

## AD- POURQUOI MESURER LA RADIOACTIVITÉ ?

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables, c'est-à-dire qu'ils restent indéfiniment identiques à eux-mêmes. Les autres sont instables car ils possèdent trop de protons ou de neutrons ou trop des deux. Pour revenir vers un état stable, ils sont obligés de se transformer. Ils expulsent alors de l'énergie – provenant de la modification du noyau – sous forme de rayonnements : c'est le phénomène de la radioactivité.

Les recherches sur la radioactivité ont contribué à la connaissance de la matière, permis de reconstituer l'histoire de l'Univers et de la Terre et procuré des marqueurs, outils et instruments irremplaçables en biologie, médecine et géologie.

Les propriétés de la radioactivité et les nombreuses applications qui en ont découlé sont de plus en plus présentes dans notre vie quotidienne : la production d'électricité, les diagnostics médicaux, l'astronomie...

Les éléments radioactifs sont également d'excellents chronomètres : la décroissance radioactive et la mesure de l'activité fournissent ainsi des « horloges » destinées à dater des événements plus ou moins anciens.



Pots à fard d'Égypte ancienne (Collection du Musée du Louvre, Paris). © LMC14/C. Moreau

Les esthètes de l'Égypte antique avaient bien recours à la chimie de synthèse pour fabriquer leur maquillage. À la base de ce résultat, la première datation au  $^{14}\text{C}$  sur du carbonate de plomb, dans des échantillons d'onguent, prélevés dans des pots à fard de l'ancien Égypte.

### Partie A : Décroissance radioactive et activité

La datation est principalement fondée sur la décroissance radioactive d'isotopes instables de certains éléments chimiques.

Le choix d'un isotope dépend de l'échantillon à analyser et de son âge présumé. En effet, la vitesse de désintégration, qui est indépendante de l'environnement, n'est pas la même pour la soixantaine d'isotopes radioactifs connus.

**Quelles caractéristiques permettent de choisir un élément radioactif comme marqueur de temps ?**

#### Document 1 : La décroissance radioactive : une loi fondamentale

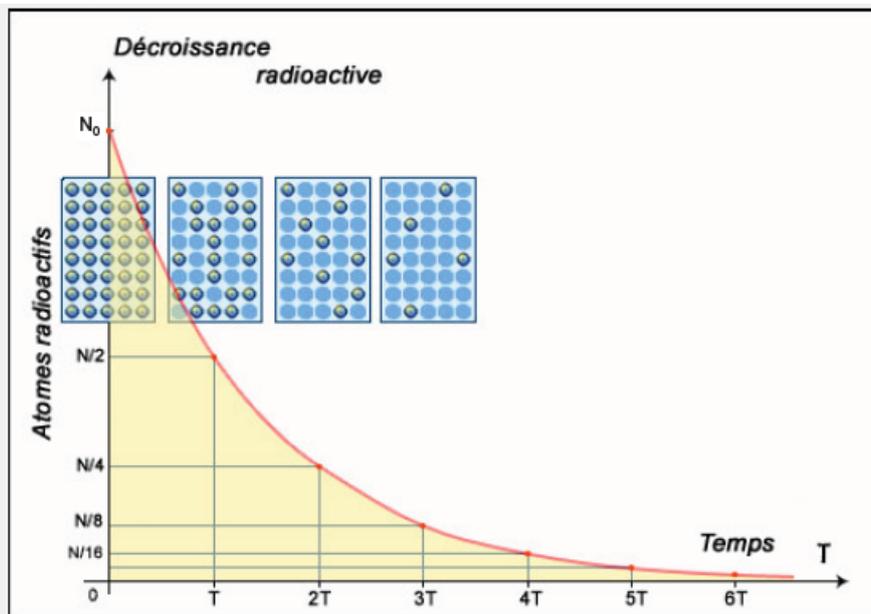


Figure 1 : Courbe de décroissance radioactive

La loi de décroissance radioactive est une loi fondamentale de la radioactivité. Quand un noyau émet une particule alpha ou un électron bêta, il se transforme : c'est ainsi que du radium devient du radon, du tritium de l'hélium ! De ce fait, le nombre d'atomes de l'espèce radioactive diminue inexorablement. La population des radioéléments décroît selon une loi appelée exponentielle. La période radioactive, qui mesure la rapidité de la décroissance, est une caractéristique du noyau. Elle peut varier de quelques secondes à plusieurs milliards d'années.

### Document 2 : Données et définition

Pour un échantillon d'éléments radioactifs on note  $N_0$  le nombre d'éléments présents à la date  $t = 0$  s. À l'instant  $t$ , le nombre d'éléments radioactifs encore présents est noté  $N(t)$ . Un élément radioactif donné est caractérisé par sa constante radioactive  $\lambda$ . Elle représente la probabilité de désintégrations par seconde de cet élément radioactif. Elle est indépendante du temps, c'est-à-dire de « l'âge » de l'échantillon.

1. Proposer à partir du Document 1 une définition de la demi-vie notée  $t_{1/2}$  d'une population d'éléments radioactifs.
2. Donner l'expression de l'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$  en fonction de la constante radioactive  $\lambda$ .
3. En déduire l'expression de la solution  $N(t)$  puis l'exprimer en fonction de  $N_0$  et de  $\lambda$ .
4. Justifier l'allure de la courbe de la désintégration radioactive d'un élément radioactif.
5. Établir l'expression de la constante radioactive  $\lambda$  d'un élément radioactif en fonction de sa demi-vie  $t_{1/2}$  en précisant son unité.

### Document 3 : Activité d'un échantillon d'éléments radioactifs

L'activité d'un échantillon d'éléments radioactifs représente le nombre de désintégrations par seconde. Elle se note  $A$  et s'exprime en becquerels (Bq).

On mesure l'activité initiale de 1,0 g de différents éléments radioactifs :

Uranium-238 :  $A_{0,238U} = 1,23 \times 10^4$  Bq ; Uranium-235 :  $A_{0,235U} = 7,91 \times 10^4$  Bq ;

Césium-137 :  $A_{0,137Cs} = 3,21 \times 10^{12}$  Bq ; Iode-131 :  $A_{0,131I} = 4,61 \times 10^{15}$  Bq ;

Fluor-18 :  $A_{0,18F} = 3,51 \times 10^{18}$  Bq

6. Exprimer l'activité  $A(t)$  d'un échantillon en fonction du nombre d'éléments radioactifs  $N(t)$  de l'échantillon.
7. Établir, en justifiant, l'expression temporelle de l'évolution de l'activité  $A(t)$  d'un échantillon d'éléments radioactifs en fonction de la constante radioactive  $\lambda$  et de l'activité initiale  $A_0$ .
8. Exprimer l'activité initiale  $A_0$  d'un échantillon de masse  $m$  d'éléments radioactifs en fonction de la constante radioactive  $\lambda$ , du nombre de masse  $A$  de l'élément radioactif, de la masse  $m$  et du nombre d'Avogadro  $N_A$ .
9. Calculer les valeurs des demi-vies des éléments radioactifs évoqués dans le Document 3 en utilisant une unité de temps adaptée.

## Partie B : La datation à l'aide de noyaux radioactifs

### Document 4 : Carbone 14 : maître du temps

Certains éléments radioactifs naturels sont de véritables chronomètres pour remonter le temps. En se basant sur la loi de décroissance radioactive de l'élément carbone 14, les chercheurs ont mis au point des méthodes de datation. Ils peuvent ainsi remonter sur une période de 300 à 50 000 ans.

Voir vidéo : "La datation par le carbone 14" du site CEA

<https://www.cea.fr/comprendre/jeunes/Pages/s-informer-reviser/radioactivite/essentiel-sur-la-datation-au-carbone-14.aspx>

1. Justifier pourquoi la datation au carbone 14 ne peut être réalisée que sur des objets « morts » puis décrire en quelques lignes le principe de la datation au carbone 14.

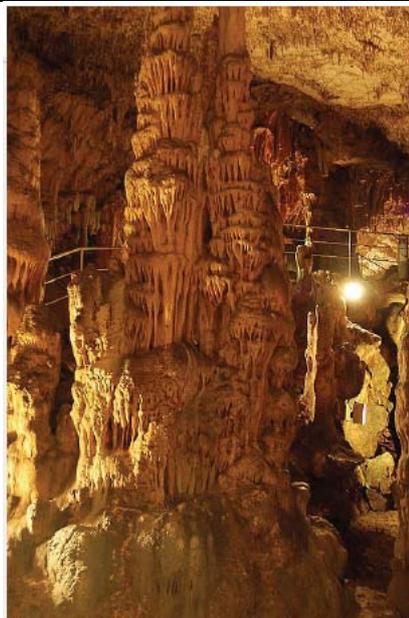
2. Relever après avoir visionné la vidéo du Document 4 la valeur de la demi-vie  $t_{1/2}$  du carbone 14.
3. Exprimer l'activité d'un échantillon au bout d'une durée  $\Delta t = n \times t_{1/2}$  ( $n$  entier) notée  $A(nt_{1/2})$  en fonction de l'activité initiale  $A_0$  et de  $t_{1/2}$ .
4. Calculer au bout de combien de fois la demi-vie d'un échantillon est considérée inactive sachant que dans ce cas son activité vaut 1 millième de l'activité initiale.
5. Justifier alors la phrase en gras du Document 5.

### Document 5 : Autres éléments pour dater

Le carbone 14 n'est pas le seul isotope radioactif utilisé pour dater et étudier l'évolution du climat et de l'environnement.

Pour dater les spéléothèmes, appelés plus couramment concrétions, les scientifiques se basent sur la datation  $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$  qui repose sur la différence de solubilité entre l'uranium soluble et le thorium très peu soluble dans les eaux naturelles. En théorie, au moment de sa précipitation, la calcite (ou l'aragonite) formant les spéléothèmes ne contient pas de  $^{230}\text{Th}$ . Celle-ci s'accumule au cours du temps par désintégration de  $^{234}\text{U}$ . L'inverse du rapport de ces deux éléments est donc proportionnel à l'âge de la concrétion.

La mesure des isotopes du plomb 210 leur sert à dater des sédiments récents (220 ans).



Colonne d'accrétion stalagmitique dans la grotte Biserujka, île de Krk, Croatie. © Wolfgang Glock/Wikipédia

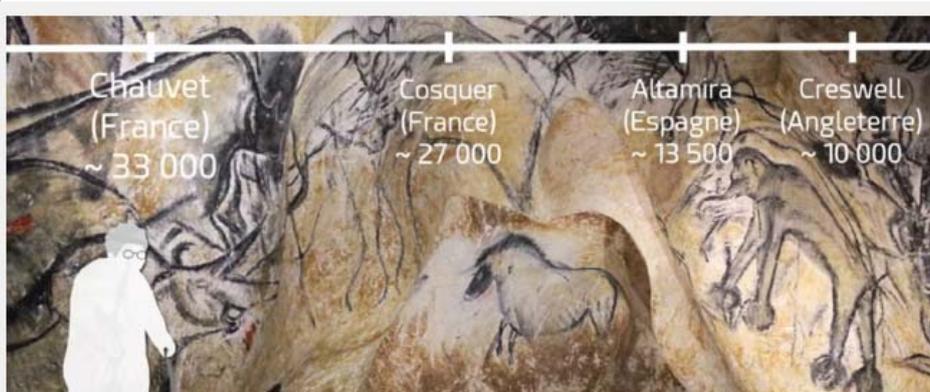
Donnée :  $t_{1/2, ^{234}\text{U}} = 245\,500$  années

6. Écrire la réaction de désintégration de l'uranium  $^{234}\text{U}$  en thorium  $^{230}\text{Th}$ . On donne  $Z(\text{U}) = 92$ .
7. Déterminer l'âge maximal pouvant être daté par l'uranium  $^{234}\text{U}$ .
8. Déterminer la demi-vie du plomb 210.

### Document 6 : La grotte Chauvet : une vieille dame

Les objets, les peintures, les ossements... retrouvés dans les grottes permettent de déterminer leur âge. Aujourd'hui, la grotte Chauvet en Ardèche est la plus ancienne grotte ornementale découverte.

On a mesuré pour un échantillon de 40 g de charbon de bois retrouvé près d'un foyer de feu une activité  $A$  de  $2,1 \times 10^{-1}$  Bq.



### Document 7 : Programme python « décroissance radioactive du Carbone-14 »

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 plt.grid(True)
4 t=np.linspace(0,50000,100000)
5 r = .....
6 plt.plot(t,r)
7 plt.ylim([0,0.000000000001])
8
9 # Légende des axes et du graphique
10 plt.title('Titre:x')
11 plt.xlabel('Nom de la variable x (unité)')
12 plt.ylabel('Nom de la variable y')
13
14 plt.show()
```

Données : Pourcentage des isotopes du carbone dans un échantillon :

P(12C) = 98,93 % ; P(13C) = 1,07 % ; P(14C) =  $1,0 \times 10^{-12}$  %.

9. Montrer que le rapport  $r(t)$  défini par  $r = \frac{N_{14}(t)}{N_{12}}$  est égal à  $1,0 \times 10^{-12} \times e^{-\frac{0,693 \cdot t}{5730}}$
10. Compléter les lignes 5, 10, 11 et 12 du programme Python afin de tracer la courbe  $r(t) = f(t)$ .
11. Exécuter le programme puis imprimer la courbe.
12. Calculer le nombre d'élément 14C, noté  $N_{14}$ , au moment de la mesure de l'activité de l'échantillon.
13. Calculer le nombre d'élément 12C, noté  $N_{12}$  dans l'échantillon.
14. En déduire graphiquement l'âge de l'échantillon puis le vérifier par le calcul.
15. Comparer à l'âge estimé de la grotte Chauvet.