EXERCICE I . LA RADIOACTIVITÉ AU SERVICE DE L'ARCHÉOLOGIE (5,5 POINTS)
National 2006

Isotope radioactif du carbone, le « carbone 14 » noté ^{14}C est formé continuellement dans la haute atmosphère. Il est très réactif et donne rapidement du « gaz carbonique » (dioxyde de carbone) qui, en quelques mois, se mélange avec l'ensemble du gaz carbonique de notre atmosphère. Il sera donc assimilé par les plantes au même titre que le gaz carbonique produit avec du carbone stable (les isotopes ^{12}C et ^{13}C). On le retrouvera donc comme constituant de la matière organique des animaux herbivores et carnivores. [...]
Vers 1950, le chimiste américain W Libby a démontré [...] que tous les êtres vivants sont caractérisés par le même rapport du nombre de noyaux de ^{14}C au nombre de noyaux de ^{12}C : $\frac{N(^{14}C)}{N(^{12}C)}$. En conséquence, un gramme de carbone pur extrait d'un être vivant présente une activité due au ^{14}C , voisine de 13,6 désintégrations par minute, ce qui correspond à «un âge zéro ». Dans un animal ou un végétal mort (tronc d'arbre, coquille fossile, os... trouvé dans une caverne), le ^{14}C « assimilé » par l'animal ou la plante quand il était vivant, décroît exponentiellement en fonction du temps du fait de sa radioactivité à partir de l'instant de sa mort. La comparaison de cette activité résiduelle aux 13,6 désintégrations par minute fournit directement l'âge de l'échantillon fossile [...]. Au bout de 40 millénaires, il reste moins de 1% du ^{14}C que contenait initialement un échantillon fossile ; cette teneur résiduelle devient trop faible pour être déterminée avec précision.*

J.C Duplessy et C. Laj
D'après une publication du CEA
Clefs CEA n°14 automne 1989

** On suppose que la valeur 13,6 désintégrations par minute, pour un organisme vivant, est restée constante au cours des derniers millénaires.*

1. Désintégration du *« carbone 14 »*
On donne les numéros atomiques suivants: Z = 6 *pour le carbone (C) et* Z = 7 *pour l'azote (N).*

1 .1 . Pourquoi les noyaux de symboles $^{12}_{6}C$ et $^{13}_{6}C$ sont-ils appelés isotopes ?

1.2. Donner la composition du noyau de symbole $^{14}_{6}C$.

1.3. *Le* « *carbone* 14» *se désintègre «en azote* 14 ».
Écrire l'équation de désintégration du « carbone 14 » en supposant que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité. S'agit-il d'une radioactivité α, β^+ ou β^- ?

2. Propriétés des désintégrations radioactives
2.1. Donner les caractéristiques des transformations radioactives en complétant les phrases du cadre fourni en **ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE** à l'aide des mots ou expressions proposés.

2.2. *On propose trois expressions mathématiques pour représenter l'évolution du nombre N de noyaux de « carbone 14» restant dans l'échantillon à la date t, λ étant la constante radioactive relative à la désintégration étudiée ($\lambda > 0$) :*
(a) $N = N_0 . e^{-\lambda t}$ *(b)* $N = N_0 - \lambda t$ *(c)* $N = N_0 . e^{\lambda t}$

2.2.1. Dans chacune des trois expressions ci-dessus :
- Que vaut N à t = 0 ?
- Quelle est la limite de N quand *t* tend vers l'infini ?
En déduire l'expression à retenir parmi les propositions (a), (b) et (c), en justifiant.

2.2.2. *L'activité* $A = -\frac{dN}{dt}$ *à l'instant de date t est donnée par la relation* $A = A_0 e^{-\lambda t}$.
Que représente A_0 ?
2.2.3. En s'aidant du texte, donner pour un échantillon de 1,0 g de carbone pur, extrait d'un être vivant, la valeur de A_0.
2.2.4. À quel événement correspond « l'âge zéro » cité dans le texte ?

3. Datation au « carbone 14 »

Le temps de demi-vie de l'isotope $^{14}_{6}C$ *est* $t_{1/2} = 5{,}73 \times 10^{3}$ *ans.*

3.1. Qu'appelle-t-on temps de demi-vie $t_{l/2}$ d'un échantillon radioactif ?
3.2. Montrer que $\lambda . t_{1/2} = ln2$ à partir des réponses données aux questions 2.2.1. et 3.1.
3.3. Calculer la valeur de λ dans le cas du « carbone 14 », en gardant $t_{1/2}$ en années.
3.4. *Plusieurs articles scientifiques parus en 2004 relatent les informations apportées par la découverte d'Ötzi, un homme naturellement momifié par la glace et découvert, par des randonneurs, en septembre 1991 dans les Alpes italiennes.*
Pour dater le corps momifié, on a mesuré l'activité d'un échantillon de la momie. On a trouvé une activité égale à 7,16 désintégrations par minute pour une masse équivalente à 1,0 g de carbone pur.
Donner l'expression littérale de la durée écoulée entre la mort d'Ötzi et la mesure de l'activité de l'échantillon.
Calculer cette durée.
3.5. *À Obock (en République de Djibouti), des chercheurs ont étudié un corail vieux de* $1{,}2 \times 10^{5}$ *ans (soit cent vingt mille ans).*
D'après le texte, ce corail a-t-il pu être daté par la méthode utilisant le « carbone 14 » ? Justifier la réponse.

4. Choix du radioélément

4.1. Pour dater des roches très anciennes, on utilise parfois la méthode potassium-argon. Le « potassium 40 », de demi-vie $1{,}3 \times 10^{9}$ *ans, se transforme en « argon 40 ».*
Quel pourcentage de noyaux de « potassium 40 » reste-t-il dans une roche au bout de 4 fois le temps de demi-vie ?
4.2. *Comme il est indiqué dans le texte pour le « carbone 14 », on suppose que la teneur résiduelle minimale permettant d'effectuer une datation avec le « potassium 40 » est également de 1 % de la teneur initiale.*
En comparant l'âge de la Terre, qui est de $4{,}5 \times 10^{9}$ ans, à la demi-vie du « potassium 40 », préciser si la méthode de datation par le « potassium 40 » permet de mesurer l'âge de la Terre. Justifier la réponse.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

2.1.1.	La transformation radioactive d'un noyau possède un caractère **……** Mots proposés : • prévisible • aléatoire • périodique
2.1.2.	La désintégration d'un noyau **……**celle d'un noyau voisin Expressions proposées : • n'affecte pas • modifie • est perturbée par
2.1.3.	Un noyau « âgé » a **……** de se désintégrer qu'un noyau « jeune ». Expressions proposées : • plus de chances • moins de chances • autant de chances
2.1.4.	L'évolution d'une population d'un grand nombre de noyaux radioactifs possède un caractère **……** Mots proposés : • prévisible • aléatoire • périodique