

## Correction des exercices du chapitre 16 :

Attention les corrections ne sont pas toujours rédigées correctement.

Les solutions rédigées sont faites en classe ou dans le livre avec les exercices résolus p 120-121

QCM

p. 119

1. A et B ; 2. A et B ; 3. B ; 4. B ; 5. C ; 6. A ; 7. A et C ; 8. B ; 9. B et C ; 10. B.

### Exercices

Appliquer le cours

p. 122

#### 3 Reconnaître des particules

Électron =  ${}^0_{-1}\text{e}$  ; positon =  ${}^0_{+1}\text{e}$  ; noyau d'hélium 4 =  ${}^4_2\text{He}$ .

#### 4 Identifier une particule

Le noyau de plutonium perd 4 nucléons en se désintégrant en un noyau d'uranium, la particule possède donc 4 nucléons. De plus, elle possède une charge électrique +2e. C'est donc un noyau d'hélium 4 :  ${}^4_2\text{He}$ .

#### 5 Utiliser les lois de conservation (1)

1. Conservation du nombre de masse A et du nombre de charges Z.

2.a.  ${}^{189}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{189}_{81}\text{Tl} + {}^0_{+1}\text{e}$  (positon)

b.  ${}^{210}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{206}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$  (noyau d'hélium 4)

c.  ${}^{13}_5\text{B} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^0_{-1}\text{e}$  (électron)

#### 6 Utiliser les lois de conservation (2)

${}^{186}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{182}_{80}\text{Hg} + {}^4_2\text{He}$

#### 7 Écrire une équation de réaction nucléaire

${}^{211}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{207}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$

#### 8 Écrire une équation de réaction nucléaire

Si Z est le nombre de charges d'un noyau père, alors le noyau fils a pour nombre de charges Z + 1 (si radioactivité  $\beta^-$ ), Z - 1 (si radioactivité  $\beta^+$ ) ou Z - 2 (si radioactivité  $\alpha$ ). En analysant les étiquettes proposées, on peut alors associer les noyaux fils aux noyaux pères correspondant, puis écrire les équations de désintégration suivantes :

${}^{200}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{200}_{81}\text{Tl} + {}^0_{+1}\text{e}$

${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$

${}^{17}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^0_{-1}\text{e}$

#### 9 Déterminer un type de radioactivité

1.  ${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$

2. C'est une radioactivité  $\beta^-$ .

#### 10 Identifier un type de radioactivité

Le noyau de polonium perd 4 nucléons, il émet donc forcément un noyau d'hélium 4,  ${}^4_2\text{He}$ , c'est une radioactivité  $\alpha$ .

Le noyau d'iode se transforme en tellure, donc le nombre de charges a diminué d'une unité. Il y a donc émission d'un positon, c'est une radioactivité  $\beta^+$ .

Le noyau de potassium se transforme en calcium, donc le nombre de charges a augmenté d'une unité. Il y a donc émission d'un électron, c'est une radioactivité  $\beta^-$ .

#### 11 Utiliser le diagramme (N, Z) (1)

L'aluminium 27 est stable.

L'aluminium 26 est instable, il donne lieu à une radioactivité  $\beta^+$  car il possède un excès de protons.

L'aluminium 28 est instable, il donne lieu à une radioactivité  $\beta^-$  car il possède un excès de neutrons.

#### 12 Utiliser le diagramme (N, Z) (2)

1. Le plomb présente une radioactivité  $\alpha$ . Le thallium et le mercure présentent une radioactivité  $\beta^+$ .

2. Lors d'une désintégration radioactive, soit le nombre de masse est constant (radioactivités  $\beta^+$  et  $\beta^-$ ), soit il diminue de 4 (radioactivité  $\alpha$ ). La seule désintégration possible du plomb 184 est donc celle qui conduit au mercure 180 selon une radioactivité  $\alpha$ , comme cela a été précisé à la question précédente. Le noyau fils est donc  ${}^{180}_{80}\text{Hg}$ .

#### 13 Déterminer un nombre de noyaux radioactifs

1.  $N_0 = 8 \times 10^6$  noyaux.

2.  $N(t = 5 \text{ s}) = 4 \times 10^6$  noyaux.

$N(t = 10 \text{ s}) = 2 \times 10^6$  noyaux.

$N(t = 15 \text{ s}) = 1 \times 10^6$  noyaux.

3. La demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux présents initialement se sont désintégrés. Donc :

– au bout de  $t_{1/2} = 5$  jours, il reste :

$$N(t = 5 \text{ s}) = \frac{N_0}{2} = 4 \times 10^6 \text{ noyaux ;}$$

– au bout de  $2 \times t_{1/2} = 10$  jours, il reste :

$$N(t = 10 \text{ s}) = \frac{N(t = 5 \text{ s})}{2} = 2 \times 10^6 \text{ noyaux ;}$$

– au bout de  $3 \times t_{1/2} = 15$  jours, il reste :

$$N(t = 15 \text{ s}) = \frac{N(t = 10 \text{ s})}{2} = 1 \times 10^6 \text{ noyaux.}$$

La demi-vie est donc bien égale à 5 s.

#### 14 Calculer un nombre de noyaux radioactifs

1.  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \times t}$

2.  $N(t = 5,0 \times 10^4 \text{ s}) = 1,0 \times 10^8 \times e^{-2,0 \times 10^{-6} \times 5,0 \times 10^4}$   
 $= 9,0 \times 10^7$  noyaux.

$N(t = 5,0 \times 10^6 \text{ s}) = 1,0 \times 10^8 \times e^{-2,0 \times 10^{-6} \times 5,0 \times 10^6}$   
 $= 4,5 \times 10^3$  noyaux.

3. Au bout de  $5,0 \times 10^4 \text{ s}$ , il reste plus de la moitié des noyaux initialement présents ( $9,0 \times 10^7 > 5,0 \times 10^7$ ), donc cette date est inférieure à la demi-vie.

Au bout de  $5,0 \times 10^6$  s, il reste moins de la moitié des noyaux initialement présents ( $4,5 \times 10^3 < 5,0 \times 10^3$ ), donc cette date est supérieure à la demi-vie.

### 15 Calculer une durée

1. Loi de décroissance radioactive :  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$ .

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

$$-\lambda \times t = \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right), \text{ donc } t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right).$$

2. Si  $N(t) = 0,01 \times N_0$ , alors :

$$t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln(0,01) = -\frac{1}{1,8 \times 10^{-9}} \times \ln(0,01) = 2,6 \times 10^9 \text{ s} = 81 \text{ ans}$$

### 16 Déterminer une durée

1.  $N_0 = 1\,000$  noyaux.

2. Lorsque 60 % se sont désintégrés, il en reste 40 %, soit  $N = 400$  noyaux. Par lecture graphique, on trouve  $t \approx 11$  jours. Il semble qu'il n'y ait plus de noyaux radioactifs dans l'échantillon au bout de 56 jours.

3. La demi-vie est de 8 jours (temps au bout duquel il reste  $\frac{N_0}{2} = 500$  noyaux).

56 jours correspondent donc à 7 demi-vies ( $\frac{56}{8} = 7$ ).

### 17 Déterminer une demi-vie

1. La demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.

2.  $N_0 = 1\,000\,000$  noyaux donc :

$$N(t_{1/2}) = 500\,000 \text{ noyaux.}$$

Par lecture graphique, on détermine  $t_{1/2} = 30$  ans.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600} = 7,3 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}.$$

### 18 Utiliser une demi-vie

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{\ln(2)}{1,4 \times 10^2} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ s} = 5,0 \text{ ms.}$$

La moitié des noyaux radioactifs disparaissent lorsqu'une demi-vie est écoulée.

| Durée (ms) | 0,0                           | 5,0                                     | 10,0                                    | 20,0                                     |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| $N(t)$     | $2,00 \times 10^8$<br>$= N_0$ | $1,00 \times 10^8$<br>$= \frac{N_0}{2}$ | $5,00 \times 10^7$<br>$= \frac{N_0}{4}$ | $1,25 \times 10^7$<br>$= \frac{N_0}{16}$ |

### 19 Utiliser une activité

1.  $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$ .

$$2. e^{-\lambda t} = \frac{A(t)}{A_0} \quad -\lambda \times t = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right), \text{ donc } t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right).$$

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

$$\text{Donc } t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right).$$

$$3. t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right) = \frac{5\,734}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{816,0}{600,0}\right) = 2\,544 \text{ ans}$$

$$2\,019 - 2\,544 = -525$$

Le pharaon est probablement mort en -525 av. J.-C.

### 20 Déterminer une activité

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

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

$$A(t) = A_0 \times e^{-\frac{\ln 2 \times t}{t_{1/2}}} = 816,0 \times e^{-\frac{\ln 2 \times 2000}{5734}} = 640,8 \text{ Bq}$$

### 21 Mesures de radioprotection pour une scintigraphie

1. Les seringues contenant le produit radioactif sont contenues dans des containers et des protège-seringues plombés (contenant du plomb). Lors de la préparation et de l'injection, le manipulateur doit porter des gants plombés. Lors de l'examen, l'utilisation d'écrans ou de tabliers plombés est préférable.

2. Le plomb est le métal qui permet d'atténuer le plus les rayons gamma. On voit dans les données qu'il suffit d'une épaisseur de 1,0 cm de plomb pour atténuer de moitié le flux de rayons gamma, alors qu'il faut jusqu'à 5 fois plus pour des métaux comme l'aluminium.

### 22 Manipulation de l'iode 131 en sécurité

1. Il est plus facile d'arrêter la particule  $\beta$  que le rayonnement  $\gamma$  car quel que soit le matériau utilisé, il en faut une épaisseur moindre par rapport à celle nécessaire pour arrêter le rayonnement gamma.

2. Les personnels médicaux pratiquant les imageries avec l'iode 131 doivent être protégés des rayonnements. Ils peuvent donc se placer derrière des écrans en verre plombé : ils peuvent toujours voir le patient et une épaisseur raisonnable suffit à arrêter suffisamment les rayonnements ionisants.

## Exercices

## S'entraîner

p. 125

### 23 À chacun son rythme

#### La découverte d'un élément radioactif

D'après le diagramme  $(N, Z)$ , le polonium  $^{210}_{82}\text{Po}$  est radioactif  $\alpha$ . Il va donc se désintégrer en émettant un noyau d'hélium  $^4_2\text{He}$ . Lors de la désintégration, il y a conservation du nombre de charges, donc le noyau fils a un numéro atomique  $Z = 84 - 2 = 82$ ; d'après le diagramme  $(N, Z)$ , il s'agit du plomb. Il y a également conservation du nombre de masse, donc le noyau fils a un nombre de masse :  $A = 210 - 4 = 206$ ; donc  $^{206}_{82}\text{Pb}$ .

L'équation de la désintégration est :  $^{210}_{82}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$

### 24 Connaître les critères de réussite

#### La famille radioactive de l'uranium 238

1.  $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$  (radioactivité  $\alpha$ )

2.  $^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{234}_{91}\text{Pa} + ^0_{-1}\text{e}$  (radioactivité  $\beta^-$ )

3. D'après l'équation globale, il se produit 6 désintégrations  $\beta^-$  et 8 désintégrations  $\alpha$  pour passer de l'uranium 238 au plomb 206.

### 25 Des galères grecques à Marseille

1.  $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$

$$2. e^{-\lambda t} = \frac{A(t)}{A_0}$$

$$-\lambda \times t = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) \text{ donc } t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

3. La demi-vie correspond au temps au bout duquel  $A(t) = \frac{A_0}{2}$ .

$$\text{Donc } t_{1/2} = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ soit } \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$4. t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right)$$

$$5. t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right) = \frac{5\,734}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{13,60}{9,94}\right) = 2\,593 \text{ ans}$$

$$2\,019 - 2\,593 = -574 \text{ ans}$$

Les navires auraient donc été construits vers -574 et il est donc possible qu'ils aient été coulés vers -545.



## 26 Radioactive decay of cesium-137

### Traduction : La décomposition du césium-137

Les dispositifs radioactifs contenant du césium-137 sont une technologie éprouvée utilisée pour le traitement du cancer, pour la stérilisation de dispositifs médicaux et l'irradiation du sang pour traiter des patients. Le Césium-137 se décompose en baryum-137 par émission bêta. Le césium-137 et le baryum-137 ont pour numéros atomiques respectifs 55 et 56.

1. Quels sont les trois types de rayonnements ionisants émis par un noyau radioactif au cours d'une désintégration radioactive ?
2. Donner l'équation de la désintégration radioactive.

### Réponses

1. Les trois types de rayonnements ionisants pouvant être émis lors d'une désintégration radioactive sont  $\alpha$ ,  $\beta$  ( $\beta^+$  ou  $\beta^-$ ) et  $\gamma$ .
2.  ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\text{Ba} + {}^0_{-1}\text{e}$

## 27 L'iode 131 sur les forums

L'iode 131 est radioactif  $\beta^-$  et il émet également un rayonnement  $\gamma$  lors de sa désintégration. C'est ce rayonnement qui peut être détecté par un capteur, permettant de localiser l'iode 131 dans l'organisme, et donc de suivre en temps réel le fonctionnement de la thyroïde pour déceler d'éventuelles anomalies.

L'injection d'iode radioactif ne présente pas un grand danger, d'une part parce que la dose injectée est assez faible (activité  $A_0 = 1,8 \text{ kBq}$ , ce qui correspond à 1,8 fois l'activité naturelle du corps humain), et d'autre part parce que la demi-vie de l'iode 131 est assez faible (8 jours, ce qui signifie qu'au bout d'une semaine, l'activité de l'iode injecté sera inférieure à l'activité du corps humain :

$$A(t_{1/2} = 8 \text{ jours}) = \frac{A_0}{2} = 0,9 \text{ kBq}.$$

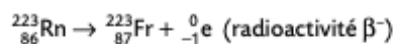
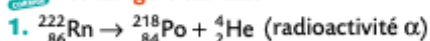
De plus, l'élimination de l'iode radioactif est accélérée par la production d'urines et de selles.

## 28 Côté maths

### Résoudre une équation différentielle du premier ordre

1.  $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$ .
2. La solution de cette équation différentielle est de la forme :  $N(t) = A \times e^{-\lambda \times t}$ .  
Condition initiale :  $N(0) = A = N_0 = 3,0 \times 10^7$  noyaux.  
Donc  $N(t) = 3,0 \times 10^7 \times e^{-9,1 \times 10^{-13} \times t}$ .

## 29 Les dangers du radon



2.  $A(t_{1/2}) = \frac{A_0}{2}$ , on peut alors lire graphiquement que  $A = \frac{A_0}{2}$

pour  $t_{1/2} = 4$  jours.

3. Au bout de  $n$  demi-vies,  $A = \frac{A_0}{2^n}$ , donc :

| t (jours) | 0                 | 4,0 ( $= t_{1/2}$ ) | 8,0 ( $= 2t_{1/2}$ ) | 16,0 ( $= 4t_{1/2}$ ) |
|-----------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| A (Bq)    | $8,0 \times 10^6$ | $4,0 \times 10^6$   | $2,0 \times 10^6$    | $5,0 \times 10^5$     |

4. Le radon 222 est formé naturellement à la suite de la désintégration de l'uranium 238. Si la vitesse de formation du radon est égale à la vitesse à laquelle il se désintègre, alors le nombre de noyaux de radon 222 présents dans l'atmosphère reste constant et il est normal que l'activité du radon reste constante au cours du temps.

5.  $A = 60,0 \times n = 60,0 \times 10,5 = 630 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Or la norme européenne prévoit de ne pas dépasser  $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ . Le propriétaire de cette cave doit donc rapidement prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'air dans sa cave, comme installer une ventilation adaptée efficace (type VMC).

## 30 Protection contre les rayonnements ionisants

1. Pour manipuler des échantillons radioactifs alpha et bêta, il suffit de porter des gants. Pour une exposition longue, on peut se protéger à l'aide de feuilles d'aluminium, et il faut éviter d'inhalier les poussières radioactives, donc porter un masque et éventuellement une combinaison étanche.

2. En radioprotection, on utilise le plomb car c'est le métal qui arrête le mieux le flux des rayons gamma : on voit dans les données qu'il en faut une épaisseur 5 fois plus faible que le cuivre ou l'aluminium pour diviser par 8 ce flux.

3. L'indicateur de rayonnement  $\gamma$ , noté  $\text{Ind}(\gamma)$  a pour expression :

$$\text{Ind}(\gamma) = K \times \frac{\text{Ind}(0)}{d^2}.$$

On calcule la constante K pour une distance  $d = 90 \text{ m}$  :

$$500 = K \times \frac{1000}{90^2} \Leftrightarrow K = 4050 \text{ m}^2.$$

On vérifie que les autres valeurs de l'indicateur, à 180 m et 254,5 m, vérifient la loi trouvée :

$$\text{Ind}_{180}(\gamma) = 4050 \times \frac{1000}{180^2} = 125 ;$$

$$\text{Ind}_{254,5}(\gamma) = 4050 \times \frac{1000}{254,5^2} = 62,5.$$

4. En radiologie, le fait de se placer derrière un écran en verre permet de s'éloigner de la source de rayonnement tout en gardant un contact visuel avec le patient, et le fait qu'il contienne du plomb permet une bonne absorption des rayons gamma.

5. Il faut porter une combinaison étanche contenant du plomb.

## 31 Résolution de problème

### La gestion des déchets nucléaires

#### 1<sup>re</sup> étape : Bien comprendre la question posée

1. Comment classe-t-on la durée de vie d'un radioélément ?
2. Quelles sont les valeurs de l'activité permettant de choisir un type de stockage ?
3. Comment évolue l'activité au cours du temps en utilisant la demi-vie ?

#### 2<sup>e</sup> étape : Lire et comprendre les documents

1. Les trois radioéléments sont à vie courte (curium) ou longue (américium et plutonium).
2. Ils ont une haute activité lorsqu'ils sont produits dans la centrale. Il faut donc envisager un stockage en couche géologique profonde.
3. Pour modifier le type de stockage des déchets à longue vie, il faudrait que leur activité devienne inférieure à  $10^6 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ .

#### 3<sup>e</sup> étape : Dégager la problématique

Déterminer la durée au bout de laquelle l'activité d'un radioélément lui permettrait de changer de mode de stockage.

#### 4<sup>e</sup> étape : Construire la réponse

- Déterminer le type d'activité de chaque radioélément ainsi que le type de durée de vie.
- En déduire le type de stockage initial de chaque radioélément.
- Exprimer la durée  $t$  en fonction de  $A(t)$ ,  $A_0$  et  $t_{1/2}$ .
- Déterminer  $t$  pour que le radioélément change de mode de stockage.
- Comparer avec la durée d'une vie humaine (environ 80 ans).

#### 5<sup>e</sup> étape : Rédiger la réponse en trois paragraphes

- Présenter le contexte et introduire la problématique.

Pour connaître la date à laquelle un déchet nucléaire contenant un radioélément peut changer de mode de stockage, il est

nécessaire de déterminer la durée au bout de laquelle l'activité d'un gramme du radioélément, atteint les valeurs qui permettent un tel changement.

• Mettre en forme la réponse.

• Déterminer le type d'activité de chaque radioélément ainsi que le type de durée de vie.

Le radioélément curium est à vie courte et les radioéléments américium et plutonium sont à vie longue. Ils ont tous les trois une haute activité lorsqu'ils sont produits dans la centrale.

• En déduire le type de stockage initial de chaque radioélément. Il faut envisager un stockage en couche géologique profonde pour les trois.

• Exprimer la durée  $t$  en fonction de  $A(t)$ ,  $A_0$  et  $t_{1/2}$ .

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \Leftrightarrow \exp(-\lambda \times t) = \frac{A(t)}{A_0}$$

$$\ln(\exp(-\lambda t)) = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) \Leftrightarrow -\lambda \times t = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

$$\Leftrightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

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

$$t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) \Leftrightarrow t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

• Déterminer  $t$  pour que le radioélément change de mode de stockage.

Le curium peut être stocké en surface dans un site dédié si son activité devient inférieure ou égale à  $10^9 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ .

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\frac{28,6}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{10^9}{610^9}\right) = 74 \text{ ans}$$

Les radioéléments américium et plutonium peuvent être stockés en surface dans un site dédié si leur activité devient inférieure ou égale à  $10^6 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ .

Pour l'américium :

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\frac{152}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{10^6}{6 \times 10^9}\right) = 1908 \text{ ans}$$

Pour le plutonium :

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\frac{2,41 \times 10^4}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{10^6}{6 \times 10^9}\right)$$

$$t = 3,0 \times 10^5 \text{ ans}$$

• Comparer avec la durée d'une vie humaine (environ 80 ans).

Pour l'américium et le plutonium, la durée est très supérieure à celle d'une vie humaine, alors que pour le curium elle en est du même ordre.

• Conclure et introduire, quand c'est possible, une part d'esprit critique.

On peut envisager pour le curium, de modifier le type de stockage à l'échelle d'une vie humaine, ce qui ne l'est pas pour l'américium et le plutonium.

## Vers le Bac

p. 128

### Préparation à l'écrit

#### 32 La découverte de la radioactivité artificielle et ses applications

1. a. La particule  $\alpha$  est un noyau d'hélium 4 de symbole  ${}^4_2\text{He}$ .

b.  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

c. Le phosphore 30 est radioactif  $\beta^+$ . Son équation de désintégration s'écrit :  ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$

d.  $N(t = 13 \text{ min}) = 1000 \times \exp\left(-\ln(2) \times \frac{13 \times 60}{3 \times 60 + 15}\right)$   
 $= 63 \text{ noyaux}$

2. a. La demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux présents initialement se sont désintégrés, ou que l'activité initiale a été divisée par deux.

Par lecture graphique :  $t_{1/2} = 6 \text{ h}$ .

b.  $A(t = 120 \text{ h}) = 400 \times \exp\left(-\ln(2) \times \frac{120}{6}\right)$   
 $= 4 \times 10^{-4} \text{ MBq} = 4 \times 10^2 \text{ Bq}$

c.  $A(t = 3,5 \text{ h}) = 400 \times \exp\left(-\ln(2) \times \frac{3,5}{6}\right) = 267 \text{ MBq}$

La durée écoulée au bout de  $20 \times t_{1/2}$  est égale à 120 heures soit 5 jours  $\left(\frac{120}{24} = 5\right)$ .

La date associée, à partir du lundi 15 heures, est le samedi 15 heures.

#### 33 La datation à l'uranium 238

1. Par détermination graphique :  $t_{1/2} = 4,5 \times 10^9 \text{ an}$ .

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{4,5 \times 10^9} = 1,5 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$$

2. Le nombre initial de noyaux d'uranium 238 :  $N_0 = 5,0 \times 10^{12}$ . L'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$  peut s'écrire :

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$$

La fonction dérivée  $\frac{dN(t)}{dt}$  est proportionnelle à la fonction  $N$ .

La solution est donc de la forme :  $N(t) = A \times e^{-\lambda \times t}$ .

On exprime la condition initiale :  
 $N(0) = N_0 \Leftrightarrow A = N_0 = 5,0 \times 10^{12}$

La solution s'écrit :  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \times t}$

$$\text{soit } N(t) = 5,0 \times 10^{12} \times e^{-1,5 \times 10^{-10} \times t}$$

3.  $N_0 = N(t) + N_{\text{Pb}}$

4.  $N(t) = N_0 - N_{\text{Pb}} = 4,5 \times 10^{12}$

soit  $t$  égal à  $0,5 \times 10^9 \text{ an} = 5 \times 10^8 \text{ an}$  (500 millions d'années).

Cela est bien compatible avec la fin de la première ère interglaciaire.

### Préparation à l'ECE

1. Il faut sélectionner le technétium en écrivant son symbole Tc dans la barre de sélection.
2. Le noyau fils pour une radioactivité  $\beta^+$  est situé en diagonale sur la ligne en dessous, à droite et pour une radioactivité  $\beta^-$  est situé en diagonale sur la ligne au-dessus, à gauche.

Les isotopes cherchés sont :  $^{94}\text{Tc}$  ;  $^{95}\text{Tc}$  ;  $^{96}\text{Tc}$  ;  $^{97}\text{Tc}$  ;  $^{98}\text{Tc}$  ;  $^{99}\text{Tc}$  ;  $^{100}\text{Tc}$  ;  $^{101}\text{Tc}$  ;  $^{102}\text{Tc}$ .

3. Le technétium ne possède aucun isotope stable, c'est la raison pour laquelle il a été identifié en dernier.

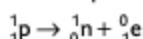
## Vers l'oral

p. 130

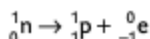
### À deux, c'est mieux

#### Évaluation orale n° 1

Un noyau présentant un excès de **proton** sera sensible à la radioactivité **bêta plus**, au cours de laquelle un **positon** est émis : le proton se transforme en un neutron et un positon qui est éjecté du noyau.



Un noyau présentant un excès de **neutron** sera sensible à la radioactivité **bêta moins**, au cours de laquelle un **électron** est émis : le neutron se transforme en un proton et un électron qui est éjecté du noyau.



#### Évaluation orale n° 2

L'assimilation du carbone 14 se fait tout au long de la vie de la matière vivante par la respiration, l'alimentation. Après la mort, cette assimilation s'arrête et du fait de la **décroissance radioactive**, la quantité de carbone 14 ainsi que son **activité** diminue au cours du temps. La **demi-vie** du carbone 14 est égale à 5 734 ans, ce qui signifie qu'au bout de cette durée, la moitié des noyaux initialement présents ont disparu. Les derniers dinosaures se sont éteints il y a 65 millions d'années :

$$\frac{65 \times 10^6}{5734} = 10^5.$$

La **demi-vie** du carbone 14 est beaucoup trop petite pour espérer encore avoir du carbone 14 dans les os des dinosaures : on ne peut pas les dater avec cette méthode.

### Je m'exprime à l'oral sur

#### La transformation nucléaire

- **Nommer les trois types de radioactivité.**

On distingue la radioactivité  $\beta^+$  (émission d'un positon), la radioactivité  $\beta^-$  (émission d'un électron) et la radioactivité  $\alpha$  (émission d'un noyau d'hélium 4).

- **Définir la demi-vie d'un noyau radioactif.**

C'est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents ont disparu par désintégration radioactive.

- **Quelle est l'expression du nombre de noyaux radioactifs encore présents dans un échantillon à un instant t ?**

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda \times t}.$$

- **Citer des applications de la radioactivité.**

La radioactivité peut être utilisée pour dater un objet ancien contenant du carbone (datation au carbone 14 radioactif) mais aussi dans le domaine médical pour explorer le corps (scintigraphie) ou pour soigner des cancers (radiothérapie).



**1. La radioactivité naturelle**

**1.1.** Le becquerel est une unité de mesure utilisée en radioactivité qui correspond à **une désintégration par seconde**.

**1.2.1.** Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  est constitué de  **$Z = 88$  protons** et  **$A - Z = 226 - 88 = 138$  neutrons**.

**1.2.2.** Équation de la réaction de désintégration de  $^{226}_{88}\text{Ra}$  :



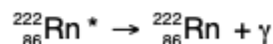
Conservation du nombre de nucléons :  $226 = 222 + A$  soit  $A = 226 - 22 = 4$

Conservation du nombre de charge :  $88 = 86 + Z$  soit  $Z = 88 - 86 = 2$

Comme  $Z = 2$ , il s'agit d'un **noyau d'hélium**  $^4_2\text{He}$  soit une **particule  $\alpha$** .

Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se désintègre selon une **radioactivité  $\alpha$** .

**1.2.3.** Lors de la désintégration du noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$ , le noyau de radon formé est dans un **état excité** noté  $^{222}_{86}\text{Rn}^*$ . Ce noyau se désexcite en émettant un **rayonnement  $\gamma$**  selon :



**1.3.** Energie libérée lors de la désintégration :

$$E = (m_{\text{après}} - m_{\text{avant}}) \cdot c^2$$

$$= [m(^{222}_{86}\text{Rn}) + m(^4_2\text{He}) - m(^{226}_{88}\text{Ra})] \cdot c^2$$

$$= (221,9703 + 4,00150 - 225,9791) \cdot 1,66606 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$= -0,0073 \times 1,66606 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$= -1,0946 \times 10^{-12} \text{ J}$$

**$E \approx -1,1 \times 10^{-12} \text{ J}$**  avec deux chiffres significatifs.

La valeur négative de  $E$  s'explique par le fait que le noyau de radium libère de l'énergie lors de sa désintégration. Cette énergie est comptée négativement pour le noyau de radium. En revanche, le milieu extérieur reçoit une énergie de  $1,1 \times 10^{-12} \text{ J}$  : elle est alors comptée positivement.

**1.4.1.** Un noyau de radium a une masse :

$$m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 225,9791 \text{ u} = 225,9791 \times 1,66606 \times 10^{-27} = 3,76495 \times 10^{-25} \text{ kg} = 3,76495 \times 10^{-22} \text{ g}$$

$N$  noyaux de radium ont une masse de  $m = 1,00 \text{ g}$  donc :

$$N = \frac{m}{m(^{226}_{88}\text{Ra})}$$

$$N = \frac{1,00}{3,76495 \times 10^{-22}} = 2,65608 \times 10^{21} \approx \mathbf{2,66 \times 10^{21} \text{ noyaux.}}$$

**1.4.2.** De la relation  $A = \lambda \cdot N$  il vient :  $\lambda = \frac{A}{N}$  et de la relation  $\lambda \cdot t_{1/2} = \ln 2$  il vient :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

$$\text{ainsi } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\frac{A}{N}} = \frac{N \cdot \ln 2}{A}$$

$$t_{1/2} = \frac{2,65608 \times 10^{21} \times \ln 2}{3,70 \times 10^{10}} = 4,97582 \times 10^{10} \text{ s} = \frac{4,97582 \times 10^{10}}{365,25 \times 24 \times 3600} \text{ années} = 1576,74 \text{ années}$$

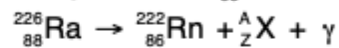
**$t_{1/2} = 1,58 \times 10^3 \text{ années}$** . On retrouve bien la valeur annoncée dans l'énoncé.

**1. La radioactivité naturelle**

**1.1.** Le becquerel est une unité de mesure utilisée en radioactivité qui correspond à **une désintégration par seconde**.

**1.2.1.** Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  est constitué de  **$Z = 88$  protons** et  **$A - Z = 226 - 88 = 138$  neutrons**.

**1.2.2.** Équation de la réaction de désintégration de  $^{226}_{88}\text{Ra}$  :



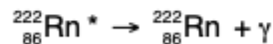
Conservation du nombre de nucléons :  $226 = 222 + A$  soit  $A = 226 - 22 = 4$

Conservation du nombre de charge :  $88 = 86 + Z$  soit  $Z = 88 - 86 = 2$

Comme  $Z = 2$ , il s'agit d'un **noyau d'hélium**  $^4_2\text{He}$  soit une **particule  $\alpha$** .

Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se désintègre selon une **radioactivité  $\alpha$** .

**1.2.3.** Lors de la désintégration du noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$ , le noyau de radon formé est dans un **état excité** noté  $^{222}_{86}\text{Rn}^*$ . Ce noyau se désexcite en émettant un **rayonnement  $\gamma$**  selon :



**1.3.** Energie libérée lors de la désintégration :

$$E = (m_{\text{après}} - m_{\text{avant}}) \cdot c^2$$

$$= [m(^{222}_{86}\text{Rn}) + m(^4_2\text{He}) - m(^{226}_{88}\text{Ra})] \cdot c^2$$

$$= (221,9703 + 4,00150 - 225,9791) \cdot 1,66606 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$= -0,0073 \times 1,66606 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$= -1,0946 \times 10^{-12} \text{ J}$$

**$E \approx -1,1 \times 10^{-12} \text{ J}$**  avec deux chiffres significatifs.

La valeur négative de  $E$  s'explique par le fait que le noyau de radium libère de l'énergie lors de sa désintégration. Cette énergie est comptée négativement pour le noyau de radium. En revanche, le milieu extérieur reçoit une énergie de  $1,1 \times 10^{-12} \text{ J}$  : elle est alors comptée positivement.

**1.4.1.** Un noyau de radium a une masse :

$$m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 225,9791 \text{ u} = 225,9791 \times 1,66606 \times 10^{-27} = 3,76495 \times 10^{-25} \text{ kg} = 3,76495 \times 10^{-22} \text{ g}$$

$N$  noyaux de radium ont une masse de  $m = 1,00 \text{ g}$  donc :

$$N = \frac{m}{m(^{226}_{88}\text{Ra})}$$

$$N = \frac{1,00}{3,76495 \times 10^{-22}} = 2,65608 \times 10^{21} \approx \mathbf{2,66 \times 10^{21} \text{ noyaux.}}$$

**1.4.2.** De la relation  $A = \lambda \cdot N$  il vient :  $\lambda = \frac{A}{N}$  et de la relation  $\lambda \cdot t_{1/2} = \ln 2$  il vient :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

$$\text{ainsi } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\frac{A}{N}} = \frac{N \cdot \ln 2}{A}$$

$$t_{1/2} = \frac{2,65608 \times 10^{21} \times \ln 2}{3,70 \times 10^{10}} = 4,97582 \times 10^{10} \text{ s} = \frac{4,97582 \times 10^{10}}{365,25 \times 24 \times 3600} \text{ années} = 1576,74 \text{ années}$$

**$t_{1/2} = 1,58 \times 10^3 \text{ années}$** . On retrouve bien la valeur annoncée dans l'énoncé.

## Exercice 2

### 3. Quelques expériences associées à la mission Apollo

**3.1. (0,25)** En supposant que l'âge de la Lune est du même ordre de grandeur que l'âge de la Terre (quelques milliards d'années), le radioélément adapté à la mesure de l'âge de la Lune est le **potassium 40**. En effet la demi-vie du potassium 40 est de 1 milliard d'années : elle est bien du même ordre de grandeur que l'âge supposé de la Lune.

Les deux autres radioéléments ont des demi-vies beaucoup trop courtes pour être adaptés à cette mesure.

**3.2. (0,25)**  ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + {}^0_1\text{e}^-$  (désintégration  $\beta^+$ ).

**3.3. (0,25)** Loi de décroissance radioactive :  $N_K(t) = N_K(0) \cdot e^{-\lambda t}$  où  $\lambda$  est la constante de désintégration radioactive

**3.4. (0,25) temps de demi-vie  $t_{1/2}$**  d'un échantillon radioactif : durée au bout de laquelle la moitié d'une population de noyaux radioactifs a été désintégrée.

D'après la définition précédente :  $N_K(t_{1/2}) = \frac{N_K(0)}{2} \Leftrightarrow N_K(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_K(0)}{2}$

$$\Leftrightarrow e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2} \quad \Leftrightarrow e^{\lambda \cdot t_{1/2}} = 2 \quad \Leftrightarrow \ln(e^{\lambda \cdot t_{1/2}}) = \ln 2 \quad \text{ainsi} \quad \lambda \cdot t_{1/2} = \ln 2$$

**(0,5) finalement :**  $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

**(0,25) A.N :**  $\lambda = \frac{\ln 2}{1,26 \times 10^9} = 5,50 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ .

**3.5.**  $N_K(t) = N_K(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  donc :  $e^{-\lambda \cdot t} = \frac{N_K(t)}{N_K(0)} \Leftrightarrow e^{\lambda \cdot t} = \frac{N_K(0)}{N_K(t)}$

$$\ln(e^{\lambda \cdot t}) = \ln\left(\frac{N_K(0)}{N_K(t)}\right) \Leftrightarrow t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(\frac{N_K(0)}{N_K(t)}\right)$$

**(0,25)** Or  $N_K(0) = N_K(t) + N_{Ar}(t)$  donc  $t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(\frac{N_K(t) + N_{Ar}(t)}{N_K(t)}\right) \Leftrightarrow t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{N_{Ar}(t)}{N_K(t)}\right)$

**(0,25) A.N :**  $t = \frac{1}{5,50 \times 10^{-10}} \times \ln\left(1 + \frac{2,3 \times 10^{17}}{2,4 \times 10^{16}}\right) = 4,3 \times 10^9 \text{ ans} = 4,3 \text{ milliards d'années.}$



### Exercice 3

**2008 National Exercice III. La Terre, une machine thermique (4 points)**

**Correction © <http://labolycee.org>**

#### 1. Transfert thermique et radioactivité du globe terrestre.

##### 1.1. Le potassium 40 et le diagramme (N,Z).

1.1.1. Les noyaux stables se situent sur la droite d'équation  $N = Z$ .

1.1.2.

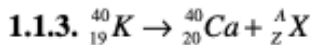
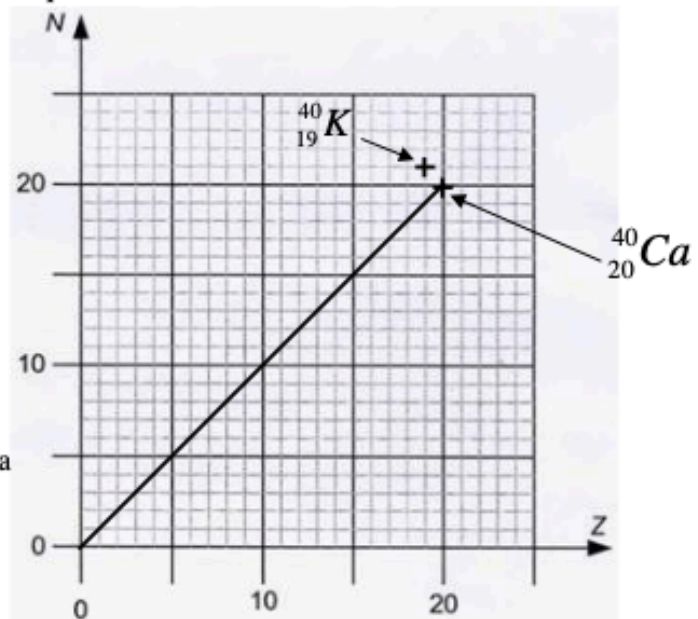
$$N = A - Z$$

Pour  ${}^{40}_{19}\text{K}$ ,  $N = 21$  ;

pour  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  $N = 20$ .

Le noyau de  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  est situé sur la droite  $Z=N$ ,  
c'est un **noyau stable**.

Tandis que le noyau  ${}^{40}_{19}\text{K}$  est situé au dessus de la  
droite, ce noyau est **instable**.



D'après la conservation de la charge électrique :  $19 = 20 + Z$ , soit  $Z = 19 - 20 = -1$

D'après la conservation du nombre de nucléons :  $40 = 40 + A$ , soit  $A = 0$ .

On a donc  ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^0_{-1}\text{e}$ , libération d'un électron. Il s'agit d'une désintégration de **type  $\beta^-$** .

#### 1.2. Autre désintégration du potassium 40.

1.2.1.  ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + {}^0_{+1}\text{e}$ , libération d'un positron. il s'agit d'une désintégration de **type  $\beta^+$** .

1.2.2. Variation d'énergie au cours de la désintégration :  $\Delta E = (m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})).c^2$

$$\Delta E = (m_e + m(\text{Ar}) - m(\text{K})).c^2$$

$$\Delta E = (9,1 \times 10^{-31} + 6,635913 \times 10^{-26} - 6,636182 \times 10^{-26}) \times (3,0 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = -1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \text{ donc } 1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{-1,6 \times 10^{-13}}{1,6 \times 10^{-13}} = -1,0 \text{ MeV}$$

Le noyau de potassium cède de l'énergie au milieu extérieur ( $\Delta E < 0$ ).

Si on considère le système milieu extérieur, on peut dire qu'il reçoit 1,0 MeV ( ou  $1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$  ).

## Exercice 4

### Production du thallium 201.

Le thallium naturel  ${}^{A}_{81}\text{Tl}$  est composé de thallium 203 et de thallium 205 à raison respectivement de 29,5 % et 70,5 % en masse.

**Indiquer le nombre de protons et de neutrons contenus dans chacun de ces noyaux.**

${}^{203}_{81}\text{Tl}$  : 81 protons ;  $203-81=122$  neutrons ;  ${}^{205}_{81}\text{Tl}$  : 81 protons ;  $205-81=124$  neutrons .

**Expliquer pourquoi ces noyaux sont des isotopes.**

Ils possèdent le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons différents.

On bombarde par un flux de protons une cible de thallium. Le thallium 203 se transforme en plomb 201 selon :



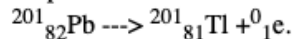
**En énonçant les lois utilisées, identifier la particule X.**

Conservation de la charge :  $81 + 1 = 82 + 3y$  ;  $y = 0$ .

Conservation du nombre de nucléons :  $203 + 1 = 201 + 3x$  d'où  $x = 1$  ; X est un neutron  ${}^1_0\text{n}$ .

Le plomb 201 précédemment obtenu subit spontanément une désintégration radioactive  $\beta^+$  pour former le thallium 201.

**Ecrire l'équation de la désintégration du noyau de plomb 201 en thallium 201.** On supposera que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité.



### La désintégration du thallium 201.

On donne  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  ;  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$  ;  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

Lors de la désintégration du thallium 201 un des rayonnements émis possède une énergie  $E = 135 \text{ keV}$ .

**Donner l'expression littérale de la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide en fonction de  $E$ ,  $h$  et  $c$ .**

$$\lambda = hc / E.$$

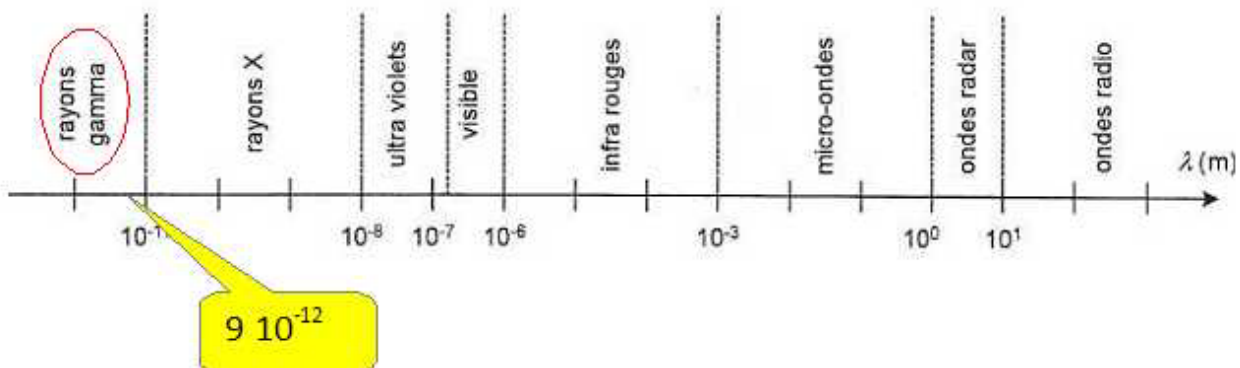
**Calculer la longueur d'onde  $\lambda$ .**  $E = 135 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,16 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ .

$$\lambda = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8 / 2,16 \cdot 10^{-14} = 9,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}.$$

La figure ci-dessous représente les différents domaines du spectre des ondes électromagnétiques.

**A quel domaine du spectre appartient le rayonnement émis ?**

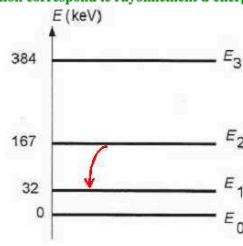
**A quel domaine du spectre appartient le rayonnement émis ?**



" Cet élément radioactif, émetteur gamma " : en accord avec le texte introductif.

Le processus de désintégration du thallium 201 s'effectue en plusieurs étapes. On obtient un noyau excité de mercure  $\text{Hg}^*$  qui se désexcite en émettant le rayonnement d'énergie  $E = 135 \text{ keV}$ . Dans un noyau, il existe des niveaux d'énergie comme dans le cortège électronique d'un atome. On a représenté le diagramme énergétique du noyau de mercure.

**A quelle transition correspond le rayonnement d'énergie  $E = 135 \text{ keV}$  ?**



### Scintigraphie myocardique.

On donne : constante radioactive du thallium 201 :  $\lambda = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  ;  $M(\text{TI}) = 201,0 \text{ g/mol}$  ; loi de décroissance radioactive  $A = A_0 \exp(-\lambda t)$ .

Relation entre activité  $A$  et nombre de noyaux  $N$  :  $A = \lambda N$  ;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Lors d'une scintigraphie myocardique, on utilise une solution de chlorure de thallium 201 dont l'activité volumique  $A_v$  est de  $37 \text{ MBq mL}^{-1}$ . Cet examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une solution d'activité  $A_0 = 78 \text{ MBq}$  chez un individu de  $70 \text{ kg}$ . On visualise les premières images du cœur grâce à une gamma-caméra à scintillations quelques minutes seulement après l'injection.

**Calculer le volume  $V$  de solution d'activité  $A_0$  à injecter.**

$$V = 78 / 37 = 2,1 \text{ mL.}$$

**Montrer que le nombre initial de noyaux de thallium 201 est  $N_0 = 3,0 \cdot 10^{13}$ .**

$$N_0 = A_0 / \lambda = 78 \cdot 10^6 / 2,6 \cdot 10^{-6} = 3,0 \cdot 10^{13}.$$

**En déduire la masse  $m_0$  de thallium correspondante.**

$$n = N_0 / N_A = 3,0 \cdot 10^{13} / 6,02 \cdot 10^{23} = 4,98 \cdot 10^{-11} \text{ mol.}$$

$$m_0 = n M(\text{TI}) = 4,98 \cdot 10^{-11} \cdot 201 = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ g} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mg.}$$

Le thallium présentant une certaine toxicité, une dose limite a été fixée. Elle est de  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  par unité de masse corporelle.

**Vérifier que la dose injectée au patient ne présente pas de danger.**

$$1,0 \cdot 10^{-5} / 70 = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ mg kg}^{-1}, \text{ valeur très inférieure à } 15 \text{ mg kg}^{-1}.$$

**Vérifier que le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  du thallium 201 vaut 75 heures.**

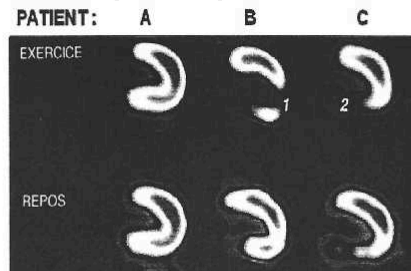
$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda = \ln 2 / 2,6 \cdot 10^{-6} = 2,67 \cdot 10^5 \text{ s ou } 74 \text{ heures.}$$

On estime que les résultats de l'examen sont exploitables tant que l'activité du traceur est supérieure à  $3 \text{ MBq}$ .

**Déterminer au bout de combien de jours une nouvelle injection est nécessaire.**

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) ; \ln(A_0 / A) = \lambda t ; t = \ln(A_0 / A) / \lambda = \ln(78 / 3) / 2,6 \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^6 \text{ s ou } 348 \text{ heures ou environ } 15 \text{ jours.}$$

Après injection de la solution de chlorure de thallium 201, l'examen médical consiste pour le patient à produire un effort lors d'un exercice physique pendant lequel une gamma-caméra prend des images de son cœur. Une autre série d'images est prise deux heures plus tard lorsque le patient est au repos. La figure suivante montre les résultats d'une scintigraphie myocardique sur trois patients différents A, B et C. Le patient A est en parfaite santé.



Les zones claires sur les images représentent les cellules saines du cœur qui fixent le thallium 201.

**En vous aidant du texte introductif, dire si le diagnostic médical pour le patient B est une ischémie coronaire ou un infarctus du myocarde. Justifier.**

B : de nombreuses cellules qui constituent le muscle cardiaque sont détruites ( ce qui correspond à un infarctus du myocarde ).

**Même question pour le patient C. Justifier.**

C : les cellules sont encore vivantes mais souffrent du manque d'oxygène dû à une réduction de l'irrigation sanguine ( ce qui correspond à une ischémie coronaire ).

## Exercice 5

**EXERCICE II. LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE ET PROVOQUÉE DE L'URANIUM**

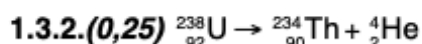
**1.1.(0,25)** Un noyau radioactif est un noyau **instable** qui peut se désintégrer en donnant un nouveau noyau plus stable.

**1.2.1.(0,25)** Des noyaux sont isotopes s'ils ont le **même nombre de protons** mais un **nombre de neutrons différent** (ou nombre de nucléons).

**1.2.2.(0,25)** Tous les noyaux d'uranium contiennent **92 protons**.

Mais l'uranium 235 possède **143 neutrons** ( $A - Z = 235 - 92$ ) tandis que l'uranium 238 en possède **146** ( $238 - 92$ ).

**1.3.1.(0,25)** Au cours d'une réaction nucléaire il y a conservation du **nombre de charges** et conservation du **nombre de nucléons**.



**1.3.3. (0,125)** Il se forme un noyau d'hélium (particule  $\alpha$ ), c'est une **radioactivité de type alpha**.



**(0,125)** La particule émise est un **électron**.

**1.4.1.(0,25)** Le temps de demi-vie d'un échantillon de noyaux radioactifs est égal à la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

**1.4.2. (0,5)** On a alors  $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

soit  $N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$

$$e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$\ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}) = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$-\lambda \cdot t_{1/2} = -\ln 2$$

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

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

**1.4.3.(0,25)**  $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{4,5 \times 10^9} = 1,5 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{4,5 \times 10^9 \times 365,25 \times 24 \times 3600} = 4,9 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

**1.5.1.(0,25)** L'activité A radioactive est égale au nombre moyen de désintégrations par seconde. Elle s'exprime en becquerels.

**1.5.2. (0,125)** Un becquerel (Bq) représente une désintégration par seconde.



1.5.3. (0,375)  $N_0 = \frac{A_0}{\lambda}$

$N_0 = \frac{9000}{4,9 \times 10^{-18}} = 1,8 \times 10^{21}$  noyaux, son ordre de grandeur est bien de  $10^{21}$ .

1.5.4. (0,25)  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$

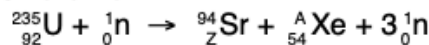
$A(10) = 9000 \times e^{-1,5 \times 10^{-10} \times 10} = 9,0 \times 10^3$  Bq (il faut utiliser la valeur de  $\lambda$  en  $an^{-1}$ )

$A(100) = 9000 \times e^{-1,5 \times 10^{-10} \times 100} = 9,0 \times 10^3$  Bq

1.5.5. (0,125) L'activité de cette pierre **diminue très lentement**.

1.5.6. (0,125) L'inhalation prolongée de poussières issues d'une telle pierre peut entraîner des **cancers** ou/et des **leucémies**.

2. La radioactivité provoquée de l'uranium :



2.1. (0,125) Un « gros » noyau se transforme en des noyaux plus légers et plus stables, il s'agit d'une **fission**.

2.2. (0,25) D'après les lois de Soddy :

$235 + 1 = 94 + A + 3 \times 1$   $A = 236 - 97 = 139$

$92 = Z + 54$   $Z = 92 - 54 = 38$

2.3.1. (0,125)  $E = m \cdot c^2$

E : énergie de masse en J

m : masse de la particule en kg

c : célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

2.3.2. (0,25)  $\Delta E = (\Sigma m_{\text{finales}} - \Sigma m_{\text{initiales}}) \cdot c^2$

$\Delta E = [m(\text{Sr}) + m(\text{Xe}) + 3 \cdot m(\text{n}) - m(\text{U}) - m(\text{n})] \cdot c^2$

$\Delta E = [m(\text{Sr}) + m(\text{Xe}) + 2 \cdot m(\text{n}) - m(\text{U})] \cdot c^2$

2.3.3. (0,5)  $\Delta E = (93,8946 + 138,888 + 2 \times 1,00866 - 235,120) \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$

$\Delta E = -0,32008 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$

$\Delta E = -4,78 \times 10^{-11}$  J

$\Delta E = \frac{-4,78 \times 10^{-11}}{1,60 \times 10^{-13}} = -299$  MeV

2.4. (0,25) La variation d'énergie obtenue est négative pour le système {noyaux et neutrons}, il perd donc de l'énergie qui est **fournie au milieu extérieur**. Le système libère de l'**énergie**.