EXERCICE II. LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE ET PROVOQUÉE DE L'URANIUM

En 1797, Joseph Denis François Champeaux, ingénieur des Mines, remarque dans l'échantillonnage d'un collectionneur « un minerai d'un beau jaune verdâtre formé de lamelles placées les unes sur les autres ». Il met 3 ans à localiser le gisement d'origine de cette roche à Saint Symphorien de Marmagne.

Nommé en 1852 « Autunite » en référence à l'Autunois, en Bourgogne, cet étrange minéral est exploité clandestinement par les collectionneurs et utilisé à la cristallerie de Baccarat pour la fabrication de verres jaunes à reflets verts.
C'est à cette époque que son analyse chimique est effectuée : il s'agit du phosphate d'uranium et de calcium hydraté de formule $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2,10H_2O$. L'uranium métal est alors isolé du minerai provenant de Saint Symphorien.
En 1896, Henri Becquerel découvre le phénomène de radioactivité en travaillant sur l'uranium.

L'uranium étant devenu un minerai militaire, le CEA installe en 1946 à Saint Symphorien le premier centre de recherche et d'exploration de l'uranium. Le site, non rentable, fermera 3 ans plus tard, mais tous les géologues de l'uranium se formeront là.

Données :

Unité de masse atomique	$u = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931{,}5$ MeV
Électronvolt	$1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J
Mégaélectronvolt	$1\text{ MeV} = 1{,}00 \times 10^{6}$ eV
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}

Nom du noyau ou de la particule	Uranium	Strontium	Xénon	Neutron	Proton
Symbole	$^{235}_{92}U$	$^{94}_{Z}Sr$	$^{A}_{54}Xe$	$^{1}_{0}n$	$^{1}_{1}p$
Masse (en u)	235,120	93,8946	138,888	1,00866	1,00728

1. A la découverte d'un minerai radioactif : l'Autunite

1.1. Qu'appelle-t-on noyau radioactif ?

1.2. L'uranium présent dans l'Autunite comprend 3 isotopes naturels : ^{238}U, présent en écrasante majorité, ^{235}U et ^{234}U.

1.2.1. Rappeler la définition de noyaux isotopes.
1.2.2. Comparer la composition des noyaux des atomes d'uranium 235 et 238.

1.3. Voici une petite partie de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa \rightarrow {}^{234}_{92}U \rightarrow {}^{230}_{90}Th$$

1.3.1. Rappeler les lois de conservation dites lois de Soddy, intervenant lors des désintégrations successives.
1.3.2. Écrire l'équation de cette désintégration du noyau d'uranium 238 en thorium 234.
1.3.3. Quel est le type de radioactivité correspond à cette désintégration ?
1.3.4. *Le thorium 234 se désintègre lui-même en protactinium ^{234}Pa.*
Écrire l'équation de cette deuxième réaction de désintégration.
Quelle particule est alors émise.

1.4. *L'uranium ^{238}U présente un temps de demi-vie de $4{,}5.10^9$ années.*

1.4.1. Rappeler la définition du temps de demi-vie noté $t_{1/2}$.
1.4.2. En utilisant la loi de décroissance radioactive $N(t) = N_0.e^{-\lambda t}$, retrouver la relation entre le temps de demi-vie et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.
1.4.3. En déduire la valeur de la constante de désintégration radioactive λ en an^{-1}, puis en s^{-1}.

1.5. *L'activité A_0 d'une pierre d'Autunite de masse voisine de 100 g, n'est pas négligeable ; elle est voisine de 9000 Bq.*

1.5.1. Rappeler la définition de l'activité d'une espèce radioactive.
1.5.2. Que représente un becquerel (Bq) ?
1.5.3. *On rappelle que l'activité A(t) à la date t et le nombre de noyaux N(t) présents au même instant sont liés par la relation : $A(t) = \lambda.N(t)$.*
Calculer le nombre de noyaux N_0 d'uranium présents dans cette pierre à la date t = 0 s et montrer que son ordre de grandeur est de 10^{21}.
1.5.4. *L'activité A(t) de l'échantillon suit la loi de décroissance radioactive : $A(t) = A_0e^{-\lambda t}$ avec A(t) l'activité de l'échantillon à la date t et A_0 l'activité initiale qui vaut 9000 Bq.*
Que vaut l'activité de la pierre au bout de 10 ans ?
Que vaut-elle au bout de 1000 ans ?
1.5.5. Que peut-on en déduire à propos de la décroissance de l'activité de cette pierre.
1.5.6. Quels effets biologiques peut avoir l'inhalation prolongée de poussières issues d'une telle pierre ?

2. La radioactivité provoquée de l'uranium :

Dans certaines conditions, l'uranium 235 peut se scinder en deux noyaux plus légers et plus stables comme par exemple le strontium et le xénon selon l'équation suivante :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{Z}Sr + ^{A}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n$$

2.1. Comment appelle-t-on ce type de réaction ?

2.2. Déterminer la valeur de A et de Z.

2.3. Bilan énergétique :

2.3.1. Énoncer la relation d'équivalence masse-énergie.
2.3.2. Exprimer, en fonction des masses des particules et des noyaux intervenant dans l'équation précédente, la variation d'énergie de masse ΔE au cours de cette réaction nucléaire.
2.3.3. À l'aide des données en début d'exercice, calculer sa valeur en J, puis en MeV.

2.4. Est-ce que de l'énergie est libérée au cours de cette réaction ? Justifier la réponse.