

# Partie 1 – Une longue histoire de la matière

---

CHAPITRE 1 – UN NIVEAU D'ORGANISATION : LES ÉLÉMENTS  
CHIMIQUES

# Une longue histoire de la matière



Michel Genès : Pourquoi l'histoire des sciences ? [Lien vers l'Évo-Sci-07](#)



**HISTOIRE, ENJEUX, DÉBATS**  
**Becquerel, Marie Curie : la découverte de la radioactivité du radium.** → Chapitre 1, 11 et 14 [Lien vers les perspectives p. 21](#)



→ **1896**, Henri Becquerel découvre la radioactivité.



**HISTOIRE, ENJEUX, DÉBATS**  
**De Fraunhofer à Bethe : les éléments dans les étoiles** → Chapitre 1, 11, 12 et 14 [Lien vers les perspectives p. 20](#)

→ **1898** Marie et Pierre Curie isolent le radium

**HISTOIRE, ENJEUX, DÉBATS**  
**Industrie des métaux et du verre** → Chapitre 2, 11 et 14 [Lien vers les perspectives p. 40](#)



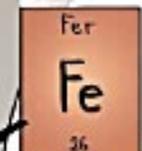
→ **Début XIX<sup>e</sup>** Joseph von Fraunhofer observe des raies dans le spectre lumineux du Soleil

→ **1939** Hans Bethe décrit un mécanisme de formation de l'hélium à partir de l'hydrogène dans les étoiles

→ Une certaine d'éléments stables dans tout l'univers



→ La matière est composée d'atomes et de molécules



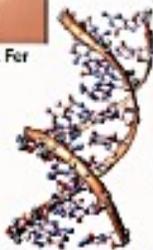
→ Élément Fer



→ Cristal de sel



→ Molécules d'eau



→ Molécule d'ADN



Michel Genès : La matière et l'atome [Lien vers l'Évo-Sci-100](#)



→ Cellule végétale



→ **1665** Robert Hooke observant du liège au microscope emploie le mot "cellule"

→ **1839** Matthias Schleiden et Theodor Schwann énoncent la théorie cellulaire

→ Cellule animale



→ Bactérie



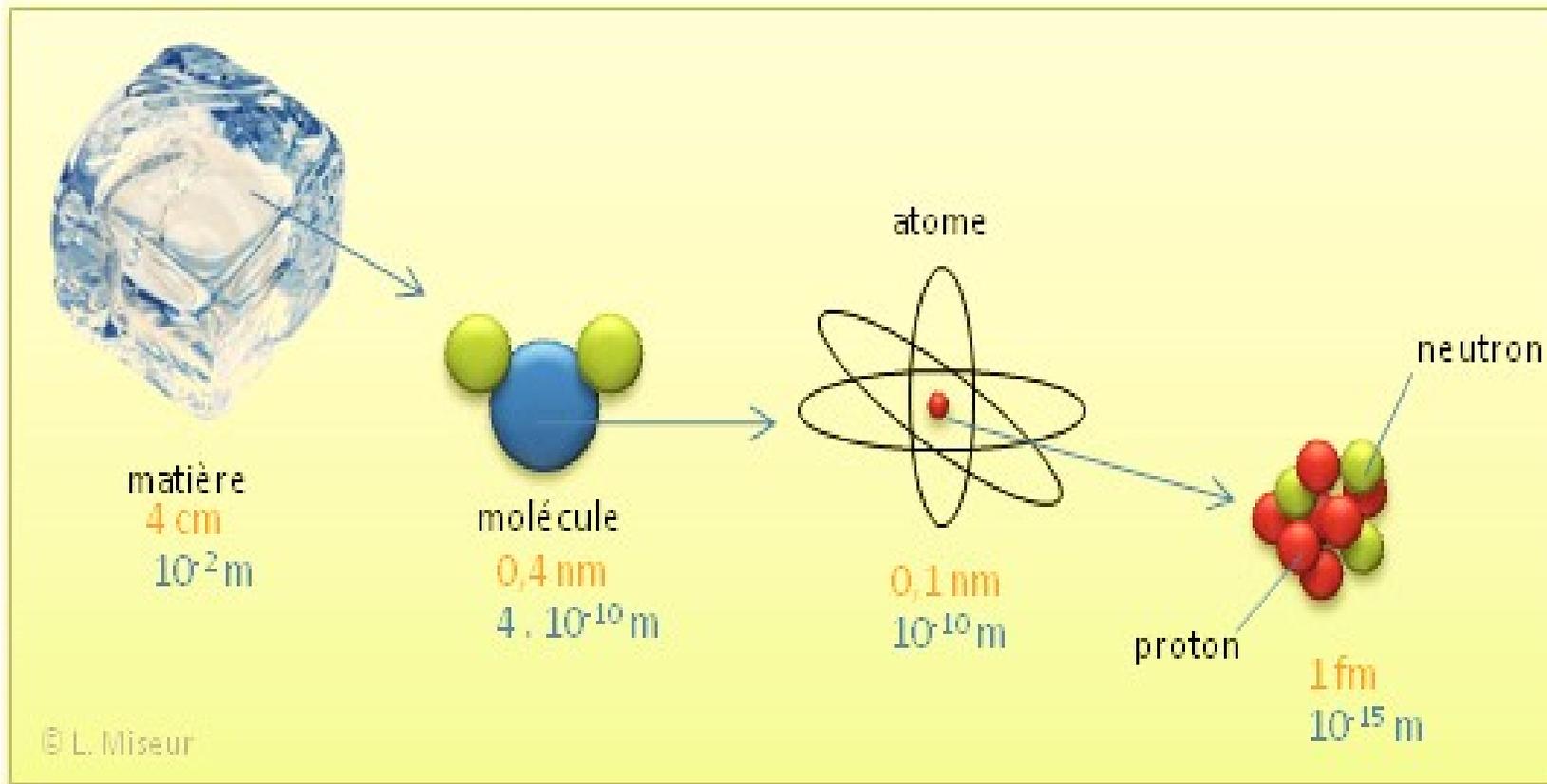
**HISTOIRE, ENJEUX, DÉBATS**  
**Hooke, Schleiden et Schwann : de la découverte de la cellule à la théorie cellulaire** → Chapitre 2, 11, 12 et 14 [Lien vers les perspectives p. 40](#)

# Une « brève » histoire de la matière, en 4 minutes

---



# Chapitre 1 : un niveau d'organisation : les éléments chimiques



# 1. Les éléments chimiques, des étoiles aux êtres vivants.

**Problématique : Comment à partir  
du seul élément hydrogène,  
la diversité des éléments chimiques  
est-elle apparue ?**

Photon : particule élémentaire (quantum) de la lumière. Le nom **photon** vient du grec et signifie "lumière". En effet, le **photon** transmet l'interaction électromagnétique, la lumière étant un exemple d'onde électromagnétique.

## 1 La théorie du Big Bang

Il y a environ 13,7 milliards d'années, l'Univers est un brouillard extrêmement dense et chaud composé de particules élémentaires (électrons, photons, etc.).

Le Big Bang secoue l'Univers, qui libère alors une énorme quantité d'énergie et entre dans une phase d'expansion extrêmement rapide : il passe de la taille d'un point à dix fois la taille de notre galaxie.

Cette dilatation entraîne une baisse de la température, laquelle provoque l'assemblage des particules en neutrons et en protons. Quelques minutes plus tard, ceux-ci se regroupent et forment les noyaux des éléments chimiques les plus légers : l'hydrogène et l'hélium.

Il faut attendre plus de cent millions d'années pour que les forces de gravitation rassemblent ces premiers atomes en étoiles. Composées à 99 % d'hydrogène et d'hélium, celles-ci deviennent le lieu de formation d'éléments chimiques plus lourds (carbone, azote, etc.) au cours de réactions nucléaires.

À la fin de leur vie, certaines étoiles massives explosent en supernova et favorisent l'apparition des éléments chimiques les plus lourds qui se dispersent dans l'Univers.

### Animation

L'Univers, l'inimaginable  
naissance

[hatier-clic.fr/es1024a](http://hatier-clic.fr/es1024a)

# 1. Les éléments chimiques, des étoiles aux êtres vivants.

## A. L'origine des éléments

**Relevez, grâce au document 1, les deux premiers éléments chimiques qui sont apparus dans l'Univers.**

**Tous les éléments chimiques ne sont pas apparus en même temps. Les premiers éléments sont l'hydrogène et l'hélium.**

## 1 La théorie du Big Bang

Il y a environ 13,7 milliards d'années, l'Univers est un brouillard extrêmement dense et chaud composé de particules élémentaires (électrons, photons, etc.).

Le Big Bang secoue l'Univers, qui libère alors une énorme quantité d'énergie et entre dans une phase d'expansion extrêmement rapide : il passe de la taille d'un point à dix fois la taille de notre galaxie.

Cette dilatation entraîne une baisse de la température, laquelle provoque l'assemblage des particules en neutrons et en protons. Quelques minutes plus tard, ceux-ci se regroupent et forment les noyaux des éléments chimiques les plus légers : l'hydrogène et l'hélium.

Il faut attendre plus de cent millions d'années pour que les forces de gravitation rassemblent ces premiers atomes en étoiles. Composées à 99 % d'hydrogène et d'hélium, celles-ci deviennent le lieu de formation d'éléments chimiques plus lourds (carbone, azote, etc.) au cours de réactions nucléaires.

À la fin de leur vie, certaines étoiles massives explosent en supernova et favorisent l'apparition des éléments chimiques les plus lourds qui se dispersent dans l'Univers.

### Animation

L'Univers, l'inimaginable naissance

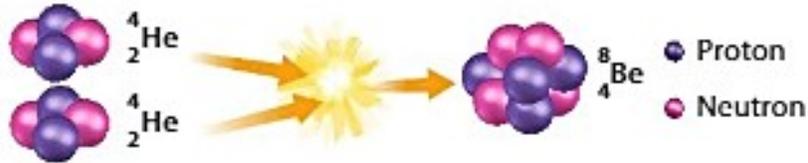
[hatier-clic.fr/es1024a](http://hatier-clic.fr/es1024a)

## 2 Deux types de réactions nucléaires

Une réaction nucléaire est une transformation d'un ou plusieurs noyaux atomiques au cours de laquelle il y a conservation du nombre de nucléons et du nombre de protons. Ces réactions libèrent de grandes quantités d'énergie thermique. Il en existe deux grands types.

### La fusion

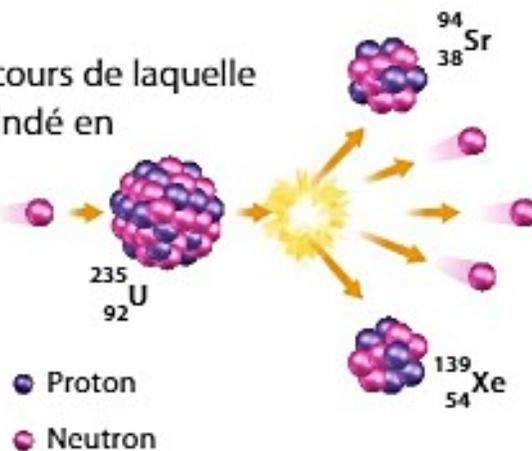
Réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.



Ce type de réaction a lieu en permanence au sein des étoiles et permet la formation des éléments chimiques.

### La fission

Réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd est scindé en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.



**Document 2 : quel phénomène conduit à la formation des éléments chimiques dans les étoiles ? Quel est l'élément chimique initial ?**

**Dans les étoiles, des réactions de fusion nucléaire sont à l'origine de la formation des autres éléments à partir de l'hydrogène initial.**

### 3 La nucléosynthèse stellaire



Le physicien américain Hans Albrecht Bethe (1906-2005) explique le premier, en 1938, les réactions de fusion nucléaire dans les étoiles, montrant ainsi comment elles produisent leur énergie. L'hydrogène est le principal « carburant » de cette production d'énergie, et la fusion de ses noyaux est la première étape de la formation des éléments de l'Univers.

Au cœur des étoiles, à des températures très élevées, les noyaux des atomes fusionnent pour former de nouveaux noyaux :

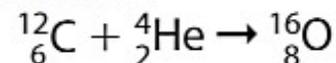
- quatre noyaux d'hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  s'unissent pour former un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ ;
- deux noyaux d'hélium s'assemblent pour former un noyau de béryllium  ${}^8_4\text{Be}$ ;

- et ainsi de suite : les éléments les plus lourds s'obtenant à partir d'éléments plus légers.

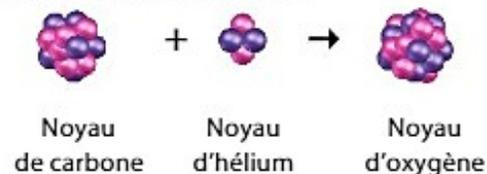
#### Exemple d'une réaction de fusion nucléaire stellaire

La formation d'un noyau d'oxygène à partir d'un noyau de carbone et d'un noyau d'hélium.

#### • Équation de la réaction



#### • Modélisation de la réaction



Animation

La fusion des étoiles

[hatier-clic.fr/es1024b](http://hatier-clic.fr/es1024b)

**Document 3 : l'équation de réaction nucléaire modélisée est-elle une réaction de fusion ou de fission ? Justifiez.**

**L'équation de réaction nucléaire stellaire modélisée dans le document 3 est une réaction de fusion nucléaire car deux noyaux s'unissent pour former un noyau plus lourd.**

## B.L'abondance des éléments chimiques.

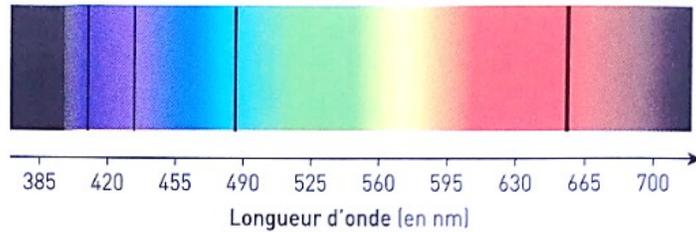
Les astrophysiciens scrutent les amas d'étoiles pour faire l'inventaire des éléments chimiques, et comparer leurs résultats aux observations faites dans notre système solaire.



Activité documentaire : comparez l'abondance des éléments chimiques dans l'Univers, le système solaire et les êtres vivants.

### Doc. 1 L'abondance des éléments chimiques dans l'Univers

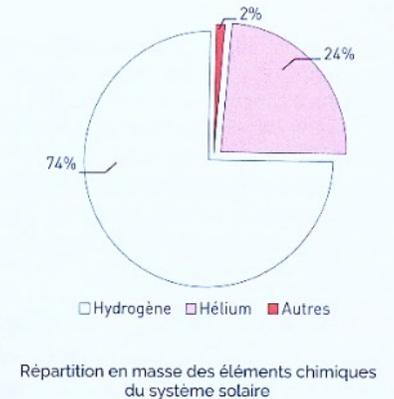
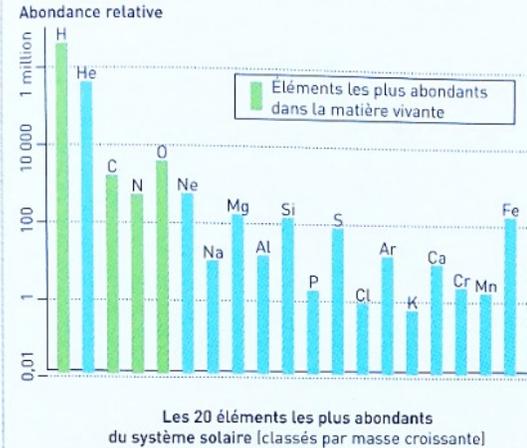
► L'analyse de la lumière des étoiles est le seul moyen d'accéder à leur composition chimique. Le spectre d'émission d'une étoile est un spectre continu sur lequel on observe des raies noires dues à l'absorption de certains éléments chimiques présents dans l'atmosphère de l'étoile. Les sondes *Cobe* et *WMAP*, placées en orbite autour de la Terre, s'affranchissent de l'absorption due à l'atmosphère terrestre et fournissent des spectres lumineux émis par des étoiles.



► Ces spectres révèlent la composition massique de l'Univers : 74 % d'hydrogène, 24 % d'hélium, 1 % d'oxygène, 0,5 % de carbone et 0,5 % de tous les autres éléments connus (fer, azote, néon, etc.).

### Doc. 2 Composition du système solaire

► Le système solaire comprend une étoile, le Soleil, qui représente près de 99,9 % de la masse totale du système, et la matière qui gravite autour de lui, dont les huit planètes et leurs satellites.

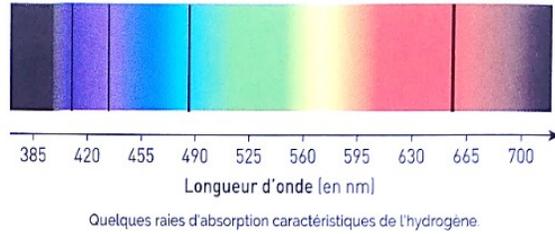


Comparez la composition chimique de la matière visible dans l'Univers à celle du système solaire (doc. 1 et 2).

Les éléments chimiques présents dans l'Univers sont identiques à ceux présents sur Terre.

### Doc. 1 L'abondance des éléments chimiques dans l'Univers

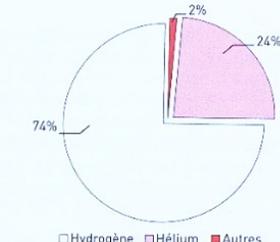
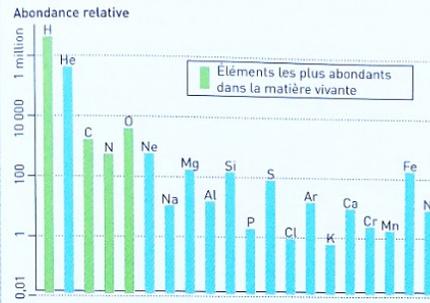
► L'analyse de la lumière des étoiles est le seul moyen d'accéder à leur composition chimique. Le spectre d'émission d'une étoile est un spectre continu sur lequel on observe des raies noires dues à l'absorption de certains éléments chimiques présents dans l'atmosphère de l'étoile. Les sondes *Cobe* et *WMAP*, placées en orbite autour de la Terre, s'affranchissent de l'absorption due à l'atmosphère terrestre et fournissent des spectres lumineux émis par des étoiles.



► Ces spectres révèlent la composition massique de l'Univers : 74 % d'hydrogène, 24 % d'hélium, 1 % d'oxygène, 0,5 % de carbone et 0,5 % de tous les autres éléments connus (fer, azote, néon, etc.).

### Doc. 2 Composition du système solaire

► Le système solaire comprend une étoile, le Soleil, qui représente près de 99,9 % de la masse totale du système, et la matière qui gravite autour de lui, dont les huit planètes et leurs satellites.



### Doc. 3 Abondance des éléments sur la planète et dans les êtres vivants

► D'après nos connaissances actuelles la seule planète habitée dans l'Univers est la Terre. Certes, la liste des exoplanètes potentiellement habitables s'allonge, mais c'est bien sur notre planète que les êtres vivants sont constitués – entre autres – de matière organique.

| Terre     |              | Bactérie |              | Luzerne  |              | Espèce animale |              |
|-----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------------|--------------|
| Fe        | 35           | C        | 50           | C        | 11           | C              | 18           |
| O         | 30           | H        | 8            | H        | 9            | H              | 10           |
| Si        | 15           | O        | 20           | O        | 77           | O              | 65           |
| Mg        | 13           | N        | 14           | N        | 0,8          | N              | 3            |
| Ni        | 2,4          | P        | 3            | P        | 0,1          | P              | 2            |
| S, Ca, Al | < 2 % chacun | K, S, Na | < 1 % chacun | K, S, Na | < 1 % chacun | K, S, Na       | < 1 % chacun |
| C, H, N   | traces       | Mg, Ca   | traces       | Mg, Ca   | traces       | Mg, Ca         | traces       |

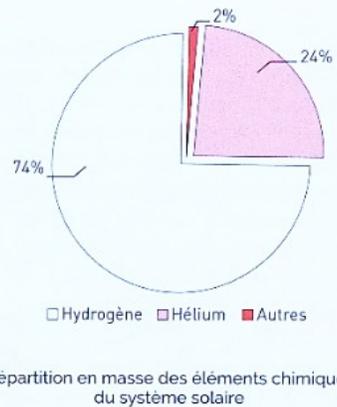
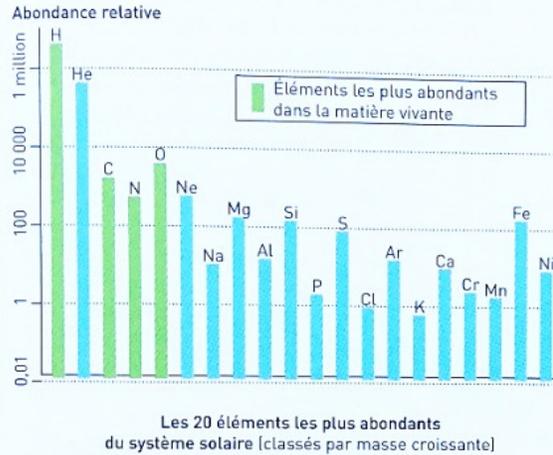
Les éléments chimiques les plus abondants de la planète Terre, et dans des exemples d'êtres vivants (en pourcentage de leur masse sèche).

Indiquer la provenance des éléments chimiques de la Terre et des êtres vivants (doc. 1, 2 et 3).

Les éléments chimiques de la Terre et des êtres vivants proviennent des étoiles.

## Doc. 2 Composition du système solaire

Le système solaire comprend une étoile, le Soleil, qui représente près de 99,9 % de la masse totale du système, et la matière qui gravite autour de lui, dont les huit planètes et leurs satellites.



## Doc. 3 Abondance des éléments sur la planète et dans les êtres vivants

D'après nos connaissances actuelles la seule planète habitée dans l'Univers est la Terre. Certes, la liste des exoplanètes potentiellement habitables s'allonge, mais c'est bien sur notre planète que les êtres vivants sont constitués – entre autres – de matière organique.

|           | Terre        | Bactérie | Luzerne      | Espèce animale |              |
|-----------|--------------|----------|--------------|----------------|--------------|
|           |              |          |              |                |              |
| Fe        | 35           |          |              |                |              |
| O         | 30           | C        | 50           | C              | 18           |
| Si        | 15           | H        | 8            | H              | 10           |
| Mg        | 13           | O        | 20           | O              | 65           |
| Ni        | 2,4          | N        | 14           | N              | 3            |
| S, Ca, Al | < 2 % chacun | P        | 3            | P              | 2            |
| C, H, N   | traces       | K, S, Na | < 1 % chacun | K, S, Na       | < 1 % chacun |
|           |              | Mg, Ca   | traces       | Mg, Ca         | traces       |

Les éléments chimiques les plus abondants de la planète Terre, et dans des exemples d'êtres vivants (en pourcentage de leur masse sèche).

Déduisez les principaux éléments constitutifs de la matière organique (êtres vivants ; doc 2 et 3).

Les éléments chimiques les plus abondants dans les êtres vivants sont l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote.

Justifiez la phrase, chère à Hubert Reeves, selon laquelle « nous sommes faits de poussières d'étoiles ».

Car tous les noyaux des atomes qui nous constituent ont été engendrés au centre d'étoiles mortes il y a plusieurs milliards d'années.



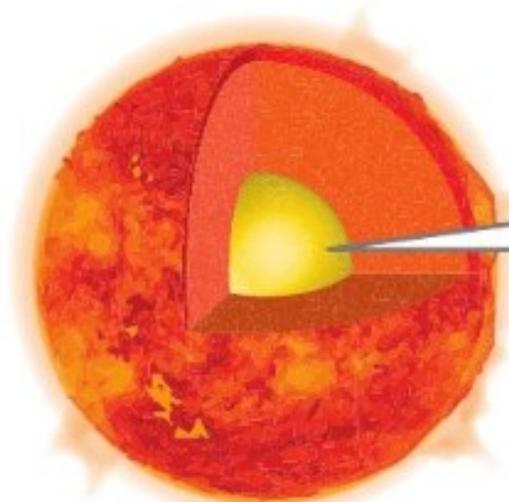
# 1. Les éléments chimiques, des étoiles aux êtres vivants – BILAN

Les éléments les plus abondants dans l'Univers sont l'hydrogène et l'hélium.

Les éléments les plus abondants sur Terre sont le fer, l'oxygène, le silicium et le magnésium.

Les éléments les plus abondants chez les êtres vivants sont l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote.





ÉTOILE

## NUCLÉOSYNTÈSE STELLAIRE

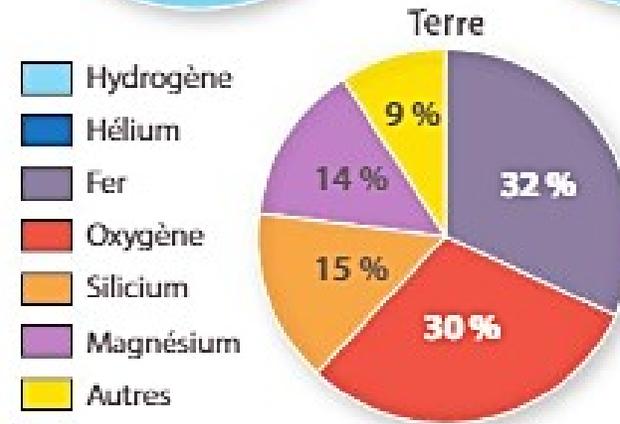
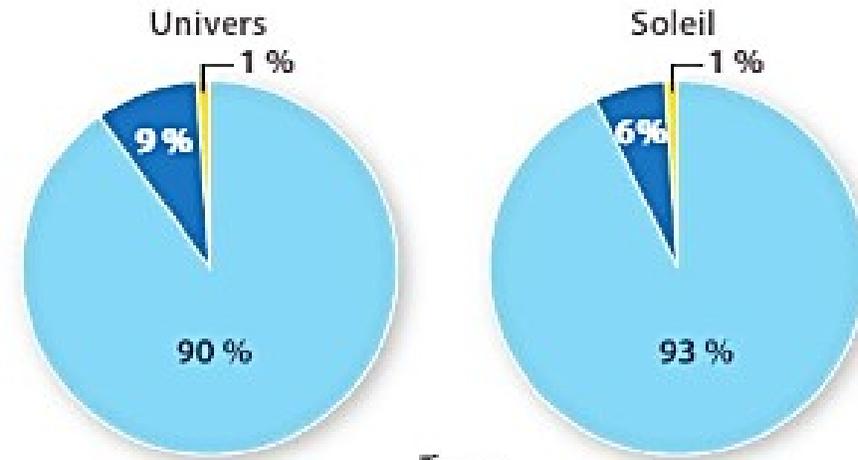
- Les éléments (Be, C, N, O, Ne, Mg, Si, S, ..., Fe) sont formés à partir de l'hydrogène initial, par des réactions de fusion nucléaire.

### Exemple

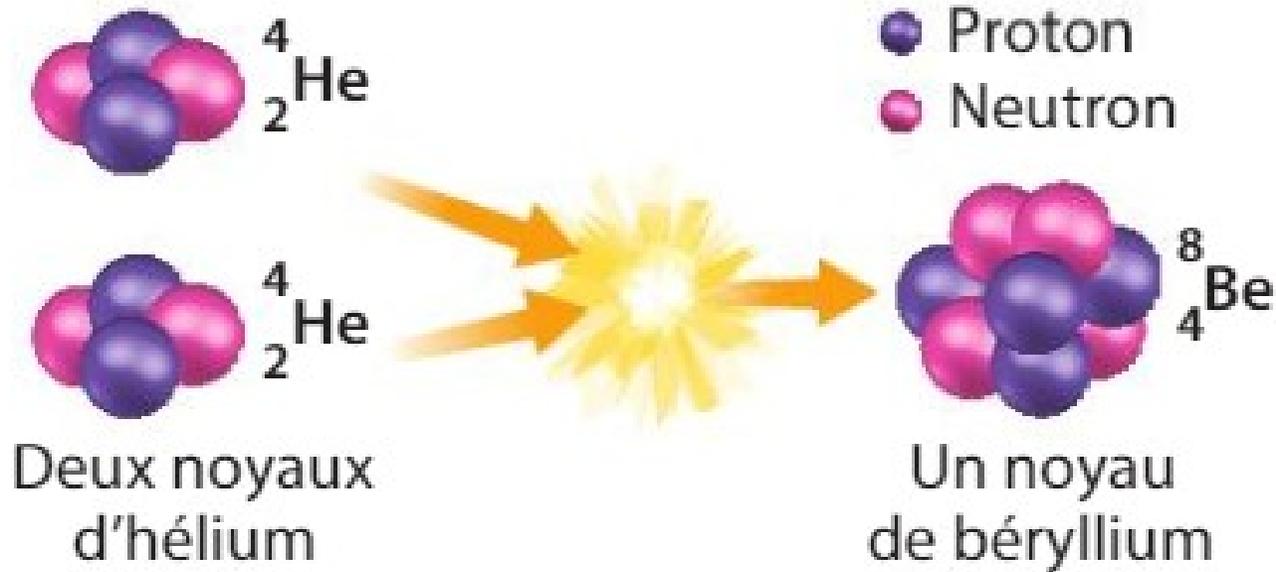


Au sein des étoiles, c'est à partir de l'hydrogène initial que sont formés les noyaux des autres éléments plus lourds au cours de réactions de fusion nucléaire.

Certaines étoiles en fin de vie explosent en supernova, les éléments chimiques formés sont alors dispersés dans l'Univers. Certains de ces éléments chimiques se retrouvent dans la composition de notre planète et des êtres vivants



|                     | H      | O      | C      | N     | Autres |
|---------------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| <b>Corps humain</b> | 61,1 % | 24,1 % | 12,5 % | 1,4 % | 0,9 %  |
| <b>Blé</b>          | 58,3 % | 31,4 % | 12,0 % | 0,3 % | 2,9 %  |
| <b>Champignon</b>   | 60,1 % | 30,5 % | 7,2 %  | 1,9 % | 0,3 %  |
| <b>Bactérie</b>     | 63,0 % | 29,1 % | 6,3 %  | 1,3 % | 0,3 %  |



**Mot clé – Fusion nucléaire stellaire :** réaction au cours de laquelle, dans une étoile, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.

---

## 2. La datation par la radioactivité

### Rappels :

#### **Composition et représentation symbolique du noyau**

Le noyau d'un atome est composé de  $A$  nucléons :  $Z$  protons et  $N = A - Z$  neutrons. La représentation symbolique du noyau d'un atome de l'élément  $X$  est  ${}^A_ZX$ .

La représentation  ${}^{16}_8\text{O}$  est celle du noyau d'un atome d'oxygène comportant 8 protons et  $16 - 8 = 8$  neutrons.

#### **La radioactivité**

Les noyaux de certains atomes sont instables et se désintègrent naturellement. Ces noyaux dits radioactifs se transforment spontanément en d'autres noyaux.

#### **Les isotopes**

Les **isotopes** sont des atomes (d'un certain élément chimique) qui possèdent le même nombre d'électrons – et donc de protons, pour rester neutre –, mais un nombre différent de neutrons. Le carbone 14 est un exemple d'isotope instable, tandis que le carbone 13 et le carbone 12 sont des isotopes stables.

## 2. La datation par la radioactivité



# Introduction

---

Depuis la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel en 1896, les scientifiques ont trouvé de nombreuses applications exploitant les propriétés des noyaux atomiques instables. La datation en est une. La datation au carbone 14 est la plus connue, car elle permet de dater les vestiges archéologiques et préhistoriques. Elle utilise les propriétés de désintégration radioactive de ce noyau, présent dans toute matière organique.

En effet, suite aux collisions entre les éléments de la haute atmosphère et des rayons cosmiques, des neutrons sont constamment éjectés de la haute atmosphère. Capturés par des noyaux d'azote 14, les neutrons transforment ces noyaux en carbone 14. Très vite, les atomes de carbone 14 s'unissent avec les atomes d'oxygène présents dans l'air pour former le dioxyde de carbone ( $^{14}\text{CO}_2$ ) qui se répartit uniformément sur Terre.

Comme indiqué précédemment, il existe deux autres isotopes stables, le carbone 13 et le carbone 12. Le carbone 12 constitue l'essentiel du carbone présent dans l'atmosphère. Le taux moyen de présence du carbone 14 dans l'atmosphère est de  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,2 \times 10^{-12}$ .

Ce taux de  $^{14}\text{C}$  se retrouve dans tous les êtres vivants puisque toute leur matière provient de la photosynthèse réalisée par les végétaux chlorophylliens, qui absorbent le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère. En revanche, lorsque l'espèce vivante n'échange plus avec le milieu extérieur (à sa mort), le taux de carbone 14 ne fait que diminuer.

# Problématique : comment utiliser le carbone 14 pour dater un échantillon ?

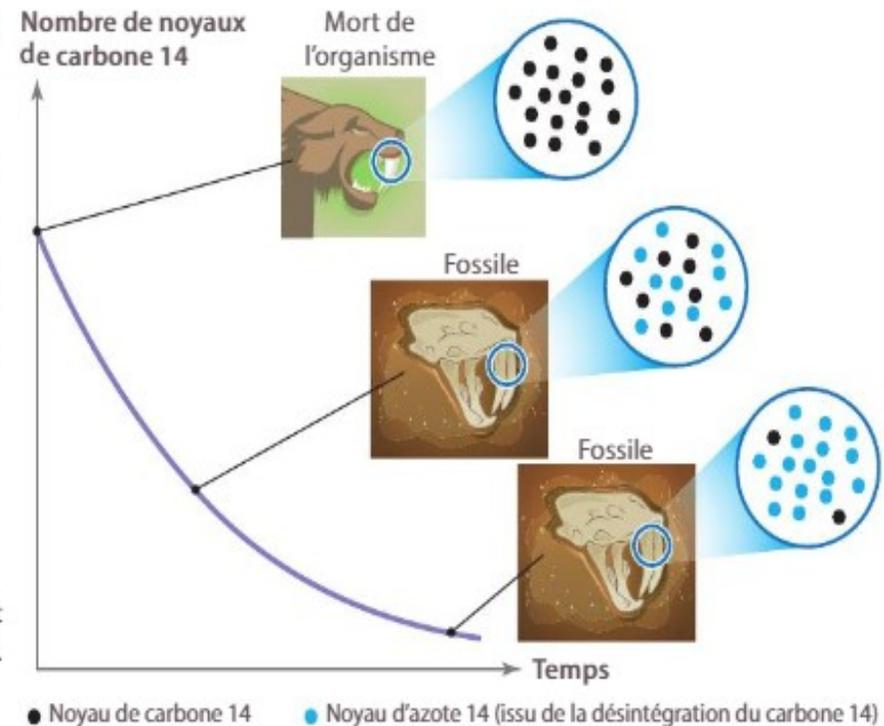
Activité : exploitation des documents pages 28-29.

## 1 Le carbone 14 contenu dans les êtres vivants

Le carbone 14 ( $^{14}_6\text{C}$ , noté  $^{14}\text{C}$ ) est un isotope de l'élément carbone, présent en très faible quantité sur Terre. Il se désintègre naturellement en azote 14 ( $^{14}_7\text{N}$ ), stable.

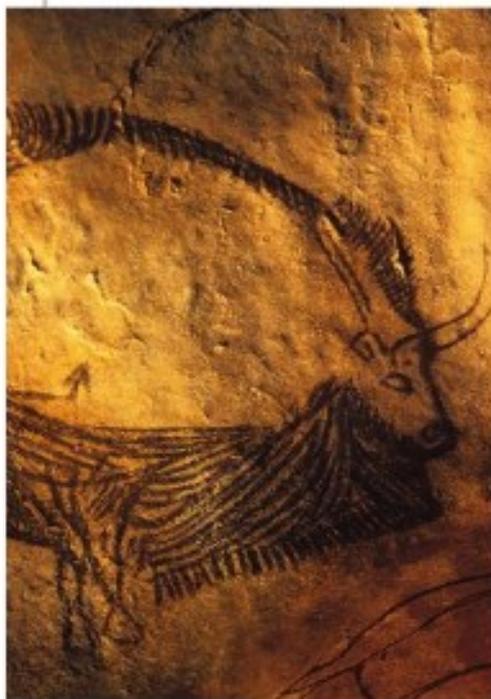
Au cours de leur vie, tous les êtres vivants absorbent du carbone 14 : incorporé par les plantes lors de la photosynthèse, il est ensuite transféré via les chaînes alimentaires. À leur mort, le carbone 14 qu'ils contiennent n'est plus renouvelé par ces échanges avec l'environnement, et sa quantité diminue par désintégration radioactive.

Évolution de la quantité de carbone 14 présent dans une dent dès la mort de l'animal.



## 2 Des vestiges que l'on peut dater

La méthode de datation peut s'appliquer à une multitude de vestiges organiques, humains, animaux ou végétaux : peau, os, coquilles, bois ou charbons de bois, plantes, fruits, graines, pollens peuvent être datés. Mais elle peut également être utilisée pour dater des réalisations humaines (tissus, parchemins, poteries, vanneries) : dans ce cas, c'est à partir des matériaux organiques ayant servi à leur fabrication que la datation peut être effectuée.



Le principe est toujours le même : c'est en mesurant la quantité de carbone 14 présent dans un échantillon donné que l'on peut dater la mort de l'organisme. Par exemple, la datation du charbon de bois présent dans les peintures préhistoriques de la grotte de Niaux (Ariège) a permis d'affirmer qu'elles ont été dessinées il y a 13 000 ans.

Bison de la grotte de Niaux.

## 3 L'évolution des techniques de datation

La datation au carbone 14 a été développée par le physicien et chimiste américain Willard F. Libby (1908-1980). Il effectue la datation de la grotte de Lascaux en 1951 et reçoit en 1960 le prix Nobel de chimie.

Les premières datations nécessitaient plusieurs grammes de matière. La détermination des âges était possible dans un domaine compris entre 1 000 et 30 000 ans.

Depuis les années 1980, les avancées technologiques ont permis d'utiliser des échantillons de plus en plus petits. Actuellement, on peut remonter sur des périodes comprises entre 300 et 50 000 ans à partir de 1 mg de matière seulement. Au-delà de 50 000 ans, la quantité restante de carbone 14 dans l'échantillon est trop faible pour être mesurée.

### Article

La datation :  
l'art de remonter le temps

[hatier-clic.fr/es1028b](http://hatier-clic.fr/es1028b)

### ✓ À SAVOIR

Les premières datations procédaient par détection du rayonnement émis à chaque désintégration d'un noyau de carbone 14. Actuellement, l'utilisation du spectromètre de masse permet de compter directement les atomes de carbone 14 présents dans un échantillon.

## 4 La désintégration nucléaire et la demi-vie

La désintégration radioactive est un phénomène spontané et aléatoire : l'instant de désintégration d'un noyau est imprévisible. En revanche, le rythme de désintégration radioactive d'un nombre important de noyaux est bien connu. Ce rythme est nommé « demi-vie » et dépend des propriétés radioactives de chaque noyau. La demi-vie  $t_{1/2}$  d'un noyau radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs

initialement présents dans un échantillon macroscopique s'est désintégrée. Cette durée est caractéristique d'un type de noyau radioactif et peut varier d'une fraction de seconde à des milliards d'années. Par exemple, le polonium 214 ( $^{214}\text{Po}$ ) a une demi-vie de 164 microsecondes contre 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238 ( $^{238}\text{U}$ , principale matière première utilisée dans l'industrie nucléaire).

**Animation**

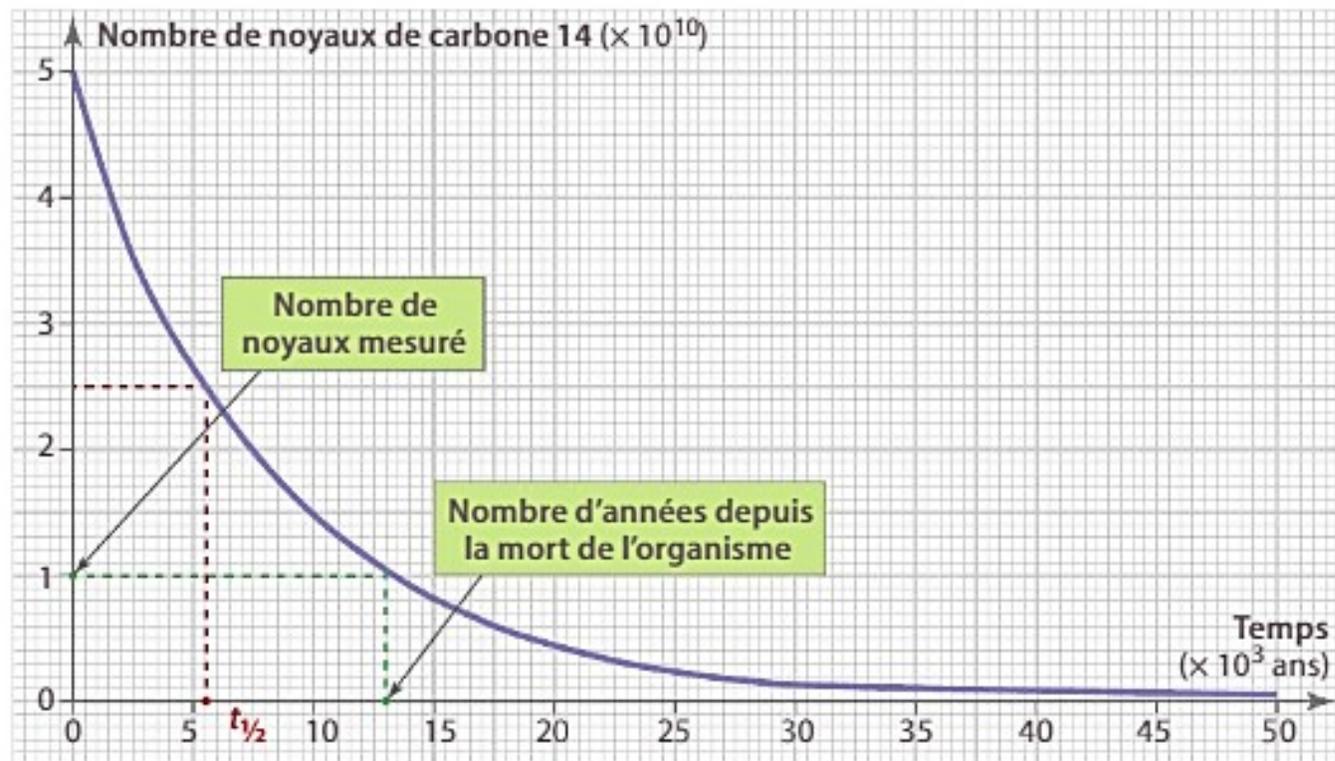
La décroissance radioactive

[hatier-clic.fr/es1029](http://hatier-clic.fr/es1029)

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

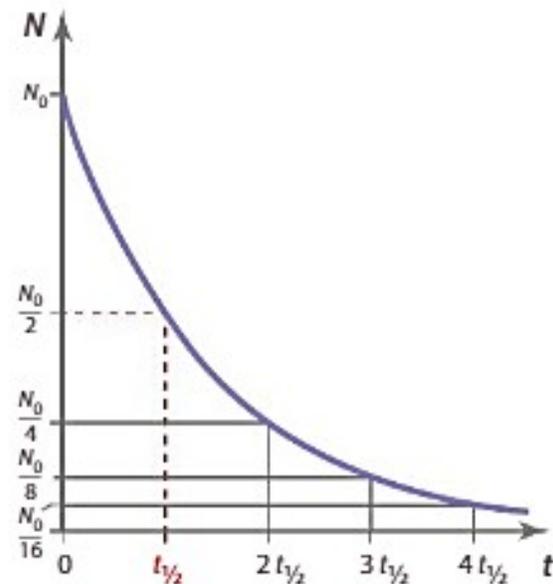
La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

## MATHS

L'allure de la courbe de décroissance montre que la quantité de noyaux radioactifs restants diminue régulièrement au cours des demi-vies successives :

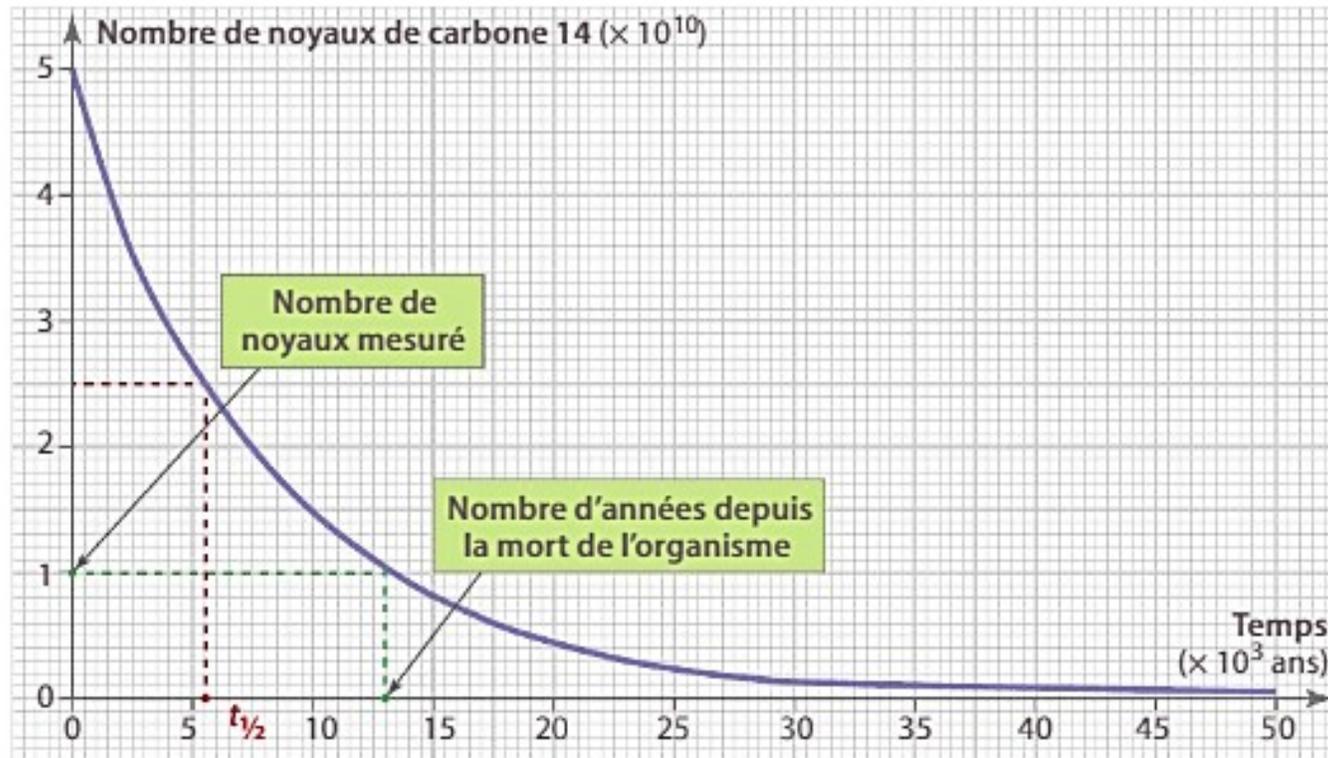


- à  $t_{1/2}$ ,  $\frac{N_0}{2}$  noyaux se sont désintégrés. Le nombre de noyaux restants est donc  $\frac{N_0}{2}$ .
- à  $n t_{1/2}$ , le nombre de noyaux restants est  $\frac{N_0}{2^n}$ .

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

1. Justifier l'allure de la courbe de décroissance radioactive du  $^{14}\text{C}$ .

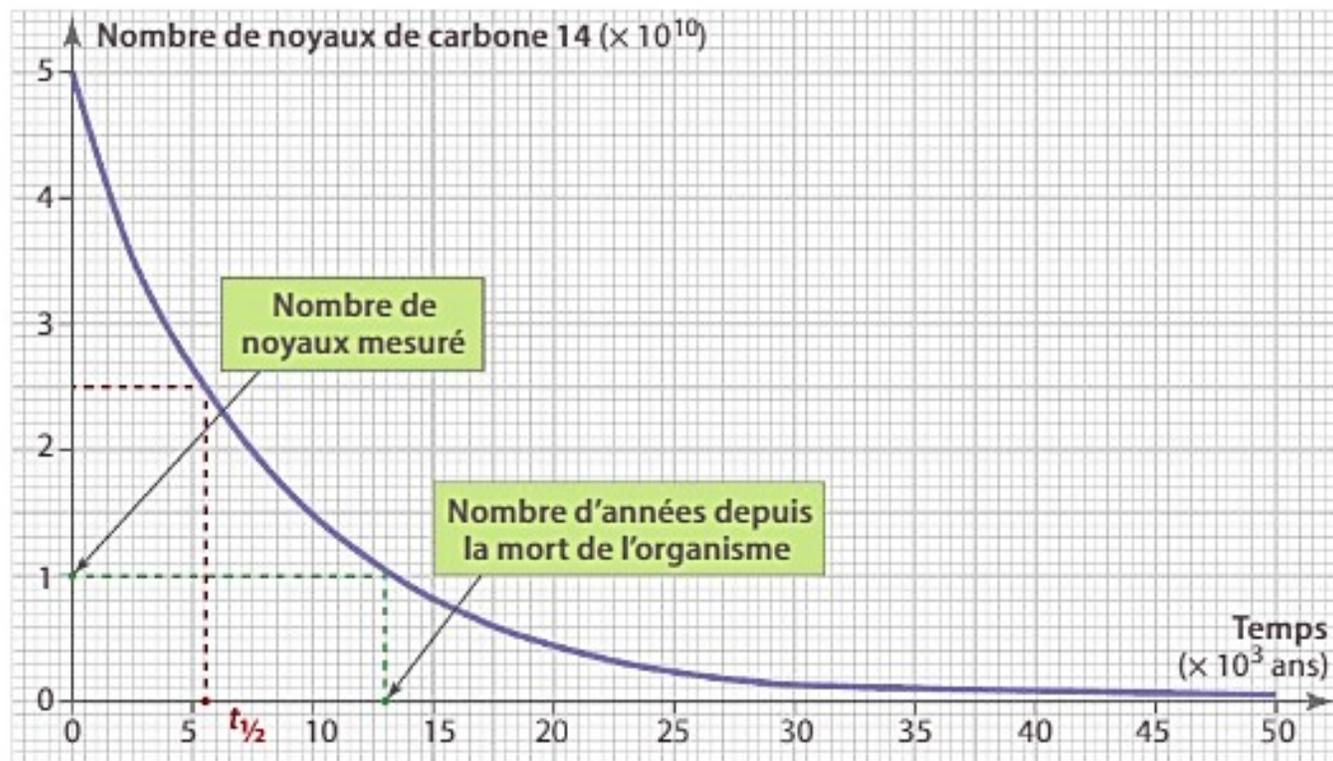
Les noyaux de carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) se \_\_\_\_\_ en noyaux d'azote 14 ( $^{14}\text{N}$ ), donc la quantité de carbone 14 (le nombre de noyaux de carbone \_\_\_\_\_ 14)

\_\_\_\_\_ dans un organisme mort.

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

2. A partir de quel moment le nombre d'atomes de  $^{14}\text{C}$  commence-t-il à diminuer dans un organisme ?

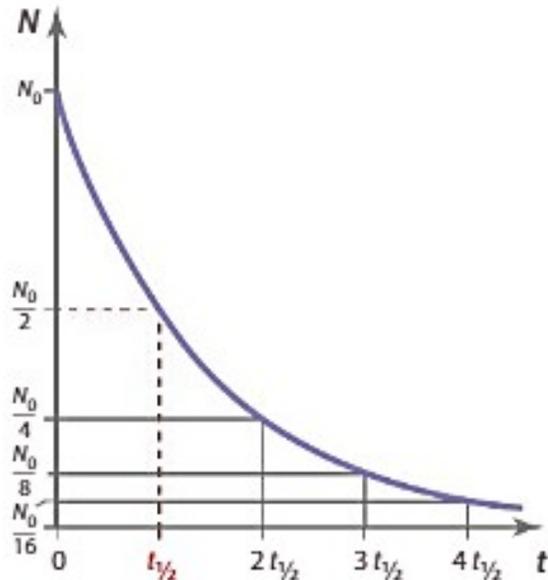
La quantité de  $^{14}\text{C}$  commence à diminuer \_\_\_\_\_

---

---

---

L'allure de la courbe de décroissance montre que la quantité de noyaux radioactifs restants diminue régulièrement au cours des demi-vies successives :



- à  $t_{1/2}$ ,  $\frac{N_0}{2}$  noyaux se sont désintégrés. Le nombre de noyaux restants est donc  $\frac{N_0}{2}$ .
- à  $n t_{1/2}$ , le nombre de noyaux restants est  $\frac{N_0}{2^n}$ .

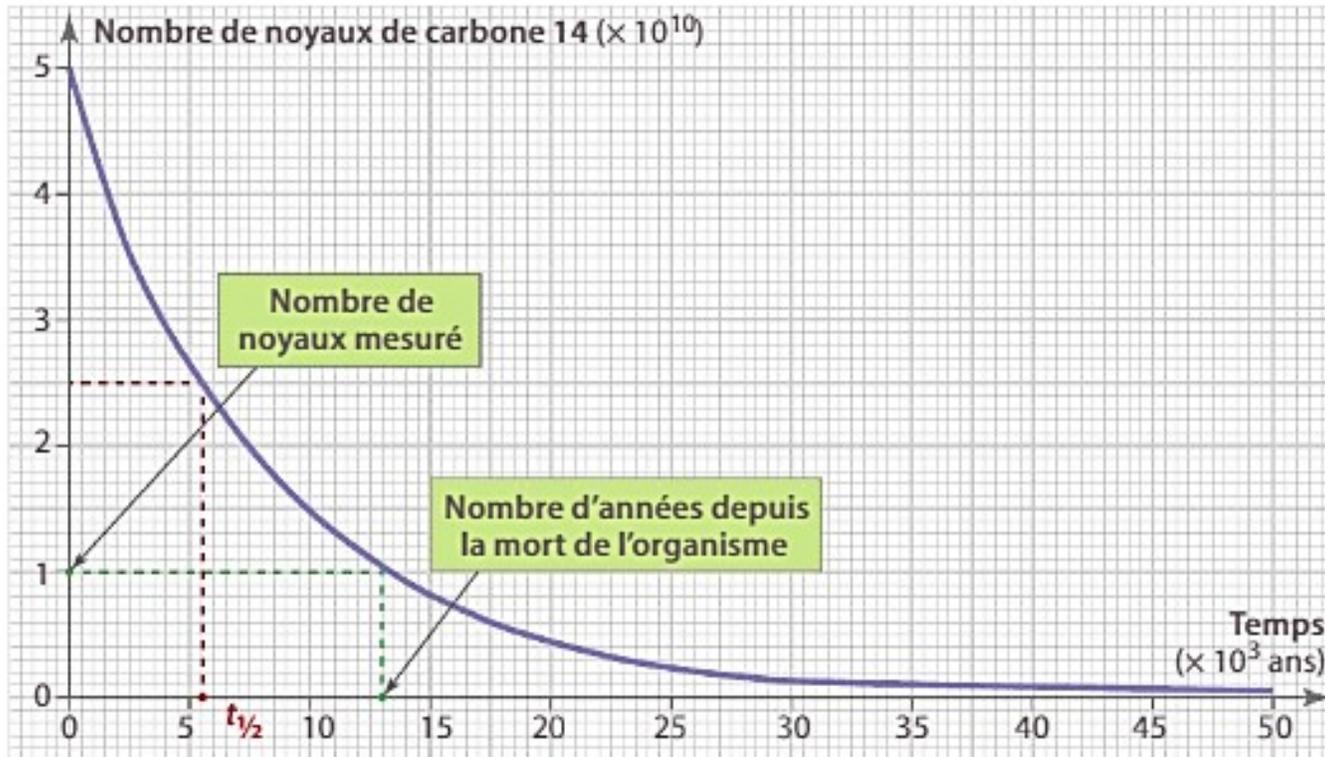
33. Qu'appelle-t-on demi-vie d'un noyau radioactif ? Montrer qu'à  $2t_{1/2}$ , le nombre de noyaux restants est  $\frac{N_0}{4}$ . Combien de noyaux restent-ils à  $3t_{1/2}$  ?

La demi-vie  $t_{1/2}$  est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans un échantillon macroscopique s'est désintégrée. À  $t_{1/2}$ , la moitié des noyaux se sont désintégrés. Le nombre de noyaux restants est donc  $\frac{N_0}{2}$ . À la demi-vie suivante ( $2t_{1/2}$ ), la moitié des noyaux restants ( $\frac{N_0}{2}$ ) se sont désintégrés, ce qui donne un nombre de noyaux restants de  $\frac{N_0}{4}$ . À  $3t_{1/2}$ , le nombre de noyaux restants est  $\frac{N_0}{8}$ . À  $4t_{1/2}$ , le nombre de noyaux restants est  $\frac{N_0}{16}$ .

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

4. Déterminer graphiquement la demi-vie du  $^{14}\text{C}$ .

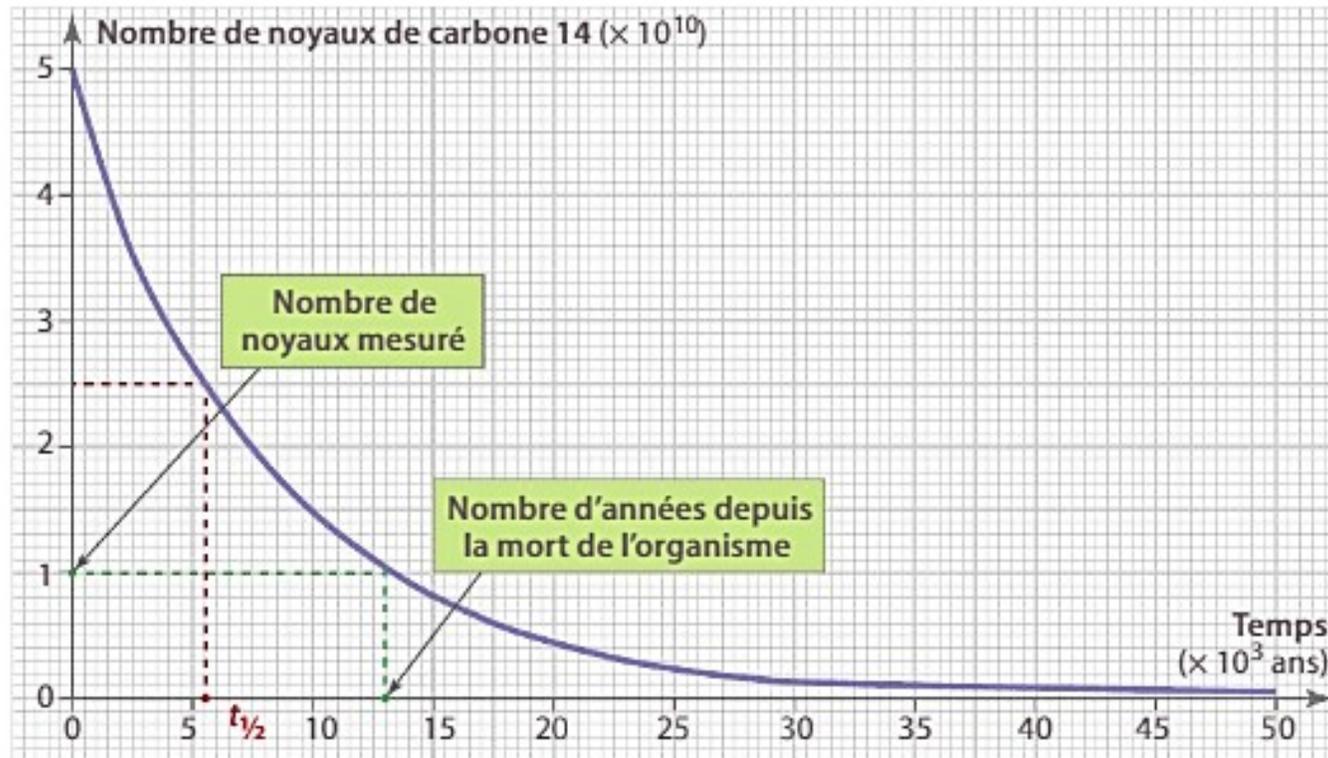
Par lecture graphique, on détermine l'abscisse correspondant à  $2,5 \times 10^{10}$  noyaux de  $^{14}\text{C}$ , on lit \_\_\_\_\_.  
D'après l'échelle, 1 cm correspond à  $5 \times 10^3$  ans. Donc  $t_{1/2} =$

---

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

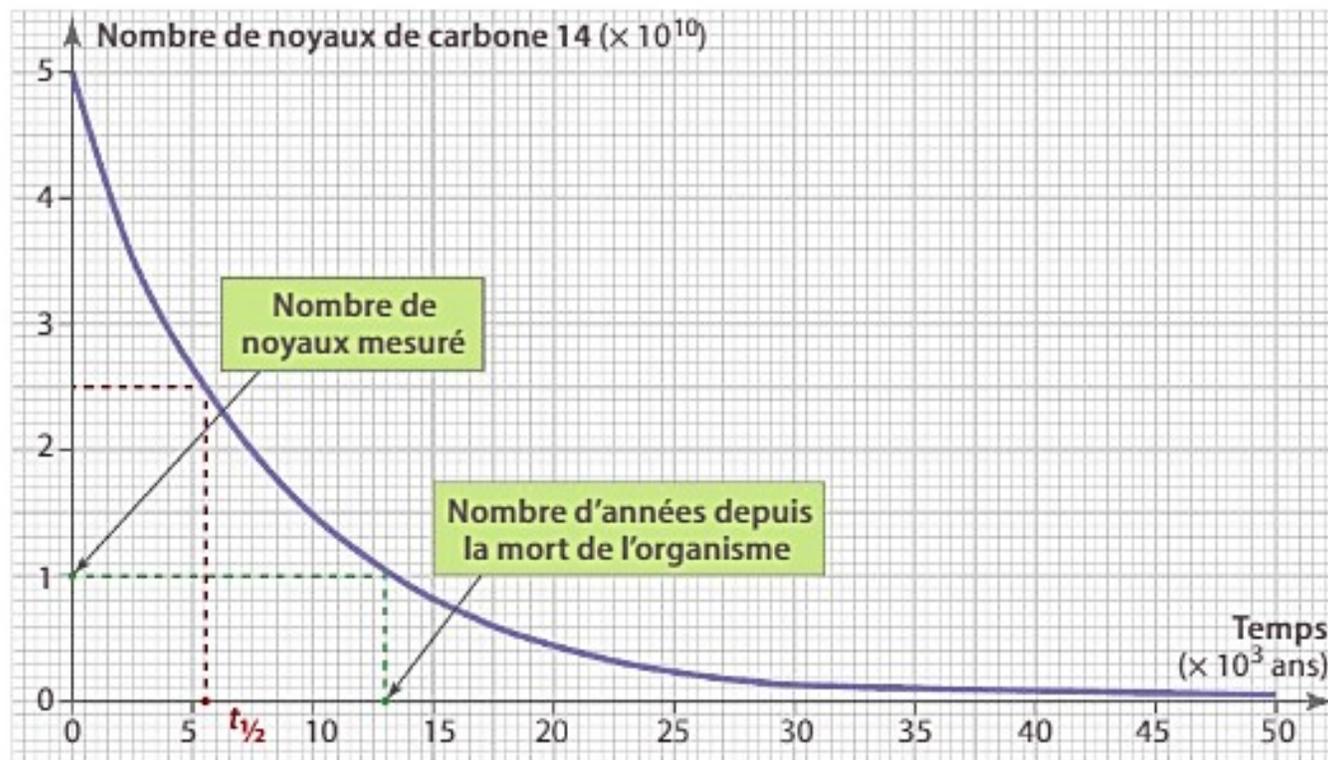
5 Déterminer le nombre de noyaux de  $^{14}\text{C}$  restants dans l'échantillon de charbon au bout de quatre demi-vies.

Au bout de quatre demi-vies, le nombre de noyaux restants dans l'échantillon est égal à soit \_\_\_\_\_, soit \_\_\_\_\_

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

6. Quelle durée sera nécessaire pour obtenir un nombre de noyau de  $^{14}\text{C}$  égal à 40% du nombre initial ?

Calcul de 40 % du nombre initial :

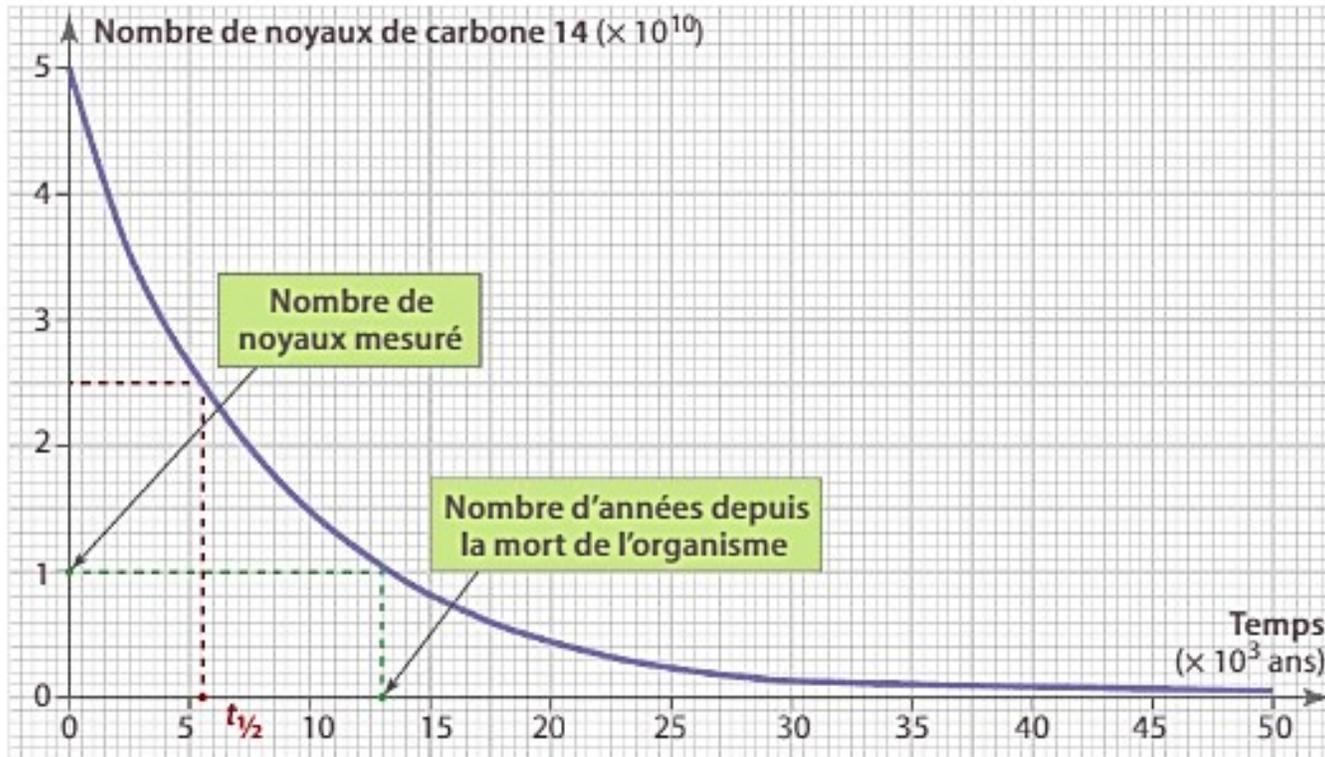
\_\_\_\_\_

Par lecture graphique, l'abscisse correspondant à \_\_\_\_\_ noyaux de  $^{14}\text{C}$  est de \_\_\_\_\_ cm. D'après l'échelle, 1 cm correspond à  $5 \times 10^3$  ans. La durée est égale à \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

## 5 Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.

La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

7. L'analyse d'un fragment de charbon retrouvé dans la grotte de Lascaux en 1951 a montré qu'il contenait  $0,7 \times 10^{10}$  noyaux de  $^{14}\text{C}$ . Estimer la date de l'occupation de la grotte.

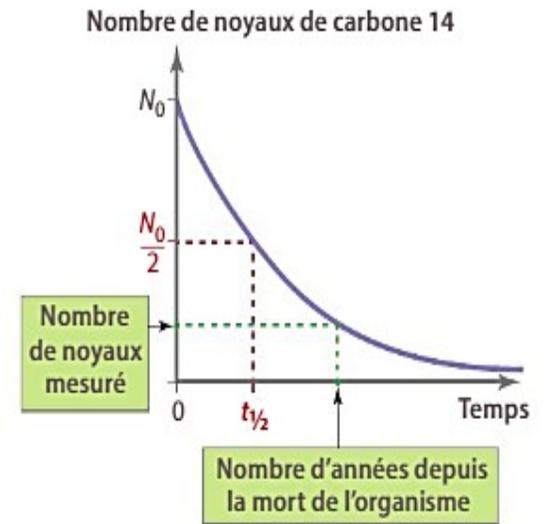
Par lecture graphique, l'abscisse correspondant à  $0,7 \times 10^{10}$  noyaux de  $^{14}\text{C}$  est de 3,25 cm. D'après l'échelle, 1 cm correspond à  $5 \times 10^3$  ans. La durée correspondante est égale à :  $3,25 \times 5 \times 10^3 = 16\,250$  ans. La date de l'occupation de la grotte est :  $16\,250 - 1951 = 14\,299$  ans avant notre ère.

# Bilan- La datation par la radioactivité

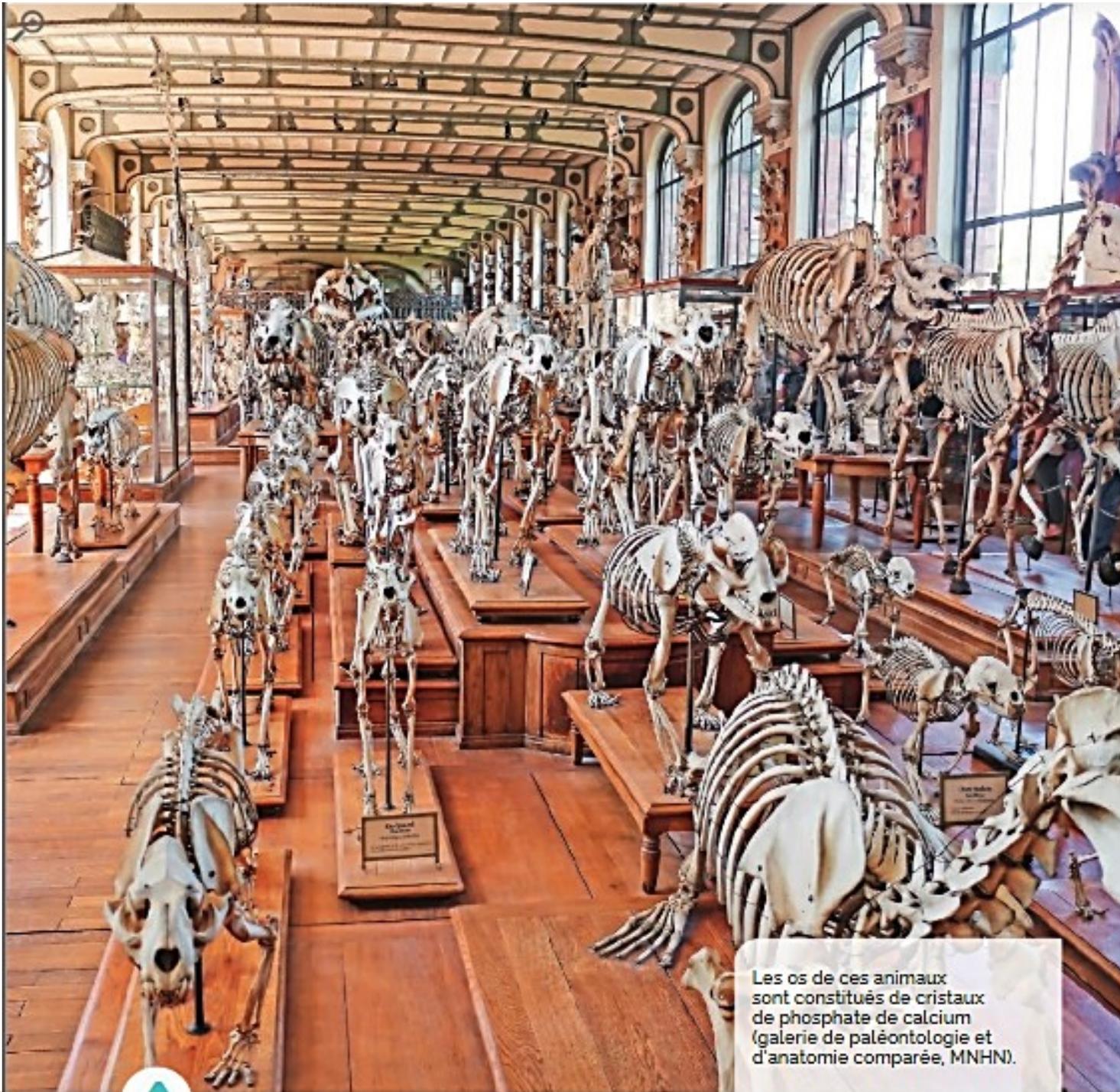
L'instant de désintégration d'un noyau radioactif isolé est aléatoire. Quand le nombre de noyaux est important, la désintégration radioactive suit une loi représentée par une courbe décroissante. **La demi-vie  $t_{1/2}$  d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soient désintégrés.** Cette durée est propre à chaque type de noyau radioactif.

## LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✓ Calculer le nombre de noyaux restants au bout de  $n$  demi-vies.
- ✓ Estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants.
- ✓ Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie.
- ✓ Utiliser une décroissance radioactive pour une datation (exemple du carbone 14).



Grâce à la courbe de décroissance radioactive du carbone 14, il est possible de dater un échantillon.



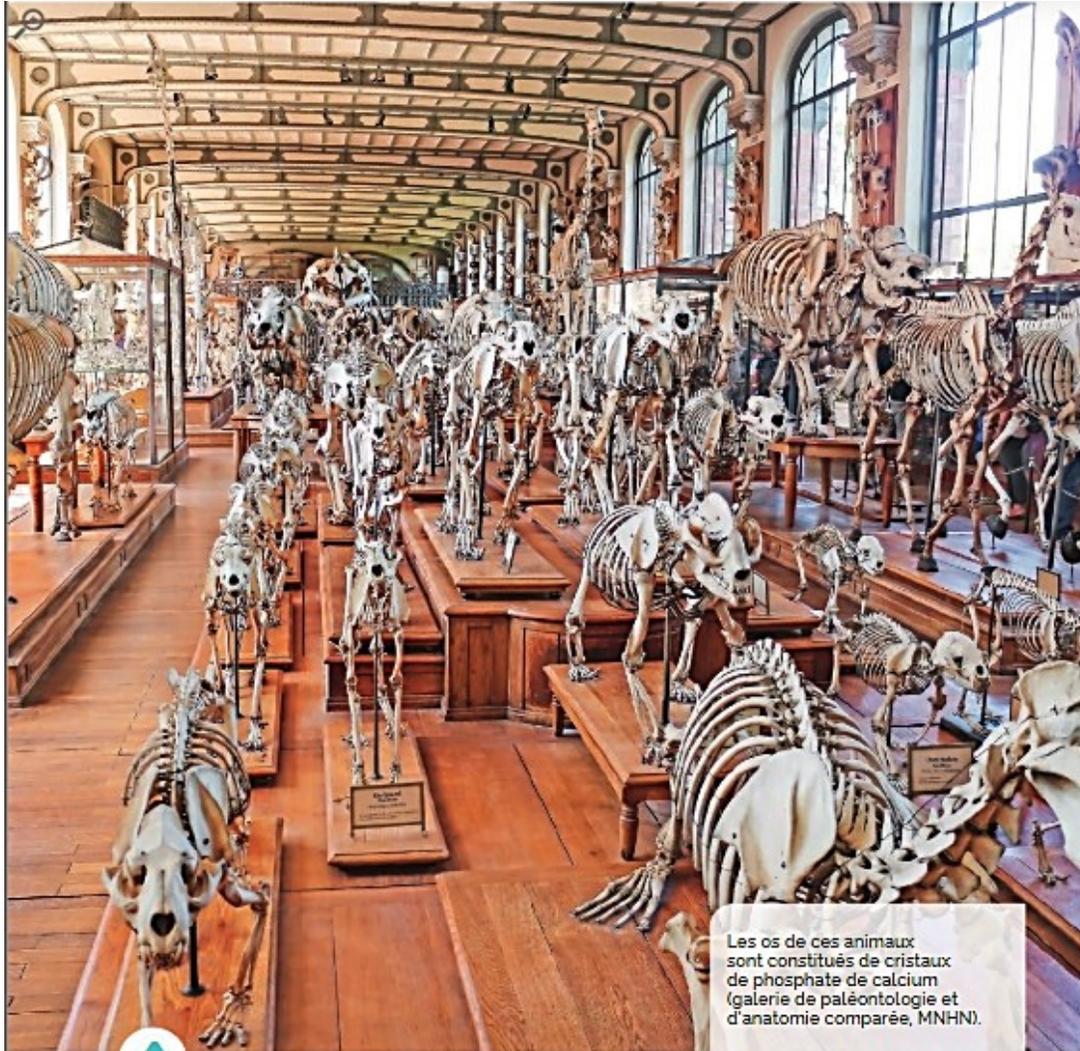
Les os de ces animaux sont constitués de cristaux de phosphate de calcium (galerie de paléontologie et d'anatomie comparée, MNHN).

## Chapitre 2- des édifices ordonnés : les cristaux.









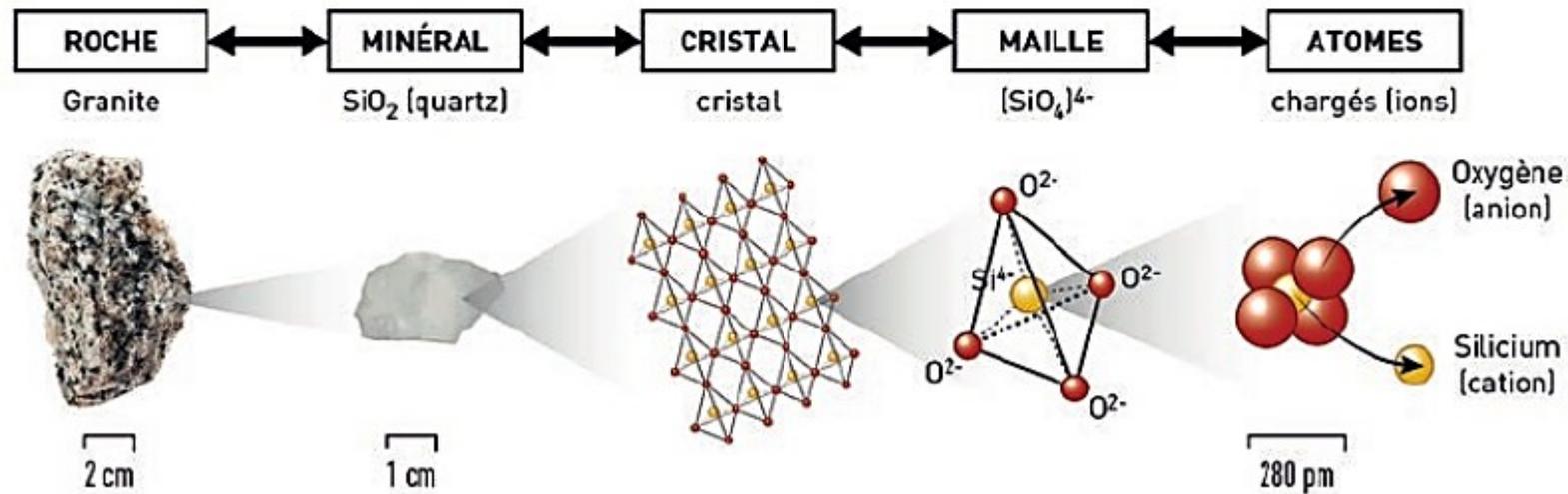
## Introduction :

L'état cristallin est une forme d'organisation de la matière qui est d'une importance majeure, tant pour la connaissance de la nature (minéraux et roches, squelettes, etc.) que pour ses applications techniques.

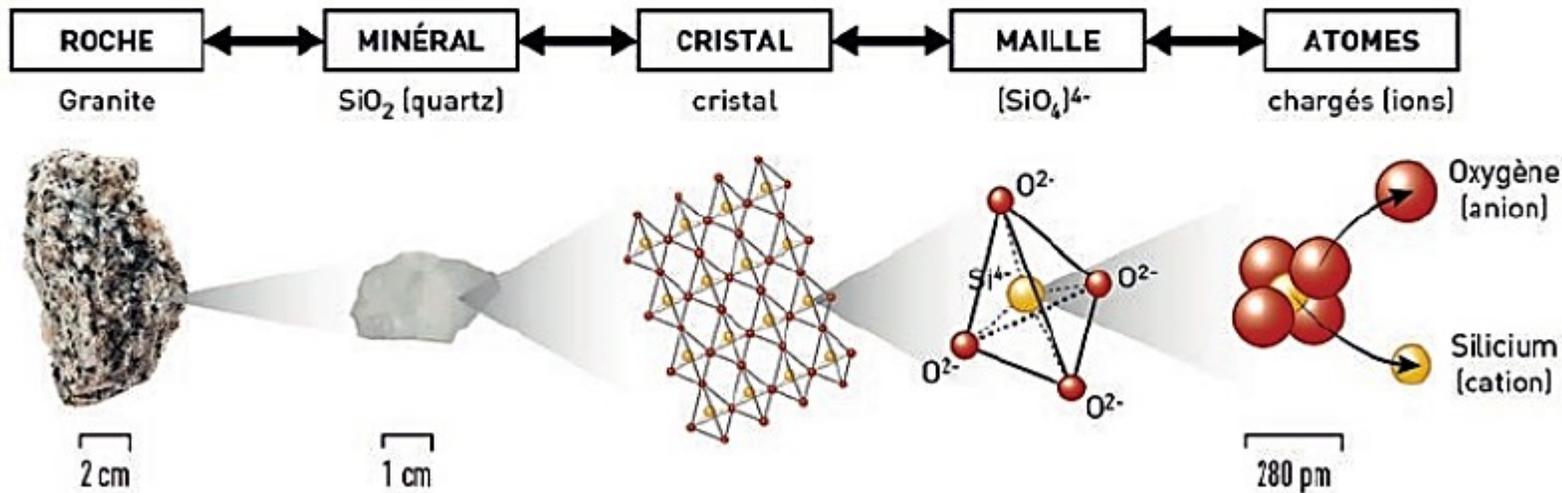
---

# De la roche à l'atome, comment les cristaux sont-ils structurés ?

- ▶ Les roches sont constituées d'un assemblage de minéraux, définis par leur composition chimique et l'agencement de leurs atomes suivant une maille élémentaire. Quand la maille élémentaire est répétée de façon ordonnée, il se forme un cristal. En l'absence d'ordre à moyenne et grande échelles, il se forme un verre.
- ▶ Les roches de la croûte terrestre sont en grande majorité (à plus de 90 %) constituées de silicates, tétraèdres de silicium et d'oxygène ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4-</sup>.



# De la roche à l'atome, comment les cristaux sont-ils structurés ?



Une roche, présente à l'échelle macroscopique, est composée d'un ensemble de \_\_\_\_\_ (comme par exemple le quartz). Un minéral peut être décrit à l'échelle microscopique par un \_\_\_\_\_ qui est un arrangement périodique et régulier d'une même maille. Une maille est composée de différents \_\_\_\_\_ ou \_\_\_\_\_ ( $\text{Si}^{4+}$  et  $\text{O}^{2-}$  dans le cas du quartz).

# 1. Les roches, une association de minéraux.

---



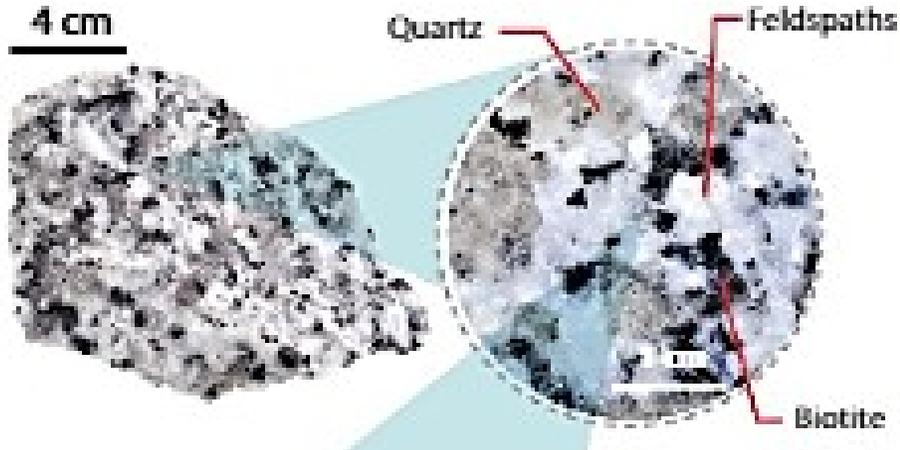
**ACTIVITÉ** : OBSERVATION DE GRANITE.  
ETUDE DOCUMENTAIRE, PAGES 42-43.



**OBJECTIF** : COMPRENDRE DE QUOI  
DÉPENDENT LES PROPRIÉTÉS  
MACROSCOPIQUES DES MINÉRAUX.

# Granite

4 cm



## Roche

Solide naturel principalement composé de minéraux.

Le granite est une roche de couleur claire. L'observation du granite à l'œil nu révèle :

- du quartz, minéral\* incolore à gris, mat, qui raye le verre ;
- de la biotite, minéral qui apparaît sous forme de paillettes noires et brillantes, rayable à l'ongle ;
- des feldspaths blancs, souvent brillants, qui rayent l'acier.



|           | Couleur | Aspect | Éclat | Dureté |
|-----------|---------|--------|-------|--------|
| Quartz    |         |        |       |        |
| Biotite   |         |        |       |        |
| Feldspath |         |        |       |        |

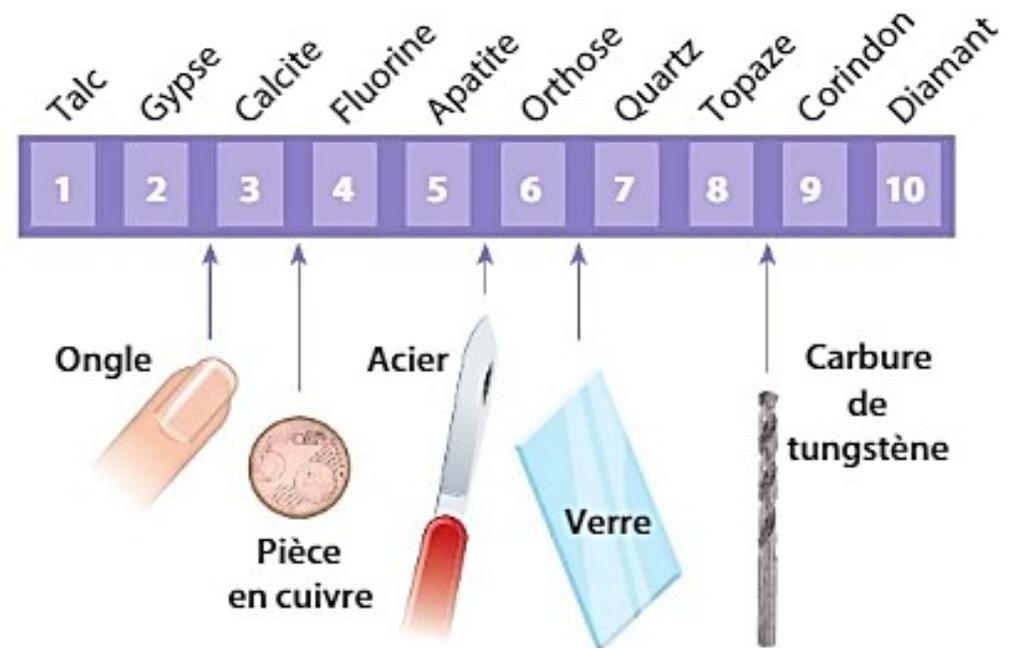
1. Observe l'échantillon de granite et note dans le tableau ci-contre les propriétés macroscopiques de chaque minéral qui le compose.

|                  | <b>Couleur</b>     | <b>Aspect</b>        | <b>Éclat</b> | <b>Dureté</b> |
|------------------|--------------------|----------------------|--------------|---------------|
| <b>Quartz</b>    | Incolore<br>à gris | Gros sel             | Mat          | 7             |
| <b>Biotite</b>   | Noir               | Paillettes<br>noires | Brillant     | 2             |
| <b>Feldspath</b> | Blanc              | Lisse                | Brillant     | 6             |

## 2 L'échelle de Mohs

Inventée en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs (1773-1839), cette échelle permet d'estimer la dureté des minéraux par comparaison de leur capacité à rayer des matériaux usuels (le verre, l'acier, etc.).

Un minéral raye tout ce qui a une dureté inférieure à la sienne. La dureté est fonction des liaisons entre les entités chimiques : plus les liaisons sont fortes, plus le solide est dur.



### 3 Le carbonate de calcium : une même formule, plusieurs structures

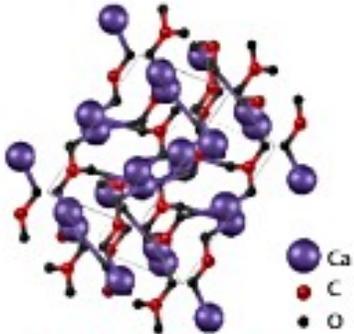
Le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), qui entre notamment dans la composition des calcaires et du marbre, est une substance qui cristallise principalement en deux polymorphes\* : l'aragonite et la calcite.

#### ARAGONITE



#### Identification

Formule chimique  $\text{CaCO}_3$   
 Couleur Jaune pâle à brun  
 Type cristallin Orthorhombique



#### Propriétés physiques

Dureté Raye le cuivre, est rayé par l'apatite  
 Éclat Vitreux  
 Transparence Translucide  
 Masse volumique  $2,9 \text{ à } 3,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

#### Article

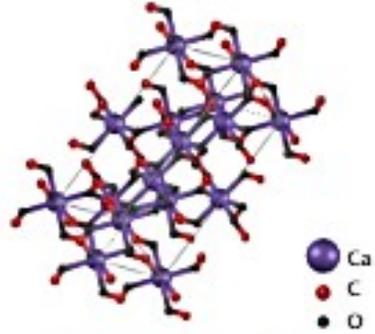
Les cristaux liquides sont

#### CALCITE



#### Identification

Formule chimique  $\text{CaCO}_3$   
 Couleur Incolore  
 Type cristallin Rhomboédrique



#### Propriétés physiques

Dureté Raye le gypse, est rayé par le cuivre  
 Éclat Vitreux à nacré  
 Transparence Translucide à opaque  
 Masse volumique  $2,6 \text{ à } 2,8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

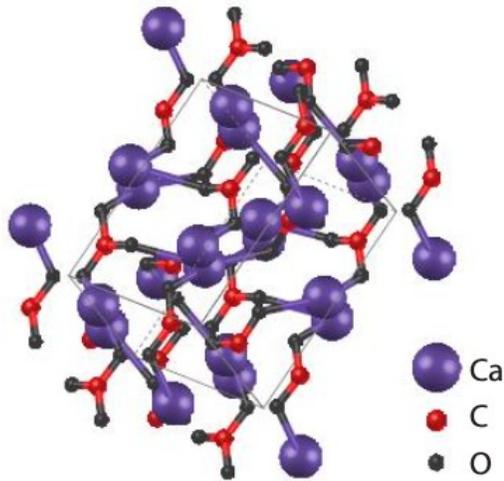
2. L'aragonite et la calcite ont la même formule chimique ( $\text{CaCO}_3$  – carbonate de calcium). Or, leurs propriétés macroscopiques sont différentes. Note ces dernières dans le tableau ci-dessous.

|           | Couleur | Aspect | Éclat | Dureté |
|-----------|---------|--------|-------|--------|
| Aragonite |         |        |       |        |
| Calcite   |         |        |       |        |

## ARAGONITE



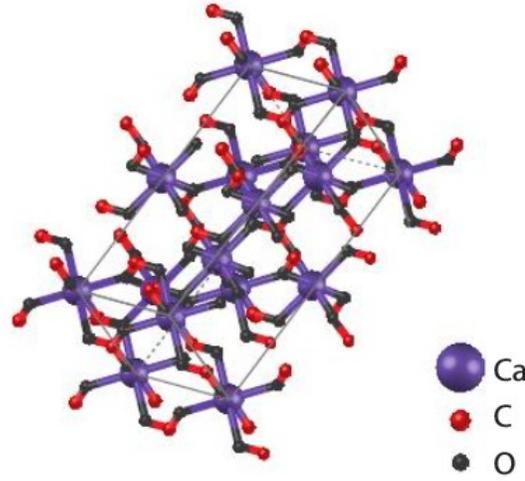
Type cristallin Orthorhombique



## CALCITE



Type cristallin Rhomboédrique



3. Relève ce qui différencie ces deux minéraux au niveau microscopique.

Le type cristallin n'est pas le même : orthorhombique pour l'aragonite et rhomboédrique pour la calcite.

**Les propriétés macroscopiques des minéraux dépendent donc de leurs propriétés**

# Mots clés

---

**Minéral** : solide naturel inerte constitués de cristaux qui sont arrangés selon une maille élémentaire dont la répétition dans l'espace dessine le réseau cristallin.

**Polyminéral** : solide composé de plusieurs minéraux, à l'inverse de monominéral.

**Polymorphes** : composés de même formule chimique, mais cristallisant différemment selon les conditions de pression et de température.

# 1. Les roches, conditions de formation

---



**ACTIVITÉ** : OBSERVATION À L'ŒIL NU DE ROCHES ISSUES D'UN MÊME MAGMA : GRANITE, RHYOLITE, OBSIDIENNE. MODÉLISATION DE L'EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CRISTALLISATION DE LA VANILLINE.



**OBJECTIF** : IDENTIFIER LES CONDITIONS DE FORMATION DES CRISTAUX.

# Mots clés

---

**Solide cristallin :** solide constitué d'une répétition quasi parfaite de l'arrangement des atomes dans les 3 directions de l'espace, contrairement au solide amorphe.

**Solide amorphe :** solide constitué d'atomes dont l'arrangement n'est pas ordonné, contrairement au solide cristallin.

## Refroidir vite ou lentement

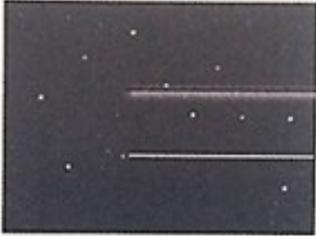
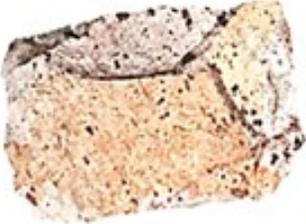
► Toutes ces roches sont issues d'un magma ayant la même composition chimique. Seul a varié le temps de refroidissement.

|                                    | Observation à l'œil nu   | Observation au microscope optique polarisant (x 40)  |
|------------------------------------|--|--|
| Obsidienne (structure vitreuse)    |   |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Verre</li> <li>Inclusion</li> </ul>                    |
| Rhyolite (structure microlithique) |   |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Verre + feldspaths</li> <li>Quartz</li> </ul>          |
| Granite (structure grenue)         |  |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Biotite</li> <li>Quartz</li> <li>Feldspath</li> </ul> |

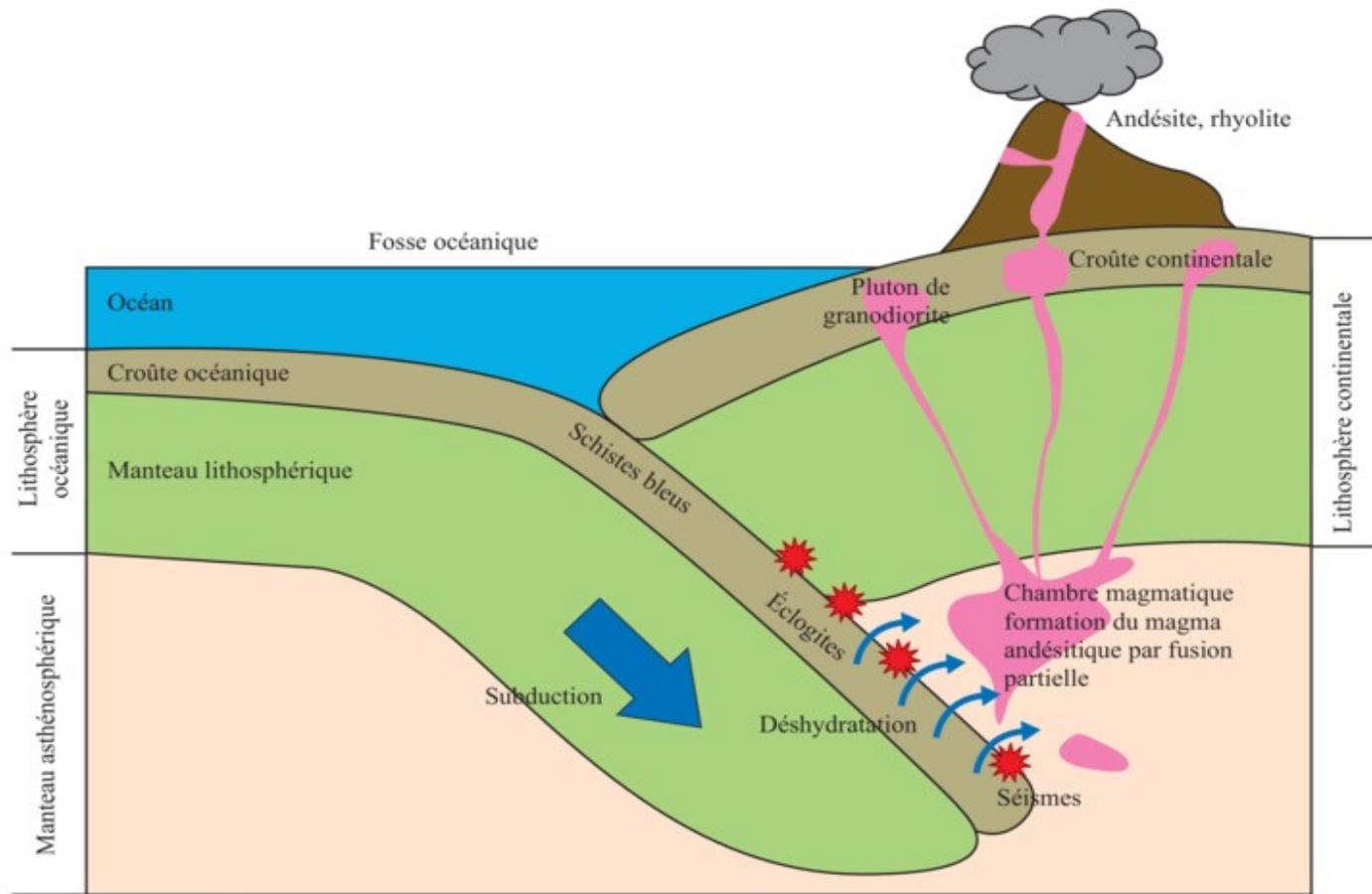
1. En classe, comparer les textures du granite, de la rhyolite et de l'obsidienne. Déterminer si ces roches sont formées de solides cristallins ou amorphes. Le granite est une roche de texture grenue, alors que la rhyolite possède une texture microlitique. L'obsidienne possède une structure vitreuse. Le granite est formé de solides \_\_\_\_\_, alors que l'obsidienne est formée majoritairement de solides \_\_\_\_\_ (verre). La rhyolite est un cas intermédiaire (verre et cristaux).

## Refroidir vite ou lentement

► Toutes ces roches sont issues d'un magma ayant la même composition chimique. Seul a varié le temps de refroidissement.

|                                    | Observation à l'œil nu   | Observation au microscope optique polarisant (x 40)  |
|------------------------------------|--|--|
| Obsidienne (structure vitreuse)    |   |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Verre</li> <li>Inclusion</li> </ul>                    |
| Rhyolite (structure microlithique) |   |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Verre + feldspaths</li> <li>Quartz</li> </ul>          |
| Granite (structure grenue)         |  |  <ul style="list-style-type: none"> <li>Biotite</li> <li>Quartz</li> <li>Feldspath</li> </ul> |

Au microscope polarisant, on reconnaît un solide amorphe car il apparaît entièrement noir.



**2. A partir des documents, identifier les conditions de formation de ces roches.**

La taille des cristaux dépend de la rapidité du refroidissement qui a permis leurs formations. Plus le refroidissement est lent, plus les cristaux formés seront gros.

Le granite cristallise \_\_\_\_\_ en profondeur : les cristaux ont le temps de se développer. Au contraire, l'obsidienne refroidit \_\_\_\_\_ à la surface, le magma n'a donc pas le temps de cristalliser et apparaît sous forme de solide amorphe (verre). La rhyolite reste un cas intermédiaire.



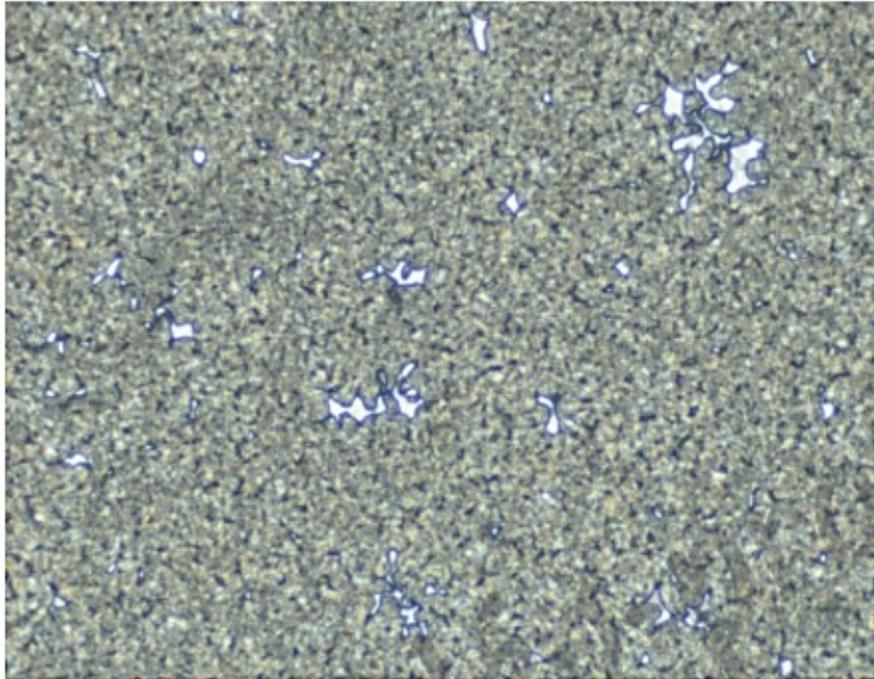
## Faire cristalliser un liquide en fusion.

Afin de modéliser la cristallisation d'un magma, on va utiliser de l'éthylvanilline (molécule organique extraite de la gousse de vanille) en poudre. La température de fusion de ce composé chimique utilisé en pâtisserie est peu élevée (environ 80°C).

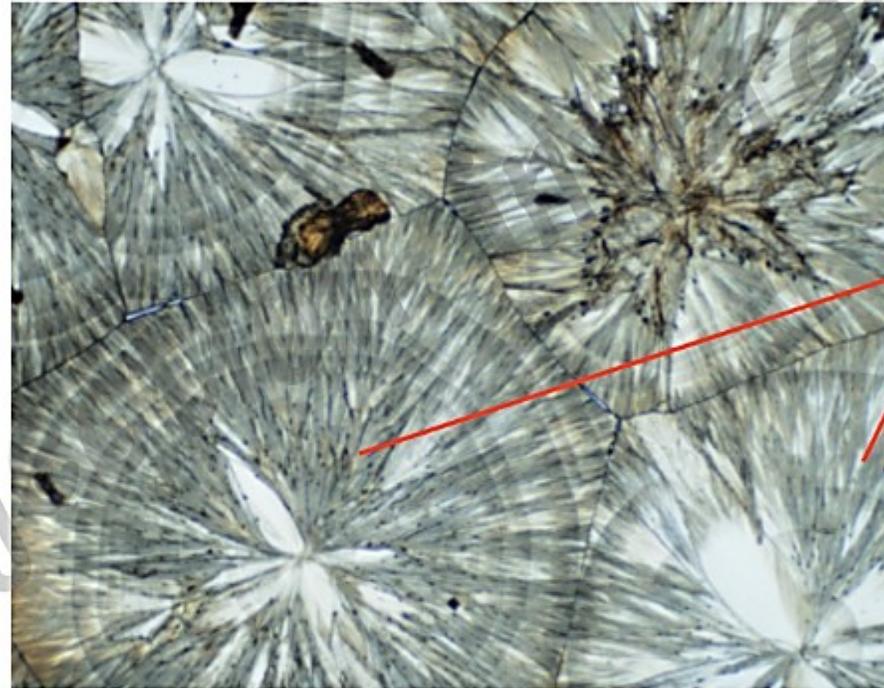
Protocole :

*Matériel – Lunettes, gants et masque de protection.*

- Déposer très peu de poudre de vanilline sur deux lames.
- En les tenant avec une pince en bois, faire fondre tour à tour chaque lame au-dessus d'un chauffage et les retirer dès la fusion (la vanilline devient liquide).
- Recouvrir chacune des lames d'une lamelle.
- Laisser refroidir une des lames à température ambiante sur la pailasse et l'autre lame sur de la glace.
- Attendre cinq minutes, puis observer les lames au microscope polarisant.



Vanilline liquide refroidie à température ambiante (microscope polarisant,  $\times 40$ ).



Gros cristaux

Vanilline liquide refroidie à basse température (microscope polarisant,  $\times 40$ ).

Faire cristalliser un liquide en fusion.

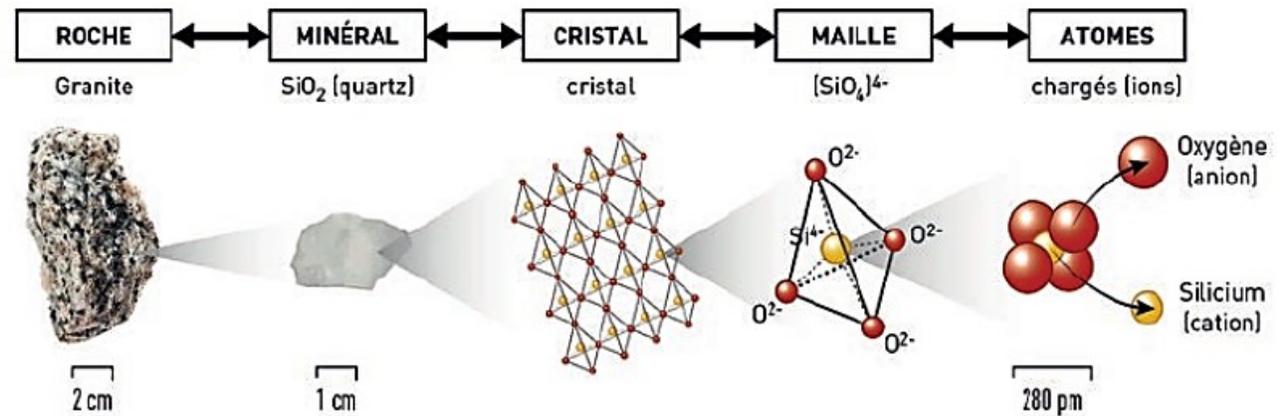
# BILAN

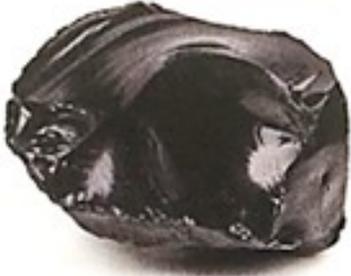
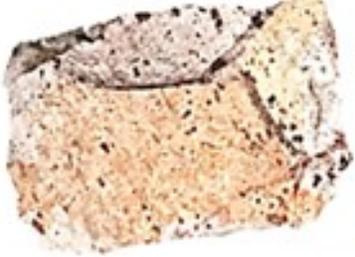
## Les roches, une association de minéraux et/ou de verre.

Une roche est un assemblage de minéraux et/ou de verre. Les minéraux sont constitués de cristaux qui sont arrangés selon une maille élémentaire dont la répétition dans l'espace dessine le réseau cristallin. Dans le cas des solides amorphes, l'empilement d'entités se fait sans ordre géométrique. C'est le cas du verre, dont la structure ressemble à celle d'un liquide qui aurait été « figé ».

Lorsqu'un cristal peut se développer sans « entraves », il prend naturellement une forme polyédrique.

Un composé de même formule chimique peut cristalliser, selon les conditions de pression et de température, en différents polymorphes possédant des propriétés macroscopiques différentes (exemple du carbonate de calcium).



|  | Observation<br>à l'œil nu   |
|--|---|
| Obsidienne<br>(structure<br>vitreuse)    |   |
| Rhyolite<br>(structure<br>microlithique) |   |
| Granite<br>(structure<br>grenue)         |  |

## Les roches : conditions de formation.

Selon les conditions de température et de pression, les roches d'une même nature vont avoir des structures différentes : plus le refroidissement est lent (ce qui est le cas quand la roche se trouve à plusieurs kilomètres de profondeur sous Terre), plus les cristaux, donc les minéraux, sont gros. Réciproquement, plus le refroidissement est rapide, plus ils sont petits, voire inexistant. Certaines roches volcaniques contiennent donc du verre, issu de la solidification très rapide d'une lave.

# Mots clés

---



**Structure grenue** : caractérise une roche entièrement cristallisée, dont tous les minéraux sont visibles à l'œil nu.



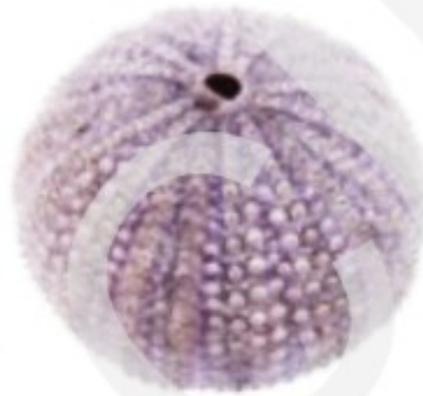
**Structure microlitique** : caractérise une roche qui ne montre pas ou peu de cristaux visibles à l'œil nu et dont l'examen microscopique révèle la présence d'une pâte vitreuse (verre non cristallisé) contenant de petits cristaux.

## N.B. : des cristaux dans les organismes biologiques.

Dans de nombreux cas, les cristaux font également partie intégrante de la structure des êtres vivants (squelettes, coquillages...).



- ◀ La nacre, un biominéral composé d'aragonite, qui lui confère des caractéristiques mécaniques et physicochimiques très différentes des autres biominéraux



- ◀ Un squelette d'oursin, majoritairement composé de calcite, lui donnant sa solidité

Aragonite et calcite sont deux formes cristallines du carbonate de calcium, un composé de formule chimique  $\text{CaCO}_3$ .



## Chapitre 3 – Une structure complexe : la cellule vivante

# Introduction

les scientifiques se sont succédé pendant des décennies pour mieux comprendre la structure et le fonctionnement de la cellule. Qu'ont-ils trouvé en explorant ce qui était invisible à l'œil nu ? Et par quelles techniques ?

# L'élaboration de la théorie cellulaire

ACTIVITÉ  
DOCUMENTAIRE,  
PAGES 56-57 (DEVOIR  
MAISON)

## 1 La découverte des cellules

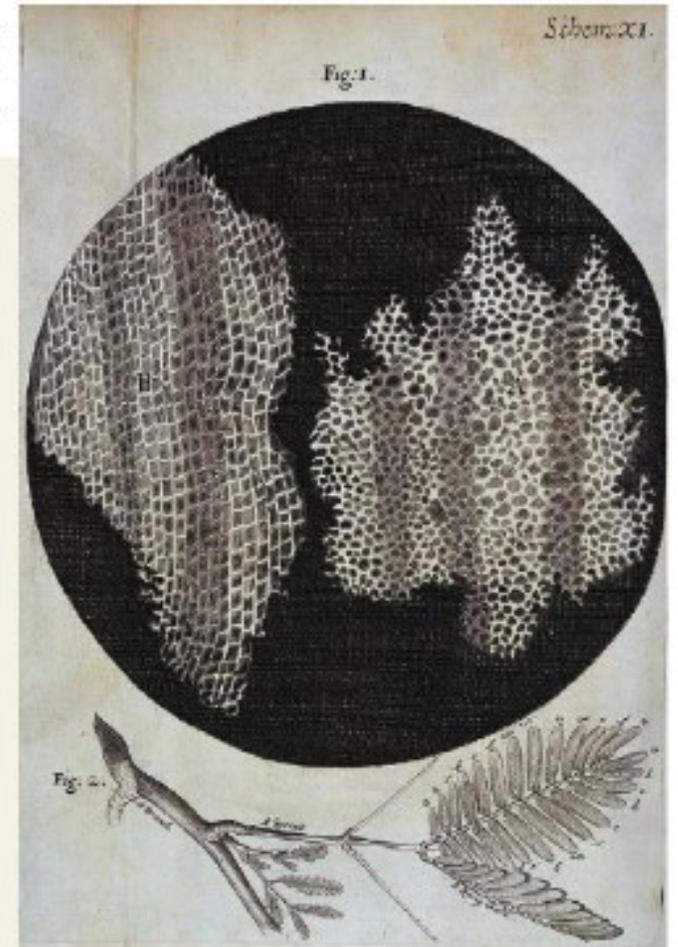
Robert Hooke (1635-1703) est un scientifique anglais pluridisciplinaire. Après avoir travaillé dans les domaines de la physique, la mécanique, l'astronomie et la géologie, il contribue à l'essor de l'optique en mettant au point l'un des tout premiers microscopes. Ce dernier, composé d'un assemblage de lentilles et d'une lampe qui éclaire l'objet observé, permet un grossissement jusqu'à  $\times 30$ .

Les nombreuses observations réalisées par Robert Hooke au microscope comptent parmi les premières du genre. En 1665, il publie *Micrographia*, un recueil de dessins de ses multiples observations microscopiques. Il y décrit notamment un morceau de liège sur lequel il distingue des espaces bien cloisonnés et délimités les uns des autres, qu'il compare aux cellules des moines dans un monastère. C'est ainsi qu'il nomme ces espaces *cella* (loges) ou « cellule ». Aujourd'hui, nous savons que sa description correspond aux espaces entourés de parois cellulaires\* des cellules mortes.

Dessin de « cellules » de liège, Hooke, 1665.  
Matériau léger et imperméable, le liège correspond à la couche externe de certains arbres.

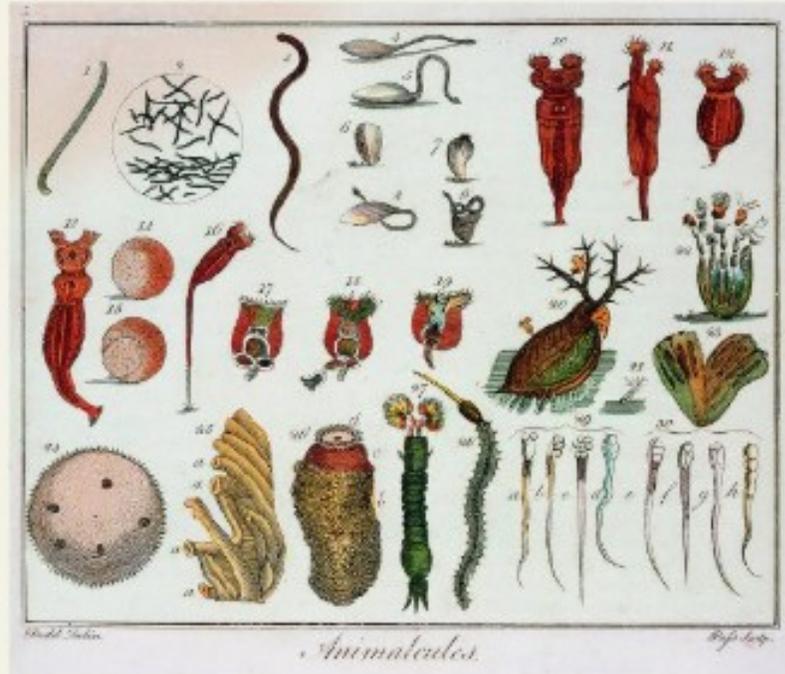


Le microscope de Robert Hooke.



## 2 L'observation de nombreux organismes unicellulaires

Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), drapier flamand, met au point un microscope pour examiner les fibres textiles et vérifier leur pureté. Il monte une petite lentille polie, de la taille d'une tête d'épingle, sur un support en laiton percé d'un trou laissant passer la lumière. Il réussit alors à atteindre un grossissement  $\times 300$ , une prouesse pour l'époque. Curieux, il se met à observer toutes sortes d'échantillons et, sans connaissances scientifiques, découvre le monde microscopique. En 1673, il examine une goutte d'eau provenant d'un étang et y observe des micro-organismes qu'il nomme « animalcules ». On sait aujourd'hui qu'il s'agissait en réalité de protozoaires\* et d'algues unicellulaires.



Antoni van Leeuwenhoek s'est attaché à observer de nombreux et variés organismes unicellulaires. Cependant, ne parlant que le néerlandais à une époque où le latin est la langue scientifique officielle, sa crédibilité et la diffusion de ses découvertes sont limitées. Ses observations sont d'abord accueillies avec scepticisme par la communauté scientifique, mais il reçoit le soutien de Robert Hooke qui fait une première description de micro-organismes dans *Micrographia*.

Des dessins d'observation de quelques « animalcules ».

### 3 Les végétaux tous constitués de cellules

Dès le début de sa carrière, Matthias Schleiden (1804-1881), botaniste allemand, a une prédilection pour le microscope optique et contribue à son introduction dans la recherche biologique. À son époque, le grossissement atteint  $\times 450$ .

Il observe les structures et tissus\* des organismes végétaux pluricellulaires\* et reconnaît des structures semblables à celles décrites par Robert Hooke plus de 150 ans auparavant. En 1838, il publie *Contributions à notre connaissance de la phytogenèse* et y conclut que toutes les parties d'un organisme végétal sont constituées de cellules.

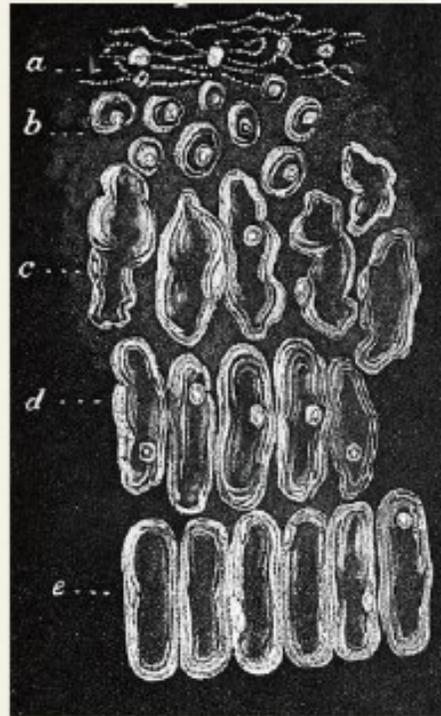


Illustration de Matthias Schleiden, détaillant ses observations microscopiques de cellules végétales en 1837.

### 4 Les animaux tous constitués de cellules

S'appuyant sur les nombreuses observations de ses collègues et prédécesseurs, Theodor Schwann (1810-1882), physiologiste allemand et collègue de Matthias Schleiden, observe une grande diversité de tissus animaux au microscope : branchies, ovaires d'oiseaux, dents, plumes, muscles, nerfs, etc. Dans tous, il constate la présence de cellules composées d'un espace délimité par une membrane et contenant un noyau.

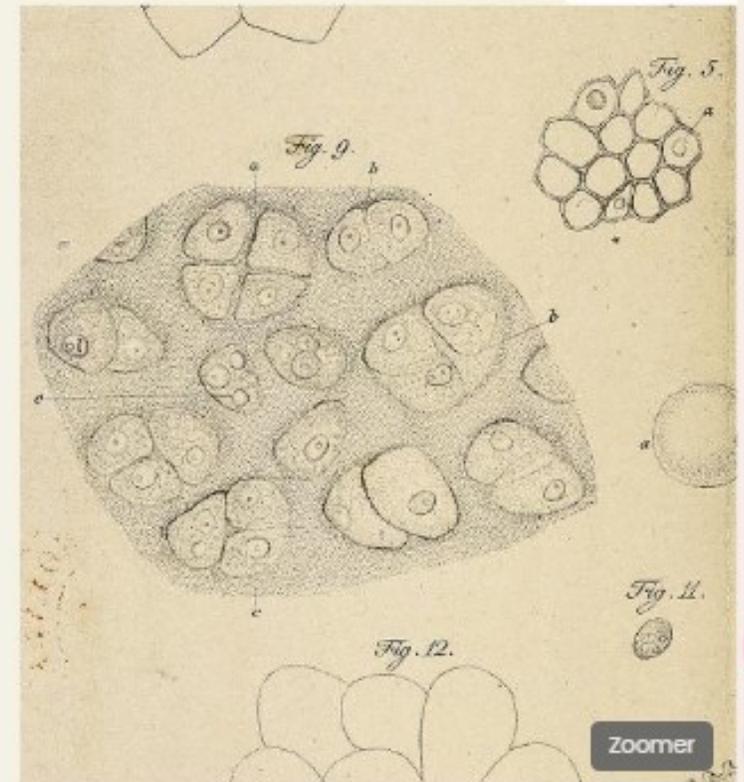


Illustration de cellules animales par Theodor Schwann.

## 5 La formulation de la théorie\* cellulaire

En 1839, Theodor Schwann publie un ouvrage où il reprend les résultats de Matthias Schleiden en botanique et les étend aux animaux en affirmant : «Les cellules sont des organismes, et les animaux comme les plantes sont des agrégats de ces organismes arrangés suivant des lois définies.»

En 1858, le médecin allemand Rudolf Virchow (1821-1902), grand défenseur de la théorie cellulaire, publie que toute cellule est formée par la division d'une autre cellule préexistante. Cette découverte permet de comprendre la formation d'un organisme pluricellulaire à partir d'une cellule unique et complète ainsi la théorie cellulaire.

Cette théorie est alors rapidement admise, et aujourd'hui reconnue comme l'un des concepts fondamentaux de la biologie.

Elle repose sur trois principes :

1. La cellule est la plus petite entité vivante.
2. Tous les êtres vivants sont constitués de cellules.
3. Toute cellule provient d'une autre cellule.

## 6 Le microscope optique actuel

Le microscope optique (ou photonique) est constitué d'un tube avec des lentilles en verre à chaque extrémité et d'une source lumineuse. Les lentilles dirigées vers l'objet forment l'objectif et donnent une image intermédiaire. Les lentilles dirigées vers l'œil forment l'oculaire qui fonctionne comme une loupe et grossit l'image précédente. Son perfectionnement a permis de valider la théorie cellulaire.

## QUESTIONS

- 1** Décrire le principe général d'un microscope optique et relever l'évolution de son grossissement au cours du temps.
- 2** Après avoir rappelé les principes de la théorie cellulaire, présenter les observations successives ayant permis de la construire en précisant les nouveaux résultats apportés par chaque scientifique.
- 3** Conclure en réalisant une frise chronologique présentant les différentes étapes et les scientifiques ayant permis la formulation de la théorie cellulaire.