale ;
- ☐ b. est situé à environ 800 km de la Terre ;
- ☐ c. est toujours situé au-dessus de la même zone terrestre.

2. Une image satellite est formée :

- ☐ a. d'un seul pixel ;
- ☐ b. de pixels de la même couleur ;
- ☐ c. d'un nombre de pixels qui augmente avec les progrès techniques.

3. Dans les régions polaires, l'énergie solaire :

- ☐ a. est concentrée sur une plus petite surface qu'à l'équateur ;
- ☐ b. traverse une plus grande épaisseur d'atmosphère qu'à l'équateur ;
- ☐ c. est moins absorbée par l'atmosphère.

4. Les saisons sont dues :

- ☐ a. à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre ;
- ☐ b. à la sphéricité de la Terre ;
- ☐ c. à la rotation de la Terre sur elle-même.

5. Les différences de température sont responsables de mouvements d'air car :

- ☐ a. l'air chaud est moins dense que l'air froid et s'élève ;
- ☐ b. l'air froid est plus dense que l'air chaud et se déplace en direction du sol ;
- ☐ c. l'air se déplace des zones chaudes aux zones froides.

6. Les mouvements atmosphériques :

- ☐ a. contribuent à augmenter les différences de température ;
- ☐ b. sont dus à l'inégale répartition de l'énergie solaire sur la Terre ;
- ☐ c. peuvent être dus aux différences de pression atmosphérique.

7. Les courants marins :

- ☐ a. ne se produisent qu'en surface des océans ;
- ☐ b. sont moins rapides en surface qu'en profondeur ;
- ☐ c. sont dus aux eaux chaudes équatoriales qui s'enfoncent en profondeur.

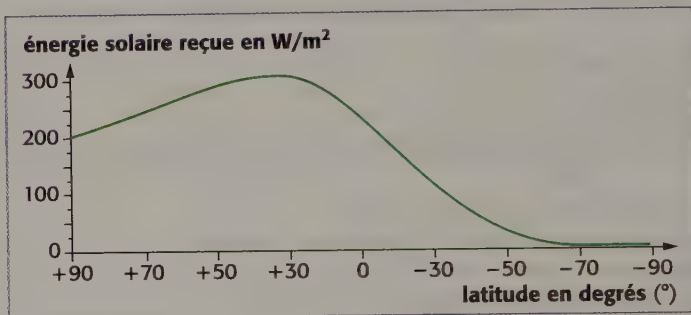
Appliquez la méthode

2 Décrire les variations d'un phénomène représenté par une courbe

➔ corrigé p. 45

Question :

Décrivez les variations de l'énergie solaire reçue au sol en fonction de la latitude le 21 juin.



Énergie solaire moyenne reçue au sol en fonction de la latitude le 21 juin.

La position sur le globe entre le pôle Nord et le pôle Sud se mesure en degrés de latitude. Le pôle Nord est situé à + 90° (90° de latitude nord) et le pôle Sud à - 90°.

Autres applications de cette méthode

- La planète Terre et son environnement p. 20, 22, 62, 63
- L'organisme en fonctionnement p. 90, 129
- Cellule, ADN et unité du vivant p. 158

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances.

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 46

★★ Les causes des mouvements de l'hydrosphère

Question :

Exposez, en une page et demie maximum (schémas compris), les causes des mouvements de l'hydrosphère.

Votre exposé comprendra un plan apparent et au moins un schéma.

4 Exploitation de documents

★ Les mouvements de l'air dans une pièce

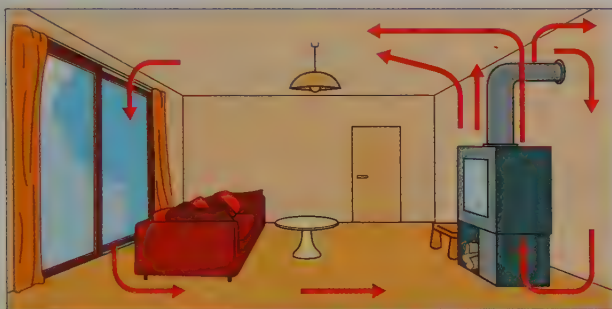
➔ méthode p. 198

➔ corrigé p. 47

La figure suivante indique la circulation de l'air dans une pièce.

Questions :

1. Décrivez cette circulation en utilisant certains mots ou expression du cours.
2. Quel semble être le moteur de cette circulation ? Justifiez votre réponse.



La circulation de l'air dans une pièce.

5 Exploitation de documents

★ Une observation de la Terre par satellite

➔ corrigé p. 47

Le document ci-contre présente une image satellite de la Terre. L'heure indiquée est l'heure universelle. Il est donc 20 heures en France.

Questions :

1. Avec quelle sorte de satellite a-t-on réalisé cette image ? Justifiez votre réponse en envisageant les deux types de satellites que vous connaissez.
2. En utilisant la date et l'heure indiquées, identifiez la position de la France, identifiez le continent partiellement visible sur l'image et le sens de rotation de la Terre. Indiquez ces trois éléments sur la photo. Justifiez par écrit vos identifications.



6 Exploitation de documents

→ méthode p. 198 → corrigé p. 48

★ La répartition des icebergs

Les cartes indiquent la répartition des icebergs et des courants dans l'Atlantique Nord.



Questions :

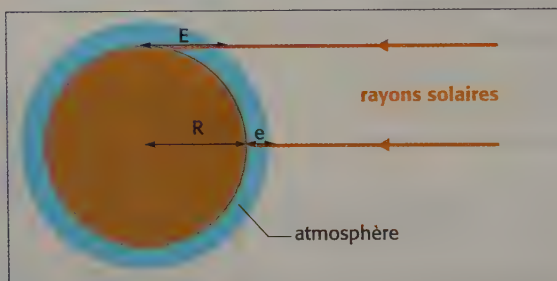
1. Décrivez la répartition des icebergs.
2. Expliquez cette répartition à l'aide de vos connaissances et de la carte des courants.

7 Exploitation de documents

→ corrigé p. 48

★★ L'épaisseur d'atmosphère traversée aux pôles

On considère que la Terre a un rayon R de 6300 km et que l'atmosphère a une épaisseur constante de 100 km. La Terre étant très éloignée du Soleil, on admet que les rayons solaires sont parallèles entre eux. L'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons solaires à l'équateur est donc de 100 km. On cherche à calculer sa valeur aux pôles.



On connaît R et e . On veut connaître E .

Questions :

1. Tracez un triangle rectangle utile à la mesure de la longueur E .
2. Exprimez E en fonction de R et e sans utiliser les valeurs numériques.
3. Utilisez les valeurs de R et e pour calculer la valeur de E .

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b; 2. c; 3. b; 4. a; 5. a et b; 6. b et c; 7. Aucune bonne affirmation.

Appliquez la méthode

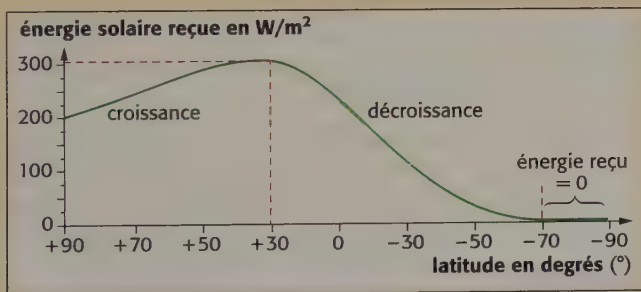
2 Décrire les variations d'un phénomène représenté par une courbe

● Étape 1: Comprendre le graphique

On a mesuré cette fois-ci les variations de l'énergie solaire reçue lors d'une journée, le 21 juin, en fonction de la latitude, c'est-à-dire d'un pôle à l'autre. L'énergie est mesurée en W/m^2 . Le pôle Nord se trouve à l'extrême gauche de l'axe des abscisses et le pôle Sud à l'extrême droite. 0° correspond à l'équateur.

● Étape 2: Analyser les données du graphique

L'énergie solaire reçue passe par un maximum ($+30^\circ$, 300 W/m^2). La quantité d'énergie reçue augmente de $+90^\circ$ à $+30^\circ$ de latitude et diminue de $+30^\circ$ à -70° de latitude. L'évolution du paramètre mesuré n'est pas symétrique. L'énergie reçue est nulle entre -70° et -90° .



● Étape 3: Faire une présentation ordonnée de l'analyse

Le 21 juin, il n'arrive aucune énergie solaire aux régions situées entre -70° et -90° de latitude sud. L'énergie solaire reçue augmente de 0 à 300 W/m^2 lorsqu'on passe de -70° à $+30^\circ$ de latitude. Elle diminue de 300 à 200 W/m^2 entre $+30^\circ$ et $+90^\circ$ de latitude sud. L'énergie solaire reçue passe par un maximum (300 W/m^2) vers $+30^\circ$.

En conclusion, on constate que l'hémisphère nord reçoit plus d'énergie solaire que l'hémisphère sud.

Exercices d'entraînement

3 Les causes des mouvements de l'hydrosphère

Introduction

Les mouvements de l'hydrosphère, ou courants marins, sont causés par trois facteurs : les vents, les différences de températures et de salinité de l'eau.

1. Le rôle des vents

Lorsqu'on compare une carte des vents et une carte des courants marins, on constate que les courants de surface et les vents ont des directions parallèles. Les déplacements de l'atmosphère et de l'hydrosphère sont liés.

Il est facile de faire avancer du colorant placé en surface de l'eau en soufflant sur l'eau. De la même façon, les vents sont responsables des courants. C'est ce qui explique le parallélisme.

Si vous ne faites qu'un schéma, faites-en un qui inclut les trois causes.

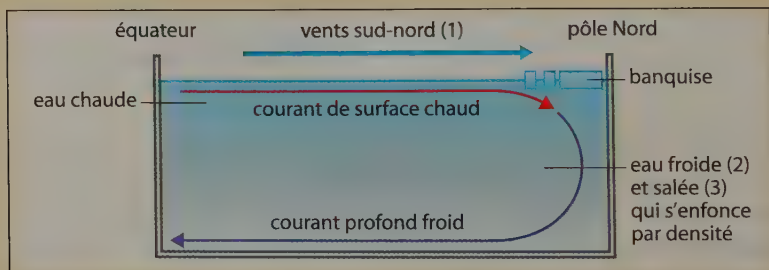
2. Le rôle des différences de température de l'eau

Comme tous les fluides, l'eau devient moins dense lorsqu'elle est chauffée et plus dense lorsqu'elle est refroidie. C'est le froid des pôles qui initie les mouvements océaniques. Les glaces polaires refroidissent l'eau qui s'enfonce. Cela génère des courants marins froids de profondeur et des courants de surface venant de zones plus chaudes du globe.

3. Le rôle des différences de salinité de l'eau

La glace qui se forme à partir de l'eau de mer dans les régions polaires ne contient pas autant de sel que l'eau de mer. L'eau résiduelle est donc plus riche en sel et est ainsi plus dense. Elle a tendance à s'enfoncer et générer des courants.

Cet enfoncement de l'eau à cause du sel s'ajoute à l'enfoncement dû à la température décrit au paragraphe 2.



Les trois causes des courants marins.

Conclusion

Les courants marins sont dus à trois facteurs principaux : les vents, les différences de salinité des eaux et les différences de température des eaux marines. Ces facteurs sont très différents et sans relations évidentes. Pourtant, les vents et les différences de salinité sont des conséquences des différences de température. Les trois facteurs des courants marins sont liés directement ou indirectement à l'inégale répartition de l'énergie solaire sur le globe.

4 Les mouvements de l'air dans une pièce

1. L'air monte au niveau du poêle (fourneau, réchaud...) diverge au plafond, redescend le long des murs et revient vers le fourneau. On reconnaît deux cellules de convections.

2. Le moteur de cette circulation semble être le poêle. À son contact, l'air se réchauffe et devient ainsi moins dense. Il s'élève, change de direction devant l'obstacle que constitue le plafond, puis redescend le long des murs. Le refroidissement de l'air le long de ces murs accentue encore le mouvement. Ainsi se mettent en place deux cellules de convection.

Tracez les mouvements de l'air sur la figure pour vous aider dans votre réponse.

5 Une observation de la Terre par satellite

1. L'image prise par le satellite contient la Terre dans son ensemble. Le satellite est suffisamment éloigné pour prendre un cliché de la terre entière. Il fait donc partie des satellites géostationnaires, situés à 36 000 km de la Terre. Un satellite défilant, beaucoup plus proche, mettrait plusieurs semaines, voire plusieurs mois à photographier l'ensemble de la planète, et ne pourrait pas produire une image satellite de l'ensemble de la Terre à une heure précise.

2. Le continent visible sur l'image satellite semble être l'Afrique. Dans ce cas, la France serait située au nord de ce continent. Le 21 juin, à 20 heures, en France, le Soleil n'est en effet pas encore couché, mais cela va bientôt se produire. Cela permet de trouver le sens de rotation de la Terre. Celui est figuré de telle manière que la France et l'ouest de l'Afrique soient sur le point d'entrer dans l'ombre de la Terre.

La France n'est pas visible. Sa position est déduite grâce à d'autres données (heure, position de l'Afrique).

France
continent africain



6 La répartition des icebergs

1. Les icebergs sont situés globalement au nord-ouest de l'Atlantique Nord. Ils descendent beaucoup plus à l'ouest de l'Atlantique qu'à l'est de cet océan, où ils sont plus au nord.

2. La carte des courants indique des courants qui se dirigent vers le nord et d'autres vers le sud. D'après les connaissances, les premiers sont chauds et les seconds sont froids. Il y a donc deux raisons à la répartition des icebergs au nord-ouest de l'Atlantique :

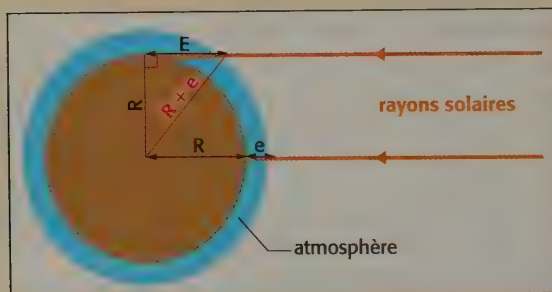
– le mouvement de l'eau qui entraîne les icebergs vers le sud à l'ouest et vers le nord à l'est ;

– la température de l'eau qui préserve les icebergs à l'ouest (courant froid du Labrador) et les fait fondre à l'est (courant chaud D.N.A.).

Un courant venant du sud est un courant chaud.

7 L'épaisseur d'atmosphère traversée aux pôles

1. le pôle est à la verticale du centre de la Terre, ce qui détermine un angle droit entre les points C, centre de la Terre, P, pôle et A, point d'entrée du rayon dans l'atmosphère.



2. Une fois le triangle tracé, on utilise le théorème de Pythagore, étudié en mathématiques.

$$(R + e)^2 = R^2 + E^2, \text{ d'où } E = \sqrt{2Re + e^2}$$

3. En remplaçant R par 6 300 km et e par 100 km, on trouve $E = 1\,126,94$ km, c'est-à-dire plus de 11 fois plus que l'épaisseur à traverser à l'équateur.

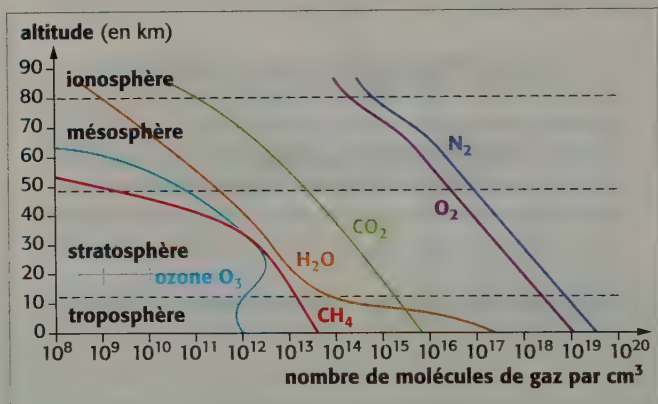
**L'évolution
de l'atmosphère
et ses relations
avec les autres
enveloppes
terrestres**

1 L'atmosphère actuelle

➔ L'atmosphère est l'enveloppe de gaz qui entoure notre planète. Sa composition est constante jusqu'à 80 km mais la baisse de pression rend les molécules plus rares. Il est ainsi difficile de définir sa limite supérieure.

1 La composition de l'atmosphère

- L'air dans lequel nous vivons est composé (hors vapeur d'eau, c'est-à-dire pour l'air sec) de 78 % de diazote (N_2), 21 % de dioxygène (O_2) et 1 % de gaz variés dont le CO_2 , l'ozone (O_3) et le méthane (CH_4). Cette composition est constante jusqu'à 80 km d'altitude.
- Le document 1 indique la composition atmosphérique jusqu'à 80 km d'altitude. La graduation des abscisses en puissances de 10 (échelle logarithmique) est nécessaire pour représenter des valeurs très différentes. Il y a, par exemple, environ 1 000 fois plus de O_2 que de CO_2 ($10^{19} / 10^{16} = 10^3$) et 10 000 fois plus de CO_2 que d'ozone ($10^{16} / 10^{12}$).



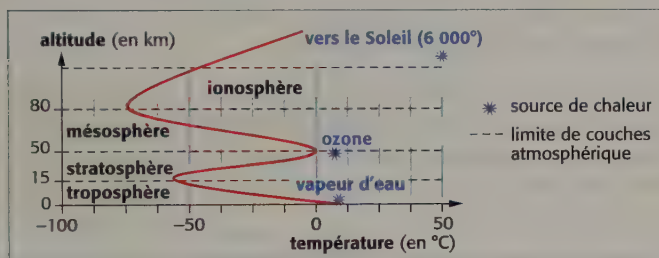
Doc. 1. La composition de l'atmosphère.

- Le parallélisme des courbes pour N_2 , O_2 et CO_2 indique la constance de composition. L'obliquité de ces trois courbes traduit la baisse de pression en altitude. Les molécules sont en effet de plus en plus rares.
- La vapeur d'eau (H_2O) a une concentration variable (selon l'humidité). Elle est surtout importante dans les premiers kilomètres d'altitude. L'ozone a une concentration très faible et présente un maximum vers 25 km d'altitude (document 1), appelé couche d'ozone. Il y a environ trois fois plus d'ozone dans la couche d'ozone qu'au sol.

2 La structure thermique de l'atmosphère

- Lorsqu'on s'éloigne de la Terre en se rapprochant du Soleil, la température devrait augmenter progressivement. Ce n'est pas le cas. On observe plusieurs oscillations (document 2), comme s'il y avait plusieurs sources de chaleur dans l'atmosphère. En réalité, l'ozone, la vapeur d'eau et la surface de la Terre absorbent plus d'énergie solaire que le reste de l'atmosphère. Ils deviennent donc plus chauds et se comportent comme des sources de chaleur. Ces deux sources de chaleur dépendent cependant de la chaleur solaire.

L'ozone est responsable de l'augmentation de température dans la stratosphère.



Doc. 2. La structure thermique de l'atmosphère.

- Les limites des couches de l'atmosphère ont été définies aux endroits où la température voit sa variation s'inverser. C'est donc la vapeur d'eau au sol et l'ozone en altitude qui structurent verticalement l'atmosphère.

3 Les gaz à effet de serre

- Le rayonnement solaire est composé d'ultraviolets, de rayonnement visible et d'infrarouges à courtes longueurs d'ondes, avec un maximum énergétique dans le visible. Ce rayonnement atteint la Terre. Celle-ci, réchauffée émet un rayonnement, entièrement situé dans l'infrarouge à plus grande longueur d'onde que l'atmosphère absorbe fortement. Le rayonnement terrestre sort ainsi difficilement de l'atmosphère. L'énergie s'accumule et la température augmente. C'est l'**effet de serre**.
- Les gaz qui absorbent le rayonnement terrestre sont essentiellement la vapeur d'eau (H_2O_v), CO_2 , O_3 et CH_4 . Ce sont les **gaz à effet de serre**.
- Le dioxyde de carbone est essentiellement produit par les combustions* dues à l'Homme. Le méthane provient des activités humaines (industries, dégagement gazeux des ruminants) et des fermentations* dans les zones humides.

2 Les échanges entre l'atmosphère et les autres enveloppes externes

→ L'atmosphère terrestre n'a pas toujours eu la composition actuelle. L'atmosphère primitive contenait 95 % de dioxyde de carbone, contre 0,03 % actuellement, et était dépourvue d'oxygène. Ce sont les interactions avec les autres enveloppes terrestres (biosphère, hydrosphère et lithosphère) qui ont permis cette évolution. On dit que les enveloppes externes terrestres sont couplées.

1 L'importance de la biosphère

La biosphère correspond aux êtres vivants et aux milieux qu'ils ont colonisés.

- Les êtres vivants pratiquent des échanges avec les autres enveloppes externes de la Terre, essentiellement avec l'atmosphère. Les principaux phénomènes biologiques sont la photosynthèse, la respiration et la fermentation.

- La **photosynthèse*** est une synthèse de matière organique à partir de dioxyde de carbone, d'eau et d'énergie lumineuse. Elle est pratiquée par les végétaux grâce aux pigments photosynthétiques qu'ils possèdent et dont le plus important est la chlorophylle*. La matière organique produite, par exemple le glucose, est utilisée par les végétaux. Le dioxygène produit est rejeté par les végétaux.

Réaction de photosynthèse: $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie lumineuse} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$
(glucose)

- La **respiration*** est une oxydation de matière organique par le dioxygène, qui produit du dioxyde de carbone, de l'eau et de l'énergie chimique. Elle est pratiquée par tous les êtres vivants (sauf ceux qui pratiquent exclusivement la fermentation), même les végétaux.

Réaction de respiration: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie chimique}$

- La **fermentation** est aussi une extraction d'énergie chimique, mais qui se fait souvent sans apport de dioxygène. Il existe plusieurs types de fermentations.

Réaction de fermentation (exemple de la fermentation alcoolique):

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2 + \text{énergie chimique}$
(alcool éthylique)

- La photosynthèse constitue une entrée de carbone dans la biosphère. La respiration et la fermentation constituent une sortie de carbone de la biosphère.

2 L'évolution de l'atmosphère depuis 4,5 milliards d'années

• Les deux phénomènes majeurs de l'évolution de l'atmosphère terrestre depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années (Ga pour Giga-ans) sont la forte baisse du CO_2 et l'apparition de O_2 .

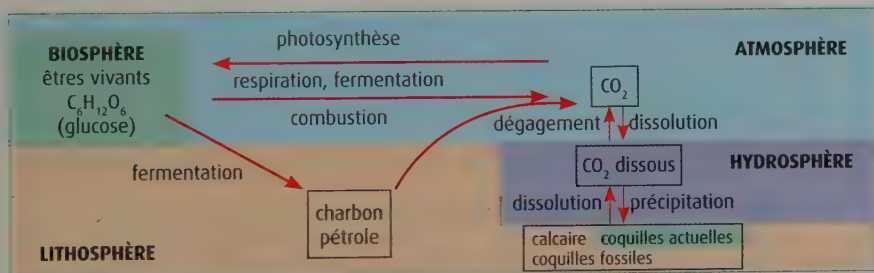
• La baisse de la concentration de CO_2 est surtout due à l'hydrosphère. Son apparition il y a plus de 4 Ga a entraîné la précipitation de calcaires (CaCO_3) dans les océans et a appauvri l'atmosphère en CO_2 .

• L'apparition du dioxygène est due à la photosynthèse. La teneur actuelle en O_2 a été atteinte il y a 400 millions d'années (Ma), entraînant l'apparition d'une couche d'ozone (O_3). La colonisation des continents par les êtres vivants a alors commencé.

Les premiers êtres vivants photosynthétiques sont apparus il y a plus de 3,5 Ga.

3 Les cycles biogéochimiques

• Dans l'ensemble des enveloppes externes terrestres, il existe une circulation cyclique des atomes. La circulation des atomes de carbone est appelée **cycle du carbone*** (document 3).



Doc. 3. Le cycle du carbone montrant les principaux transferts entre réservoirs.

• La lithosphère (10 millions de gigatonnes (Gt) de carbone), la biosphère (2000 Gt), l'atmosphère (750 Gt) et l'hydrosphère (39 000 Gt) sont les principaux réservoirs de carbone.

• Le stockage de matière organique carbonée comme le charbon et le pétrole correspond à de la matière organique qui n'a pas été entièrement décomposée. Le carbonate de calcium, accumulé dans les coquilles et roches calcaires, est un stockage de carbone sous forme minérale.

La lithosphère est le réservoir qui contient le plus de carbone.

• Les cycles de l'oxygène et de l'eau peuvent également être représentés.

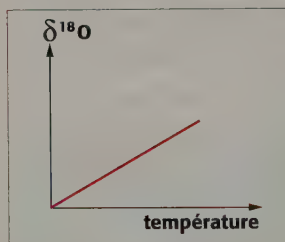
3 L'étude du passé récent de l'atmosphère

➔ On pense que l'Homme est en train de modifier l'atmosphère par ses activités. Pour vérifier cette affirmation et étudier quelles seraient les conséquences de ces modifications, il est nécessaire de connaître les variations récentes de l'atmosphère.

1 L'étude du passé avec les glaces polaires

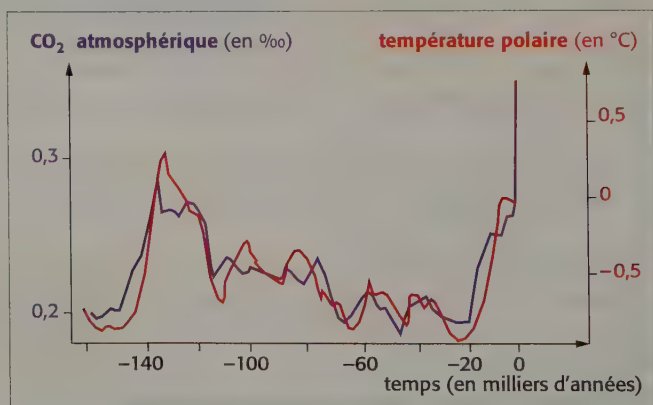
- Dans les calottes glaciaires polaires, on peut forer pour récupérer des glaces de plus en plus profondes et de plus en plus anciennes. L'analyse de la composition en oxygène 16 et en oxygène 18 (deux **isotopes*** de l'oxygène) permet de déterminer le $\delta^{18}\text{O}$, rapport complexe entre ces deux isotopes. Or le $\delta^{18}\text{O}$ dépend de la température de la neige qui formera ensuite la glace (document 4). On peut donc connaître les températures passées en mesurant ce rapport.

Plus $\delta^{18}\text{O}$ est élevé, plus la température passée l'était aussi.



- L'analyse des bulles de gaz permet de connaître la composition ancienne de l'atmosphère (par exemple, la teneur en CO_2). On peut ainsi comparer les températures et les compositions en CO_2 passées de l'atmosphère (document 5) et constater un lien entre les variations de la concentration en CO_2 et celles de la température. Cela confirme le rôle de gaz à effet de serre du CO_2 .

Doc. 4. Les variations de $\delta^{18}\text{O}$ de la glace en fonction de la température de formation.



Doc. 5. Comparaison de deux paramètres passés de l'atmosphère.

2 Les autres techniques d'étude du passé de l'atmosphère

→ Analyse des isotopes de l'oxygène dans les coquilles

Les glaces polaires ne font que 3 à 4 km d'épaisseur, ce qui correspond à environ 250 000 ans. Pour connaître le passé de l'atmosphère pour des âges plus anciens, on peut analyser les isotopes de l'oxygène dans le carbonate de calcium des coquilles.

→ Étude des pollens

• Lorsqu'on fore dans des sédiments ou dans de la boue au fond d'un lac, on peut retrouver des couches de boue de plus en plus anciennes. Ces couches contiennent des grains de pollen*, en fonction des arbres qui vivaient à telle ou telle époque. Comme les pollens sont différents pour chaque végétal (forme, ornementation) et que les végétaux ont des préférences climatiques particulières (document 6), on peut avoir une idée des climats passés et déterminer les périodes froides et chaudes.

Espèces	Exigences climatiques
Epicéa commun (<i>Picea excelsa</i>)	- très résistant au froid - une humidité élevée - de la lumière - température moyenne de 5 °C à 8 °C
Chêne pédonculé, sessile (<i>Quercus sp.</i>)	- exige de la lumière - préfère les sols riches - température moyenne de 10 °C à 15 °C
Herbes	- supportent les grands froids - température moyenne de moins de 3 °C

Doc. 6. Quelques exemples de préférences climatiques de végétaux.

• Les variations climatiques déterminées avec les pollens sont en accord avec celles trouvées grâce aux isotopes d'oxygène. Cela permet de valider les deux méthodes et de confirmer les résultats.

3 Les variations climatiques passées

• L'analyse des variations de températures et de climats des 700 000 dernières années montre des alternances assez régulières de périodes glaciaires et interglaciaires. Cette régularité pourrait être expliquée par des variations cycliques de l'orbite terrestre.

• La Terre a donc connu des périodes climatiques très variées. Elle n'a par exemple pas toujours présenté des glaces polaires. On distingue trois périodes glaciaires principales au cours des 600 derniers millions d'années. Un épisode pendant lequel la Terre aurait été entièrement gelée, il y a 600 millions d'années (Ma), le Carbonifère (il y a 300 Ma), et la période actuelle (depuis 20 Ma).

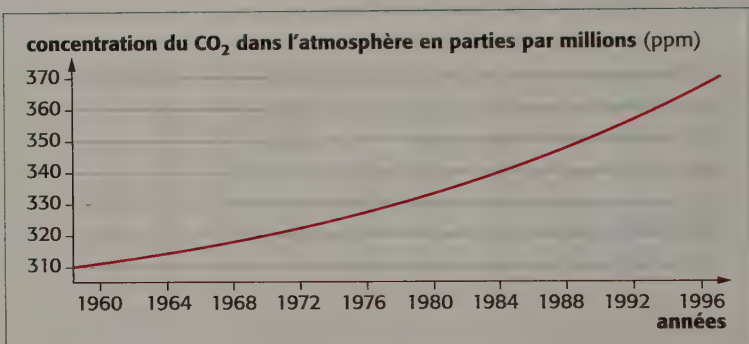
4 Quel futur pour l'atmosphère ?

→ C'est la dégradation récente de l'atmosphère qui nourrit des prévisions inquiétantes pour l'avenir de la planète.

1 Quelques aspects de la dégradation récente de l'atmosphère

→ La concentration en CO_2

- Une des conséquences les plus importantes de l'activité humaine est l'augmentation de la concentration en CO_2 (document 7).



Doc. 7. Mesure de la concentration atmosphérique du CO_2 (observatoire de Mauna Loa à Hawaï).

- Cette évolution est attribuée à l'Homme, qui rejette environ 7 gigatonnes de CO_2 par an. Le cycle du carbone (document 3) peut être utilisé pour déterminer les pratiques humaines qui font augmenter la concentration du CO_2 atmosphérique. Il s'agit surtout de la **combustion** des combustibles fossiles (charbon, pétrole) et d'une moindre **photosynthèse** due à la déforestation.

→ L'élévation de température

- Le CO_2 étant un **gaz à effet de serre**, on a cherché à mesurer les conséquences de son augmentation sur la température planétaire. Les mesures ont été longues à cause de la difficulté d'effectuer une moyenne sur une étendue aussi vaste que la Terre et aussi à cause de la faible élévation. On a pu estimer néanmoins que, depuis un siècle, la température moyenne du globe avait augmenté de 1°C environ.

• D'autres **gaz à effet de serre**, comme le méthane, l'ozone et la vapeur d'eau, jouent un rôle important. Par exemple, la concentration en méthane augmente à cause des activités humaines (industries, élevage). Une source supplémentaire de méthane pourrait être la libération explosive de ce gaz par les gisements d'hydrates de méthane du fond des océans. Un réchauffement des océans pourrait entraîner cette libération, elle-même génératrice d'un réchauffement accentué.

→ La concentration en ozone

Une diminution de l'épaisseur de la **couche d'ozone** a été constatée dans les régions polaires. Or l'ozone protège les êtres vivants d'une partie des rayons ultraviolets dangereux du Soleil. Paradoxalement, l'augmentation de la concentration d'ozone au sol constitue une pollution nuisible à la santé humaine.

2 Les scénarios pour le futur

• La connaissance des mécanismes qui interviennent dans l'établissement des variations climatiques est indispensable pour élaborer des scénarios d'évolutions future du climat et de la température moyenne de la Terre. À la variabilité naturelle du climat, on doit ajouter l'influence de l'Homme, qui par le rejet de grandes quantités de gaz à effet de serre, modifie le climat dans le sens d'un réchauffement.

Les scientifiques prévoient ainsi un réchauffement de l'ordre de 2 à 5 °C au cours du **xxi^e** siècle.

• Les conséquences de ce réchauffement sont potentiellement nombreuses :

- une extension vers les régions tempérées des maladies localisées actuellement à la zone intertropicale ;
- une augmentation des incendies ;
- une étendue des zones désertiques ;
- une élévation du niveau de la mer et des inondations pour certains pays ;
- une modification des courants et des vents, accentuant les déséquilibres climatiques locaux.

• On connaît deux grands mécanismes d'élévation du niveau de la mer lors d'un réchauffement climatique :

- **la dilatation* thermique de l'eau**. Elle produit une montée du niveau de la mer d'environ 1 m par degré, ce qui produirait une augmentation de 2 à 5 m au **xxi^e** siècle ;
- **la formation et la fonte des calottes polaires**. Si toutes les glaces terrestres fondaient, l'élévation du niveau de la mer serait de l'ordre de 80 m. Lors de la dernière déglaciation, le niveau de la mer est monté de 130 m en 10 000 ans.

• **En conclusion**, l'avenir de notre planète va dépendre de l'arrêt de certaines pratiques humaines, comme la diminution des combustions et de la déforestation, et aussi de réactions de notre planète, encore mal connues, comme l'effet régulateur de l'océan par absorption du CO_2 .

Méthode

Rédiger une restitution de connaissances

À SAVOIR : Qu'est-ce qu'une restitution de connaissances ?

C'est un exposé de connaissances qui demande une organisation. La longueur dépend du temps que l'on vous donne. Lors de l'épreuve du baccalauréat S en SVT, le temps généralement consacré à la restitution de connaissances est environ 1 h 30, ce qui permet une réponse moyenne d'une copie double, schémas compris (voir par exemple le sujet de restitution organisée de connaissances page 66, qui se rapproche d'une épreuve de type bac, mais sur le programme de Seconde).

En Seconde, dans le cadre d'un exercice de restitution de connaissances de 30 minutes à une heure, il vous est demandé un exposé plus modeste, d'une page par exemple, de manière à vous entraîner à construire une réponse organisée. C'est ce format de restitution de connaissances que nous allons traiter ici.

Sujet exemple

Question :

Exposez en une page maximum comment on détermine les températures passées de notre planète.

Votre exposé comprendra une courte introduction, un plan apparent et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

Étape 1 : Analyser la question

Il faut dans un premier temps repérer les mots et verbes clés de la question et les consignes de présentation.

Le sujet demande d'**exposer comment on détermine les températures passées**. On vous demande donc d'**exposer** les méthodes de détermination des températures passées. Le **plan apparent** demandé pourra ainsi comporter une partie par méthode. L'**introduction** nommera les différentes méthodes. La **conclusion** fera un rapide résumé de l'exposé et élargira le sujet. La consigne de longueur (une page maximum) pourra être facilement respectée car aucun schéma n'est demandé.

Étape 2: Recenser les idées

Il est fortement conseillé d'écrire au brouillon les idées qui vous viennent à l'esprit pour traiter le sujet.

L'étude des températures passées doit vous évoquer, en vrac :

- les pollens;
- les glaces polaires;
- les isotopes de l'oxygène;
- les coquilles calcaires;
- les préférences thermiques des végétaux.

Attention, les bulles de gaz de la glace ne permettent pas de déterminer les températures.

Étape 3: Regrouper ces idées dans un plan

Les idées jetées sur le papier, dans l'ordre de leur arrivée, doivent être regroupées dans un plan logique et équilibré. Le plan idéal a des parties de même longueur mais ce n'est pas toujours réalisable.

On peut essayer de regrouper les idées par méthodes. Par exemple pour les méthodes utilisant les isotopes de l'oxygène, on placera les glaces polaires, les isotopes de l'oxygène, les coquilles calcaires. Ensuite, on regroupera les pollens et les préférences thermiques des végétaux dans une seconde partie.

Étape 4: Rédiger la bonne réponse

La courte introduction sera l'occasion de nommer les deux grandes méthodes et ainsi de présenter le plan. La conclusion résumera les deux méthodes et élargira le sujet en disant, par exemple, que les deux méthodes permettent d'arriver aux mêmes résultats.

Pour pouvoir prévoir les effets des variations de température qu'il provoque, l'Homme cherche à connaître les variations passées des températures. Les méthodes utilisent soit la mesure des isotopes de l'oxygène, soit la détermination des végétaux du passé.

I. La mesure des isotopes de l'oxygène

On a constaté que les proportions en oxygène 16 et oxygène 18, deux isotopes de l'oxygène varient selon la température de formation de la glace ou des coquilles calcaires des animaux marins.

Dans les calottes glaciaires polaires, on peut forer pour récupérer des glaces de plus en plus profondes et de plus en plus anciennes. L'analyse de la composition en oxygène 16 et en oxygène 18 permet de déterminer le $\delta^{18}\text{O}$, rapport complexe entre ces deux isotopes. Comme le $\delta^{18}\text{O}$

dépend de la température de la neige qui formera ensuite la glace, on peut donc connaître les températures passées en mesurant ce rapport.

Malheureusement, les glaces polaires ne font que 3 à 4 km d'épaisseur, ce qui correspond à environ 250 000 ans. Pour connaître le passé de l'atmosphère pour des âges plus anciens, il faut analyser les isotopes de l'oxygène dans le carbonate de calcium des coquilles.

II. L'étude des végétaux du passé

Lorsqu'on fore dans des sédiments ou dans de la boue au fond d'un lac, on peut retrouver des couches de plus en plus anciennes. Ces couches contiennent des grains de pollen, produits par les arbres qui vivaient à cet endroit aux différentes époques. Comme les pollens sont caractéristiques des arbres par leurs formes et leurs ornements et que chaque arbre a des préférences climatiques particulières, on peut avoir une idée des climats passés et déterminer les périodes froides et chaudes. Par exemple, le Chêne nécessite des températures plus élevées que le Pin.

Conclusion

Les méthodes de détermination des températures passées de notre planète utilisent soit la mesure des isotopes de l'oxygène, soit la détermination des végétaux du passé par l'étude de leur pollen. Les variations climatiques déterminées avec les pollens sont en accord avec celles trouvées grâce aux isotopes d'oxygène. Cela permet de valider les deux méthodes et de confirmer les résultats.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

 corrigé p. 68

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. L'atmosphère :

- ☐ a. a une épaisseur de 80 km ;
- ☐ b. présente une pression maximale au sol ;
- ☐ c. est essentiellement composée de diazote et de dioxygène.

2. La troposphère :

- ☐ a. est la couche atmosphérique dans laquelle nous vivons ;
- ☐ b. présente une température qui diminue avec l'altitude ;
- ☐ c. fait 15 km d'épaisseur.

3. L'effet de serre :

- ☐ a. diminue actuellement ;
- ☐ b. est uniquement dû au CO_2 et au méthane ;
- ☐ c. est bénéfique pour la planète Terre.

4. La photosynthèse :

- ☐ a. se produit chez tous les êtres vivants ;
- ☐ b. se produit chez les êtres vivants qui ne pratiquent pas la respiration ;
- ☐ c. est responsable de l'effet de serre par son rejet de CO_2 .

5. Le cycle du carbone :

- ☐ a. est une rotation des molécules de CO_2 due à l'effet de serre ;
- ☐ b. est responsable de l'effet de serre ;
- ☐ c. peut, par ses modifications, influencer sur l'effet de serre.

6. La teneur en CO_2 et la température atmosphériques :

- ☐ a. ont varié parallèlement au cours des 140 derniers milliers d'années ;
- ☐ b. ont subi une diminution récente ;
- ☐ c. n'ont pas beaucoup varié dans le passé.

7. Les températures passées de l'atmosphère :

- ☐ a. sont déterminées en mesurant la température des glaces polaires ;
- ☐ b. sont déterminées grâce aux isotopes du carbone ;
- ☐ c. sont déterminées uniquement avec les glaces polaires.

Appliquez la méthode

2 Restitution de connaissances

➔ corrigé p. 68

Présenter le cycle du carbone

Question :

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre dont la concentration atmosphérique est actuellement en augmentation.

Dans un exposé structuré par un plan apparent, vous présenterez les phénomènes producteurs et consommateurs de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Aucun schéma n'est attendu.

Autres applications de cette méthode

- La planète Terre et son environnement p. 20, 42
- L'organisme en fonctionnement p. 89, 110, 128
- Cellule, ADN et unité du vivant p. 156, 180, 202

Exercices d'entraînement

3 Exploitation de documents

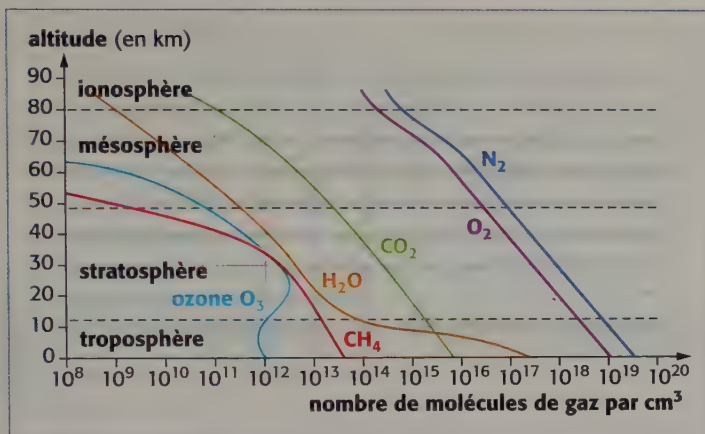
★★ La composition de l'atmosphère

➔ méthode p. 198 ➔ corrigé p. 70

Le graphique page suivante fournit la composition de l'atmosphère en fonction de l'altitude.

Questions :

1. Combien y a-t-il de dioxygène au sol dans l'air que nous respirons ?
2. Combien y a-t-il de dioxygène à 40 km d'altitude ?
(Prendre la puissance de 10 la plus proche.)
3. Combien y a-t-il de fois moins de dioxygène à 40 km d'altitude qu'au sol ?
Détailler le calcul.
4. Combien y a-t-il de fois plus de dioxygène que d'ozone au sol ? Détailler le calcul.
5. À quelle altitude y a-t-il le plus de dioxygène, de dioxyde de carbone et d'ozone ?



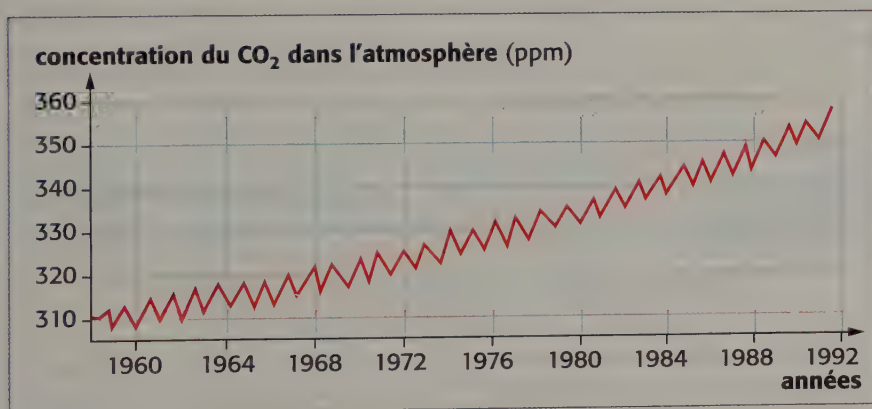
La composition de l'atmosphère.

4 Exploitation de documents

➡ méthode p. 38 ➡ corrigé p. 70

★★ L'augmentation de la concentration en CO_2

Le document suivant indique la concentration atmosphérique en CO_2 de 1958 à 1992.



Questions :

1. Décrivez de manière détaillée les différentes variations de la concentration atmosphérique en CO_2 .
2. Utilisez vos connaissances sur le cycle du carbone pour interpréter ces variations.

5 Exploitation de documents.

→ méthode p. 104 → corrigé p. 71

★★ L'augmentation du méthane atmosphérique

Le rôle du dioxyde de carbone dans le réchauffement atmosphérique est très souvent cité. Il existe un autre gaz à effet de serre : le méthane. Son effet sur le réchauffement est vingt-trois fois supérieur à celui du dioxyde de carbone, à concentration égale. On estime que le méthane a été responsable d'environ 20 % du réchauffement atmosphérique au xx^e siècle. Le tableau suivant indique les concentrations en méthane et dioxyde de carbone, en cm^3/m^3 d'air (ou encore parties par million, ppm) pour trois époques.

Gaz à effet de serre	Année 1000	Année 1800	Année 2000
Méthane	0,7	0.8	1.7
Dioxyde de carbone	275	280	360

Questions :

1. Comparez les évolutions du carbone et du méthane au cours du dernier millier d'année. Évaluez sans l'aide d'une calculatrice les pourcentages d'augmentation entre l'an 1800 et l'an 2000.

2. Le méthane a été qualifié de gaz à effet de serre depuis les années 1970. L'origine du méthane atmosphérique est assez variée (activités humaines, fermentation dans les zones inondées...). Les mesures effectuées montrent une baisse de l'augmentation de méthane dans l'atmosphère depuis 20 ans. On pense que c'est dû à une diminution des rejets humains et aux diverses sécheresses qui ont fait diminuer les zones inondées. En utilisant le tableau suivant, montrez que l'augmentation de la concentration de méthane dans l'atmosphère est en diminution.

Année	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004
Concentration en méthane (ppb)	1500	1620	1670	1710	1738	1755	1763

Concentration globale en méthane, en parties par billion (ppb).

6 Exploitation de documents

→ corrigé p. 71

★★★ Les puits de carbone

Les rejets humains de dioxyde de carbone dans l'atmosphère mettent en danger notre planète par l'effet de serre qu'ils produisent. On cherche à savoir si ces rejets pourraient être compensés par une augmentation du stockage du carbone. On appelle réservoir de carbone les différents endroits de notre planète qui en contiennent.

On estime que l'atmosphère contient 750 Gt (milliards de tonnes, ou gigatonne) de carbone, les océans 39 000 Gt et les sols et la végétation environ 2 200 Gt. On a évalué que chaque année, 60 Gt de carbone sont échangés entre la végétation et l'atmosphère (photosynthèse, respiration...) et que 90 Gt sont échangés entre l'atmosphère et océan. Les rejets humains de CO_2 sont estimés à 7,1 Gt. Les océans et la végétation absorbent 3 à 4 Gt de ce surplus.

D'après www.jeanlouisetienne.fr

Questions:

1. En utilisant les valeurs chiffrées du texte précédent, indiquez la raison pour laquelle la concentration atmosphérique en CO_2 augmente.
2. En utilisant les valeurs chiffrées du texte précédent, indiquez comment on pourrait envisager de compenser les rejets humains de dioxyde de carbone.
3. Les mécanismes prélevant du dioxyde de carbone dans l'atmosphère sont appelés puits de carbone. Parmi eux, on trouve la photosynthèse, la dissolution dans les océans, avec une précipitation éventuelle sous forme de carbonates. Utilisez les deux textes suivants pour indiquer les possibilités d'utiliser les puits de carbone pour compenser les rejets humains de CO_2 .

Les forêts sont, au premier abord, un « puits » pour le carbone atmosphérique, absorbant le CO_2 par photosynthèse. Du moins, en période de croissance car à maturité, incendies et pourrissement rejettent dans l'air ambiant le carbone emmagasiné par la vie végétale ! En revanche, un arbre utilisé pour la construction ne restitue pas de carbone à l'atmosphère (tant qu'il ne brûle pas, ni ne pourrit...).

Puisque la croissance des arbres et les sols pompent une partie du carbone atmosphérique, certains pensent que notre excédant pourrait être absorbé en replantant les forêts. Mais attention : le carbone stocké ressurgira un jour, et pour conserver « l'aspirateur à carbone » en état, il faudra réguler les surfaces forestières et les essences (rapidité de croissance, l'utilisation du bois, etc.).

Les océans pompent le carbone de deux manières. D'abord, par un phénomène purement physico-chimique : l'eau de mer peut contenir du gaz carbonique dissous, en quantité d'autant plus grande que la température est basse : les mers polaires sont donc des « puits de carbone » très efficaces. Une fois prisonnier des masses d'eau, ce carbone est entraîné tout au long du « tapis roulant » que forme la circulation océanique mondiale profonde ; il réapparaîtra en surface près de 1 000 ans plus tard, à des milliers de kilomètres des régions où il a été piégé ! Une partie sera restée dans les sédiments, sous forme de carbonates.

La vie océanique, elle aussi, pompe le carbone : par photosynthèse lors des poussées de phytoplancton, mais aussi par la formation de coquilles calcaires et la chute vers les fonds des déchets organiques.

Pourrait-on améliorer le rendement de la double pompe océanique ?

Attention de ne pas jouer les apprentis sorciers...

D'après www.jeanlouisetienne.fr

Pour aller plus loin

Les exercices 7 et 8 portent sur l'ensemble de la partie I (voir page 3).

7 Restitution organisée de connaissances

→ présentation p. 3

★★★ Les raisons de la présence d'eau liquide sur Terre

→ corrigé p. 72

Sur Terre, l'eau liquide représente 97 % de l'eau de la planète. Le reste de l'eau est essentiellement représenté par de la glace. Par ailleurs, les scientifiques pensent que la vie est apparue sur Terre dans l'eau liquide.

Question :

En vous servant de vos connaissances, vous expliquerez les raisons pour lesquelles la Terre est la seule planète tellurique qui possède de l'eau liquide.

Votre exposé comprendra une introduction, un plan apparent, une conclusion, et au moins un schéma.

8 Exploitation de documents

→ présentation p. 3

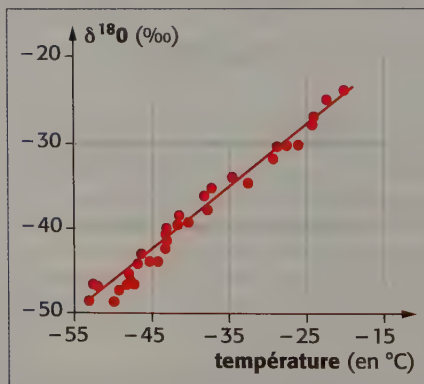
★★★ La détection d'un événement climatique passé

→ corrigé p. 74

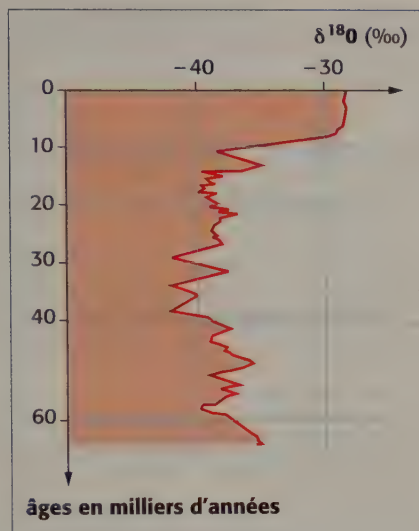
Question :

Utilisez les documents 1 à 3 et vos connaissances pour mettre en évidence un événement climatique majeur s'étant produit au cours des 35 derniers milliers d'années.

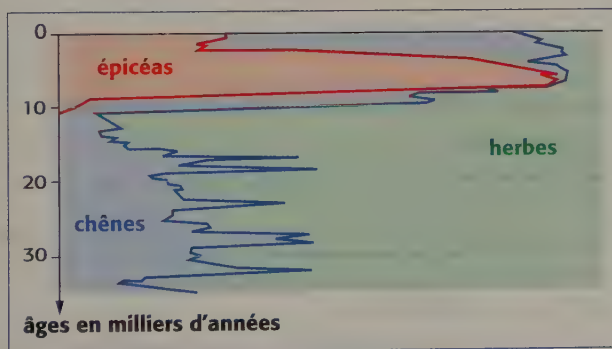
Doc. 1. Variations de $\delta^{18}\text{O}$, rapport entre les concentrations des isotopes de l'oxygène de l'eau qui constitue la glace polaire,



en fonction de la température de formation de la neige qui a formé cette glace.



Doc. 2. Les variations du $\delta^{18}\text{O}$ de la glace d'une carotte extraite de la calotte du Groenland.



Doc. 3. Diagramme pollinique de la tourbière de la Grande-Pile (Est de la France).

Espèce	Préférence climatique (température moyenne)
Chêne pédonculé	de 10 à 15 °C
Épicéa	de 5 à 8 °C
Herbes	moins de 5 °C

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b et c; 2. a, b et c; 3. c; 4. Aucune bonne affirmation; 5. c; 6. a; 7. Aucune bonne affirmation.

Appliquez la méthode

2 Présenter le cycle du carbone

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre dont la concentration atmosphérique est actuellement en augmentation à cause de l'Homme.

● Étape 1 : Analyser la question

La question est claire. Il s'agit de présenter des phénomènes qui produisent du CO_2 , c'est-à-dire qui font augmenter sa concentration dans l'atmosphère, avant de présenter les phénomènes qui font baisser sa concentration.

Un plan apparent est demandé. On pourra *a priori* faire une partie pour les phénomènes producteurs et une autre pour les phénomènes consommateurs. Aucun schéma n'est à prévoir. Si vous en faites un, on ne vous enlèvera sans doute pas de points mais on ne vous en donnera pas et vous serez pénalisé par le temps perdu à réaliser le schéma.

● Étape 2 : Recenser les idées

C'est l'étape la plus difficile car les éléments du cycle du carbone sont nombreux et certains n'ont pas toujours été étudiés en détail.

Essayez de vous remémorer l'aspect d'ensemble du cycle du carbone : Quels sont les points de départ et d'arrivée des flèches correspondant aux différents phénomènes ? Quels sont les noms présents à côté des flèches ?

Faites deux listes, une pour les phénomènes producteurs, une pour les phénomènes consommateurs de CO_2 .

Phénomènes producteurs de CO_2	Phénomènes consommateurs de CO_2
respiration fermentation combustion dégagement des océans	photosynthèse dissolution dans les océans

● Étape 3 : Regrouper ces idées dans un plan

C'est l'étape la plus facile dans le cas de ce sujet, car un plan évident apparaît dans la question. Le gain de temps pour cette étape doit vous permettre de passer plus de temps à vous remémorer le détail des phénomènes.

L'introduction pourra reprendre une partie de l'énoncé et présenter les deux parties. Une conclusion pourra éventuellement élargir le sujet en évoquant brièvement les déséquilibres récents entre consommation et production de CO_2 .

● Étape 4 : Rédiger la réponse

La concentration atmosphérique en dioxyde de carbone est actuellement en augmentation à cause de l'Homme. Pour déterminer quelles pratiques humaines produisent cette augmentation, il faut d'abord étudier les phénomènes qui produisent du CO_2 et ceux qui en consomment.

I. Les phénomènes producteurs de dioxyde de carbone

La respiration est une oxydation de matière organique par le dioxygène, qui produit du dioxyde de carbone et de l'eau

Il existe plusieurs types de fermentations, mais certaines d'entre elles, comme la fermentation alcoolique, produisent du CO_2 .

La combustion par l'Homme se fait aux dépens des combustibles fossiles comme le charbon, le gaz ou encore le pétrole.

Enfin, les océans peuvent dégager une partie du CO_2 dissous dans leur immense volume.

II. Les phénomènes consommateurs de dioxyde de carbone

La photosynthèse est une synthèse de matière organique à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Elle consomme donc du dioxyde de carbone et stocke le carbone dans la biosphère.

Le dioxyde de carbone peut se dissoudre dans l'eau des océans. Dans ce milieu, il pourra participer à la formation des coquilles calcaires des animaux marins et des roches calcaires.

Conclusion

Récemment, sous l'action de l'Homme, les phénomènes producteurs de CO_2 sont devenus plus importants que les phénomènes consommateurs de ce gaz, ce qui entraîne une augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2 et un accroissement de l'effet de serre.

Exercices d'entraînement

3 La composition de l'atmosphère

1. Il y a environ 10^{19} molécules de dioxygène par cm^3 au sol.
2. Il y a environ 10^{17} molécules de dioxygène par cm^3 à 40 km d'altitude.
3. Il y a environ 100 fois moins de dioxygène à 40 km d'altitude qu'au sol.

$$\frac{10^{19}}{10^{17}} = 10^2 = 100.$$

4. Il y a au sol 10^{19} molécules de dioxygène par cm^3 et 10^{12} molécules de dioxygène par cm^3 . Il y a donc 10^7 fois plus de dioxygène que d'ozone, soit 10 millions de fois plus.

$$\frac{10^{19}}{10^{12}} = 10^7 = 10\,000\,000$$

5. C'est au sol qu'il y a le plus de dioxygène et de dioxyde de carbone. Dans le cas de l'ozone, le maximum est situé à 25 km d'altitude.

4 L'augmentation de la concentration en CO_2

1. On observe sur le graphique deux types de variations : une variation globale et une variation annuelle.

Globalement, la concentration en CO_2 augmente sur la période. Elle passe de 310 ppm en 1960 à 360 ppm en 1992.

Si on observe les variations de concentration de CO_2 dans le détail, on repère de nombreuses oscillations. Ces oscillations semblent se répéter tous les ans, ce qu'on peut vérifier en les comptant sur une période donnée : on trouve, par exemple, 4 points hauts et 4 points bas par période de 4 ans.

En résumé, chaque année, la concentration en CO_2 augmente et baisse, mais elle baisse moins qu'elle n'augmente et la résultante est une augmentation visible sur les trente années étudiées.

2. Les variations de concentration de CO_2 peuvent être attribuées aux modifications du cycle du carbone.

L'augmentation générale est due à la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole) et à une moindre photosynthèse due à la déforestation.

Vous pouvez figurer rapidement au brouillon le cycle du carbone.

Les variations annuelles peuvent être attribuées aux modifications annuelles du cycle du carbone. L'hiver, les combustions productrices de CO_2 sont plus intenses à cause du

chauffage. De plus, les arbres ont perdu leurs feuilles, ce qui fait baisser la photosynthèse, et diminue l'absorption de CO_2 . L'été, il y a moins de chauffage, et les arbres ont des feuilles et pratiquent la photosynthèse.

5 L'augmentation du méthane atmosphérique

1. De l'an 1000 à l'an 1800, la concentration des deux gaz à effet de serre est restée quasiment stable. De l'an 1800 à l'an 2000, la concentration en méthane a plus que doublé ($0,8 \text{ ppm} \times 2 < 1,7 \text{ ppm}$). La concentration en CO_2 n'a pas doublé ($280 \text{ ppm} \times 2 = 560 \text{ ppm}$). Elle a augmenté d'un tiers environ (le tiers de 280 ppm est environ 90 ppm. Donc $280 + 90 = 370$).

Une évaluation du facteur multiplicateur permet de préparer l'évaluation des pourcentages.

En pourcentage, on pourrait dire que depuis deux siècles, la concentration de CO_2 a augmenté de 33 % environ (augmentation d'un tiers), alors que celle de méthane a augmenté d'environ 100 % (multiplication par 2).

2. Mettre en évidence une variation de l'augmentation d'un paramètre nécessite de calculer les augmentations par périodes de temps identiques. Les augmentations par périodes de 4 ans sont présentées dans le tableau suivant.

Période	1980-84	1984-88	1988-92	1992-96	1996-2000	2000-04
Augmentation de la concentration en méthane (ppb)	120	50	40	28	17	8

On constate alors que l'augmentation de la concentration de méthane atmosphérique a diminué au cours de la période 1984 à 2004.

6 Les puits de carbones

1. La concentration atmosphérique en CO_2 augmente, car seule la moitié des rejets dus à l'Homme sont absorbés dans les réservoirs de carbone. En effet, l'Homme rejette chaque année 7,1 Gt de carbone, alors que les puits de carbone (océans, végétaux) n'en absorbent que 3 à 4 Gt.

2. Les valeurs chiffrées du texte montrent que trois catégories de phénomènes se produisent avec des intensités très différentes. Les réservoirs contiennent des quantités énormes de carbone. Les échanges entre ces réservoirs sont faibles par rapport aux quantités stockées, de 100 à 1000 fois plus faibles. Les rejets humains sont encore plus faibles, environ 10 fois moins intenses que les échanges entre réservoirs. Malheureusement, seule la moitié des rejets humains est absorbée dans les réservoirs de carbone.

Le caractère peu intense des rejets humains de CO_2 par rapport aux échanges entre réservoirs et surtout aux quantités stockées dans ces réservoirs laisse envisager qu'une légère augmentation du stockage de CO_2 pourrait compenser les rejets humains.

3. Une première piste pour augmenter le stockage de carbone est d'augmenter la photosynthèse, consommatrice de CO_2 . Le reboisement semble être une solution, mais l'impact de la forêt est cependant assez complexe. Seules les forêts en croissance pompent efficacement le CO_2 . Ensuite, le devenir du bois est important. Le bois ne doit pas être brûlé ni pourrir, mais être utilisé pour la construction.

Une deuxième piste est l'augmentation de la dissolution du CO_2 dans les océans et la précipitation de carbonates. Les mers les plus froides sont les puits les plus efficaces pour la dissolution mais le réchauffement planétaire risque d'en diminuer l'efficacité. Une autre consommation de CO_2 pourrait être liée à la photosynthèse et à la formation de coquille calcaires des organismes planctoniques des océans. On pourrait essayer de stimuler la croissance et le nombre de ces organismes. L'auteur du texte ne donne pas de stratégie mais met en garde contre les risques de nouvelles modifications de la nature.

Pour aller plus loin

7 Les raisons de la présence d'eau liquide sur Terre

Introduction

Lors des missions d'exploration de la planète Mars, des traces d'eau liquide ont été découvertes, sous formes de rivières asséchées. On pense que l'eau martienne n'existe plus à l'état liquide mais à l'état solide ou gazeux. La Terre est, en effet, la seule planète à posséder de l'eau liquide. Cette caractéristique est due à des conditions de pression et de températures particulières.

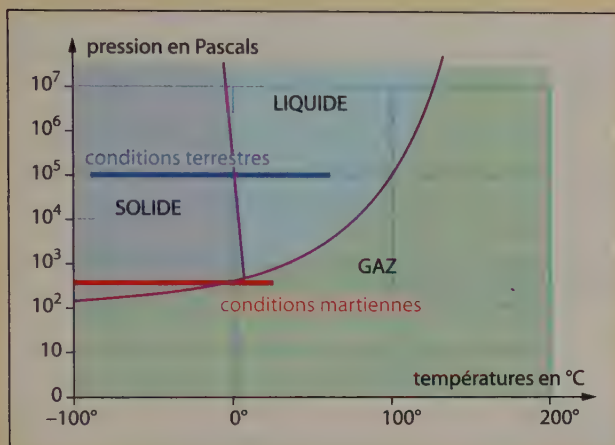
Nous exposerons dans un premier temps les facteurs de la présence d'eau liquide sur une planète, puis, dans une seconde partie, nous étudierons les facteurs de la température terrestre.

I. Les facteurs de la présence d'eau liquide sur une planète

1. L'état liquide de l'eau dépend de la pression et de la température

À la pression atmosphérique terrestre, l'état de l'eau dépend de la température (T). Si T est inférieure à 0°C , l'eau est solide. Si T est comprise entre 0°C et 100°C , elle est liquide et si T est supérieure 100°C , elle est vaporisée.

À une autre pression (P), les valeurs des températures de liquéfaction et de vaporisation sont modifiées. On peut ainsi représenter l'état de l'eau en fonction de P et T sur le graphique suivant.



Graphique des états de l'eau.

2. Seule la Terre possède les conditions permettant la présence d'eau liquide

Sur Terre, les températures sont généralement comprises entre -50°C à $+50^{\circ}\text{C}$. Ces conditions sont représentées sur le graphique, en bleu. On voit que l'eau peut être solide ou liquide. Sur Mars, les conditions de pression et de température représentées en rouge ne laissent envisager que de l'eau solide ou gazeuse.

Sur Mercure et sur Vénus, les conditions de pression et de température produiraient de l'eau gazeuse s'il y avait encore de l'eau sur ces deux planètes.

II. Les facteurs de la température terrestre

1. La distance au Soleil

La distance au Soleil est le facteur principal de la température. Si la Terre était plus proche du Soleil, comme Mercure et Vénus, elle serait plus chaude, et si elle était plus éloignée, comme Mars, elle serait plus froide.

2. L'effet de serre

Un second facteur joue sur la température. C'est l'effet de serre, qui consiste en un piégeage de l'énergie solaire par l'atmosphère. Les rayons infrarouges réémis par la planète sont arrêtés par l'atmosphère. Sur Terre, il est modéré car l'atmosphère est peu dense. Il permet de faire passer la température moyenne de surface de la Terre de -20°C à $+15^{\circ}\text{C}$, ce qui est fondamental

pour la présence d'eau liquide. Sur Vénus, déjà proche du Soleil, il augmente d'environ 450°C la température qui atteint 485°C , ce qui fait sortir du domaine de l'eau liquide. Sur Mars, l'effet de serre est négligeable et ne compense pas l'éloignement du Soleil.

Le mécanisme de l'effet de serre est exposé mais brièvement.

Conclusion

La présence d'eau liquide sur Terre est due à la température externe déterminée par la distance au Soleil et un effet de serre modéré. Sur aucune autre planète, la combinaison de ces deux facteurs ne permet pas la présence d'eau liquide.

On pense que la vie est apparue sur Terre grâce à la présence d'eau liquide. C'est pour cela que l'on pense que la vie a aussi pu exister sur Mars, à l'époque où il y avait de l'eau, et que l'on cherche des traces de vie sur cette planète.

8 La détection d'un événement climatique passé

Introduction

Le passé climatique de la Terre peut être déterminé par différentes méthodes en fonction de l'âge de la période que l'on étudie. Pour des périodes récentes, comme celle qui nous est proposée, les méthodes utilisables sont nombreuses. Deux d'entre elles nous permettront de mettre en évidence un événement climatique majeur s'étant produit au cours des 35 derniers milliers d'années.

I. La mesure des isotopes de l'oxygène dans les glaces polaires

1. Le thermomètre isotopique

Le *document 1* présente les variations du $\delta^{18}\text{O}$ de la glace d'une carotte extraite de la calotte du Groenland. Ce rapport est calculé à partir des concentrations des isotopes de l'oxygène. Il dépend, de façon simple, de la température de formation de la neige qui a produit la glace. Plus la température est élevée, plus le $\delta^{18}\text{O}$ est élevé. Si on détermine une valeur du $\delta^{18}\text{O}$, on pourra, grâce à ce graphique, trouver une valeur de température.

2. L'application aux glaces de la carotte

Le $\delta^{18}\text{O}$ a été mesuré sur des glaces vieilles de 0 à 35 000 ans et plus (*document 2*). On voit qu'il reste voisin de -40‰ de -35 000 ans à -10 000 ans. Vers -10 000 ans, le $\delta^{18}\text{O}$ passe brusquement de -40‰ à -28‰ .

De -10 000 ans à nos jours, il est stable à -28‰ .

La température de l'époque suit les mêmes variations. L'utilisation du *document 1* permet de connaître les températures. En effet, -40‰ correspond à -40°C et -28‰ à -25°C environ.

En résumé, la température du Groenland a été stable (-40°C) de $-30\text{ à }-10$ milliers d'années. Elle a subi une brusque augmentation vers -10 000 ans (remontée de 15°C). Elle est stable à -28°C environ depuis cette période.

Le document 1 permet de déterminer des températures précises.

II. La détermination des pollens dans une tourbière

1. Les végétaux ont des préférences climatiques précises

Le *document 3* présente les préférences de température pour deux arbres et pour les herbes.

On constate que ces trois catégories de végétaux ont des préférences bien distinctes. Les herbes préfèrent les climats froids ($< 5^{\circ}\text{C}$). Les épicéas un climat intermédiaire et les chênes un climat tempéré. Si on arrive à déterminer les végétaux qui poussaient à telle ou telle période passée, on pourra en déduire le climat.

2. L'application à une tourbière

Le document 3 présente un relevé des pollens dans une tourbière depuis 35 milliers d'années. On remarque que l'herbe a été dominante de -35 à -10 milliers d'années. C'est donc une période froide puisque la majorité des végétaux de cette période ont une préférence thermique de moins de 5°C . Ensuite, à partir de $-10\,000$ ans, la forêt devient dominante, ce qui correspond à un réchauffement. La dominance presque immédiate du chêne indique que le réchauffement a été brutal, car la période de dominance de l'épicéa est courte. Le passage des herbes aux chênes indique un réchauffement d'une dizaine de degrés (passage de moins de 5°C à 10 - 15°C).

Il y a 5 milliers d'années, le chêne régresse un peu, ce qui signifie un léger refroidissement, non perçu avec l'étude des glaces. Peut-être est-ce dû au fait que ce sont deux régions éloignées (France et Groenland).

Bilan : Un événement climatique majeur il y a 10 000 ans

L'étude des isotopes de l'oxygène et l'étude des pollens sont deux méthodes de détermination des variations climatiques passées très différentes. Pourtant, elles permettent de mettre en évidence les mêmes variations climatiques, et en des lieux différents. Le fait que les variations soient les mêmes en deux endroits distants indique qu'elles sont représentatives des variations climatiques globales.

La température globale a été stable de -30 à -10 milliers d'années. Elle a subi une brusque augmentation vers $-10\,000$ ans (remontée d'environ 10 à 15°C). Elle est stable depuis cette période.

**Relations
entre activités
physiques
et paramètres
physiologiques**

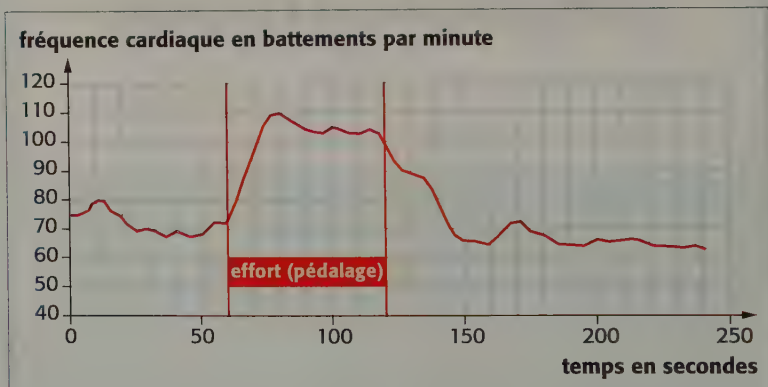
1 Les variations des rythmes cardiaque et respiratoire lors d'un effort

→ Lors d'un effort, nous sentons nos rythmes cardiaque* et respiratoire* accélérer. La mesure précise des variations de ces deux paramètres est facile à réaliser, avec une montre ou un chronomètre.

1 Les variations du rythme cardiaque

→ La mesure du rythme cardiaque

- La prise du pouls* est un moyen simple de mesurer le **rythme cardiaque**, mais il est difficile de prendre le pouls pendant l'effort. L'utilisation d'un cardiofréquencemètre de sportif permet de mesurer le rythme cardiaque pendant l'effort. Cet appareil consiste en une ceinture thoracique qui envoie les informations sur le rythme cardiaque à une montre au poignet.
- On mesure le rythme cardiaque d'un élève assis sur un vélo d'appartement et qui réalise un pédalage modéré ($20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) au cours de la deuxième minute d'enregistrement (document 1).



Doc. 1. Fréquence cardiaque pour un pédalage d'une minute.

→ L'interprétation des résultats

- Avant l'effort, le rythme cardiaque (RC) de l'élève est bas et en légère diminution. Il vaut environ **70 battements par minutes (B/min)**. Lors de l'effort, le RC augmente rapidement

Les valeurs exactes ne sont pas à mémoriser.

et se stabilise à environ 95 B/min au bout de 15 secondes. Lors de l'arrêt de l'effort, le RC diminue et retrouve la valeur initiale (avant l'effort) en environ 25 secondes.

- **En conclusion**, le rythme cardiaque augmente lors de l'effort. Une mesure du rythme cardiaque pour des pédalages plus rapides montrerait une augmentation avec l'**intensité de l'effort**. Le rythme cardiaque ne peut cependant pas augmenter au-delà d'une certaine valeur qui vaut approximativement $220 - \text{âge}$ en battements par minute, soit 200 battements par minute pour une personne de 20 ans.

- L'augmentation du rythme cardiaque accélère la vitesse de circulation du sang dans l'organisme. Un autre facteur très important de cette vitesse est l'augmentation du volume éjecté à chaque contraction cardiaque. En effet, lors de l'effort, l'augmentation du rythme cardiaque s'accompagne d'une augmentation du volume sanguin expulsé à chaque contraction. On détermine le **débit sanguin** (ou cardiaque) par la formule :

$$\begin{array}{lll} \text{débit cardiaque} & = & \text{rythme cardiaque} \times \text{volume expulsé} \\ (\text{en mL} \cdot \text{min}^{-1}) & & (\text{en B} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{mL} \cdot \text{B}^{-1}). \end{array}$$

2 Les variations du rythme respiratoire

→ Les difficultés de la mesure du rythme respiratoire

- Chacun sait qu'au repos, lors d'un effort et lors de la récupération, on peut choisir de respirer vite ou lentement. Un sportif doit d'ailleurs s'entraîner à maîtriser son **rythme respiratoire** (RR). Pour cette raison, la mesure du RR est moins fiable que celle du RC.

	Repos	Effort modéré	Effort intense
Rythme respiratoire (cycles par minute)	12	19	35
Volume ventilé (litres par cycle)	0.4	2	3.5

- L'effort physique s'accompagne de l'augmentation du rythme respiratoire et d'une augmentation du volume d'air prélevé à chaque inspiration. Le **débit ventilatoire** est ainsi augmenté. Sa formule est la suivante :

$$\begin{array}{lll} \text{débit ventilatoire} & = & \text{rythme respiratoire} \times \text{volume inspiré} \\ (\text{en mL} \cdot \text{min}^{-1}) & & (\text{en B} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{mL} \cdot \text{B}^{-1}). \end{array}$$

Ces augmentations varient selon l'individu et l'entraînement.

Bilan : l'effort physique entraîne une augmentation des rythmes cardiaque et respiratoire, se traduisant par une augmentation des **débits cardiaque et ventilatoire**. Lors d'un effort, plus d'air est brassé par les poumons et le sang circule plus vite dans nos artères et dans nos veines.

2 Les besoins en dioxygène et en nutriments lors d'un effort

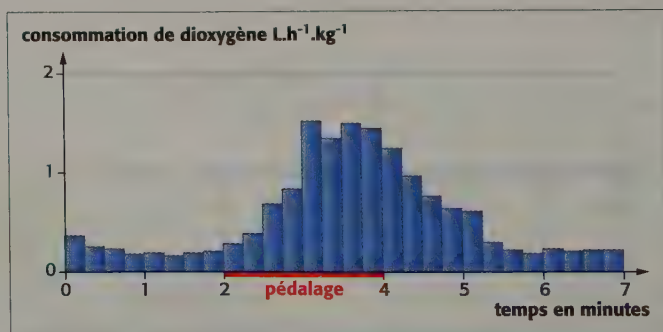
→ La mesure des besoins en dioxygène et en nutriments nécessite des dispositifs particuliers car aussi bien le dioxygène que les nutriments sont des paramètres difficiles d'accès.

1 L'accroissement de la consommation en dioxygène

→ Protocole expérimental et résultats

- La mesure de la **consommation de dioxygène** se fait en comparant les concentrations en dioxygène des airs inspiré et expiré. La consommation en dioxygène est mesurée en litre d' O_2 par unité de temps et de masse de l'individu étudié. Dans ce chapitre, elle est exprimée en litres par heure et par kilo ($L \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1}$).
- La mesure a été établie en classe sur un élève assis sur un vélo d'appartement. Il respire par la bouche dans un tube relié à un **oxymètre**, capteur de concentration de dioxygène. L'oxymètre est relié à un ordinateur (**expérimentation assistée par ordinateur**). Pendant les deux premières minutes, de t_0 à t_2 , l'élève est assis sur le vélo sans pédaler, face à la classe. Au cours des troisième et quatrième minutes, de t_2 à t_4 , l'élève pédale à 20 km/heure, en utilisant le compteur du vélo. C'est un effort modéré.
- Le dispositif est réglé pour produire une mesure toutes les 15 secondes, c'est-à-dire 4 mesures par minute. Le dispositif mesure en effet la consommation moyenne pendant ces 15 secondes et l'affiche sous forme d'un **bâton d'histogramme**.

L'interprétation d'un enregistrement expérimental nécessite une bonne compréhension du protocole.



Doc. 2. Consommation de dioxygène lors d'un effort modéré.

→ Analyse et interprétation

- Avant l'effort, la consommation est basse et assez régulière. Elle est en légère diminution et vaut en moyenne approximativement $0,25 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. À partir du début de l'effort, la consommation en O_2 augmente et se stabilise à $1,5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ au bout de la première minute d'effort. Elle devient donc environ 6 fois plus importante qu'au repos. Lors de l'arrêt de l'effort, la consommation en O_2 diminue et retrouve la valeur initiale (avant l'effort) au bout d'un peu plus d'une minute.

- **En conclusion**, lors d'un effort physique, la consommation de dioxygène est augmentée. Une mesure des besoins pour des pédalages plus rapides montrerait que la consommation en dioxygène augmente avec l'intensité de l'effort.

2 L'accroissement de la consommation de nutriments par les muscles

→ Comment mesurer une consommation musculaire en glucose ?

Il existe plusieurs moyens : on peut réaliser des prélèvements indolores de minuscules fragments de muscle avec une fine aiguille (**biopsie**), pendant et après un effort, et ainsi mesurer la quantité de **glucose*** consommé par le muscle. On peut aussi réaliser des dosages sanguins à proximité d'un muscle en activité pour évaluer la quantité de glucose prélevé par le muscle dans le sang. Les résultats figurant dans le tableau suivant ont été obtenus par cette deuxième technique.

→ Résultats expérimentaux

Le tableau indique les quantités de glucose prélevé dans le sang pour des efforts de durée et d'intensités variables.

	Glucose prélevé après 10 minutes d'effort, en $\text{g} \cdot \text{mn}^{-1}$
Effort très modéré	0,15
Effort modéré	0,28
Effort intense	0,69

→ Analyse et interprétation

Plus l'effort est intense, plus la consommation de glucose est importante.

Bilan : les besoins en nutriments* et en dioxygène sont d'autant plus importants que l'effort est intense.

3 Mise en relation des différents paramètres modifiés lors de l'effort

→ Les augmentations de la consommation de dioxygène et de nutriments, et les augmentations des débits sanguin et ventilatoire sont liées; elles permettent d'**adapter l'organisme à l'effort**.

1 La relation entre les différents paramètres lors de l'effort

- Pour les quatre paramètres étudiés expérimentalement, on a noté une variation identique lors d'un effort, c'est-à-dire une augmentation. Par exemple, les descriptions des variations de la consommation de dioxygène et du rythme cardiaque sont presque identiques. Ces quatre paramètres sont liés pour la raison suivante.
- Toute cellule a besoin d'énergie pour accomplir ses fonctions. Lors d'un effort physique, les cellules musculaires ont des **besoins énergétiques** plus importants.
- C'est la **réaction de respiration***, évoquée au chapitre 3, qui permet de produire l'énergie nécessaire à l'effort.

Réaction de respiration: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{énergie chimique}$
(glucose)

- Cette réaction se produit dans les cellules musculaires. L'utilisation conjointe de glucose et de dioxygène produit de l'énergie, de l'eau et du dioxyde de carbone.
- Lors d'un effort, les cellules musculaires ont besoin de produire plus d'énergie et pratiquent une respiration plus intense. L'augmentation du **débit ventilatoire** garantit une saturation du sang en dioxygène, malgré son passage plus rapide dans les poumons. L'augmentation du **débit cardiaque** permet une arrivée accrue de dioxygène et de nutriments aux cellules musculaires, et l'évacuation du dioxyde de carbone.

Le CO_2 est un déchet de la respiration, évacué par les poumons.

2 La VO_2 max, une limite à l'effort en condition aérobie

→ La notion de VO_2 max

- L'augmentation des débits cardiaque et ventilatoire permet d'augmenter le débit de dioxygène qui arrive aux cellules musculaires et ainsi d'augmenter le volume d' O_2

consommé. On nomme VO_2 cette valeur. Ainsi, le muscle pourra effectuer un effort plus soutenu. Mais jusqu'à quel niveau l'augmentation est-elle possible ?

- L'accroissement de VO_2 n'est pas infini. Lorsqu'on augmente l'intensité de l'effort, on constate que VO_2 augmente jusqu'à une valeur maximale, appelée **VO_2 max**. C'est la consommation maximale possible en dioxygène.
- Comme seuls les efforts réalisés avec la respiration (efforts aérobies) peuvent être tenus longtemps, c'est la VO_2 max qui conditionne la capacité de faire des efforts longs. Par exemple, les coureurs de fond ont une VO_2 max élevée. La VO_2 max est augmentée par l'entraînement.

→ Les efforts d'intensité supérieure à la VO_2 max

- Il est possible de faire de courts efforts d'intensité supérieure à la VO_2 max, car il existe dans nos muscles un mécanisme de production d'énergie qui n'utilise pas de dioxygène. C'est la fermentation lactique, qui n'est pas au programme.
- Les efforts permis par la fermentation lactique doivent être courts (moins de 3 minutes) car la fermentation produit un déchet, l'acide lactique, qui acidifie rapidement les cellules et bloque leur fonctionnement.

3 Qu'est-ce qu'un effort ?

On oppose souvent repos et effort. La réalité est plus complexe. Il y a déjà plusieurs formes de repos. On peut être au repos assis, allongé éveillé ou endormi... Mais même lorsqu'on dort, nos muscles cardiaque et respiratoires fonctionnent, ce qui nécessite de l'énergie. Lorsqu'on passe de la position couchée à la position assise, l'effort augmente.

Toute activité est un effort, plus ou moins intense. La notion d'effort est relative.

4 De nombreux autres paramètres sont modifiés lors d'un effort

En plus des quatre paramètres étudiés dans ce chapitre, d'autres modifications de l'organisme se produisent lors d'un effort. On transpire, on devient rouge, on a chaud, on a parfois un point de côté. Des crampes, des courbatures peuvent apparaître. Ces modifications peuvent limiter l'effort dans le temps.

Méthode

Représenter des données expérimentales
par un graphique

À SAVOIR : À quoi sert une représentation graphique ?

Un graphique est une représentation qui permet de visualiser des résultats chiffrés, issus d'observations ou d'expériences (voir méthode page 38 qui montre comment interpréter un graphique).

Lorsqu'on a des résultats chiffrés, on peut les étudier sous forme de tableau, ou vouloir réaliser une représentation graphique, plus lisible par soi-même ou par son auditoire (dans le cadre d'un exposé, par exemple). Un graphique est plus directement lisible qu'un tableau car c'est une représentation imagée de l'évolution du phénomène.

Sujet exemple

On a mesuré la fréquence cardiaque d'un élève en classe. L'élève est sur un vélo d'appartement et son rythme cardiaque (RC) est mesuré toutes les 5 secondes avec un cardiofréquencemètre. L'élève pédale à 20 km lors de la deuxième minute.

Question : Représentez graphiquement ces résultats expérimentaux.

Temps en secondes	RC en battements par minute	Temps	RC	Temps	RC	Temps	
0	70						
5	65	65	86	125	92	185	61
10	64	70	91	130	90	190	61
15	64	75	100	135	82	195	60
20	62	80	104	140	76	200	61
25	66	85	96	145	71	205	60
30	66	90	97	150	70	210	61
35	63	95	97	155	65	215	61
40	65	100	93	160	64	220	61
45	65	105	93	165	68	225	60
50	65	110	95	170	66	230	64
55	72	115	94	175	63	235	64
60	74	120	94	180	61	240	63

Étape 1 : Identifier les paramètres fixé et mesuré, puis leurs unités

Comprendre l'expérience, c'est comprendre comment les données ont été obtenues. Quel est le **paramètre fixé** par l'expérimentateur ? Quel est le **paramètre mesuré** ? Quelles sont les unités ?

Le paramètre fixé est le temps, donné en secondes. Il sera représenté en abscisses. L'expérimentateur réalise une mesure toutes les 5 secondes. Le paramètre mesuré est la fréquence cardiaque, lue sur une montre de cardiofréquence-mètre. Elle est donnée en battements par minute. Elle sera représentée en ordonnées.

Étape 2 : Identifier les intervalles des paramètres à représenter

Quelles sont les valeurs minimales et maximales des paramètres ? Les paramètres peuvent-ils prendre toutes les valeurs entre ces valeurs extrêmes, ou vont-ils de 2 en 2, de 5 en 5 ou de 10 en 10... ? Doit-on faire partir de zéro les intervalles d'abscisses et d'ordonnées ?

Le temps est donné en secondes, de 0 à 240 secondes, c'est-à-dire 4 minutes. Il faudra prévoir de pouvoir placer en abscisses un point toutes les 5 secondes, c'est-à-dire 49 valeurs ($240/5 = 48$ plus le temps zéro). C'est beaucoup, dans le sens de la largeur du cahier. On aura donc intérêt à prendre la feuille à 90° .

Le rythme cardiaque varie de 60 (valeur minimale) à 104 battements par minute (valeur maximale). Comme toutes les valeurs peuvent être prises de 60 à 104, on aura intérêt à bien développer verticalement le graphique. Pour ne pas l'allonger démesurément, on pourra omettre les valeurs des ordonnées comprises entre 0 et 40.

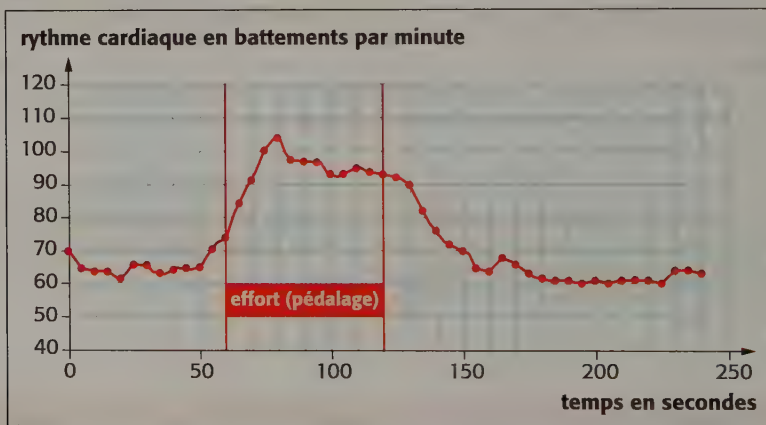
Étape 3 : Réaliser une représentation exacte et soignée

- Tracer les traits à la règle, avec un stylo fin ou un crayon bien taillé.
- Placer les points de manière discrète. Un petit rond peut suffire. Ces ronds resteront visibles lorsqu'on les reliera mais ils ne masqueront pas la courbe.
- Relier les points par une courbe.
- Pour le soin, il faut utiliser la règle et écrire soigneusement. Si on n'est pas sûr de soi, on peut réaliser le graphique au crayon.
- La question de savoir s'il faut relier les points et tracer une courbe est souvent posée par les élèves. En général, il faut le faire, et il vaut mieux relier les points avec une courbe (plus difficile à tracer) qu'avec des segments rectilignes (plus faciles à tracer) entre les points.

Étape 4 : Légender le graphique de manière précise et complète

- Mettre les noms et les unités des paramètres.
 - Mettre les valeurs principales.
 - Mettre un titre complet.
 - Placer les changements dans la situation expérimentale.
- Le minimum à écrire pour les abscisses est temps en secondes, et pour les ordonnées, rythme cardiaque en battements par minute.
- Pour les abscisses, on pourra se contenter de traits pour les dizaines et de n'écrire les unités que pour les multiples de 50. Pour les ordonnées, on pourra se limiter à écrire les dizaines.
- Le titre sera par exemple « Évolution du rythme cardiaque avant, pendant et après un effort modéré ».
- Les changements de la situation expérimentale sont le début et la fin de l'effort, situé lors de la deuxième minute, soit de 60 à 120 secondes. On pourra le figurer sous forme de deux traits verticaux, ou encore d'un trait ou encore d'un rectangle horizontal.

Exemple de réalisation



Évolution du rythme cardiaque avant, pendant et après un effort modéré.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

➔ corrigé p. 91

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Le rythme respiratoire :

- ☐ a. est sensiblement le même que le rythme cardiaque au repos ;
- ☐ b. augmente avec l'intensité de l'effort ;
- ☐ c. obéit à la formule $220 - \text{âge}$ (en cycles par minute) pour sa valeur maximale.

2. La consommation de dioxygène :

- ☐ a. augmente dès le début de l'effort ;
- ☐ b. revient immédiatement à sa valeur de repos à la fin de l'effort ;
- ☐ c. dépend de l'intensité de l'effort.

3. La consommation de glucose d'un organisme :

- ☐ a. est due à la respiration qui se produit dans les cellules du muscle ;
- ☐ b. permet de produire de l'énergie ;
- ☐ c. est liée à la consommation de dioxygène.

4. L'énergie nécessaire à l'effort :

- ☐ a. ne peut être produite que par la respiration ;
- ☐ b. peut être produite sans oxygène ;
- ☐ c. est appelée $\text{VO}_2 \text{ max}$.

5. L'augmentation du rythme cardiaque :

- ☐ a. fait augmenter le débit cardiaque ;
- ☐ b. fait augmenter le débit de sang arrivant aux muscles ;
- ☐ c. n'a pas de limite pour un sportif.

6. Le rythme cardiaque :

- ☐ a. peut être mesuré par la prise du pouls ;
- ☐ b. se stabilise lors d'efforts modérés ;
- ☐ c. augmente modérément lors d'efforts intenses.

7. Le débit sanguin :

- ☐ a. est l'addition des débits cardiaque et respiratoire ;
- ☐ b. est le produit des débits cardiaque et respiratoire ;
- ☐ c. est toujours supérieur au débit respiratoire.

Appliquez la méthode

2 Représenter des données expérimentales par un graphique

 corrigé p. 91

On a mesuré la consommation de dioxygène d'une personne lors de plusieurs positions au repos et lors d'un effort très modéré. Les changements d'activités se font toutes les deux minutes. Le sujet est d'abord couché puis s'assied, se lève, marche sur place (lève les genoux alternativement, au rythme de la marche), et enfin s'immobilise en position debout.

Question : Représentez graphiquement ces résultats expérimentaux.

Temps (en secondes)	Consommation en dioxygène ($L \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1}$)	Temps	Consommation en dioxygène	Temps	Consommation en dioxygène	Temps	Consommation en dioxygène
5	0,33	155	0,43	305	0,44	455	1,05
15	0,32	165	0,42	315	0,46	465	1,09
25	0,29	175	0,42	325	0,47	475	0,96
35	0,3	185	0,45	335	0,46	485	0,92
45	0,32	195	0,42	345	0,47	495	0,92
55	0,37	205	0,41	355	0,46	505	0,84
65	0,26	215	0,42	365	0,48	515	0,71
75	0,31	225	0,41	375	0,51	525	0,58
85	0,35	235	0,37	385	0,6	535	0,56
95	0,38	245	0,49	395	0,66	545	0,52
105	0,37	255	0,51	405	0,8	555	0,48
115	0,31	265	0,49	415	0,85	565	0,45
125	0,42	275	0,45	425	0,88	575	0,47
135	0,37	285	0,52	435	1,03	585	0,49
145	0,43	295	0,45	445	0,99	595	0,47

Autres applications de cette méthode

- La planète Terre et son environnement.....p. 23
- L'organisme en fonctionnement.....p. 128
- Cellule, ADN et unité du vivant.....p. 156

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 92

★ Les modifications de l'organisme lors d'un effort

Question : Présentez en une page maximum les principales modifications de l'organisme lors d'un effort et leurs rôles.

Votre exposé comprendra un plan apparent. Aucun schéma n'est attendu.

4 Exploitation de documents

➡ corrigé p. 92

★ Corriger une erreur de protocole

Un élève a mesuré la fréquence cardiaque d'un camarade avec un cardiofréquencemètre selon le protocole suivant. Le sujet est debout pendant une minute, ensuite il fait des flexions sur place pendant une minute au rythme d'une flexion toutes les 5 secondes. Les résultats de cette mesure figurent sur le relevé de l'élève.

Questions :

1. Le relevé de l'élève présente un défaut. Trouvez-le en justifiant bien votre réponse.
2. Montrez que l'on peut trouver un moyen de corriger ces données? Répondez en détail.
3. Présentez dans un tableau une version corrigée de ces données.

1 min. de repos.

1 min. de rep.

T0	T5	T10	T15	T20	T25	T30	T35	T40	T45	T50	T55	T60
80	77	81	78	79	81	77	78	78	78	81	83	80

moins d'effort

70	75	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760
91	92	93	106	116	117	117	119	121	121	122	121	121

$I_{\min}$ de repos

T0	T5	T10	T15	T20	T25	T30	T35	T40	T45	T50	T55	T60
114	102	99	95	87	85	81	78	77	79	86	82	83

T65	T70	T75	T80	T85	T90	T95	T100	T105	T110	T115	T120	T125	T130	T135
81	78	80	82	78	83	78	80	81	82	80	77	78	75	81

5 Exploitation de documents

→ méthode p. 104 → corrigé p. 94

★★ Calculs de débits respiratoire et sanguin

Chez un sportif entraîné, on a mesuré le rythme cardiaque et le volume de sang éjecté à chaque contraction cardiaque (volume d'éjection systolique) lors d'efforts croissants.

Puissance de l'effort	Repos	Effort modéré	Effort intense	Effort maximal
Fréquence cardiaque (en B/min)	70	130	160	198
Volume de sang éjecté à chaque contraction (en mL/B)	60	120	135	135

Questions :

1. Analysez les augmentations des deux paramètres mesurés pour indiquer comment est assuré l'approvisionnement des muscles en dioxygène lors d'efforts croissants.
2. Calculez les débits cardiaques dans les quatre situations.
3. Calculez les facteurs d'augmentation du rythme cardiaque, du volume de sang éjecté à chaque contraction et du débit cardiaque entre le repos et l'effort intense.

6 Exploitation de documents

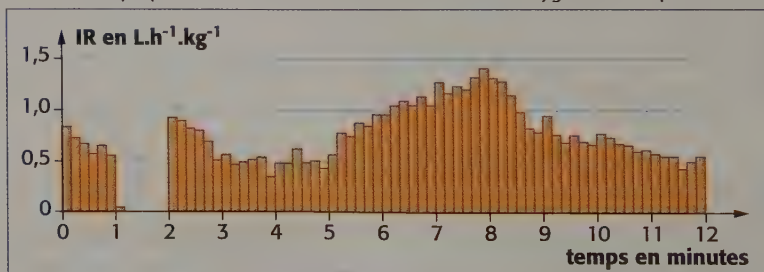
→ méthode p. 38 → corrigé p. 94

★ Analyser une consommation de dioxygène

On a mesuré l'intensité respiratoire (consommation d'oxygène par heure et par kilo) d'un individu dans diverses situations. La personne est d'abord assise. Elle interrompt sa respiration (apnée) pendant la minute 2. Lors des 6^e, 7^e et 8^e minutes, elle réalise des flexions au rythme d'une flexion toutes les 5 secondes.

Questions :

1. Placez les différentes phases de l'activité physique sur le graphique.
2. Décrivez et expliquez l'évolution de la consommation d'oxygène de la personne.



3. Dessinez, sur le graphique, un trait bleu horizontal représentant l'intensité respiratoire moyenne lors de la position assise en condition de respiration normale.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b ; 2. a et c ; 3. a, b et c ; 4. b ; 5. a et b ; 6. a et b ; 7. Aucune bonne affirmation.

Appliquez la méthode

2 Représenter des données expérimentales par un graphique

1. Identifier les paramètres fixé et mesuré, et leurs unités

Le paramètre fixé est le temps, donné en secondes. Il sera représenté en abscisses. L'expérimentateur réalise une mesure toutes les 5 secondes. Le paramètre mesuré est la consommation de dioxygène en $\text{L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$. Elle sera représentée en ordonnées.

2. Identifier les intervalles des paramètres à représenter

Le temps est donné en secondes, de 5 à 595 secondes. Il faudra prévoir de pouvoir placer en abscisses un point toutes les 5 secondes, c'est-à-dire 60 valeurs. On pourra prendre le cahier dans le sens de la hauteur.

La consommation de dioxygène varie de $0,26 \text{ L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (valeur minimale) à $1,09 \text{ L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (valeur maximale). Comme toutes les valeurs peuvent être prises de 0,26 à 1,09, on aura intérêt à bien développer verticalement le graphique.

3. Réaliser une représentation exacte et soignée

Tracer les traits à la règle, avec un stylo fin ou un crayon bien taillé.

Placer les points de manière discrète. Un petit rond peut suffire. Ces ronds resteront visibles lorsqu'on les reliera mais ils ne masqueront pas la courbe.

Relier les points par une courbe.

4. Légender le graphique de manière précise et complète

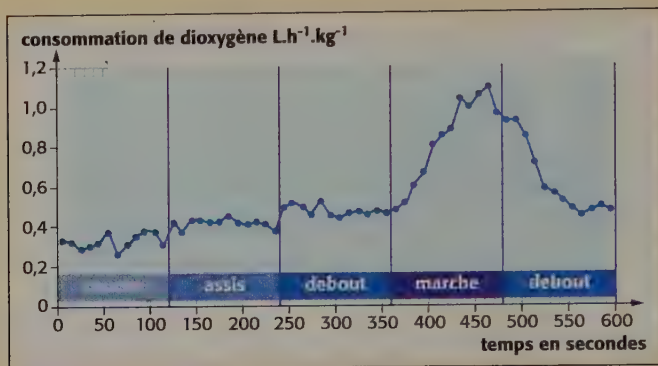
Le minimum à écrire pour les abscisses est, temps en secondes, et pour les ordonnées, consommation de dioxygène en $\text{L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

Le titre sera par exemple « Consommation de dioxygène en $\text{L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ lors de diverses activités ».

Les changements de la situation expérimentale seront indiqués par plages de 2 minutes.

● Exemple de réalisation

On a choisi de mettre un carreau par dizaines. Les multiples de 5 secondes correspondent aux demi-carreaux.



Consommation de dioxygène en $\text{L.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ lors de diverses activités.

Exercices d'entraînement

3 Les modifications de l'organisme lors d'un effort

Introduction

Lors d'un effort se produisent de nombreuses modifications apparentes de l'organisme. Les plus importantes sont les augmentations des rythmes cardiaque et respiratoire. Elles ont pour rôle d'apporter aux muscles de quoi produire plus d'énergie.

1. Le rôle de l'augmentation du rythme respiratoire

Lors d'un effort, il est manifeste que le rythme respiratoire augmente. Il est généralement voisin de 10 cycles inspiration-expiration par minute au repos. Lors de l'effort, il peut être multiplié par 2 ou 3. Plus d'air circule alors dans nos poumons.

Un autre facteur, que l'on peut également percevoir, permet une plus grande circulation d'air dans les poumons : l'augmentation du volume ventilé à chaque cycle. Lors du repos, il est généralement d'un demi-litre environ. Lors de l'effort, il peut atteindre 3 à 4 litres.

Les deux augmentations se combinent. Par exemple, des augmentations par 2 du rythme respiratoire et par 4 du volume ventilé à chaque cycle produiront une augmentation par 8 du volume ventilé par minute, c'est-à-dire du débit ventilatoire.

Cette augmentation de la ventilation pulmonaire va garantir une saturation du sang en dioxygène, malgré son passage plus rapide dans les poumons. La saturation du sang en dioxygène est indispensable à la production d'énergie par les muscles.

Les valeurs peuvent être inventées, mais doivent rester plausibles.

2. Le rôle de l'augmentation du rythme cardiaque

Lors d'un effort, on sent notre rythme cardiaque augmenter. Au repos, il varie généralement entre 60 et 70 pulsations par minute. Lors d'un effort, il augmente et peut atteindre plus de 200 pulsations par minute pour un effort très intense.

Parallèlement à l'augmentation du rythme cardiaque, le volume de sang éjecté à chaque contraction augmente. Les deux augmentations se combinent et permettent une forte augmentation du débit cardiaque dans le corps. Le débit moyen au repos est de 5 litres par minute au repos. Il peut être augmenté jusqu'à 30 litres par minute en fonction de l'individu.

L'augmentation du débit cardiaque fait que les organes recevront plus de sang par minute et ainsi, plus de nutriments et de dioxygène.

Conclusion

Les augmentations conjointes des débits cardiaque et ventilatoire permettent un approvisionnement accru des muscles lors d'un effort physique. La ventilation accrue des poumons permet un prélèvement plus important de dioxygène dans l'air. L'augmentation du débit cardiaque permet d'apporter plus de dioxygène et de nutriments aux cellules musculaires.

4 Corriger une erreur de protocole

1. L'élève commence par noter les valeurs du rythme cardiaque (RC) pendant la première minute, de t_0 à t_{60} . Le problème vient du fait que le temps noté pour la valeur suivante est t_0 de la seconde minute, alors que l'on déjà est à t_5 de la seconde minute. La même erreur est répétée lors de chaque changement de minute.

Cette erreur est due à un manque de préparation. Il aurait fallu faire un tableau avant la mesure.

2. Si on suppose que l'élève a bien fait une mesure toutes les 5 secondes, la succession de valeurs de RC est fiable. Pour restaurer les bonnes valeurs de temps, il suffit de supprimer tous les t_{60} en trop et de décaler les autres mesures.

3. Les données expérimentales restaurées sont présentées dans le tableau suivant. Les cases grisées correspondent à l'effort.

1 ^{re} min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
RC (B/min)	80	77	81	78	78	81	77	78	78	78	81	83
2 ^e min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
RC	80	91	92	92	106	116	117	117	119	121	121	122
3 ^e min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
RC	121	121	114	102	99	95	87	85	81	78	77	79
4 ^e min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
RC	86	82	83	81	78	80	82	78	83	78	80	81

5 Calculs de débits respiratoire et sanguin

1. Par rapport au repos, le rythme cardiaque est en constante augmentation lorsque l'effort augmente. Le volume éjecté à chaque contraction augmente aussi mais atteint une valeur limite dès l'effort intense.

Pour des efforts modérés, les augmentations conjointes du rythme cardiaque et du volume sanguin éjecté à chaque contraction augmentent le débit sanguin et permettent un approvisionnement croissant des muscles en dioxygène.

Pour des efforts plus intenses, seule l'augmentation du rythme cardiaque permet d'augmenter le débit sanguin.

2. La formule donnant le débit cardiaque est la suivante :

$$\begin{array}{lcl} \text{débit sanguin} & = & \text{rythme cardiaque} \times \text{volume expulsé} \\ (\text{en mL} \cdot \text{min}^{-1}) & & (\text{en B} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{mL} \cdot \text{B}^{-1}). \end{array}$$

Puissance de l'effort	Repos	Effort modéré	Effort intense	Effort maximal
Débit cardiaque (en mL/min)	4 200	15 600	22 400	27 720

3. Entre le repos et l'effort intense, le rythme cardiaque est multiplié par 2,28 ($160/70 = 2,28$).

Entre le repos et l'effort intense, le volume éjecté à chaque contraction est multiplié par 2,33 ($140/60 = 2,33$).

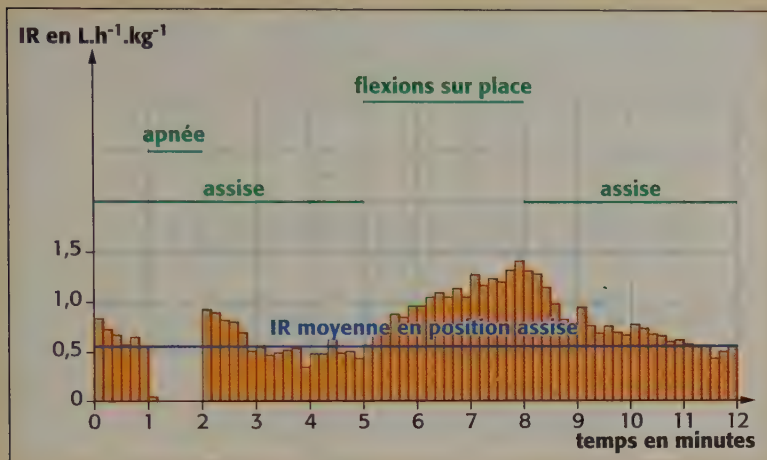
Entre le repos et l'effort intense, le débit cardiaque est multiplié par 5,33 ($22\,400/4\,200 = 5,33$). Cela correspond au produit des deux augmentations : $2,28 \times 2,33 = 5,31$. La petite différence vient du nombre faible de décimales retenues dans les calculs précédents.

6 Analyser une consommation de dioxygène

1. Pour ne pas se tromper de minute, il faut lire avec attention les indications de l'énoncé. Il y a plusieurs façons de figurer l'activité physique de la personne. L'essentiel est que ce soit compréhensible. Voici une représentation qui permet de placer plusieurs indications par phase (voir graphique page suivante). Le trait bleu appartient à la réponse 3.

2. Lors de la première minute, la personne est assise et son IR est bas et en légère baisse. On peut interpréter cette baisse par une adaptation à l'expérience (baisse du stress). Lors de l'apnée, la personne a une consommation de dioxygène nulle car elle interrompt ses mouvements de ventilation. Dans la minute qui suit, la consommation de dioxygène est supérieure au rythme de base. L'apnée est responsable de la surconsommation d'O₂ lors de cette 3^e minute. On peut l'interpréter comme un réapprovisionnement de l'organisme en dioxygène suite à l'arrêt d'entrée de ce gaz dans le corps lors de la deuxième minute. En effet, le fonctionnement de l'organisme ne s'est pas interrompu lors de l'apnée et l'a appauvri en dioxygène.

Donnez l'interprétation de chaque phase juste après la description.



Lors des 4^e et 5^e minutes, le sujet retrouve une IR caractéristique de la position assise. L'effet de l'apnée est passé.

Lors de l'effort de flexion (6^e, 7^e et 8^e minutes), la consommation de dioxygène est accrue. Les muscles sont plus approvisionnés en dioxygène et le consomment pour produire l'énergie nécessaire à l'effort.

Lors des minutes 9, 10 et 11, la consommation de dioxygène baisse d'abord rapidement, puis lentement. C'est la récupération. Le retour à la consommation normale en position assise est retrouvé lors de la dernière minute.

3. L'intensité respiratoire moyenne en position assise et lors d'une respiration normale s'observe lors des 4^e, 5^e et dernière minutes, ce qui correspond au trait bleu sur le graphique. Lors des autres minutes en position assise, la personne récupère, soit de son apnée, soit de son effort. La première minute est souvent une minute d'adaptation du sujet à son nouvel environnement expérimental et ne peut pas être considérée comme représentative.

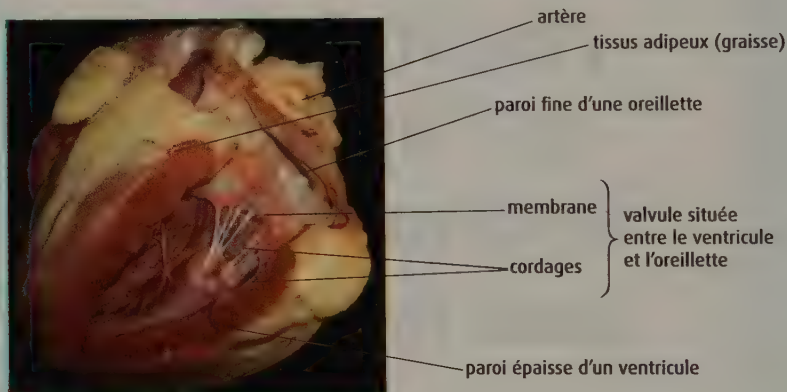
**Couplage entre
l'activité cardio-
respiratoire
et l'apport
de dioxygène
aux muscles**

1 Le cœur propulse le sang dans un seul sens

→ Une dissection du cœur de mouton va permettre de comprendre comment le cœur propulse le sang dans un seul sens.

1 La dissection du cœur de mouton

- Le cœur est composé de 4 cavités, **deux ventricules*** et **deux oreillettes***. Les oreillettes apparaissent comme deux sacs souples et aplatis à la surface du cœur. Les ventricules sont contenus dans la partie massive du cœur.



Doc. 1. Dissection des cavités droites du cœur de mouton.

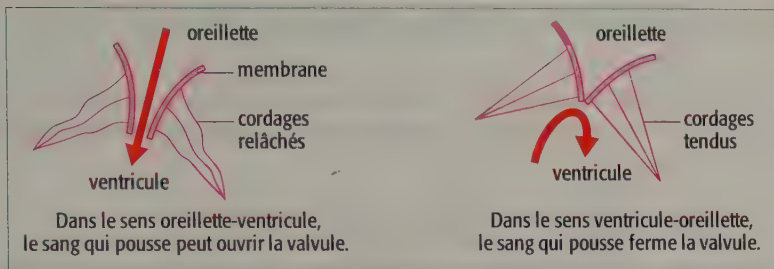
- La photo de dissection du cœur montre les caractéristiques qui permettent au cœur, et en particulier au ventricule, de remplir sa fonction. Ses parois musculaires sont épaisses, ce qui lui permet de propulser le sang avec beaucoup de force. Les valvules orientent la sortie du sang dans un seul sens.

Le ventricule a un rôle majeur dans le fonctionnement cardiaque.

2 Comprendre le fonctionnement des valvules cardiaques

→ Le fonctionnement d'une valvule

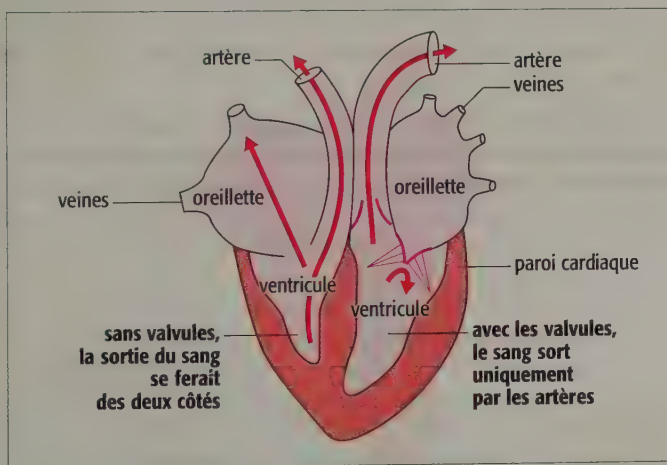
Les **valvules** sont des membranes plus ou moins épaisses, situées de part et d'autre des ventricules cardiaques. Les valvules les plus souples, situées entre les oreillettes et les ventricules, ont des cordages qui leur permettent de ne pas se retourner.



Doc. 2. Le fonctionnement des valvules à cordage.

→ Le rôle des valvules lors de la contraction cardiaque

Sur la figure suivante sont représentées les 4 cavités cardiaques, deux oreillettes et deux ventricules. Le cœur se contracte et se relâche alternativement. Quand le cœur se relâche, le sang entre dans le cœur par une oreillette, puis passe dans le ventricule. La contraction puissante du ventricule va expulser le sang du ventricule. En l'absence de valvules, le sang se dirigerait vers l'artère et l'oreillette (partie gauche du document 3). La présence de valvules oriente le sang vers l'artère (partie droite du document 3).



Doc. 3. Le rôle des valvules dans la circulation du sang.

Bilan : c'est la présence de parois musculaires épaisses qui permet la contraction des ventricules. La structure et la position des valvules orientent le sang dans un seul sens.

2 La double circulation du sang

► Quelle est la raison pour laquelle il y a dans le cœur deux ensembles ventricule-oreillette, alors qu'un seul pourrait faire avancer le sang? Cela vient du fait qu'il y a deux circulations dans notre organisme.

1 Les circulations pulmonaire et générale

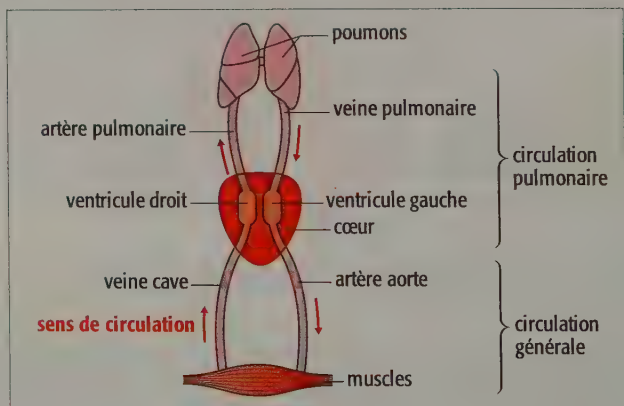
- Le sang apporte aux muscles et autres organes des nutriments et du dioxygène. Il évacue aussi le dioxyde de carbone, déchet de la respiration. Le transport des gaz des poumons aux muscles et des muscles aux organes se fait grâce à deux circulations disposées **en série**, c'est-à-dire dans le prolongement l'une de l'autre.

- La **circulation générale*** consiste en un trajet du cœur à l'ensemble des organes de notre corps, et au trajet retour. Un sang artériel riche en dioxygène irrigue les organes, leur apporte dioxygène et nutriments, et se charge en CO_2 . Le sang veineux qui retourne au cœur est appauvri en dioxygène et enrichi en CO_2 .

- La **circulation pulmonaire*** consiste en un trajet cœur-poumons-cœur. Le sang appauvri en dioxygène et enrichi en CO_2 arrive aux poumons par l'artère pulmonaire. Dans les poumons, il se débarrasse de son CO_2 , se charge en dioxygène, puis retourne au cœur par la veine pulmonaire.

Dans les poumons, le sang devient saturé en dioxygène.

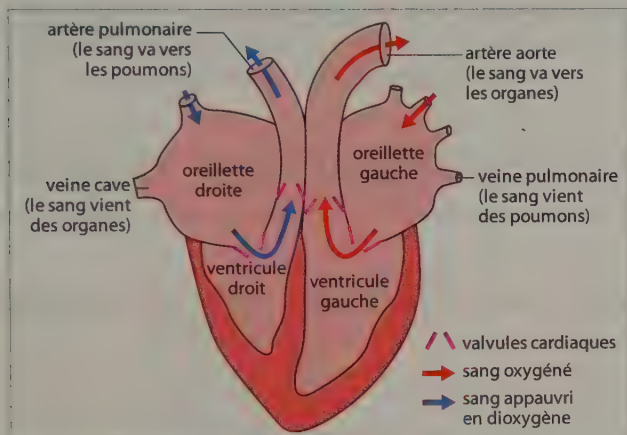
- L'augmentation de la ventilation pulmonaire permet de maintenir dans les poumons un air suffisamment riche en dioxygène pour assurer la saturation du sang, bien que celui-ci circule plus vite dans les poumons lors de l'effort.



Doc. 4. La double circulation.

2 La révolution cardiaque

- La disposition vue sur le document 4 est plus complexe à l'intérieur du cœur. Le sang entre et sort du cœur par la partie supérieure car les orifices d'entrée et de sortie du ventricule sont situés du même côté. Il y a donc deux trajets similaires dans le cœur.



Doc. 5. Le trajet du sang dans le cœur.

- Le **ventricule gauche** est plus gros et plus puissant que le ventricule droit. Cette différence de force des ventricules s'explique par la dissymétrie entre les deux circulations. Le **ventricule droit** propulse le sang aux poumons, proches du cœur et situés presque au même niveau que lui. Le ventricule gauche propulse le sang vers l'ensemble des organes, dont certains sont situés nettement plus haut que le cœur (cerveau).

3 Les conséquences de la disposition en série des deux circulations

La disposition en série des deux circulations oblige la totalité du sang qui revient des organes à aller se recharger en dioxygène dans les poumons et fait que tous les organes recevront ensuite du **sang oxygéné***. La disposition en série impose que les débits des deux circulations soient égaux. Le volume de sang sortant par minute du ventricule droit doit être le même que celui sortant du ventricule gauche.

Les circulations générale et pulmonaire ont un débit identique.

3 L'irrigation préférentielle des muscles lors de l'effort

→ Lors d'un effort, l'approvisionnement accru en nutriments et en dioxygène nécessite une augmentation du **débit sanguin** arrivant aux muscles. Un des facteurs de cette augmentation est l'augmentation du **débit cardiaque**. Il existe une autre façon d'augmenter le débit sanguin traversant les muscles.

1 L'effort modifie le débit sanguin de la plupart des organes

- Voici les débits sanguins dans les différents organes au repos et lors d'un effort modéré.

Débit sanguin en mL.min ⁻¹	Repos	Exercice intense
Cerveau	750	750
Cœur	250	750
Muscle	1200	12500
Peau	500	1900
Rein	1100	600
Abdomen (tube digestif...)	1400	600
Autres	600	400
Total	5800	17500

- On constate que les muscles sont environ dix fois plus irrigués lors de l'effort qu'au repos, ce qui est en accord avec leurs besoins accrus en dioxygène et en nutriments.

- D'autres organes ont leur **débit sanguin augmenté** lors de l'effort :

– le cœur est trois fois plus irrigué qu'au repos. Il ne s'agit pas du sang qui traverse les oreillettes et ventricules mais de l'irrigation des muscles cardiaques. Les vaisseaux qui irriguent le cœur sont appelés les **vaisseaux coronaires*** (document 6). Leur obstruction est à l'origine de l'infarctus du myocarde (crise cardiaque) ;

– la peau est presque quatre fois plus irriguée lors de l'effort qu'au repos. On l'interprète comme un moyen de refroidir le corps. Le sang vient se refroidir en surface et retourne en profondeur rafraîchir les organes.

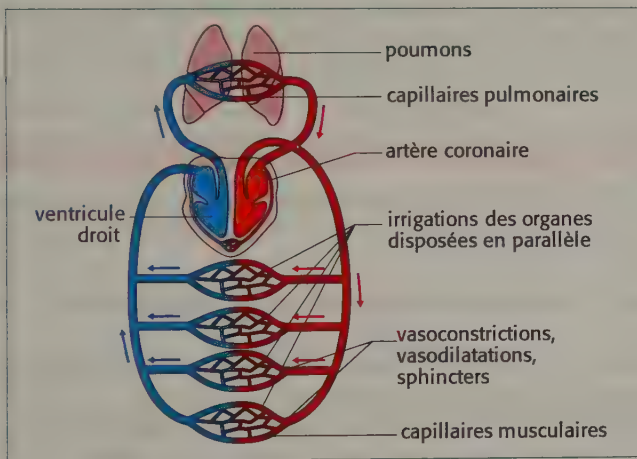
Comme tout organe, le cœur doit être approvisionné en dioxygène et en nutriments.

- Certains organes (reins, tube digestif et d'autres organes non précisés) ont un débit diminué. Ces organes ne sont pas directement utiles à l'effort (**organes non prioritaires**) et notre organisme les met en repos pendant l'effort.
- Le cerveau a un **débit inchangé**. C'est un organe qui ne peut pas être mis au repos.

2 Le mécanisme de la modification des débits des organes

→ La disposition en parallèle de l'irrigation des organes

On a vu que la disposition en série des circulations pulmonaire et générale leur imposait une égalité de débits. Les portions de circulation qui irriguent les organes sont disposées **en parallèle** (document 6), ce qui permet de faire varier les débits selon les organes. Les organes prioritaires pour l'effort voient leur débit sanguin augmenter.



Doc. 6. La disposition en parallèle de l'irrigation des organes.

→ Le mécanisme des variations d'irrigation locale

Les variations de débit dans les organes sont dues à deux mécanismes. Les artéριοles en amont des organes peuvent, sous l'influence du système nerveux, se contracter (**vasoconstriction***), ou se dilater (**vasodilatation***), entraînant ainsi des variations de débit. D'autre part, à l'entrée des **vaisseaux capillaires** (document 6), existent des muscles circulaires (**sphincters***) qui peuvent en se contractant ou en se décontractant, faire varier le diamètre des vaisseaux et le débit. Le fonctionnement des sphincters est indépendant du système nerveux.

Les capillaires sont de fins vaisseaux situés dans les organes.

Méthode

Comparer des valeurs numériques

À SAVOIR : Comment comparer des valeurs numériques ?

La plupart des tableaux ou graphiques que vous étudiez fournissent des valeurs chiffrées et permettent de faire des comparaisons précises.

Les principales opérations à réaliser sur des séries de valeurs numériques sont des calculs d'augmentation, de diminution, des calculs de pourcentages de répartition et de variation.

Dans les tableaux, les valeurs sont directement lisibles, alors que dans les graphiques, il faudra les déterminer soi-même à partir de la courbe. Cela entraînera une petite incertitude que l'on pourra évoquer en utilisant l'adverbe « environ ».

Sujet exemple

Voici les débits sanguins dans les différents organes au repos et lors d'un effort modéré.

Questions :

1. Calculez les pourcentages de répartition du sang dans les différents organes au repos.
2. Calculez les pourcentages de variation de l'irrigation pour chaque organe et pour l'ensemble de l'organisme, lors du passage à l'effort.
3. Calculez les facteurs de variation de l'irrigation pour chaque organe.

Organe	Débit sanguin au repos en mL. min ⁻¹	Débit sanguin en mL. min ⁻¹ lors d'un exercice intense
Cerveau	750	750
Cœur	250	750
Muscle	1 200	12 500
Peau	500	1 900
Reins	1 100	600
Abdomen	1 400	600
Autres	600	400

Calcul 1 : Calcul des pourcentages de répartition

Les pourcentages de répartition d'une série de données se calculent par rapport au total de la série. Par exemple, si on veut connaître le pourcentage de garçons dans une classe, il faut connaître le nombre de garçons, mais aussi le nombre total d'élèves de la classe.

S'il y a 20 garçons dans une classe de 30 élèves, on pose que les deux rapports suivants sont égaux :

$$\frac{20 \text{ (effectif des garçons)}}{30 \text{ (effectif total)}} = \frac{P}{100} \quad \text{où } p \text{ est le pourcentage à trouver.}$$

On en déduit que $p = \frac{20 \times 100}{30} = 66,66$; le pourcentage 66,66 %.

Il y a donc 66,66 % garçons dans cette classe, ou encore plus simplement 66 %.
On voit que calculer un pourcentage est une application de la règle de trois.

Étape 1 : Déterminer le total des valeurs de la série de données

La somme des débits sanguins par organe donne le débit total (ou débit cardiaque) qui est de 5 800 mL. min⁻¹.

Étape 2 : Utiliser la formule de calcul des pourcentages

Pour chaque organe, on posera l'égalité des rapports vue précédemment. Dans le cas du cerveau, on a :

$$\frac{750}{5800} = \frac{p}{100} ; \text{ d'où } p = 12,93 \text{ \%.}$$

Les autres pourcentages se calculent de la même façon et sont les suivants :

Organe	Répartition du débit sanguin au repos
Cerveau	12,93 %
Cœur	4,31 %
Muscle	20,68 %
Peau	8,62 %
Reins	18,96 %
Abdomen	24,13 %
Autres	10,34 %
Total	99,97 %

Un bon test de validité des calculs de pourcentages est d'en faire la somme qui doit être égale ou très voisine de 100 %. Ici, la somme fait seulement 99,97 car on a limité les pourcentages à deux décimales après la virgule.

Calcul 2 : Calcul des pourcentages de variation de l'irrigation

Il s'agit maintenant de calculer le pourcentage de variation (d'augmentation ou de diminution) entre une valeur initiale (de départ) et une valeur finale (d'arrivée). La formule est la suivante :

$$\text{pourcentage} = \frac{(\text{valeur finale} - \text{valeur de départ}) \times 100}{(\text{valeur de départ})}$$

Si le pourcentage est positif, c'est un pourcentage d'augmentation; s'il est négatif, c'est un pourcentage de diminution.

Étape 1 : Déterminer les valeurs de départ et les valeurs finales

Les valeurs initiales sont celles du repos et les valeurs finales celles de l'effort. Pour l'ensemble de l'organisme, on trouve au repos 5 800 mL. min⁻¹, et pour l'effort 17 500 mL. min⁻¹.

Étape 2 : Utiliser la formule de calcul des pourcentages

La formule appliquée au cœur donne :

$$\text{pourcentage} = \frac{(750 - 250) \times 100}{250} = 200$$

Lors du passage du repos à l'effort, l'irrigation du cœur a augmenté de 200 %. C'est une augmentation car le pourcentage de variation est positif.

La formule appliquée aux reins donne :
$$\frac{(600 - 1\,100) \times 100}{1\,100} = -45,45.$$

C'est une diminution car le pourcentage de variation est négatif. Lors du passage du repos à l'effort, l'irrigation du cœur a diminué de 45,45 %.

Le même calcul appliqué aux autres organes donne les résultats suivants.

Organe	Pourcentages d'augmentation et de diminution de l'irrigation des organes
Cerveau	0 % : pas de changement
Cœur	200 % : augmentation de 200 %
Muscle	941,66 % : augmentation de 941,66 %
Peau	280 % : augmentation de 280 %
Reins	- 45,45 % : diminution de 45,45 %
Abdomen	- 57,14 % : diminution de 57,14 %

Organe

Pourcentages d'augmentation et de diminution de l'irrigation des organes

Autres	- 33,33 % : diminution de 33,33 %
Ensemble de l'organisme	201,7 % : augmentation de 201,7 %

Calcul 3 : Calcul des facteurs de variation de l'irrigation

Il est rare qu'un paramètre étudié reste constant. Le plus souvent, il augmente ou diminue. Pour connaître le facteur de variation (aussi appelé coefficient multiplicateur), il suffit de faire le rapport entre la valeur finale et la valeur initiale. Si le rapport est supérieur à 1, le paramètre a augmenté. S'il est inférieur à 1, le paramètre a diminué.

$$\text{facteur de variation} = \frac{\text{valeur finale}}{\text{valeur de départ}}$$

Étape 1 : Déterminer les valeurs de départ et les valeurs finales

Les valeurs initiales sont celles du repos et les valeurs finales celles de l'effort. Pour l'ensemble de l'organisme, on trouve au repos 5 800 mL · min⁻¹, et pour l'effort 17 500 mL · min⁻¹.

Étape 2 : Utiliser la formule de calcul des facteurs de variation

Pour chaque organe, on divisera la valeur du débit lors de l'effort par la valeur au repos. Ainsi, pour le cœur, on aura 750 / 250 = 3. Le cœur a une irrigation multipliée par 3 entre le repos et l'effort.

Les facteurs de variations de l'irrigation des organes entre le repos et l'effort sont les suivants :

Organe

Facteur de variation du débit sanguin

Cerveau	1 (sans changement)
Cœur	3 (augmentation)
Muscle	10,41 (augmentation)
Peau	3,8 (augmentation)
Reins	0,54 (diminution)
Abdomen	0,42 (diminution)
Autres	0,66 (diminution)

Les difficultés liées à l'emploi des pourcentages

L'utilisation des pourcentages est délicate et souvent source de confusions et d'erreurs.

Ainsi, lorsque l'on dit qu'une valeur a augmenté de 100 %, c'est qu'elle vaut 200 % de la valeur de départ. On peut aussi dire que la valeur a été multipliée par 2.

Avec les pourcentages, une augmentation n'est pas équivalente à une diminution.

Par exemple, si un cœur qui bat à 60 pulsations par minute voit son rythme augmenter de 100 %, il atteindra 120 B/min.

Si le même cœur revient à un rythme de 60 B/min, son rythme n'aura pas baissé de 100 %, mais de 50 %.

L'explication de ce paradoxe vient du fait que lors du ralentissement cardiaque, la valeur initiale est maintenant 120 et la valeur finale 60 $[(60-120)100/120 = -50]$.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

➔ corrigé p. 112

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Lors d'un effort :

- ☐ a. le débit sanguin augmente dans tous les organes ;
- ☐ b. certains organes ont un débit sanguin inchangé ;
- ☐ c. le cœur est 3 fois plus irrigué qu'au repos.

2. Les circulations pulmonaire et générale :

- ☐ a. sont disposées en parallèle ;
- ☐ b. ont des débits sanguins différents ;
- ☐ c. ont des débits différents lors de l'effort.

3. Lors d'un effort :

- ☐ a. le volume de sang expulsé à chaque contraction augmente ;
- ☐ b. le débit sanguin traversant les poumons augmente ;
- ☐ c. le débit sanguin traversant le cœur augmente.

4. Le ventricule gauche :

- ☐ a. est situé du côté droit du cœur ;
- ☐ b. est plus puissant que le ventricule droit ;
- ☐ c. reçoit du sang directement de l'oreillette droite.

5. Les valvules :

- ☐ a. propulsent le sang grâce à leurs battements ;
- ☐ b. orientent le sang dans un seul sens ;
- ☐ c. sont situées à l'entrée et à la sortie des ventricules.

6. La circulation pulmonaire :

- ☐ a. correspond au trajet du sang du cœur aux poumons ;
- ☐ b. permet la saturation du sang en nutriments ;
- ☐ c. sert à irriguer les poumons.

7. La circulation coronaire :

- ☐ a. correspond au sang qui traverse les cavités cardiaques ;
- ☐ b. sert à irriguer le muscle cardiaque ;
- ☐ c. a un débit qui augmente lors de l'effort.

Appliquez la méthode

2 Comparer des valeurs numériques

➔ corrigé p. 112

On a mesuré la fréquence cardiaque maximale moyenne que l'organisme est capable d'atteindre lors d'un effort intense, chez de nombreux sujets d'âges différents. On a constaté que cette fréquence maximale obéit à la loi suivante : fréquence maximale = $220 - \text{âge}$. La fréquence maximale est exprimée en battements par minute et l'âge en années.

Questions :

1. Calculez le pourcentage de variation de la fréquence maximale chez un individu entre 20 et 70 ans.
2. Calculez le facteur de variation de la fréquence maximale chez un individu entre 20 et 70 ans.

Autres applications de cette méthode

- La planète Terre et son environnement p. 64
- L'organisme en fonctionnement p. 90, 111

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 113

★ La propulsion du sang par le cœur

Question :

Indiquez comment le cœur peut, par ses contractions, propulser le sang dans un seul sens.

Votre exposé sera composé d'une phrase introductive, de deux parties numérotées et de schémas. **Le texte ne doit pas dépasser 10 lignes.**

4 Exploitation de documents

➔ corrigé p. 114

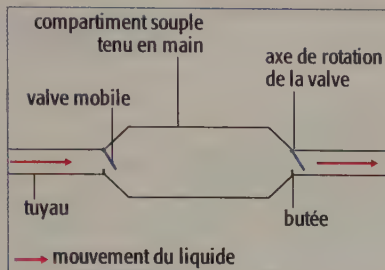
★★ Une modélisation du ventricule

Une modélisation est une représentation simplifiée de la réalité. On cherche à modéliser le fonctionnement du ventricule à l'aide d'une pompe manuelle d'aquarium.

La pompe consiste en un compartiment délimité par deux valves et auquel sont reliés deux tuyaux. La pression exercée par la main sur le compartiment souple permet de faire avancer le liquide (généralement de l'eau) dans un seul sens. Les éléments de cette pompe figurent sur le schéma ci-contre.

Questions :

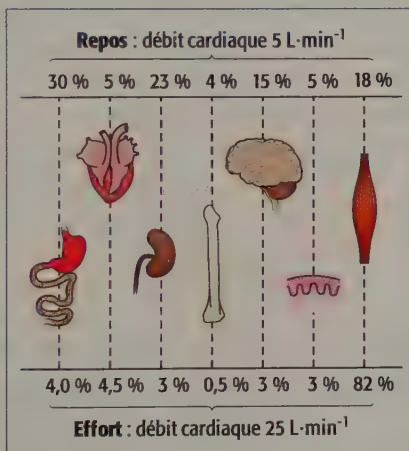
1. Faites deux schémas montrant le fonctionnement de la pompe.
2. Comparez cette pompe à un ventricule en montrant que l'on retrouve dans la pompe tous les éléments du ventricule cardiaque.

**5 Exploitation de documents****★★ Les débits sanguins lors d'un effort**

→ méthode p. 104

→ corrigé p. 115

La représentation ci-dessous vous indique l'irrigation de différents organes chez un homme lors de deux activités physiques, en haut, le repos et en bas, un exercice physique intense. Les organes représentés sont de gauche à droite, le tube digestif, la paroi cardiaque, les reins, les os, le cerveau, la peau et les muscles.

**Questions :**

1. Calculez les débits sanguins qui irriguent ces différents organes en mL·min⁻¹.
2. Classez les organes selon les changements de leurs débits sanguins entre le repos et l'effort.
3. Quels sont les facteurs de variation des organes dont l'irrigation augmente ?
4. Pourquoi, lors du passage du repos à l'effort, certains organes ont une irrigation qui baisse ?

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b; 2. aucune bonne affirmation; 3. a, b et c; 4. b; 5. b et c; 6. aucune bonne affirmation; 7. b et c.

Appliquez la méthode

2 Comparer des valeurs numériques

1. Calcul du pourcentage de variation de la fréquence cardiaque maximale

• Étape 1 : Déterminer les valeurs initiale et finale

La valeur initiale est celle calculée à 20 ans. Elle vaut $220 - 20 = 200$ B/min.

La valeur finale est celle calculée à 70 ans. Elle vaut $220 - 70 = 150$ B/min.

Entre 20 et 70 ans, la fréquence cardiaque maximale a baissé. Le pourcentage sera un pourcentage de diminution.

• Étape 2 : Utiliser la formule de calcul des pourcentages

La formule utilisée est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{pourcentage} &= \frac{(\text{valeur finale} - \text{valeur de départ}) \times 100}{\text{valeur de départ}} \\ &= \frac{(150 - 200) \times 100}{200} = -25. \end{aligned}$$

Entre 20 et 70 ans, la fréquence cardiaque maximale baisse de 25 %.

2. Calcul du facteur de variation de la fréquence cardiaque maximale

• Étape 1 : Déterminer les valeurs de départ et les valeurs finales

Ces valeurs ont été déterminées à la question précédente. Entre 20 et 70 ans, la fréquence cardiaque maximale est passée de 200 à 150 B/min. Le facteur de variation sera donc un facteur de diminution.

• Étape 2 : Utiliser la formule de calcul des facteurs d'augmentation ou de diminution

On divise la valeur finale par la valeur initiale. On trouve $150/200 = 0,75$.

Entre 20 et 70 ans, la fréquence cardiaque maximale a été multipliée par 0,75. Elle a été réduite aux trois-quarts de sa valeur initiale.

Exercices d'entraînement

3 La propulsion du sang par le cœur

Introduction

Le cœur est un muscle creux qui propulse le sang par ses contractions. Le sang arrive au cœur par les veines et est expulsé dans les artères par les contractions puissantes des ventricules. Nous allons expliquer la raison pour laquelle le sang ne retourne pas dans les veines lors de la contraction cardiaque.

L'introduction pose un problème et annonce sa résolution. La conclusion résume l'exposé.

1. La contraction du cœur provoque l'éjection du sang

Le cœur est formé de cavités limitées par une paroi musculaire épaisse. Le sang passe deux fois dans le cœur et à chaque fois, traverse principalement un ventricule, dont la contraction produit l'éjection du sang. Comme chaque ventricule a deux orifices, le sang devrait sortir des deux côtés. Il n'en est rien à cause de l'existence de valvules (voir figure 1).

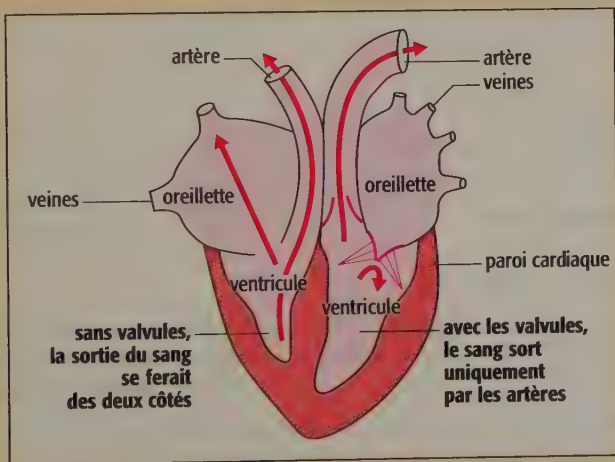


Fig. 1. Le rôle des valvules dans la circulation du sang.

2. La structure des valvules oriente la circulation du sang dans un seul sens

Les valvules sont des membranes qui ne laissent passer le sang que dans un sens. Il en existe 4 dans le cœur, de formes variées. Les valvules situées entre l'oreillette et le ventricule sont constituées de membranes souples, sur lesquelles sont fixés des filaments, appelés cordages. Ceux-ci retiennent les valvules et les empêchent de se retourner vers les oreillettes. Ainsi, le sang ne peut pas retourner vers les oreillettes.

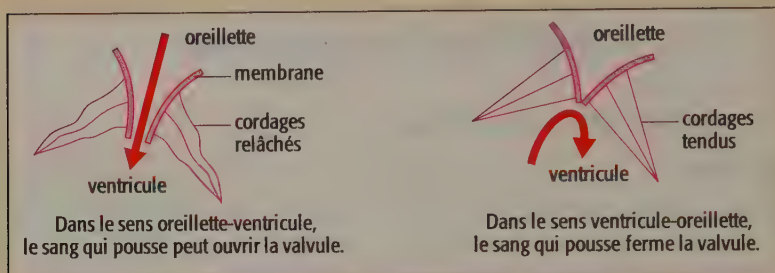


Fig. 2. Le fonctionnement des valvules à cordage.

Conclusion

Par la contraction de ses ventricules, le cœur expulse le sang. La présence des valvules oriente la sortie du sang dans un seul sens. Les valvules les plus souples sont retenues par des cordages insérés sur la paroi cardiaque, ce qui les empêche de se retourner.

4 Une modélisation du ventricule

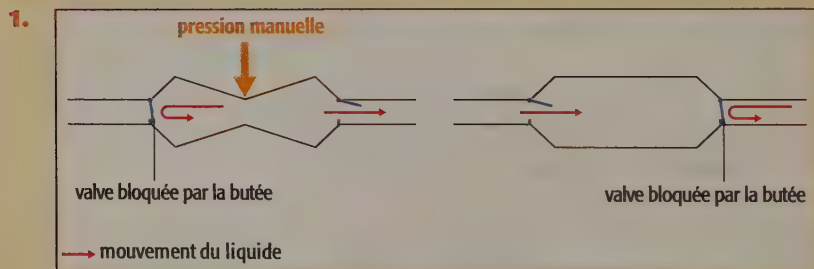


Schéma 1. Pompe comprimée :
la structure des valves ne permet la sortie du liquide que dans un seul sens.

Schéma 2. Pompe relâchée :
la structure des valves ne permet l'entrée du liquide que dans un seul sens.

2. On retrouve dans cette pompe tous les éléments du ventricule.

La paroi épaisse et musclée est représentée par la main de la personne qui comprime la pompe. Les valvules cardiaques sont représentées par les valves. Ces valves ne peuvent pas se retourner dans l'autre sens à cause des butées qui ont le même rôle que les cordages que présentent certaines valvules cardiaques.

Pensez à tous les éléments qui permettent au ventricule d'accomplir sa tâche.

5 Les débits sanguins lors d'un effort

1. L'énoncé donne les débits totaux pour le repos et pour l'effort, ainsi que les pourcentages de répartition des débits dans les différents organes. L'application de la formule du pourcentage de répartition donne pour le cœur au repos :

$$\frac{\text{débit du cœur}}{\text{débit total}} = \frac{p}{100}$$

Le débit total est au repos de $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ et p vaut 5 %. Le débit dans le cœur (dans les vaisseaux coronaires) au repos vaut donc :

$$\text{débit du cœur} = \frac{5 \times 5}{100} = 0,25 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} = 0,250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$$

Le même calcul appliqué aux autres organes donne les résultats suivants.

Organe	Débit sanguin au repos en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$	Débit sanguin en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ lors d'un exercice intense
Tube digestif	1 500	1 000
Cœur	250	1 125
Reins	1 150	750
Os	200	125
Cerveau	750	750
Peau	250	750
Muscle	900	20 500
Total	5 000	25 000

2. Certains organes ont leur débit sanguin qui augmente : ce sont les muscles, la peau et le cœur. Certains organes ont un débit sanguin qui baisse : ce sont le tube digestif, les reins et les os. Un seul organe a un débit sanguin inchangé : le cerveau.

3. Le facteur de variation se détermine en divisant la valeur finale par la valeur initiale.

Pour les muscles, on trouve $\frac{20\,500}{900} = 22,77$.

L'irrigation des muscles est donc multipliée par 22,77 lors d'un effort intense. Lors du même effort, l'irrigation du cœur (coronaires) est multipliée par 4,5 et celle de la peau par 3.

4. Les organes dont l'irrigation augmente sont ceux qui sont directement utiles à l'effort. Le débit sanguin est multiplié par 5 ($25\,000 / 5\,000 = 5$) lors de l'effort mais cela ne suffit pas à expliquer la forte augmentation du débit sanguin dans les muscle (multiplication par 22,77). C'est la raison pour laquelle certains organes non directement utiles à l'effort ont leur irrigation qui baisse. Le sang est dévié de ces organes vers les organes qui en ont le plus besoin. L'irrigation du cerveau ne peut pas baisser car c'est un organe qui doit fonctionner en permanence.

Comparez l'augmentation du débit cardiaque à celle du débit sanguin dans le muscle.

**L'intégration
des fonctions
dans l'organisme
au cours
de l'activité
physique**

1 Le fonctionnement automatique du cœur est modulé par le système nerveux

→ Des expériences historiques, réalisées sur des animaux au XIX^e siècle, ont permis de comprendre ce qui détermine le fonctionnement cardiaque chez les mammifères.

1 Analyse d'expériences historiques

Le cœur des mammifères est innervé par 4 nerfs : deux **nerfs orthosympathiques*** (OS) et deux **nerfs parasymphathiques*** (PS). Pour étudier le rôle de ces nerfs, on réalise différentes expériences de section de ces nerfs.

→ Expérience 1

- On sectionne les deux OS chez un chien normal : le rythme cardiaque, qui était normalement de 85 pulsations par minute (au repos), passe à 60 pulsations par minute.
- Si ce chien fait un effort, son rythme cardiaque augmente très peu, moins que chez un chien normal.

Interprétation

- La section des deux nerfs OS ralentit le rythme cardiaque. On en déduit que les nerfs orthosympathiques ont pour rôle d'accélérer le rythme cardiaque. On les appelle ainsi des **nerfs cardio-accélérateurs***.
- Un chien qui a les deux nerfs OS sectionnés a un rythme cardiaque qui augmente peu lors d'un effort. La section réalisée empêche donc les deux OS d'accomplir leur **fonction cardio-accélétratrice**.

→ Expérience 2

- On sectionne les deux PS chez un chien normal : le rythme cardiaque passe de 85 à 135 pulsations par minute.
- Si ce chien fait un effort intense, son rythme cardiaque augmente et peut atteindre 180 pulsations par minute mais il redescend très lentement après l'effort (beaucoup plus lentement que chez un chien normal).

Interprétation

- Suite à la section des deux nerfs PS, le rythme cardiaque du chien a accéléré. On en déduit que les nerfs parasymphathiques ont pour rôle de ralentir le rythme cardiaque. On les appelle ainsi des **nerfs cardio-modérateurs***.
- Les nerfs cardio-modérateurs sectionnés ne peuvent pas agir pour ralentir le rythme cardiaque après l'effort.

→ **Expérience 3**

On sectionne les 4 nerfs cardiaques chez un chien normal : le rythme passe de 85 à 120 pulsations par minute.

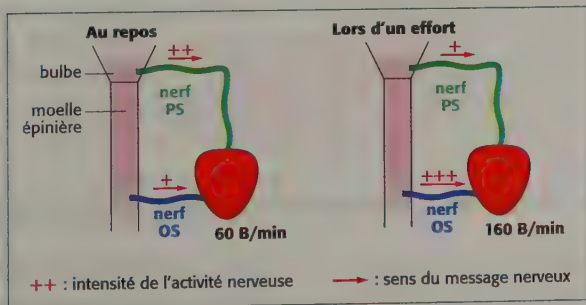
Interprétation

Cette dernière expérience permet deux déductions.

1. Même lorsque les 4 nerfs cardiaques sont sectionnés, le cœur continue à battre. Le cœur est un muscle qui se contracte spontanément. On dit qu'il est donc doué d'**automatisme**.
2. Lorsque les 4 nerfs sont sectionnés, on a supprimé l'action modératrice des PS et l'action accélératrice des OS. Or le cœur bat plus vite que lorsque les nerfs sont intacts. On en déduit donc qu'au repos, les PS ont une action modératrice supérieure à l'action accélératrice de OS.

2 Bilan : le système nerveux module le fonctionnement automatique du cœur

- Sans innervation, le cœur humain bat à un rythme automatique voisin de 100 battements par minute. C'est la situation d'un greffé du cœur. L'autonomie du cœur signifie que la commande des contractions est localisée dans cet organe. Les nerfs cardiaques, issus de **centre nerveux*** bulbaires, ne font que moduler cette activité automatique.
- Lorsque l'organisme est au repos, l'activité des nerfs parasympathiques est supérieure à celle des nerfs orthosympathiques. Le cœur a un rythme compris entre 60 et 70 B.min⁻¹, inférieur à son **rythme automatique**.
- Lors d'un effort, les orthosympathiques augmentent leur activité et les parasympathiques diminuent la leur. Il en résulte une accélération cardiaque. Le rythme cardiaque et le **volume d'éjection systolique** augmentent, produisant une augmentation de débit sanguin.



Doc. 1. La modulation de l'activité cardiaque par le système nerveux.

2 L'activité rythmique des muscles respiratoires est commandée par le système nerveux

→ Les mouvements respiratoires consistent en une succession d'**inspirations** et d'**expirations**. Les muscles respiratoires (diaphragme, muscles intercostaux) permettent ces mouvements. La contraction des muscles respiratoires entraîne l'inspiration, alors que l'expiration (non forcée) est un phénomène passif.

On cherche à connaître ce qui détermine les **mouvements respiratoires**.

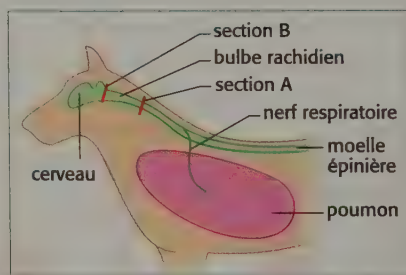
1 Observation et expériences

→ Observation très simple que l'on peut pratiquer en classe

- Le professeur demande à un élève d'accélérer son rythme respiratoire. L'élève le fait, ce que toute la classe peut constater. Au bout de 30 secondes, le professeur demande à l'élève de reprendre son rythme normal, ce qu'il fait aussitôt.
- Cette expérience permet de constater que les muscles respiratoires ne fonctionnent pas comme le muscle cardiaque. Il est possible de modifier son rythme respiratoire volontairement alors que c'est impossible pour le rythme cardiaque.

→ Expériences de section (réalisées au XIX^e siècle)

- Les poumons, le système nerveux et les nerfs respiratoires sont représentés sur le document 2.



Doc. 2. Emplacement des sections expérimentales chez le chien.

- Expérience 1.** Section entre le cerveau et le bulbe (section B) : l'animal est paralysé (il n'a plus aucun mouvement volontaire car le siège de la volonté se trouve dans le cerveau) mais il continue à ventiler. Il peut survivre assez longtemps (plusieurs mois).

Interprétation

Les conséquences de la section B de la figure montrent que le cerveau n'est pas nécessaire à la respiration.

- **Expérience 2.** Section entre le bulbe et la moelle épinière (section A) : la ventilation pulmonaire est arrêtée et l'animal meurt rapidement.

Interprétation

Les conséquences de la section A montrent que le bulbe est indispensable à la respiration. On peut faire l'hypothèse que les messages nerveux à destination des muscles respiratoires partent du bulbe.

→ Observation de lésions accidentelles chez l'Homme

- Si, à la suite d'un accident, le cerveau est détruit, mais que le bulbe et la moelle épinière sont intacts, la personne est dans le coma mais ses mouvements respiratoires ne sont pas interrompus.
- Si le bulbe est détruit, ou que ses connexions avec les muscles respiratoires sont détruites, les mouvements respiratoires disparaissent. Pour survivre, la personne doit être placée en respiration artificielle.

2 Bilan : le système nerveux commande l'activité des muscles respiratoires

- La contraction des muscles respiratoires n'est pas automatique. Elle nécessite une commande nerveuse. C'est au niveau du bulbe que sont élaborés les messages nerveux qui produisent l'inspiration et l'expiration. L'activité rythmique du **centre respiratoire*** bulbaire est **automatique**.
- Les muscles respiratoires sont les muscles intercostaux, innervés par les nerfs intercostaux et le diaphragme, innervé par le nerf phrénique (voir document 3 page 123). Au repos, le **bulbe rachidien*** envoie des **messages nerveux** responsable de mouvements respiratoires à un rythme lent. Lors d'un effort, le bulbe rachidien* envoie des messages aux muscles respiratoires qui se contractent avec une fréquence et une amplitude plus grandes, ce qui permet d'augmenter le **débit ventilatoire**.
- Les mouvements respiratoires sont involontaires. Ils peuvent être modifiés involontairement par le système nerveux. Ils peuvent aussi être modifiés volontairement.

3 La coordination des réactions cardiaque et respiratoire

→ C'est le système nerveux, et plus précisément le **cortex cérébral***, qui permet les mouvements que l'on produit lors d'un effort. Les muscles, qui mettent en mouvement notre corps (**muscles squelettiques**), nécessitent en effet une commande nerveuse pour se contracter. C'est aussi le système nerveux qui module les rythmes cardiaque et respiratoire. Le système nerveux doit donc coordonner les messages qu'il envoie aux différents organes qui interviennent lors d'un effort.

1 Les réactions cardiaque et respiratoire à l'effort sont simultanées

- Lors d'un effort, les cellules musculaires ont besoin de plus d'oxygène pour produire l'énergie nécessaire. Sous l'influence du système nerveux, les rythmes cardiaque et respiratoire accélèrent simultanément. Le cœur est soumis à l'influence **cardio-accélétratrice** grandissante des nerfs orthosympathiques et les muscles respiratoires accélèrent leur rythme et leur amplitude de contraction sous l'influence des nerfs phréniques et intercostaux. Il en résulte une augmentation des débits cardiaque et ventilatoire. Plus d'air passe dans les poumons, ce qui assure la saturation du sang artériel en dioxygène malgré que le sang circule plus vite dans les poumons. C'est un sang **saturé** en dioxygène qui arrive aux muscles avec un débit plus rapide.
- Les réactions cardiaque et respiratoire permettent d'assurer un approvisionnement en O_2 et nutriments des muscles. En ce qui concerne le dioxygène, c'est la **saturation du sang** dans les artères qui est visée. Le sang doit toujours rester saturé en dioxygène. Pour cela, les débits cardiaque et ventilatoire augmentent.

2 Le système nerveux assure la coordination des réactions cardiaque et respiratoire

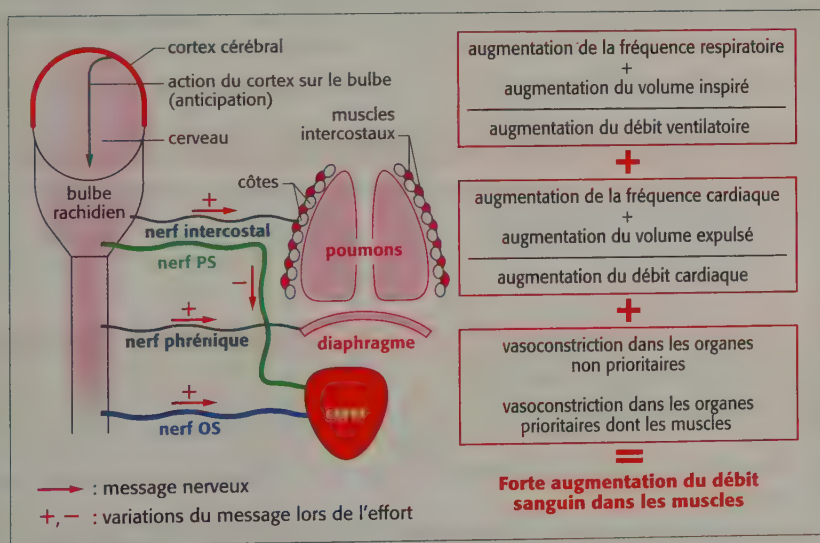
- Les réactions cardiaque et respiratoire doivent être coordonnées. L'augmentation du débit cardiaque n'aurait aucun intérêt si le rythme respiratoire n'augmentait pas, et inversement.
- Cette **coordination** intervient en permanence. Au repos comme lors de l'effort, les rythmes cardiaque et respiratoire sont adaptés aux besoins de l'organisme.
- C'est le système nerveux qui assure cette coordination. En effet, ce sont les messages nerveux parcourant les nerfs qui modifient les rythmes cardiaque et respiratoire. C'est

aussi le système nerveux qui intervient sur la contraction des artérioles pour modifier les débits dans les organes. En revanche, l'ouverture ou la fermeture des sphincters (voir page 103) ne dépendent pas du système nerveux.

- On appelle **intégration** la coordination des réactions de plusieurs organes pour répondre à un besoin particulier. C'est le système nerveux, et plus précisément le bulbe rachidien, qui assure cette intégration lors de l'effort. On qualifie le centre bulbaire de **centre intégrateur***.

- D'autres zones du cerveau que le **bulbe rachidien** peuvent intervenir pour modifier les rythmes respiratoire et cardiaque. Les mouvements respiratoires volontaires (inspiration et expiration forcées, modifications volontaires de rythme, l'arrêt total ou apnée) sont commandés par le **cortex**, à l'origine de nos mouvements volontaires. L'accélération des rythmes respiratoire et cardiaque avant un effort violent (course) est appelée **anticipation**. Son origine est également dans le cortex.

- Enfin, il existe un aspect chimique de la modification de la fonction cardio-respiratoire. Un cœur dénervé, par exemple celui des greffés du cœur, peut légèrement accélérer sa fréquence lors d'un effort. C'est dû à la sécrétion d'**adrénaline** par des glandes situées sur les reins : les glandes médullosurrénales.



Doc. 3. La coordination des réactions cardiaque et respiratoire lors de l'effort.

Méthode

Réaliser un schéma fonctionnel

À SAVOIR : Qu'est-ce qu'un schéma fonctionnel ?

Un schéma fonctionnel est une représentation des liens et des influences qui existent entre différents acteurs d'un phénomène global. On utilise le plus souvent cette expression pour des schémas représentant le fonctionnement interne des organismes. Il y a, par exemple, dans les rappels de cours de ce chapitre plusieurs schémas fonctionnels représentant les liens et les influences qui existent entre le système nerveux, le cœur et les poumons lors de l'adaptation à l'effort. Mais on peut aussi représenter des phénomènes non biologiques. Le cycle du carbone de la page 53 est aussi un schéma fonctionnel.

Un schéma fonctionnel représente les organes de manière simplifiée ou parfois même abstraite. On peut, par exemple, représenter le cœur par un triangle et le nerf par des lignes. Si on a plusieurs organes, on peut les représenter par des carrés ou des rectangles.

Les relations entre les organes sont représentées par des flèches. Les déplacements de substance également. Il y aura donc plusieurs types de flèches que l'on peut différencier par la couleur. Les différences d'épaisseur seront plutôt réservées aux différences de valeurs, comme par exemple les différences de débit sanguin.

Sujet exemple

Question : Représentez par un schéma fonctionnel l'action du système nerveux sur le cœur lors du passage du repos à l'effort.

Étape 1 : Identifier les acteurs du phénomène

- Quel est le phénomène à représenter ?
- Quels sont les acteurs du phénomène ?

- Le phénomène à représenter est l'action du système nerveux sur le système circulatoire lors du passage du repos à l'effort.
- Le cœur est simple à représenter, mais il faudra aussi trouver un moyen de représenter le débit cardiaque. Les parties du système nerveux qui interviennent lors d'un effort sont surtout les nerfs et le bulbe rachidien. On peut y ajouter le cortex si l'on souhaite parler de l'anticipation de l'effort (facultatif).

Étape 2 : Identifier les liens entre les acteurs et la façon de les représenter

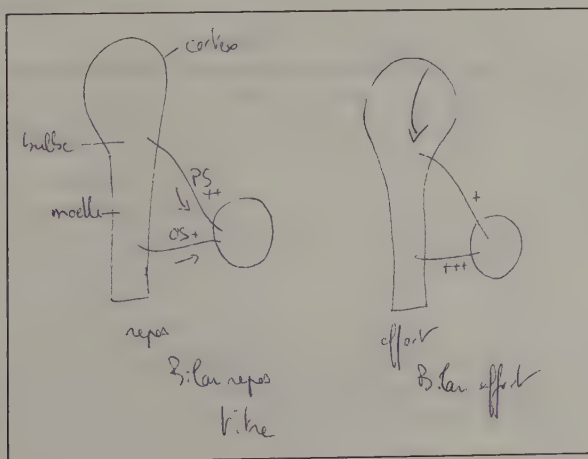
- Quels sont les liens, les relations qui interviennent entre les organes impliqués dans le phénomène à représenter ? Comment les organes s'influencent-ils ? Par des messages nerveux ? Par des hormones ?
- Comment représenter ces relations entre organes ?

- Les relations entre le cœur et les centres nerveux sont les nerfs qui transmettent les messages nerveux du bulbe au cœur.
- On pourra représenter les nerfs par des lignes courbes. Le sens du message sera indiqué par une flèche et l'intensité du message par un nombre variable de +.

Étape 3 : Esquisser une représentation au brouillon

- Un schéma fonctionnel étant assez complexe et long à dessiner, il serait dommage de le commencer directement au propre, de le rater et de devoir recommencer. Il est donc fortement conseillé d'en élaborer une version simplifiée au brouillon. Cela permet, par exemple, de vérifier que le placement des organes n'entraînera pas de croisements de nerfs.
- Cela permet aussi de vérifier s'il vaut mieux faire un ou deux schémas pour représenter une variation de la situation (par exemple au repos et lors d'un effort).
- Cette représentation au brouillon peut éventuellement être commencée dès l'étape 1 et poursuivie ensuite.

- La représentation de l'action du système nerveux sur le cœur étant assez simple, on pourra réaliser deux schémas : l'un au repos et l'autre lors de l'effort.
- Voici un exemple de la version brouillon du schéma fonctionnel.



Étape 4 : Construire une représentation claire, complète et soignée

- La représentation au brouillon est une base solide pour élaborer une représentation qui n'aura pas à être recommencée. On peut donc faire des traits fermes et mettre des couleurs, par exemple avec un stylo à plusieurs couleurs.
- Il ne faudra pas oublier les légendes et le titre. Le schéma doit pouvoir être compris par le lecteur sans texte associé.

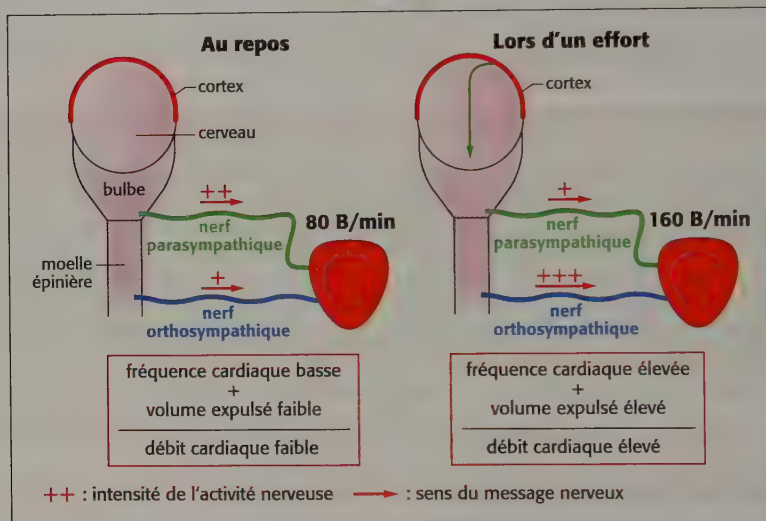


Schéma fonctionnel
La modulation de l'activité cardiaque par le système nerveux

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

 corrigé p. 132

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Le cœur d'un mammifère bat :

- ☐ a. au même rythme quelle que soit son innervation ;
- ☐ b. plus vite sans innervation ;
- ☐ c. moins vite lors d'un effort.

2. La section des nerfs orthosympathiques cardiaques :

- ☐ a. ralentit le rythme cardiaque ;
- ☐ b. n'a pas d'effet chez l'Homme ;
- ☐ c. n'a pas d'effet si les nerfs parasympathiques ne sont pas sectionnés.

3. Les organes à fonctionnement automatique sont :

- ☐ a. le cœur et les poumons ;
- ☐ b. des organes dont le fonctionnement ne nécessite pas le système nerveux ;
- ☐ c. les organes qui réagissent automatiquement à l'effort.

4. Le système nerveux :

- ☐ a. module le fonctionnement automatique du cœur ;
- ☐ b. module le fonctionnement automatique des muscles respiratoires ;
- ☐ c. n'intervient pas lors d'un effort modéré.

5. Lors d'un effort :

- ☐ a. le système nerveux coordonne les réactions cardiaque et pulmonaire ;
- ☐ b. le cœur est soumis à l'influence grandissante des nerfs parasympathiques ;
- ☐ c. le débit respiratoire est entièrement déterminé par le système nerveux.

6. Il est possible de modifier :

- ☐ a. son propre rythme respiratoire ;
- ☐ b. son propre rythme cardiaque ;
- ☐ c. son volume ventilé à chaque cycle.

7. Les modifications liées à l'effort :

- ☐ a. ont pour but de permettre la production d'énergie par les muscles ;
- ☐ b. ont pour but d'augmenter la production d'énergie par les muscles ;
- ☐ c. ont pour but d'augmenter le débit sanguin dans les reins et les muscles.

Appliquez la méthode

2 Réaliser un schéma fonctionnel

➔ corrigé p. 132

Question :

Représentez par un schéma fonctionnel l'influence de l'effort sur l'organisme.

Le rôle du système nerveux n'est pas demandé.

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances.

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 133

★ Le déterminisme du fonctionnement cardiaque

Question :

Indiquez par un texte structuré ce qui fait battre votre cœur au repos et lors d'un effort.

On n'attend ni démonstration expérimentale, ni schéma fonctionnel.

4 Exploitation de documents

➔ méthode p. 84 et 88 ➔ corrigé p. 134

★ L'effort chez des chiens dénervés

On a mesuré la fréquence cardiaque de deux chiens lors d'un effort modéré : une course de 8 minutes à 7,4 km/h sur un tapis roulant. L'un des chiens est normal et l'autre a subi une section des 4 nerfs cardiaques (ces nerfs relient le cœur à la moelle épinière et au cerveau). Le cœur est alors totalement isolé du système nerveux. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

L'effort commence à $t = 2$ minutes.

Temps	0 min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chien normal	100	100	100	200	190	195	190	195	200	195	195	140	130	110
	B/min													
Chien dénervé	120	120	120	140	145	140	150	145	145	150	145	140	135	130
	B/min													

Questions :

1. Représentez l'évolution de la fréquence cardiaque chez ces deux chiens sur un même graphique. Indiquez clairement l'effort sur le graphique.

2. Que constate-t-on lors d'un effort chez ces deux chiens (points communs et différences)?

3. Qu'apporte cette expérience à la connaissance du fonctionnement cardiaque?

5 Exploitation de documents

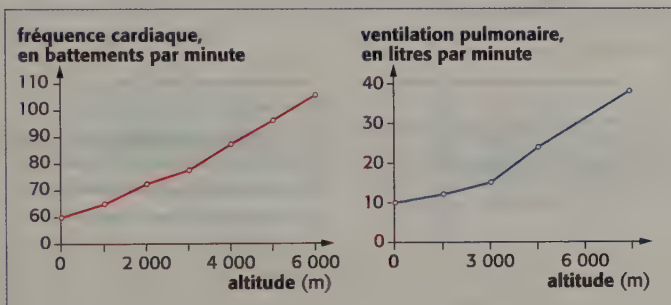
➔ méthode p.38 ➔ corrigé p. 135

★★ Quelques effets de l'altitude sur l'organisme

Lorsqu'on s'élève en altitude, la quantité de molécules de dioxygène par mm^3 diminue. Pour connaître les effets de l'altitude sur l'organisme, on a mesuré la fréquence cardiaque et la ventilation pulmonaire chez des sujets au repos, à différentes altitudes.

Questions :

1. Présentez de façon complète les effets de l'altitude sur l'organisme.
2. Interprétez ces effets à l'aide de vos connaissances.

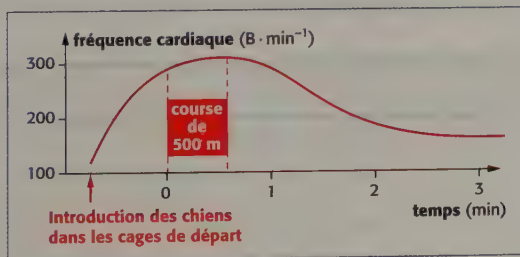


6 Exploitation de documents

➔ méthode p. 38 ➔ corrigé p. 135

★ L'effort chez des chiens de course

Le graphique suivant représente l'enregistrement de la fréquence cardiaque d'un chien de course, un lévrier, lors d'une course de compétition (pour ces compétitions, les résultats sont l'objet de paris, et les chiens sont entraînés à la course).



Question :

Décrivez et expliquez avec vos connaissances l'évolution du rythme cardiaque chez ce chien.

Pour aller plus loin

Les exercices 7 et 8 portent sur l'ensemble des chapitres de la partie II (voir page 3).

7 Restitution de connaissances

➔ présentation p. 3 ➔ corrigé p. 136

★★★ L'action du système nerveux sur les systèmes circulatoire et respiratoire

Question :

Exposez, en deux pages maximum (schémas compris), l'action du système nerveux sur les systèmes circulatoire et respiratoire.

On attend un schéma fonctionnel.

8 Exploitation de documents

➔ présentation p. 3 ➔ corrigé p. 138

★★★ L'effort en altitude

Question :

Présentez, de manière ordonnée, les modifications que subit l'organisme en altitude, interprétez-les, puis expliquez le principe du test de détection des sujets à risque.

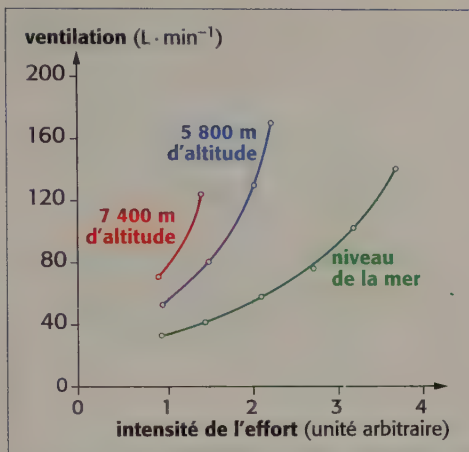
**Distance de la course
(en mètres)**

**Augmentation du temps de course
par rapport au niveau de la mer (en secondes)**

100 m	0,2 s
800 m	0,3 s
3 000 m	55 s
10 000 m	150 s

Doc. 1. Les modifications immédiates de l'activité cardio-respiratoire en altitude chez le sujet au repos.

Les jeux olympiques d'été de 1968 ont eu lieu à Mexico, à une altitude de 2 235 m. Le tableau donne l'augmentation du temps de course enregistré à Mexico par rapport aux performances réalisées à cette époque au niveau de la mer.



Doc. 2. Évolution de la ventilation pulmonaire en litres par minute, en fonction de l'intensité de l'exercice musculaire, à trois altitudes différentes.

La baisse de la pression de dioxygène en haute altitude soumet l'organisme à des contraintes sévères.

Certains sujets réagissent mal à l'altitude et développent le mal des montagnes, syndrome fréquent au-delà de 3 500 m, qui se traduit par des nausées, des maux de tête, des insomnies, des pertes d'appétit et qui peut s'aggraver sous la forme d'un œdème pulmonaire ou cérébral. 50 % des gens présentent ces symptômes de façon très nette, mais seulement 1 à 2 % risquent des complications graves.

Nous avons élaboré une méthode pour détecter ces sujets à risques avant leur départ pour une expédition en haute altitude (s'ils sont à risques, ils devront alors veiller à leur adaptation qui devra être particulièrement progressive). Pour cela, nous avons simulé l'altitude en faisant inhaler un mélange de gaz appauvri en dioxygène. Ainsi, un mélange à 11,5 % de O_2 , au lieu de 21 % dans l'air normal, donnera une pression de O_2 équivalant à l'altitude du sommet du Mont-Blanc (environ 4 800 m).

On demande à l'alpiniste de réaliser un exercice sur bicyclette à deux altitudes : l'une au niveau de la mer et l'autre, simulée par l'air appauvri, à 4 800 m. On compare trois paramètres dans les deux situations : la ventilation, la fréquence cardiaque et la saturation du sang en O_2 . Chez un sujet qui réagit bien à l'altitude, la ventilation et la fréquence cardiaque augmentent nettement en hypoxie (l'hypoxie est le nom donné à une faible teneur en O_2 de l'air et au manque d' O_2 pour l'organisme). En revanche, une faible augmentation des fréquences ventilatoire et cardiaque laisse prévoir des difficultés d'adaptation immédiates à l'altitude.

D'après *La Physiologie de l'alpiniste*, J.-P. Richalet, Dossier *Pour la Science*, octobre 1994.

Doc. 3. Les réponses physiologiques à l'hypoxie.

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. b; 2. a; 3. b; 4. a; 5. a; 6. a et c; 7. b.

Appliquez la méthode

2 Réaliser un schéma fonctionnel

1. Identifier les acteurs du phénomène

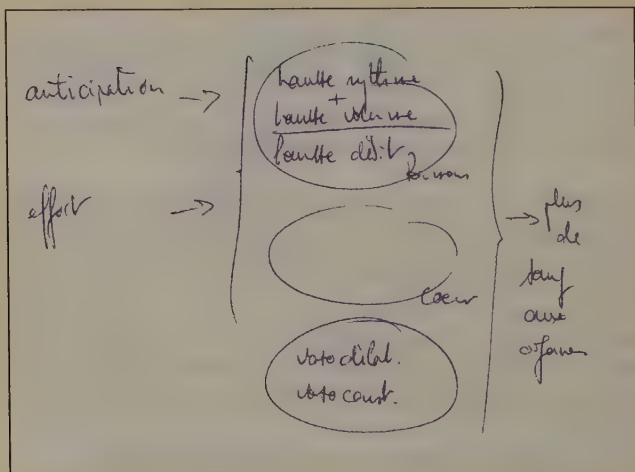
Les acteurs de ce schéma fonctionnel sont plus abstraits que d'habitude. Ce sont l'effort, l'anticipation de l'effort, puis le cœur et les poumons et surtout les variations de rythmes qu'ils subissent.

2. Identifier les liens entre les acteurs et la façon de les représenter

Comme le système nerveux n'est pas à représenter, les flèches seront des liens de cause à effet, comme par exemple, l'anticipation de l'effort qui fait augmenter les rythmes cardiaque et respiratoire.

3. Esquisser une représentation au brouillon

La représentation au brouillon permet d'essayer de placer les éléments du schéma de la façon la plus simple possible. On pourra essayer ceci au brouillon :



4. Construire une représentation claire, complète et soignée

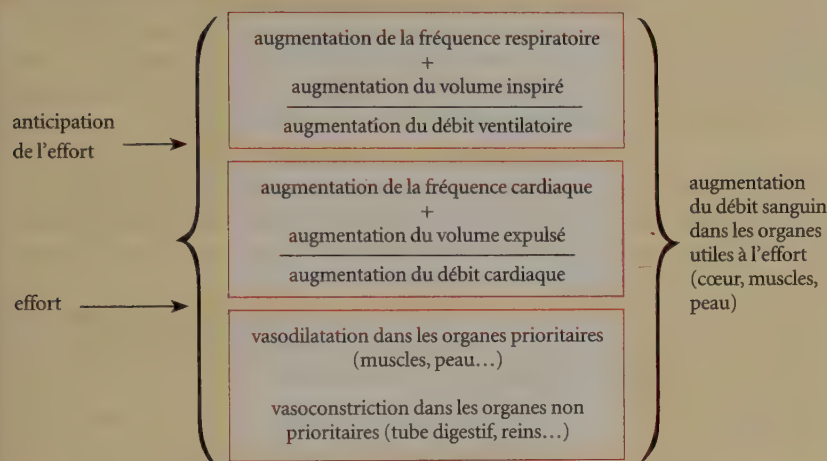


Schéma fonctionnel : l'influence de l'effort sur l'organisme.

Exercices d'entraînement

3 Le déterminisme du fonctionnement cardiaque

Introduction

Les situations de la vie courante qui modifient notre rythme cardiaque sont nombreuses. On peut citer l'effort, une émotion, le stress. Nous concentrerons notre exposé sur les modifications du fonctionnement cardiaque liées à l'effort.

1. Le rythme cardiaque au repos

Sans innervation, le cœur humain bat à un rythme automatique voisin de 100 battements par minute. C'est la situation que vivent les greffés du cœur car on ne leur connecte pas les nerfs cardiaques. Le cœur peut ainsi battre sans innervation. On dit que c'est un organe à fonctionnement automatique. Son rythme automatique est plus rapide que le rythme mesuré au repos, ce qui signifie que le système nerveux a une action modératrice du rythme cardiaque au repos.

Le plan suggéré dans la question est le plus simple à utiliser.

Les nerfs cardiaques, issus de centres nerveux bulbaires, modulent cette activité automatique. Il existe deux types de nerfs cardiaques : les nerfs parasympathiques (PS), qui exercent une action modératrice, et les nerfs orthosympathiques (OS), dont l'action est accélératrice. Au repos, l'activité des nerfs PS est supérieure à celle des nerfs OS. Le cœur a ainsi un rythme compris entre 60 et 70 B. min⁻¹, inférieur à son rythme automatique.

2. Le rythme cardiaque lors d'un effort

Lors d'un effort, les OS augmentent leur activité et les PS diminuent la leur. Il en résulte une accélération du rythme cardiaque. L'augmentation du rythme cardiaque est d'autant plus forte que l'effort est intense. Le rythme cardiaque ne peut pas augmenter au-delà d'une certaine valeur qui vaut approximativement $220 - \text{âge}$, soit 200 battements par minutes pour une personne de 20 ans.

L'augmentation du rythme cardiaque n'est pas la seule modification du fonctionnement du cœur lors d'un effort. L'intensité des contractions augmente également, ce qui fait augmenter le volume de sang expulsé à chaque contraction.

La combinaison des augmentations du rythme cardiaque et du volume expulsé fait augmenter le débit cardiaque, qui se calcule selon la formule suivante :

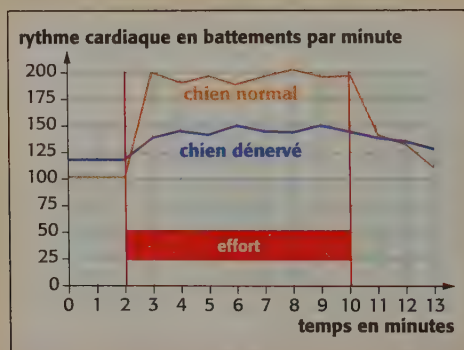
$$\begin{array}{ccccc} \text{débit cardiaque} & = & \text{rythme cardiaque} & \times & \text{volume expulsé.} \\ (\text{en mL. min}^{-1}) & & (\text{en B. min}^{-1}) & & (\text{mL. B}^{-1}) \end{array}$$

Conclusion

L'effort physique produit une augmentation du débit cardiaque par le biais des augmentations du rythme cardiaque et du volume sanguin éjecté à chaque contraction. Ainsi, plus de sang et donc plus de dioxygène arrive par minute aux muscles, ce qui leur permettra d'assurer leurs besoins énergétiques.

4 L'effort chez des chiens dénervés

1. Représentation graphique



2. Chez le chien normal, le rythme cardiaque augmente rapidement au début de l'effort. Il double en une minute (passage de 100 à 200 B/min). Il reste constant jusqu'à la fin de l'effort. Il baisse rapidement à la fin de l'effort et retrouve quasiment sa valeur initiale en 3 minutes (passage de 195 à 110 B/min).

Pensez à mettre en relation les modifications avec leur durée.

Chez le chien dénervé, le rythme est plus élevé que chez un chien normal avant l'effort (120 B/min au lieu de 100, soit 20 % en plus). L'augmentation consécutive à l'effort est faible : augmentation de 20 à 30 B/min, alors que chez le chien normal l'augmentation est de 100 B/min. Après l'effort, le retour au rythme normal est plus lent que chez un chien normal.

3. Le cœur est capable de battre sans l'aide du système nerveux. Il peut même accélérer son rythme sans le système nerveux.

Le système nerveux ralentit le rythme cardiaque au repos, mais permet une meilleure adaptation à l'effort, par une différence de rythme plus importante.

5 Quelques effets de l'altitude sur l'organisme

1. L'altitude a une influence sur le rythme cardiaque et la ventilation pulmonaire. Lors du passage de 0 à 6 000 m, la fréquence cardiaque augmente régulièrement de 60 à 105 battements par minute. Elle double presque. La ventilation pulmonaire augmente également mais elle est multipliée par 3 lors du passage de 0 à 6 000 m. L'augmentation est peu importante de 0 à 3 000 m (multiplication par 1,5), mais devient importante de 3 000 à 6 000 m (multiplication par 2).

2. Nous savons que la ventilation pulmonaire vise à saturer le sang en dioxygène. Si en altitude l'air est moins riche en dioxygène, il est logique de penser qu'il faudra plus d'air pour saturer la même quantité de sang. Ainsi s'interprète l'augmentation de la ventilation pulmonaire. L'augmentation de la fréquence cardiaque est plus délicate à interpréter. On peut faire l'hypothèse que malgré l'augmentation de la ventilation pulmonaire, le sang n'est pas aussi riche en dioxygène qu'il l'est à 0 m et que pour que les organes reçoivent la même quantité de dioxygène, l'organisme accélère la vitesse de circulation du sang (débit sanguin). La fréquence cardiaque est en effet un des facteurs de ce débit.

6 L'effort chez des chiens de course

Le rythme cardiaque des lévriers est déjà à plus de 100 battements par minute (B/min) avant leur entrée dans les cages de départ. Il augmente à partir de l'introduction dans les cages et atteint environ 275 B/min au moment du départ.

Lors de la course, le rythme cardiaque augmente encore un peu et dépasse 300 B/min en fin de course. Après la fin de course, le rythme cardiaque augmente encore légèrement pendant environ 30 secondes. Ensuite, il baisse et se stabilise vers 150 B/min.

Les lévriers ont un rythme cardiaque qui accélère lors de l'effort. On pourrait penser que c'est l'effort lui-même qui entraîne l'accélération, mais on voit que l'accélération se produit essentiellement avant l'effort. On en déduit que l'anticipation, le stress dû à la proximité de l'effort sont les facteurs prépondérants de l'accélération du rythme cardiaque.

L'augmentation du rythme cardiaque est due à l'action du système nerveux. Au repos, les nerfs orthosympathiques ont une action globalement modératrice. Lors de l'effort, les nerfs modérateurs parasympathiques diminuent leur action et les nerfs accélérateurs orthosympathiques augmentent leur action. Il en résulte une accélération cardiaque.

Le système nerveux est l'élément principal de l'explication.

L'action du système nerveux lors de l'effort est sous la dépendance de centres nerveux bulbaires. Lors de l'anticipation avant l'effort, c'est le cortex cérébral qui agit sur les centres bulbaires pour préparer l'effort.

Pour aller plus loin

7 L'action du système nerveux sur les systèmes circulatoire et respiratoire

Introduction

Un effort physique se traduit par des besoins énergétiques augmentés pour les muscles qui interviennent lors de l'effort, c'est-à-dire les muscles du mouvement et le cœur. C'est pourquoi le débit sanguin augmente dans ces organes, grâce aux modifications cardiaques et artériolaires. Le maintien de la saturation du sang en dioxygène est assuré par une augmentation du débit respiratoire.

Nous verrons que c'est le système nerveux qui produit les modifications des systèmes circulatoire et respiratoire lors de l'effort.

1. L'action du système nerveux sur le système respiratoire lors d'un effort

1. Les relations entre système nerveux et système respiratoire

Le système respiratoire comprend essentiellement les poumons, mis en mouvements par les muscles respiratoires. Les muscles intercostaux interviennent au niveau des côtes et le diaphragme étire les poumons dans le sens vertical. L'inspiration est produite par contraction musculaire des muscles respiratoires, alors que l'expiration est passive lorsqu'elle n'est pas forcée.

Il est possible de maîtriser son rythme respiratoire, mais des commandes nerveuses automatiques émanant du bulbe rachidien produisent un fonctionnement des muscles respiratoires indépendant de la volonté.

2. Les différences entre le repos et l'effort

Au repos, le rythme respiratoire est voisin de 12 cycles inspiration-expiration par minute et le volume d'air ventilé par cycle est d'environ 0,5 litre. Le débit ventilatoire est donc voisin de 6 litres par minute.

Lors d'un effort, l'action des nerfs intercostaux et des nerfs phréniques (diaphragme) fait augmenter le rythme respiratoire et le volume d'air ventilé par cycle de manière variable selon les individus. Trente-cinq cycles inspiration-expiration par minute et 3,5 litres de volume d'air ventilé par cycle entraînent, par exemple, un débit ventilatoire de 122,5 litres par minute.

II. L'action du système nerveux sur le système circulatoire lors d'un effort

1. Les relations entre système nerveux et système circulatoire

Le système circulatoire comprend essentiellement le cœur et les vaisseaux sanguins. C'est le cœur qui par ses contractions fait avancer le sang dans les vaisseaux. Le sang passe ainsi des poumons, où il se sature en dioxygène, aux organes (et surtout aux muscles lors de l'effort), à qui il apporte le dioxygène nécessaire à la production d'énergie. Un fonctionnement accéléré du cœur lors de l'effort augmente le débit cardiaque.

Les sous-parties sont les mêmes pour les deux systèmes, respiratoire et circulatoire.

Le cœur a un fonctionnement automatique, c'est-à-dire qu'il peut fonctionner sans influence nerveuse, mais il est en réalité toujours sous l'influence du système nerveux. Les vaisseaux sanguins peuvent se contracter ou se dilater, sous l'action du système nerveux, pour augmenter localement le débit sanguin.

2. Les différences entre le repos et l'effort

Au repos, les nerfs cardiaques ont une influence globalement modératrice, car les nerfs modérateurs (nerfs parasympathiques) agissent plus que les nerfs accélérateurs (nerfs orthosympathiques).

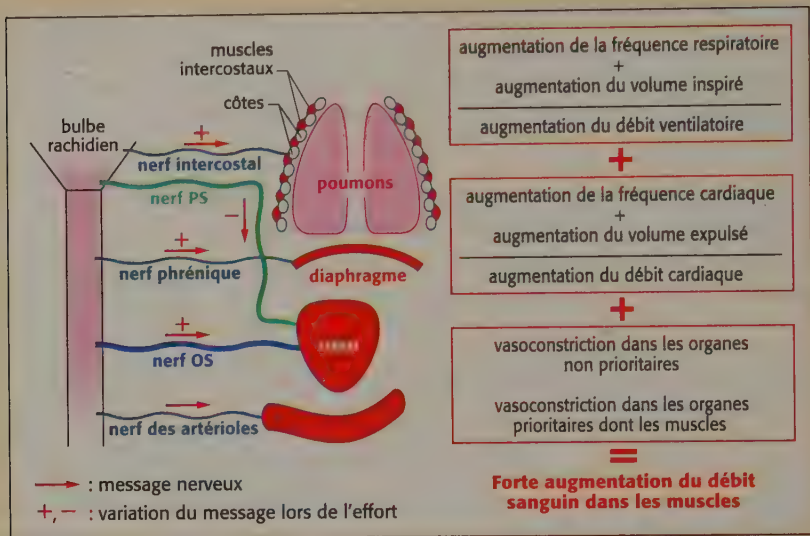
Lors d'un effort, les nerfs parasympathiques diminuent leur action et les nerfs orthosympathiques augmentent la leur. Cela provoque une accélération du rythme cardiaque et une augmentation du volume de sang expulsé par contraction. Il en résulte une augmentation du débit cardiaque dans tout l'organisme.

L'augmentation de débit sanguin dans les muscles lors de l'effort est due à l'augmentation du débit cardiaque et au détournement du sang des organes non prioritaires (reins, tube digestif...) vers les organes prioritaires (cœur, muscles, peau). Les artérioles se dilatent dans les organes prioritaires, et se contractent dans les organes non prioritaires.

Une conclusion peut se limiter à un schéma fonctionnel s'il concerne l'ensemble du sujet.

Conclusion

L'action du système nerveux sur les systèmes circulatoire et respiratoire est représentée dans le schéma fonctionnel suivant.



L'action du système nerveux sur les systèmes circulatoire et respiratoire lors d'un effort.

8 L'effort en altitude

Introduction

La composition de l'atmosphère est constante jusqu'à 80 km d'altitude, mais comme la pression baisse, il y a de moins en moins de dioxygène dans l'air. Les conséquences de cette diminution se font ressentir dès 3 500 m, de façon plus ou moins nette selon les individus. Les documents permettront de présenter les modifications que subit l'organisme en altitude, de les interpréter, puis d'expliquer le principe du test de détection des sujets à risque.

Le plan est donné dans la question.

I. Les effets de l'altitude sur l'organisme

1. Diminution des performances sportives (doc. 1)

En altitude, les performances sportives sont diminuées. Les temps de course sont allongés quelle que soit la distance parcourue. L'allongement du temps est d'autant plus grand que la distance parcourue est grande.

2. Augmentation de la ventilation pulmonaire (doc. 2)

Lors d'efforts d'intensités croissantes au niveau de la mer, la ventilation pulmonaire (VP) augmente. C'est la courbe témoin.

À 5 800 m d'altitude, la VP augmente aussi en fonction de l'intensité de l'effort, mais plus rapidement. Pour un effort d'intensité 1, la VP à 5 800 m vaut moins du double de celle au niveau de la mer. Pour un effort d'intensité 1,5 ou 2, la VP à 5 800 m vaut le double de celle au niveau de la mer.

À 7 400 m, la VP augmente tellement vite avec l'intensité de l'effort qu'elle n'a pas été mesurée pour un effort d'intensité supérieure à 1,5.

3. Le mal des montagnes (doc. 3)

En altitude dès 3 500 m, certaines personnes sont sujettes à des troubles appelés mal des montagnes. Il y a des troubles mineurs comme des nausées, des maux de tête, des insomnies, des pertes d'appétit, qui touchent 50 % des gens. Les troubles majeurs comme des œdèmes pulmonaire ou cérébral ne touchent que 1 à 2 % des gens.

II. L'interprétation des effets de l'altitude sur l'organisme

1. L'augmentation de la ventilation pulmonaire

En altitude, la pression en dioxygène est plus basse (doc. 3). Nous savons que la ventilation pulmonaire permet de saturer le sang en dioxygène. Il est logique de penser qu'il faudra plus d'air pour saturer la même quantité de sang. Ainsi peut s'interpréter l'augmentation de la ventilation pulmonaire.

Une interprétation peut être une hypothèse alors qu'une explication nécessite une réponse plus sûre.

2. Le mal des montagnes

En l'absence de données supplémentaires, on peut faire l'hypothèse que c'est le simple manque de dioxygène qui produit tous ces symptômes. En effet, les personnes qui ont le mal des montagnes au repos sont ceux dont les rythmes cardiaque et ventilatoire n'augmentent pas lorsqu'il y a moins de dioxygène (doc. 3). Ces personnes ont en conséquence moins de dioxygène dans leur corps, c'est-à-dire pas assez.

3. La baisse des performances sportives

Nous avons vu que l'augmentation de la ventilation pulmonaire permet une vie normale au repos en altitude. Comme un effort s'accompagne toujours d'une augmentation de ce paramètre, il faudra qu'il augmente encore plus. On sera donc assez rapidement confronté au rythme maximal physiologiquement réalisable.

III. Le principe du test de détection des personnes à risque

En altitude, pour subvenir à ses besoins en dioxygène, un organisme doit avoir des rythmes cardiaque et ventilatoire qui accélèrent. Dans le cas contraire, le sujet risque des problèmes comme le mal des montagnes.

Un test a donc été mis au point pour détecter les personnes qui risqueraient de mal réagir au manque de dioxygène en altitude. On simule un environnement d'altitude en faisant respirer à la personne testée un air appauvri en dioxygène.

On demande au futur alpiniste de réaliser un exercice sur bicyclette à deux altitudes, l'une au niveau de la mer et l'autre, simulée par l'air appauvri, à 4800 m. On compare la ventilation, la fréquence cardiaque et la saturation du sang en O_2 dans les deux situations. Chez un sujet qui réagit bien à l'altitude, la ventilation et la fréquence cardiaque augmentent nettement en hypoxie. En revanche, une faible augmentation des fréquences ventilatoire et cardiaque laisse prévoir des troubles comme le mal des montagnes.

Conclusion

Les effets du manque de dioxygène en altitude sont nombreux. Ils peuvent être expliqués par des défauts d'adaptation de certaines personnes. Mais même pour les personnes non sujettes au mal des montagnes, il y a aura toujours une altitude pour laquelle la ventilation ne pourra plus augmenter. Au-delà de cette altitude, les besoins en dioxygène risquent de ne plus être assurés, surtout lors d'un effort.

**La cellule fonde
l'unité
et la diversité
du vivant**

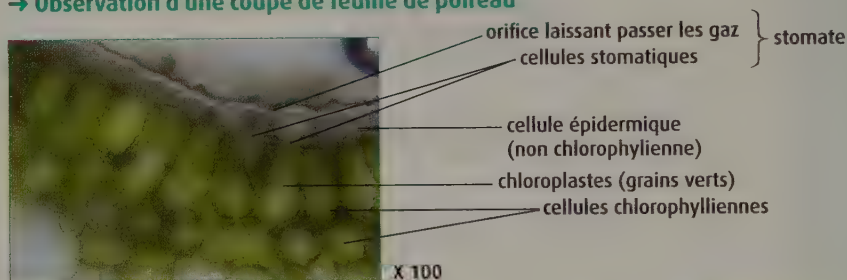
1 L'observation d'êtres vivants au microscope

→ Les premières cellules vues au microscope et représentées l'ont été par l'Anglais Robert Hooke vers 1665. Depuis, les microscopes ont beaucoup progressé.

1 Observations au microscope optique (microscope utilisé au lycée)

Pour observer un organisme entier, et donc vivant, au **microscope optique**, il faut qu'il soit peu épais et peu opaque. Dans le cas contraire, on en fait une coupe fine. Comme le microscope optique utilise la lumière, les cellules sont vues en couleur.

→ Observation d'une coupe de feuille de poireau



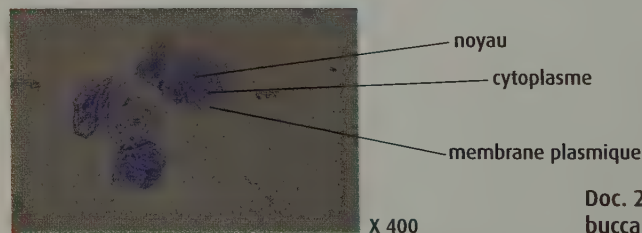
Doc. 1. Coupe de feuille de poireau (vue partielle) au microscope optique.

On observe dans la feuille de poireau plusieurs types de cellules, aux caractéristiques adaptées à leurs fonctions. Par exemple les **cellules chlorophylliennes** sont remplies de chloroplastes* contenant de la chlorophylle* et pratiquent la photosynthèse.

Les caractéristiques d'une cellule dépendent de sa fonction.

→ Observation de cellules d'épithélium buccal

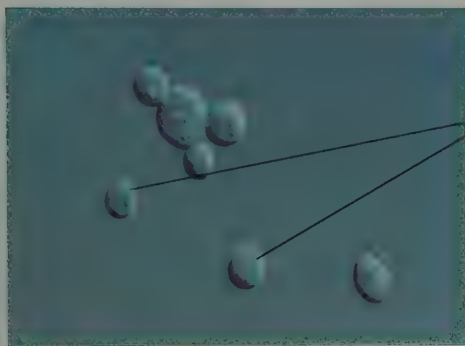
Ce sont les cellules prélevées avec un coton-tige à l'intérieur de la bouche. La coloration au bleu de méthylène permet l'observation du noyau.



Doc. 2. Cellules d'épithélium buccal au microscope optique.

→ Observation de levures

Les levures sont des micro-organismes très utilisés par l'Homme (fabrication du pain et des boissons alcoolisées). Ils ne sont formés que d'une seule cellule et font partie des champignons : ce sont des champignons unicellulaires.



2 individus unicellulaires de la levure de bière (*Saccharomyces cerevisiae*)

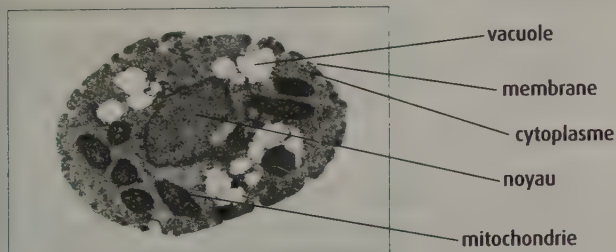
X 800

Doc. 3. Levures de bière vues au microscope optique.

2 Observations au microscope électronique à transmission

Le **microscope optique** utilise la lumière pour observer les objets. Le **microscope électronique** utilise un faisceau d'électrons. Les cellules doivent alors subir une préparation particulière : elles sont bombardées de métal. L'observation est en noir et blanc, mais le grossissement est très important et les détails sont nombreux. Le **microscope électronique à transmission (MET)** observe des coupes, alors que le **microscope électronique à balayage (MEB)** observe des objets en 3 dimensions.

Au microscope électronique, les cellules observées sont mortes.



Doc. 4. Levure de bière vue au microscope électronique à transmission (MET).

Conclusion : L'observation de divers êtres vivants, animaux et végétaux, montre qu'ils sont tous formés de cellules.

2 Les principales caractéristiques cellulaires

► Il existe deux grands types d'êtres vivants : les **unicellulaires*** comme la levure, et les **pluricellulaires*** comme le poireau et l'Homme.

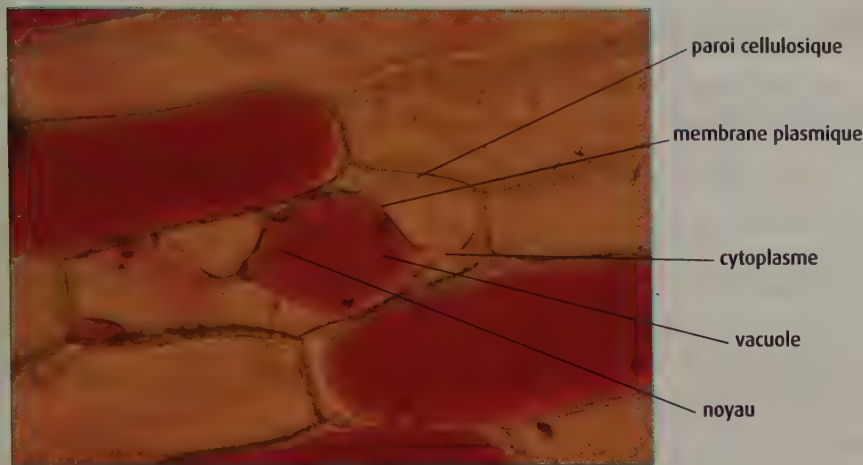
1 L'organisation des êtres vivants, de l'organite à l'organisme

- Chez les unicellulaires, une seule cellule doit réaliser toutes les fonctions utiles à l'organisme, c'est-à-dire la perception sensorielle, la locomotion, la nutrition et la reproduction.
- Chez les pluricellulaires, les cellules peuvent se partager les tâches. Elles sont donc généralement spécialisées, comme les cellules épidermiques ou les cellules chlorophylliennes. On appelle **tissu** un ensemble de cellules identiques et ayant la même fonction. Chez le poireau, on trouve ainsi le tissu épidermique et le tissu chlorophyllien.
- Les tissus sont regroupés en **organes***. Une feuille est un organe. Elle contient les tissus épidermique et chlorophyllien, mais aussi le tissu conducteurs de sève, un tissu lacuneux dans lequel les cellules ne sont pas jointives et laissent passer les gaz, etc. Le cœur est aussi un organe, formé de différents tissus : le tissu musculaire, fait de cellules musculaires, le tissu nodal, qui permet l'automatisme cardiaque et le tissu vasculaire, constituant les vaisseaux coronaires.
- Les organes peuvent être regroupés en **appareils***, comme l'appareil circulatoire comprenant le cœur, les artères et les veines. Organes et appareils constituent un **organisme***, comme un arbre ou un être humain.
- Au sein de la cellule, il existe aussi des structures, appelées **organites***. Le chloroplaste, la mitochondrie, la vacuole, le noyau... sont des organites.

Les cellules forment des tissus, les tissus des organes, les organes des appareils et les appareils, des organismes.

2 L'organisation de la cellule

- Les cellules sont limitées par une **membrane plasmique***. Elle est facilement identifiable chez les animaux (document 2). Chez les végétaux, elle est doublée d'une **paroi cellulosique*** rigide qui sert de squelette (document 10) et il est difficile de les observer séparément.
- L'observation de cellules végétales dans de l'eau salée permet d'observer ces deux limites séparément (document 5). En effet, l'eau salée produit une diminution de volume de la vacuole par sortie d'eau, ce qui décolle le cytoplasme* et la membrane plasmique de la paroi cellulosique.



Doc. 5. Cellules d'épiderme d'oignon violet dans de l'eau salée.

- À l'intérieur de la membrane plasmique se trouve le cytoplasme, contenant de nombreux **organites**. La présence de tel ou tel organite dans une cellule dépend de sa fonction. Par exemple, les chloroplastes sont présents dans les cellules pratiquant la photosynthèse.
- Les organites contribuent à la réalisation du **métabolisme***. On appelle ainsi l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans une cellule. La respiration, la fermentation, la photosynthèse, vus au chapitre 3, sont des éléments du métabolisme. Plus précisément, le métabolisme consiste en un grand nombre de réactions chimiques, accélérées par des catalyseurs biologiques, les enzymes*.
- Les **cellules bactériennes** sont des cellules très simples. Il n'y a pas d'organites et pas de noyau. Ces cellules sont appelées **cellules procaryotes***. Les cellules à noyau et à organites, comme celles de la levure, du poireau et de l'homme, sont appelées **cellules eucaryotes***.
- Chez un pluricellulaire, le nombre de cellules augmente au cours de la croissance. Cette augmentation se produit par division. Chez un unicellulaire, une division correspond à la création d'un nouvel individu et donc à une reproduction.

Chez l'adulte, les divisions ne persistent que pour le renouvellement des cellules.

Conclusion: Les cellules sont les unités structurales et fonctionnelles de tous les êtres vivants. Elles sont limitées par une membrane plasmique, qui définit un compartiment intracellulaire où a lieu le métabolisme

3 L'hétérotrophie et l'autotrophie

Il existe deux grands types de **métabolismes**, que l'on peut mettre en évidence par la recherche des besoins nutritifs des organismes.

1 La recherche des besoins nutritifs chez deux êtres vivants

Nous utiliserons des êtres vivants unicellulaires. Ils peuvent être observés vivants au microscope. La croissance, indice de la satisfaction des besoins, sera mesurée par les divisions cellulaires, facilement observables : il suffit de compter les individus à intervalle régulier.

Les unicellulaires prennent peu de place puisque le récipient de culture peut être un tube à essai.

→ Les espèces choisies

Nous étudierons les besoins nutritifs des levures et des euglènes. Dans la nature, on trouve les levures sur le raisin. Les euglènes sont aussi des unicellulaires, mais elles sont mobiles et chlorophylliennes. Elles appartiennent aux algues unicellulaires d'eau douce.

→ Les milieux de cultures

Chaque espèce sera placée dans les trois milieux suivants. Tous les milieux sont éclairés.

Milieu 1

eau

Milieu 2

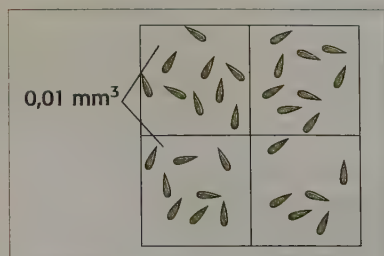
eau, sels minéraux

Milieu 3

eau, sels minéraux, glucose

→ Le mode de comptage des individus

Le principe est de prélever un volume connu de liquide, d'y compter le nombre d'individus au microscope, puis de calculer la **densité des individus** au millilitre ou au litre. En pratique, on utilise des lames spécialement fabriquées pour le comptage. Elles sont formées de deux lames superposées dont la supérieure est quadrillée.



Doc. 6. Euglènes dans le milieu 2 au bout de 3 jours.

- L'espace entre les deux lames et le quadrillage ont été calculés pour qu'un carré corresponde à $0,01 \text{ mm}^3$ de liquide. On compte les individus dans plusieurs carrés (chaque lame en contient 81), on fait une moyenne et on calcule la densité.
- Dans l'exemple du document 6, on trouve 32 euglènes pour 4 carrés ($0,04 \text{ mm}^3$ de liquide), soit 8 euglènes pour $0,01 \text{ mm}^3$. La densité des euglènes est donc de 800 individus par mm^3 .

→ Les résultats

- Les densités de départ et au bout de 5 jours sont indiquées dans le tableau suivant, en individus par mm^3 .

	Levures (départ)	Levures après 5 jours	Euglènes (départ)	Euglènes après 5 jours
Milieu 1	50	50	300	300
Milieu 2	50	50	300	2300
Milieu 3	50	25 000	300	2400

- On constate que les deux types d'unicellulaires ne peuvent pas se multiplier sur de l'eau. Les euglènes ont besoin en plus de sels minéraux et les levures de glucose.
- Les euglènes sont capables de vivre et se multiplier sur un **milieu minéral**. C'est ce qui se passe dans les eaux douces où elles vivent habituellement. Les levures ont besoin de **substances organiques** (matière organique*) pour vivre et se multiplier. Elles ont besoin de substances fabriquées par d'autres organismes.
- Les euglènes sont dites **autotrophes***, c'est-à-dire capables de produire de la matière organique (leur propre matière) à partir de **matière minérale*** et d'énergie. L'autotrophie est rendue possible par la présence de chloroplastes dans les cellules.
- Les levures sont dites **hétérotrophes***, c'est-à-dire nécessitant de la matière organique pour édifier leur propre matière organique.

Conclusion: Le milieu intracellulaire et les organites qu'il contient sont le siège de **réactions métaboliques** qui conduisent à la synthèse des molécules organiques nécessaires à l'activité des cellules et à leur multiplication.

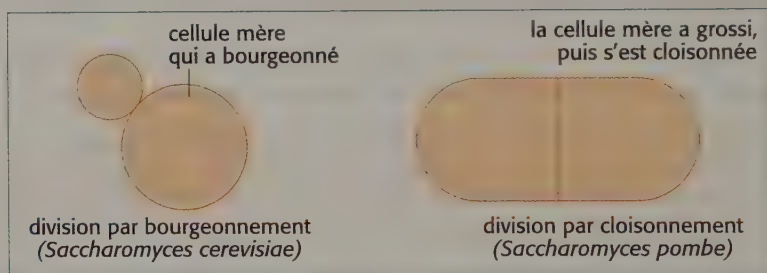
L'autotrophie et l'hétérotrophie sont les deux principaux types de métabolisme.

4 La conservation des caractéristiques cellulaires de génération en génération

→ Le métabolisme et la division cellulaire sont des activités fondamentales des cellules. Elles sont transmises de manière héréditaire.

1 Les modalités de la division cellulaire sont héréditaires

- On connaît plusieurs espèces de levures dont le mode de division diffère. Chez la levure de bière (*Saccharomyces cerevisiae*), la division se fait par bourgeonnement (document 7). Chez *Saccharomyces pombe*, la division se fait par une cloison transversale (document 7). Si on cultive ces deux espèces sur des milieux qui leur permettent de se diviser, on constate que le mode de division reste toujours le même pour les deux espèces. On en déduit que le mode de division est **héréditaire***.



Doc. 7. Deux modes de divisions du cytoplasme chez deux espèces de levures.

- Pour d'autres espèces dont les divisions se succèdent à des rythmes différents, rapide ou lent, on constate que ce rythme est conservé de génération en génération, c'est-à-dire qu'il se transmet de manière héréditaire.

2 Les caractéristiques du métabolisme sont héréditaires

- Le fait que la levure nécessite de la matière organique pour se multiplier (hétérotrophie) est une caractéristique du métabolisme dont on peut vérifier la transmission héréditaire. Si l'on met en culture les descendants de levures hétérotrophes, on constate qu'elles sont aussi hétérotrophes. Il en est de même pour les euglènes.

Les descendants d'euglènes autotrophes sont également autotrophes.

- L'autotrophie et l'hétérotrophie sont donc des caractéristiques héréditaires du métabolisme.
- D'autres particularités métaboliques des levures peuvent être étudiées. Les levures sont beiges, mais on connaît des levures rouges car elles présentent une anomalie métabolique. Elles ne sont plus capables de synthétiser une molécule organique, l'adénine (document 8). Les réactions de synthèse de l'adénine s'arrêtent à l'avant-dernière étape qui est un produit rouge. C'est pour cela qu'elles sont rouges.

molécule A $\longrightarrow$ molécule B $\longrightarrow$ molécule rouge $\longrightarrow$ adénine (incolore)

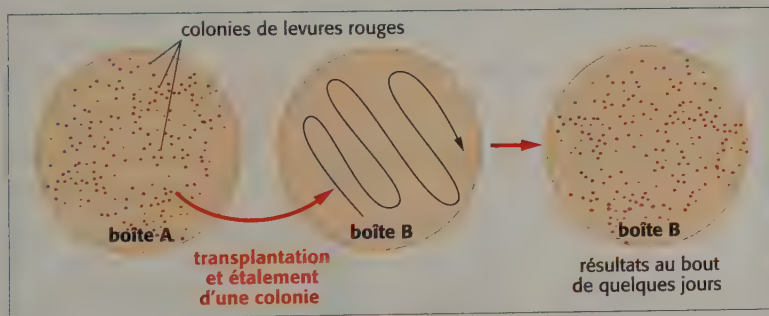
Réactions métaboliques chez les levures incolores

molécule A $\longrightarrow$ molécule B $\longrightarrow$ molécule rouge

Réactions métaboliques chez les levures rouges

Doc. 8. Le métabolisme détermine la couleur chez la levure.

- La mise en culture des levures rouges montre que la couleur rouge se transmet aux descendants. Cela montre que cette particularité métabolique est héréditaire (document 9).



Doc. 9. Le maintien d'une caractéristique métabolique chez la levure.

- En conditions stables du milieu, les structures des cellules et leurs modes de fonctionnement (type de métabolisme, modalités de division) sont maintenus au cours des générations cellulaires successives.

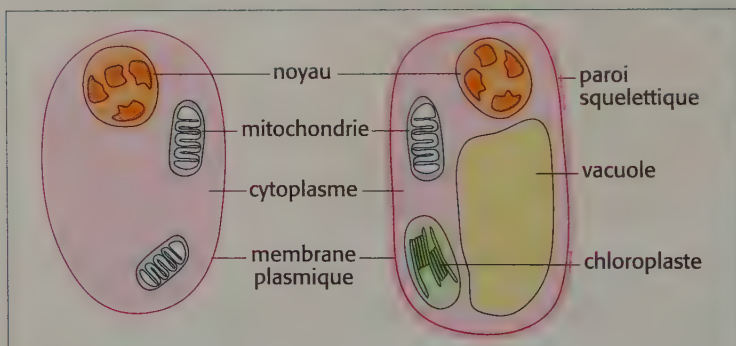
Conclusion: Les activités fondamentales des cellules telles que le **métabolisme** et la **division** sont transmis de génération en génération, c'est-à-dire de manière **héréditaire**. Elles sont sous le contrôle du **programme génétique***.

5 Les cellules sont les unités structurales et fonctionnelles des êtres vivants

→ L'observation des êtres vivants au microscope montre qu'ils sont tous formés de cellules. On distingue deux grands types de cellules dans le monde vivant. Les **cellules procaryotes** sans noyau ni organites, et les **cellules eucaryotes** à noyau et organites.

1 Cellules animales et cellules végétales

- Parmi les cellules eucaryotes, on trouve les cellules animales et les cellules végétales.
- Les **cellules animales** sont les plus simples. Elles sont limitées par une membrane plasmique et contiennent divers organites, comme la mitochondrie (document 10).
- Les **cellules végétales** ont des formes plus anguleuses que les cellules animales car elles sont entourées d'une paroi squelettique rigide, située à l'extérieur de la membrane plasmique. La paroi et la membrane sont accolées et difficiles à distinguer. Les cellules végétales possèdent un organite qui leur permet de pratiquer la photosynthèse : le chloroplaste. Elles ont aussi généralement une grosse vacuole.



Doc. 10. Cellule animale et cellule végétale.

2 Les principales caractéristiques des cellules

- Les cellules sont les unités structurales et fonctionnelles de tous les êtres vivants. Elles sont limitées par une membrane plasmique, qui définit un compartiment intracellulaire où a lieu le métabolisme.

- Le milieu intracellulaire et les organites qu'il contient sont le siège de **réactions métaboliques** qui conduisent à la synthèse des molécules organiques nécessaires à l'activité des cellules et à leur multiplication. L'**autotrophie** et l'**hétérotrophie** sont les deux principaux types de métabolisme.
- Les activités fondamentales des cellules telles que le métabolisme et la division sont transmis de génération en génération, c'est-à-dire de manière héréditaire. Elles sont sous le contrôle du **programme génétique**.

Le fait que tous les êtres vivants soient formés de cellule confère à l'ensemble du monde vivant une grande unité.

3 La localisation de l'information génétique

→ **L'information génétique, dont on a vu qu'elle contrôlait les activités fondamentales de la cellule, se trouve dans le noyau.**

Il est assez facile de démontrer ceci expérimentalement (à condition de maîtriser les aspects techniques de la manipulation). On prélève une cellule d'un embryon de souris de 16 cellules appartenant à une lignée à poil noir. On place ce noyau dans un ovule fécondé (œuf) de souris appartenant à une lignée à poil blanc, à la place du noyau de l'œuf. On réimplante ensuite l'embryon issu de cet œuf dans une souris blanche qui sert de mère porteuse. On constate que les souriceaux qui naissent sont noirs, c'est-à-dire comme la lignée qui a fourni le noyau. Si l'information génétique avait été dans le cytoplasme, les souriceaux auraient été blancs.

→ **Toutes les cellules d'un individu reçoivent la même information génétique, mais n'en expriment qu'une petite partie.**

- Dans l'expérience précédente, le fait d'avoir pris le noyau d'une cellule d'un embryon de 16 cellules, n'a pas eu pour conséquence que les souriceaux soient nés avec $1/16^e$ de l'information génétique d'une souris. Cela signifie donc que les 16 cellules d'un embryon ont la même information génétique. En effet, les divisions qui permettent à l'œuf de passer de 1 à 16 cellules conservent l'information génétique. Il en est de même de toutes les autres divisions qui permettent d'aboutir à un organisme adulte (sauf les divisions qui forment les gamètes).
- Cependant, on constate que, bien qu'ayant toutes la même information génétique, les cellules n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques (document 1). Cela vient du fait que tous les gènes ne s'expriment pas dans toutes les cellules. Il existe un contrôle ou une **régulation de l'information génétique**.

Méthode

Représenter une observation

À SAVOIR : Quelles sont les différentes façons de représenter une observation ?

Une observation peut être faite au microscope, sur le terrain, lors d'une dissection. Il s'agit de traduire un objet naturel, biologique ou géologique en une représentation qui peut être un dessin, un croquis ou encore un schéma. La définition de ces trois types de représentations peut varier selon les professeurs. Nous en donnons des définitions habituelles.

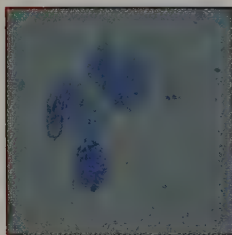
- Un **dessin** est en principe une représentation la plus fidèle possible de la réalité. On essaie de représenter tous les détails de l'objet observé. Le dessin est réalisé au crayon, ce qui permet de gommer et de recommencer.

- On appelle **croquis** un dessin rapidement fait, qui conserve l'exactitude globale des formes, mais qui ne représente pas tous les détails. Sur le croquis, on ne représente pas les petites irrégularités de forme, les différentes granulosités de la surface...

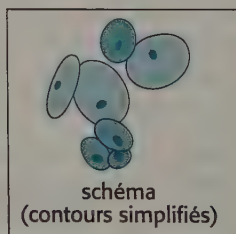
Dans la suite, nous confondrons dessin et croquis pour appeler dessin une représentation proche de la réalité, qui respecte les contours et les formes des objets sans représenter absolument tous les détails (voir le dessin ci-dessous).

- Un **schéma** est une représentation simplifiée qui ne conserve de l'objet observé que les contours simplifiés et les relations des différentes parties. Il est généralement fait en couleur.

À propos de l'outil utilisé pour dessiner, on utilise souvent le crayon gris pour dessiner car on peut gommer et recommencer. Il est possible de réaliser de très beaux dessins avec un stylo, mais on n'a pas le droit à l'erreur. Il vaut donc mieux utiliser le crayon.

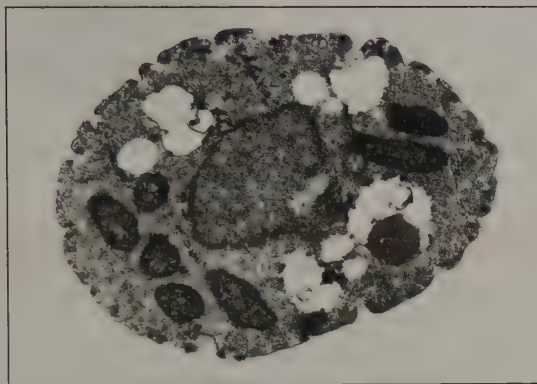


observation au microscope

dessin
(assez proche du réel)schéma
(contours simplifiés)

Sujet exemple

Question : Réalisez un dessin de la cellule suivante, qui est une levure de bière vue au microscope électronique à transmission et grossie 33 000 fois.

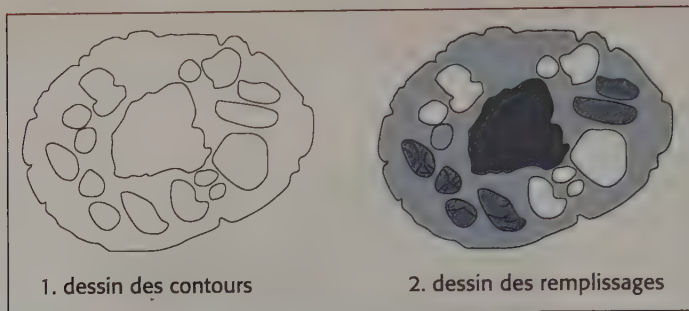
**Étape 1 : Identifier les éléments de l'objet qu'il est utile de représenter**

Un dessin demandé à un élève de lycée n'est pas un dessin qui représentera tous les contours au détail près et toutes les granulations de la matière. Il faut donc sélectionner dans l'objet complexe que l'on observe, les éléments qui sont intéressants à dessiner.

- Ici, on reconnaît une cellule, avec son cytoplasme, son noyau, des mitochondries et des vacuoles. Certains organites blancs (vacuoles ?) présentent des structures rondes à l'intérieur. Nous ne les représenterons pas. De la même façon, nous ne représenterons pas les petites zones blanches proches de la membrane.
- En revanche, les contours irréguliers de la cellule pourront être représentés, ainsi que les lamelles internes de mitochondries, de manière à rendre notre dessin plus réaliste.

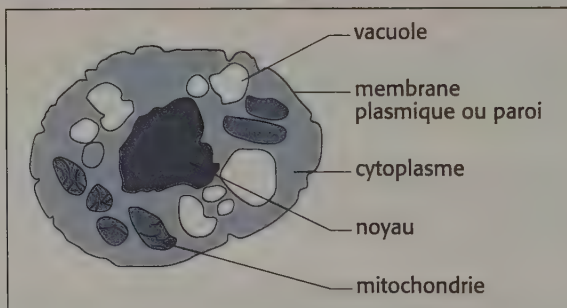
Étape 2 : Réaliser les contours, puis les figurés

Comme il doit être possible de pouvoir gommer et de recommencer, il faut absolument commencer par dessiner tous les contours. Lorsqu'on est satisfait de ceux-ci, on peut réaliser les figurés, c'est-à-dire les remplissages.



Étape 3: Légender le dessin

- La légende du dessin comprend un titre, une échelle et les noms de tous les éléments dessinés. Les flèches de légendes ne doivent pas se croiser.
- Le titre et les noms peuvent être élaborés par vous selon vos connaissances ou extraits de la photo. Le grossissement est calculé si on possède l'objet réel, ou prélevé sur la photo. Toute bonne photo doit présenter une échelle. Si l'échelle est absente sur le document originel, on peut l'indiquer.



Levure de bière vue au microscope électronique à transmission (MET X 33 000).

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

 corrigé p. 160

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Tous les êtres vivants sont formés de cellules, sauf :

- ☐ a. les bactéries ;
- ☐ b. les eucaryotes ;
- ☐ c. les procaryotes.

2. On appelle tissu, un ensemble :

- ☐ a. de cellules de la même couleur ;
- ☐ b. d'organes reliés entre eux ;
- ☐ c. de cellules ayant la même fonction.

3. Les cellules animales :

- ☐ a. ont une paroi plasmique ;
- ☐ b. n'ont pas de paroi squelettique ;
- ☐ c. ont une membrane plasmique.

4. Les organites :

- ☐ a. sont de petits organes ;
- ☐ b. peuvent servir à la réalisation du métabolisme ;
- ☐ c. sont groupés en appareils dans l'organisme.

5. Une cellule hétérotrophe :

- ☐ a. est une cellule autotrophe âgée ;
- ☐ b. n'a pas de chloroplastes ;
- ☐ c. n'a pas de mitochondries.

6. Les levures :

- ☐ a. peuvent changer de mode de division selon le milieu ;
- ☐ b. peuvent avoir un mode de division différent selon l'espèce ;
- ☐ c. sont hétérotrophes.

7. L'information génétique est :

- ☐ a. contenue dans le cytoplasme ;
- ☐ b. la même pour absolument toutes les cellules d'un individu ;
- ☐ c. exprimée de la même façon par toutes les cellules.

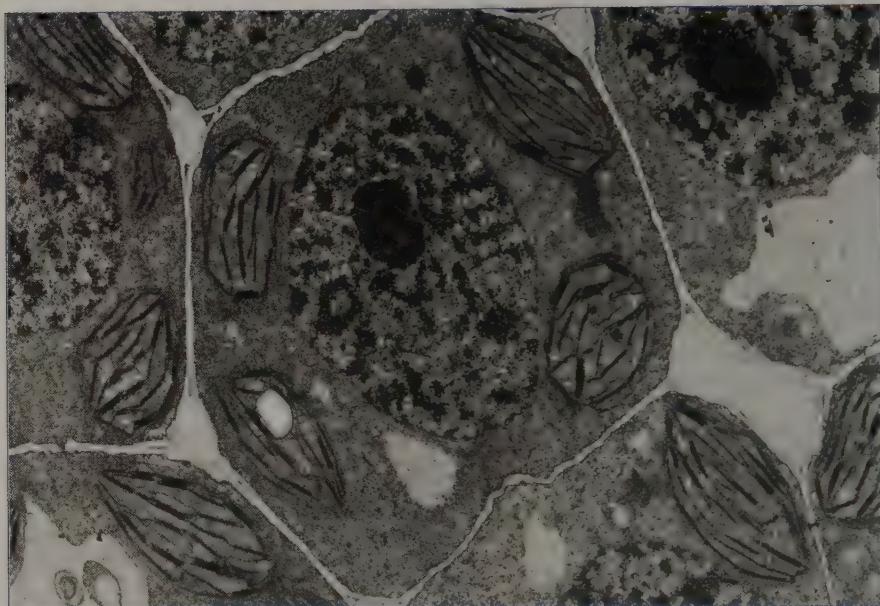
Appliquez la méthode

2 Représenter une observation par un schéma

➔ corrigé p. 160

Question :

Réalisez un schéma de ce groupe de cellules végétales.



Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 161

★ Les différents microscopes

Question :

En utilisant vos connaissances, faites un tableau résumant les modes de préparation des objets observés, et les caractéristiques des observations obtenues avec les trois microscopes que vous connaissez.

4 Exploitation de documents

➔ méthode p. 84 ➔ corrigé p. 161

★★ La nutrition des levures et des euglènes

On réalise les expériences suivantes : on place des euglènes et des levures séparément dans trois milieux différents. Milieu A : eau distillée; milieu B : eau distillée plus sels minéraux; milieu C : eau distillée plus sels minéraux plus glucose.

On mesure la quantité de cellules contenues dans 1 mm^3 milieu pendant 5 jours.

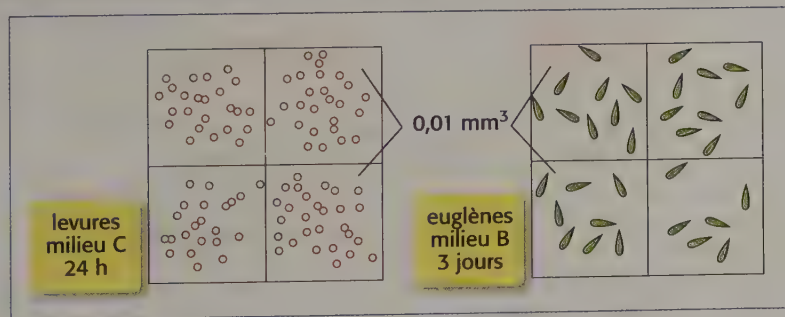
Levures :

	Début = 0 h	24 heures = 1 jour	48 h = 2 J	3 J	4 J	5 J
Milieu A	50	50	50	50	50	50
Milieu B	50	50	50	50	50	50
Milieu C	50		5100	18000	21000	25000

Euglènes :

	Début = 0 h	24 heures = 1 jour	48 h = 2 J	3 J	4 J	5 J
Milieu A	300	300	300	300	300	300
Milieu B	300	340	450		1 950	2 300
Milieu C	300	350	460	860	2 000	2 400

Les valeurs du tableau qui manquent vont être calculées par vous. Pour mesurer la densité de cellules dans le milieu, on utilise des ensembles lames-lamelles spéciaux, quadrillés avec un volume connu par carré : un carré correspond à $0,01 \text{ mm}^3$. Voici ce qu'on observe :



Questions :

1. Déterminez le nombre de levures et d'euglènes par mm^3 de milieu pour les deux cases vides du tableau, sans calculatrice. Expliquez votre démarche et vos calculs.

- Représentez les résultats des deux expériences par deux graphiques séparés.
- Quelles sont les conditions de vie les plus favorables aux levures et que peut-on en conclure? Mêmes questions pour les euglènes.
- Rappelez les grandes caractéristiques des levures et des euglènes et dites en quoi ces caractéristiques permettent de comprendre les résultats différents des expériences.

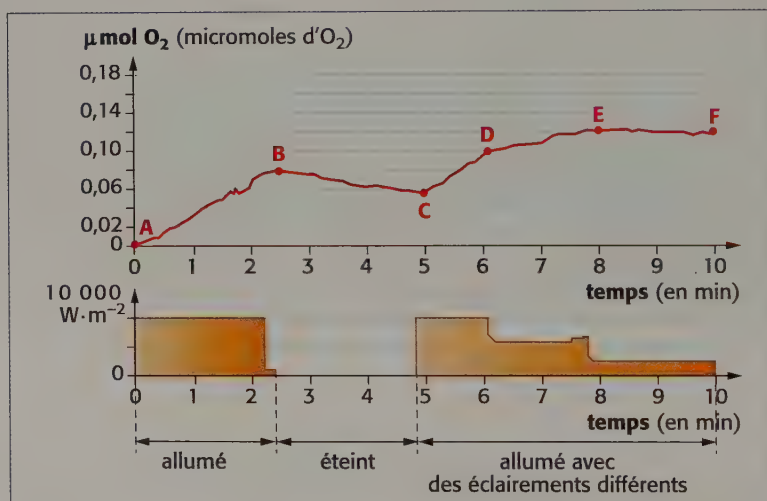
5 Exploitation de documents

★★★ Analyser des échanges gazeux

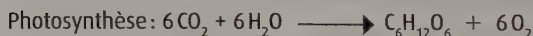
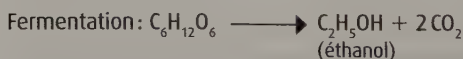
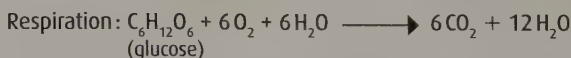
→ méthode p. 38 → corrigé p. 162

Des fragments de feuilles d'une plante aquatique sont placés dans une enceinte remplie d'eau (bioréacteur). On mesure la concentration en dioxygène dissous dans l'eau pendant 10 minutes, en faisant varier l'éclairage.

La concentration de départ est de 281 micromoles (μmol) de dioxygène par litre. La sonde à oxygène mesure le nombre de micromoles qui s'ajoutent à la concentration initiale. L'éclairement est exprimé en watts par m^2 .



On rappelle les principales réactions métaboliques rencontrées chez les êtres vivants :



Questions :

1. Identifiez les mouvements de dioxygène (rejet ou absorption par la plante) lors des différentes phases de l'expérience.
2. Identifiez les voies métaboliques utilisées et les conditions qui les permettent.
3. La respiration est un phénomène permanent chez les végétaux comme chez les animaux. Utilisez cette précision pour modifier votre réponse à la question 2.
4. Que se passe-t-il entre E et F ? Utilisez la réponse précédente et une analyse fine du graphique pour répondre.
5. On constate que les fragments de feuilles pratiquent les mêmes échanges gazeux que les plantes entières. Quelle en est à votre avis la raison ?

6 Exploitation de documents

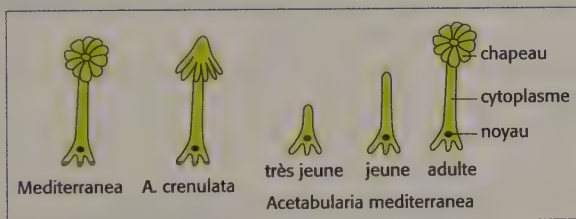
➔ méthode p. 198

➔ corrigé p. 163

★ La localisation de l'information génétique

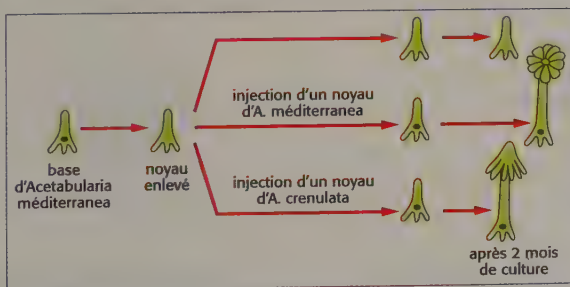
Les acétabulaires sont des algues marines unicellulaires. Elles sont constituées d'une seule cellule, géante et visible à l'œil nu (voir figure 1). Leur mode de croissance, ainsi que la forme du chapeau de deux espèces différentes, sont indiqués sur la figure 1.

Figure 1



On réalise des expériences de section et d'énucléation sur des bases d'acétabularia mediterranea (voir figure 2).

Figure 2



Question :

Indiquez ce qu'on peut conclure de ces expériences sur la localisation de l'information génétique d'une cellule.

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. aucune bonne affirmation ; 2. c ; 3. b et c ; 4. b ; 5. b ; 6. b et c ; 7. aucune bonne affirmation.

Appliquez la méthode

2 Représenter une observation par un schéma

• Étape 1 : Identifier les éléments de l'objet qu'il est utile de représenter

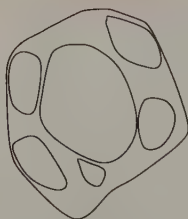
Un schéma est une représentation très simplifiée dans laquelle on représente les positions et les contours approximatifs des objets dessinés.

On simplifie aussi le contenu des objets. Par exemple, ici, on ne gardera que les 4 chloroplastes et la vacuole.

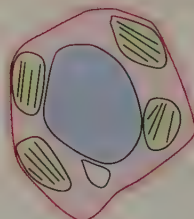
On schématisera un cytoplasme et un noyau uniforme. L'espace blanc entre les différentes cellules peut s'interpréter comme la paroi.

On pourra donc représenter la paroi et la membrane plasmique.

• Étape 2 : Réaliser les contours, puis les figurés

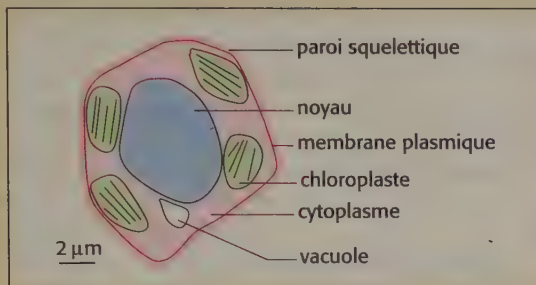


1. dessin des contours



2. dessin des remplissages

● Étape 3 : Légender le dessin



Cellule végétale observée au MET.

Exercices d'entraînement

3 Les différents microscopes

	Microscope optique	Microscope électronique à transmission (MET)	Microscope électronique à balayage (MEB)
Technique de préparation	être vivant entier ou en coupe, dans de l'eau	être vivant en coupe, bombardé de métal	être vivant entier ou en coupe, bombardé de métal
Aspect	vue en coupe	vue en coupe	vue en 3 dimensions
Couleur	couleurs naturelles plus des colorants éventuels	noir et blanc	noir et blanc
Mouvements	possibles car vivant	impossibles car mort	impossibles car mort
Grossissement	faible	élevé	élevé
Détails	peu nombreux	nombreux	nombreux

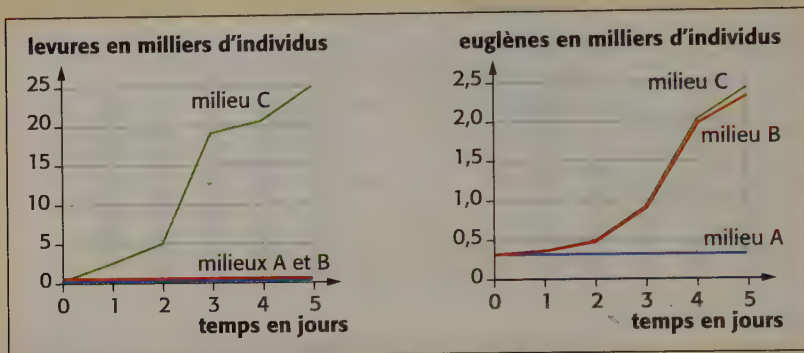
4 La nutrition des levures et des euglènes

1. Le résultat des comptages est le suivant. Pour les levures, on compte en tout 100 individus (pour les 4 cases), ce qui en fait 25 par case ($0,01 \text{ mm}^3$), soit 2 500 levures par mm^3 .

7 La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant

Pour les euglènes, on compte en tout 32 individus, ce qui en fait 8 par case, soit 800 euglènes par mm^3 . Le tableau peut être complété avec ces deux valeurs.

2. Représentations graphiques



3. Les meilleures conditions pour les levures sont le milieu C, c'est-à-dire la présence d'eau, de sels minéraux et de glucose. On en déduit que les levures ne peuvent pas se multiplier avec uniquement de l'eau et des sels minéraux. Il leur faut du glucose.

Les meilleures conditions pour les euglènes sont les milieux B et C. On en déduit que les euglènes ne peuvent pas se multiplier avec uniquement de l'eau. Il leur faut des sels minéraux. On ne peut pas dire que l'ajout de glucose apporte une amélioration, car la faible différence n'est pas significative.

Une faible différence de résultat n'est pas significative.

4. Les euglènes sont des algues unicellulaires chlorophylliennes. Elles sont autotrophes, c'est-à-dire capables de produire de la matière organique (leur propre matière) à partir de matière minérale et d'énergie. C'est ce qu'on observe : les euglènes peuvent se développer sur un milieu comprenant uniquement de l'eau et des sels minéraux (milieu B). Les levures sont des champignons unicellulaires sans chlorophylle. Elles sont dites hétérotrophes, c'est-à-dire qu'elles nécessitent de la matière organique pour édifier leur propre matière organique. C'est ce qu'on observe : les levures ne peuvent pas se développer sur un milieu uniquement minéral. Elles nécessitent la présence de matière organique (glucose du milieu C) dans le milieu de culture.

5 Analyser des échanges gazeux

1. Une augmentation du nombre de μmoles de dioxygène dans le bioréacteur indique que les feuilles sont en train de rejeter du dioxygène. C'est ce qui se passe de A à B et de C à E. Une diminution du nombre de μmoles de dioxygène dans le bioréacteur indique que les feuilles sont en train d'absorber du dioxygène. C'est ce qui se passe de B à C.

2. D'après les réactions métaboliques fournies, le rejet de dioxygène ne peut provenir que de la photosynthèse. L'absorption de dioxygène ne peut provenir que de la respiration. On constate que la photosynthèse se produit lorsque les feuilles sont éclairées, et que la respiration se produit lorsque les feuilles sont à l'obscurité.

3. Le fait que les végétaux respirent en permanence modifie notre interprétation. La respiration observée entre B et C se produit donc en permanence. Lorsque la plante est éclairée et qu'elle pratique la photosynthèse, la respiration est masquée. Ainsi, à l'obscurité, les feuilles respirent, et à la lumière, elles respirent et pratiquent une photosynthèse qui masque la respiration.

4. Entre E et F, il n'y a aucun échange gazeux. On pourrait penser que les feuilles sont mortes et que plus aucune réaction du métabolisme ne se produit. On peut émettre une autre hypothèse, qui est que la photosynthèse compenserait exactement la respiration. Entre C et E, le rejet de dioxygène, donc également la photosynthèse, est d'autant plus faible que l'éclairement est bas. On peut donc penser qu'entre E et F, une diminution encore plus importante de l'éclairement fait encore diminuer la photosynthèse, qui suffit juste à masquer la respiration, et donner l'apparence d'une absence d'échanges gazeux.

5. Le fait de fragmenter les feuilles ne modifie pas le métabolisme de ces feuilles. C'est probablement parce qu'il se déroule au niveau cellulaire, et que même si on fragmente les feuilles, il reste encore des cellules intactes.

Remarquez le lien entre la courbe et l'éclairement.

6 La localisation de l'information génétique

Lorsqu'on enlève le noyau d'une base d'*Acetabularia mediterranea*, la base énucléée ne développe pas de chapeau.

Lorsqu'on remet dans cette base un noyau d'*Acetabularia mediterranea*, la base développe un chapeau d'*Acetabularia mediterranea*. On en déduit que le noyau est nécessaire à la formation du chapeau.

Lorsqu'on remet dans une base d'*Acetabularia mediterranea* énucléée, un noyau d'*Acetabularia crenulata*, la base développe un chapeau d'*Acetabularia crenulata*. On en déduit que le noyau détermine la forme du chapeau.

Ces expériences de section permettent d'affirmer que l'information génétique de la cellule d'*Acetabularia* se trouve dans son noyau.

La figure 2 est interprétée grâce aux données de la figure 1.

L'universalité et la variabilité de la molécule d'ADN

1 La transgénèse repose sur l'universalité de la molécule d'ADN

→ On appelle **transgénèse*** le fait d'introduire un fragment d'ADN contenant un gène d'une espèce dans un individu d'une autre espèce. La transgénèse est rendue possible par le fait que le support des gènes, l'ADN, est universel.

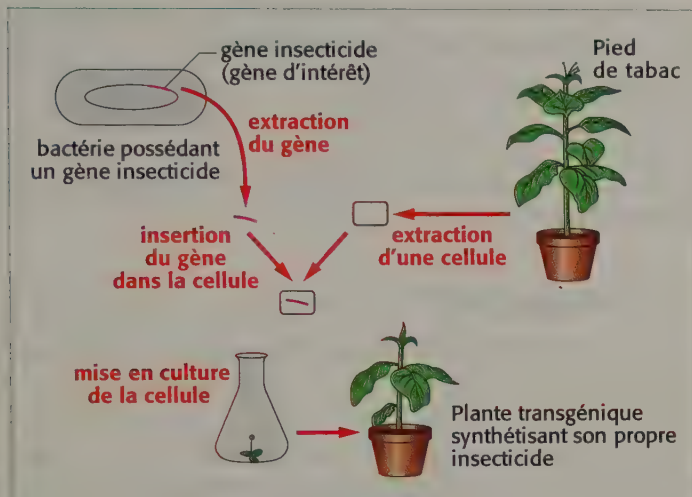
1 Le principe de la transgénèse

Les gènes d'un individu constituent son **génotype**. Ils produisent l'ensemble des caractères de cet individu, appelé **phénotype**. Si on souhaite transférer un caractère d'un individu à un autre, qu'ils appartiennent ou non à la même espèce, il faut transférer le gène qui produit ce caractère. Le gène que l'on souhaite transférer est appelé le **gène d'intérêt**.

Le gène d'intérêt peut provenir d'une espèce animale, végétale ou d'une bactérie.

2 Les conséquences de la transgénèse

- Un des objectifs de la transgénèse est l'amélioration des espèces cultivées ou élevées par l'Homme. On souhaite, par exemple, introduire dans un végétal un gène de résistance à un insecte, afin de mettre moins d'insecticides dans les champs. On peut aussi vouloir rendre la plante cultivée résistante à un herbicide qui décimera toutes les autres plantes non désirées.
- Un deuxième grand objectif de la transgénèse est la production de molécules. On peut faire produire à des bactéries, à des brebis (dans le lait ou le sang), ou à des végétaux, des molécules utiles à l'Homme, le plus souvent des médicaments, comme l'insuline ou des facteurs de coagulation du sang.
- La capacité d'introduire dans un organisme un gène intéressant pour l'Homme (le gène d'intérêt) conduit à la production d'un **organisme transgénique**, ou **organisme génétiquement modifié (OGM*)**, acquérant des propriétés nouvelles. La transgénèse conduit ainsi à une modification du génotype qui s'exprime par une variation du phénotype de l'individu receveur.
- Le fait que la transgénèse puisse être réalisée confirme que l'ADN est le support universel de l'information génétique. La transgénèse repose sur l'universalité de la molécule d'ADN en tant que support de l'information génétique.



Doc. 1. Le principe simplifié de la transgénèse.

L'universalité de l'ADN confirme à l'échelle moléculaire l'idée d'unité du vivant, vue à l'échelle cellulaire au chapitre précédent.

3 Les problèmes posés par la transgénèse

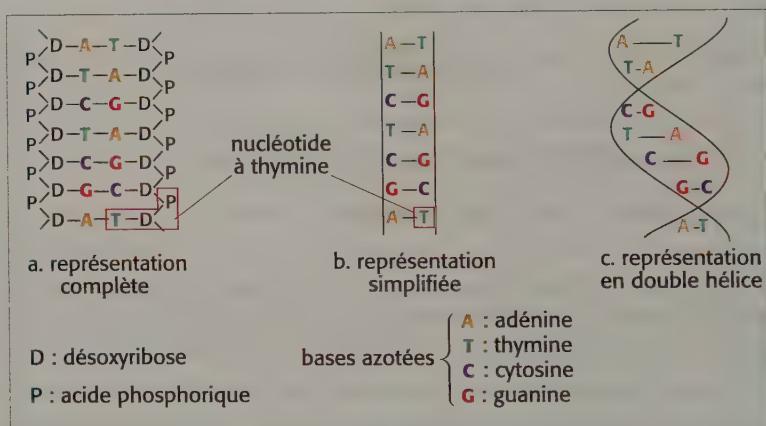
- La transgénèse est un procédé récent qui soulève de nombreuses questions.
- L'organisme receveur a été génétiquement modifié, par introduction du gène d'intérêt, mais aussi par les procédés qui accompagnent l'introduction du gène et la sélection des individus effectivement possesseurs du gène d'intérêt. Ces modifications peuvent ne pas être sans conséquence sur les utilisateurs des OGM (bétail, Homme).
- On utilise ainsi souvent un gène de résistance à un antibiotique pour sélectionner les individus effectivement transgéniques. On introduit ce gène en même temps que le gène d'intérêt. Si ce gène se retrouve un jour, à la suite d'une succession de transferts naturels entre espèces, dans une bactérie pathogène, celle-ci ne sera plus combattue par l'antibiotique en question.

2 Les chromosomes contiennent des molécules d'ADN

→ L'ADN a été découvert à la fin du XIX^e siècle, mais c'est seulement dans les années 1950 que sa structure a été comprise.

1 La molécule d'ADN

- ADN signifie **Acide DésoxyriboNucléique**. Cette molécule a été appelée ainsi à cause de ses propriétés acides, du désoxyribose qu'elle contient et de sa localisation dans le noyau (nucléique).
- L'ADN est une molécule très longue que l'on peut comparer à une échelle dont les montants (appelés brins) seraient composés d'**acide phosphorique** et de **désoxyribose** et les barreaux de **bases azotées** (document 2a).



Doc. 2. La molécule d'ADN.

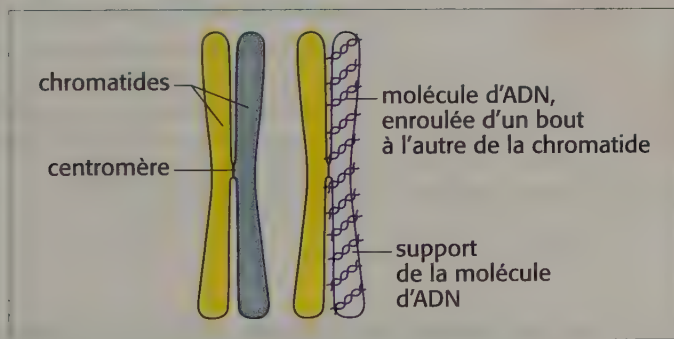
- On constate que les bases azotées présentent les associations obligatoires A-T et C-G. Le **nucléotide*** test l'unité de base de la molécule d'ADN. Il est composé d'un acide phosphorique et d'un désoxyribose. Comme les acides et les désoxyriboses n'ont pas de valeur informative, on ne les représente généralement pas (document 2b) et on confond souvent nucléotide et base azotée.

- La molécule d'ADN a en réalité une forme plus complexe, représentée sur le document 2c. L'échelle est torsadée et on décrit cette structure sous le nom de **double hélice**.
- Dans les livres et les logiciels, on ne représente en général qu'un seul côté de la molécule, puisqu'on peut déduire l'autre par la complémentarité entre nucléotides. On écrit aussi l'ADN de gauche à droite, pour des raisons de place. La molécule du document 2 devient ainsi : **T A G A G C T**, ou plus simplement, T A G A G C T. On voit que l'ADN peut se résumer à une succession de nucléotides (ou **séquence* de nucléotides**).

2 La localisation de l'ADN dans le chromosome

- Chaque **chromatide*** contient une molécule d'ADN, enroulée de façon complexe d'un bout à l'autre de la chromatide. Les chromosomes* à deux chromatides contiennent donc deux molécules d'ADN. Celles-ci sont identiques, ce qui permet, lors de la division cellulaire, que chaque cellule fille reçoive une information génétique identique.

Chaque chromosome répartit ses deux chromatides dans les deux cellules filles.



Doc. 3. La localisation de l'ADN dans le chromosome.

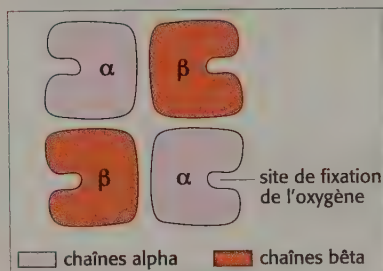
- À l'issue de la division cellulaire, chaque chromosome ne contient qu'une molécule d'ADN qui est une macromolécule formée de deux chaînes complémentaires enroulées en double hélice.

3 La signification de la séquence de nucléotides

→ On appelle **séquence de nucléotides** une succession de nucléotides le long de la molécule d'ADN. La signification de la séquence de nucléotides sera étudiée avec l'exemple de l'hémoglobine. Cette protéine se trouve dans les hématies (globules rouges) et permet le transport du dioxygène par le sang.

1 La nature du gène

- Un **gène*** est une séquence de nucléotides permettant la synthèse d'une molécule protéique (protéine), ou d'une sous-unité moléculaire.
- L'hémoglobine est une molécule composée de 4 sous-unités moléculaires, encore appelées chaînes. Elle est constituée de 2 chaînes α et 2 chaînes β . Les 4 chaînes sont unies par des liaisons chimiques non figurées sur le document 4.



- La synthèse de l'hémoglobine est sous la dépendance de deux gènes : le gène de la chaîne alpha et celui de la chaîne bêta. On peut représenter chacun de ces gènes par la succession des nucléotides qui le composent. Sur le document 5, on voit que le gène de la chaîne bêta, représenté partiellement, contient 444 nucléotides.

Doc. 4. Représentation simplifiée de l'hémoglobine.

1 444
 ATGGTGCACCTGACTCCTGAGGAGAAGTCTGCCGTTACT.....AAGTATCACTAA

Doc. 5. Le gène de la chaîne bêta de l'hémoglobine.

- La séquence des nucléotides au sein d'un gène constitue un **message**. Le détail de la transformation de ce message en protéine sera étudié en Première.

2 La position des gènes sur les chromosomes

- Chaque chromosome contient une molécule d'ADN par chromatide (document 3) qui porte de nombreux gènes. On ne connaît pas avec exactitude le nombre de gènes que possède l'Homme, mais on l'estime à environ 35 000 gènes.

- Ces 35 000 gènes sont répartis sur les 23 sortes de chromosomes que possède l'Homme (l'espèce humaine possède 23 paires de chromosomes). Cela fait une moyenne d'environ 1 520 gènes par chromosome. Ces gènes sont répartis le long de la molécule d'ADN, d'une extrémité à l'autre de la chromatide.

L'ensemble des gènes constitue le programme génétique ou information génétique*.

3 Les mutations sont à l'origine des allèles

- Il existe plusieurs maladies du sang liées à l'hémoglobine. Parmi elles, la **drépanocytose** se traduit par un déficit d'irrigation sanguine des organes. Les hématies deviennent rigides et ne peuvent plus passer dans les plus fins capillaires sanguins. Il en résulte un manque d'irrigation des organes. Cette anomalie est **héréditaire** et se transmet de génération en génération dans certaines populations.
- La rigidité des hématies est due à une anomalie de l'hémoglobine dont la cause est une modification du gène de la chaîne bêta. Cette modification est indiquée sur le document 6. Le 20^e nucléotide, qui est normalement une adénine, est remplacé par une thymine. Cette substitution est une **mutation***, c'est-à-dire une modification de l'ADN d'un gène.

1 allèle codant pour une chaîne bêta fonctionnelle

ATGGTGACCTGACTCCTGAGGAGAAGTCTGCCGTTACTGCCCTGTGGGGCAAGGTG.....

allèle codant pour une chaîne bêta anormale conduisant à la

ATGGTGACCTGACTCCTG**T**GGAGAAGTCTGCCGTTACTGCCCTGTGGGGCAAGGTG.....

Doc. 6. La mutation à l'origine de la drépanocytose.

- Les deux séquences de nucléotides du document 6 sont deux versions du même gène, le gène de la chaîne bêta de l'hémoglobine. On appelle **allèles*** les différentes versions d'un gène.
- Dans l'exemple de la chaîne bêta, l'allèle normal permet la synthèse d'une chaîne bêta fonctionnelle, et donc d'une **hémoglobine fonctionnelle**. L'allèle muté entraîne la synthèse d'une chaîne bêta **non fonctionnelle**. Dans le cas de la drépanocytose, l'hémoglobine rend les hématies rigides.
- Les allèles ont pour origine des mutations qui modifient la séquence de l'ADN. Les mutations peuvent être des substitutions de nucléotides, comme dans le document 6, mais aussi des **pertes** ou des **ajouts** de nucléotides.

Les mutations introduisent une variabilité de l'information génétique.

4 Causes et conséquences des mutations

→ Les modifications de l'ADN, appelées mutations, se produisent chez tous les individus, mais à une fréquence très basse. Ce sont souvent des erreurs des mécanismes de copie des gènes (ces copies sont indispensables pour augmenter le nombre de cellules), mais l'environnement peut également intervenir.

1 Certains agents de l'environnement peuvent augmenter le taux de mutation

Le **taux de mutation** peut-être augmenté par certains **agents de l'environnement***. C'est le cas de nombreux agents chimiques (molécules comme certaines graisses cuites, certaines colles, certaines substances présentes dans la fumée de cigarette...) ou physiques (rayonnement ultraviolet UV, γ) qui provoquent des mutations à l'origine de cancers.

→ L'étude d'une maladie : le Xeroderma pigmentosum

- Le Xeroderma pigmentosum est une maladie rare caractérisée par l'apparition de taches brunes sur la peau et un risque multiplié par 1 000 de développer un cancer de la peau ou des yeux. Les taches sont dues à la mort de cellules de la peau.
- L'analyse de l'ADN des malades révèle l'existence d'associations inhabituelles entre certains nucléotides. Les thymine qui se succèdent dans la séquence d'ADN perdent leurs liaisons avec les adénines, établissent des liaisons entre elles et forment ainsi des **dimères de thymine** (document 7). Les dimères de thymine formés perturbent le fonctionnement de la cellule qui les contient et provoquent sa mort.

A	C	T	-	T	C	G	C	T	A	A	C	C
T	G	A	A	G	C	G	A	T	T	G	G	

T - T : dimère
de thymine

Doc. 7. Un extrait de l'ADN d'une personne atteinte de Xeroderma pigmentosum.

→ L'origine de la maladie

- Les UV solaires sont responsables de graves dommages sur l'ADN. La **couche d'ozone** protège l'ADN en arrêtant une partie des UV les plus dangereux, mais une partie de ces rayons atteint le sol. Notre ADN est donc soumis en permanence à l'influence des UV, et réagit en réparant en permanence les mutations produites par ces rayons.

La couche d'ozone n'arrête qu'une partie des UV solaires.

- Les dimères de thymine se produisent chez tous les individus. Chez les non-malades existent des protéines de réparation de l'ADN, qui éliminent les dimères de thymine lorsqu'ils se forment. Chez les personnes atteintes de Xeroderma pigmentosum, une ou plusieurs mutations des gènes des **protéines de réparation** les rendent inactives. Les dimères de thymine ne sont pas éliminés, ce qui augmente le risque de cancers.

2 Les mutations peuvent se transmettre à la descendance

- Les conséquences des mutations sont différentes selon qu'elles touchent les **cellules somatiques*** ou **germinales***. Il existe dans notre organisme deux grands types de cellules. Les cellules germinales sont les **gamètes***, ovules et spermatozoïdes, et les cellules mères de ces cellules. Toutes les autres cellules sont des cellules somatiques.
- Spermatozoïdes et ovules possèdent dans leurs noyaux une information génétique qu'elles vont réunir pour former l'information génétique de l'œuf et du futur individu. On en déduit que si une mutation touche une cellule germinale en modifiant son ADN, elle sera transmise à la descendance du porteur de ces cellules. En revanche, si une mutation touche une cellule somatique, cela n'aura une conséquence que pour l'individu muté.
- Pour un organisme pluricellulaire, les conséquences des mutations sont donc variables. Suivant qu'elles affectent des cellules germinales ou des cellules somatiques, elles sont ou non transmissibles à la descendance.

3 L'unicité de l'ADN des individus

- Lorsqu'une mutation se produit dans un organisme, elle ne peut se transmettre qu'à sa descendance. Au fil du temps, les mutations, qui se produisent au hasard, modifient les individus de manière indépendante. En s'additionnant, les mutations rendent les individus de plus en plus différents. On dit qu'elles introduisent une **variabilité de l'information génétique**. Les différents allèles que possèdent les individus sont un des aspects de cette variabilité.
- Cette variabilité peut se traduire par des **maladies génétiques**, par des différences d'aspect sans lien avec la santé ou encore par aucune conséquence. On connaît ainsi des centaines d'allèles différents de la chaîne bêta de l'hémoglobine qui n'affectent pas sa capacité à transporter le dioxygène.
- La variabilité de l'ADN sous l'effet des mutations fait que chaque individu a un ADN unique (sauf les vrais jumeaux). Une application de cette unicité est la **recherche d'identité**, soit dans les affaires criminelles ou lors de la **recherche de paternité**.

De nombreuses mutations passent inaperçues.

Méthode

Interpréter une expérience

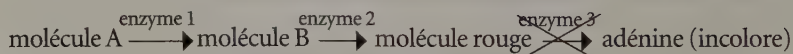
À SAVOIR : Qu'est-ce qu'interpréter une expérience ?

- Lorsqu'on fait une expérience, on met en relation divers objets biologiques, physiques ou chimiques, dans le but d'étudier l'effet de leur mise en relation. On a en général une idée du résultat. Cette idée s'appelle l'hypothèse.
- Une expérience est ainsi la reproduction d'un phénomène pour tester une hypothèse. Une expérience suit un protocole précis car on doit pouvoir la répéter afin de tester son caractère reproductible. Une expérience qui ne marcherait qu'une seule fois n'aurait aucune valeur.
- Enfin, une expérience doit toujours être comparée à une expérience témoin, qui est une expérience dont le résultat est connu. C'est généralement un montage ou un organisme sur lequel on ne fait pas agir la cause dont on teste la conséquence.
- Interpréter une expérience faite par autrui nécessite de déterminer l'hypothèse que l'expérience doit confirmer ou infirmer. Cela nécessite aussi de bien comprendre les phases du protocole expérimental. Enfin, l'analyse des résultats expérimentaux permettra de les comparer avec l'hypothèse.
- Comme une expérience produit souvent des résultats nombreux, il n'est pas toujours facile de déterminer avec exactitude l'hypothèse qui a conduit l'expérimentateur à la réaliser. C'est pourquoi on vous met sur la voie en vous posant une question du genre : « Utilisez les résultats expérimentaux suivants pour montrer que... ».

Sujet exemple

On connaît des levures rouges (souche Ade 2) qui présentent une anomalie métabolique. Elles ne sont plus capables de synthétiser une molécule organique, l'adénine, car il leur manque une enzyme* (l'enzyme 3 de la figure suivante, indispensable à la réaction). Les réactions de synthèse de l'adénine s'arrêtent à l'avant-dernière étape qui est un produit rouge.

L'absence de l'enzyme 3 est due à une mutation du gène qui permet sa synthèse.



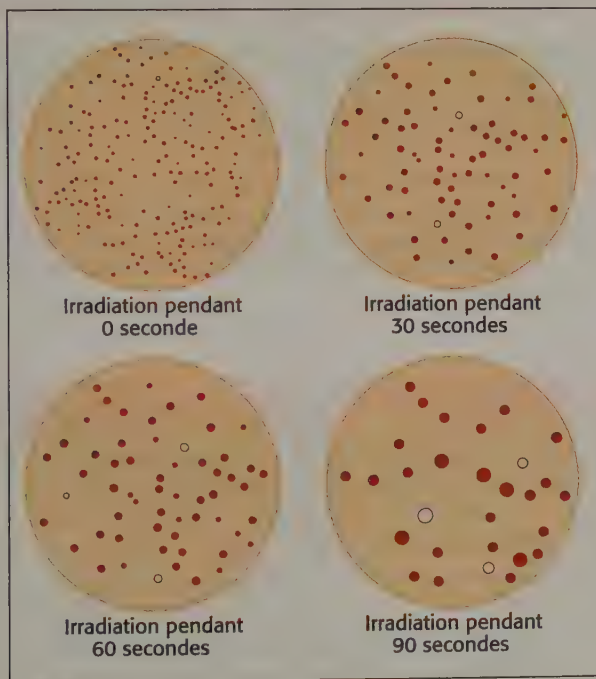
Réactions métaboliques chez les levures rouges.

On a remarqué que dans les cultures de levures rouges, apparaissaient parfois des levures blanches que l'on interprète comme des mutants. Soit ils redevenaient capables de synthétiser de l'adénine, soit ils n'arrivent plus à synthétiser le produit rouge.

On cherche à connaître l'effet du rayonnement ultraviolet sur la fréquence d'apparition des mutants au sein des levures rouges.

On réalise, en utilisant un milieu stérile, une suspension de levures qui contient environ 10^6 individus par mL. On étale ces levures sur des milieux gélosés stériles dans des boîtes de Pétri.

On place ensuite les boîtes de Pétri dans des enceintes d'irradiation où les levures rouges sont soumises à un rayonnement ultraviolet de durée variable. Après quelques jours à 28 °C, on observe les résultats suivants.



Question: Analysez cette expérience pour en déduire l'effet des rayons ultraviolets sur la biologie des levures.

Étape 1 : Identifier l'hypothèse qui a entraîné l'expérience

Une expérience est toujours réalisée dans le but de tester une hypothèse, qui fait suite à une observation. L'hypothèse peut être incluse dans la question que l'on vous pose, mais souvent, il faudra la reformuler après avoir compris l'expérience.

Ici, l'observation est l'apparition spontanée de colonies de levures blanches (mutants) au sein des colonies de levures rouges. On teste ensuite l'effet des rayons ultraviolets sur des levures. L'hypothèse de départ de l'expérimentateur pourrait être « je pense que les rayons ultraviolets ont un effet sur la fréquence d'apparition des mutants au sein des levures rouges », mais ce pourrait être aussi « je pense que les rayons ultraviolets *augmentent* la fréquence d'apparition des mutants au sein des levures rouges ».

Étape 2 : Comprendre les éléments du protocole expérimental

Pour pouvoir être refaite plus tard, une expérience doit suivre un protocole très précis et déterminé à l'avance. Certains détails du protocole peuvent paraître complexes, ou inutiles, mais il est important de chercher à en comprendre le rôle. En particulier, il faut rechercher systématiquement l'expérience témoin.

Ici, on travaille sur des milieux stériles pour ne pas que des parasites se développent sur le milieu de culture. La dilution précise des levures dans la suspension est importante. Si les levures étaient trop nombreuses dans la boîte de Pétri, les colonies formées recouvriraient rapidement toute la surface et ne pourraient plus être comptées. Enfin, il existe une culture témoin, qui ne reçoit pas de rayonnement UV.

Étape 3 : Analyser les résultats expérimentaux

- Les résultats expérimentaux peuvent vous être fournis sous forme d'un tableau ou d'un graphique. Ils sont alors directement exploitables. Ils peuvent aussi vous être fournis de manière plus brute, tels que les observe l'expérimentateur. Il faut alors faire des comptages, des mesures et des calculs pour élaborer un tableau de résultats.
- Les résultats d'une expérience peuvent être nombreux car on fait parfois apparaître des phénomènes inattendus. Il n'est pas forcément nécessaire de faire la liste de tous les résultats d'une expérience car on risque de perdre du temps. Il vaut mieux se concentrer sur ce qui est demandé dans la question.

Les résultats des cultures des différents milieux sont fournis tels que les a observés l'expérimentateur. Il faut donc calculer vous-même les pourcentages d'apparition des colonies de levures blanches au sein des cultures.

Les résultats des comptages donnent les résultats suivants.

Temps d'exposition	0 s	30 s	60 s	90 s
Nombre de colonies rouges	203	73	56	26
Nombre de colonies blanches	1	2	3	3
Pourcentage de colonies blanches	0,5 %	2,7 %	5,3 %	11,5 %

- On constate que sans irradiation, des colonies blanches apparaissent au sein des colonies rouges. Cela confirme l'observation de départ.
- On constate aussi que plus le temps d'irradiation est long, plus les colonies mutantes sont nombreuses en pourcentage.
- Un autre résultat, sans rapport avec la couleur des levures, peut être déduit. Plus l'irradiation est longue, moins il y a de colonies.
- Ce résultat n'est pas en rapport direct avec l'hypothèse, mais il est important à remarquer car il a une influence sur la construction du tableau de résultats. Il ne suffit pas de compter les colonies de levures blanches. Il faut aussi en calculer le pourcentage.
- En effet, si on se contentait du nombre de colonies, on pourrait conclure qu'entre 60 s et 90 s d'irradiation, il n'y a pas de différences, alors que le pourcentage d'apparition des colonies blanches double.

Étape 4 : Répondre au problème posé

Une bonne analyse des résultats permet de se faire une idée précise de la réponse au problème. Cette dernière partie de l'interprétation des résultats ne présente donc pas de difficultés. C'est plus une conclusion, qui valide ou invalide l'hypothèse, qui la précise ou la complète.

- L'hypothèse de l'expérimentateur, telle que nous l'avons reformulée, est validée. Les rayons ultraviolets ont un effet sur la fréquence d'apparition des mutants au sein des levures rouges. On peut compléter cette affirmation.
- Les rayons ultraviolets augmentent la fréquence d'apparition des mutants au sein des levures rouges. En effet, plus le temps d'irradiation est long, plus les colonies mutantes sont nombreuses en pourcentage.
- En plus, on a remarqué un autre effet des rayons UV sur les levures. Plus le temps d'irradiation est long, moins il y a de colonies, donc moins les colonies survivent.

Exercices

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

➔ corrigé p. 184

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Les mutations :

- ☐ a. peuvent se transmettre à la descendance ;
- ☐ b. se transmettent toujours à la descendance ;
- ☐ c. se transmettent en fonction de leur lieu d'apparition.

2. Les allèles sont :

- ☐ a. produits par mutations somatiques et germinales ;
- ☐ b. les différents gènes d'un même chromosome ;
- ☐ c. présents en deux exemplaires chez chaque individu.

3. L'information génétique est constituée par :

- ☐ a. la séquence des nucléotides de l'ADN ;
- ☐ b. la succession des nucléotides de l'ADN ;
- ☐ c. l'enchaînement des nucléotides de l'ADN.

4. Un gène :

- ☐ a. peut subir l'influence de l'environnement ;
- ☐ b. ne peut muter qu'une seule fois ;
- ☐ c. est constitué d'une portion de la molécule d'ADN.

5. Un individu transgénique :

- ☐ a. a reçu un gène d'une autre espèce ;
- ☐ b. va exprimer à sa façon le message contenu dans le gène inséré ;
- ☐ c. a fourni un gène d'intérêt.

6. La molécule d'ADN :

- ☐ a. est composée de 3 brins antiparallèles ;
- ☐ b. est composée de nucléotides ;
- ☐ c. possède une information en deux exemplaires.

7. Un chromosome :

- ☐ a. est constitué de chromatides ;
- ☐ b. contient de l'ADN ;
- ☐ c. contient une molécule d'ADN par chromatide.

Appliquez la méthode

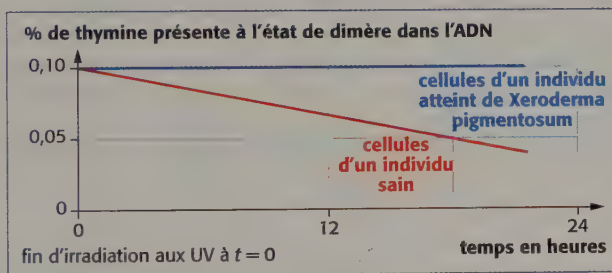
2 Interpréter une expérience

L'origine du Xeroderma pigmentosum

➔ corrigé p. 184

Le Xeroderma pigmentosum est une maladie due aux UV solaires qui produisent des dimères de thymine dans l'ADN. Il en résulte une augmentation du risque de cancers de la peau. On sait par ailleurs que les dimères de thymine se forment aussi chez les non-malades. Pour comprendre la différence de sensibilité au soleil entre les malades et les non-malades, on réalise l'expérience suivante.

Des cellules, qui n'ont jamais été exposées aux UV, sont prélevées chez un individu sain et chez un individu atteint de Xeroderma pigmentosum. Ces cellules sont mises en culture, puis soumises à un rayonnement UV de $25 \text{ erg} \cdot \text{min}^{-2}$. On mesure alors l'évolution du pourcentage de dimères de thymine dans l'ADN des cellules de ces deux cultures. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous.



Question :

En faisant abstraction de vos connaissances sur les causes du Xeroderma pigmentosum, analysez cette expérience pour en déduire l'origine des troubles des personnes atteintes de Xeroderma pigmentosum.

Autres applications de cette méthode

- L'organisme en fonctionnement p. 90
- Cellule, ADN et unité du vivant p. 157, 158, 159, 204

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances

➡ méthode p. 58

➡ corrigé p. 185

★ Les mutations, leurs causes et leurs conséquences

Question :

Indiquez en 10 à 15 lignes maximum, sans schéma, ce qu'est une mutation, quelle peut être son origine et la raison pour laquelle elle peut avoir des conséquences sur la santé d'une personne.

4 Exploitation de documents

➡ corrigé p. 185

★ Le maïs transgénique Bt

Chaque année, les cultures de maïs sont victimes de la chenille d'un papillon, la pyrale du maïs, qui dévore l'intérieur des tiges.

Depuis une vingtaine d'années, on cherche à diminuer l'utilisation d'insecticides en agriculture, car ces molécules, toxiques pour les insectes, se retrouvent finalement dans les nappes souterraines et les rivières, et peuvent devenir un danger pour l'Homme. Une des voies de recherche est l'obtention d'un maïs transgénique produisant lui-même une molécule insecticide. Pour fabriquer ce maïs, on a utilisé une bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt) qui produit naturellement une protéine insecticide. Le gène codant cette protéine a été isolé de cette bactérie et introduit dans le patrimoine génétique du maïs. On obtient ainsi des plants de maïs appelés Bt 176, dont toutes les cellules sont résistantes à la pyrale et pour lesquels l'utilisation d'insecticide n'est plus nécessaire.

Questions :

1. Rappelez ce qu'est un organisme transgénique et indiquez ce qui dans le document permet d'affirmer que le maïs Bt est transgénique.
2. Quelle propriété des êtres vivants permet la transgénèse ?
3. Indiquez de manière précise quel est l'intérêt de produire des maïs Bt transgéniques.

5 Exploitation de documents

➡ corrigé p. 186

★★ Les caractéristiques de l'ADN

Voici la schématisation d'une molécule d'ADN.

A G C G G C T A G C T A

T C G C C G A T C G A T

Questions :

1. Que signifient les lettres A, T, C et G ?
2. Calculez le rapport $\frac{A + C}{T + G}$, c'est-à-dire nombre de A + nombre de C divisé par nombre de T + nombre de G.
3. Ce rapport a la même valeur quelque soit l'être vivant. Essayez d'expliquer par un raisonnement ou des calculs la constance de cette valeur.
4. Le rapport $\frac{A + T}{C + G}$ est très variable selon l'ADN. Construisez la représentation d'une molécule d'ADN la plus courte possible et qui aurait un rapport $\frac{A + T}{C + G}$ égal à 1,6.

6 Exploitation de documents

➡ corrigé p. 186

★★ L'origine des thalassémies

Les thalassémies sont de graves maladies du sang qui nécessitent des transfusions sanguines régulières. Elles sont dues à des mutations du gène de la chaîne bêta de l'hémoglobine. On connaît plusieurs thalassémies.

On a représenté ci-dessous une portion de l'ADN du gène normal de la chaîne bêta et les portions équivalentes des allèles de ce gène responsables des thalassémies 1, 2 et 3. Les nucléotides ont été groupés par trois pour faciliter l'analyse des ADN.

bêta	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha1	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC TAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha2	...GCC GTT ACT GCC CTG TAG GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha3	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
bêta	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha1	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha2	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha3	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC TAG AGG TTC...

Questions :

1. Indiquez la définition d'un allèle et quelle est leur origine.
2. Pour chaque allèle produisant la thalassémie, entourez la ou les mutations à l'origine de ce nouvel allèle. Indiquez quel est le triplet initial et le triplet muté.
3. Les thalassémies ont reçu le même nom car elle correspondent toutes à des chaînes bêta trop courtes. Faites une hypothèse pour expliquer la cause génétique de la faible longueur des chaînes bêta des personnes atteintes de thalassémie.

7 Exploitation de documents

➔ corrigé p. 187

★★ L'utilisation des enzymes de restriction

Les enzymes de restriction, extraites de bactéries, sont capables de sectionner l'ADN lorsqu'elles rencontrent une séquence de nucléotides bien précise.

Par exemple, l'enzyme Mae II sectionne l'ADN entre AC et GT lorsqu'elle rencontre la séquence ACGT. On dit que l'enzyme digère l'ADN et on le représente comme suit :

...AC | GT...

Les fragments obtenus par action des enzymes de restriction peuvent être ensuite identifiés, et servir à de nombreuses applications, comme l'identification des personnes, en recherche criminelle ou en recherche de paternité.

Pour visualiser les fragments, on réalise une électrophorèse des fragments. Les fragments d'ADN sont placés sur un support gélatineux et soumis à un champ électrique. Ils migrent vers le pôle positif en fonction de leur taille, les plus petits migrant le plus vite.

Comme chaque individu a une séquence de nucléotides qui lui est propre, le résultat de la digestion enzymatique est spécifique de l'individu et la probabilité qu'une ou plusieurs enzymes de restriction produisent exactement les mêmes fragments, à partir d'ADN de deux personnes différentes, est quasi nulle. Si deux ADN digérés produisent les mêmes fragments, on est donc sûr que leurs possesseurs sont la même personne.

On fait subir une digestion enzymatique par l'enzyme Mae II aux deux ADN suivants. L'ADN 1 a été trouvé sur une scène de crime et l'ADN 2 est celui d'un suspect. Seule une petite partie des ADN 1 et 2 est représentée.

ADN 1

....AGGTCGTAGTCGATCGTCAGTCGATGCTGATTCGGATCGTGTGATCCGATCCAGCTCAACGTATC-
CGTCGTCAGTAATCGTAGCTGTCGATCGATTCCGGATGCACGTCGTAGCTGGATTATGCTAGCCTG-
CAGTCATCTGACACGTCGTGCAATCGTCGGTCGTGCATCGTAGTCCGTCAGCTGACCTGCACGCT
AATGCTGGTCACGTCCAGTC...

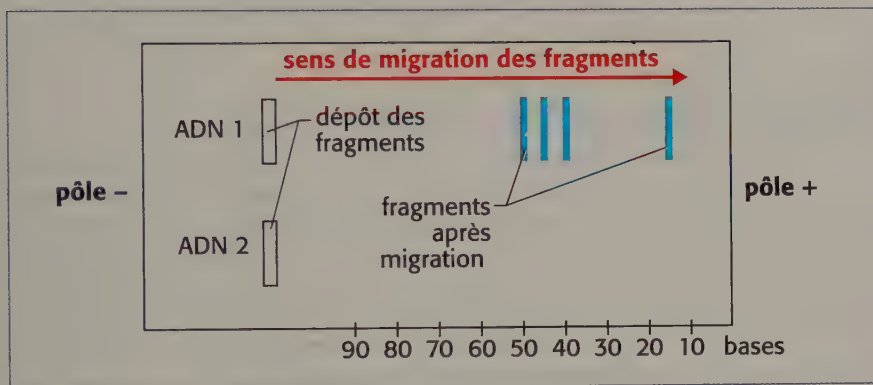
ADN2

....AGGTCGTAGTCGATCGTCAGTCGATGCTGATTCGGATCGTGTGATCCGATCCAGCTCAACGTATC-
CGTCGTCAGTAATCGTAGCTGTCGATCGATTCCGGATGCACGTCGTAGCTGGATTATGCTAGCCTG-
CAGTCATCTGACACTTCGTGCAATCGTCGGTCGTGCATCGTAGTCCGTCAGCTGACCTGCACGCT
AATGCTGGTCACGTCCAGTC...

Questions :

1. Soulignez les séquences ACGT dans les ADN 1 et 2, puis tracez les coupures produites dans l'ADN par l'enzyme MAE II. Que remarquez-vous ?

2. Indiquez dans un tableau, pour chaque ADN, le nombre de fragments obtenus par digestion enzymatique et la longueur des fragments en nucléotides lorsque c'est possible.
3. Quelle est la raison pour laquelle le nombre de fragments n'est pas le même pour les deux ADN?
4. On fait migrer ces fragments dans un champ électrique (électrophorèse), ce qui permet de les séparer et de les identifier. Le résultat de la migration a été représenté pour l'ADN 1 seulement. Complétez le résultat de l'électrophorèse en utilisant le tableau de la réponse 2 (voir ci-dessous).



5. Quel résultat ont obtenu les enquêteurs suite à leur analyse d'ADN?
6. En utilisant vos connaissances, indiquez brièvement la raison pour laquelle chaque individu a une séquence de nucléotides qui lui est propre.

Corrigés

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. a et c; 2. a et c; 3. a, b et c; 4. a et c; 5. a; 6. b et c; 7. a, b et c.

Appliquez la méthode

2 L'origine du Xeroderma pigmentosum

● Étape 1 : Identifier l'hypothèse qui a entraîné l'expérience

On sait que la cause de la maladie est une formation de dimères de thymine lors d'une exposition aux UV solaires. On sait aussi que chez les personnes non malades apparaissent aussi des dimères de thymine. On fait alors l'hypothèse que les dimères de thymine pourraient subir un sort différent chez les personnes atteintes ou non atteintes de Xeroderma pigmentosum.

Remarquez que l'on vous demande de faire abstraction de vos connaissances. Il s'agit de faire comme si vous ne saviez rien de cette maladie et de ne tenir compte que de l'expérience.

● Étape 2 : Comprendre les éléments du protocole expérimental

Des cellules sont prélevées chez un malade et chez un non-malade, puis mises en culture et soumises à des doses croissantes de radiations UV.

Une particularité importante du protocole de cette expérience est indiquée non pas dans le texte mais sous le graphique. L'irradiation est interrompue à $t = 0$. On ne mesure l'évolution du pourcentage de dimères de thymine qu'après avoir interrompu l'irradiation. En effet, si on laissait l'irradiation continuer, la production de nouveaux dimères de thymine compliquerait l'interprétation des mesures.

● Étape 3 : Analyser les résultats expérimentaux

Les cellules n'ayant jamais été exposées aux UV avant l'expérience, les dimères formés l'ont été par l'irradiation. On constate que le pourcentage de dimères de thymine produit par l'irradiation est le même dans les cellules des individus malades que dans celles des individus non malades : 0,10 % de l'ADN.

L'évolution ultérieure du pourcentage est différente. Dans les cellules des individus malades, le pourcentage de dimères ne varie pas, alors que dans celles des individus non malades, il baisse rapidement et diminue de moitié en 24 heures.

● Étape 4 : Répondre au problème posé

On déduit de cette expérience que chez les non-malades, les dimères de thymine subissent un sort différent. Un mécanisme permet d'éliminer les dimères de thymine produits par

les UV solaires et ainsi d'éviter la mort des cellules et les risques de cancer. Ce mécanisme ne peut pas être précisé avec les résultats de cette expérience. Chez les malades, ce mécanisme est déficient. Les dimères ne sont pas éliminés et le risque de cancer augmente.

Exercices d'entraînement

3 Les mutations, leurs causes et leurs conséquences

Un gène est une séquence de nucléotides permettant la synthèse d'une molécule protéique (protéine), ou d'une sous-unité moléculaire. On appelle séquence une succession de nucléotides le long de la molécule d'ADN.

Une mutation est une modification de l'ADN d'un gène. Par exemple, une séquence normale pourrait être ATGCTGATGTC et la séquence mutée ATGCA^AGATGTC. La mutation représentée ne concerne qu'un nucléotide.

Il est indispensable de définir le gène.

Les mutations se produisent par des erreurs lors du recopiage des gènes avant les divisions cellulaires, mais elles peuvent aussi être augmentées par des facteurs environnementaux, comme les rayons UV solaire, ou encore certaines substances comme celles contenues dans la fumée de cigarette. Comme l'ADN contient un message qui permet la synthèse de protéine, une mutation constitue une modification de ce message. La protéine synthétisée sera alors différente et ne pourra plus remplir son rôle habituel. Il pourra en résulter une maladie.

4 Le maïs transgénique Bt

1. Un organisme transgénique est un être vivant à qui on a introduit un gène d'une autre espèce. Le maïs Bt est transgénique car le gène introduit est celui d'une bactérie, donc d'une espèce différente du maïs.

2. La transgénèse consiste en l'introduction d'un gène étranger, qui va ensuite produire une protéine, en utilisant l'équipement moléculaire de la cellule hôte. Il faut donc que l'information génétique portée par l'ADN introduit soit comprise par la cellule hôte. Cela est possible car l'ADN est universel. La signification d'une séquence de nucléotides est la même pour tous les êtres vivants. Quel que soit la cellule dans laquelle il est introduit, un gène produira toujours la même protéine.

3. L'expression du gène introduit dans les cellules de maïs produit de l'insecticide dans toutes ses cellules. Ces cellules sont donc capables de se défendre contre la pyrale en l'intoxiquant. Il n'est donc plus besoin de répandre de l'insecticide dans les champs. Les nappes souterraines et les rivières seront ensuite moins polluées.

Cet exercice vous demande de retrouver des notions du cours dans des documents.

5 Les caractéristiques de l'ADN

1. Les lettres A, T, C et G correspondent aux nucléotides. T est un nucléotide à thymine, A est un nucléotide à adénine, G est un nucléotide à guanine et C est un nucléotide à cytosine.

2. Le rapport $\frac{A+C}{T+G}$ est égal à $\frac{5+7}{5+7} = 1$.

3. Le nombre de A est égal au nombre de T, à cause de la complémentarité obligatoire entre A et T et le nombre de C est égal au nombre de G, à cause de la complémentarité obligatoire entre C et G. On a donc $A = T$ et $C = G$.

En remplaçant T par A et G par C, on peut écrire que $\frac{A+C}{T+G} = \frac{A+C}{A+C} = 1$.

Le rapport $\frac{A+C}{T+G}$ est donc constant et vaut 1.

4. Pour avoir $\frac{A+T}{C+G} = 1,6$, on peut prendre $\frac{A+T}{C+G} = \frac{16}{10}$.

Comme nous savons que $A = T$ et que $C = G$, on aboutit à $A = T = 8$ et $C = G = 5$. Voici un exemple de réalisation :

A	G	T	G	A	C	T	A	A	C	T	A	G
T	C	A	C	T	G	A	T	T	G	A	T	C

On peut aussi construire cette molécule par tâtonnement.

6 L'origine des thalassémies

1. On appelle allèle une variante d'un gène. Les allèles sont obtenus par mutation, c'est-à-dire par des modifications de l'ADN qui les constitue.

2. Les mutations des trois allèles conduisant aux thalassémies 1, 2 et 3 sont entourées en rouge sur les séquences fournies, en prenant l'allèle normal comme référence.

bêta	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha1	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC <u>TTAG</u> GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha2	...GCC GTT ACT GCC CTG <u>TAG</u> GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT
tha3	...GCC GTT ACT GCC CTG TGG GGC AAG GTG AAC GTG GAT GAA GTT GGT GGT

bêta	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha1	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha2	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC CAG AGG TTC...
tha3	GAG GCC CTG GGC AGG CTG CTG GTG GTC TAC CCT TGG ACC <u>TTAG</u> AGG TTC...

Il y a une seule mutation par allèle pour les portions fournies. Les triplets initiaux et mutés sont indiqués dans le tableau suivant.

	Triplet initial	Triplet muté
Thalassémie 1	AAG	TAG
Thalassémie 2	TGG	TAG
Thalassémie 3	CAG	TAG

3. Les thalassémies se traduisent toutes par des molécules bêta trop courtes. On peut donc faire l'hypothèse que la cause est la même pour les trois thalassémies. On remarque que les trois mutations détectées à la question précédente transforment un triplet de nucléotides en TAG. Ainsi, la cause des thalassémies serait peut-être l'apparition d'un triplet TAG.

Plusieurs triplets différents aboutissent à TAG par mutation.

7 L'utilisation des enzymes de restriction

1. Les séquences ACGT sont soulignées et les coupures sont représentées en rouge. On remarque que l'ADN 2 comporte une séquence ACGT de moins, donc une coupure de moins.

ADN 1

...AGGTCGTAGTCGATCGTCAGTCGATGTCTGATTCCGATCGTGTGATCCGATCCAGCTCA
AC|GTATCGTCAGTAATCGTAGCTGTCTGATCGATTCCGATGCAC|GTCGTAGCTGGATTATGC-
 TAGCCTGCAGTCATCTGACAC|GTCGTGCAATCGTCGGTCGTGCATCGTAGCTCCGTCAGC-
 TGACCTGCAC|GTCTAATGCTGGTCAC|GTCCAGTC...

ADN 2

....AGGTCGTAGTCGATCGTCAGTCGATGTCTGATTCCGATCGTGTGATCCGATCCAGCTCA
AC|GTATCGTCAGTAATCGTAGCTGTCTGATCGATTCCGATGCAC|GTCGTAGCTGGATTATGC-
 TAGCCTGCAGTCATCTGACACTTCGTGCAATCGTCGGTCGTGCATCGTAGCTCCGTCAGC-
 TGACCTGCAC|GTCTAATGCTGGTCAC|GTCCAGTC...

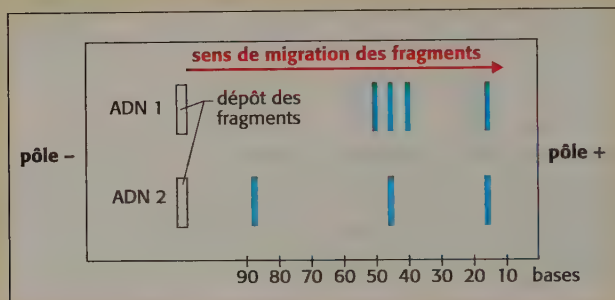
2. La digestion enzymatique des ADN fournit 6 fragments pour l'ADN 1 et 5 fragments pour l'ADN 2. Comme les ADN 1 et 2 ne sont pas fournis en entier, on ne peut pas connaître le nombre de nucléotides des fragments des extrémités.

Fragments	1	2	3	4	5	6
ADN 1	?	45	39	49	16	?
ADN 2	?	45	88		16	?

3. Le nombre de fragments n'est pas le même entre les ADN 1 et 2, car leur nombre de séquences ACGT n'est pas le même. À une des séquences ACGT de l'ADN 1, correspond la séquence ACTT. C'est une mutation qui est à l'origine de cette différence, mais on ne sait pas chez quel individu elle s'est produite. Ce peut être ACGT qui a été muté en ACTT dans la famille des porteurs de l'ADN 2, ou ACTT qui a été muté en ACGT dans la famille des porteurs de l'ADN 1.

On ne sait pas quel est l'ADN initial.

4. La migration des fragments d'ADN se fait proportionnellement à leur taille. Les petits fragments migrent le plus vite. Il suffit donc de placer les fragments issus de la digestion enzymatique de l'ADN 2 sur l'échelle de migration des fragments.



5. Les enquêteurs ont constaté que les ADN 1 et 2 sont différents et qu'ils n'appartiennent pas à la même personne. Le suspect n'est donc pas la personne qui a laissé de l'ADN sur la scène de crime.

6. Lorsqu'une mutation se produit dans un organisme, elle ne peut se transmettre qu'à sa descendance. Au fil du temps, les mutations, qui se produisent au hasard, modifient les individus de manière indépendante. En s'additionnant, les mutations rendent les individus de plus en plus différents. On dit qu'elles introduisent une variabilité de l'information génétique. Chaque individu a une donc séquence de nucléotides qui lui est propre.

Parenté et diversité des organismes

1 Les similitudes du plan d'organisation des Vertébrés

→ On appelle **plan d'organisation** d'un organisme les relations spatiales et fonctionnelles qui existent entre les différents systèmes (locomoteur, nerveux, digestif, circulatoire, respiratoire...) d'un organisme. Les Vertébrés présentent des similitudes au niveau de leur plan d'organisation.

1 L'axe antéro-postérieur

- Le long d'un axe qui va de l'avant à l'arrière de l'animal (**axe antéro-postérieur**), on trouve la tête, le tronc et la queue (documents 1 et 2).
- La tête est constituée d'un squelette crânien, qui contient l'encéphale. Elle porte les organes sensoriels et la bouche, extrémité antérieure du tube digestif.
- Le tronc est armé par la colonne vertébrale et les côtes. La colonne vertébrale contient la moelle épinière, prolongement de l'encéphale et de laquelle partent de nombreux nerfs. Les côtes forment la cage thoracique où se situent les poumons et le cœur, organes principaux des systèmes respiratoire et circulatoire. Dans l'abdomen se trouvent essentiellement les organes du système digestif. Dans la région postérieure de l'abdomen se situent les reins, les organes sexuels, et la terminaison de l'appareil digestif, l'anus.
- Sur le tronc s'insèrent 4 membres locomoteurs, essentiellement constitués d'éléments de squelettes, de muscles, de leurs systèmes de commande (les nerfs) et de nutrition (les vaisseaux sanguins).
- La queue est constituée par la fin de la colonne vertébrale.

2 L'axe dorso-ventral

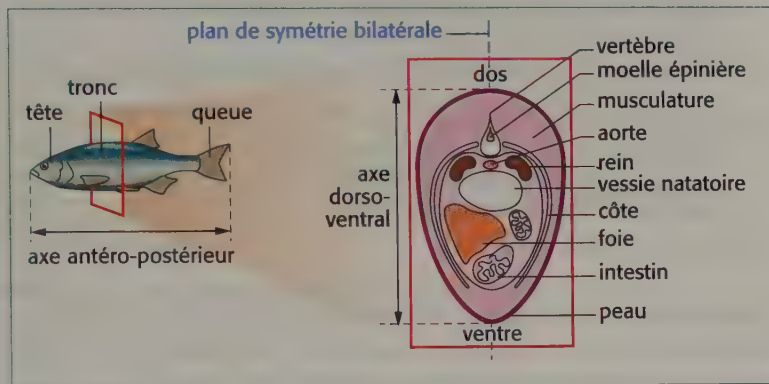
C'est essentiellement la position du système nerveux qui définit l'**axe dorso-ventral**. Chez les Vertébrés, le système nerveux est en position dorsale, et les autres systèmes (digestif, circulatoire, respiratoire) sont en position plus ventrale. Chez les non-Vertébrés, c'est le système nerveux qui est en position ventrale.

3 La symétrie bilatérale

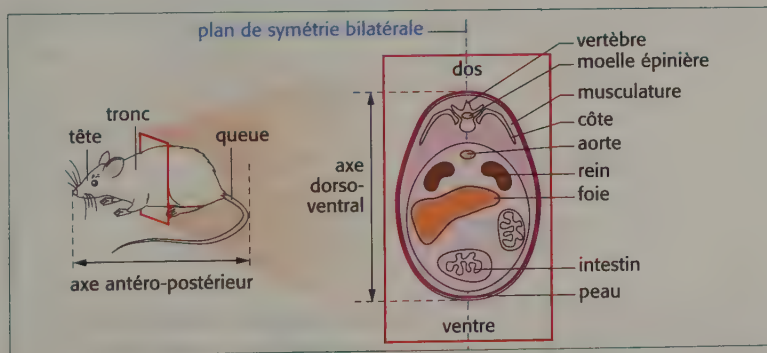
- Chez les Vertébrés, comme chez la plupart des animaux, on observe une **symétrie bilatérale**. Elle se traduit extérieurement par le fait que tous les organes non situés en position centrale

Le tube digestif est un organe central.

sont pairs, comme les organes sensoriels, les membres. À l'intérieur de l'organisme, on retrouve cette organisation. Les poumons, les nerfs, les reins, les gonades, testicules ou ovaires sont des organes pairs.



Doc. 1. Aspect externe et coupe transversale schématisée d'une truite.



Doc. 2. Aspect externe et coupe transversale schématisée d'une souris.

● **Conclusion :** Les Vertébrés présentent une grande **diversité**, des Poissons aux Mammifères. Pourtant, on peut mettre en évidence un plan d'organisation commun aux Vertébrés. L'axe antéro-postérieur est défini par la succession tête-tronc-queue, et l'axe dorso-ventral est défini par la position dorsale du système nerveux. Une symétrie bilatérale est constatée pour les organes non centraux. L'aspect du plan d'organisation le plus spécifique des Vertébrés est la position dorsale du système nerveux.

2 La mise en place du plan d'organisation

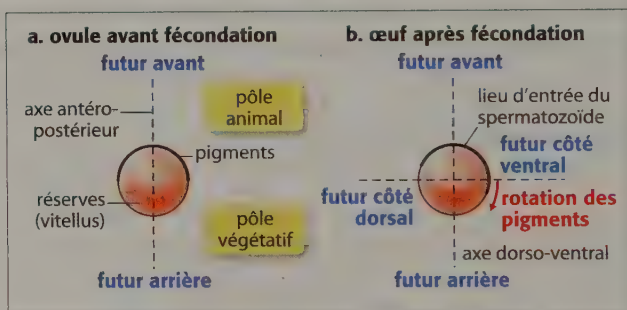
→ La mise en place du plan d'organisation, à partir de la cellule-œuf, sera étudiée chez un batracien, le Xénope, crapaud d'origine sud-africaine.

1 La mise en place du plan d'organisation du Xénope

- C'est la fécondation qui aboutit à la cellule-œuf. L'ovule, ou gamète femelle, est une cellule sphérique (document 3), plus pigmentée d'un côté (**pôle animal**) et plus riche en réserves de l'autre (**pôle végétatif**). Le pôle animal deviendra l'avant de l'animal et le pôle végétatif l'arrière.

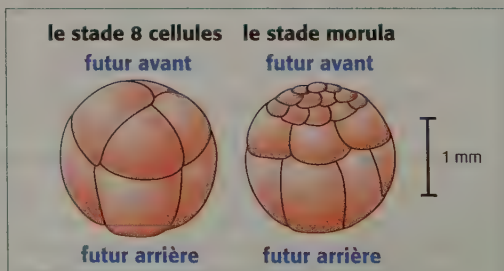
L'axe antéro-postérieur est déjà défini lors de la formation de l'ovule.

- La pénétration du spermatozoïde produit une rotation des pigments, qui définit la **polarité dorso-ventrale**. La région de pénétration du spermatozoïde sera le futur côté du ventre. Le lieu de fécondation définit ainsi l'axe dorso-ventral.



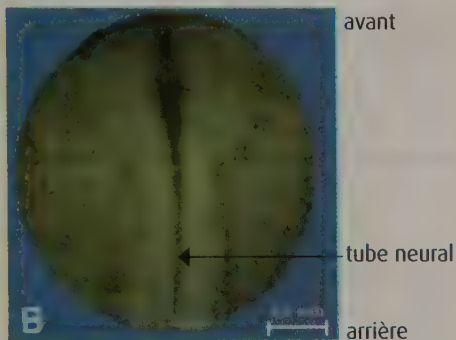
Doc. 3. L'acquisition des axes du plan d'organisation dans l'ovule fécondé de Xénope.

- Suite à la fécondation, l'œuf se divise en 2, puis 4, 8... cellules, sans changer de taille (c'est la segmentation*). Les cellules sont donc de plus en plus petites. Elles sont également plus petites du côté du pôle animal (document 4). Au bout de 7 heures, on aboutit au stade morula (petite mûre), qui présente de nombreuses cellules.



Doc. 4. La division de l'œuf de Xénope.

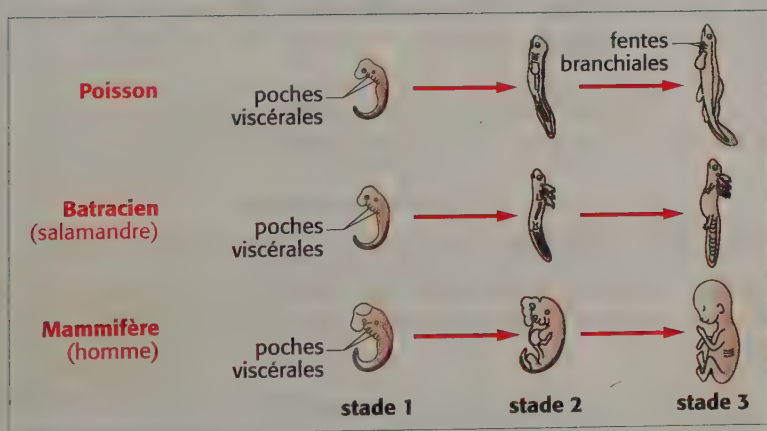
• Au stade morula, les axes antéro-postérieur et dorso-ventral, déjà définis, ne se traduisent pas encore extérieurement. Ce n'est que lors de la mise en place du système nerveux que ces axes deviennent visibles (document 5). Vers la 35^e heure après la fécondation se met en place une gouttière qui évolue en **tube neural**. Ce tube est situé au niveau du futur dos et son volume plus important d'un côté préfigure la future tête.



Doc. 5. La formation du tube neural.

2 La mise en place du plan d'organisation de l'ensemble des Vertébrés

Tous les Vertébrés passent par certains stades de développement communs. Sur le document 6, on constate que, bien qu'aboutissant à des organismes extrêmement variés, les premières phases de développement présentent des points communs. Lors du stade le plus précoce du document 6, on remarque la présence de **poches viscérales** chez tous les embryons. Elles donneront les **fentes branchiales** chez certains Poissons mais évolueront différemment chez les autres Mammifères. Ces similitudes dans le développement sont un argument pour envisager une **origine commune des espèces**.



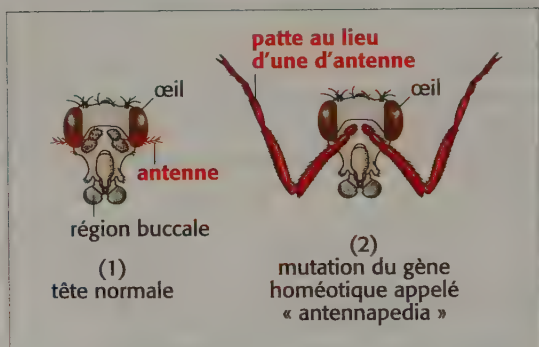
Doc. 6. Trois stades de développement chez un Poisson, un Batracien et un Mammifère.

3 L'importance des gènes homéotiques

➔ Plusieurs exemples de mutations ont déjà été présentés. Elles transformaient des molécules fonctionnelles en molécules non fonctionnelles. Certaines mutations ont une importance plus grande.

1 La mise en évidence des gènes homéotiques

- La drosophile est une petite mouche de quelques millimètres de long, qui possède des antennes, 6 paires de pattes et une paire d'ailes seulement.
- On connaît un mutant qui possède deux paires d'ailes (**mutant bithorax**) et un autre qui possède des pattes à la place des antennes (**mutant antennapedia**, document 7). Comme la formation des pattes et des ailes nécessite de nombreux gènes, on pourrait penser que la présence d'une deuxième paire d'ailes ou des pattes à la place des antennes résulte de très nombreuses mutations. Or il a été démontré expérimentalement que ces modifications sont dues à la mutation d'un seul gène.



Doc. 7. La mutation antennapedia.

- Ces gènes, qui commandent la formation de tout un organe, à une position qui n'est pas celle du plan d'organisation, sont des gènes de niveau hiérarchique supérieur. Ils ont été baptisés **gènes homéotiques***.

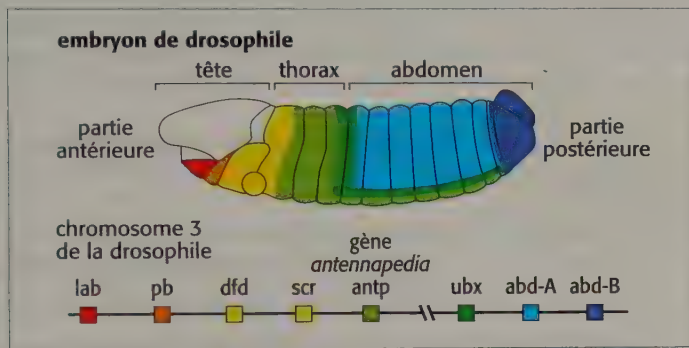
Les gènes homéotiques font partie des gènes du développement.

2 L'expression des gènes homéotiques

- Chez la drosophile, on a déterminé l'existence de 8 gènes homéotiques, situés sur le chromosome 3 (document 8). Chaque cellule de la drosophile possède ces 8 gènes,

mais ils ne s'expriment pas partout. Sur le document 8, on remarque que les gènes homéotiques *lab*, *pb* et *dfd* s'expriment dans la tête seulement. On peut aussi différencier l'action des gènes homéotiques par segments. Le gène *lab* ne s'exprime que dans le premier segment de la tête.

- Dans chacune des parties de l'embryon de drosophile, tel ou tel gène homéotique va commander d'autres gènes et leur faire produire les organes propres à ce segment.



Doc. 8. Domaines d'expression des gènes homéotiques chez l'embryon de drosophile.

3 L'organisation des gènes homéotiques

- Une particularité étonnante des **gènes homéotiques** est le fait que leur disposition le long du chromosome 3 correspond à la disposition de leur action le long du corps de la drosophile.
- Le gène homéotique *lab*, situé le premier le long du chromosome 3, s'exprime et agit sur le premier segment de la tête. Le gène *antp*, situé au milieu des gènes homéotiques, s'exprime dans les segments du milieu de l'animal.

4 La régulation de l'expression des gènes homéotiques

- On vient de voir que tous les gènes homéotiques ne s'expriment pas dans tous les segments. On a déjà dit au chapitre 7 que toutes les cellules possèdent la même **information génétique**, mais que l'expression des gènes était régulée.
- **L'expression partielle du génome*** de chaque cellule est la conséquence de signaux internes, issus de la position par rapport aux pôles animal et végétatif de l'œuf, mais aussi de signaux reçus des cellules voisines.

Chaque cellule n'exprime que les gènes des molécules qui lui sont utiles.

4 Les gènes homéotiques confirment l'origine commune des espèces

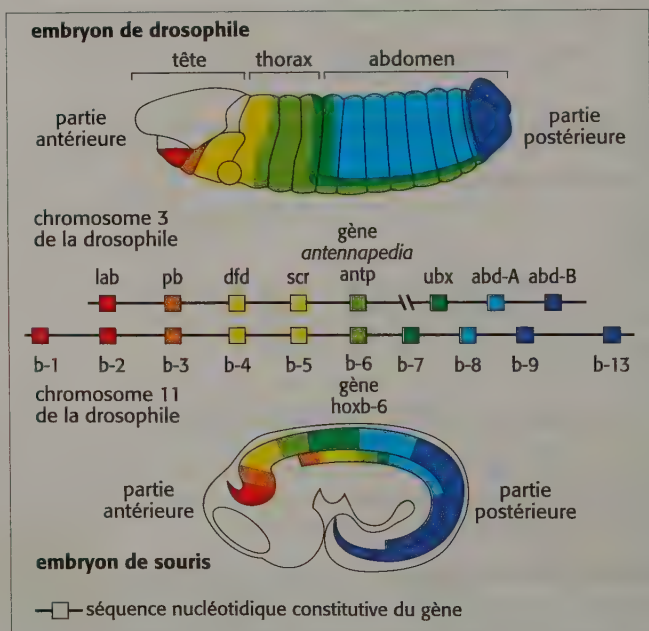
→ La découverte des gènes homéotiques ayant permis de mieux comprendre la mise en place du plan d'organisation chez la drosophile, on a alors recherché des équivalents chez les autres animaux et en particulier chez les Vertébrés.

On a découvert que chez tous les animaux, du vers à l'homme, existent des **gènes homéotiques**. Ceux de la souris ont été particulièrement étudiés. Leur structure et leur organisation rappellent fortement celles observées chez la drosophile.

1 Les similitudes entre gènes homéotiques de la souris et de la drosophile

→ Les gènes homéotiques de la souris sont organisés comme ceux de la drosophile

- Les gènes homéotiques de la souris sont groupés et disposés le long d'un chromosome (document 9). Cependant, chez la souris, plusieurs chromosomes sont concernés.



Doc. 9. Les gènes homéotiques chez les embryons de drosophile et de souris.

- Leur domaine d'expression est limité à une partie du corps de la souris, le long de l'axe antéro-postérieur.
- La disposition des gènes homéotiques le long du chromosome correspond à la disposition de leurs domaines d'expression.

→ Les gènes homéotiques de la souris et de la drosophile sont apparentés

- La comparaison des gènes homéotiques de la drosophile et de la souris a montré que les séquences de nucléotides sont très voisines dans les deux espèces. Au sein d'une même espèce, les gènes homéotiques ont des séquences très voisines, mais ces séquences sont également très voisines entre espèces.
- Un gène homéotique de la souris ou de l'homme, introduit par transgénèse dans le génome de la drosophile, peut remplacer la fonction du gène homéotique équivalent.

Les gènes homéotiques de la souris et de la drosophile ont la même fonction.

2 L'origine commune des espèces

- Malgré leur diversité, les grands plans d'organisation du monde vivant sont en partie sous le contrôle de **gènes apparentés*** tels que les gènes homéotiques.
- Le fait qu'un même système génétique intervienne dans un processus de développement, chez des animaux extrêmement différents, renforce la notion d'**origine unique du monde vivant**.

3 Bilan sur la parenté et la diversité des organismes

- L'ensemble de cette partie du programme permet de dégager l'**unité du monde vivant** à différentes échelles (cellule, molécule, organisme).
- Tous les êtres vivants eucaryotes sont formés de cellules, limitées par une membrane plasmique, qui définit un compartiment où a lieu le métabolisme. Certains êtres vivants sont **unicellulaires** et d'autres **pluricellulaires**.
- L'**information génétique** est contenue dans le noyau, sous forme d'ADN, **molécule universelle**.
- Le **plan d'organisation** et sa mise en place présentent des similitudes pour l'ensemble des êtres vivants et au sein de certains ensembles comme celui des Vertébrés.
- Ces constatations conduisent à renforcer la notion d'**origine commune** de tous les êtres vivants.
- D'autres arguments en faveur de l'origine commune de tous les êtres vivants seront étudiés en Première et en Terminale.

Méthode

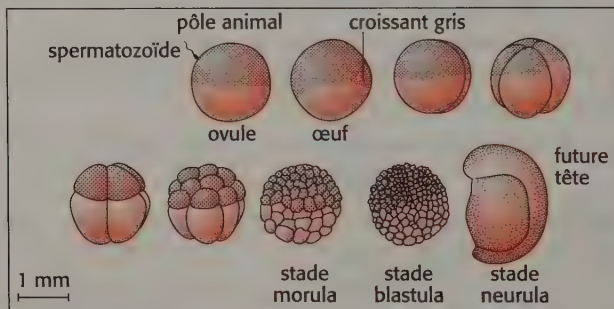
Comprendre la représentation schématique d'un phénomène scientifique

A SAVOIR : Qu'est-ce qu'une représentation d'un phénomène scientifique ?

- Lorsque quelqu'un communique des informations scientifiques, il le fait généralement par du texte et des dessins, des schémas ou des photos. Le texte permet des explications détaillées et précises, mais une illustration est souvent indispensable. Les photos, si elles existent, permettent de visualiser le phénomène, mais de manière brute, sans modification possible. C'est pourquoi on privilégie souvent les schémas, qui permettent à leur auteur de représenter exactement ses idées, en insistant sur des détails, en modifiant le point de vue.
- L'avantage de la représentation schématique par rapport au texte est qu'elle offre une possibilité au lecteur de visualiser l'observation ou l'expérience et qu'elle permet aussi de faire passer des informations difficiles à communiquer avec du texte. Une bonne communication scientifique passe par une combinaison harmonieuse du texte et des images.
- Les phénomènes scientifiques représentés sont nombreux et très variés. Il peut s'agir d'observations, d'expériences, de résumés de modèles explicatifs...

Sujet exemple

La figure suivante représente quelques unes des premières étapes du développement de l'œuf d'un Batracien, le Pleurodèle. Les stades sont représentés en vue latérale gauche.



Question : En utilisant vos connaissances, analysez le document fourni pour identifier les étapes de la mise en place du plan d'organisation chez le Pleurodèle.

Étape 1 : Comprendre l'organisation de la représentation

- Déterminer s'il s'agit d'une observation ou d'une expérience.
- Déterminer le nombre d'étapes figurées.

Ici, l'auteur de la schématisation a voulu représenter l'observation que l'on peut faire des premières étapes du développement de l'œuf d'un Batracien. Il a insisté sur certains aspects particuliers de ces étapes (répartition des pigments, divisions cellulaires). L'auteur précise que tous les schémas ont été faits en vue latérale gauche, c'est-à-dire que l'on voit le côté gauche des embryons. L'échelle est la même pour tous les schémas.

Sans que cela ne soit indiqué, on comprend que les étapes se succèdent de gauche à droite et de haut en bas. Neuf étapes ont été représentées dans neuf schémas. Nous les numérotions de 1 à 9.

Étape 2 : Comprendre le sens de la représentation

- Saisir l'information et la reformuler avec ses propres mots.
- Faire le lien avec ses connaissances pour comprendre certains aspects de la représentation.

Nos connaissances générales sur le développement des Vertébrés nous permettent d'analyser la figure en classant les données extraites.

Un des phénomènes les plus visibles est la division de l'œuf en cellules de plus en plus petites. Comme la taille de l'embryon ne varie pas et que le nombre de cellules augmente, leur taille diminue. On remarque aussi que les cellules sont plus petites au pôle animal. Les cellules n'ont pas été représentées au stade neurula, mais nous savons qu'elles sont encore plus petites.

La représentation fournit des informations sur les axes de polarité et leur apparition. Le pôle animal correspond à la future tête (comparaison entre les schémas 1 et 9).

La polarité dorso-ventrale apparaît au stade neurula, avec la formation du tube neural, qui marque le côté dorsal.

Enfin, on peut découvrir quelques données fragmentaires sur le déterminisme de l'établissement des axes de polarité. La représentation semble suggérer que c'est le pôle pigmenté de l'œuf qui déterminera la polarité antéro-postérieure. Nous savons qu'il existe une autre variation dans l'œuf, la concentration en vitellus, qui peut aussi jouer un rôle.

Nous savons que c'est le lieu de pénétration du spermatozoïde qui détermine la polarité dorso-ventrale. Sur le schéma 1, cet endroit est figuré. Il se produit ensuite une légère rotation de l'hémisphère pigmenté, ce qui détermine le croissant gris, zone légèrement dépigmentée (schéma 2). On remarque sur les schémas suivants que la première division passe par le milieu du croissant gris et que cette zone correspond au tube neural sur la dernière figure. On a ainsi confirmation du rôle du lieu de pénétration sur l'établissement de la polarité dorso-ventrale et on découvre aussi que le plan qui sépare les deux premières cellules correspond au plan de symétrie bilatérale.

Étape 3: Exploiter les données pour répondre à la question

Il est peu probable que l'on vous demande de faire une description ou une analyse d'une représentation schématique sans but précis. En général, l'analyse d'un document permet de répondre à une question. La réponse à la question est une sorte de résumé ou de synthèse des informations présentes dans le document, dans le but de répondre au problème scientifique posé.

Les étapes de la mise en place du plan d'organisation chez le Pleurodèle sont les suivantes.

L'œuf, issu de la fécondation, est polarisé selon deux axes. L'axe antéro-postérieur est déterminé par des différences de composition (pigments, vitellus...) de l'œuf entre les pôles animal et végétatif. L'axe dorso-ventral est déterminé par le point de pénétration du spermatozoïde (côté ventral) et la formation du croissant gris (côté dorsal). L'axe dorso-ventral, déjà visible par le croissant gris, devient plus apparent lors de la formation dorsale du tube neural.

L'œuf se divise activement dès la fécondation, en 2, 4, 8... cellules. Aux stades morula puis neurula, les cellules sont très nombreuses. Les cellules sont plus nombreuses au pôle animal, ce qui permet, en plus des pigments, de repérer le futur avant de l'organisme.

La première division passe par le milieu du croissant gris (futur dos) et préfigure la symétrie bilatérale présente plus tard. Le lieu de pénétration a donc une influence sur l'établissement de la symétrie bilatérale.

Remarque: La réponse à la question comprend l'analyse du document, faite à l'étape 2 et la synthèse, faite à l'étape 3.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

 corrigé p. 207

Pour chaque question ou affirmation, il y a entre 0 et 3 bonnes réponses.

1. Lors du développement embryonnaire :

- ☐ a. tous les Vertébrés passent par le stade deux cellules ;
- ☐ b. les poches viscérales apparaissent chez certains Vertébrés ;
- ☐ c. la mise en place du système nerveux est invisible de l'extérieur de l'embryon.

2. La cellule-œuf :

- ☐ a. résulte de la fusion entre un ovule et un spermatozoïde ;
- ☐ b. est un stade commun à tous les êtres vivants ;
- ☐ c. est orientée antéro-postérieurement chez les Batraciens.

3. L'axe dorso-ventral :

- ☐ a. présente la même succession d'organes chez tous les êtres vivants ;
- ☐ b. est défini par la position du système nerveux ;
- ☐ c. est absent chez les non-Vertébrés.

4. L'unité du monde vivant :

- ☐ a. est attestée par l'existence de cellules chez certains êtres vivants ;
- ☐ b. ne se voit pas à l'échelle moléculaire ;
- ☐ c. peut se voir à l'échelle de la cellule et de l'organisme.

5. Les gènes homéotiques sont des gènes :

- ☐ a. du développement ;
- ☐ b. qui s'expriment dans la cellule-œuf ;
- ☐ c. dont la mutation peut faire apparaître un organe.

6. La drosophile et la souris :

- ☐ a. ont le même nombre de gènes homéotiques ;
- ☐ b. sont tous les deux des Vertébrés ;
- ☐ c. ont toutes les deux un système nerveux dorsal.

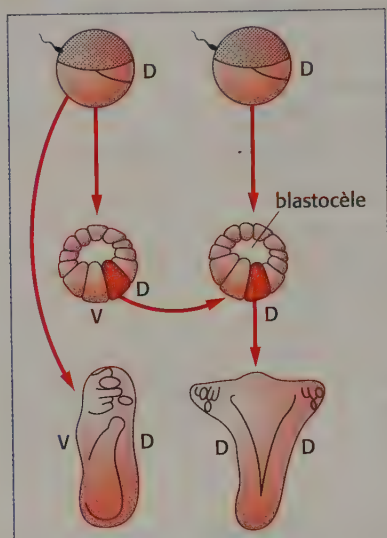
7. Les gènes homéotiques :

- ☐ a. sont identiques entre eux chez la drosophile ;
- ☐ b. présentent des similitudes entre eux chez la drosophile ;
- ☐ c. ne sont présents que chez la drosophile et la souris.

Appliquez la méthode

2 Comprendre la représentation schématique d'un phénomène scientifique

➔ corrigé p. 207



Les premières étapes du développement embryonnaire de l'œuf d'un Batracien consistent en de nombreuses divisions cellulaires. On passe de 1 à 2, puis 4, 8 cellules... Une cavité interne se forme, par écartement des cellules internes. Elle est invisible de l'extérieur et est appelée blastocèle.

La figure ci-contre représente une expérience d'échange de cellules entre embryons au stade 64 cellules.

Question:

En utilisant vos connaissances, décrivez le protocole expérimental représenté, puis interprétez les résultats de cette expérience.

Autres applications de cette méthode

- La planète Terre et son environnement p. 43, 44, 62
- L'organisme en fonctionnement p. 111
- Cellule, ADN et unité du vivant p. 159, 203, 204

Exercices d'entraînement

3 Restitution de connaissances ★★ Le plan d'organisation des Vertébrés

➔ méthode p. 58 ➔ corrigé p. 209

Question:

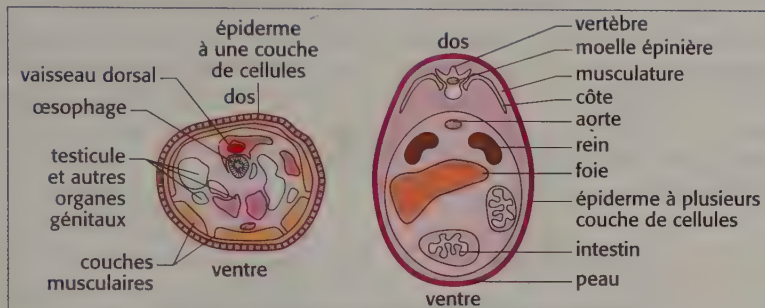
Dans un texte structuré de 20 à 25 lignes, présentez les points communs du plan d'organisation des Vertébrés. *Aucun schéma n'est attendu.*

4 Exploitation de documents

➔ méthode p. 198 ➔ corrigé p. 209

★ La comparaison de deux plans d'organisation

Les figures suivantes sont des coupes représentant les plans d'organisation d'un non-Vertébré, le lombric (à gauche) et d'un Vertébré, la souris (à droite).



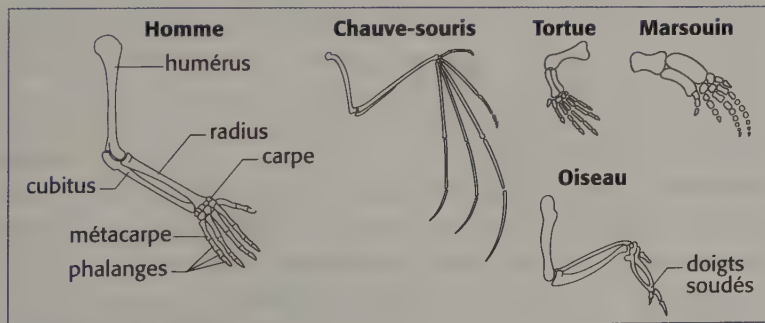
Question : En utilisant les documents fournis et vos connaissances, indiquez les points communs et les différences entre les plans d'organisation de ces deux espèces.

5 Exploitation de documents

➔ corrigé p. 210

★ Le plan d'organisation du membre antérieur de Vertébré

Les schémas suivants représentent les os des membres antérieurs de 5 Vertébrés. Le marsouin est un mammifère marin comme un phoque ou un morse.



Questions :

1. Coloriez avec des couleurs identiques les os qui se correspondent d'une espèce à l'autre.
2. Essayez de dégager les points communs entre les plans d'organisation de ces 5 squelettes de membres antérieurs.

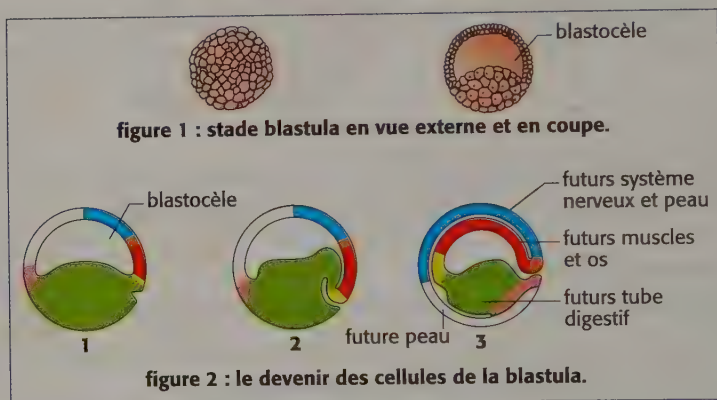
3. Faites une présentation des principales différences entre ces 5 membres, puis essayez de les relier au mode de vie de ces espèces (vous pouvez faire des hypothèses).

6 Exploitation de documents

➔ méthode p. 198 ➔ corrigé p. 211

★★★ Déterminer une étape du développement embryonnaire

La figure suivante représente le devenir des cellules présentes dans l'embryon de Batracien au stade blastula. Au stade blastula, l'embryon, qui a subi la phase de segmentation, est divisé en de nombreuses cellules et s'est creusé d'une cavité, le blastocèle, invisible de l'extérieur. Il n'est visible qu'en coupe. Les cellules de la blastula ont été divisées en massifs cellulaires de différentes couleurs, en fonction de leur devenir.



Question : En utilisant la figure fournie, identifiez le phénomène important du développement embryonnaire qui se déroule au cours des étapes 1, 2 et 3 de la figure (ce phénomène n'a pas été étudié dans le cours).

7 Exploitation de documents

➔ corrigé p. 211

★ Comparaison de gènes homéotiques

Les documents suivants présentent la comparaison des séquences de gènes homéotiques chez la drosophile et chez la souris, et une expérience de transgénèse.

Doc. 1. Comparaison des séquences de gènes homéotiques

Gène antennapedia (drosophile)

CGT AAA CGT GGT CGT CAA ACT TAT ACT CGT TAT CAA ACT TTA GAA TTA GAA AAA

Gène hox6b (souris)

GGT CGT CGT GGT CGT CAA ACT TAT ACT CGT TAT CAA ACT TTA GAA TTA GAA AAA

Doc. 2. Expérience de transgénèse

Au sein d'une lignée de drosophile au phénotype antennapedia, on introduit le gène *hox6b* de la souris dans le chromosome 3 de la drosophile, à la place du gène *antennapedia*. Les drosophiles transgéniques se développent avec des pattes à la place des antennes.

Question : Exploitez les données sur les gènes homéotiques pour trouver des arguments en faveur de l'unité du monde vivant.

Pour aller plus loin

Les exercices 8 et 9 portent sur l'ensemble des chapitres de la partie III (voir page 3).

8 ★★★ Les arguments en faveur de l'unité du monde vivant

➔ présentation p. 3 ➔ corrigé p. 212

Les êtres vivants présentent de grandes différences d'aspect et de fonctionnement. Pourtant, il est possible de trouver des caractéristiques qui témoignent d'une unité du monde vivant.

Question : Montrez, en deux pages maximum (schémas compris), que l'on peut donner des arguments aux échelles des organismes, des cellules et de l'information génétique, pour une unité du monde vivant.

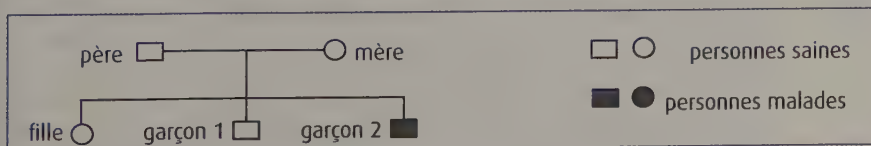
On attend un exposé structuré par une introduction, un plan apparent et une conclusion.

9 ★★★ L'origine du Xeroderma pigmentosum dans une famille

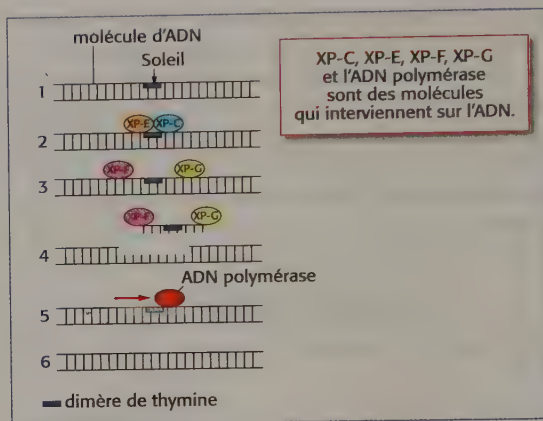
➔ présentation p. 3 ➔ corrigé p. 214

Les rayons ultraviolets solaires produisent des dimères de thymine, qui, lorsqu'ils ne sont pas éliminés, augmentent le risque de cancers de la peau. Les sujets atteints de Xeroderma pigmentosum ne sont pas capables d'éliminer ces dimères et doivent absolument éviter toute exposition au soleil.

On cherche à connaître l'origine de la maladie d'un garçon, le seul atteint de Xeroderma pigmentosum au sein de sa famille. L'arbre généalogique de cette famille est le suivant.



Question : Utilisez les documents suivants et vos connaissances pour expliquer l'origine du Xeroderma chez le garçon atteint.



Doc. 1. Le devenir des dimères de thymine chez une personne non malade.

L'allèle qui permet la synthèse d'une molécule XP-C normalement active est xpc-0. Les trois autres allèles entraînent la synthèse de molécules XP-C inactives. Les séquences commencent au nucléotide 2 440. Le gène comporte 2 824 nucléotides.

Xpc0	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Xpc1	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...
Xpc2	...GTCTGCGAGGAATTCAAAGAC...
Xpc3	...CGAGGAATTCAAAGACGTGCT...

Doc. 2. Les allèles du gène de la molécule XP-C.

Allèle 1 Père	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Allèle 2 Père	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...
Allèle 1 Mère	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...
Allèle 2 Mère	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Allèle 1 Fille	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Allèle 2 Fille	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...
Allèle 1 Garçon 1	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Allèle 2 Garçon 1	...TGCAGGAATTCAAAGACGTG...
Allèle 1 Garçon 2	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...
Allèle 2 Garçon 2	...TGCAGGAATTCTAAGACGTG...

Doc. 3. Les allèles des membres de la famille étudiée.

Vérifiez vos connaissances

1 Q.C.M.

1. a ; 2. a, b et c ; 3. b ; 4. c ; 5. a et c ; 6. aucune bonne affirmation ; 7. b.

Appliquez la méthode

2 Comprendre la représentation schématique d'un phénomène scientifique

• Étape 1 : Comprendre l'organisation de la représentation

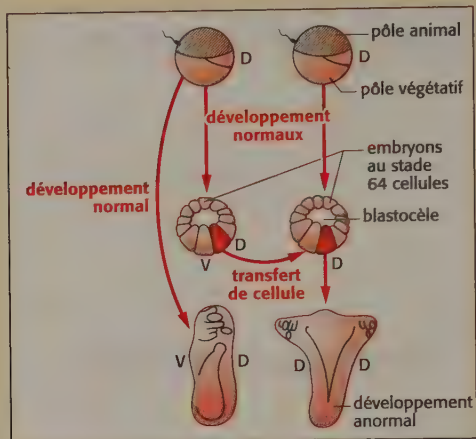
Cette première étape n'a pas à figurer sur la copie. Elle correspond à l'analyse au brouillon de la représentation.

La représentation est assez complexe. Voici comment on peut l'interpréter. On voit d'abord deux représentations d'un œuf en cours de fécondation. La répartition des pigments nous indique les pôles animal et végétatif. Les croissants gris sont également figurés, alors qu'ils n'apparaissent qu'après la pénétration du spermatozoïde. Il y a donc deux étapes (1 et 2) dans ces schémas, condensées en un seul schéma. Les lettres D et V signifient, d'après nos connaissances, les côtés dorsal et ventral.

Les flèches qui partent des œufs en cours de fécondation indiquent le développement de ces œufs. Comme aucun traitement particulier n'a été appliqué sur les œufs, le développement doit être normal. La flèche de gauche indique le développement normal de l'œuf jusqu'à un stade allongé. La flèche du milieu et celle de droite indiquent les développements normaux jusqu'aux stades 64 cellules, sur lesquels on réalise un échange de cellule.

La flèche horizontale correspond au transfert et remplacement de cellule du stade 64 cellules de gauche au stade 64 cellules de droite. La cellule déplacée est la cellule rouge du stade 64 de gauche. Sur le stade 64 de droite, on a également représenté cette cellule en rouge, mais uniquement pour avoir un repère car cette cellule ne bouge pas.

Enfin, les deux schémas du bas de la figure permettent de comparer l'évolution normale à l'évolution après échange de cellules.



• Étape 2 : Comprendre le sens de la représentation

Remarque: Il s'agit pour vous de résumer les grandes étapes de l'expérience pour montrer que vous avez compris la représentation. C'est la description brève du protocole expérimental.

On fait se développer deux embryons jusqu'au stade 64 cellules. Ces embryons ont déjà acquis leurs polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale. L'avant est du côté du pôle animal et le dos (marqué D) à l'opposé du lieu de pénétration du spermatozoïde. Les cellules du pôle animal sont plus petites que celles du pôle végétatif.

On réalise un prélèvement d'une grosse cellule du côté dorsal du pôle végétatif d'un des embryons, et on transfère cette cellule à la place d'une grosse cellule du côté ventral du pôle végétatif de l'autre embryon.

La figure nous fournit ensuite l'évolution de l'embryon receveur. L'évolution de l'embryon donneur n'est pas figurée, mais on sait que sans prélèvement, il aurait eu un développement normal, comme celui représenté à gauche de la figure.

• Étape 3 : Exploiter les données pour répondre à la question

Lors d'un développement normal, les polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale s'affirment extérieurement. La polarité antéro-postérieure se traduit par un allongement de l'embryon et l'apparition de structures particulières au niveau de la tête, dont une pourrait être une ébauche d'œil. La polarité dorso-ventrale est peu visible mais indiquée par les lettres D et V.

Le développement de l'embryon receveur montre une polarité dorso-ventrale très perturbée. On observe deux têtes, et les deux D figurés indiquent qu'il y a aussi deux dos. On en déduit que c'est le transfert de cellule qui a produit cette modification de la polarité dorso-ventrale.

Pour résumer, cette expérience montre que les grosses cellules du côté dorsal du pôle végétatif interviennent dans la mise en place de la polarité dorso-ventrale.

Exercices d'entraînement

3 Le plan d'organisation des Vertébrés

Les Vertébrés présentent des similitudes au niveau de leur plan d'organisation. On appelle plan d'organisation d'un organisme les relations entre les différents systèmes (locomoteur, nerveux, digestif...).

1. L'axe antéro-postérieur

Le long de l'axe antéro-postérieur, on trouve la tête, le tronc et la queue.

La tête est constituée d'un squelette crânien, qui contient l'encéphale.

Le tronc est armé par la colonne vertébrale qui contient la moelle épinière. Les côtes forment la cage thoracique où se situent les poumons et le cœur. Dans l'abdomen se trouvent les organes digestifs, les reins et les organes sexuels. Sur le tronc s'insèrent 4 membres locomoteurs.

La queue est constituée par la fin de la colonne vertébrale.

L'exposé comprend
22 lignes, sans
compter le plan.

2. L'axe dorso-ventral

C'est essentiellement la position du système nerveux qui définit l'axe dorso-ventral. Chez les Vertébrés, le système nerveux est en position dorsale, et les autres systèmes (digestif, circulatoire, respiratoire) sont en position plus ventrale.

3. La symétrie bilatérale

Les Vertébrés présentent une symétrie bilatérale, qui se traduit extérieurement par de nombreux organes pairs, comme les organes sensoriels, les membres locomoteurs. À l'intérieur de l'organisme, on retrouve cette organisation.

Conclusion : Les Vertébrés présentent un plan d'organisation commun. L'axe antéro-postérieur est défini par la succession tête-tronc-queue, et l'axe dorso-ventral est défini par la position dorsale du système nerveux. Une symétrie bilatérale est constatée pour les organes non centraux.

4 La comparaison de deux plans d'organisation

• Les points communs

Le tube digestif des deux espèces est central. Il est régionalisé selon l'axe antéro-postérieur puisque chez le lombric, la coupe passe par l'œsophage, qui existe aussi chez la souris. Il existe un vaisseau sanguin important situé entre le tube digestif et le dos.

• Les différences

La différence la plus importante selon l'axe dorso-ventral est le fait que le système nerveux de la souris (moelle épinière) est dorsal alors que celui du lombric (chaîne nerveuse) est ventral. Chez la souris, le système nerveux est protégé par un squelette, qui sert également de soutien à l'animal. Chez le lombric, il n'y a pas de squelette.

L'organisation antéro-postérieure présente une différence importante concernant la place des organes reproducteurs. Ils sont placés autour de l'œsophage chez le lombric alors que chez la souris, ils sont comme chez tous les Vertébrés, à l'extrémité de l'abdomen.

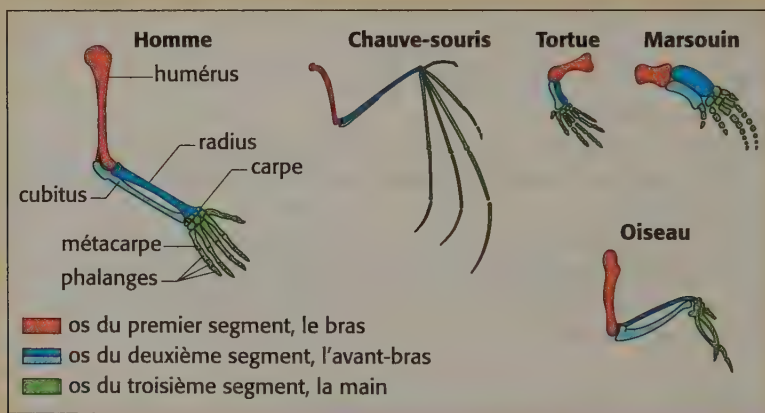
Les deux espèces présentent un épiderme, mais celui du lombric présente une seule couche de cellules alors que celui de la souris en présente plusieurs.

Aucun organe excréteur n'est visible chez le lombric, mais il est possible que la coupe ne passe pas par celui-ci.

L'essentiel est dans les documents mais quelques connaissances permettent une comparaison plus complète.

5 Le plan d'organisation du membre antérieur de Vertébré

1. On constate que les membres sont tous formés de trois ensembles ou segments, ce qui permet de choisir trois couleurs.



2. Les membres antérieurs de ces 5 espèces de Vertébrés ont des points communs dans leur organisation. Ils sont chacun faits de trois ensembles, nommés chez l'homme, le bras, l'avant-bras et la main.

Le bras contient un os, l'avant-bras en contient deux et la main est un ensemble complexe comprenant le carpe, le métacarpe et les phalanges. Le nombre de doigts est de 5 chez toutes les espèces sauf une, l'oiseau.

Pensez à bien utiliser les mots présents sur la figure de l'énoncé.

3. Si on prend comme référence le membre humain, on constate que pour la chauve-souris, la tortue et le marsouin, ce sont surtout les proportions qui diffèrent.

La chauve-souris a un cubitus réduit et des phalanges plus longues au niveau de 4 doigts. Ces doigts plus longs lui servent d'armature à la peau qui est tendue entre ses doigts et qui lui permet de voler.

La tortue a des os trapus. On peut penser qu'ils sont très solides et relier cette caractéristique au fait que la tortue doit soulever une lourde carapace lorsqu'elle se déplace.

Le marsouin a des os encore plus larges que ceux de la tortue. Or il se sert de ses membres supérieurs comme d'une nageoire. Les os du membre supérieur ont une forme globale de nageoire. On n'a pas la vue de profil, mais on peut supposer que les os du marsouin sont larges mais plats, comme une nageoire.

L'oiseau présente de grosses différences avec les autres espèces au niveau de la main. On constate que les doigts sont peu nombreux et que les os sont soudés. Cela doit être lié à son mode de locomotion. Le membre antérieur porte les plumes et n'a pas pour fonction d'attraper des objets. La réduction du nombre de doigts et la soudure peut-être renforcer le support des plumes.

6 Déterminer une étape du développement embryonnaire

L'étape 1 de la figure 2 correspond à une blastula vue en coupe. Les cellules n'ont pas été représentées comme dans la figure 1, mais on sait que les zones colorées en vert, rouge, bleu... sont constituées de cellules.

Au cours des étapes 2 et 3, certaines zones externes de la blastula (zones en bleu et en blanc) vont étendre leur surface et finir par envelopper les autres zones (zones en vert, en rouge et en rose).

Les zones cellulaires qui s'étendent en surface de l'embryon sont les cellules qui vont former le système nerveux et la peau. Il est donc logique que ces zones s'étendent et recouvrent toute la surface de l'embryon.

Les zones cellulaires qui deviennent internes sont les cellules qui vont former les muscles, les os, et le tube digestif, c'est-à-dire des organes internes. Il est également logique que ces cellules migrent vers l'intérieur de l'embryon.

En conclusion, on constate que les cellules de l'embryon au stade blastula vont subir des migrations qui vont les conduire aux emplacements pour lesquels elles sont destinées. Le phénomène important identifié est la migration cellulaire.

Les cellules des organes internes étaient initialement externes : il y a donc migration.

7 Comparaison de gènes homéotiques

La comparaison des séquences des gènes homéotiques *antennapedia* de la drosophile et *hox6b* de la souris montre que sur 54 nucléotides, seuls 4 sont différents. Il n'y a donc que 7 à 8 % de différence environ.

Les gènes *antennapedia* de la drosophile et *hox6b* de la Souris présentent donc une grande similitude.

Les drosophiles *antennapedia* présentent des pattes à la place des antennes. La greffe du gène *hox6b* de la souris dans le chromosome 3 de la drosophile, à la place du gène *antennapedia* au sein d'une lignée *antennapedia*, ne modifie pas le phénotype des drosophiles. On en déduit que le gène *hox6b* de la souris a la même fonction que le gène *antennapedia* de la drosophile.

Les drosophiles *antennapedia* ont déjà des pattes à la place des antennes.

Les gènes *antennapedia* et *hox6b* présentent une grande similitude de séquence et de fonction. Cela montre qu'un non-Vertébré et un Vertébré, d'aspects très différents, peuvent présenter des points communs. C'est un argument en faveur de l'unité du monde vivant.

Pour aller plus loin

8 Les arguments en faveur de l'unité du monde vivant

Introduction

Les êtres vivants présentent une grande diversité et on pourrait penser qu'ils n'ont rien en commun. L'observation des êtres vivants aux niveaux des organismes, des molécules, et des cellules, a permis de montrer une grande unité.

1. L'unité du monde vivant est constatée dans l'organisation en cellules

Lorsqu'on observe des êtres vivants au microscope, on remarque que tous, animaux ou végétaux, sont formés par de petits compartiments appelés cellules. Certains êtres vivants ne sont formés que d'une cellule, ce sont des unicellulaires. Les pluricellulaires sont formés de plusieurs cellules. L'homme en contient plusieurs milliards.

Une cellule est formée de cytoplasme limité par une membrane plasmique (figure 1). Le fonctionnement de la cellule est constitué par des réactions chimiques dont l'ensemble est appelé métabolisme. Les structures présentes dans la cellule sont appelées organites. Ces organites permettent à la cellule de réaliser certains grands types de métabolismes, très répandus dans le monde vivant, comme la photosynthèse et la respiration. Le noyau contient l'information génétique, dont nous parlerons dans une deuxième partie.

L'existence de cellules ayant la même structure et le même fonctionnement est un argument en faveur de l'unité du monde vivant.

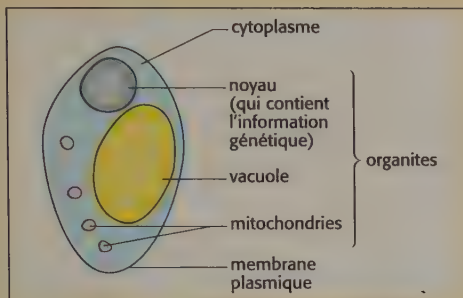


Figure 1. La structure d'une cellule.

II. L'unité du monde vivant est constatée dans l'information génétique

L'information génétique, dont le contenu permet l'édification de l'organisme, est contenue dans le noyau, sous forme d'ADN. L'ADN est une molécule très longue, constituée des nucléotides A, T, C et G (A pour adénine, T pour thymine, C pour cytosine et G pour guanine). C'est l'ordre (séquence) des nucléotides qui constitue le message.

Essayez de faire un schéma par partie.

...ATGCTGAACATGCTACGTACGTCGATCGTAGATCGTAG...

Figure 2. Une séquence d'ADN, comprise par toutes les cellules.

On appelle **gène** la séquence de nucléotides permettant la synthèse d'une molécule protéique. L'information génétique est universelle, c'est-à-dire qu'une même séquence de nucléotides sera transformée en une même protéine. Une des meilleures preuves de ce phénomène est la possibilité de réaliser des organismes transgéniques, en introduisant, par exemple, le gène d'une bactérie dans un végétal, ou un gène humain dans un mouton. Le caractère universel de l'ADN est un argument en faveur de l'unité du monde vivant. En plus du caractère universel du support de l'information génétique, on constate que certaines séquences de nucléotides sont très voisines entre espèces (gène homéotiques), ce qui est un argument supplémentaire pour l'unité du monde vivant.

III. L'unité du monde vivant est constatée lors du développement embryonnaire

On constate qu'au niveau embryonnaire aussi, il existe des arguments pour l'unité du monde vivant. Lors de la reproduction sexuée, tous les êtres vivants passent par le stade de l'œuf, cellule constituée par la fusion de l'ovule et d'un spermatozoïde. La cellule-œuf se divise en 2, 4, 8, 16... cellules et on aboutit à un embryon qui s'allonge et acquiert un axe antéro-postérieur, un axe dorso-ventral et une symétrie bilatérale. Tous les embryons de Vertébrés passent par un stade où apparaissent des bourrelets appelés poches viscérales et dont le devenir sera différent selon le groupe animal auquel appartient le Vertébré (figure 3).

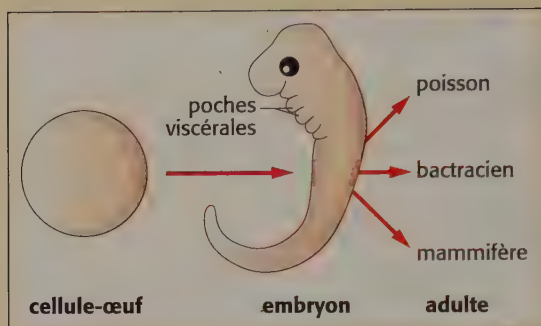


Figure 3. Les stades communs des développements embryonnaires.

Conclusion

L'unité du monde vivant est retrouvée au niveau des organismes et de leur développement, au niveau moléculaire (information génétique) et au niveau cellulaire. Au niveau de l'information génétique, on constate que l'ADN est universel, mais que certains gènes présentent de grandes similitudes (gène homéotiques).

La conclusion résume le devoir.

9 L'origine du Xeroderma pigmentosum dans une famille

Introduction

Les sujets atteints de Xeroderma pigmentosum ne sont pas capables d'éliminer ces dimères de thymine causés par les UV solaires et doivent absolu éviter toute exposition au soleil. Les documents fournis vont permettre de connaître l'origine de la maladie d'un garçon, le seul atteint de Xeroderma pigmentosum au sein de sa famille.

Étude des documents

● Étude du document 1

Le document 1 montre ce que deviennent les dimères de thymine chez une personne non atteinte de Xeroderma. Lorsqu'un dimère s'est formé sous l'influence du soleil, deux molécules, XP-E et XP-C, se fixent de part et d'autre de la lésion (étape 2). Ensuite, deux autres molécules, XP-F et XP-G, se fixent également de part et d'autre mais à une plus grande distance (étape 3). XP-F et XP-G découpent la zone d'ADN qu'elles ont encadrée et exportent le fragment contenant le dimère de thymine (étape 4). Enfin, une molécule appelée ADN polymérase reforme un brin complémentaire sans dimère (étape 5). L'ADN est maintenant réparé.

Pensez à toujours faire une référence précise au document.

● Étude du document 2

Le document 2 fournit 4 allèles du gène xpc, à l'origine de la molécule XP-C. L'allèle xpc-0 permet la synthèse d'une molécule XP-C fonctionnelle. Les trois autres allèles produisent une molécule XP-C inactive.

L'analyse des séquences d'ADN montre que, dans la séquence fournie, l'allèle xpc-1 diffère de l'allèle xpc-0 par la substitution de A par T en position 2452.

Les allèles xpc-0 et xpc-2 ont plus de différences. On remarque que, par rapport à xpc-0, les nucléotides de xpc-2 ont subi un décalage de trois nucléotides vers la droite. Il est possible que la mutation soit l'insertion de trois nucléotides.

Par rapport à xpc-0, les nucléotides de xpc-3 ont subi un décalage de deux nucléotides vers la gauche. Il est possible que la mutation soit la perte de deux nucléotides.

● Étude du document 3

Le *document 3* fournit les allèles xpc des membres de la famille étudiée. On constate que chaque personne a deux allèles.

On reconnaît dans le premier allèle du père l'allèle xpc-0 du *document 2*, et dans son deuxième allèle, l'allèle muté xpc-1. On constate ensuite que tous les membres de la famille ne possèdent que ces deux allèles. La répartition est donnée dans le tableau suivant.

Individu	Allèles	État de santé
Père	xpc-0 et xpc-1	non malade
Mère	xpc-0 et xpc-1	non malade
Fille	xpc-0 et xpc-1	non malade
Garçon 1	xpc-0 en deux exemplaires	non malade
Garçon 2	xpc-1 en deux exemplaires	malade

Il ressort de ce tableau que pour être malade, il faut avoir obligatoirement deux exemplaires de l'allèle xpc-1.

Bilan : L'origine de la maladie du garçon atteint de xeroderma

Dans l'ensemble de la population, l'origine de la maladie est due à un défaut de réparation de l'ADN. Les dimères de thymine produits par les UV solaires sont éliminés par un ensemble de molécules, nommées XP-C, XP-E, XP-F, XP-G et ADN polymérase. Si une molécule fait défaut, la réparation n'a pas lieu. Dans la famille étudiée, c'est la

molécule XP-C qui est non fonctionnelle. On connaît plusieurs mutations du gène de la molécule XP-C. Certaines sont des ajouts ou pertes de nucléotides. L'allèle possédé par la famille (xpc-1) est dû à une substitution de nucléotide. Un nucléotide T s'est substitué au nucléotide A numéro 2 452, présent dans l'allèle normal (xpc-0).

Tous les membres de la famille dont un des garçons souffre de Xeroderma ont deux allèles du gène de la molécule XP-C, pris parmi xpc-0 et xpc-1. La seule association d'allèles qui entraîne la maladie est celle possédée par le deuxième garçon, c'est-à-dire deux allèles xpc-1. Il faut donc deux allèles mutés pour être malade.

Le bilan est un résumé des informations extraites des documents, pour répondre à la question.

Lexique

A

Activité interne : Déplacements de matière au sein d'une planète, comme par exemple des mouvements de magma. L'activité interne d'une planète est due à des différences de température au sein de la planète.

Allèle : Variante d'un gène*, produite par mutation*.

Appareil : Ensemble d'organes* dont le fonctionnement coordonné réalise une grande fonction de l'organisme. Par exemple, l'appareil circulatoire permet la réalisation de la fonction de circulation du sang.

Atmosphère : Enveloppe gazeuse entourant une planète ou un autre corps céleste*.

Autotrophe : Être vivant ou cellule capable de produire de la matière organique (sa propre matière) à partir de matière minérale* et d'énergie.

B

Biosphère : Ensemble des êtres vivants de notre planète et des milieux dans lesquels ils vivent.

Bulbe rachidien : Centre nerveux* situé à la base du crâne, entre la moelle épinière et le cerveau. Il commande les rythmes cardiaque* et respiratoire*.

C

Cardio-accélérateur : Se dit d'un nerf ou d'un centre nerveux* dont le fonctionnement accélère le rythme cardiaque*.

Cardio-modérateur : Se dit d'un nerf ou d'un centre nerveux* dont le fonctionnement ralentit le rythme cardiaque*.

Cellule de convection : Mouvement circulaire de matière dans un fluide (eau, gaz, roche fluide) consécutif à des différences de température.

Cellule germinale : Cellule qui intervient dans la reproduction. Les cellules germinales sont les gamètes et les cellules qui les produisent.

Cellule somatique : Cellule qui n'intervient pas dans la reproduction. Toutes les cellules autres que les gamètes*, et les cellules qui les produisent, sont des cellules somatiques.

Centre intégrateur : Centre nerveux* qui coordonne le fonctionnement de plusieurs organes, en réponse à un besoin particulier de l'organisme.

Centre nerveux : Zone du système nerveux dans laquelle les neurones* communiquent entre eux. Les neurones reçoivent des informations sur l'état de l'organisme et élaborent une réponse adaptée.

Centre respiratoire : Centre nerveux* spécialisé dans le contrôle de la respiration*.

Chlorophylle : Pigment vert, présent chez de nombreux végétaux, et qui permet de réaliser la photosynthèse*.

Chloroplaste : Organite* présent dans certaines cellules des végétaux. La présence de chloroplastes dans les cellules rend le végétal autotrophe*.

Chromatide : Structure constitutive d'un chromosome* contenant une molécule d'ADN. Un chromosome à deux chromatides contient donc deux molécules d'ADN.

Chromosome : Structure intracellulaire contenant l'information génétique* sous forme d'ADN, et visible lors de la division cellulaire.

Circulation générale : Trajet du sang qui part du ventricule* gauche, irrigue les organes et leur apporte dioxygène et nutriments*, puis retourne au cœur au niveau de l'oreillette* droite.

Circulation pulmonaire : Trajet du sang qui part du ventricule* droit, parcourt les poumons où il devient saturé en dioxygène, puis retourne au cœur au niveau de l'oreillette* gauche.

Climat : Ensemble de saisons* qui se répète chaque année en une région du globe.

Combustion : Combinaison d'un corps avec l'oxygène qui produit essentiellement du dioxyde de carbone et de l'eau. Cette réaction s'accompagne d'une importante libération d'énergie.

Comète : Corps céleste formé de poussières et de glaces. Les comètes ont des

orbites très elliptiques. Leur vaporisation partielle à proximité du Soleil les rend souvent visibles à l'œil nu.

Convection : Déplacement de matière plus ou moins circulaire au sein d'un ensemble globalement immobile et dû à des différences de température. Par exemple, des mouvements de convection existent au sein de la roche légèrement fluide qui constitue le manteau terrestre.

Coronaires : Vaisseaux sanguins, artères et veines qui irriguent la paroi du cœur.

Corps céleste : Initialement, objet visible dans le ciel. Les étoiles, le Soleil ou la Lune sont des corps célestes. On appelle corps céleste ou objet céleste tout objet de l'univers.

Cortex cérébral : Portion du cerveau la plus superficielle et qui contient de nombreux neurones. Le cortex cérébral intervient dans les actes volontaires.

Cycle du carbone (ou cycle du CO₂) : Circulation du carbone au sein des différentes enveloppes externes de la Terre (biosphère, hydrosphère, atmosphère et lithosphère). Au sein du cycle, le carbone est présent dans différentes molécules.

Cytoplasme : Compartiment intracellulaire, limité par la membrane plasmique*.

D

Densité : Masse volumique d'un corps divisée par la masse volumique de l'eau, qui vaut 1 gramme par cm³. Une planète de masse volumique 5,5 g.cm³ aura donc

Lexique

comme densité 5,5. La densité est un nombre sans unité.

Déviatiou de Coriolis : Déviation que subissent les objets en mouvement à la surface de la Terre. Par exemple, les courants marins et les vents sont déviés vers la droite dans l'hémisphère nord, et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Cette déviation est due à la rotation terrestre.

Dilatatiou : Augmentation de volume de la matière, pour une même masse. La dilatation thermique est due à une augmentation de température.

E F

Échelle : Facteur d'agrandissement ou de réduction appliqué à un objet que l'on souhaite représenter par un schéma ou une maquette. Une échelle 2 signifie que l'on représente l'objet deux fois plus grand qu'il n'est en réalité. Une échelle 1/2 signifie que l'on représente l'objet deux fois plus petit qu'il n'est en réalité.

Effet de serre : Rétention d'énergie rayonnée dans une enceinte transparente. Cette rétention est due au fait que l'énergie, qui entre dans l'enceinte avec une certaine longueur d'onde (par exemple sous forme d'un rayonnement visible), est transformée en un rayonnement de longueur d'onde différente (comme par exemple les infrarouges) et ressort difficilement de l'enceinte.

Environnement : Ce qui environne, entoure une structure. On peut parler de l'environnement de la Terre, de l'envi-

ronnement des organismes sur Terre. En médecine, on appelle environnement l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques et biologiques dans lesquelles se trouve un être vivant et qui peuvent influencer sur lui. Par exemple, les conditions de température, les autres êtres vivants, les aliments, la fumée de cigarette, etc. font partie de l'environnement.

Enzyme : Une enzyme est un catalyseur, c'est-à-dire une molécule qui accélère une réaction chimique. Comme les enzymes sont présentes chez les êtres vivants, on les appelle des catalyseurs biologiques.

Étoile : Boule de matière gazeuse (hélium et surtout hydrogène) dans laquelle la formation d'hélium à partir d'hydrogène produit de l'énergie.

Eucaryote : Cellule dans laquelle l'information génétique* est située dans un compartiment appelé noyau.

Fermentatiou : Réaction de dégradation incomplète de la matière organique*. Les organismes qui réalisent la fermentation récupèrent l'énergie libérée. Il existe de nombreuses sortes de fermentation. Certaines nécessitent de l'oxygène et d'autres non. Les molécules organiques produites par les différentes fermentations sont très variées.

G

Galaxie : Groupe composé de milliards d'étoiles en rotation autour du centre de la galaxie. Notre galaxie est la Voie Lactée.

Gamète : Cellule spécialisée dans la reproduction. Le gamète mâle est le spermatozoïde et le gamète femelle est l'ovule. L'union des gamètes, ou fécondation, donne un œuf.

Gaz à effet de serre : Gaz qui contribue au réchauffement de l'atmosphère terrestre, par le fait qu'il se laisse peu traverser par les infrarouges thermiques produits par la Terre. Ces gaz sont essentiellement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, l'ozone et le méthane.

Gène : Séquence de nucléotides* permettant la synthèse d'une molécule protéique (protéine).

Gènes apparentés : Gènes dont les séquences* de nucléotides présentent de telles ressemblances qu'elles ne peuvent être expliquées que par une origine commune.

Gène homéotique : Gène* intervenant dans le développement d'un organisme* et dont l'existence a été découverte par les effets des mutations* de ces gènes. Une mutation d'un gène homéotique produit en effet le remplacement d'un organe* par un autre, comme l'apparition de pattes à la place des antennes.

Génome : Ensemble des gènes* d'une espèce ou d'un individu.

Glucose : Nutriments* utilisés par les cellules musculaires comme source d'énergie en vue de la contraction musculaire.

Grain de pollen : Élément minuscule d'un végétal, contenant deux spermatozoïdes, et servant à la reproduction des plantes à fleur. Le pollen est dispersé par

le vent sur de grandes distances. La taille et l'ornementation des grains de pollen permettent d'identifier le végétal qui les a produits.

H

Héréditaire : Se dit d'un caractère (couleur, forme, maladie...) dont l'origine est génétique et qui se transmet d'une génération à l'autre.

Hétérotrophe : Cellule ou organisme non autotrophe*, c'est-à-dire nécessitant de la matière organique* pour édifier sa propre matière organique.

Hydrosphère : Ensemble des milieux composés d'eau (océans, lacs, rivières, banquises, glaciers...).

I

Information génétique : Ensemble des informations déterminant le développement et les caractéristiques d'un organisme*. L'information génétique est contenue dans les gènes* et est constituée de séquences* de nucléotides*.

Isotopes : Éléments chimiques portant le même nom, mais différant par le nombre de neutrons. Par exemple, le carbone 12, le carbone 13 et le carbone 14 sont des isotopes du carbone. L'oxygène 16 et l'oxygène 18 sont des isotopes de l'oxygène.

L M

Lithosphère : Portion superficielle de la partie rocheuse de notre planète, d'épaisseur voisine de 100 km sous les océans et 150 à 200 km sous les océans. Les plaques tectoniques sont des morceaux de lithosphère qui se déplacent sur les parties plus centrales de la Terre.

Matière minérale : Molécules présentes en l'absence d'êtres vivants, comme le CO_2 , l'eau, les ions en solution dans l'eau... Les êtres vivants autotrophes* transforment la matière minérale en matière organique*.

Matière organique (molécule organique) : Molécules fabriquées par les êtres vivants et contenues dans leurs organismes.

Membrane plasmique : Enveloppe limitant une cellule. La membrane plasmique limite le cytoplasme*, dans lequel se trouvent les organites*.

Métabolisme : Ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans un organisme.

Méthane : Molécule organique de formule CH_4 . Le méthane est une puissante gaz à effet de serre*. Son augmentation récente dans l'atmosphère est due aux activités humaines.

Mutation : Modification de l'ADN d'un gène*. Lors d'une mutation, un nombre plus ou moins grand de nucléotides est modifié, par ajout, perte, ou substitution.

N

Neurone : Cellule nerveuse. Les neurones présentent de longs prolongements appelés fibres, et qui conduisent les messages nerveux des centres nerveux* aux muscles.

Nucléotide : Élément unitaire de la molécule d'ADN. Un nucléotide est composé d'un acide phosphorique, d'un désoxyribose et d'une base azotée prise parmi la cytosine, la guanine, la thymine et la cytosine.

Nutriment : Molécule issue de la digestion et passant dans le sang.

O

Orbite : Trajectoire décrite par un corps dans l'espace. Les orbites des planètes* sont presque circulaires, alors que celles des comètes* sont fortement elliptiques.

Oreillette : Cavité cardiaque de petite taille et à paroi fine. Le sang arrive aux oreillettes par les veines. La contraction des oreillettes expulse le sang dans les ventricules*.

OGM : Organisme génétiquement modifié. On appelle ainsi un organisme* auquel on a transféré par transgénèse* un gène provenant d'un individu d'une autre espèce.

Organe : Ensemble de tissus* réunis en une structure qui réalise une fonction dans l'organisme. La feuille ou le cœur sont des organes.

Organisme : Être vivant, c'est-à-dire système unicellulaire ou pluricellulaire, ayant la capacité de se reproduire.

Organe : Structure intracellulaire. Les chloroplastes et le noyau sont des organes.

Orthosympathique : Nerf dont l'activité accélère le fonctionnement des organes situés dans le tronc (viscères).

Ozone : Molécule chimique de formule O_3 , présente dans l'atmosphère. L'ozone est plus abondant en altitude qu'au sol, ce qui fait que l'on parle de couche d'ozone. Cette couche d'ozone limite l'arrivée au sol des ultraviolets solaires les plus dangereux. L'ozone est un gaz à effet de serre*.

P

Parasympathique : Nerf dont l'activité ralentit le fonctionnement des viscères.

Paroi cellulosique : Enveloppe qui entoure généralement les cellules végétales et qui se trouve autour de la membrane plasmique*. Au microscope, il est difficile de distinguer la membrane plasmique et la paroi cellulosique.

Photosynthèse : Réaction de synthèse de molécules organiques en présence de lumière. Cette réaction nécessite des pigments, comme la chlorophylle*, capables d'absorber l'énergie lumineuse.

Planète : Corps en orbite* autour du Soleil*, suffisamment massif et suffisamment éloigné d'autres corps en orbite. Pluton, qui ne répond pas à cette définition, a été récemment exclue des planètes et placée dans la catégorie des planètes naines.

Planète gazeuse : Planète essentiellement gazeuse, de grande taille et éloignée du Soleil. On suppose que les planètes gazeuses possèdent en leur centre un noyau rocheux.

Planète tellurique : Planète ressemblant à la Terre, c'est-à-dire essentiellement rocheuse, de petite taille et proche du Soleil.

Pluricellulaire : Organisme* composé de plusieurs cellules, généralement un très grand nombre.

Pouls : Ébranlement qui se propage sur la paroi des artères. Il est dû au choc produit par l'expulsion du sang par le ventricule.

Procaryote : Cellule dans laquelle l'information génétique* n'est pas située dans un compartiment appelé noyau. Les bactéries n'ont pas de noyau et leur unique chromosome* est dans le cytoplasme. Ce sont donc des procaryotes.

Programme génétique : Synonyme d'information génétique*.

R

Rayonnement solaire : Ensemble d'ondes électromagnétiques produites par la matière solaire à 6 000 °C, et qui est composée de rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges.

Respiration : • Au niveau cellulaire, réaction de dégradation complète de la matière organique*. Son bilan chimique est équivalent à celui d'une combustion*, c'est-à-dire qu'elle utilise du dioxygène et

Lexique

produit du dioxyde de carbone et de l'eau. Les organismes qui réalisent la respiration récupèrent l'énergie libérée.

• Au niveau de l'individu, on appelle respiration les échanges gazeux se produisant au niveau des poumons, mais le terme adéquat est ventilation.

Rythme cardiaque : Nombre de cycles cardiaques (contraction-décontraction) par unité de temps, généralement par minute.

Rythme respiratoire : Nombre de cycles d'inspiration et d'expiration par unité de temps, généralement par minute.

S

Saisons : Variation des paramètres météorologiques au cours d'une année, et qui se répète d'année en année.

Sang oxygéné : Sang saturé en dioxygène suite à son passage dans les poumons.

Satellite : Objet en orbite* autour d'un autre. La plupart des planètes* possèdent des satellites naturels, de nature rocheuse et plus petits que les planètes. On appelle satellite artificiel les engins spatiaux lancés par l'Homme, et qui sont en orbite autour d'une planète ou d'un autre corps céleste*.

Segmentation : Étape du développement embryonnaire caractérisé par la division de la cellule-œuf.

Séquence : Succession d'éléments moléculaires, au sein d'une molécule plus grande. La séquence des nucléotides* est la succession des nucléotides le long de la molécule d'ADN.

Soleil : Étoile* de taille modeste située en bordure de notre galaxie*, la Voie Lactée, et autour duquel tournent 8 planètes en orbite.

Sphincter : Muscle circulaire situé autour d'un orifice ou d'un vaisseau sanguin, et qui assure par des contractions, la fermeture partielle ou totale de cet orifice ou de ce vaisseau.

T U

Tissu adipeux : Ensemble des cellules dont la fonction dans l'organisme est de stocker les graisses.

Transgénèse : Introduction d'un gène* d'une espèce dans le génome* d'un individu d'une autre espèce. La transgénèse est rendue possible par le fait que le support des gènes, l'ADN, est universel.

Unicellulaire : Organisme composé d'une seule cellule. La cellule doit alors réaliser l'ensemble des fonctions de l'organisme (locomotion, nutrition et reproduction).

V

Vasoconstriction : Diminution du diamètre d'un vaisseau sanguin.

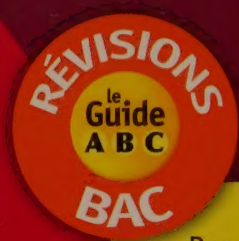
Vasodilatation : Augmentation du diamètre d'un vaisseau sanguin.

Ventricule : Cavité cardiaque de grande taille et à paroi épaisse. Le sang arrive aux ventricules par les oreillettes*. La contraction des ventricules expulse le sang dans les artères.

Activité interne : 12
ADN : 168
Allèle : 171
Astéroïde : 8
Atmosphère : 10
Automatisme : 119
Autotrophe : 147
Axe de rotation : 33
Axes de polarité : 190
Biosphère : 31
Bulbe rachidien : 121
Cardio-accélérateur : 118
Cardio-modérateur : 118
Cellule de convection : 34
Cellule : 173
Centre intégrateur : 123
Centre nerveux : 119
Centre respiratoire : 121
Chlorophylle : 52, 142
Chloroplaste : 142
Chromatide : 169
Chromosome : 169
Circulation générale : 100
Circulation en parallèle : 103
Climat : 32
Combustion : 51
Convection : 12
Coronaires : 102
Corps céleste : 8
Cortex cérébral : 122
Courants de surface, marins : 36
Cycle du carbone (ou cycle du CO₂) : 53

Cytoplasme : 144
Débit sanguin, ventilatoire : 79
Densité : 10
Déviation de Coriolis : 35
Dilatation : 57
Double hélice : 169
Drépanocytose : 171
Échelle : 10
Effet de serre : 14
Énergie : 13
Environnement : 172
Enzyme : 145
États de l'eau : 15
Étoile : 8
Eucaryote : 145
Fermentation : 51
Galaxie : 8
Gamète : 173
Gaz à effet de serre : 56
Gène : 170
Gène d'intérêt : 166
Gène homéotique : 194
Gènes apparentés : 197
Génome : 195
Glucose : 82
Grain de pollen : 55
Héréditaire : 148
Hétérotrophe : 147
Hydrosphère : 31
Information génétique : 171
Intégration : 123
Isotopes : 54

- Lithosphère : 31
- Matière minérale : 147
- Matière organique (molécule organique) :
52, 147
- Membrane plasmique : 144
- Métabolisme : 145
- Météorite : 10
- Méthane : 14
- Microscopes : 142, 143
- Mouvements atmosphériques : 35
- Mouvements respiratoires : 120
- Muscles squelettiques : 122
- Mutation : 171
- Nucléotide : 168
- Nutriments : 81
- Orbite : 8
- Oreillette : 98
- OGM : 166
- Ondes radar : 31
- Organe : 144
- Organisme : 144
- Organite : 144
- Orthosympathique : 118
- Ozone : 14
- Parasympathique : 118
- Paroi cellulosique : 144
- Photosynthèse : 52
- Plan d'organisation : 190
- Planète : 8
- Planète gazeuse : 10
- Planète tellurique : 10
- Pluricellulaire : 144
- Pouls : 78
- Pression atmosphérique : 14
- Procaryote : 145
- Programme génétique : 149
- Protéines de réparation : 173
- Rayonnement solaire : 14
- Respiration : 52, 82
- Rythme cardiaque : 78
- Rythme respiratoire : 78
- Saisons : 32
- Salinité : 37
- Sang oxygéné : 101
- Satellite : 8
- Satellite à défilement : 30
- Satellite civile : 30
- Satellite géostationnaire : 30
- Saturation du sang : 122
- Segmentation : 192
- Séquence : 169
- Sphéricité : 32
- Sphincter : 103
- Système solaire : 8
- Température externe : 14
- Tissu : 144
- Tissu adipeux : 98
- Transgénèse : 166
- Unicellulaire : 144
- Valvule : 98
- Vasoconstriction : 103
- Vasodilatation : 103
- Ventricule : 99
- VO₂ max : 83



Sciences de la Vie et de la Terre 2^{de}

- Des **rappels de cours** simples, présentés en doubles pages pour faciliter les révisions.
- Des fiches **Méthode**, avec exemples d'application, pour acquérir tous les savoir-faire spécifiques aux SVT.
- Des **exercices** de vérification des connaissances, d'application des méthodes, d'entraînement.
- **Tous les corrigés**, entièrement détaillés et commentés.

Les Guides ABC BAC en Seconde :
une gamme pour tous les besoins

Pour progresser avec méthode

le Guide RÉVISIONS

- Histoire-Géographie, n°200
- SES, n°202
- Mathématiques, n°203
- Physique-Chimie, n°205
- SVT, n°206
- Anglais, n°207
- Français, n°211

Pour s'exercer intensivement

le Guide ENTRAÎNEMENT

- Mathématiques, n°204



Préparez-vous à réussir !
www.abcbac.com

Nathan