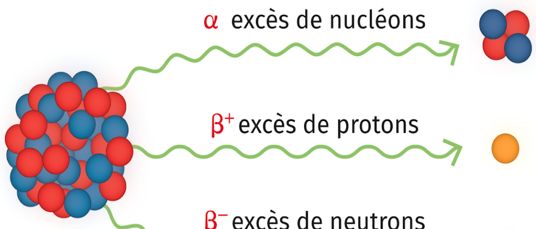
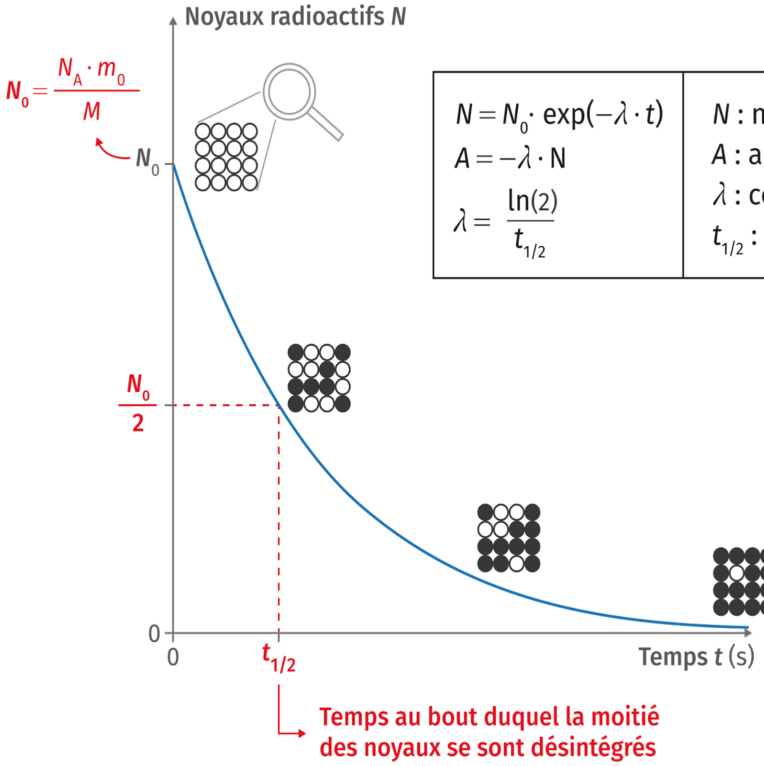


	Noyau père		Noyau fils		Particule
Hélium :	${}^{A}_{Z}X$	$\longrightarrow$	${}^{A-4}_{Z-2}Y$	+	${}^{4}_{2}He$
Positon :	${}^{A}_{Z}X$	$\longrightarrow$	${}^{A}_{Z-1}Y$	+	${}^{0}_{1}e^{+}$
Électron :	${}^{A}_{Z}X$	$\longrightarrow$	${}^{A}_{Z+1}Y$	+	${}^{0}_{-1}e^{-}$



$N = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$	N : nombre de noyaux radioactifs
$A = -\lambda \cdot N$	A : activite radioactive (Bq)
$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$	λ : constante radioactive (s^{-1})
	$t_{1/2}$: temps de demi-vie (s)

Exercices

QCM (p. 116)

1. Désintégrations radioactives

1. **Un atome radioactif se désintègre pour gagner en :**
   C. stabilité.
2. **L'équation de réaction correspondant à une désintégration α est :**
   C. ${}^{220}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{216}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$
3. **Une désintégration β^{+} est caractérisée par l'émission d'une particule appelée :**
   C. positon.
4. **La seule radioactivité ne modifiant pas la charge électrique du noyau qui se désintègre est :**
   B. la radioactivité γ.

2. Décroissance radioactive

1. **L'activité radioactive correspond à un nombre de désintégrations par :**
   A. unité de temps.
2. **L'activité *A* d'un échantillon est liée au nombre de désintégrations *N* par la relation :**
   B. $A = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$
3. **Le temps de demi-vie :**
   C. reste le même, quelle que soit la masse de l'échantillon.

3. Datation

1. **Le nombre de noyaux radioactifs dans un corps humain mort :**
   A. diminue au cours du temps.
2. **Le temps de demi-vie d'un isotope radioactif lors d'une datation :**
   C. doit être de l'ordre de l'âge de l'objet à dater.
3. **Pour la datation, il est impératif que :**
   A. la réintroduction de noyaux radioactifs dans l'échantillon ne soit pas possible.

4. Jeopardy

a. Quelle particule est émise lors de la désintégration γ ?
b. À quelle condition peut-on dater un objet avec un radioélément quelconque

Pour s’échauffer (p. 117)

5. Désintégration (1)

- Il s’agit d’une désintégration β^- émettant un électron.

6. Désintégration (2)

1. L'émission d’un noyau d’hélium correspond à une désintégration α.

2. Il s’agit de l’élément gadolinium, symbolisé par ${}^{152}_{64}\mathrm{Gd}$.

7. Lois de conservation

- Ces lois de conservation sont appelées lois de Soddy. Elles stipulent qu’il faut qu’il y ait conservation du nombre de masse *A* et conservation du nombre de charges électriques *Z*.

8. Activité radioactive

- Pour déterminer l’activité moyenne du cobalt 60, on calcule :

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

AN : $A = \dfrac{57 \times 10^{17} - 23 \times 10^{16}}{2 \times 60} = 5 \times 10^{16}$ Bq

9. Constante radioactive

1. L’équation de désintégration du titane 53 s’écrit : ${}^{53}_{22}\mathrm{Ti} \rightarrow {}^{53}_{23}\mathrm{V} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^-$.

2. On détermine la constante radioactive d’après la formule :

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

AN : $\lambda = \dfrac{\ln(2)}{32,7} = 2,12 \times 10^{-2}$ s^{-1}

10. Décroissance radioactive

1. La loi de décroissance radioactive est : $N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$

2. Dans cette équation :

> *N*(*t*) : nombre de noyaux radioactifs à un instant *t*
> N_0 : nombre de noyaux radioactifs au départ
> *t* : temps (s)
> *λ* : constante radioactive du noyau radioactif étudié (s^{-1})

Pour commencer (p. 117-119)

Équation de réaction nucléaire

11. Types de radioactivités

➔ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Les équations de désintégration et le type de radioactivité correspondant sont les suivants :

- ${}^{232}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{228}_{88}\mathrm{Ra}$: radioactivité α
- ${}^{228}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{228}_{89}\mathrm{Ac} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^{-}$: radioactivité β^-
- ${}^{228}_{89}\mathrm{Ac} \rightarrow {}^{228}_{90}\mathrm{Th} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^{-}$: radioactivité β^-
- ${}^{228}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{224}_{88}\mathrm{Ra}^{*}$: radioactivité α
- ${}^{224}_{88}\mathrm{Ra}^{*} \rightarrow {}^{224}_{88}\mathrm{Ra} + \gamma$: radioactivité γ
- ${}^{224}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{220}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$: radioactivité α
- ${}^{220}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{0}_{1}e^{+} + {}^{220}_{85}\mathrm{At}^{*}$: radioactivité β^+
- ${}^{220}_{85}\mathrm{At}^{*} \rightarrow {}^{220}_{85}\mathrm{At} + \gamma$: radioactivité γ

12. Équation radioactive

➔ RAI/MOD : Modéliser une transformation

1. a. La particule est un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+}$ et le noyau fils est ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$.

b. La particule est un électron ${}^{0}_{1}\mathrm{e}^{-}$ et le noyau fils est ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$.

c. La particule est un photon γ et le noyau fils est ${}^{234}_{91}\mathrm{Pa}$.

d. La particule est un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ et le noyau fils est ${}^{208}_{82}\mathrm{Pb}$.

e. La particule est un électron ${}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+}$ et le noyau fils est ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$.

f. La particule est un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ et le noyau fils est ${}^{168}_{77}\mathrm{Ir}$.

g. La particule est un photon γ et le noyau fils est ${}^{20}_{9}\mathrm{F}$.

h. La particule est un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+}$ et le noyau fils est ${}^{201}_{85}\mathrm{Rn}$.

2. Lors d'une désintégration, il faut qu'il y ait conservation du nombre de masse *A* et conservation du nombre de charges électriques *Z*.

Stabilité

13. Vallée de la stabilité

➔ APP : Formuler des hypothèses

1. Deux noyaux sont isotopes lorsqu'ils ont le même nombre de protons *Z* et un nombre de neutrons *N* (ou nucléons *A*) différent.

2. Parmi les isotopes de l'azote, il y a :

- ${}^{17}_{7}\mathrm{N}$: 10 neutrons et 7 protons.
- ${}^{16}_{7}\mathrm{N}$: 9 neutrons et 7 protons.
- ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$: 8 neutrons et 7 protons.
- ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$: 7 neutrons et 7 protons.
- ${}^{13}_{7}\mathrm{N}$: 6 neutrons et 7 protons.
- ${}^{12}_{7}\mathrm{N}$: 5 neutrons et 7 protons.

3. L'azote 17 et 16 ont un excès de neutrons, alors que l'azote 13 et 12 ont un excès de protons.

4. Les atomes d'azote 17 et 16 ont une radioactivité β^- et les atomes d'azote 12 et 13 ont une radioactivité β^+.

5. Les noyaux radioactifs se désintègrent au cours du temps, alors que les noyaux stables ne disparaissent pas. C'est pour cela que l'azote 14 et 15 représentent la majorité des noyaux d'azote présents sur Terre.

14. Chaîne de désintégration

➔ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

1. Un isotope radioactif possède un noyau instable qui se désintègre spontanément, soit par émission α, β ou γ pour gagner en stabilité.

2. On trouve la succession de désintégrations suivantes :

- ${}^{152}_{65}\mathrm{Tb} \rightarrow {}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+} + {}^{152}_{64}\mathrm{Gd}$
- ${}^{152}_{64}\mathrm{Gd} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{148}_{62}\mathrm{Sm}$

- $^{148}_{62}\mathrm{Sm} \rightarrow \, ^{4}_{2}\mathrm{He} + \, ^{144}_{60}\mathrm{Nd}$
- $^{144}_{60}\mathrm{Nd} \rightarrow \, ^{4}_{2}\mathrm{He} + \, ^{140}_{58}\mathrm{Ce}$

15. Uranium 235

➔ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. L'équation de désintégration de l'uranium 235 correspond à : ${}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{231}_{90}\mathrm{Th}$.

2. On calcule le nombre de noyaux à partir de la masse indiquée :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = \frac{m \cdot N_A}{M({}^{235}U)}$$

AN : $$N = \frac{3,0 \times 6,02 \times 10^{23}}{235,0} = 7,7 \times 10^{21}$$

3. On calcule la constante radioactive λ à l'aide de l'activité massique A_m indiquée dans les données, ainsi que de N au même instant :

$$A = \lambda \cdot N$$

$$A_m = \frac{\lambda \cdot N}{m}$$

$$\lambda = \frac{A_m \cdot m}{N}$$

AN : $$\lambda = \frac{79,96 \times 10^3 \times 3,0}{7,7 \times 10^{21}} = 3,1 \times 10^{-17}$$ s^{-1}

4. On calcule le temps de demi-vie $t_{1/2}$ selon :

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

AN : $$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{3,1 \times 10^{-17}} = 2,2 \times 10^{16}$$ s $= 7,1 \times 10^8$ a

5. Le noyau fils étant déjà du thorium, on en déduit que la particule émise par cette deuxième désintégration est un photon.

Loi de décroissance radioactive

16. Prométhium

➔ VAL : Exploiter un ensemble de mesures

1. L'équation de désintégration est la suivante : ${}^{144}_{61}\mathrm{Pm} \rightarrow {}^{144}_{60}\mathrm{Nd} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+}$

2. La loi de décroissance radioactive donne : $$N(t) = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot t\right)$$

Pour les différentes durées :

- Au bout de t = 0,5 a :

AN : $$N_1 = 4,0 \times 10^{10} \times \exp\left(-\frac{\ln(2)}{1,0} \times 0,5\right) = 3 \times 10^{10}$$

- Au bout de t = 1,0 a :

AN : $$N_1 = 4,0 \times 10^{10} \times \exp\left(-\frac{\ln(2)}{1,0} \times 1,0\right) = 2,0 \times 10^{10}$$

- Au bout de t = 2,0 a :

AN : $$N_1 = 4,0 \times 10^{10} \times \exp\left(-\frac{\ln(2)}{1,0} \times 2,0\right) = 1,0 \times 10^{10}$$

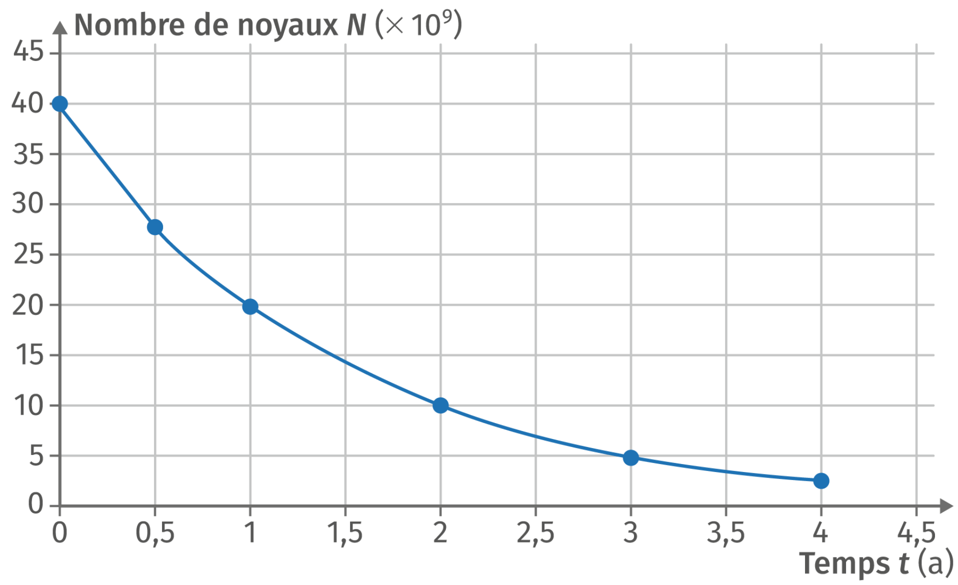
- Au bout de t = 3,0 a :

AN : $$N_1 = 4,0 \times 10^{10} \times \exp\left(-\frac{\ln(2)}{1,0} \times 2,0\right) = 1,0 \times 10^{10}$$

- Au bout de t = 4,0 a :

AN : $$N_1 = 4,0 \times 10^{10} \times \exp\left(-\frac{\ln(2)}{1,0} \times 2,0\right) = 1,0 \times 10^{10}$$

3. La représentation $N = f(t)$ est :



4. Par projection sur l'axe des abscisses, on trouve qu'il reste un peu moins de 1,5 × 10^9 noyaux au bout de t = 1,5 a.

17. Radiographie au phosphore

➔ APP : Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

1. La première désintégration donne l'équation suivante : ${}^{32}_{15}\mathrm{P} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^{-} + {}^{32}_{16}\mathrm{S}^{*}$.

L'équation de désexcitation du noyau fils est donc la suivante : ${}^{32}_{16}\mathrm{S}^{*} \rightarrow {}^{32}_{16}\mathrm{S} + \gamma$.

2. On trouve le nombre d'atomes à partir du calcul suivant :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = \frac{m \cdot N_A}{M(^{32}P)}$$

AN : $$N = \frac{30 \times 10^{-9} \times 6,02 \times 10^{23}}{32,0} = 5,6 \times 10^{14}$$

3. La loi de décroissance radioactive donne :

$$N = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot t\right)$$

$$\exp\left(-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot t\right) = \frac{N}{N_0}$$

$$-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot t = \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{100\ N_0}{N_0}\right)$$

$$t = \frac{t_{1/2} \cdot \ln(100)}{\ln(2)}$$

AN : $$t = \frac{14,26 \times \ln(100)}{\ln(2)} = 94,74$$ j

Au bout d'environ 95 j, 99 % de la population initiale de noyaux radioactifs aura disparu.

18. Bétafite

➔ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. Lors d'une désintégration α, la particule émise est un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

2. On trouve le nombre de noyaux suivant :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = \frac{m \cdot N_A}{M(^{238}\mathrm{U})}$$

AN : $$N = \frac{2,0 \times 10^{-6} \times 6,022 \times 10^{23}}{238,1} = 5,1 \times 10^{15}$$

3. La relation liant la constante radioactive, l'activité et le nombre de noyaux radioactifs est : $A = \lambda \cdot N$.

4. Dans le cas du bracelet :

$$A = \lambda(^{238}\mathrm{U}) \cdot N$$

AN : $A = 4,916 \times 10^{-18} \times 5,1 \times 10^{15} = 2,5 \times 10^{-2}$ Bq = 25 mBq

19. Identification de roches

➔ APP : Extraire l'information utile

1. L'activité radioactive *A* d'un échantillon correspond au nombre de désintégrations *N* par unité de temps.

2. La relation liant l'activité et le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon est :

$$A = \lambda \cdot N$$
$$A = \frac{\ln(2) \cdot N}{t_{1/2}}$$

3. Pour chaque courbe, on détermine le temps de demi-vie $t_{1/2}$ en se reportant à l'abscisse pour laquelle on atteint une activité deux fois moins importante que l'activité initiale :

- $t_{1/2}(\text{bleue}) = 75 \times 10^3$ a
- $t_{1/2}(\text{verte}) = 33 \times 10^3$ a
- $t_{1/2}(\text{orange}) = 75 \times 10^3$ a

On en déduit que les courbes bleue et orange correspondent à du thorium 230, alors que la courbe verte correspond à du protactinium 231.

Différenciation (p. 119)

20. Hydrogène radioactif

➔ REA : Appliquer une formule

1. Deux noyaux sont dits isotopes lorsqu'ils ont le même nombre de protons *Z* et un nombre de neutrons *N* (ou nucléons *A*) différent.

2. On trouve :

$$N = n \cdot N_A$$
$$N = \frac{m \cdot N_A}{M(^3\text{H})}$$

AN : $N = \frac{1,0 \times 6,02 \times 10^{23}}{3,0} = 2,0 \times 10^{23}$

3. L'activité radioactive correspondante est obtenue à l'aide de la relation suivante :

$$A = \lambda \cdot N$$

AN : $A = 1,78 \times 10^{-9} \times 2,0 \times 10^{23} = 3,6 \times 10^{14}$

21. Activité du radon

➔ REA/MATH : Utiliser des outils mathématiques

1. Le nombre de noyaux radioactifs lors de la mesure est égal à :

$$N_0 = n \cdot N_A$$

$$N_0 = \frac{m \cdot N_A}{M(^{222}\text{Rn})}$$

AN : $$N_0 = \frac{3,5 \times 10^{-6} \times 6,02 \times 10^{23}}{222,0} = 9,5 \times 10^{15}$$

2. Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ correspond à la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés :

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}(^{222}\text{Rn})}$$

AN : $$\lambda = \frac{\ln(2)}{3,82} = 1,81$$ j^{-1} = 2,10 × 10^{-6} s^{-1}

3. À l'aide de la loi de décroissance radioactive, on trouve :

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

AN : $$N = 9,5 \times 10^{15} \times \exp(-2,10 \times 10^{-6} \times 30 \times 365,25 \times 24 \times 3600) = 0$$

Au bout de 30 ans, la totalité des noyaux se sont désintégrés.

4. On rappelle que l'activité se détermine par la relation : $A = \lambda \cdot N$. On en déduit que l'activité radioactive du radon 222 est également nulle au bout de 30 ans.

22. Dangers du radium

➔ APP : Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

◆ D'après l'énoncé, dans un mètre cube d'eau, il y a 8,01 × 10^{13} noyaux. L'eau ne peut être consommée que si l'activité est inférieure à 1 000 Bq dans ce mètre cube considéré.

Cette activité *A* correspond à un nombre de noyaux *N* égal à :

$$A = \lambda(^{226}\text{Ra}) \cdot N$$

$$N = \frac{A}{\lambda(^{226}\text{Ra})}$$

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}(^{226}\text{Ra})}{\ln(2)}$$

AN : $$N = \frac{1\ 000 \times 1\ 600 \times 365,25 \times 24 \times 3\ 600}{\ln(2)} = 7,3 \times 10^{13}$$

D'après la loi de décroissance radioactive, la nappe phréatique atteindra ce nombre de noyaux au bout d'un temps *t* égal à :

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

$$\exp(-\lambda \cdot t) = \frac{N_0}{N}$$

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

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

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

AN : $$t = \frac{1\ 600}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{8,01 \times 10^{13}}{7,3 \times 10^{13}}\right) = 210$$ a

L'eau de cette nappe phréatique ne sera donc plus contaminée au bout de 210 ans.

Pour s'entraîner (p. 121-122)

23. Consommation radioactive en QCM

➔ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. On cherche à déterminer le nombre de noyaux radioactifs à partir de l'activité radioactive. La lecture graphique nous indique que le temps de demi-vie est égal à $t_{1/2}$ = 5,0 j.

$$A_0 = \lambda \cdot N_0$$

$$N_0 = \frac{A_0}{\lambda}$$

$$N_0 = \frac{t_{1/2} \cdot A_0}{\ln 2}$$

AN : $$N_0 = \frac{5,0 \times 40}{\ln(2)} = 2,9 \times 10^7$$

La bonne réponse est la réponse **a.**

2. Le 1er septembre, l'activité de l'organisme de Maria correspond à celle des noyaux qui se sont fixés dans son organisme. Au bout de 5 j, la moitié des noyaux se sont désintégrés (l'activité est diminuée de moitié également et atteint donc 20 Bq). Mais elle ingère de nouveau un volume d'eau de 40 Bq. L'activité totale est donc portée à 60 Bq le 6 septembre.
En reprenant le même raisonnement, le 11 septembre, l'activité de Maria est divisée par 2, mais elle augmente de 40 Bq. L'activité totale se porte à 70 Bq.
Le 16 septembre 2020, l'activité du volume d'eau ingéré est toujours de 40 Bq qui s'ajoute à la moitié de l'activité du 11 septembre, soit 75 Bq.
La bonne réponse est la réponse **c.**

3. On sait que l'activité aura diminué de moitié au bout du temps de demi-vie soit 5,0 j. L'activité précédente aura donc diminué de moitié le 21 septembre 2020.
La bonne réponse est la réponse **b.**

4. La lecture graphique nous indique que le temps de demi-vie est de 5,0 j. On trouve donc une constante radioactive égale à :

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

AN : $$\lambda = \frac{\ln(2)}{5,0 \times 24 \times 3600} = 1,6 \times 10^{-6}$$ s^{-1}

La bonne réponse est la réponse **a.**

24. Comprendre les attendus Radiographie à l'azote

➔ VAL : Modéliser un ensemble de mesures

1. L'équation de désintégration s'écrit : ${}^{13}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+} + {}^{13}_{6}\mathrm{C}$.

2. L'azote 13 est une bonne solution pour ce type d'examen, car son temps de demi-vie $t_{1/2}$ est adapté. L'azote 12 a un temps de demi-vie trop court et la désintégration d'une grande partie des noyaux sera trop rapide. À l'inverse, celle du carbone 11 est un peu longue pour effectuer ce type d'examen.

3. On remonte au nombre de noyaux initial à partir de la masse indiquée :

$$N_0 = n_0 \cdot N_A$$

$$N_0 = \frac{m_0 \cdot N_A}{M({}^{13}\mathrm{N})}$$

AN : $$N_0 = \frac{6,0 \times 10^{-6} \cdot 6,02 \times 10^{23}}{13,0} = 2,8 \times 10^{17}$$

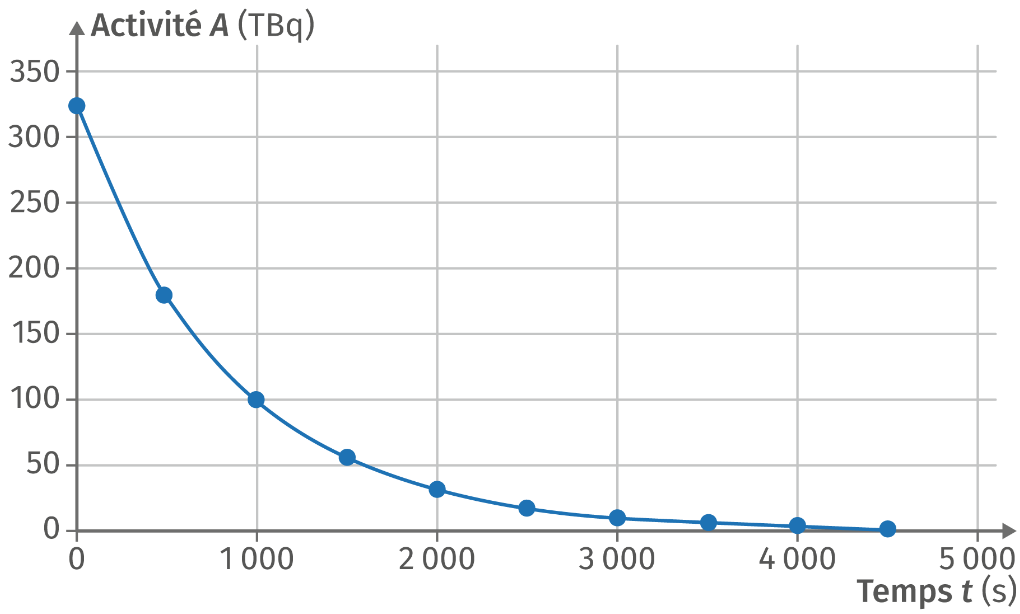
4. L'activité correspondante est égale à :

$$A_0 = \lambda \cdot N_0$$

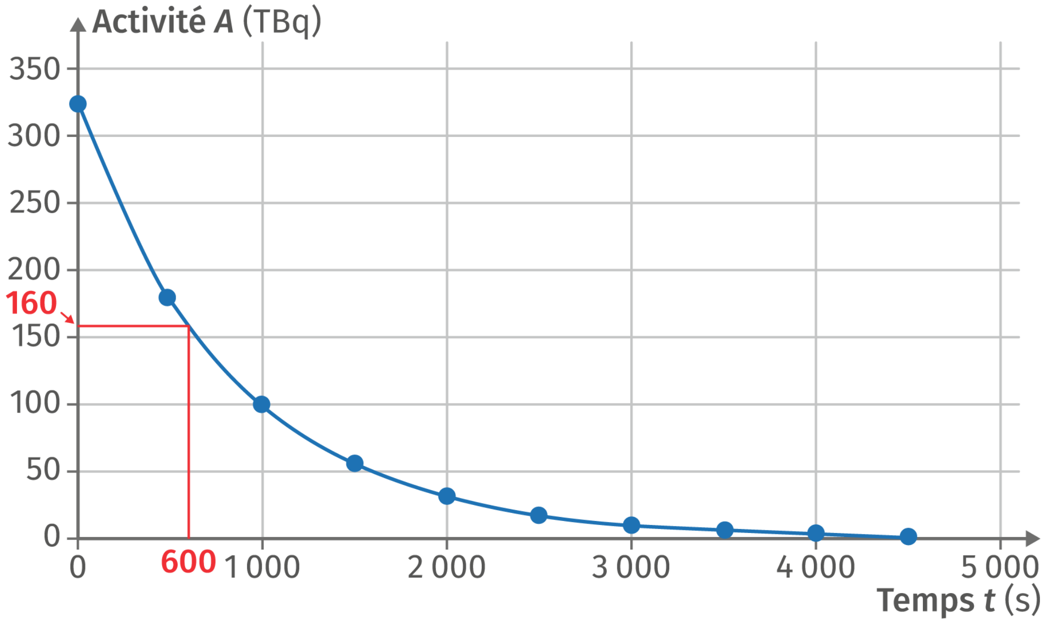
$$A_0 = \frac{\ln(2) \cdot N_0}{t_{1/2}}$$

AN : $$A_0 = \frac{\ln(2) \cdot 2,8 \times 10^{17}}{9,97 \times 60} = 3,2 \times 10^{14}$$ Bq = 320 TBq

5. La représentation de l'évolution de l'activité *A* en fonction du temps *t* est :



6. On se place au point correspondant à une ordonnée égale à $\frac{A_0}{2}$ soit 160 TBq. Par projection sur l'axe des abscisses, on trouve un temps de demi-vie égal à $t_{1/2}$ = 600 s, soit 10 min :



On compare à la valeur tabulée :

$$\epsilon = \frac{|t_{1/2,mes} - t_{1/2,tab}|}{t_{1/2,tab}}$$

AN : $$\epsilon = \frac{|10 - 9,97|}{9,97} = 0,0030 = 0,30$$ %

On trouve une valeur très proche de celle indiquée.

25. Histoire d'uranium

➔ APP : Extraire l'information utile

1. Un élément radioactif possède un noyau instable qui se désintègre spontanément, soit par émission α, β ou γ pour gagner en stabilité.

2. Les temps de demi-vie sont différents, car chaque temps de demi-vie est propre à son noyau radioactif. Il dépend de la cohésion du noyau. En effet, plus un noyau est instable, plus il est probable qu'il se désintègre rapidement, et donc, à plus grande échelle, que son temps de demi-vie soit petit.

3. Le narrateur est l'uranium 235, son noyau est composé de 92 protons et de 143 neutrons.

4. Les temps de demi-vie sont : $t_{1/2}(^{238}U) > t_{1/2}(^{235}U) > t_{1/2}(^{234}U)$. On peut déduire des deux questions précédentes que l'uranium 238 est plus stable que l'uranium 235 qui lui-même est plus stable que l'uranium 234.

5. L'activité radioactive A est inversement proportionnelle au temps de demi-vie $t_{1/2}$:

$$A = \lambda \cdot N$$
$$A = \frac{\ln(2) \cdot N}{t_{1/2}}$$

Les temps de demi-vie des noyaux radioactifs d'uranium sont très grands, ce qui implique une faible activité radioactive. C'est pour cela que pour de faibles quantités d'uranium, il y a peu de dangers.

26. Tchernobyl

➔ APP : Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

1. Le noyau de césium 137 est composé de 55 protons et 82 neutrons. Le noyau d'iode 131 est composé de 53 protons et de 78 neutrons.

2. Les équations de désintégration s'écrivent :

- pour le césium : ${}^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba}^* + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^-$ puis ${}^{137}_{56}\mathrm{Ba}^* \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + \gamma$
- pour l'iode : ${}^{131}_{53}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Xe}^* + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^-$ puis ${}^{131}_{53}\mathrm{Xe}^* \rightarrow {}^{131}_{55}\mathrm{Xe} + \gamma$

3. Dans un premier temps, ces désintégrations émettent un électron, puis les noyaux fils se désintègrent à nouveau en émettant un photon.

4. On calcule les constantes radioactives suivantes :

- pour le césium 137 :

$$\lambda({}^{137}\mathrm{Cs}) = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}({}^{137}\mathrm{Cs})}$$

AN : $$\lambda({}^{137}\mathrm{Cs}) = \frac{\ln(2)}{30,04 \times 365,25 \times 24 \times 3\ 600} = 7,312 \times 10^{-10}$$ s^{-1}

- pour l'iode 131 :

$$\lambda({}^{131}\mathrm{I}) = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}({}^{131}\mathrm{I})}$$

AN : $$\lambda({}^{131}\mathrm{I}) = \frac{\ln(2)}{8,02 \times 365,25 \times 24 \times 3\ 600} = 1,00 \times 10^{-6}$$ s^{-1}

5. Pour une même masse de 1,0 kg, on trouve un nombre de noyaux correspondant :

$$N_0 = n \cdot N_A$$
$$N_0 = \frac{m \cdot N_A}{M}$$

Soit pour le césium 137 :

$$N_0({}^{137}\mathrm{Cs}) = \frac{m_0 \cdot N_A}{M({}^{137}\mathrm{Cs})}$$

AN : $$N_0({}^{137}\mathrm{Cs}) = \frac{1,0 \times 10^3 \times 6,02 \times 10^{23}}{136,9} = 4,4 \times 10^{24}$$

Et pour l'iode 131 :

$$N_0(^{131}I) = \frac{m \cdot N_A}{M(^{131}I)}$$

AN : $$N_0(^{131}I) = \frac{1,0 \times 10^3 \times 6,02 \times 10^{23}}{130,9} = 4,6 \times 10^{24}$$

6. On trouve les activités massiques A_m suivantes :

$$A_0 = \lambda \cdot N_0$$

$$A_{m,0} = \frac{\lambda \cdot N_0}{m}$$

Soit pour le césium 137 :

$$A_{m,0}(^{137}Cs) = \frac{\lambda(^{137}Cs) \cdot N(^{137}Cs)}{m}$$

AN : $$A_{m,0}(^{137}Cs) = \frac{7,312 \times 10^{-10} \times 4,4 \times 10^{24}}{1,0} = 3,2 \times 10^{15}$$ Bq·kg^{-1}

Et pour l'iode 131 :

$$A_{m,0}(^{131}I) = \frac{\lambda(^{131}I) \cdot N(^{131}I)}{m}$$

AN : $$A_{m,0}(^{131}I) = \frac{1,00 \times 10^{-6} \times 4,6 \times 10^{24}}{1,0} = 4,6 \times 10^{18}$$ Bq·kg^{-1}

7. Si on prend pour point de référence l'année 2020, il s'est écoulé 34 ans depuis l'accident de Tchernobyl, soit t = 1,1 × 10^9 s. On peut tout à fait utiliser le calculateur de durée https://www.topster.fr/calendrier/zeitrechner.php pour déterminer une durée précise et actualisée (l'accident s'est produit le 26 avril 1986). D'après la loi de décroissance radioactive, on peut écrire : $N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$.

Soit pour le césium 137 :

$$N(^{137}Cs) = N_0(^{137}Cs) \cdot \exp(-\lambda(^{137}Cs) \cdot t)$$

AN : $$N(^{137}Cs) = 4,4 \times 10^{24} \times \exp(-7,312 \times 10^{-10} \times 1,1 \times 10^9) = 2,0 \times 10^{24}$$

Et pour l'iode 131 :

$$N(^{131}I) = N_0(^{131}I) \cdot \exp(-\lambda(^{131}I) \cdot t)$$

AN : $$N(^{131}I) = 4,6 \times 10^{24} \times \exp(-1,00 \times 10^{-6} \times 1,1 \times 10^9) = 0$$

En reprenant la relation précédemment établie, on en déduit l'activité massique aujourd'hui pour chaque isotope :

$$A_m(^{137}Cs) = \frac{\lambda(^{137}Cs) \cdot N(^{137}Cs)}{m}$$

AN : $$A_m(^{137}Cs) = \frac{7,312 \times 10^{-10} \times 4,4 \times 10^{24}}{1,0} = 3,2 \times 10^{15}$$ Bq·kg^{-1}

L'activité massique de l'iode 131 est quant à elle aujourd'hui nulle.

8. Bien que l'activité de l'iode soit initialement plus importante, elle diminue plus rapidement. Le césium 137 est l'isotope le plus dangereux à long terme, car c'est celui qui possède la plus grande activité massique aujourd'hui en raison d'un temps de demi-vie plus long.
Toutefois, la dangerosité de chaque isotope ne peut être estimée qu'en tenant compte d'autres considérations, comme l'énergie acquise par les particules, leur type, la fixation des noyaux radioactifs dans l'organisme, etc.

27. Copie d'élève à commenter

1. Lors de la désintégration, il faut bien vérifier que les lois de Soddy sont respectées avec la conservation du nombre de masse et des charges électriques. Ici, ce n'est pas le cas : le noyau d'hélium n'est pas écrit correctement, il correspond à ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$.
D'autre part, en considérant le bon nombre de charges électriques et le bon nombre de masse, on constate que le numéro atomique du noyau fils doit être égal à 82. En se référant à un tableau périodique, il s'agit de l'élément Pb (le plomb). La bonne équation est donc :
${}^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

2. Il faut faire attention aux unités et aux conversions à effectuer dans une formule. Ici, le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est exprimé en jour (j), il faut le convertir en seconde (s) car l'activité, en becquerel (Bq), représente un nombre de désintégrations par seconde.

$$A = \lambda \cdot N$$

$$N = \frac{A}{\lambda}$$

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln(2)}$$

AN : $$N = \frac{818 \times 10^3 \times 138,4 \times 24 \times 3\ 600}{\ln(2)} = 1,41 \times 10^{13}$$

3. Il faut faire attention une nouvelle fois à exprimer dans la même unité $t_{1/2}$ et t. On peut voir d'ailleurs que le résultat trouvé est plus petit que $N(t)$, ce qui est physiquement impossible, il ne peut y avoir que plus de noyaux radioactifs au début qu'à la fin. D'après la loi de décroissance radioactive :

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

$$N_0 = N(t) \cdot \exp(\lambda \cdot t)$$

$$N_0 = N(t) \cdot \exp\left(\frac{\ln(2) \cdot t}{t_{1/2}}\right)$$

AN : $$N_0 = 1,63 \times 10^8 \times \exp\left(\frac{\ln(2) \times 72}{138,4 \times 24}\right) = 1,4 \times 10^{13}$$

Il faut maintenant déterminer la masse initiale de noyaux radioactifs en utilisant les données correctes et en veillant à ne pas faire d'erreurs de calcul :

$$m = \frac{N_0}{N_A} \cdot M$$

AN :