Exercices radioactivité et correction

1. Ecriture de réactions nucléaires : Application des lois de Soddy
   Compléter les réactions suivantes (préciser X le cas échéant).

   a. ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{93}_{36}Kr + {}^{140}_{56}Ba + \dots\; {}^{1}_{0}n$

   b. ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{140}Xe + {}^{A}_{Z}X + 2\; {}^{1}_{0}n$

   c. ${}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + \dots$

   d. ${}^{239}_{92}U \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e$

   e. ${}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A}_{Z}X$

   f. ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{90}_{36}Kr + {}^{142}_{.Z}X + \dots\; {}^{1}_{0}n$

   g. ${}^{239}_{94}Pu + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{135}_{52}Te + {}^{102}_{Z}X + \dots\; {}^{1}_{0}n$

   h. ${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{142}_{Z}X$

   i. ${}^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e$

2. Ecrire les réactions de désintégrations des noyaux suivants :
   ${}^{217}_{88}Ra$, ${}^{174}_{72}Hf$ et ${}^{213}_{84}Po$ sachant qu'ils sont émetteurs α
   ${}^{103}_{42}Mo$, ${}^{209}_{82}Pb$ sachant qu'ils sont émetteurs β^-
   ${}^{174}_{73}Ta$ sachant qu'il est émetteur β^+

3. Soit N_0 le nombre de noyaux radioactifs présents à un instant considéré « initial » d'une population de noyau radioactifs. Soit T la période des noyaux constituants cette population.
   a. Exprimer en fonction de N_0 le nombre de noyaux N(T) qui restent au bout de T.
   b. Exprimer en fonction de N_0 le nombre de noyaux N(2T) qui restent au bout de 2xT.
   c. Exprimer en fonction de N_0 et n le nombre de noyaux N(nT) qui restent au bout de nxT.

4. Le potassium ${}^{40}_{19}K$ est radioactif ; il se désintègre pour donner de l'argon ${}^{40}_{18}Ar$.
   a. Ecrire l'équation de désintégration
   b. Pour déterminer l'âge des cailloux lunaires rapportés par les astronautes d'*Apollo XI*, on a mesuré les quantités relatives de potassium 40 (radioactif) et de son produit de décomposition, l'argon 40, qui est en général retenu par la roche. Un échantillon contenait $8{,}2\times10^{-3}$ mL d'argon 40 gazeux et $1{,}66\times10^{-6}$ g de potassium 40. Le volume molaire dans les conditions de la mesure est de 22,4 L/mol.
      Calculer les quantités (en mol) d'argon et de potassium contenus dans l'échantillon rapporté.
      Déterminer la quantité de potassium contenu dans l'échantillon, au moment de la formation de la roche, sachant qu'il n'y avait alors aucune trace d'argon.
   c. Proposer une méthode permettant de calculer l'âge de ces cailloux sachant que la demi-vie du potassium 40 est $T_{1/2}=1{,}3\times10^{9}$an.

Aide au calcul : $\dfrac{1}{2^{3,3}} \approx 1{,}02.10^{-1}$

Exercices P 201 n°17, 18, 19, 20, 31, 33

Correction

1. Equilibrer des réactions nucélaires :

a. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{93}_{36}Kr + ^{140}_{56}Ba + ...3..\ ^{1}_{0}n$
b. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2\ ^{1}_{0}n$
c. $^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th\ +.^{4}_{2}\alpha$
d. $^{239}_{92}U \longrightarrow\ ^{239}_{93}Np\ +\ ^{0}_{-1}e$
e. $^{238}_{92}U\ +\ ^{1}_{0}n \longrightarrow\ ^{239}_{92}U$
f. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{90}_{36}Kr + ^{142}_{.56}Ba + ..4.\ ^{1}_{0}n$
g. $^{239}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{135}_{52}Te\ + ^{102}_{42}Mo\ + .3.\ ^{1}_{0}n$
h. $^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{6}C +\ ^{1}_{1}p$
i. $^{14}_{6}C \longrightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$

2. Désintégrations :

$^{217}_{88}Ra \rightarrow ^{213}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$ type α
$^{103}_{42}Mo \rightarrow ^{103}_{43}Tc + ^{0}_{-1}e$ type β^-
$^{174}_{73}Ta \rightarrow ^{174}_{72}Hf + ^{0}_{1}e$ type β^+
$^{174}_{72}Hf \rightarrow ^{170}_{70}Yb + ^{4}_{2}He$ type α
$^{213}_{84}Po \rightarrow ^{209}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$ type α
$^{209}_{82}Pb \rightarrow ^{209}_{83}Bi + ^{0}_{-1}e$ type β^-

3. Décroissance radioactive :
   a. Nombre de noyaux N(T) qui restent au bout de T : $N(T) = \frac{N_0}{2}$
   b. Nombre de noyaux N(2T) qui restent au bout de 2T : $N(2T) = \frac{N(T)}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$
   c. Nombre de noyaux N(3T) qui restent au bout de 3T : $N(2T) = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$
   Nombre de noyaux N(nT) qui restent au bout de nT : $N(nT) = \frac{N_0}{2^n}$

4. Âge de la Lune :

a. Equation de désintégration
$^{40}_{19}K \longrightarrow ^{40}_{18}Ar + ^{0}_{1}e$ Il s'agit d'un émetteur β+

b. Calcul du nombre d'atomes de potassium $N_K(t)$ et d'atomes de d'argon $N_{Ar}(t)$ présents dans l'échantillon à la date t de l'analyse (qui correspond à aujourd'hui).

$N_K(t) = \frac{m_K(t)}{M_K} \cdot N_A$ A.N. $N_K(t) = \frac{1{,}66.10^{-6}}{40} \times 6{,}02.10^{23} = 2{,}5.10^{16}$ noyaux

$N_{Ar}(t) = \frac{V_K(t)}{V_{mol}} \cdot N_A$ A.N. $N_K(t) = \frac{8{,}2.10^{-3}.10^{-3}}{22{,}4} \times 6{,}02.10^{23} = 2{,}2.10^{17}$ noyaux

A partir de la question précédente, calculer le nombre d'atomes de potassium 40 $N_K(0)$ présents dans le roche au moment de sa formation.
$N_K(0) = N_K(t) + N_{Ar}(t)$ puisque les noyaux d'argon présents à l'instant t n'existaient pas à t=0 et sont le résultats de la transformation des noyaux de potassium
A.N. $N_K(0) = 2{,}5.10^{17}$ noyaux

c. Calculer le rapport N(t)/N(0). En déduire l'âge des cailloux.
En utilisant la loi de décroissance sous forme de suite géométrique établie précédemment :
$N(t) = \frac{N(0)}{2^n}$ où n est le nombre de période radioactive qui s'est écoulé.

On a donc : $\frac{N(t)}{N(0)} = \frac{1}{2^n}$ or $\frac{N(t)}{N(0)} = \frac{2,5.10^{16}}{2,5.10^{17}} = 1,0.10^{-1}$

Avec l'aide au calcul : $\frac{1}{2^{3,3}} \approx 1,02.10^{-1}$, on en déduit que n=3,3.

Il s'est donc écoulé $\Delta t = n \times t_{1/2} = 3,3 \times 1,25 = 4,1$ milliards d'années

Rq : ce résultat reste assez peu précis à la vue de la précision des données utilisées.

Exercices P 201

n°17

1. a. X_1 = ^{14}C (A = Z+N = 6 + 8 = 14)
   b. ${}^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$
2. a. X_2 = ^{15}O
   b. ${}^{15}_{8}O \longrightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{1}e$
3. Les 2 noyaux ne sont pas isotopes : ils possèdent des nombres de protons différents.

n°18

Equations	Conclusion
${}^{28}_{13}Al \longrightarrow {}^{28}_{14}Si + {}^{0}_{-1}e$	^{28}Al est un émetteur β-
${}^{91}_{42}Mo \longrightarrow {}^{91}_{41}Nb + {}^{0}_{1}e$	^{91}Mo est un émetteur β+
${}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$	^{238}U est un émetteur α

N°19

a. L'activité d'une source radioactive est le nombre de désintégrations qui se produisent pendant une unité de temps. Elle peut se mesurer en Bequerel : 1Bq = 1 désint.s^{-1}

b. L'activité est proportionnel au nombre de noyaux radioactifs : A = λ . N
Si on prend la moitié de l'échantillon (N' = N/2) alors l'activité est divisée par 2 (A' = A/2)
On a donc : A' = $1,0 \times 10^{11}$ Bq

c. L'activité diminue exponentiellement au cours du temps.

N°20

${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2\ {}^{1}_{0}n$ Il s'agit d'une réaction de fission

${}^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$ Il s'agit d'une réaction de fusion (Rq : il y a une erreur dans l'énoncé : le noyau fils est de l'hélium et non de l'hydrogène…)

N°31

a. ${}^{15}_{8}O \longrightarrow {}^{15}_{7}N^* + {}^{0}_{1}e$

b. Il y a émission d'un rayonnement γ lorsque le noyau revient dans son état fondamental
${}^{15}_{7}N^* \longrightarrow {}^{15}_{7}N$ + Rγ

c. Sa demi-vie est trop courte pour pouvoir l'utiliser plusieurs jours. En effet, on peut considérer que les noyaux d'oxygène ont tous disparu au bout de 10T soit 80min
Il resterait alors $N = \frac{N_0}{2^{10}}$ soit $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} = 0{,}0001$ soit 0,01 %

N°33

1. La question n'est pas compréhensible….
S'agit-il d'expliquer ce que signifie la valeur ?
Elle signifie qu'il va y avoir en moyenne 0,20 noyaux qui se désintégrent pendant la 1ère seconde suivant t_0, c'est-à-dire qu'il faut attendre plusieurs secondes pour qu'un noyau se désintègre.

On peut également refaire le calcul réalisé dans le cours, mais il manque des données (proportion de ^{14}C dans le carbone naturel, constante radioactive…) :

Nombre de noyaux de carbone (tout isotopes confondus) présents dans 1g de carbone :
$N = n . N_A$ or $n = \frac{m}{M}$ d'où $N = \frac{m}{M} . N_A$
A.N. $N = \frac{1{,}00}{12{,}0} \times 6{,}02 \times 10^{23} = 5{,}02 \times 10^{22}$ noyaux
Nombre de noyaux de carbone 14 dans 1g de carbone :
La proportion de ^{14}C dans le carbone naturel est de 10^{-12} ; on en déduit que :
$N' = 10^{-12} \times N$ A.N. $N' = 5{,}02 \times 10^{22}$ noyaux de ^{14}C

Nombre de noyaux se désintégrant pendant 1 année :
$\Delta N' = \lambda . N'$ A.N. $\Delta N' = \frac{1}{8000} \times 5{,}02 \times 10^{22} = 6{,}27 \times 10^{18}$ noyaux de ^{14}C

Activité : nombre de noyaux se désintégrant pendant 1s :
$A = \frac{\Delta N'}{\Delta t}$ A.N. $A = \frac{6{,}27 \times 10^{18}}{365{,}25 \times 24 \times 3600} = 0{,}20\ Bq$

2. On sait que l'activité A est proportionnelle au nombre de noyaux présents dans l'échantillon à l'instant de la mesure : A(t) = λ . N(t)
Donc : à t = 0 A(0) = λ . N(0)
à t = T A(T) = λ . N(T)

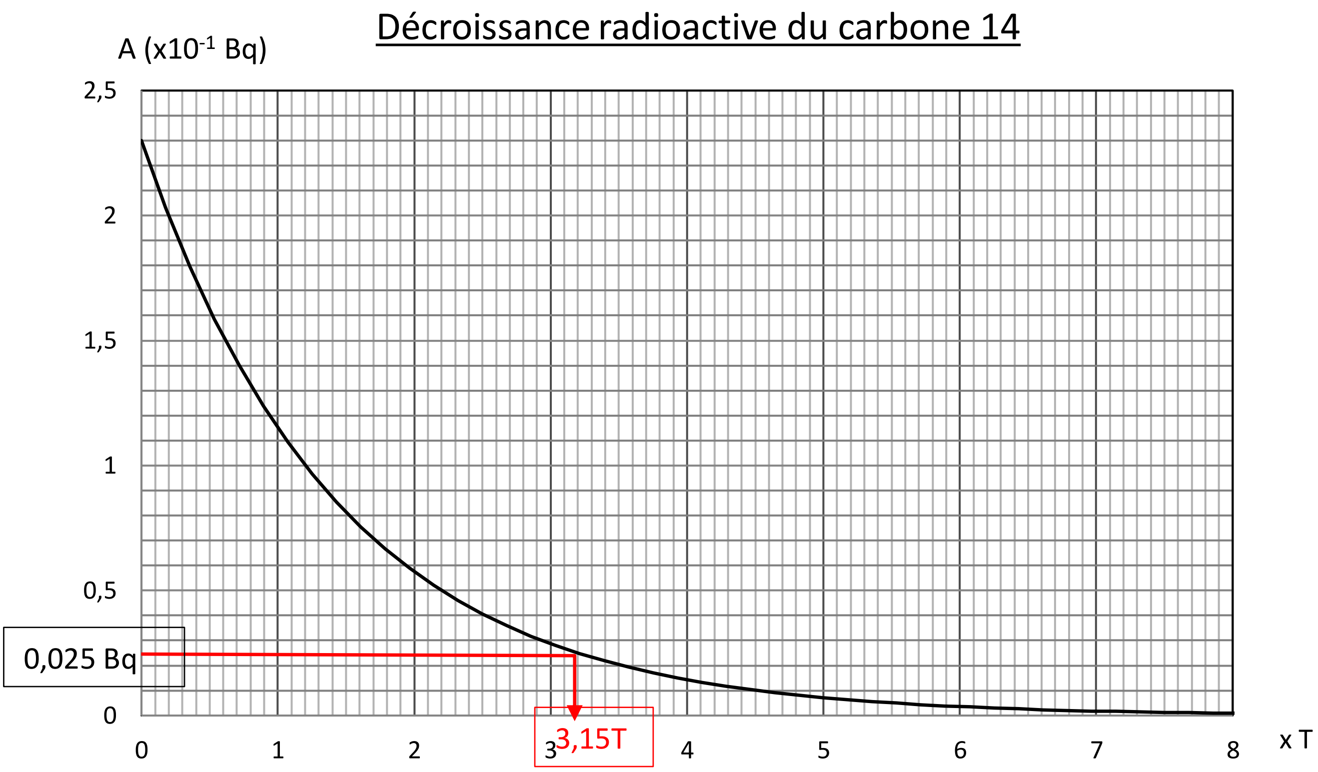
Rappelons la définition de la période : la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux se sont désintégrés
On en déduit que $N(T) = \frac{N(0)}{2}$
En remplaçant $\frac{A(T)}{\lambda} = \frac{\frac{A(0)}{\lambda}}{2}$ d'où $A(T) = \frac{A(0)}{2}$

On constate donc qu'au bout d'une période, l'activité a aussi diminué de moitié.

3. Evolution de l'activité : chaque fois qu'une période s'écoule, l'activité est divisée par 2

t (s)	0	T	2T	3T	4T	5T	6T
A (10^{-1} Bq)	2,30	1,15	0,575	0,288	0,144	0,072	0,036

4. Courbe de décroissance :



5. D'après le graphe, il faut attendre 3,15xT soit $3,15 \times 5,7 \times 10^3 = 1,8 \times 10^4$ an pour que l'activité bout de l'os « vivant » atteigne celle de l'os de la grotte.
   L'os de la grotte a donc 18000 ans.

6. On ne peut utiliser cette méthode pour dater des objets vieux de plusieurs millions d'année : ils ne contiendraient plus de ^{14}C, la population disparaissant au bout d'environ 8xT = 8x5700 = 45000 an.