

Terminale Spécialité Physique- Chimie	Thème : Constitution et transformations de la matière	M.KUNST-MEDICA MAJ 07/2024	
<b>Chapitre 16 : Évolution temporelle d'une transformation nucléaire</b>		Cours livre p 115 à 118	
<b>Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....</b>			
<b>Mon livret « plan de travail et parcours d'exercices ».</b> <b>A remettre au professeur le jour du DS avec les feuilles d'exercices</b> <b>Site internet : <a href="http://www.lasallesciences.com">http://www.lasallesciences.com</a></b>			

## Les « attendus » du chapitre

Bilan	Mon opinion	Avis du professeur après le DS
<b>AD 16.1 : La vallée de la stabilité</b>		
Déterminer, à partir d'un diagramme (N, Z), les isotopes radioactifs d'un élément.		
Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité.		
Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical.		
<b>AD 16.2 : Tchernobyl</b>		
Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs.		
Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive.		
Capacité mathématique : Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants.		
<b>AD 16.3 : Dater un évènement à l'aide de noyaux radioactifs et l'AD 16.4 : La protection contre les rayonnements ionisants.</b>		
Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater l'évènement.		
Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical.		
Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections.		

# Les bons réflexes pour les exercices

Si l'énoncé demande de...

Il est nécessaire de...

Trouver le type de désintégration radioactive, et le noyau fils à partir de la donnée du noyau père et du diagramme  $(N, Z)$ .

### Réflexe 1

→ Ex. 11 p. 123

- Lire dans la case associée au noyau père, le type de radioactivité.
- Dédurre la case du noyau fils à partir de la radioactivité du noyau père. Depuis la case du noyau père :
  - si radioactivité  $\alpha$  : décaler de deux cases vers la gauche (perte de deux neutrons) puis deux cases vers le bas (perte de deux protons) ;
  - si radioactivité  $\beta^-$  : décaler d'une case vers la gauche (perte d'un neutron) puis d'une case vers le haut (gain d'un proton) ;
  - si radioactivité  $\beta^+$  : décaler d'une case vers la droite (gain d'un neutron) puis d'une case vers le bas (perte d'un proton).

Écrire une équation de désintégration radioactive, puis identifier un type de radioactivité.

### Réflexe 2

→ Ex. 7 et 9 p. 122

- Placer les écritures conventionnelles du noyau père à gauche de la flèche, du noyau fils et de la particule à droite de la flèche.
- Assurer la conservation du nombre de masse  $A$  et du nombre de charge  $Z$ .
- Identifier si nécessaire les noyaux (avec le tableau périodique des éléments) ou la particule ( ${}_{-1}^0\text{e}$  ;  ${}^0_1\text{e}$  ;  ${}^4_2\text{He}$ ).
- Identifier le type de radioactivité :  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\alpha$ .

Exploiter une loi de décroissance radioactive pour trouver une durée ou un nombre de noyaux radioactifs encore présents.

### Réflexe 3

→ Ex. 15 p. 123

- Écrire la loi de décroissance radioactive.
- Isoler la grandeur que l'on doit trouver :
  - le nombre de noyaux radioactifs encore présents  $N(t)$  ;
  - le temps écoulé  $t$  en utilisant la fonction réciproque de l'exponentielle : le logarithme népérien.
- Calculer la valeur de  $N(t)$  ou de  $t$ .

## Côté maths

### Côté maths 3 : Résoudre une équation différentielle du premier ordre

#### Côté maths

La fonction  $f$  vérifie l'équation différentielle suivante :

$$f'(x) + a \times f(x) = 0$$

La condition initiale est  $f(0) = 3$ .

1. Donner l'expression de la solution de l'équation différentielle.
2. Déterminer la solution de cette équation, compte tenu de la condition initiale et de la condition aux limites.

#### Méthode

1.  $f'(x) + a \times f(x) = 0 \Leftrightarrow f'(x) = -a \times f(x)$   
Donc la fonction dérivée  $f'$  est proportionnelle à la fonction  $f$ .  
La solution est donc de la forme  $f(x) = K \times \exp(-ax)$ .
2. On utilise la condition initiale :  
 $f(0) = 3 \Leftrightarrow K \times \exp(0) = 3 \Leftrightarrow K = 3$   
La solution s'écrit  $f(x) = 3 \times \exp(-ax)$ .

#### Côté physique & chimie

Un échantillon contient initialement  $N_0 = 3 \times 10^9$  noyaux radioactifs dont la constante radioactive est  $\lambda$ .

Le nombre de noyaux radioactifs encore présents à l'instant  $t$  est noté  $N(t)$ .

1. Donner l'expression de l'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$ .
2. Exprimer  $N(t)$  en fonction de  $\lambda$  et  $t$ .

#### Méthode

1. L'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$  s'écrit :

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

La fonction dérivée  $\frac{dN(t)}{dt}$  est proportionnelle à la fonction  $N$ . La solution est donc de la forme  $N(t) = K \times \exp(-\lambda t)$ .

2. On utilise la condition initiale :  
 $N(0) = N_0 \Leftrightarrow K = N_0 = 3 \times 10^9$   
La solution s'écrit  $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$   
soit  $N(t) = 3 \times 10^9 \times \exp(-\lambda t)$ .

#### À retenir !

La solution d'une équation différentielle de la forme  $f'(x) + a \times f(x) = 0$ , avec pour condition initiale  $f(0) = K$ , a pour unique solution  $f(x) = K \times \exp(-ax)$ .

# La vidéo du chapitre



<https://www.youtube.com/watch?v=Xe1qHFb49wk>

**Vidéo : Bilan de cours l'évolution temporelle d'une transformation nucléaire (Stella)**

## Le plan de travail (Surligner les étapes réalisées)

### AD 16.1 : La vallée de la stabilité

Étudier le « I et II » du cours – « Noyaux radioactifs et « Types de radioactivité »  
Lire et comprendre la correction de l'AD 16.1

## Exercices d'application : Livre Hachette éducation : 3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 p 122

**1 La désintégration radioactive**  
VIDÉO DE COURS Équation de réaction nucléaire – QR Code p. 118

**3 Reconnaître des particules**  
Mobiliser ses connaissances.  
Associer chacune des particules à son symbole.

Électron    Positron     ${}^0_{-1}e$   
Noyau d'hélium 4     ${}^0_1e$      ${}^4_2He$

**4 Identifier une particule**  
Mobiliser ses connaissances.  
Un noyau de plutonium 239 se désintègre en un noyau d'uranium 235 en émettant une particule portant une charge électrique égale à +2e, e étant la charge électrique élémentaire.  
Identifier cette particule.

**7 Écrire une équation de réaction nucléaire**  
Utiliser un modèle.  
Le polonium 211 est un noyau radioactif qui se désintègre en émettant un noyau d'hélium 4.  
Écrire l'équation associée à cette désintégration radioactive. Utiliser le réflexe 2

**Données**  
Plomb Pb (Z = 82) ; bismuth Bi (Z = 83) ; polonium Po (Z = 84) ; astate At (Z = 85).

**8 Écrire une équation de réaction nucléaire**  
Rédiger une explication.  
Écrire des équations de réaction de désintégration radioactive du plomb 200, du plutonium 239 et de l'azote 17 en associant des étiquettes ci-dessous. Justifier.

${}^{239}_{94}Pu$      ${}^{200}_{82}Pb$      ${}^4_2He$      ${}^{17}_7N$   
 ${}^0_1e$      ${}^{235}_{92}U$      ${}^0_{-1}e$      ${}^{200}_{81}Tl$

**5 Utiliser les lois de conservation (1)**  
Restituer et mobiliser ses connaissances.  
1. Énoncer les lois de conservation à appliquer pour établir l'équation d'une réaction nucléaire.  
2. Recopier et compléter les équations de désintégration radioactives suivantes en déterminant A et Z. Nommer la particule émise.

a.  ${}^{189}_{82}Pb \rightarrow {}^{189}_{81}Tl + {}^A_Ze$     b.  ${}^{210}_{90}Th \rightarrow {}^A_ZRa + {}^4_2He$   
c.  ${}^{13}_5B \rightarrow {}^{13}_6C + {}^A_Ze$     d.  ${}^A_ZC \rightarrow {}^{11}_5B + {}^0_1e$

**6 Utiliser les lois de conservation (2)**  
Exploiter un schéma.  
Le plomb 186 est un noyau radioactif dont la désintégration radioactive peut être décrite par le schéma ci-dessous :  
Établir l'équation de désintégration.

${}^{186}_{82}Pb$  →  ${}^4_2He$  +  ${}^A_ZHg$

**9 Déterminer un type de radioactivité**  
Utiliser un modèle.  
Le phosphore 32 est radioactif et sa désintégration produit un noyau de soufre 32.  
1. Établir l'équation de la réaction de désintégration radioactive du phosphore 32.  
2. Identifier le type de radioactivité. Utiliser le réflexe 2

**Données**  
Phosphore P (Z = 15) ; soufre S (Z = 16).

**10 Identifier un type de radioactivité**  
Rédiger une explication.  
Préciser pour chacune des désintégrations radioactives évoquées dans les étiquettes suivantes, le type de radioactivité correspondant. Expliquer la démarche.

${}^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{214}_{82}Pb$      ${}^{123}_{53}I \rightarrow {}^{123}_{52}Te$      ${}^{40}_{19}K \rightarrow {}^{40}_{20}Ca$

**Données**  
Potassium K (Z = 19) ; calcium Ca (Z = 20) ; tellure Te (Z = 52) ; iode I (Z = 53) ; plomb Pb (Z = 82) ; polonium Po (Z = 84).

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

Exploiter des informations.

- Préciser à partir de l'extrait du diagramme (N, Z) la stabilité ou l'instabilité des isotopes de l'aluminium, en précisant le type de radioactivité le cas échéant.

Utiliser le réflexe 1

$^{26}_{13}\text{Al}$ $\beta^+ = 100\%$	$^{27}_{13}\text{Al}$ Stable Abondance = 100%	$^{28}_{13}\text{Al}$ $\beta^- = 100\%$
--	---	--

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

Rédiger une explication.

On donne un extrait du diagramme (N, Z). On représente par des flèches des transitions d'un noyau vers un autre.

$^{182}\text{Pb}$ $\alpha = 98\%$	$^{183}\text{Pb}$ $\alpha = 100\%$	$^{184}\text{Pb}$ $\alpha = 80\%$
$^{181}\text{Tl}$ $\beta^+ = 90\%$	$^{182}\text{Tl}$ $\beta^+ = 100\%$	$^{183}\text{Tl}$ $\beta^+ = 100\%$
$^{180}\text{Hg}$ $\beta^+ = 52\%$	$^{181}\text{Hg}$ $\beta^+ = 73\%$	$^{182}\text{Hg}$ $\beta^+ = 86,2\%$

- Pour chaque élément chimique (plomb, thallium, mercure), préciser le type de radioactivité associée.

- Parmi les transitions symbolisées par les flèches de couleur, une seule correspond à la désintégration du plomb 184. Identifier le noyau fils formé. Justifier.

#### Données

Mercurie Hg (Z = 80) ; thallium Tl (Z = 81) ; plomb Pb (Z = 82).

## A faire après l'AD 16.2 : Tchernobyl

Lire la correction de l'AD 19.2

Étudier le « III » du cours – « Loi de décroissance radioactive »

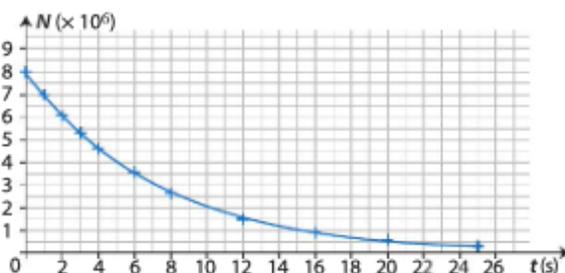
### Exercices d'application :

Livre Hachette éducation : 13-14-15-16-17-18 p 123 à 124

### 13 Déterminer un nombre de noyaux radioactifs

Exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon contenant des noyaux radioactifs est fournie ci-dessous :



- Déterminer le nombre initial de noyaux radioactifs dans l'échantillon.
- Déterminer le nombre de noyaux radioactifs encore présents aux dates  $t = 5\text{ s}$ ,  $10\text{ s}$ ,  $15\text{ s}$ .
- Justifier que la demi-vie des noyaux radioactifs est égale à  $5\text{ s}$ .

### 14 Calculer un nombre de noyaux radioactifs

Restituer ses connaissances ; effectuer des calculs.

Un échantillon contient initialement :

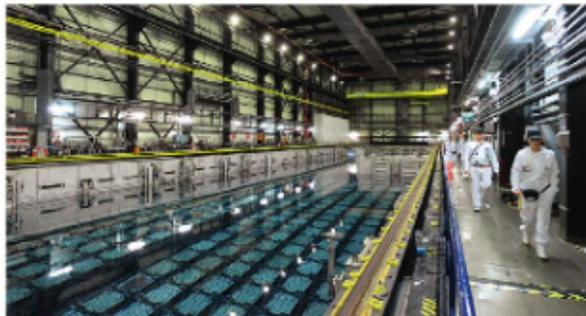
$N_0 = 1,0 \times 10^8$  noyaux radioactifs de constante radioactive  $\lambda = 2,0 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ .

- Écrire la loi de décroissance radioactive.
- Calculer le nombre de noyaux radioactifs encore présents aux dates  $t = 5,0 \times 10^4\text{ s}$  et  $5,0 \times 10^6\text{ s}$ .
- Situer ces deux dates par rapport à la demi-vie.

### 15 Calculer une durée

Effectuer des calculs.

Le tritium est contenu dans les résidus radioactifs issus de l'exploitation des centrales nucléaires. Sa constante de désintégration radioactive est égale à  $\lambda = 1,8 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ .



> Piscine de refroidissement des déchets à la Hague

1. Exprimer la durée  $t$  en fonction du nombre de noyaux radioactifs encore présents, de la constante de désintégration radioactive et du nombre de noyaux initialement présents.

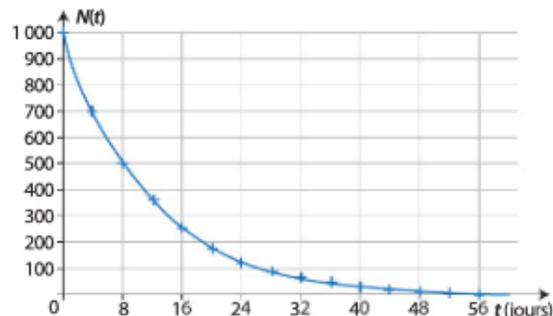
Utiliser le réflexe E

2. Calculer cette durée en seconde puis en années pour que le nombre de noyaux radioactifs encore présents soit égal à 1 % du nombre initial de noyaux.

### 16 Déterminer une durée

Exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon radioactif est fournie ci-dessous :



1. Déterminer la durée au bout de laquelle 60 % des noyaux radioactifs se sont désintégrés.

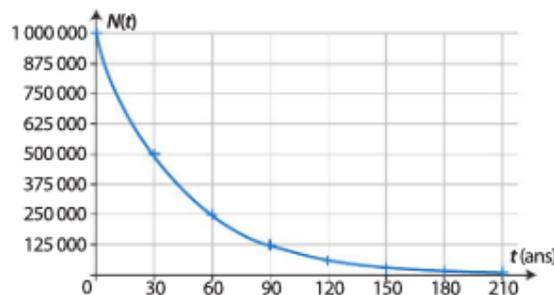
2. Estimer la durée au bout de laquelle il n'y a plus de noyau radioactif dans l'échantillon.

3. À combien de demi-vie cette durée correspond-elle ?

### 17 Déterminer une demi-vie

Restituer ses connaissances ; exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon de césium 137 est la suivante :



1. Rappeler la définition de la demi-vie d'un noyau radioactif.

2. Déterminer graphiquement la demi-vie du césium 137.

3. En déduire la constante radioactive du césium 137 en  $\text{s}^{-1}$ .

### 18 Utiliser une demi-vie

Effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Un échantillon est composé de bore 17 dont la constante radioactive est égale à  $1,4 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ . Le tableau ci-dessous indique le nombre de noyaux radioactifs encore présents à une date donnée.

Durée (ms)	0,0	5,0	10,0	
$N(t)$	$2,00 \times 10^8$			$1,25 \times 10^7$

• Recopier et compléter le tableau en justifiant.

## A faire après l'AD 16.3 : Dater un événement et l'AD 16.4 : La protection contre les rayonnements ionisants.

Lire et comprendre les corrections de l'AD 16.3 et de l'AD 16.4

Étudier la partie « IV » du cours – « La radioactivité au quotidien »

### Exercices d'application :

**Livre Hachette éducation : 19-20-21-22 p 124-125**

#### 19 Utiliser une activité

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

L'activité d'un échantillon d'un gramme de carbone d'une momie égyptienne d'un pharaon a été évaluée en 2019 à 600,0 Bq.



1. Écrire la loi vérifiée par l'activité d'un échantillon en fonction du temps  $t$ .

2. En déduire l'expression du temps  $t$  en fonction de l'activité mesurée en 2019 et de la demi-vie du carbone 14.

3. Estimer l'année de la mort du pharaon.

##### Données

- Activité d'un gramme de carbone d'une matière vivante :  $A_0 = 816,0$  Bq.
- Demi-vie du carbone 14 :  $t_{1/2} = 5\,734$  ans.

#### 20 Déterminer une activité

Restituer et mobiliser ses connaissances.

Une statuette en bois vieille de 2 000 ans a été découverte lors de fouilles archéologiques.

- Calculer l'activité d'un gramme de carbone de cette statuette.

##### Données

- Activité d'un gramme de carbone d'une matière vivante :  $A_0 = 816,0$  Bq.
- Demi-vie du carbone 14 :  $t_{1/2} = 5\,734$  ans.

#### 21 Mesures de radioprotection pour une scintigraphie

Exploiter des informations.

Le texte ci-dessous indique les mesures à prendre lors d'une scintigraphie :

Les mesures de protection du personnel comportent l'utilisation de containers et de protège-seringues plombés, ainsi que de gants lors de la préparation et de l'injection du radiopharmaceutique. L'utilisation d'écrans ou de tabliers plombés lors de la réalisation de l'examen sont préconisés.



D'après « La scintigraphie », Société Française de Médecine Nucléaire.

1. Citer les méthodes utilisées pour se protéger des rayonnements ionisants lors d'une scintigraphie.
2. Citer une raison expliquant que le plomb est un métal utilisé en radioprotection.

##### Données

La CDA (couche de demi-atténuation) est l'épaisseur d'une cible divisant par deux le flux de rayons gamma.

Métal	Aluminium	Cuivre	Étain	Plomb
CDA (cm)	5,1	4,8	1,6	1,0

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

Rédiger une explication.

Caractéristiques des écrans diminuant l'exposition à l'iode 131 :

Matériau de l'écran	Verre Pyrex®	Plexiglass	Verre plombé
Épaisseur pour l'arrêt de la particule $\beta$	1,6 mm	2,6 mm	0,5 mm
Épaisseur pour l'atténuation d'un facteur 10 du débit $\gamma$	244 mm	497 mm	11 mm

1. Déterminer s'il est plus facile d'arrêter la particule  $\beta$  ou le rayonnement  $\gamma$  émis par l'iode 131.
2. Proposer deux raisons expliquant pourquoi le verre plombé est utilisé dans les salles d'imagerie médicale.

# Faire les exercices résolus sans correction, puis corriger

## 1 Exercice résolu

### Un isotope radioactif de l'oxygène

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

L'oxygène 13 est un isotope radioactif de l'oxygène.

1. Déterminer le nombre de protons et de neutrons d'un atome d'oxygène 13.
2. Trouver le type de radioactivité associé à la désintégration de l'oxygène 13, et déterminer le noyau fils formé.
3. Établir l'équation de désintégration radioactive de l'oxygène 13.

$^{13}\text{O}$ $\beta^+ = 100\%$	$^{14}\text{O}$ $\beta^+ = 100\%$
$^{12}\text{N}$ $\beta^+ = 100\%$	$^{13}\text{N}$ $\beta^+ = 100\%$

#### Données

$Z(\text{N}) = 7$  ;  $Z(\text{O}) = 8$ .

#### Solution rédigée

- On utilise le **Réflexe 1**.

Identification, dans la case associée au noyau père, du type de radioactivité

Identification du noyau fils

1. Le nombre de protons est égal au nombre de charges  $Z$ , soit **8 protons**. Le nombre de neutrons est égal à  $A - Z$ , soit **5 neutrons**.

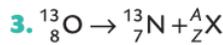
2. Dans la case associée à l'oxygène 13, on lit que la radioactivité est de type  $\beta^+$ .

Un positon est émis, donc le noyau père perd un proton et gagne un neutron. Pour identifier le noyau fils, on se décale d'une case vers la droite (gain d'un neutron) puis d'une case vers le bas (perte d'un proton) : il s'agit de **l'azote 13**.

- On utilise le **Réflexe 2**.

Écriture du noyau père à gauche, du noyau fils et de la particule à droite de la flèche

Application de la conservation du nombre de masse  $A$  et du nombre de charge  $Z$

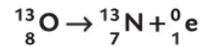


On applique la conservation :

– du nombre de masse :  $13 = 13 + A$  soit  $A = 13 - 13 = 0$

– du nombre de charge :  $8 = 7 + Z$  soit  $Z = 8 - 7 = 1$

L'équation de désintégration radioactive s'écrit :



## 2 Exercice résolu

### Un radioisotope pour étudier le cœur

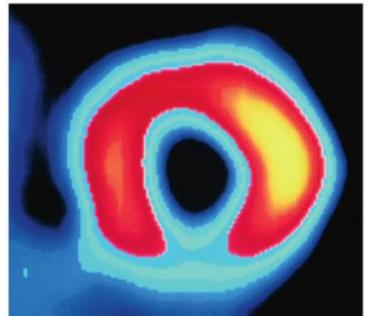
| Effectuer des calculs.

L'injection de thallium 201 permet de réaliser des images du cœur par scintigraphie. On considère un échantillon constitué de  $N_0 = 1\,000$  noyaux de thallium 201 à  $t = 0$  s.

1. Déterminer le nombre de noyaux présents au bout de 10,0 jours.
2. Déterminer à quelle date, il n'y a plus que 10 noyaux radioactifs.

#### Donnée

Constante radioactive du thallium 201 :  $\lambda = 2,4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .



> Image réalisée grâce au thallium 201

#### Solution rédigée

- On utilise le **Réflexe 3**.

Écriture de la loi de décroissance radioactive

Calcul de la valeur de  $N(t)$

1. La loi de décroissance radioactive s'écrit :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$$

On convertit  $t$  en seconde :  $t = 10,0 \times 24 \times 3\,600 = 8,64 \times 10^5$  s.

$N(t) = 1\,000 \times \exp(-2,4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \times 8,64 \times 10^5 \text{ s})$  soit  **$N = 125$  noyaux**.

- On utilise le **Réflexe 3**.

Écriture de la loi de décroissance radioactive

Isolement du temps écoulé  $t$

2. La loi de décroissance radioactive s'écrit :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$$

On isole le temps  $t$  :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t) \Leftrightarrow \frac{N(t)}{N_0} = \exp(-\lambda t) \Leftrightarrow \ln(\exp(-\lambda t)) = \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$$

$$\Leftrightarrow -\lambda \times t = \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) \Leftrightarrow t = \frac{-1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$$

Calcul de la valeur de  $t$

$$t = \frac{-1}{2,4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}} \times \ln\left(\frac{10}{1\,000}\right) = 1,9 \times 10^6 \text{ s} \text{ soit } t = 22 \text{ j.}$$

## Répondre au QCM de fin de chapitre

### 1 La désintégration radioactive



Si erreur, revoir § 1 p. 115

1. La désintégration radioactive d'un noyau s'accompagne toujours :	de la formation d'un noyau appartenant à un autre élément chimique.	de l'émission d'une particule.	de l'émission d'un électron.
2. Extrait du diagramme (N, Z) :			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; text-align: center;"> <b>34 S</b> Abondance = 4,25 %         </div> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 5px; text-align: center;"> <b>35 S</b> <math>\beta^- = 100\%</math> </div> </div>	Le soufre 34 ne se désintègre pas spontanément.	Le soufre 35 se désintègre en émettant un électron.	Le soufre 35 se transforme en émettant un positon.
3. La radioactivité $\beta^+$ correspond à l'émission :	d'un électron.	d'un positon.	d'un noyau d'hélium 4.
4. L'équation de désintégration radioactive de l'hydrogène 3 s'écrit :			
${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$ Il s'agit d'une radioactivité :	$\beta^+$	$\beta^-$	$\alpha$
5. L'équation de désintégration radioactive de l'uranium 238 s'écrit :	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^0_{-1}\text{e}$	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^0_1\text{e}$	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

### 2 La loi de décroissance radioactive



Si erreur, revoir § 2 p. 116

6. La loi de décroissance radioactive s'écrit :	$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$	$N(t) = \frac{\exp(-\lambda t)}{N_0}$	$N(t) = N_0 \times \exp(\lambda t)$
7. Le nombre de noyaux radioactifs restant au bout d'une durée égale à la demi-vie du noyau est égal à :	$N_0 \times \exp(-\lambda t_{1/2})$	$2 \times N_0$	$\frac{N_0}{2}$
8. La courbe de décroissance radioactive de $N_0$ noyaux dont la demi-vie est égale à 50 ans est :			

### 3 Applications et radioprotection



Si erreur, revoir § 3 p. 117

9. L'activité d'un échantillon radioactif a pour expression :	$A(t) = \frac{dN}{dt}$	$A(t) = -\frac{dN}{dt}$	$A(t) = \lambda \times N(t)$
10. Un échantillon dans lequel s'effectuent 600 désintégrations radioactives par minute a une activité égale à :	600 Bq	10 Bq	$3,60 \times 10^4$ Bq

## Faire les exercices type bac suivants de fin de chapitre

### Exercice 1 corrigé disponible

#### 1. La radioactivité naturelle

A partir des travaux d'Henri Becquerel sur l'uranium, c'est en 1898 que Marie et Pierre Curie découvrent la propriété atomique qu'ont certains éléments lourds d'émettre spontanément un rayonnement.

Marie Curie donnera le nom de radioactivité à cette propriété persistante dans tous les états chimiques et physiques de la matière.

C'est également en 1898 qu'ils annoncent la découverte de deux nouveaux éléments radioactifs : le polonium et le radium.

Leurs travaux seront couronnés par deux prix Nobel, l'un en 1903, l'autre en 1911.



#### Données :

- 1 an  $\approx 365,25$  j ; célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>
- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s
- 1 eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J
- Masse molaire du radium :  $M = 226,0$  g.mol<sup>-1</sup>

On rappelle la relation :  $\lambda t_{1/2} = \ln 2$ , où  $\lambda$  est la constante radioactive, et  $t_{1/2}$  la demi-vie.

1.1. Le becquerel est une unité de mesure utilisée en radioactivité, donner sa définition.

1.2. Le noyau de radium  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  se désintègre spontanément en donnant un noyau de radon  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  lui-même radioactif. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un rayonnement  $\gamma$  de longueur d'onde  $6,54 \times 10^{-12}$  m.

- 1.2.1. Donner la composition du noyau de radium.
- 1.2.2. Ecrire l'équation de la réaction de désintégration du radium et préciser le type de radioactivité.
- 1.2.3. Expliquer la présence du rayonnement  $\gamma$  émis lors de la désintégration du radium. Quelle information fournit-elle sur le noyau ?

1.3. L'activité d'un gramme de radium est égale à  $A = 3,70 \times 10^{10}$  Bq = 1 Curie.

1.3.1. Déterminer le nombre  $N$  de noyaux de radium présents dans l'échantillon de 1,00 g.

1.3.2. Calculer le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  du radium et vérifier que  $t_{1/2} = 1,58 \times 10^3$  années.

1.3.3. Au bout de combien de temps les  $\frac{3}{4}$  des noyaux de radium seront-ils désintégrés ?

## 2 - La radioactivité artificielle

Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent en 1934 la radioactivité artificielle, ce qui leur vaudra le prix Nobel de physique en 1935.

Ils ont notamment réussi la synthèse du phosphore 30 ( $^{30}_{15}\text{P}$ ), isotope radioactif du phosphore 31 ( $^{31}_{15}\text{P}$ ).

Le phosphore 30, produit artificiellement, se transforme spontanément par désintégration  $\beta^+$  en silicium 30 ( $^{30}_{14}\text{Si}$ ), noyau obtenu directement dans son état fondamental.

La diversité des radioéléments artificiels a permis leur utilisation dans les domaines de la médecine, la biologie, l'astrophysique, la géophysique, la radiothérapie, la datation...



### 2.1. Exploitation du texte

2.1.1. Quelle est la différence entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle ?

2.1.2. Pourquoi le phosphore 30 est-il dit isotope du phosphore 31 ?

### 2.2. Désintégration du phosphore 30

2.2.1. Donner le nom et le symbole de la particule émise lors d'une désintégration  $\beta^+$ .

2.2.2. Ecrire l'équation de la désintégration du phosphore 30 en indiquant les lois utilisées.

2.2.3. Y a-t-il émission d'un rayonnement lors de la désintégration du phosphore 30 ? Justifier.

## Exercice 2 corrigé disponible

Lors de la mission Apollo XI et des suivantes, du matériel scientifique a été déployé à la surface de la Lune afin de l'étudier. Des échantillons de roche lunaire ont également été ramenés sur Terre. De nombreuses méthodes de datation reposent sur la décroissance radioactive de certains radioéléments. Un radioélément est adapté à cette mesure si son temps de demi-vie est de l'ordre de grandeur de l'âge à déterminer.

3.1. Parmi les radioéléments ci-dessous, indiquer en justifiant celui qui pourrait être utilisé pour mesurer l'âge de la Lune.

isotope radioactif	ordre de grandeur du temps de demi-vie
iode 131	une dizaine de jours
plutonium 238	une centaine d'années
potassium 40	un milliard d'années

Pour déterminer l'âge des roches lunaires ramenées sur Terre par les astronautes, les physiciens ont mesuré expérimentalement les quantités relatives d'argon 40 gazeux et de potassium 40 solide emprisonnés dans la roche lunaire.

3.2. Le potassium  $^{40}_{19}\text{K}$  est un isotope radioactif. Il se désintègre en produisant de l'argon  $^{40}_{18}\text{Ar}$ . Écrire l'équation de désintégration nucléaire d'un noyau de potassium 40.

3.3. Donner l'expression du nombre  $N_K(t)$  de noyaux radioactifs de potassium 40 présents dans l'échantillon de roche lunaire à la date  $t$  en fonction du nombre initial  $N_K(0)$  de ces noyaux.

3.4. Donner la définition du temps de demi-vie d'un échantillon radioactif. Établir la relation liant la constante de désintégration radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie. Montrer que  $\lambda = 5,50 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$  pour le potassium 40 sachant que  $t_{1/2} = 1,26 \times 10^9$  ans.

3.5. Un échantillon de 1,0 g de roche lunaire analysé à la date  $t$  contient  $N_{Ar}(t) = 2,3 \times 10^{17}$  noyaux d'argon 40 et  $N_K(t) = 2,4 \times 10^{16}$  noyaux de potassium 40. En admettant que le potassium 40 ne subit que la désintégration de la question 3.2. et que la roche lunaire ne contenait pas d'argon 40 au moment de sa formation, on montre que  $N_K(0) = N_K(t) + N_{Ar}(t)$ .

Évaluer l'âge de cette roche lunaire.

## Exercice 3 corrigé disponible

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

Dès l'Antiquité, les premiers mineurs ont constaté que la température du sol augmente avec la profondeur. L'intérieur de la Terre est donc chaud. Comme le transfert thermique a toujours lieu des corps chauds vers les corps froids, il y a une fuite constante d'énergie de la Terre vers l'espace. Vers 1860, Lord Kelvin avait calculé le temps mis par le globe terrestre pour se refroidir complètement, à partir de la perte d'énergie constatée : quelques centaines de millions d'années au plus. Or la Terre est beaucoup plus vieille, et elle n'est pas froide. L'énergie qui s'échappe est donc, pour une grande part, produite par la Terre elle-même. C'est la radioactivité naturelle qui est à l'origine de l'essentiel de cette énergie. Toutes les couches de la Terre contiennent de l'uranium, du thorium et du potassium 40. Ces noyaux radioactifs produisent de l'énergie en se désintégrant.

D'après « Enseigner la géologie » Editions Nathan.

#### Données :

À l'état naturel, il existe trois isotopes du potassium : les isotopes 39, 40 et 41. Le potassium 40 est radioactif et se transforme en argon 40.

	argon $^{40}\text{Ar}$	potassium $^{40}\text{K}$	calcium $^{40}\text{Ca}$
Numéro atomique $Z$	18	19	20
Masse des noyaux (kg)	$m(\text{Ar}) = 6,635913 \times 10^{-26}$	$m(\text{K}) = 6,636182 \times 10^{-26}$	$m(\text{Ca}) = 6,635948 \times 10^{-26}$

Masse d'un électron et d'un positon (ou positron) :  $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  kg.

Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,0 \times 10^8$  m.s $^{-1}$ .

1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  J.

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

Les noyaux dont le numéro atomique  $Z \leq 20$  et tels que le nombre de neutrons  $N = Z$  sont stables (sauf exceptions).

1.1.1. Sur la figure représentée en **ANNEXE**, tracer la droite sur laquelle se situent ces noyaux stables.

1.1.2. Placer sur le diagramme (N, Z) les positions respectives des noyaux de potassium 40 et de calcium 40. À partir de ces positions, indiquer lesquels de ces noyaux sont stables ou instables.

1.1.3. Écrire l'équation de la désintégration du potassium 40 en calcium 40 en précisant les lois de conservation utilisées. Déterminer le type de radioactivité correspondant à cette désintégration.

## 1.2. Autre désintégration du potassium 40.

Le potassium 40 peut également se désintégrer en argon 40 selon l'équation  ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar} + {}_1^0\text{e}^-$ .

1.2.1. Quel est le type de radioactivité correspondant à cette désintégration ?

## 2. Évolution temporelle et dynamique interne du globe terrestre.

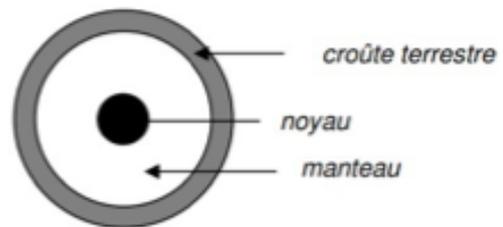
*L'énergie thermique produite par le globe terrestre est évacuée par des courants de convection dans le manteau qui se traduisent en surface par la tectonique des plaques.*

*Le nombre de noyaux radioactifs diminue régulièrement au cours du temps, par simple décroissance radioactive. Par exemple, la quantité d'uranium 238 présente dans la Terre diminue de moitié tous les 4,5 milliards d'années.*

*Mais la diminution du nombre de noyaux radioactifs dans le manteau s'est intensifiée il y a environ deux milliards d'années, à l'époque où s'est formée la majorité du matériel continental de la croûte terrestre. En effet, celui-ci intégra, au fur et à mesure de sa formation, une quantité croissante d'uranium, thorium et potassium, appauvrissant ainsi le manteau en noyaux radioactifs.*

*D'après « Enseigner la géologie » Editions Nathan.*

Schéma très simplifié du globe terrestre



2.1. Choisir le ou les adjectif(s) relatif(s) à la désintégration d'un noyau radioactif donné :

- a) prévisible dans le temps      b) spontanée      c) aléatoire.

2.2. « Le nombre de noyaux radioactifs ... diminue ... par simple décroissance radioactive ».

On s'intéresse à une espèce de noyaux radioactifs. On note  $N$  le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant  $t$ , et  $N_0$  le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant  $t_0$  choisi comme origine des dates. Soit  $\lambda$  la constante radioactive de l'ensemble des noyaux considérés.

2.2.1. Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive du nombre de noyaux  $N$  au cours du temps. Rappeler l'unité de la constante radioactive  $\lambda$  dans les unités du Système International.

2.2.2. Tracer l'allure de la courbe représentant les variations du nombre de noyaux  $N$  au cours du temps. Placer quelques points remarquables (au moins deux points).

2.2.3. À quel instant la décroissance radioactive est-elle la plus rapide ? Justifier à partir du graphique tracé.

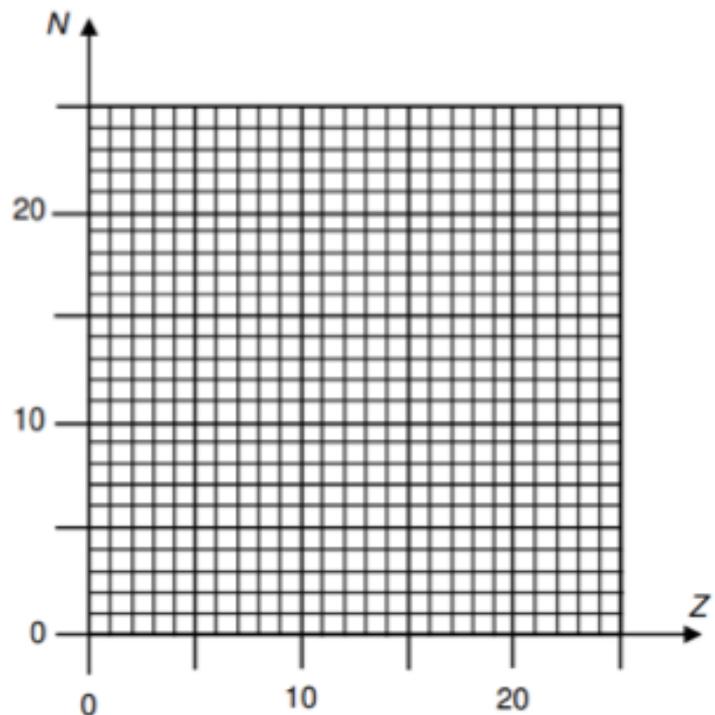
2.3. Déterminer, en utilisant le texte, la durée au bout de laquelle les trois quarts des noyaux d'uranium 238 présents aujourd'hui auront disparu par désintégration.

2.4. Choisir la proposition correcte en justifiant par une courte phrase issue en partie du texte introduisant cette partie 2.

La croissance des continents explique :

- a) l'augmentation du nombre de noyaux radioactifs dans le manteau
- b) une diminution plus rapide du nombre de noyaux radioactifs dans le manteau
- c) la décroissance radioactive par désintégration de l'uranium dans le manteau.

Le diagramme (N,Z)



## Exercice 4 corrigé disponible

Deux causes peuvent être à l'origine de douleurs cardiaques :

- soit les cellules qui constituent le muscle cardiaque sont détruites (ce qui correspond à un infarctus du myocarde) ;
- soit 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).

Pour son diagnostic, le cardiologue prescrit une scintigraphie myocardique au cours de laquelle du thallium 201 est injecté au patient par voie intraveineuse. En effet, cet élément radioactif, émetteur gamma, n'est fixé que par les cellules vivantes du cœur et son rayonnement de faible énergie est alors détecté par une gamma-caméra à scintillations.

*D'après un texte du mensuel Pour la Science*

Dans la première partie de cet exercice, on étudie la production de thallium 201 qui sert à la préparation de la solution que l'on injecte au patient lors de son examen. Dans la deuxième partie, on s'intéresse à la désintégration radioactive du thallium 201. Enfin, dans la dernière partie, on traite de la scintigraphie myocardique.

**Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.**

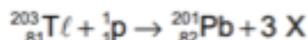
### 1. Production du thallium 201

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

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

1.1.2. Expliquer pourquoi ces noyaux de thallium sont des isotopes.

1.2. On bombarde par un flux de protons une cible de thallium. Le thallium 203 se transforme en plomb 201 selon l'équation ci-dessous :



En énonçant les lois utilisées, identifier la particule X.

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

### 2. La désintégration du thallium 201

**Données :**

- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ;
- électronvolt :  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

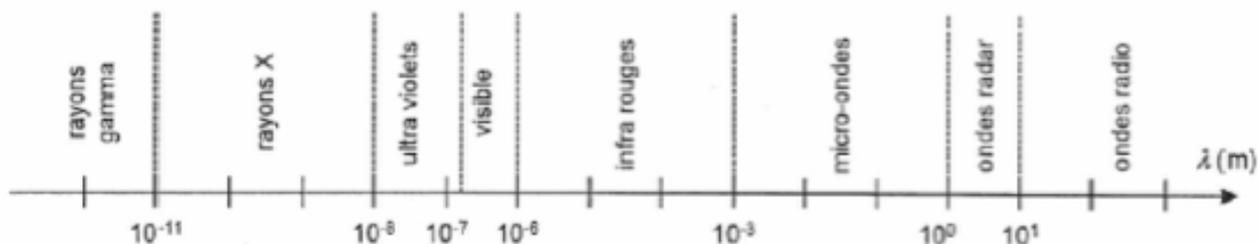
2.1. Lors de la désintégration du thallium 201 un des rayonnements émis possède une énergie  $E$  de 135 keV.

2.1.1. Donner l'expression littérale de la longueur d'onde de ce rayonnement  $\lambda$  dans le vide en fonction de l'énergie  $E$ , de la célérité de la lumière dans le vide  $c$  et de la constante de Planck  $h$ .

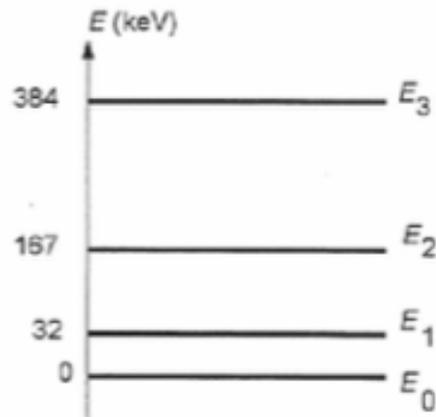
2.1.2. Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  de ce rayonnement dans le vide.

2.1.3. La **figure 1** ci-dessous représente les différents domaines du spectre des ondes électromagnétiques. À quel domaine du spectre appartient le rayonnement émis lors de la désintégration du thallium 201 ?

Votre réponse est-elle en cohérence avec les renseignements du texte introductif ?



2.2. 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  $E$  de 135 keV. Dans un noyau, il existe des niveaux d'énergie comme dans le cortège électronique d'un atome. La **figure 2** représente le diagramme énergétique du noyau de mercure.



**Figure 2. Diagramme énergétique représentant les premiers niveaux du noyau de mercure**

À quelle transition correspond le rayonnement d'énergie  $E = 135$  keV ?

### 3. Scintigraphie myocardique

#### Données :

- constante radioactive du thallium 201 :  $\lambda_{\text{Tl}} = 2,6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  ;
- masse molaire du thallium 201 :  $M = 201,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- loi de décroissance radioactive relative à l'activité :  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  ;
- relation entre l'activité  $A$  et le nombre de noyaux  $N$  :  $A = \lambda \cdot N$  ;
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

3.1. 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  $A_0$  de  $78 \text{ MBq}$  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.

3.1.1. Calculer le volume  $V$  de solution d'activité  $A_0$  à injecter à un patient de  $70 \text{ kg}$ .

3.1.2. À partir de l'activité initiale  $A_0$ , montrer que le nombre de noyaux  $N_0$  de thallium 201 reçus par le patient au moment de l'injection est de  $3,0 \times 10^{13}$ .

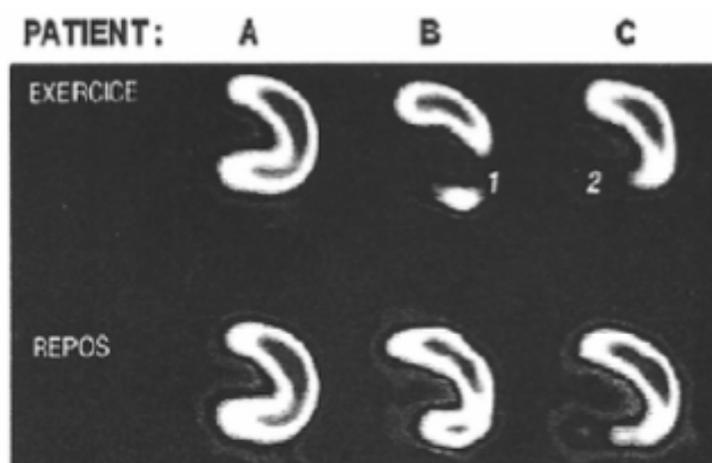
3.1.3. En déduire la masse  $m_0$  de thallium correspondante.

3.1.4. 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 par un calcul que la dose injectée au patient ne présente pas de danger.

3.1.5. Vérifier que le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  du thallium 201 vaut 74 heures.

3.1.6. On estime que les résultats de l'examen sont exploitables tant que l'activité du traceur est supérieure à  $3,0 \text{ MBq}$   
Par un calcul de l'activité  $A$ , déterminer au bout de combien de jours une nouvelle injection est nécessaire.

3.2. 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 3** montre les résultats d'une scintigraphie myocardique effectuée sur trois patients différents A, B et C. Le patient A est en parfaite santé.



**Figure 3. Scintigraphie cardiaque au Thallium 201 de trois patients lors d'un exercice physique puis au repos. Les zones claires sur les images représentent les cellules saines du cœur qui fixent le thallium 201.**

3.2.1. 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.

3.2.2. Même question pour le patient C. Justifier.

## Exercice 5

En 1797, Joseph Denis François Champeaux, ingénieur des Mines, remarque dans l'échantillonnage d'un collectionneur « un minerai d'un beau jaune verdâtre formé de lamelles placées les unes sur les autres ». Il met 3 ans à localiser le gisement d'origine de cette roche à Saint Symphorien de Marmagne.

Nommé en 1852 « Autunite » en référence à l'Autunois, en Bourgogne, cet étrange minéral est exploité clandestinement par les collectionneurs et utilisé à la cristallerie de Baccarat pour la fabrication de verres jaunes à reflets verts.

C'est à cette époque que son analyse chimique est effectuée : il s'agit du phosphate d'uranium et de calcium hydraté de formule  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . L'uranium métal est alors isolé du minerai provenant de Saint Symphorien.

En 1896, Henri Becquerel découvre le phénomène de radioactivité en travaillant sur l'uranium.

L'uranium étant devenu un minerai militaire, le CEA installe en 1946 à Saint Symphorien le premier centre de recherche et d'exploration de l'uranium. Le site, non rentable, fermera 3 ans plus tard, mais tous les géologues de l'uranium se formeront là.

Électronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Mégaélectronvolt	$1 \text{ MeV} = 1,00 \times 10^6 \text{ eV}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

### 1. A la découverte d'un minerai radioactif : l'Autunite

1.1. Qu'appelle-t-on noyau radioactif ?

1.2. L'uranium présent dans l'Autunite comprend 3 isotopes naturels :  $^{238}\text{U}$ , présent en écrasante majorité,  $^{235}\text{U}$  et  $^{234}\text{U}$ .

1.2.1. Rappeler la définition de noyaux isotopes.

1.2.2. Comparer la composition des noyaux des atomes d'uranium 235 et 238.

1.3. Voici une petite partie de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 :



1.3.1. Rappeler les lois de conservation dites lois de Soddy, intervenant lors des désintégrations successives.

1.3.2. Écrire l'équation de cette désintégration du noyau d'uranium 238 en thorium 234.

1.3.3. Quel est le type de radioactivité correspond à cette désintégration ?

1.3.4. Le thorium 234 se désintègre lui-même en protactinium  ${}^{234}\text{Pa}$ .

Écrire l'équation de cette deuxième réaction de désintégration.

Quelle particule est alors émise.

1.4. L'uranium  $^{238}\text{U}$  présente un temps de demi-vie de  $4,5 \cdot 10^9$  années.

1.4.1. Rappeler la définition du temps de demi-vie noté  $t_{1/2}$ .

1.4.2. En utilisant la loi de décroissance radioactive  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ , retrouver la relation entre le temps de demi-vie et la constante radioactive  $\lambda$  :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ .

1.4.3. En déduire la valeur de la constante de désintégration radioactive  $\lambda$  en  $\text{an}^{-1}$ , puis en  $\text{s}^{-1}$ .

1.5. L'activité  $A_0$  d'une pierre d'Autunite de masse voisine de 100 g, n'est pas négligeable ; elle est voisine de 9000 Bq.

1.5.1. Rappeler la définition de l'activité d'une espèce radioactive.

1.5.2. Que représente un becquerel (Bq) ?

1.5.3. On rappelle que l'activité  $A(t)$  à la date  $t$  et le nombre de noyaux  $N(t)$  présents au même instant sont liés par la relation :  $A(t) = \lambda \cdot N(t)$ .

Calculer le nombre de noyaux  $N_0$  d'uranium présents dans cette pierre à la date  $t = 0$  s et montrer que son ordre de grandeur est de  $10^{21}$ .

1.5.4. L'activité  $A(t)$  de l'échantillon suit la loi de décroissance radioactive :  $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$  avec  $A(t)$  l'activité de l'échantillon à la date  $t$  et  $A_0$  l'activité initiale qui vaut 9000 Bq.

Que vaut l'activité de la pierre au bout de 10 ans ?

Que vaut-elle au bout de 1000 ans ?

1.5.5. Que peut-on en déduire à propos de la décroissance de l'activité de cette pierre.

1.5.6. Quels effets biologiques peut avoir l'inhalation prolongée de poussières issues d'une telle pierre ?

**Après mes révisions, je me sens dans l'état d'esprit suivant pour aborder le devoir surveillé :**

