

Exercice 6 (D'après bac STL Biotechnologie Antilles Juin 2014)

1. Désintégration du noyau radioactif utilisé pour la scintigraphie

1.1. D'après l'annexe A, pourquoi la caméra utilisée pour cette technique est-elle appelée « gamma caméra » ?

1.2. Donner la signification des nombres 42 et 99 pour le noyau du molybdène 99. Vérifier que ce noyau contient 57 neutrons. En utilisant le document de l'annexe A3 ci-après, expliquer pourquoi ce nucléide est radioactif.

1.3. Le nucléide $^{99}_{42}Mo$ se désintègre en technétium $^{99}_{43}Tc$ en émettant également une particule.

1.3.1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration nucléaire du molybdène et identifier la particule émise en précisant les lois de conservation utilisées.

1.3.2. De quel type de radioactivité s'agit-il ? Préciser, en justifiant, si votre réponse est en accord avec les indications du document de l'annexe A3.

1.3.3. Le noyau $^{99}_{43}Tc$ est également instable. Expliquer, à partir du document A3, quel type de désintégration est mis en jeu.

2. Rayonnement γ

Lors de la désintégration précédente le technétium est obtenu dans un état excité. Il subit spontanément une transition de l'état excité vers l'état fondamental et émet un rayonnement γ d'énergie $E = 141,0 \text{ keV}$.

Données :

Énergie d'un photon : $E = h\nu$ avec $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

Relation entre la longueur d'onde et la fréquence d'une onde électromagnétique : $c = \lambda \cdot v$
avec $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$1,00 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

2.1.

2.1.1. À quel type d'ondes appartient le rayonnement γ ?

2.1.2. Vérifier que l'énergie du photon émis vaut $2,26 \times 10^{-14} \text{ J}$.

2.1.3. Calculer la fréquence v de l'onde associée en hertz (Hz).

2.1.4. En déduire sa longueur d'onde λ dans le vide. Exprimer le résultat en mètre et picomètre.

2.2. Selon vous, parmi les termes suivants, quel est celui qui caractérise la situation physique étudiée : *absorption, décroissance radioactive, désintégration, désexcitation*.

2.3. Compléter le spectre des ondes électromagnétiques donné sur le document réponse en plaçant les termes suivants : *rayonnement γ , ondes radio, rayonnements infrarouges et ultraviolets*.

3. Décroissance radioactive

3.1. Définir la demi-vie $t_{1/2}$ ou période radioactive d'un radioélément.

3.2. Rechercher sur le document de l'annexe A1 la demi-vie du technétium 99. Donner sa valeur en heure puis la convertir en seconde.

3.3. Des trois graphiques (a), (b) et (c) représentés en annexe A5, quel est celui qui illustre la loi de décroissance radioactive du radioélément ? Justifier votre réponse.

3.4. D'après le document A2, plus de 90 % des noyaux de technétium injectés sont désintégrés au bout de 25 heures. Justifier cette affirmation par la méthode de votre choix.

4. Effets biologiques et protection

La préparation du produit radioactif utilisé pour la scintigraphie nécessite la mise en place de règles de sécurité qui tiennent compte de l'exposition aux rayonnements.

Données :

Énergie du photon γ étudié : 141,0 keV

$$1,00 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

La dose absorbée est le rapport de l'énergie absorbée par la masse irradiée.

La dose équivalente est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération.

4.1. En supposant que le nombre de photons γ émis pendant 7,0 h vaut $1,5 \times 10^{13}$ et que le technicien en absorbe une fraction égale à 1,0 %, vérifier que l'énergie qu'il absorbe vaut $3,4 \times 10^{-3}$ J.

4.2. Calculer la dose absorbée D en grays (Gy) pendant 7,0 h par le technicien si sa masse m vaut 70,0 kg.

4.3. En déduire la dose équivalente H en millisievert (mSv). Le facteur de pondération vaut 1 pour les rayons γ .

4.4. À partir de l'annexe A4, préciser la couleur de la zone dans laquelle travaille le technicien.

A.4.5. Indiquer au moins deux mesures de protection qui permettent de limiter les risques d'exposition dangereuse aux radiations.

La scintigraphie est une technique d'exploration du corps humain qui permet de diagnostiquer des maladies. Elle consiste à injecter un produit traceur radioactif qui se fixe temporairement sur certains tissus ou organes. Le produit radioactif est choisi en fonction de l'organe que l'on souhaite étudier (os, cœur, poumon...). Une fois fixé, le médecin mesure la radioactivité du produit sur l'organe ou le tissu concerné grâce à une caméra spéciale appelée gamma caméra. Le système informatique associé à la caméra permet de restituer sur un écran de détection, à base de matériau scintillateur (le plus souvent de l'iodure de sodium), l'image de l'organe.

Dans le cas de la scintigraphie osseuse, le produit traceur est composé de biphosphonates (molécules indiquées dans le traitement de l'ostéoporose) couplé au technétium 99m radioactif.

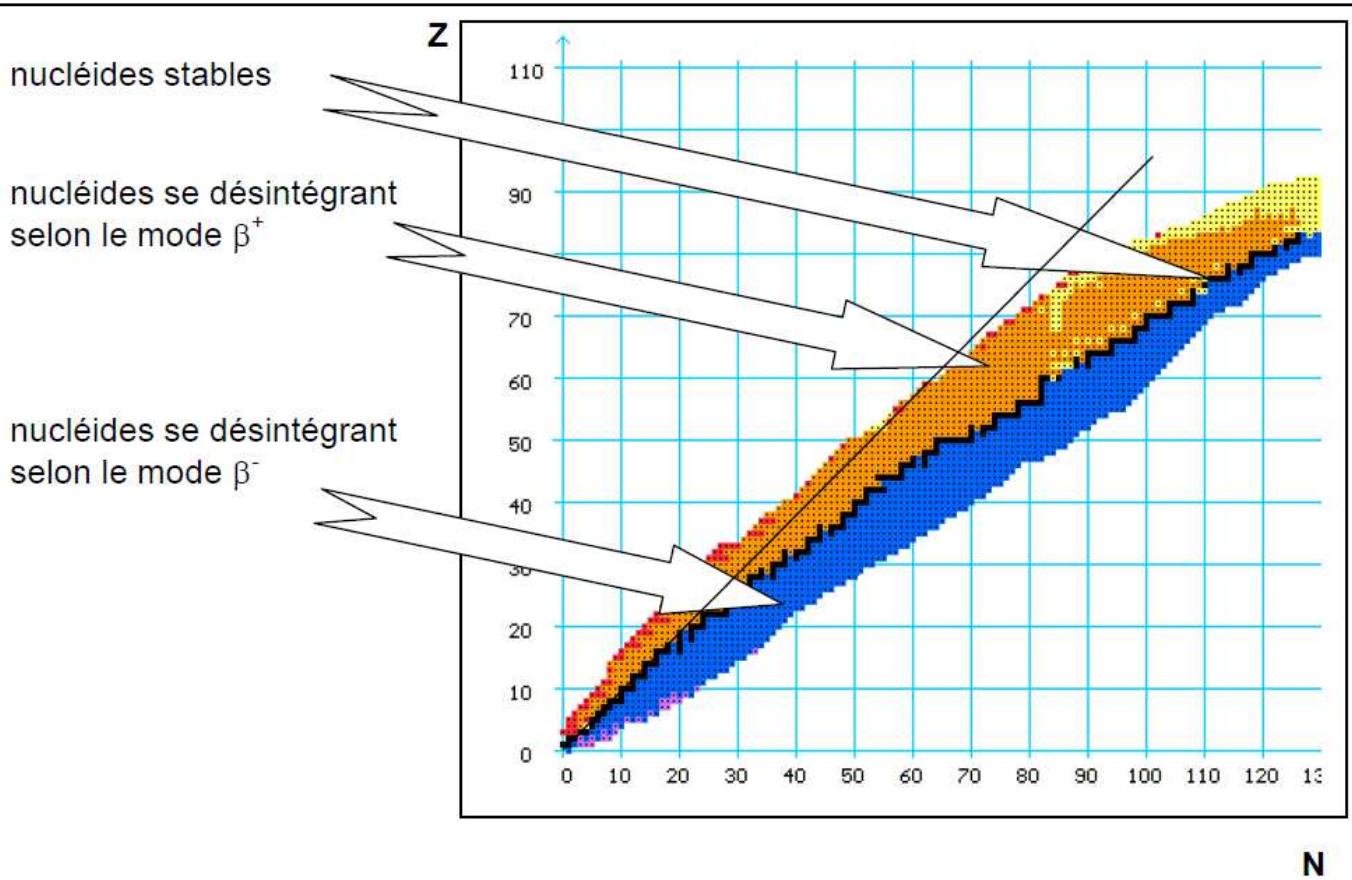
Le technétium 99m (ou technétium 99 métastable) noté ^{99m}Tc , est obtenu dans un état excité et a pour formule $^{99}_{43}\text{Tc}$ identique à celle du nucléide stable. Le technétium 99 métastable est un émetteur de rayons γ . Sa durée de demi-vie ou période radioactive vaut $t_{1/2} = 6,00$ h. Il est obtenu par désintégration nucléaire du molybdène $^{99}_{42}\text{Mo}$.

Annexe A1 – Principe de la scintigraphie



L'exposition radioactive lors d'une scintigraphie est comparable à celle de radiographies standards, elle est même souvent plus faible. L'exposition radioactive est située dans les limites de l'irradiation naturelle (cosmique, terrestre, corporelle). Plus de 90 % des noyaux de technétium injectés sont transformés au bout de 25 h. De ce fait, une scintigraphie n'est pas dangereuse pour l'organisme.

Annexe A2 – Exemple d'image obtenue par scintigraphie



Sur un système d'axes (N , Z) sont placés les différents nucléides des éléments chimiques. La diagonale correspond aux nucléides pour lesquels :
 Z (nombre de protons) = N (nombre de neutrons).
La zone noire et fine représente les nucléides stables (non radioactifs).
Les zones grisées claires et sombres représentent les nucléides instables (radioactifs).

Annexe A3 – Diagramme (N , Z)

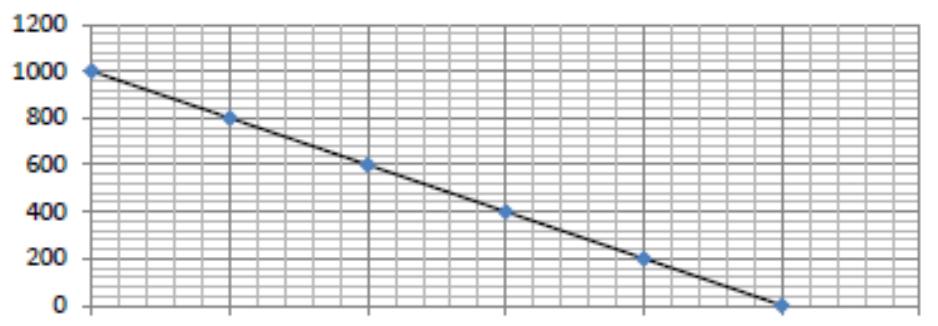
Le principe retenu en radioprotection est de maintenir l'exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA "As Low As Reasonably Achievable" ; qui se traduirait en français par « Aussi bas que raisonnablement possible »). Pour faciliter cette optimisation, les sites français exposés aux radiations ionisantes sont organisés en zones dont l'accès est plus ou moins restreint. Ces zones sont délimitées par les débits de doses suivants:

- **zone bleue** : d'environ $2,5$ à $7,5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$;
- **zone verte** : de $7,5$ à $25 \mu\text{Sv.h}^{-1}$;
- **zone jaune** : de $25 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ à 2 mSv.h^{-1} ;
- **zone orange** : de 2 à 100 mSv.h^{-1} ;
- **zone rouge** : $> 100 \text{ mSv.h}^{-1}$.

L'environnement naturel émet un rayonnement variant de $0,2 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ à $1 \mu\text{Sv.h}^{-1}$, avec une moyenne de $0,27 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ (soit $2,4 \text{ mSv.an}^{-1}.\text{habitant}^{-1}$). Le débit de dose dont on est certain qu'il produit des effets biologiques dangereux se situe à partir de 1 mSv.h^{-1} , c'est-à-dire en « zone jaune ».

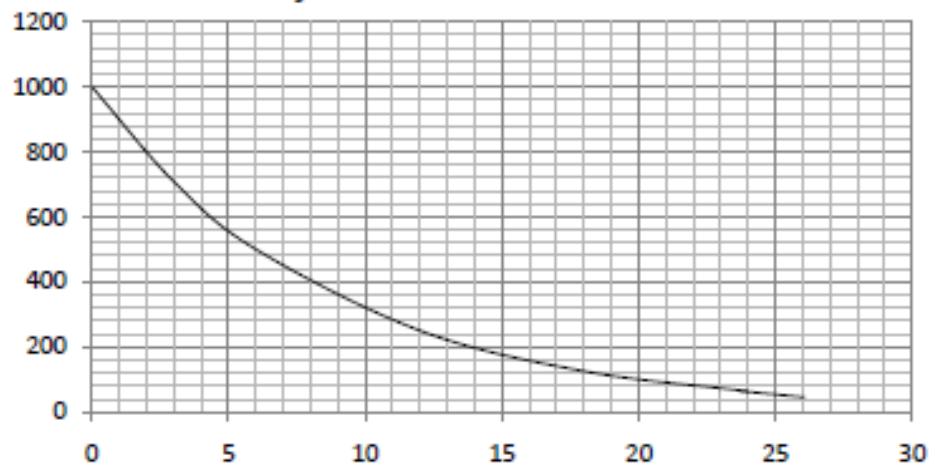
Annexe A4 – Délimitation des zones de sécurité

nombre de noyaux N



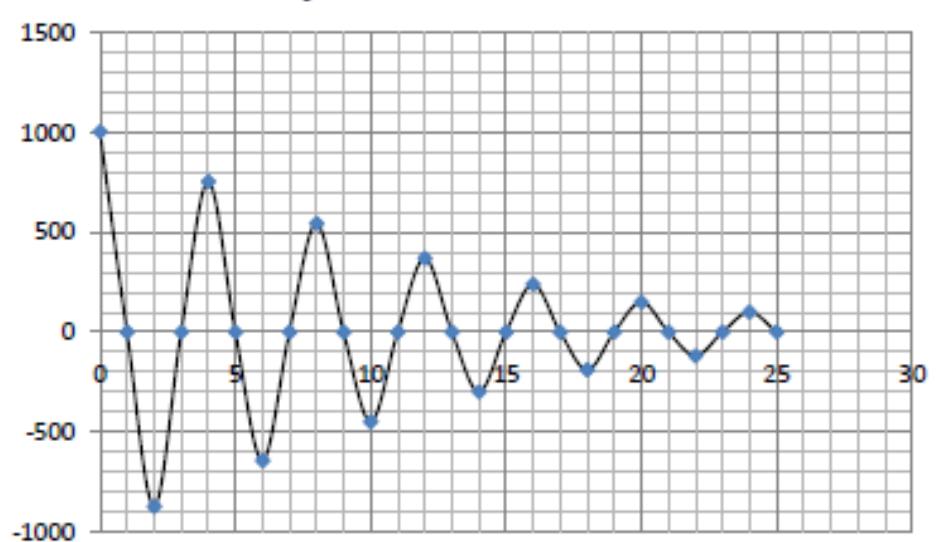
Courbe (a)

nombre de noyaux N



Courbe (b)

nombre de noyaux N



Courbe (c)

Annexe A5 – Propositions de graphiques illustrant la décroissance radioactive

temps t (h)

