2005/11 Nouvelle Calédonie

EXERCICE III. DATATION DES SEISMES EN CALIFORNIE (5,5 points)

La radioactivité se manifeste dans tout l'Univers. On peut utiliser les éléments radioactifs comme des horloges. Selon leur nature et leur durée de vie, ils peuvent renseigner sur l'âge de l'Univers, l'âge de la Terre, les processus géologiques et même l'histoire de l'humanité. On se propose ici de déterminer les dates de tremblements de terre qui se sont produits au cours des siècles à proximité de la faille de San Andreas en Californie.

1. Radioactivité naturelle du carbone

1.1. Donner la composition en protons et en neutrons des noyaux atomiques suivants ${}^{12}_{6}C$ et ${}^{14}_{6}C$.

1.2. *Les deux noyaux du 1.1. sont dits isotopes.* Justifier cette affirmation en définissant le mot isotopes.

1.3. *Le carbone ${}^{14}C$ est un noyau radioactif émetteur β^-.*

Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante en la justifiant. *On admet que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité.*

1.4. Calculer l'énergie de liaison, en joules, du carbone ${}^{14}C$ que l'on notera E_ℓ (${}^{14}C$).

1.5. En déduire l'énergie de liaison par nucléon du carbone ${}^{14}C$ (en joules par nucléon).

1.6. Calculer l'énergie libérée par la réaction de la question 1.3. (en joules).

Données :
- numéros atomiques : Z(Be) = 4 , Z(B) = 5 , Z(C) = 6 , Z(N) = 7 , Z(O) = 8 ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}998 \times 10^8$ m.s^{-1}.
- masses de quelques particules :

particule	proton	neutron	électron	noyau ${}^{14}C$	noyau ${}^{14}N$
masse (en kg)	$1{,}672\,621 \times 10^{-27}$	$1{,}674\,927 \times 10^{-27}$	$9{,}109\,381 \times 10^{-31}$	$2{,}325\,84 \times 10^{-26}$	$2{,}325\,27 \times 10^{-26}$

2. Datation par le carbone ${}^{14}C$

Deux scientifiques, Anderson et Libby, ont eu l'idée d'utiliser la radioactivité naturelle du carbone ${}^{14}C$ pour la datation. Les êtres vivants, végétaux ou animaux, assimilent du carbone. La proportion du nombre de noyaux de ${}^{14}C$ par rapport au nombre de noyaux de ${}^{12}C$ reste constante pendant toute leur vie. À la mort de l'organisme, tout échange avec le milieu naturel cesse et les atomes de ${}^{14}C$ disparaissent peu à peu. La radioactivité décroît alors avec le temps selon une loi exponentielle, qui permet d'atteindre un ordre de grandeur de l'âge de l'échantillon analysé. On admet que le rapport entre le nombre de ${}^{14}C$ et ${}^{12}C$ est resté constant dans les êtres vivants au cours des derniers millénaires.

2.1. *On note N(t) le nombre de noyaux radioactifs d'atomes de « carbone 14 » à un instant de date t pour un échantillon et N_0 le nombre de noyaux radioactifs à un instant pris comme origine des dates (t_0 = 0 s) pour ce même échantillon. On note λ la constante radioactive.*
Écrire la loi de décroissance radioactive.

2.2. Temps de demi-vie et constante radioactive.

2.2.1. Donner la définition du temps de demi-vie d'un échantillon radioactif que l'on notera $t_{1/2}$.

2.2.2. Retrouver l'expression littérale du temps de demi-vie en fonction de la constante radioactive :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

2.2.3. *Le temps de demi-vie de l'isotope du carbone ^{14}C est $5{,}70 \times 10^{3}$ ans.*
En déduire la valeur de la constante radioactive λ en an^{-1}.

2.3. *L'activité A(t) d'un échantillon radioactif à l'instant de date t est donnée ici par l'expression :*

$$A(t) = \lambda \, . N(t)$$

2.3.1. Définir l'activité et donner son unité dans le système international.

2.3.2. En utilisant cette expression et la loi de décroissance, déduire que :

$$\frac{A(t)}{A_0} = \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

où A_0 est l'activité à l'instant de date $t_0 = 0$ s.

3. La faille de San Andreas

En 1989, à proximité de la faille de San Andreas en Californie, on a prélevé des échantillons de même masse de végétaux identiques ensevelis lors d'anciens séismes. On a mesuré l'activité de chacun d'eux. On admet que cette activité est due uniquement à la présence de ^{14}C.

échantillons numéro	1	2	3
activités de l'échantillon (SI)	0,233	0,215	0,223

3.1. *L'activité d'un échantillon de même végétal vivant et de même masse est $A_0 = 0{,}255$ SI. On note t la durée qui s'est écoulée entre l'instant de date $t_0 = 0$ s du séisme et l'instant de la mesure.*
Déterminer la valeur t_3 qui correspond à l'échantillon n°3.

3.2. En déduire l'année au cours de laquelle a eu lieu le séisme qui correspond à l'échantillon n°3 étudié en 1989.

3.3. *Pour les échantillons 1 et 2, on propose les années 586 et 1247.*
Attribuer à chaque échantillon, l'année qui correspond. Justifier sans calcul.