

Chapitre 1

***Un niveau
d'organisation :
les éléments
chimiques***

Cours

1 Abondance et origine des éléments chimiques dans l'Univers

A Élément chimique

Un élément chimique est caractérisé par son nombre de protons, Z , appelé aussi numéro atomique.

Rappel: symbole d'un noyau

Le symbole d'un noyau s'écrit A_ZX , avec X le symbole du noyau, A , le nombre de masse, qui correspond au nombre de nucléons (protons + neutrons) et Z le numéro atomique qui correspond au nombre de protons.

B Origine des éléments chimiques dans l'Univers

Les **noyaux des atomes** de la centaine d'éléments chimiques stables résultent de réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles à partir de l'hydrogène initial.

Rappel: noyaux stables et instables

L'interaction forte assure la cohésion des noyaux. Celle-ci est liée au nombre de protons et de neutrons qui constituent le noyau. Quand la cohésion du noyau n'est plus assurée (quand il n'y a pas autant de protons que de neutrons), il est dit instable.

Les petites étoiles (comme par exemple le Soleil), produisent de l'hélium à partir de l'hydrogène. Les étoiles massives (appelées les géantes rouges) produisent de nombreux éléments comme le carbone, l'azote, l'oxygène et le fer à partir de l'hélium.

Il existe deux types de réactions nucléaires stellaires : la fusion ou la fission.

- **La fusion** : à partir de deux noyaux légers et instables, on forme un noyau plus lourd (son nombre de nucléons est plus grand que celui de chaque noyau léger).

Exemple

Fusion d'un noyau d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$, avec un noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$ (isotope de l'hydrogène) :

$${}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}.$$

Rappel: noyaux isotopes

Deux noyaux sont dits isotopes s'ils possèdent le même nombre de protons (même numéro atomique Z), mais un nombre de neutrons différent (donc un nombre de masse A différent, puisque le nombre de neutrons $N = A - Z$).

- **La fission** : à partir d'un noyau lourd et instable, on forme deux noyaux plus légers (ils possèdent chacun un nombre de nucléons plus petit que le noyau lourd).

À la fin de leur vie, les étoiles se désagrègent et renvoient leur matière dans l'espace. Les étoiles petites comme le Soleil dispersent les éléments produits grâce aux vents stellaires.

C Abondance des éléments chimiques dans l'Univers

La matière connue de l'Univers est formée principalement d'hydrogène et d'hélium, alors que la Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium, de magnésium et les êtres vivants de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

2 Radioactivité et demi-vie

Certains noyaux sont instables et se désintègrent naturellement en émettant une particule (radioactivité).

On ne peut pas prévoir quand un noyau instable va se désintégrer, on dit que l'instant de désintégration d'un noyau radioactif individuel est **aléatoire**.

La **demi-vie** d'un noyau radioactif, notée $t_{1/2}$, est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée.

Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif.

Par exemple le carbone 14 (un isotope du carbone 12) possède une demi-vie $t_{1/2} = 5,7 \cdot 10^3$ ans, alors que l'iode 131 a une demi-vie $t_{1/2} = 8,02$ jours.

Si à $t = 0$ un échantillon possède 20 noyaux d'iode 131, alors au bout de 8,02 jours, il ne restera que 10 noyaux d'iode 131 et au bout de 16,04 jours il en restera 5 (et ainsi de suite).

Généralisation :

Si on note N_0 le nombre initial de noyaux instables (radioactifs) d'un échantillon et N le nombre de noyaux restants à l'instant t , après n demi-vies, l'échantillon contient

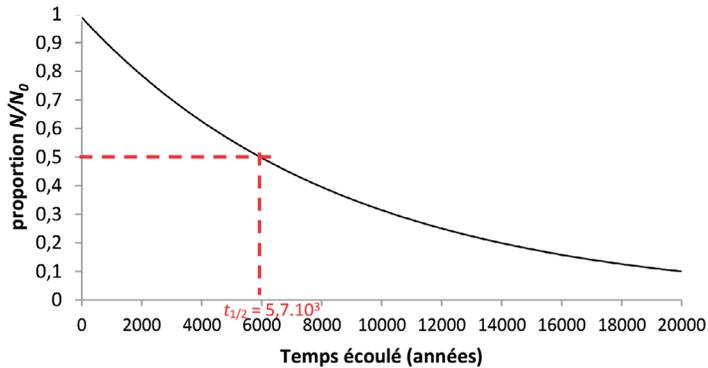
$\frac{N_0}{2^n}$ noyaux radioactifs.

Point méthode : déterminer une demi-vie à l'aide d'une courbe de désintégration

Si on dispose d'une courbe donnant la proportion de noyaux radioactifs N restants dans l'échantillon, par rapport au nombre de noyaux radioactifs présents à l'état initial N_0 , en fonction du temps écoulé, on peut déterminer graphiquement la demi-vie.

On place pour cela en ordonnée le point 0,5 (ou 50 %) et on lit l'abscisse correspondante.

Courbe de désintégration du carbone 14



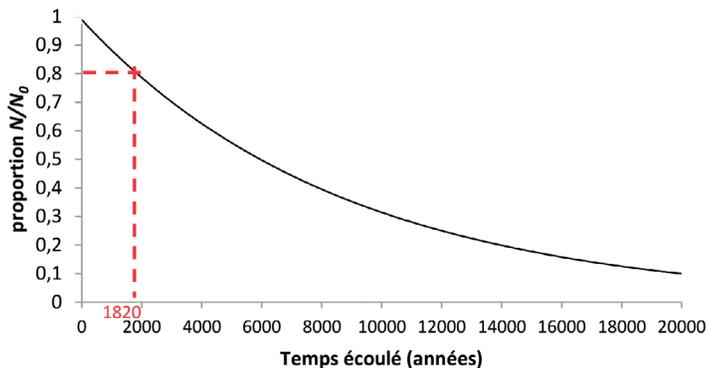
Point méthode: estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants

Si on dispose d'une courbe donnant la proportion de noyaux radioactifs N restants dans l'échantillon, par rapport au nombre de noyaux radioactifs présents à l'état initial N_0 , en fonction du temps écoulé, on peut estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants.

On place pour cela en ordonnée la proportion de noyaux restants. La durée correspondante est donnée par l'abscisse.

Par exemple il reste 80 % de noyaux radioactifs dans l'échantillon au bout de 1 820 années :

Courbe de désintégration du carbone 14

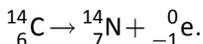


La décroissance radioactive peut être utilisée pour des **datations au carbone 14** :

Tout au long de sa vie, un organisme va contenir du carbone 14 (isotope radioactif du carbone 12) qui se forme naturellement dans l'atmosphère.

On considère qu'il existe environ un atome de carbone 14 pour 10^{12} atomes de carbone 12.

Après la mort de l'organisme vivant considéré, la quantité de carbone 14 va décroître progressivement puisque celui-ci se transforme en azote 14 (par désintégration β^-) :

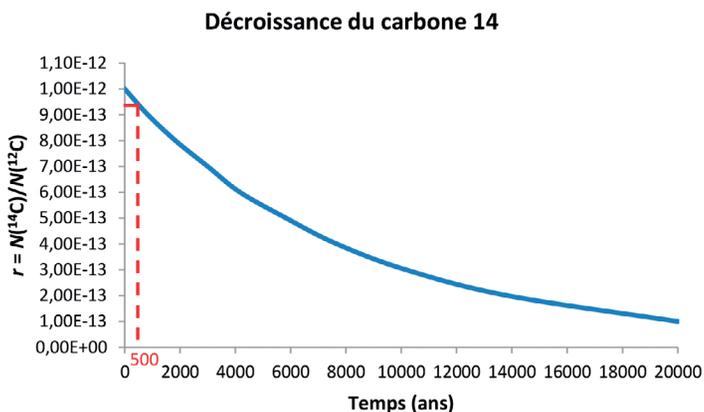


Pour les organismes vivants ce processus ne peut être mesuré qu'à partir de leur mort car il n'y a plus de renouvellement du carbone 14.

En 5 730 ans (demi-vie du carbone 14), la moitié des noyaux de carbone 14 aura disparu et plus on avance dans le temps, plus la quantité de carbone 14 dans l'échantillon diminue.

Cette méthode permet de dater des objets jusqu'à 35 000 ans (Paléolithique supérieur).

Par exemple si on possède un échantillon de bois trouvé dans le sarcophage d'une momie et que l'on veut le dater, on mesure le rapport r entre le nombre de noyaux de carbone 14 (noté $N(^{14}\text{C})$) et le nombre de noyaux de carbone 12 (noté $N(^{12}\text{C})$). On se sert ensuite de la courbe suivante pour déterminer l'âge de l'échantillon :



Si le rapport $r = \frac{N(^{14}\text{C})}{N(^{12}\text{C})} = 0,94 \cdot 10^{-12}$ pour un échantillon de bois trouvé à côté d'une momie Inca, on en déduit que cet échantillon de bois est vieux de 500 ans.

Exercices

Savoirs

Les noyaux des atomes de la centaine d'éléments chimiques stables résultent de réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles à partir de l'hydrogène initial. La matière connue de l'Univers est formée principalement d'hydrogène et d'hélium alors que la Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium, de magnésium et les êtres vivants de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

Exercice 1.1

Restituer des connaissances

Répondre par vrai ou par faux et corriger les éventuelles erreurs.

1. Les étoiles sont majoritairement constituées d'hélium.
2. Un élément chimique stable possède plus de protons que de neutrons.
3. Il existe une centaine d'éléments stables qui résultent de transformations physiques au sein des étoiles.
4. La matière connue de l'Univers est surtout constituée d'hydrogène et d'hélium.
5. Les êtres vivants sont constitués d'oxygène, d'hydrogène, de silicium et de magnésium.
6. La Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de silicium et de magnésium.
7. Les éléments chimiques sont majoritairement formés dans les étoiles par des réactions de fission nucléaire.
8. Dans les étoiles, l'élément à partir duquel sont formés tous les autres éléments stables est l'hydrogène.

Exercice 1.2

Restituer des connaissances

1. Expliquer comment sont formés au sein des étoiles les noyaux des atomes de la centaine d'éléments chimiques stables.
2. De quels éléments chimiques est principalement formée la matière de l'Univers ?
3. De quels éléments chimiques est surtout constituée la Terre ?
4. De quels éléments chimiques sont surtout constitués les êtres vivants ?
5. Comment sont dispersés les éléments chimiques dans l'Univers ?

Savoirs

Certains noyaux sont instables et se désintègrent (radioactivité). L'instant de désintégration d'un noyau radioactif individuel est aléatoire. La demi-vie d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée. Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif.

Exercice 1.3

Restituer des connaissances

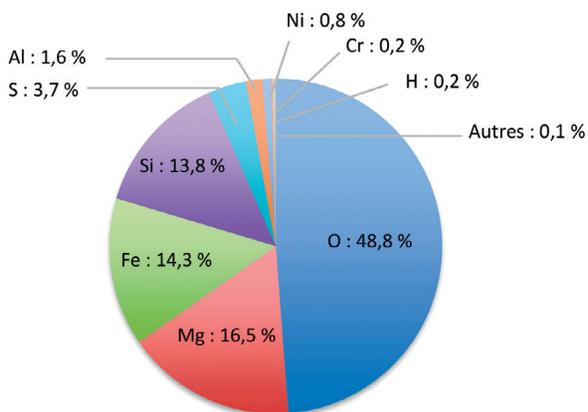
1. Qu'est-ce que la demi-vie d'un noyau radioactif ?
2. Peut-on prévoir le moment où un atome va se désintégrer ?
3. Pourquoi certains noyaux se désintègrent spontanément ?
4. Pourquoi dit-on que la demi-vie est caractéristique du noyau radioactif ?
5. Si un échantillon contient N_0 noyaux radioactifs à l'instant t_0 , combien de noyaux radioactifs reste-t-il au bout de $t_{1/2}$? $2 t_{1/2}$? $10 t_{1/2}$? Au bout de n demi-vies ?

Compétence attendue

- Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques (proportions) dans l'Univers, la Terre, les êtres vivants.

Exercice 1.4Organiser et effectuer des calculs
Exploiter des documents

Le diagramme circulaire ci-après donne l'abondance des éléments dans le globe terrestre :



1. Quels sont les éléments les plus abondants sur Terre ?
2. À partir du diagramme circulaire, construire un tableau donnant pour chaque élément présent dans le globe terrestre, son abondance (pourcentage).
3. Construire un diagramme bâton représentant l'abondance de chaque élément présent dans le globe terrestre.

Exercice 1.5

Organiser et effectuer des calculs
Exploiter des documents

Un diagramme circulaire est un disque partagé en secteurs circulaires. L'angle de chaque secteur est proportionnel au pourcentage qu'il représente.

Sachant que l'Univers est constitué de 90 % d'hydrogène, 9 % d'hélium et 1 % d'autres éléments, construire un diagramme circulaire donnant l'abondance des éléments chimiques dans l'Univers.

Exercice 1.6

Organiser et effectuer des calculs
Exploiter des documents

Un diagramme circulaire est un disque partagé en secteurs circulaires. L'angle de chaque secteur est proportionnel au pourcentage qu'il représente.

Éléments présents dans le corps humain	Pourcentage
H	61,00
O	24,10
C	12,80
N	1,40
P	0,25
Ca	0,24
Autres éléments	0,21

1. Construire un diagramme circulaire donnant l'abondance des éléments chimiques dans le corps humain.
2. Quels sont les éléments les plus abondants dans le corps humain ?