

## EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

## Exercice N° 5 (40 points)

Enoncé

Le gallium 68 ( $^{68}\text{Ga}$ ) est un radionucléide émetteur de positons, utilisé dans le marquage de peptides pour l'imagerie tumorale en médecine nucléaire. Il est obtenu à l'aide d'un générateur d'isotope par filiation radioactive à partir du germanium 68 ( $^{68}\text{Ge}$ ). On considère que les conditions d'équilibre séculaire sont satisfaites : constante radioactive du  $^{68}\text{Ge}$  négligeable devant celle du  $^{68}\text{Ga}$  ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ).

Données :

- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- équivalent énergétique de l'unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- masse des atomes :  $M(^{68}_{31}\text{Ga}) = 67,927980 \text{ u}$  et  $M(^{68}_{30}\text{Zn}) = 67,924848 \text{ u}$
- masse de l'électron :  $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$
- périodes radioactives :  $T_1 = 271 \text{ jours}$  pour  $^{68}\text{Ge}$  et  $T_2 = 68 \text{ min}$  pour  $^{68}\text{Ga}$

Questions

## QUESTION N° 1 :

- Le germanium 68 est préparé par bombardement d'une cible par des particules alpha selon la réaction suivante :  $^A_Z\text{X} + \alpha \rightarrow ^{68}_{32}\text{Ge} + 2^1_0\text{n}$ . Déterminer le nombre de masse A et le numéro atomique Z du noyau X.
- Le germanium 68 se désintègre en gallium 68 par capture électronique dans 100% des cas. Ecrire la réaction de transformation nucléaire en précisant le numéro atomique et le nombre de masse des différents nucléides ainsi que la (les) particule(s) émise(s).

## Proposition de réponse

a)  $^{66}_{30}\text{X} + ^4_2\alpha \rightarrow ^{68}_{32}\text{Ge} + 2^1_0\text{n} \Rightarrow A = 66 \text{ et } Z = 30 \text{ (élément Zn)}$

b)  $^{68}_{32}\text{Ge} + ^0_{-1}\text{e} \rightarrow ^{68}_{31}\text{Ga} + \nu_e$

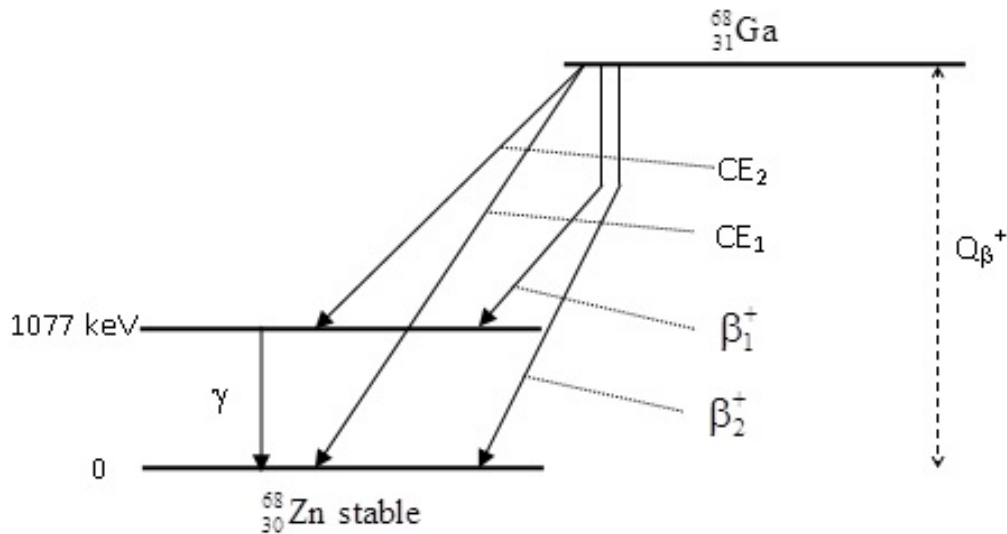
La particule émise est le neutrino électronique  $\nu_e$ . On peut accepter également les particules émises secondairement à la capture électronique et caractéristiques du  $^{68}\text{Ga}$  (photons X de fluorescence et électrons Auger)

## QUESTION N° 2 :

Le gallium 68 se désintègre soit par capture électronique (CE), soit par émission  $\beta^+$  selon le schéma simplifié ci-après :

## EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

## Exercice N° 5 (40 points)



- Ecrire l'équation de désintégration  $\beta_1^+$  du  $^{68}\text{Ga}$ , en précisant le numéro atomique et le nombre de masse des différents nucléides ainsi que la (les) particule(s) et rayonnement(s) émis.
- Calculer, en MeV, l'énergie  $Q_{\beta^+}$  mise en jeu lors de la désintégration  $\beta^+$ .
- Calculer, en MeV, l'énergie cinétique maximale  $E_{\beta_1^+ \text{max}}$  des positons  $\beta_1^+$  émis.

## Proposition de réponse

- $^{68}_{31}\text{Ga} \rightarrow ^{68}_{30}\text{Zn} + \beta^+ + \nu_e + \gamma$  Les particules émises sont le  $\beta_1^+$ , le neutrino électronique  $\nu_e$  et le photon  $\gamma$ .
- $Q_{\beta^+} = [M(^{68}_{31}\text{Ga}) - M(^{68}_{30}\text{Zn})] \cdot c^2$   
 $Q_{\beta^+} = [67,927980 - 67,924848] \cdot 931,5 = 2,917 \text{ MeV}$
- $E_{\beta_1^+ \text{max}} = Q_{\beta^+} - 2mc^2 - E_\gamma$   
 $E_{\beta_1^+ \text{max}} = 2,917 - 1,022 - 1,077 = 0,818 \text{ MeV}$

## QUESTION N° 3 :

La radiopharmacie reçoit un générateur  $^{68}\text{Ge} / ^{68}\text{Ga}$  dont l'activité en  $^{68}\text{Ge}$  est de 1850 MBq au temps initial ( $t_0$ ).

On considère qu'à  $t_0$ , seul  $^{68}\text{Ge}$  est présent.

On donne le temps au bout duquel l'activité en  $^{68}\text{Ga}$  est maximale  $t_M = 14,2 \text{ h}$ .

- Calculer la masse de  $^{68}\text{Ge}$  fixée sur la colonne du générateur au temps  $t_0$ .
- Quelle est l'activité maximale théorique en  $^{68}\text{Ga}$  qu'il est possible d'éluer au bout d'un intervalle de temps  $\Delta t = 14,2 \text{ h}$  ?
- Calculer le rendement d'élution  $R$  du générateur (rapport de l'activité en  $^{68}\text{Ga}$  réellement élue à l'activité en  $^{68}\text{Ga}$  disponible) si l'activité en  $^{68}\text{Ga}$  élue est de 1200 MBq.
- L'activité en  $^{68}\text{Ga}$  au temps  $t$ ,  $A_2(t)$ , peut s'exprimer en fonction de l'activité en  $^{68}\text{Ge}$  au temps  $t_0$ ,  $A_{10}$ , par la relation  $A_2(t) \approx A_{10} \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t})$ . Calculer les rendements d'élution en  $^{68}\text{Ga}$ ,  $R_1$  et  $R_2$ , qu'il

**EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION****Exercice N° 5 (40 points)**

est possible d'obtenir au bout d'un intervalle de temps  $\Delta t_1 = T_2$  ( $T_2$  étant la période radioactive du  $^{68}\text{Ga}$ ) et au bout d'un intervalle de temps  $\Delta t_2 = 2T_2$  ?

**Proposition de réponse**

## EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

## Exercice N° 5 (40 points)

$$a) m = \frac{M_A \cdot N}{N_A} = \frac{M_A \cdot A_{01} \cdot T_1}{N_A \cdot \ln 2} = \frac{68 \times 1850 \cdot 10^6 \times 271 \times 24 \times 3600}{6,02 \cdot 10^{23} \times \ln 2} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 7,1 \text{ } \mu\text{g}$$

b) Comme les conditions d'équilibre séculaire sont satisfaites (activité en  $^{68}\text{Ge}$  pratiquement constante pendant l'élution du générateur), on a  $A_2(t_M) = A_1(t_M) \approx A_1(t_0) = 1850 \text{ MBq}$ . Il est possible d'éluer une activité maximale théorique en gallium 68 de 1850 MBq.

$$c) R = 1200/1850 = 0,65 = 65\%$$

$$d) R_1 = \frac{A_2(T_2)}{A_{10}} \approx 1 - e^{-\lambda_2 T_2} = 1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_2} T_2} = 0,50 = 50\%$$

$$R_2 = \frac{A_2(2T_2)}{A_{10}} \approx 1 - e^{-\lambda_2 \cdot 2T_2} = 1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_2} \cdot 2T_2} = 0,75 = 75\%$$

**EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION**

**Exercice N° 5 (40 points)**