EXERCICE II. NUCLÉAIRE AU SERVICE DE LA MÉDECINE (5,5 points)

La médecine nucléaire désigne l'ensemble des applications où des substances radioactives sont associées au diagnostic et à la thérapie. Depuis les années 1930, la médecine nucléaire progresse grâce à la découverte et à la maîtrise de nouveaux isotopes.
La radiothérapie vise à administrer un radiopharmaceutique dont les rayonnements ionisants sont destinés à traiter un organe cible dans un but curatif ou palliatif. Ainsi on utilise du rhénium 186 dans le but de soulager la maladie rhumatoïde et du phosphore 32 pour réduire la production excessive de globules rouges dans la moelle osseuse.

D'après le site : http://www.asn.fr

La première partie de cet exercice traite de l'utilisation du rhénium 186 et la seconde partie de l'utilisation du phosphore 32. On s'intéresse à l'aspect physique des phénomènes, les aspects biologiques ne sont pas pris en compte.

Données :

- temps de demi-vie du rhénium 186 : $t_{1/2}(^{186}_{Z}\text{Re}) = 3{,}7$ j (jours) ;
- constantes radioactives : $\lambda(^{186}_{Z}\text{Re}) = 2{,}2 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$; $\lambda(^{32}_{15}\text{P}) = 5{,}6 \times 10^{-7}\ \text{s}^{-1}$;
- masse molaire du rhénium 186 : $M(^{186}_{Z}\text{Re}) = 186\ \text{g.mol}^{-1}$;
- masses de quelques noyaux et particules :

$$m(^{32}_{15}\text{P}) = 5{,}30803 \times 10^{-26}\ \text{kg} \quad ; \quad m(^{32}_{16}\text{S}) = 5{,}30763 \times 10^{-26}\ \text{kg} \quad ; \quad m(^{0}_{-1}\text{e}) = 9{,}1 \times 10^{-31}\ \text{kg} \ ;$$

- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}0 \times 10^{8}\ \text{m.s}^{-1}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}0 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$;
- électron-volt : $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

1. Injection intra-articulaire d'une solution contenant du rhénium 186

1.1. Le rhénium 186 ($^{186}_{Z}\text{Re}$) est un noyau radioactif β^-.
Sur le diagramme (N, Z) de la **figure 3** ci-contre où N représente le nombre de neutrons et Z le nombre de protons, la courbe tracée permet de situer la vallée de stabilité des isotopes. Le point représentatif du noyau de rhénium 186 est placé au-dessus de cette courbe.

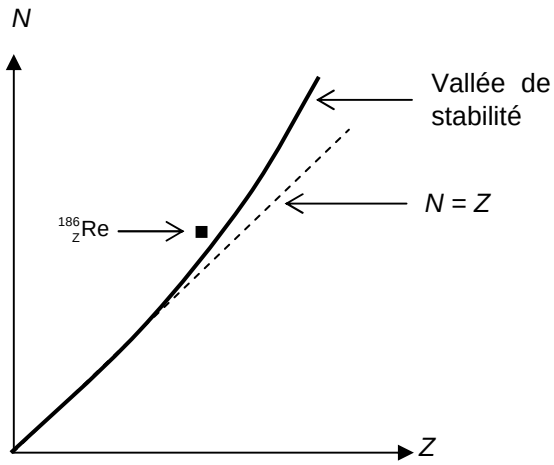


Figure 3. Diagramme (N, Z)

1.1.1. Déduire de ce diagramme si cet isotope radioactif possède un excès de neutron(s) ou un excès de proton(s) par rapport à un isotope stable du même élément.

1.1.2. Quel nom porte la particule émise au cours d'une désintégration β^- ?

1.1.3. Écrire l'équation de la désintégration du noyau de rhénium 186 noté ($^{186}_{Z}\text{Re}$) sachant que le noyau fils obtenu correspond à un isotope de l'osmium noté ($^{A}_{76}\text{Os}$). En énonçant les lois utilisées, déterminer les valeurs de A et de Z.
On admet que le noyau fils obtenu lors de cette transformation n'est pas dans un état excité.

1.2. Le produit injectable se présente sous la forme d'une solution contenue dans un flacon de volume V_{flacon} = 10 mL ayant une activité A_0 = 3700 MBq à la date de calibration, c'est-à-dire à la sortie du laboratoire pharmaceutique. Pourquoi est-il précisé "à la date de calibration" en plus de l'activité ?

1.3. Calcul du volume de la solution à injecter

1.3.1. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif peut s'exprimer par la relation suivante $A(t) = \lambda.N(t)$ où $N(t)$ représente le nombre de noyaux radioactifs à la date t et λ la constante radioactive. Calculer la masse m de rhénium 186 contenu dans le flacon de volume V_{flacon} à la date de calibration.

1.3.2. En s'aidant des données, quelle est la valeur de l'activité A_1 de l'échantillon contenu dans le flacon au bout de 3,7 jours après la date de calibration ?

1.3.3. L'activité de l'échantillon à injecter dans l'articulation d'une épaule est $A_{thérapie}$ = 70 MBq. En supposant que l'injection a lieu 3,7 jours après la date de calibration, calculer le volume V de la solution à injecter dans l'épaule.

2. Injection intraveineuse d'une solution contenant du phosphore 32

Carte d'identité du phosphore 32 :

nom de l'isotope	Phosphore 32
symbole	$^{32}_{15}P$
type de radioactivité	β^-
énergie du rayonnement émis	1,7 MeV
équation de la désintégration	$^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + {}^{0}_{-1}e$
demi-vie	14 jours

L'injection en voie veineuse d'une solution contenant du phosphore 32 radioactif permet dans certains cas de traiter une production excessive de globules rouges au niveau des cellules de la moelle osseuse.

2.1. Donner la composition du noyau de phosphore 32.

2.2. À l'aide des masses données en début d'exercice et de la carte d'identité du phosphore 32, vérifier par un calcul la valeur E de l'énergie du rayonnement émis par la désintégration du phosphore 32.

2.3. Pour la très grande majorité d'entre eux, les noyaux fils obtenus lors de cette transformation ne sont pas dans un état excité. À quel type de rayonnement particulièrement pénétrant le patient n'est-il pas exposé ?

2.4. Rappeler la loi de décroissance du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon en fonction de λ et N_0 (nombre de noyaux radioactifs à la date t = 0).

2.5. Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ et établir la relation qui existe entre la demi-vie et la constante de désintégration radioactive λ.

2.6. Vérifier, par un calcul, la valeur approchée du temps de demi-vie proposée dans la carte d'identité ci-dessus.