Scintigraphie thyroïdienne

Bac S 2005 La Réunion (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.a Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un noyau de deutérium et un noyau de tellure 122 qui produit l'iode 123. Préciser les lois de conservation utilisées et le nom de la particule émise.

Données utiles $Z(\mathrm{I}) = 53$; deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$; tellure ${}^{122}_{52}\mathrm{Te}$

On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ la particule émise : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{122}_{52}\mathrm{Te} \longrightarrow {}^{123}_{53}\mathrm{I} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

- Conservation du nombre de nucléons : $2 + 122 = 123 + A$, donc $A = 1$.
- Conservation de la charge électrique : $1 + 52 = 53 + Z$, donc $Z = 0$.

Une particule formée d'un seul nucléon et sans charge est un neutron.

${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{122}_{52}\mathrm{Te} \longrightarrow {}^{123}_{53}\mathrm{I} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$: la particule émise est un **neutron**.

PIÈGE
Parler de « conservation de la masse » : la masse n'est pas conservée dans une réaction nucléaire. Les deux lois à citer portent sur le nombre de nucléons A et sur le nombre de charge Z.

1.b Calculer le temps de demi-vie des deux isotopes. Quel peut être l'avantage d'utiliser l'iode 123 plutôt que l'iode 131 ? Justifier.

Données utiles $\lambda_{123} = 1{,}459 \times 10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$; $\lambda_{131} = 1{,}001 \times 10^{-6}\ \mathrm{s}^{-1}$

La demi-vie et la constante radioactive sont liées par $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

Iode 123 : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{1{,}459 \times 10^{-5}} = 4{,}751 \times 10^{4}$ s, soit 13,20 h (13 h 12 min).

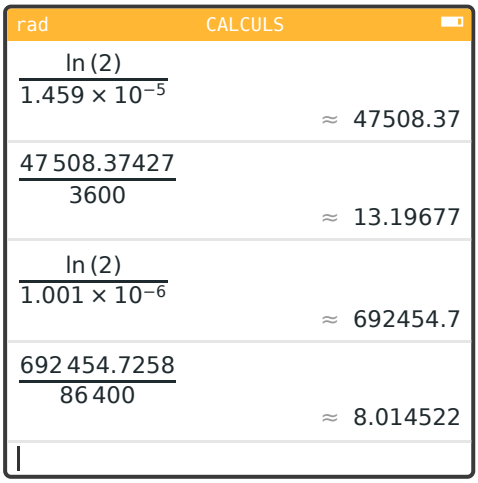
Iode 131 : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{1{,}001 \times 10^{-6}} = 6{,}925 \times 10^{5}$ s, soit 8,015 jours.

La demi-vie de l'iode 123 est environ 15 fois plus courte. Cet isotope disparaît donc bien plus vite de l'organisme : le patient est exposé moins longtemps aux rayonnements. De plus, comme $A = \lambda N$, un même nombre de noyaux fixés donne une activité plus grande, ce qui autorise un temps de pose court.

$t_{1/2}(^{123}\mathrm{I}) = 4{,}751 \times 10^{4}$ s $\approx$ 13,20 h ; $t_{1/2}(^{131}\mathrm{I}) = 6{,}925 \times 10^{5}$ s $\approx$ 8,015 j ; l'iode 123 est éliminé plus vite.

COMPRENDRE
Les constantes λ sont données avec quatre chiffres significatifs : les demi-vies en gardent quatre. Avec λ en s^{-1}, la demi-vie sort en secondes ; on convertit ensuite en heures ou en jours.

À LA CALCULATRICE



2.a Quelle est l'activité de la solution restant dans le flacon juste après l'injection, supposée instantanée, au premier patient ?

Données utiles activité du flacon juste avant 9 h : 28,5 MBq ; dose prélevée : 7 MBq

L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs présents ($A = \lambda N$). Prélever une dose retire des noyaux du flacon : les activités se soustraient. L'injection étant instantanée, il n'y a pas de décroissance pendant le prélèvement.

$A = 28{,}5 - 7 = 21{,}5$ MBq

Juste après la première injection, l'activité du flacon est $A = 21{,}5$ MBq.

2.b Calculer la valeur de $e^{-\lambda\,\Delta t}$ pour $\Delta t = 30$ min. En déduire l'activité du flacon à 9 h 30, juste avant l'injection au second patient.

Données utiles $\lambda_{123} = 1{,}459 \times 10^{-5}$ s^{-1} ; $A(9\text{ h}) = 21{,}5$ MBq (2.a)

$\Delta t = 30 \times 60 = 1\,800$ s, donc

$$e^{-\lambda\,\Delta t} = e^{-1{,}459\times10^{-5}\times1\,800} = 0{,}974$$

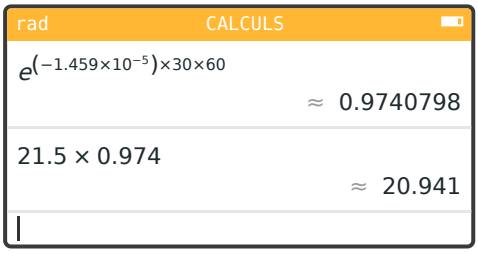
L'activité suit la loi de décroissance radioactive : $A(t) = A_0\,e^{-\lambda t}$. Entre 9 h et 9 h 30 :

$A(9\text{ h }30) = 21{,}5 \times 0{,}974 = 20{,}94 \approx 20{,}9$ MBq

$e^{-\lambda\,\Delta t} = 0{,}974$ et $A(9\text{ h }30) = 20{,}9$ MBq avant la deuxième injection.

PIÈGE
Laisser Δt en minutes alors que λ est en s^{-1} : l'exposant $\lambda\,\Delta t$ doit être sans unité. Avec 30 au lieu de 1 800, on trouve 0,9996 et la décroissance paraît nulle.

À LA CALCULATRICE



2.c Les injections suivantes ont lieu toutes les demi-heures. Combien de patients pourront recevoir la dose nécessaire (7 MBq) à la réalisation d'une scintigraphie ?

Données utiles $e^{-\lambda\,\Delta t} = 0{,}974$ et $A(9\text{ h }30) = 20{,}9$ MBq (2.b)

On répète les deux étapes : retirer 7 MBq à chaque injection, puis multiplier par 0,974 pour chaque demi-heure écoulée. On garde un chiffre de plus dans les calculs intermédiaires (20,94 MBq à 9 h 30).

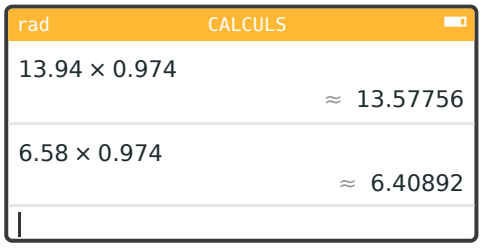
- 9 h 30, deuxième patient : il reste $20{,}94 - 7 = 13{,}94$ MBq.
- 10 h, avant injection : $13{,}94 \times 0{,}974 = 13{,}58$ MBq ; troisième patient : il reste $13{,}58 - 7 = 6{,}58$ MBq.
- 10 h 30, avant injection : $6{,}58 \times 0{,}974 = 6{,}41$ MBq, valeur inférieure à 7 MBq.

Le flacon ne contient plus assez d'iode pour une quatrième dose.

Trois patients peuvent recevoir la dose : ceux de 9 h, 9 h 30 et 10 h.

PIÈGE
Diviser simplement 28,5 par 7 et annoncer quatre patients. Le flacon perd de l'activité entre deux injections : c'est cette décroissance qui empêche la quatrième dose.

À LA CALCULATRICE



3.a Quel est le nombre de noyaux radioactifs N_0 injectés à chaque patient ?

Données utiles $A_0 = 7{,}0$ MBq ; $\lambda_{123} = 1{,}459 \times 10^{-5}$ s^{-1}

L'activité et le nombre de noyaux sont liés par $A_0 = \lambda N_0$, d'où $N_0 = \dfrac{A_0}{\lambda}$.

Avec $A_0 = 7{,}0\,\text{MBq} = 7{,}0 \times 10^6$ Bq :

$$N_0 = \frac{7{,}0 \times 10^6}{1{,}459 \times 10^{-5}} = 4{,}8 \times 10^{11}$$

$N_0 = 4{,}8 \times 10^{11}$ noyaux d'iode 123 par injection.

COMPRENDRE
Un becquerel vaut une désintégration par seconde : A en Bq et λ en s^{-1} donnent directement un nombre de noyaux. Deux chiffres significatifs, comme l'activité 7,0 MBq.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{7.0 \times 10^6}{1.459 \times 10^{-5}}$

$\approx 4.797807 \times 10^{11}$

3.b Montrer que, six semaines après une première injection, celle-ci n'a aucune influence sur la scintigraphie qui suit la deuxième injection.

Données utiles $\Delta t = 6$ semaines ; $\lambda_{123} = 1{,}459 \times 10^{-5}$ s^{-1} ; $A_0 = 7{,}0$ MBq ; $N_0 = 4{,}8 \times 10^{11}$ (3.a)

$\Delta t = 6 \times 7 \times 24 \times 3\,600 = 3{,}63 \times 10^6$ s.

Fraction de l'iode de la première injection encore présente :

$$\frac{A(\Delta t)}{A_0} = e^{-\lambda\,\Delta t} = e^{-1{,}459\times10^{-5}\times3{,}63\times10^6} = 1{,}0 \times 10^{-23}$$

Activité restante : $A = 7{,}0 \times 10^6 \times 1{,}0 \times 10^{-23} = 7{,}0 \times 10^{-17}$ Bq, à comparer aux $7{,}0 \times 10^6$ Bq de la nouvelle dose.

Nombre de noyaux restants : $N = 4{,}8 \times 10^{11} \times 1{,}0 \times 10^{-23} \approx 5 \times 10^{-12}$, très inférieur à 1 : il ne reste plus aucun noyau de la première injection.

$\dfrac{A(\Delta t)}{A_0} \approx 10^{-23}$: l'activité résiduelle est totalement négligeable, la première injection n'a aucune influence.

COMPRENDRE
Le calcul ne tient compte que de la décroissance radioactive. L'organisme élimine en plus une partie de l'iode par voie naturelle, ce qui renforce encore la conclusion.

MÉTHODE
Pour prouver qu'une activité est négligeable, calculer le rapport $A/A_0 = e^{-\lambda\,\Delta t}$ et le comparer à 1. Ici six semaines représentent environ 76 demi-vies : l'activité a été divisée 76 fois par deux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$6 \times 7 \times 24 \times 3600$

$3\,628\,800$

$e^{(-1.459\times10^{-5})\times3\,628\,800}$

$\approx 1.015382 \times 10^{-23}$

$4.8 \times 10^{11} \times 1.0 \times 10^{-23}$

$\approx 4.8 \times 10^{-12}$

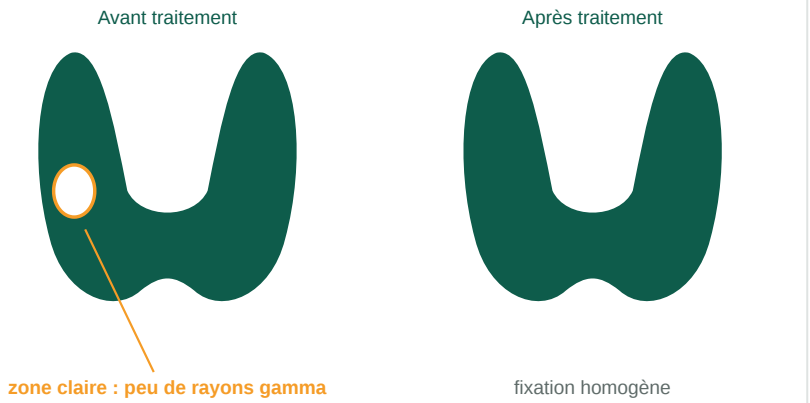
3.c D'après les deux images de scintigraphie (thyroïde avec un nodule, puis après traitement), le nodule est-il hyperfixant ou hypofixant ? Justifier.

D'après le texte, les zones foncées de l'image sont celles qui émettent fortement des rayons gamma, donc celles où l'iode radioactif s'est fixé.

Sur la première image, la thyroïde est sombre, sauf une petite tache claire dans le lobe situé à gauche : à cet endroit, l'émission est très faible, donc très peu d'iode s'est fixé. Cette tache correspond au nodule, puisqu'elle a disparu sur la seconde image, prise après traitement, où la glande est uniformément sombre.

Le nodule fixe moins d'iode que le reste de la glande : il est **hypofixant**.

PIÈGE
Associer « clair » à « beaucoup d'iode », comme sur une radiographie. La convention est donnée dans l'énoncé : foncé signifie forte émission. Un nodule hyperfixant apparaîtrait plus sombre que le reste de la glande.



3.c · Schéma des deux scintigraphies du sujet (zones foncées = forte émission)