

1 Objectifs

Tracer la courbe de décroissance radioactive d'un noyau, la modéliser et l'exploiter. Etudier une application de la radioactivité dans le domaine médical.

2 Introduction

Document 1 : La scintigraphie thyroïdienne

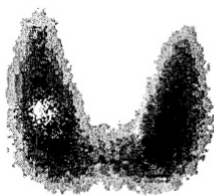
La thyroïde est une glande dont la fonction principale de la thyroïde est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire qui se fixe temporairement sur cette glande. De petite taille, elle n'est normalement pas, ou à peine, palpable. Mais elle peut s'hypertrophier, soit de manière 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 $^{123}_{53}\text{I}$ et $^{131}_{53}\text{I}$. 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. Lors de la scintigraphie, on injecte au patient une dose d'iode ^{131}I , contenu dans une solution d'iodure de sodium NaI où l'iode est le traceur radioactif. Chez l'adulte (70 kg), l'activité en iode 131 nécessaire pour effectuer une scintigraphie est de 9,27 MBq, sachant que 1 g d'iode 131 correspond à une activité de $4,6 \times 10^{15} \text{ Bq}$. On laisse alors l'iode se fixer, soit environ 48 heures, temps au bout duquel on réalise la scintigraphie.

Document 2 : L'électron-volt (eV)

L'unité d'énergie dans le Système International (SI) est le Joule (J). En physique microscopique, on utilise préférentiellement une autre unité, l'électron-volt (eV), qui est "plus petite" que le joule mais qui est plus adapté à l'infiniment petit.

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

Document 3 : Images de la scintigraphie thyroïdienne



Scintigraphie A



Scintigraphie B

- ① Donner la composition (nombre de protons et de neutrons) de l'iode 131 ($^{131}_{53}\text{I}$).
- ② Citer les traceurs radioactifs utilisés lors d'une scintigraphie.
- ③ Donner le nom du rayonnement émis par ces traceurs radioactifs.
- ④ Donner la valeur minimale de l'énergie, en joules, des rayonnements pouvant être détectés par l'appareil.
- ⑤ Décrire le principe de fonctionnement des appareils de mesure appelé "détecteur à scintillations".
- ⑥ Calculer la masse d'iode 131 injectée chez une personne de 70 kg pour effectuer une scintigraphie.
- ⑦ Citer les deux types de nodules.
- ⑧ Sur le document 3, on y trouve notamment une thyroïde comportant un nodule, puis cette thyroïde après traitement. S'agit-il d'un nodule hyperfixant ou hypofixant ? Justifier.

3 Loi de décroissance radioactive

Après injection d'iode 131 directement dans le sang, le patient possède une activité radioactive. Dans cette partie, on étudie l'évolution de cette activité radioactive au cours du temps. Pour cela, on utilisera le logiciel "radioactivité" disponible à l'adresse suivante : (<https://laboiteaphysique.fr/nucleaire/mesures.html>). Les sources radioactives sont caractérisées par le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ .

Document 4 : Temps de demi-vie $t_{1/2}$

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée. Il est noté $t_{1/2}$. C'est une caractéristique physique de l'élément radioactif considéré.

Le temps de demi-vie s'exprime en secondes (s) dans le Système International d'unités.

Document 5 : Constante radioactive λ

La constante radioactive représente la probabilité de désintégration, par unité de temps, d'un noyau radioactif. La constante radioactive est notée λ . La constante radioactive s'exprime en s^{-1} .

Le temps de demi-vie et la constante radioactive sont liés par la relation : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

3.1 Mesures de la radioactivité de la source d'iode 131

- ① Lancer le logiciel 'radioactivité' puis choisir "iode 131" comme source radioactive. Cette source radioactive a été créée le 1 Janvier 2015. Sélectionner cette date sur le calendrier. On prendra cette date comme origine du temps à $t = 0$ j. Mesurer le nombre N de noyaux qui se désintègrent au cours de cette date en cliquant sur le bouton "comp". Faire un tableau de mesure en indiquant pour chaque valeur de temps t le nombre N de noyaux qui se désintègrent. Refaire des mesures en augmentant la valeur du temps de 1 jours jusqu'au 10 Janvier 2015 ($t = 9$ j) puis d'une semaine (7 jours) jusqu'au 25 Avril 2015 ($t = 114$ j).
- ② Tracer la courbe du nombre de désintégrations en fonction du temps.
- ③ Donner l'allure de la courbe et son équation.
- ④ Déterminer expérimentalement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'iode 131 en j.
- ⑤ En déduire la valeur de la constante radioactive λ de l'iode 131 en j^{-1} .
- ⑥ On peut également déterminer cette constante radioactive λ en linéarisant la loi de décroissance radioactive précédente. Pour cela, ajouter au tableau précédent, une ligne permettant de calculer $\ln N$.
- ⑦ Tracer la courbe de $\ln N$ en fonction du temps.
- ⑧ Donner l'allure de la courbe et son équation.
- ⑨ Le coefficient directeur de la droite correspond à la valeur de la constante radioactive λ . Donner la valeur de cette constante radioactive λ avec trois chiffres significatifs en j^{-1} .

3.2 Validation et exploitation des résultats

- ① On souhaite déterminer l'incertitude-type élargie $U(\lambda)$ associée à la constante radioactive. Pour cela, relever dans un tableau les différentes valeurs de la constante radioactive des groupes de la classe.
- ② Calculer la valeur moyenne λ_{moy} et la valeur de l'écart-type σ_{n-1} de cette série de mesure.
- ③ Estimer l'incertitude-type élargie $U(\lambda)$ avec un niveau de confiance de 95% sachant que l'on a la relation :

$$U(\lambda) = k \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

Ci-dessous les valeurs de k en fonction du nombre de mesures pour un niveau de confiance de 95 %

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k_{95\%}$	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,20	2,16	2,13	2,09

- ④ Donner l'expression de la constante radioactive λ . Le résultat sera écrit sous la forme : $\lambda = \lambda_{moy} \pm U(\lambda)$
- ⑤ Le nombre de noyaux d'iode 131 injectés chez une personne de 70 kg pour effectuer une scintigraphie est de $9,26 \times 10^{12}$. Lors de la prise de l'iode 131, le patient doit s'isoler, jusqu'à ce qu'il ne reste plus que $5,52 \times 10^{12}$ de noyaux d'iode 131. En utilisant l'équation de la droite donnée dans la question ⑧ de la partie précédente, déterminer la date t , exprimée en jour (j), au bout de laquelle le patient n'a plus besoin de prendre de précautions après l'injection. dans son organisme.