

EXERCICES DE REVISION : RADIOACTIVITE

Capacités exigibles :

- Différents types de radioactivité : α , β^+ , β^- , capture électronique, γ .
- Activité d'une source.
- Loi de décroissance radioactive.
- Période radioactive.
- Mesure de la radioactivité d'un échantillon. Traceurs.

Exercice 1 (D'après BTS ABM 2016 Scintigraphie du myocarde)

Données :

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- Constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- Electronvolt : $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Relation entre l'énergie d'un photon et sa fréquence ν : $E = h\nu$
- Masse molaire du technétium 99 : $M = 201,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Demi-vie (période radioactive) du technétium excité ^{99m}Tc : 6 heures
- Demi-vie du technétium ^{99}Tc : 212 000 ans
- Relation entre constante radioactive λ , et demi-vie $t_{1/2}$: $\lambda \times t_{1/2} = \ln(2)$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

La douleur thoracique est une cause très fréquente de consultation et correspond à plus de 50% des motifs d'hospitalisations en cardiologie. En complément d'autres examens, le médecin peut prescrire une scintigraphie myocardique. Les explorations scintigraphiques sont possibles par l'injection d'une substance radioactive particulière, un traceur radioactif.

Un détecteur enregistre, via les rayonnements γ (gamma) émis, la distribution de la substance injectée dans les différentes parties de l'organe examiné. Cette répartition est visualisée sous forme de série de points "scintillants" correspondant aux zones marquées par le produit radioactif. La scintigraphie peut révéler des anomalies de perfusion du cœur (les zones bien perfusées donnent une image homogène alors que les zones mal perfusées (on parle dischémie) apparaissent en négatif. En général l'examen s'étend sur une durée de 4 heures.

D'après des textes de la Fédération française de cardiologie

1. Production du technétium 99m

Le traceur radioactif appelé technétium-99m (^{99m}Tc) correspond à un noyau de technétium-99 pris dans un état excité. C'est un isotope du technétium 98. Le technétium ^{99m}Tc est produit peu de temps avant l'intervention médicale à partir d'un noyau père radioactif, β^- .

1.1. Rappeler la définition de deux isotopes.

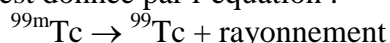
1.2. Donner la composition du noyau de technétium-99, $^{99}_{43}\text{Tc}$.

1.3. Ecrire l'équation de la désintégration radioactive conduisant au technétium-99m en précisant les règles utilisées et en identifiant, par son symbole et son nom le noyau père.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| yttrium 39 Y 88,90585 | zirconium 40 Zr 91,224 | niobium 41 Nb 92,90638 | molybdène 42 Mo 95,94 | technétium 43 Tc 97,9072 | ruthénium 44 Ru 101,07 | rhodium 45 Rh 102,90550 | palladium 46 Pd 106,42 | argent 47 Ag 107,8682 | cadmium 48 Cd 112,411 | indium 49 In 114,818 | étain 50 Sn 118,710 | antimoine 51 Sb 121,760 | tellure 52 Te 127,60 | iode 53 I 126,90447 | xénon 54 Xe 131,29 |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|

2. La désintégration du technétium 99m

Normalement, les états excités retournent à l'état normal au bout d'une fraction de seconde. Il arrive exceptionnellement que la transition soit très ralentie. Le technétium ^{99m}Tc (état excité du ^{99}Tc) émet alors un rayonnement pour se désexciter et se trouve sous la forme de technétium 99 (^{99}Tc). La réaction de désexcitation est donnée par l'équation :



Le noyau de technétium ^{99}Tc est lui-même radioactif et conduit à un noyau de ruthénium stable.

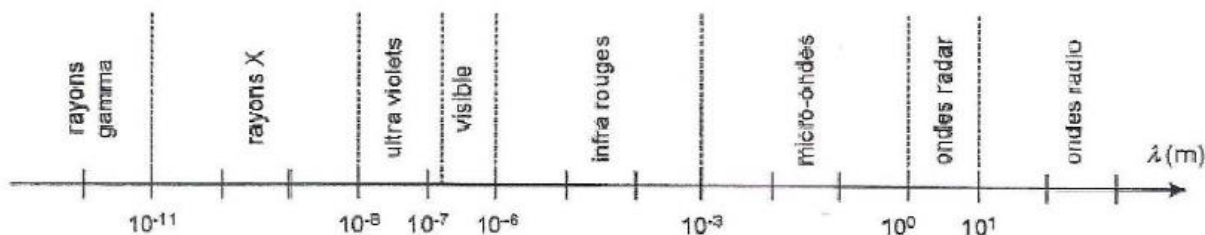
2.1. En s'aidant des données, justifier que la réaction de désintégration en ruthénium du noyau de

technétium ^{99}Tc ne perturbe pas la mesure au cours de l'examen.

Lors de la désintégration du technétium $^{99\text{m}}$ le rayonnement émis possède une énergie E de 140 keV (kilo électronvolts).

2.2. Calculer la longueur d'onde λ_r , de ce rayonnement dans le vide.

2.3. A partir du spectre électromagnétique représenté ci-dessous, indiquer à quel domaine des ondes électromagnétiques ce type de rayonnement appartient. Ce dernier est-il en accord avec l'extrait du texte de la fédération française de cardiologie ?



Les différents domaines du spectre électromagnétique (longueurs d'onde dans le vide)

3. Scintigraphie myocardique

Lors d'une scintigraphie myocardique, une solution de sel de technétium $^{99\text{m}}$ est utilisée.

Cet examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une solution d'activité A_0 de 150 MBq. On visualise les premières images du cœur quelques minutes seulement après l'injection.

Au bout de combien de temps l'activité aura-t-elle diminué de 80% dans le corps du patient ?

Exercice 2 (D'après BTS ABM 2014 Dosage de l'insuline par la méthode de radio-immunologie)

Données :

| | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|------|----|----|----|----|----|----|----|
| Élément | H | C | O | Sn | Sb | Te | I | Xe | Cs | Ba |
| Numéro atomique Z | 1 | 6 | 8 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| Masse molaire atomique ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) | 1,0 | 12,0 | 16,0 | | | | | | | |

Constante radioactive de l'iode 125 : $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

La méthode consiste à ajouter à la solution d'insuline à doser, de l'insuline marquée par un atome radioactif, l'iode 125. Ce mélange est ensuite mis en présence d'un anticorps spécifique. Un complexe anticorps-insuline se forme alors à partir de l'insuline marquée et de l'insuline non marquée dans des proportions liées aux concentrations initiales. Le complexe est isolé et on mesure son activité. Une courbe d'étalonnage obtenue à partir de solutions d'insuline de concentrations connues ayant subi le même traitement que l'échantillon étudié permet de déterminer la concentration de l'insuline à partir de la valeur de l'activité mesurée.

1. Indiquer la composition du noyau d'iode 125.

L'iode 125 se désintègre par capture électronique interne, c'est à dire en capturant un électron ${}^0_{-1}e$ de son cortège électronique.

2. Écrire l'équation de la capture électronique de l'iode 125 en explicitant les lois de conservation utilisées.

Pour réaliser le dosage on a réalisé une gamme de solutions témoins en faisant varier la concentration d'insuline non marquée, la quantité d'insuline marquée étant la même pour chaque solution. La mesure de leur activité conduit aux données suivantes :

| | | | | | |
|---|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Concentration en insuline non marquée ($\mu\text{g}/\text{mL}$) | 0 | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | $6,8 \cdot 10^{-4}$ | $1,6 \cdot 10^{-3}$ | $3,2 \cdot 10^{-3}$ |
| Activité (Bq) | 242 | 193 | 155 | 112 | 85 |

3. Tracer la courbe donnant l'activité (en Bq) en fonction de la concentration (en $\mu\text{g}/\text{mL}$) en insuline (échelle conseillée : 1cm pour $2,5 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{mL}$ et 1cm pour 20 Bq).

La mesure réalisée avec l'échantillon de sérum sanguin donne une activité de 142 Bq.

4. En déduire la valeur de la concentration d'insuline dans le sérum dosé.

5. Estimer la valeur de l'activité de l'échantillon dosé au bout d'un an de stockage.

Exercice 3 (D'après BTS ABM 2012 Scintigraphie de la thyroïde)

Historiquement, la scintigraphie a été la première méthode d'imagerie thyroïdienne. Elle nécessite l'injection d'un isotope radioactif de l'iode (^{123}I ou ^{131}I) ou du technétium (^{99}Tc).

L'iode 123 est devenu l'isotope de référence mais l'iode 131 permet le suivi des cancers thyroïdiens.

L'iode 131 est radioactif β^- et a un temps de demi-vie $t_{1/2}$ de 8 jours. Il s'accumule dans la thyroïde de la même façon que tous les autres isotopes de l'iode.

1. Un nucléide peut être représenté par la notation ${}^A_Z\text{X}$. Donner la signification des différents termes.

2. Parmi les 37 isotopes que compte l'iode, un seul, l'iode 127, est stable.

2.1. Définir l'expression « isotopes d'un élément ».

2.2. Donner la composition du noyau d'un atome d'iode 127 sachant que son numéro atomique est $Z = 53$.

3. 3.1. Que signifie l'expression « l'iode 131 est radioactif β^- » ?

3.2. Ecrire l'équation de la désintégration d'un noyau ${}^{131}_{53}\text{I}$ en explicitant les lois permettant l'écriture de cette équation de désintégration. Identifier le noyau fils obtenu, à l'aide du tableau périodique donné ci-dessous.

M : masse molaire atomique ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)

X : symbole de l'élément

Z : numéro atomique

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | |
| 1,0 ${}_1\text{H}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,0 ${}_2\text{He}$ |
| 6,9 ${}_3\text{Li}$ | 9,0 ${}_4\text{Be}$ | | | | | | | | | | | | 10,8 ${}_5\text{B}$ | 12,0 ${}_6\text{C}$ | 14,0 ${}_7\text{N}$ | 16,0 ${}_8\text{O}$ | 19,0 ${}_9\text{F}$ | 20,2 ${}_{10}\text{Ne}$ | |
| 23,0 ${}_{11}\text{Na}$ | 24,3 ${}_{12}\text{Mg}$ | | | | | | | | | | | | 27,0 ${}_{13}\text{Al}$ | 28,1 ${}_{14}\text{Si}$ | 31,0 ${}_{15}\text{P}$ | 32,1 ${}_{16}\text{S}$ | 35,5 ${}_{17}\text{Cl}$ | 39,9 ${}_{18}\text{Ar}$ | |
| 39,1 ${}_{19}\text{K}$ | 40,1 ${}_{20}\text{Ca}$ | 45,0 ${}_{21}\text{Sc}$ | 47,9 ${}_{22}\text{Ti}$ | 50,9 ${}_{23}\text{V}$ | 52,0 ${}_{24}\text{Cr}$ | 54,9 ${}_{25}\text{Mn}$ | 55,8 ${}_{26}\text{Fe}$ | 58,9 ${}_{27}\text{Co}$ | 58,7 ${}_{28}\text{Ni}$ | 63,5 ${}_{29}\text{Cu}$ | 65,4 ${}_{30}\text{Zn}$ | 69,7 ${}_{31}\text{Ga}$ | 72,6 ${}_{32}\text{Ge}$ | 74,9 ${}_{33}\text{As}$ | 79,0 ${}_{34}\text{Se}$ | 79,9 ${}_{35}\text{Br}$ | 83,8 ${}_{36}\text{Kr}$ | | |
| 85,5 ${}_{37}\text{Rb}$ | 87,6 ${}_{38}\text{Sr}$ | 88,9 ${}_{39}\text{Y}$ | 91,2 ${}_{40}\text{Zr}$ | 92,9 ${}_{41}\text{Nb}$ | 95,9 ${}_{42}\text{Mo}$ | 98 ${}_{43}\text{Tc}$ | 101,1 ${}_{44}\text{Ru}$ | 102,9 ${}_{45}\text{Rh}$ | 106,4 ${}_{46}\text{Pd}$ | 107,9 ${}_{47}\text{Ag}$ | 112,4 ${}_{48}\text{Cd}$ | 114,8 ${}_{49}\text{In}$ | 118,7 ${}_{50}\text{Sn}$ | 121,8 ${}_{51}\text{Sb}$ | 127,6 ${}_{52}\text{Te}$ | 126,9 ${}_{53}\text{I}$ | 130,3 ${}_{54}\text{Xe}$ | | |

3.3. Donner la définition du temps de demi-vie (ou période radioactive) $t_{1/2}$ de l'iode 131.

Pour passer un examen de contrôle de la thyroïde par scintigraphie, un malade ingère une dose d'iode 131 de masse égale à $3,0 \cdot 10^{-8}$ g, sous forme d'une gélule d'iodure de sodium ou de potassium. La dose injectée est en général comprise entre 111 et 185 MBq.

4. 4.1. Vérifier que $1,4 \cdot 10^{14}$ noyaux d'iode 131 sont présents dans l'échantillon injecté. On rappelle que le nombre d'Avogadro vaut $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ et que la masse molaire de l'iode 131 vaut $131 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

4.2. En déduire l'activité A_0 de cette gélule. Cette activité est-elle conforme à la norme ?

On rappelle que $1 \text{ MBq} = 10^6 \text{ Bq}$. La constante de désintégration radioactive de l'iode 131 vaut : $\lambda = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

4.3. Montrer que l'activité de la gélule sera égale à 1% de son activité initiale au bout de 53 jours. On rappelle que l'activité évolue selon la loi $A = A_0 e^{-\lambda t}$.

4.4. Le temps de demi-vie de l'iode 131 est de 8 jours, celui de l'iode 123 est de 13,2 h. Justifier sans calcul, le fait que, depuis quelques années, on utilise cet isotope de l'iode, plutôt que l'iode 131, en imagerie médicale.