

## Sujet radioactivité concours blanc octobre 2024 – Solène MARIE – Nicolas HUANG

Une quantité importante de carcinomes prostatiques surexpriment des antigènes membranaires spécifiques de la prostate (PSMA). Leur traitement par radiothérapie interne vectorisée au [ $^{177}\text{Lu}$ ]PSMA nécessite un examen préliminaire au PSMA marqué au gallium-68 ( $^{68}\text{Ga}$ ).

Le gallium-68 est produit avec un générateur de germanium-68/gallium-68 ( $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ) et décroît avec une demi-vie de 68 minutes pour donner du zinc-68 stable. Le gallium-68 décroît comme suit :

- 89 % par émission de positon d'une énergie moyenne de 836 keV,
- 10 % par capture d'électrons orbitaux.

### Données :

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Équivalent énergétique de l'unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

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

Masse d'un électron :  $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$

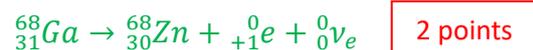
Numéro atomique des éléments :

Z	30	31
Symbole	Zn	Ga
Nom	Zinc	Gallium
Masse atomique (u)	67,924845	67,927980

### Question 1 : (6 points)

Écrire l'équation de désintégration par émission de positon du gallium-68.

Quel rayonnement secondaire permet la détection du positon ? Comment ce rayonnement secondaire est-il créé ?



2 points

Rayonnement gamma (2 photons gamma de 511 keV émis dans des directions diamétralement opposées), créé par annihilation positon-électron (en fin de course, le positon s'annihile avec un électron de la matière).

4 points

**Question 2 : (6 points)**

Calculer l'énergie cinétique maximale (en keV) emportée par l'émission de positon. Le spectre d'émission des positons est-il continu, et pourquoi ?

$$E_{\beta^+_{max}} = [M_{at}(Ga) - M_{at}(Zn) - 2 m_e] c^2 \quad \boxed{2 \text{ points}}$$

AN :

$$E_{\beta^+_{max}} = [(67,927980 - 67,924845) \times 931,5 \text{ MeV}/c^2 - 2 \times 0,511 \text{ MeV}/c^2] c^2$$

$$E_{\beta^+_{max}} = 1,898 \text{ MeV} = 1898 \text{ keV} \quad \boxed{2 \text{ points}}$$

Oui, le spectre d'émission des positons est continu, l'énergie libérée lors de la désintégration étant répartie aléatoirement entre le positon créé et le neutrino.  $\boxed{2 \text{ points}}$

**Question 3 : (10 points)**

Une trousse contient 25 µg de PSMA par flacon. Afin de réaliser le radiomarquage au gallium-68, on effectue une élution du générateur  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  avec 5 mL de HCl 0,1 M permettant d'obtenir 1,20 GBq de gallium-68. L'intégralité de l'éluat obtenu est injectée dans le flacon.

- a) Calculer l'activité volumique de l'éluat.
- b) Calculer le pH de l'éluat.
- c) Calculer la masse totale de gallium-68 présente dans le flacon.
- d) Calculer l'activité en  $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$  obtenue, sachant que le rendement de marquage est de 98 % et que le gallium-68 est en excès.

a)  $\text{Activité volumique} = \text{Activité}/\text{Volume} = 1,20 \text{ GBq}/5 \text{ mL} = 0,24 \text{ GBq/mL}$   $\boxed{2 \text{ points}}$

b)  $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\log_{10}(0,1) = 1$   $\boxed{2 \text{ points}}$

c) Soit  $N$  le nombre de noyaux radioactifs,  $A$  leur activité,  $\lambda$  leur constante radioactif et  $m$  la masse totale des atomes correspondants. On donne la masse molaire d'un noyau  $M_{mol}$  et le nombre d'Avogadro  $N_A$ . On a :

$$m = N \times \underbrace{\frac{M_{mol}}{N_A}}_{\text{masse d'un atome}}$$

soit

$$m = \frac{A}{\lambda} \frac{M_{mol}}{N_A}$$

soit

$$m = \frac{A}{\ln 2} T \frac{M_{mol}}{N_A} \quad \boxed{2 \text{ points}}$$

AN :

$$m = \frac{1,20 \times 10^9 \text{ GBq}}{\ln 2} \times 68 \text{ min} \times 60 \text{ s/min} \times \frac{68 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \quad \boxed{2 \text{ points}}$$

$$m = 7,98 \times 10^{-10} \text{ g}$$

d)  $1,20 \text{ GBq} \times 0,98 = 1,176 \text{ GBq}$  2 points

**Question 4 : (12 points)**

Cette solution de  $^{68}\text{Ga}$ PSMA est ensuite dispensée pour injection à un patient de 75 kg une heure après le radiomarquage au gallium-68. L'activité à administrer est de 2,0 MBq/kg.

- Calculer l'activité à administrer au patient.
- Calculer l'activité de la solution de  $^{68}\text{Ga}$ PSMA au moment de la dispensation.
- Calculer l'activité volumique de la solution de  $^{68}\text{Ga}$ PSMA au moment de la dispensation.
- Calculer le volume de  $^{68}\text{Ga}$ PSMA injecté au patient.
- Calculer (en ng) la masse de PSMA totale (marqué et non marqué) injectée au patient.

a)  $2,0 \text{ MBq/kg} \times 75 \text{ kg} = 150 \text{ MBq}$  2 points

b)  $A(t) = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = 1,176 \text{ GBq} \times e^{-\frac{\ln 2}{68 \text{ min}} \times 60 \text{ min}} = 0,638 \text{ GBq}$  4 points

c)  $0,638 \text{ GBq}/5 \text{ mL} = 0,128 \text{ GBq/mL} = 128 \text{ MBq/mL}$  2 points

d) Le volume injecté sera de  $150 \text{ MBq} / 128 \text{ MBq/mL} = 1,17 \text{ mL}$  2 points

e) Le flacon contient 25  $\mu\text{g}$  de PSMA dans un volume total de 5 mL.

La masse injectée sera donc de  $25 \mu\text{g} \times 1,17 \text{ mL}/5\text{mL} = 5,85 \mu\text{g} = 5,85 \times 10^3 \text{ ng}$  de PSMA.

2 points

**Question 5 : (2 points)**

La dose de rayonnement efficace de la solution de  $^{68}\text{Ga}$ PSMA est de 0,022 mSv/MBq. Calculer la dose efficace reçue par le patient.

$150 \text{ MBq} \times 0,022 \text{ mSv/MBq} = 3,3 \text{ mSv}$  2 points

**Question 6 : (4 points)**

Compte tenu de la demi-vie biologique du  $^{68}\text{Ga}$ PSMA de 4,4 heures, calculer la demi-vie effective du  $^{68}\text{Ga}$ PSMA.

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$$

soit

$$T_{\text{eff}} = \left( \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b} \right)^{-1}$$

2 points

$$T_{\text{eff}} = \left( \frac{1}{68 \text{ min}} + \frac{1}{4,4 \text{ h} \times 60 \text{ min/h}} \right)^{-1} = 54 \text{ min}$$

2 points