# Exercice 3 - Utilisation médicale du technétium (6 points)

Les noyaux de technétium 99 radioactifs, notés $^{99}Tc^*$, sont émetteurs de rayonnements gamma ($\gamma$) utilisés dans les services de médecine nucléaire lors d'examens d'imagerie médicale tels que les scintigraphies osseuses. Produits dans le monde par uniquement dix réacteurs nucléaires, dont le réacteur Osiris du CEA en France, ces noyaux sont utilisés pour environ 500 000 examens médicaux par an en France. Dès 2014, le gouvernement français a lancé une alerte sur une pénurie durable à venir de noyaux de technétium 99, liée à la vétusté et l'arrêt programmé du fonctionnement de certains réacteurs nucléaires qui en assurent la production. Des mesures de gestion de cette pénurie ont été proposées par le Conseil National Professionnel de Médecine Nucléaire.

*D'après Revue Médicale Suisse* du 5 mars 2014

*https://www.sfen.org/rgn/fermeture-reacteur-osiris-risque-sante-publique/*

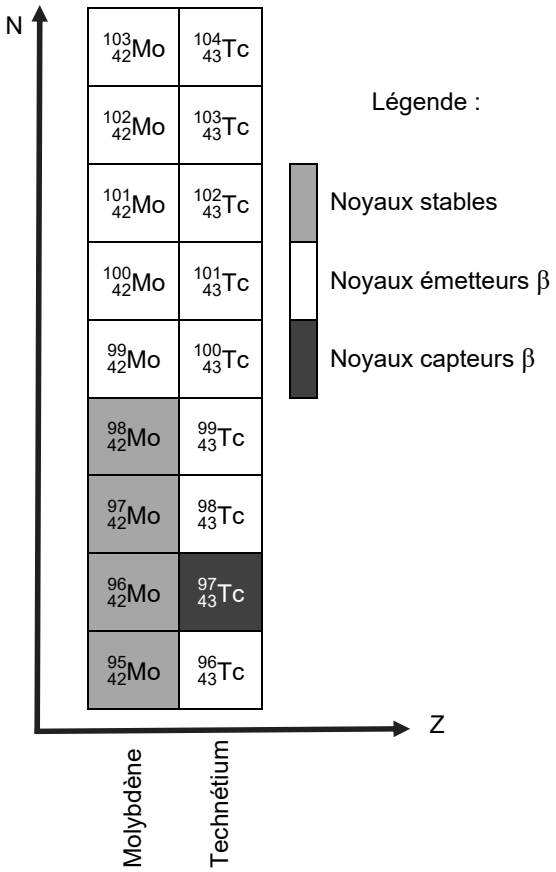
Les objectifs de cet exercice sont d'étudier la production et l'utilisation médicale du technétium, puis de discuter des pistes envisagées pour gérer la pénurie de cet isotope.

## 1. Production de technétium

Les noyaux de technétium 99 s'obtiennent par désintégration de type β des noyaux de molybdène 99, notés $^{99}Mo$.
Les services de médecine nucléaire reçoivent des mélanges de noyaux molybdène 99 / technétium 99, ils bénéficient ainsi d'une source en technétium 99 pour quelques jours seulement.

**Données :**

- extrait du diagramme (N,Z) des éléments de numéros atomiques Z = 42 et Z = 43 :



- temps de demi-vie :

| Noyau de molybdène 99 | Noyau de technétium 99 |
|---|---|
| 66 h pour la désintégration de type β | 6 h pour l'émission de rayonnement gamma (γ) |

**Q1.** Donner la composition du noyau de molybdène 99.

**Q2.** Rappeler la définition des termes « noyaux isotopes ». En déduire, à l'aide du diagramme (N,Z), deux isotopes stables du molybdène 99.

**Q3.** Écrire l'équation de la désintégration des noyaux de molybdène 99 en noyaux de technétium 99. Donner le nom de la particule émise lors de cette désintégration.

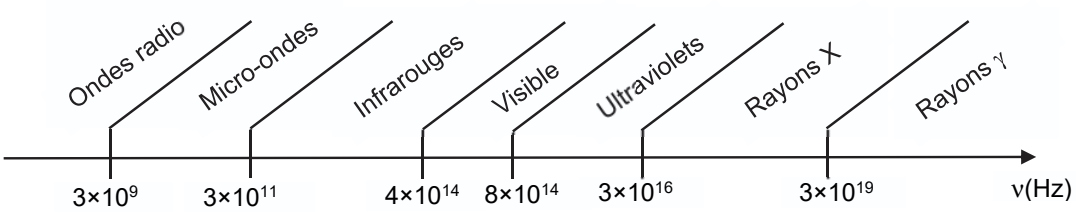
**Q4.** Après avoir rappelé la définition du temps de demi-vie, justifier que les services de médecine nucléaire bénéficient d'une source de technétium 99 pour quelques jours seulement.

**2. Utilisation médicale de technétium en scintigraphie**

Lors d'une scintigraphie, on injecte au patient une solution contenant une molécule marquée au technétium $^{99}$Tc* qui se fixe sur les os en moins de deux heures. Après l'injection de la solution, le patient attend donc deux à trois heures avant que les clichés soient réalisés à l'aide d'une caméra sensible aux rayons gamma, appelée gamma-caméra.

**Données :**

- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s ;
- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J ;
- énergie $E$ d'un photon associé à un rayonnement de fréquence ν : $E = h\cdot\nu$ ;
- gamme de fréquences ν des différents types de rayonnements électromagnétiques :




- le technétium $^{99}$Tc* émet principalement des photons d'énergie : $E_{Tc}$ = 141 keV ;
- le technétium $^{99}$Tc* a une demi-vie de 6 h ;
- l'activité de la quantité injectée de technétium $^{99}$Tc* au patient à la date $t = 0$, notée $A_0$, est de l'ordre de 700 MBq pour un patient dont la masse est 80 kg;
- on rappelle l'équation différentielle vérifiée par le nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ d'un échantillon à l'instant $t$ :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda\cdot N(t) = 0$$

  $\lambda$ étant la constante radioactive du technétium $^{99}$Tc* ;
- l'activité d'une source radioactive, $A(t)$, s'exprime en becquerel (Bq) et a pour expression :

$$A(t) = \lambda\cdot N(t)$$

**Q5.** Vérifier que l'énergie des photons émis par le $^{99}$Tc* est compatible avec l'utilisation d'une gamma-caméra pour réaliser les clichés lors d'une scintigraphie.

**Q6.** Justifier l'utilisation d'un protège-seringue possédant un blindage à base de verre au plomb pour la réalisation de l'injection de la solution au patient.

**Q7.** Résoudre l'équation différentielle afin d'exprimer le nombre de noyaux radioactifs de technétium $^{99}Tc^*$ à l'instant $t$, noté $N(t)$, en fonction du nombre initial de noyaux radioactifs à l'instant $t = 0$, noté $N_0$, et de la constante radioactive $\lambda$.

**Q8.** Montrer que l'expression de l'activité $A(t)$ du technétium $^{99}Tc^*$ en fonction de l'activité initiale $A_0$ injectée au patient et de la constante radioactive $\lambda$ s'écrit $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

**Q9.** Montrer que la constante radioactive $\lambda$ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ sont reliés par la relation :

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

Tant que l'activité du technétium $^{99}Tc^*$ dans le corps du patient est supérieure à 3 % de l'activité initiale injectée, des mesures de précaution doivent être respectées par le patient (rester éloigné des femmes enceintes et des jeunes enfants, nettoyer soigneusement les toilettes après chaque utilisation, etc.).

**Q10.** Déterminer la durée pendant laquelle le patient doit respecter ces précautions en supposant que la diminution de l'activité du technétium $^{99}Tc^*$ dans le corps du patient n'est due qu'à la décroissance radioactive.

### 3. Pistes pratiques pour gérer les périodes de pénurie de technétium 99

Le technétium $^{99}Tc^*$ est obtenu par désintégration du molybdène 99 ($^{99}Mo$) issu de réactions de fission dans les réacteurs nucléaires. La fermeture progressive de certains réacteurs nucléaires entraine une diminution de la production mondiale en molybdène 99.

Pour les scintigraphies cardiaques, il est possible d'utiliser des traceurs marqués au thallium 201 ($^{201}Tl^*$) à la place du technétium 99 ($^{99}Tc^*$).

**Donnée :**

- tableau comparatif des principales caractéristiques de deux radioéléments :

| Noyau | Thallium 201 | Technétium 99 |
|---|---|---|
| Symbole | $^{201}Tl^*$ | $^{99}Tc^*$ |
| Temps de demi-vie | 3,04 jours pour le rayonnement $\gamma$ d'énergie 167 keV | 6 h pour le rayonnement $\gamma$ d'énergie 141 keV |
| Coût d'un examen cardiaque | 0,8267 €/MBq | 0,0378 €/MBq |
| Nombre d'injections lors de l'examen | 1 | 2 |

**Q11.** Identifier, en justifiant, un avantage et un inconvénient au remplacement du technétium 99 ($^{99}Tc^*$) par du thallium 201 ($^{201}Tl^*$).