2010 Amérique du sud
EXERCICE II : LA TRANSMUTATION POUR ÉLIMINER LES DÉCHETS NUCLEAIRES (5 points)

La transmutation est la transformation d'un noyau en un autre par une réaction nucléaire induite par des particules avec lesquelles on le bombarde. Appliquée au trainement des déchets nucléaires, elle consiste à utiliser ce type de réaction pour transformer les isotopes radioactifs à vie longue en isotopes à vie nettement plus courte voire stables, ou encore en combustible nucléaire, en vue de réduire le nombre de radiotoxiques à long terme. [...]
De par l'absence de charge électrique, le neutron est de loin la particule la plus utilisée. Il est disponible en grande quantité dans les racleurs nucléaires où il est utilisé pour générer des réactions de fission et produire ainsi de l'énergie et où d'ailleurs il induit en permanence des transmutations, la plupart non recherchées. La meilleure voie de recyclage des déchets ne serait-elle pas de les réinjecter dans l'installation qui les a créés ?
Lorsqu'un neutron entre en collision avec un noyau, il peut rebondir sur le noyau ou bien pénétrer dans celui-ci. Dans le second cas, le noyau, en absorbant le neutron acquiert un excès d'énergie qu'il va libérer de différentes manières :
-en éjectant des particules (un neutron par exemple) et en émettant éventuellement un rayonnement;
- en émettant seulement un rayonnement ; on parle dans ce cas de capture puisque le neutron reste captif du noyau ;
- en se scindant en deux noyaux de taille plus petite et en émettant deux à trois neutrons ; on parle alors de réaction de fission durant laquelle une importante quantité d'énergie est libérée.
La transmutation d'un radionucléide peut se réaliser soit par capture d'un neutron, soit par fission. [...]
D'après document CEA.

Données :

nom	neptunium	plutonium	américium	curium	berkélium
symbole	Np	Pu	Am	Cm	Bk
numéro atomique	93	94	95	96	97

Représentation de quelques particules :

nom	neutron	proton	électron	positon	noyau d'hélium
symbole	$^{1}_{0}n$	$^{1}_{1}p$	$^{0}_{-1}e$	$^{0}_{1}e$	$^{4}_{2}He$

1 an = 365 jours.

1. Questions sur le texte
1.1. À la ligne 3 du texte, il est ait allusion au terme "isotopes radioactifs".
1.1.1. Que signifie l'expression "noyaux isotopes" ?
1.1.2. Donner la définition de "noyau radioactif".
1.2. Le texte parle de "vie longue" ou de "vie nettement plus courte" (lignes 3 et 4). Remplacer le mot "vie" par une expression plus appropriée.
1.3. On parle de "réaction de fission" (lignes 17 et 18). Donner définition de "réaction de fission".

2. Étude d'un exemple : l'américium 241
Pour répondre aux questions suivantes, on s'aidera du tableau fourni.
On y étudie un mécanisme simplifié de la disparition de l'américium 241.

2.1. Dans un réacteur à neutron lents, l'américium ($^{241}_{95}Am$) peut capter un neutron. Il se transforme en un nouveau noyau que nous noterons X_1.
2.1.1. Donner la composition du noyau d'américium 241.
2.1.2. Énoncer les lois de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
2.1.3. Écrire l'équation de la réaction de capture d'un neutron par un noyau d'américium 241. Identifier le noyau X_1 obtenu.
2.2. Le noyau X_1 est radioactif, émetteur β^-. Il apparaît un noyau X_2 et une particule.

2.2.1. Quelle est la particule émise lors d'une désintégration β^-?
2.2.2. Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante. Identifier le noyau X_2.

2.3. La quasi-totalité des noyaux X_2 obtenus subit une désintégration α. Un noyau X_3 est produit ainsi qu'une particule.
2.3.1. Quelle est la particule émise lors d'une désintégration α?
2.3.2. Identifier le noyau X_3. Justifier la réponse.

3. Intérêt du traitement des déchets nucléaires

La demi-vie radioactive ($t_{1/2}$) de l'américium 241 vaut 432 ans; celle du noyau X_1 vaut 16 heures et celle du noyau X_2 vaut 163 jours.

La loi de décroissance radioactive s'écrit : $N = N_0 \cdot e^{-\frac{(\ln 2)t}{t_{1/2}}}$.

3.1. Dans cette expression, donner la signification de N_0 et N.
3.2. On considère un échantillon d'américium et un échantillon d'élément X_2 contenant tous deux à un instant considéré comme origine des temps $1{,}0 \times 10^{10}$ noyaux. Calculer le nombre de noyaux de chaque élément présents 10 ans plus tard dans les deux échantillons.
3.3. Conclure sur l'intérêt de cette méthode d'élimination des déchets nucléaires.
3.4. Justifier la phrase suivante en quelques mots : "Dans un échantillon issu d'américium 241 le nombre de noyaux X_1 est toujours négligeable". On utilisera les valeurs des demi-vies radioactives.