

La thyroïde est une glande, située dans la région cervicale antérieure, appliquée contre le larynx et la partie supérieure de la trachée. La fonction principale de cette glande est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire qui se fixe temporairement sur cette glande.

De petite taille, pesant 15 à 25 g chez l'adulte et mesurant environ 4 cm en largeur et 3 cm en hauteur, elle n'est normalement pas, ou à peine, palpable. Mais elle peut s'hypertrophier, soit de manière plus ou moins diffuse et homogène, soit de manière localisée avec la formation de nodule(s). Ces nodules peuvent principalement être de deux sortes : hypofixant ou hyperfixant. Ils sont dits hypofixants s'ils fixent peu d'iode par rapport au reste de la thyroïde. Inversement, ils sont dits hyperfixants s'ils fixent plus d'iode que le reste de la thyroïde.

Ce sont ces nodules qu'il faut déceler pour traiter le patient si nécessaire. Ceci est réalisé à l'aide de traceurs radioactifs, les isotopes ^{123}I et ^{131}I , de constantes radioactives respectives $\lambda_{123} = 1,459 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ et $\lambda_{131} = 1,001 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Ces isotopes sont en effet des émetteurs de rayons gamma pouvant être détectés par un appareil de mesure appelé « détecteur à scintillations ». La condition pour que l'appareil de mesure utilisé ici compte les rayons gamma, est que ceux-ci aient une énergie supérieure à 20 eV. Il en résulte alors une image reconstituée de l'organe étudié, sur laquelle les zones foncées représentent les zones de l'organe fortement émettrices en rayons gamma. La scintigraphie est donc une sorte de photographie.

Lorsque l'analyse est pressée, on préfère utiliser l'isotope ^{123}I qui nécessite un temps de pose de l'ordre du quart d'heure. On injecte au patient une dose d'activité $\mathcal{A} = 7,0 \text{ MBq}$, sous forme d'une solution d'iodure de sodium NaI où l'iode est le traceur radioactif. On laisse l'iode se fixer environ 4 heures, temps au bout duquel on réalise la scintigraphie.

1. Choix de l'isotope ^{123}I

1.1. L'isotope ^{123}I est préparé par réaction nucléaire entre un deutérium ^2_1H de haute énergie, et du tellure $^{122}_{52}\text{Te}$. Écrire l'équation correspondante. Préciser les lois de conservation utilisées et le nom de la particule émise. Donnée : numéro atomique de l'élément iode : $Z(\text{I}) = 53$.

1.2. Calculer le temps de demi-vie des deux isotopes. Quel peut être alors l'avantage d'utiliser l'isotope ^{123}I par rapport au ^{131}I ? Justifier.

2. Administration de l'iode à des patients

L'hôpital commande un flacon d'une solution de NaI avec de l'iode ^{123}I , pour l'utiliser sur plusieurs patients.

Pour des raisons pratiques, les injections sont effectuées toutes les 30 minutes. La première injection a lieu le matin à 9 h. Juste avant cette injection, l'activité du flacon de l'hôpital est de 28,5 MBq. À chaque injection, on prélève une dose d'activité égale à 7 MBq.

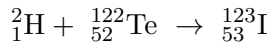
- 2.1.** Quelle est l'activité de la solution restant dans le flacon juste après l'injection (supposée instantanée) au premier patient ?
- 2.2.** Calculer la valeur de $e^{-\lambda \cdot \Delta t}$, si $\Delta t = 30 \text{ min}$.
En déduire l'activité du flacon à 9h30, juste avant l'injection au second patient.
- 2.3.** Les injections suivantes ont lieu toutes les demi-heures. Combien de patients pourront alors recevoir la dose nécessaire (7 MBq) à la réalisation d'une scintigraphie ?

3. Précaution et analyse des images obtenues

- 3.1.** Quel est le nombre de noyaux radioactifs N_0 injectés à chaque patient ?
- 3.2.** Il est courant de réaliser une deuxième injection aux patients, afin de vérifier que le traitement a été efficace. On estime qu'entre deux injections à un patient, il doit s'écouler environ six semaines afin que la première n'influence pas la scintigraphie de la deuxième.
Montrer que la première injection n'a alors aucune influence sur la scintigraphie qui suit la deuxième injection.
- 3.3.** La scintigraphie permet d'obtenir les images ci-dessous. On y trouve notamment une thyroïde comportant un nodule, puis cette thyroïde après traitement. S'agit-il d'un nodule hyperfixant ou hypofixant ? Justifier.



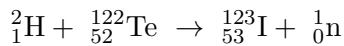
1.1. Équation de la réaction nucléaire :



Cette équation n'est pas équilibrée, il y a une masse de trop, on utilise les lois de Soddy :

$$\begin{cases} 2 + 122 = 123 + y \\ 1 + 52 = 53 + x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = 1 \\ x = 0 \end{cases}$$

On en déduit l'équation équilibrée :



La particule émise est un neutron ${}^1_0\text{n}$.

1.2. Calcul des temps de demi-vie :

$$\begin{cases} t_{1/2} ({}^{123}_{53}\text{I}) = \frac{\ln 2}{\lambda_{123}} = 4,751 \times 10^4 \text{ s} \\ t_{1/2} ({}^{131}_{53}\text{I}) = \frac{\ln 2}{\lambda_{131}} = 6,925 \times 10^5 \text{ s} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t_{1/2} ({}^{123}_{53}\text{I}) = 13,20 \text{ h} \simeq 13 \text{ h } 12 \text{ min} \\ t_{1/2} ({}^{131}_{53}\text{I}) = 8,015 \text{ d} \simeq 8 \text{ d } 21 \text{ min} \end{cases}$$

L'iode 123 a comme avantage d'être plus rapidement désintégré, en quelques jours ($10 \cdot t_{1/2} \simeq 6 \text{ d}$), et ainsi sa dangerosité s'atténue rapidement ; autre avantage, la mesure est plus rapide. L'iode 131 persiste plus longtemps, de l'ordre du mois ($10 \cdot t_{1/2} \simeq 2 \text{ mois } 1/2$).

2.1. L'activité restante dans le flacon vaut :

$$28,5 - 7 = 21,5 \text{ MBq}$$

2.2. Calcul de l'exponentielle, sans unité :

$$e^{-\lambda_{123}\Delta t} = e^{-1,459 \times 10^{-5} \times 30 \times 60} = 0,9741$$

D'après la loi de décroissance radioactive :

$$\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda_{123}t}$$

l'activité initiale $\mathcal{A}_0 = 21,5 \text{ MBq}$ est ramenée à :

$$\mathcal{A}(30 \text{ min}) = 21,5 \times 0,9741 = 20,9 \text{ MBq}$$

au bout d'une demi-heure.

2.3. On procède par récurrence. Chaque injection correspond à une soustraction de 7 MBq suivie d'une multiplication par 0,9741 :

$$28,5 - 7 = 21,5 \text{ MBq} \quad 21,5 \times 0,9741 = 20,9 \text{ MBq}$$

$$20,9 - 7 = 13,9 \text{ MBq} \quad 13,9 \times 0,9741 = 13,5 \text{ MBq}$$

$$13,5 - 7 = 6,5 \text{ MBq} \quad 6,5 \times 0,9741 = 6,3 \text{ MBq}$$

On constate qu'après la troisième injection, la dose restante n'est plus suffisante pour une petite quatrième.

3.1. Relation entre activité et nombre de noyaux :

$$\mathcal{A} = \lambda_{123}N \Leftrightarrow N = \frac{\mathcal{A}}{\lambda_{123}}$$

$$\Rightarrow N = \frac{7 \times 10^6}{1,459 \times 10^{-5}} = 4,798 \times 10^{11}$$

3.2. Calculons l'activité résiduelle à six semaines, pour une activité initiale $\mathcal{A}_0 = 7 \text{ MBq}$:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}(6 \text{ w}) &= \mathcal{A} e^{-\lambda_{123}t} \\ &= 7 \times 10^6 \times e^{-1,459 \times 10^{-5} \times 6 \times 7 \times 24 \times 3600} \\ &= 7 \times 10^{-17} \text{ Bq} \end{aligned}$$

Cette activité est effectivement totalement négligeable devant la dose de 7 MBq (et aussi devant la radioactivité naturelle).

3.3. Sur l'image de gauche, on observe un nodule hypofixant. En effet, on observe une zone de plus faible émission gamma, correspondant à une plus faible fixation du diiode (la zone plus claire à gauche au centre de l'image).

Cette zone a disparu sur l'image de droite, confirmant un fonctionnement correct de la thyroïde.

Grille DS5 TS1 2011

- ${}^2_1\text{H} + {}^{122}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{123}_{53}\text{I} + {}^1_0\text{n}$
- Lois de Soddy
- Neutron ${}^1_0\text{n}$ émis
- $t_{1/2} = \ln 2/\lambda$
- $t_{1/2}(123) = 4,751 \times 10^4$ s ou 13h, 12min
- $t_{1/2}(131) = 6,925 \times 10^5$ s ou 8d, 21min
- Iode 123 se désintègre plus rapidement
- 21,5 MBq
- $e^{-\lambda \cdot \Delta t} = 0,9741$
- $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$ ici ou ailleurs
- 20,9 MBq
- 20,9 MBq
- 3 patients, justifié
- 3 patients, justifié
- $N = \mathcal{A}/\lambda_{123}$
- $N_0 = 4,798 \times 10^{11}$ noyaux (environ)
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- Hypofixant, justifié
- Hypofixant, justifié

Note

.../20

Grille DS5 TS1 2011

- ${}^2_1\text{H} + {}^{122}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{123}_{53}\text{I} + {}^1_0\text{n}$
- Lois de Soddy
- Neutron ${}^1_0\text{n}$ émis
- $t_{1/2} = \ln 2/\lambda$
- $t_{1/2}(123) = 4,751 \times 10^4$ s ou 13h, 12min
- $t_{1/2}(131) = 6,925 \times 10^5$ s ou 8d, 21min
- Iode 123 se désintègre plus rapidement
- 21,5 MBq
- $e^{-\lambda \cdot \Delta t} = 0,9741$
- $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$ ici ou ailleurs
- 20,9 MBq
- 20,9 MBq
- 3 patients, justifié
- 3 patients, justifié
- $N = \mathcal{A}/\lambda_{123}$
- $N_0 = 4,798 \times 10^{11}$ noyaux (environ)
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- Hypofixant, justifié
- Hypofixant, justifié

Note

.../20

Grille DS5 TS1 2011

- ${}^2_1\text{H} + {}^{122}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{123}_{53}\text{I} + {}^1_0\text{n}$
- Lois de Soddy
- Neutron ${}^1_0\text{n}$ émis
- $t_{1/2} = \ln 2/\lambda$
- $t_{1/2}(123) = 4,751 \times 10^4$ s ou 13h, 12min
- $t_{1/2}(131) = 6,925 \times 10^5$ s ou 8d, 21min
- Iode 123 se désintègre plus rapidement
- 21,5 MBq
- $e^{-\lambda \cdot \Delta t} = 0,9741$
- $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$ ici ou ailleurs
- 20,9 MBq
- 20,9 MBq
- 3 patients, justifié
- 3 patients, justifié
- $N = \mathcal{A}/\lambda_{123}$
- $N_0 = 4,798 \times 10^{11}$ noyaux (environ)
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- Hypofixant, justifié
- Hypofixant, justifié

Note

.../20

Grille DS5 TS1 2011

- ${}^2_1\text{H} + {}^{122}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{123}_{53}\text{I} + {}^1_0\text{n}$
- Lois de Soddy
- Neutron ${}^1_0\text{n}$ émis
- $t_{1/2} = \ln 2/\lambda$
- $t_{1/2}(123) = 4,751 \times 10^4$ s ou 13h, 12min
- $t_{1/2}(131) = 6,925 \times 10^5$ s ou 8d, 21min
- Iode 123 se désintègre plus rapidement
- 21,5 MBq
- $e^{-\lambda \cdot \Delta t} = 0,9741$
- $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t}$ ici ou ailleurs
- 20,9 MBq
- 20,9 MBq
- 3 patients, justifié
- 3 patients, justifié
- $N = \mathcal{A}/\lambda_{123}$
- $N_0 = 4,798 \times 10^{11}$ noyaux (environ)
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- $\mathcal{A}(6\text{ w})$ négligeable, justifié très proprement
- Hypofixant, justifié
- Hypofixant, justifié

Note

.../20