



EXERCICE

Dans le cycle du carbone, l'élément carbone est présent sous forme de :

- Deux isotopes stables : le carbone 12 (majoritaire), le carbone 13 (minoritaire)
- Un isotope instable : le carbone 14 (très minoritaire)

Le temps de demi-vie du carbone 14 est de l'ordre de 5570 ans. Il est continuellement produit dans la haute atmosphère grâce à des réactions nucléaires entre les noyaux des atomes d'azote 14 de l'air et des neutrons d'origine cosmique. Ces réactions maintiennent une teneur constante en carbone 14 dans l'atmosphère.

Le carbone 14 formé réagit rapidement avec le dioxygène de l'air pour former du dioxyde de carbone, CO_2 .

Tous les organismes vivants échangent du dioxyde de carbone avec l'atmosphère par la respiration et l'alimentation. Ils fixent le carbone 14 dans leurs tissus jusqu'à leur mort, à une teneur égale à celle de l'atmosphère. Après la mort, l'absorption et le rejet de dioxyde de carbone s'arrêtent.

Données : Carbone 12 : ${}^{12}_6\text{C}$ Carbone 13 : ${}^{13}_6\text{C}$ Azote 14 : ${}^{14}_7\text{N}$

I. Etude du noyau.

1.1. Le symbole d'un noyau se note ${}^A_Z\text{X}$. Donner le nom des grandeurs représentées par les lettres A et Z ainsi que leur signification.

1.2. Ecrire le symbole de l'atome du carbone 14.

1.3. Donner la composition du noyau de l'atome de carbone 14.

1.4. En vous aidant du texte, définir le terme isotope.

1.5. Le noyau de carbone 14 est radioactif. Définir ce terme.

II. Les réactions nucléaires.

2.1. Le bombardement des noyaux d'atomes d'azote par les neutrons aboutit à la réaction nucléaire dont

l'équation est la suivante : ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^A_Z\text{Y}_1 + {}^1_1\text{H}$ (1)

2.1.1. Enoncer les deux lois de conservation qui ont permis d'écrire l'équation (1).

2.1.2. L'application des lois de conservation précédentes permet de déterminer la nature du noyau ${}^A_Z\text{Y}_1$. Quel élément est associé à Y_1 ?

2.2. La désintégration de carbone 14 conduit à l'émission d'un électron de symbole ${}^0_{-1}\text{e}$ et d'un noyau ${}^A_Z\text{Y}_2$.

2.2.1. Ecrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante.

2.2.2. La radioactivité d'une réaction nucléaire peut être du type α , β^+ ou β^- . Quelle est celle qui correspond à la désintégration du noyau de carbone 14 ?

2.2.3. Donner le nom de l'élément Y_2 (de symbole ${}^A_Z\text{Y}_2$).

III. Loi de décroissance radioactive.

3.1. Dans le texte on utilise l'expression : " temps de demi-vie du carbone 14 ". Donner la définition du terme temps de demi-vie (noté $t_{1/2}$).

3.2. La loi de décroissance radioactive en fonction du temps est du type : $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$

3.2.1. Que représentent les grandeurs physiques $N(t)$, N_0 et λ ?

3.2.2. Sachant que $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$, déterminer l'unité de λ par une analyse dimensionnelle. Calculer λ .

IV. Datation au carbone 14.

En 1983 fut découverte l'épave d'un drakkar dans la vase du port de Roskilde (à l'ouest de Copenhague).

Pour valider l'hypothèse indiquant que ce navire est d'origine viking, une datation au carbone 14 est réalisée sur un échantillon de bois prélevé sur sa coque.

L'activité A mesurée pour cet échantillon est de 12,0 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Or l'activité pour 1 gramme de carbone participant au cycle du dioxyde de carbone de l'atmosphère est égale à $A_0 = 13,6$ désintégrations par minute.

4.1. Justifier la variation d'activité d'un échantillon de bois au cours du temps.

4.2. Sachant que la loi de décroissance de l'activité en fonction du temps s'écrit : $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$

4.2.1. Exprimer le temps t en fonction des autres grandeurs $A(t)$, A_0 et λ . Calculer t.

4.2.2. Le temps t correspond au temps écoulé entre la date de fabrication du bateau et la date de découverte de l'épave. Déterminer l'année de construction du bateau ?

4.2.3. La période Viking s'étend du VIIIème siècle au XIème siècle (entre 700 et 1000 ans). L'hypothèse faite précédemment est-elle vérifiée ?

CORRECTION

I. Etude du noyau

1.1. A : nombre de masse (nombre de nucléons du noyau).

Z : numéro atomique ou nombre de charges (nombre de protons du noyau).

1.2. ${}^{14}_6\text{C}$

1.3. Ce noyau est composé de 6 protons ($Z = 6$) et de 8 neutrons ($A - Z = 14 - 6 = 8$).

1.4. Deux isotopes ont le même nombre de charge (même nombre de protons dans le noyau) mais pas le même nombre de masse (pas le même nombre de neutrons).

1.5. Le noyau du carbone 14 se transforme spontanément au cours du temps en émettant une particule et un rayonnement.

II. Les réactions nucléaires

2.1.1. Lois de Soddy :

- Conservation du nombre de charge : la charge électrique se conserve au cours d'une transformation nucléaire.

- Conservation du nombre de masse : le nombre de nucléons se conserve au cours d'une transformation nucléaire.

2.1.2. Conservation du nombre de protons : $7 = Z + 1$ soit $Z = 6$

Conservation du nombre de nucléons : $14 + 1 = A + 1$ soit $A = 14$

$Z = 6$: il s'agit de l'élément carbone.

2.2.1. ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$

2.2.2. C'est une radioactivité de type β^- puisqu'il y a émission d'un électron.

2.2.3. $Z = 7$: il s'agit de l'élément azote.

III. La loi de décroissance radioactive

3.1. Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié de la quantité initiale de noyaux radioactifs contenus dans un échantillon s'est désintégrée.

3.2.1. $N(t)$: nombre de noyaux radioactifs présents à la date t dans l'échantillon.

N_0 : nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date $t = 0$.

λ : constante radioactive du carbone 14.

3.2.2. $\ln 2$ étant un nombre sans dimension, la constante radioactive est l'inverse d'un temps. Comme $t_{1/2}$ s'exprime en année, λ s'exprimera en année⁻¹.

3.2.3. $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ soit $\lambda = \frac{\ln 2}{5570} = 1,244 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$ ou $3,9 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$

IV. Datation au carbone 14

4.1. Contrairement à un végétal vivant, le bois mort ne renouvelle plus son carbone 14, donc son activité diminue au cours du temps. Elle est plus faible que celle d'un bois vivant.

4.2.1. $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$$e^{-\lambda t} = \frac{A(t)}{A_0}$$

$$-\lambda \cdot t = \ln \frac{A(t)}{A_0} \qquad \ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$$

$$-\lambda \cdot t = \ln A(t) - \ln A_0$$

$$\lambda \cdot t = \ln A_0 - \ln A(t) \qquad \ln b - \ln a = \ln \frac{b}{a}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{A_0}{A(t)} \quad \text{A.N } t = \frac{1}{1,244 \times 10^{-4}} \times \ln \frac{13,6}{12,0} = 1,01 \times 10^3 \text{ an}$$

4.2.2. L'année de construction du bateau est 973 ($1983 - 1010 = 973$).

4.2.3. L'hypothèse précédente est bien vérifiée. L'année 973 entre bien dans l'intervalle : [700 ; 1000] années.