

**Nouvelle Calédonie 11/2009 Corrigé © <http://labolycee.org>
EXERCICE II. (5,5 points) LES RÉACTIONS DE FISSION ET LEUR UTILISATION POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE**

1. À propos de l'abondance relative des isotopes de l'uranium

1.1. Des noyaux sont isotopes lorsqu'ils possèdent le même nombre de protons (même numéro atomique Z) mais un nombre de neutrons ($A - Z$) différent.

1.2. Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

1.3. Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans un échantillon ont été désintégrés.

1.4. Exprimons $t_{1/2}$ en fonction de λ : (cette expression peut être donnée ici sans la démontrer)

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$$

on simplifie par N_0 , d'où $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

$$\ln \frac{1}{2} = \ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}})$$

$$-\ln 2 = -\lambda \cdot t_{1/2}$$

finalement :
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

À $t = 2 \cdot t_{1/2}$, $N(2 \cdot t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot 2 \cdot t_{1/2}}$

On remplace $t_{1/2}$ par l'expression trouvée précédemment :

$$N(2 \cdot t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot 2 \cdot \frac{\ln 2}{\lambda}} = N_0 \cdot e^{-2 \cdot \ln 2} = N_0 \cdot e^{-\ln 2^2} = N_0 \cdot \frac{1}{e^{\ln 2^2}} = \frac{N_0}{2^2} = \frac{N_0}{4}$$

On peut généraliser :

$$\text{À } t = n \cdot t_{1/2}, N(n \cdot t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot n \cdot \frac{\ln 2}{\lambda}} = N_0 \cdot e^{-n \cdot \ln 2} = N_0 \cdot e^{-\ln 2^n} = N_0 \cdot \frac{1}{e^{\ln 2^n}} = \frac{N_0}{2^n}$$

1.5.1. $R_{238} = \frac{\text{âge de la Terre}}{t_{1/2}(^{238}\text{U})}$, d'après l'énoncé l'âge de la Terre est de 4,5 milliards d'années.

$$R_{238} = \frac{4,5 \times 10^9}{4,50 \times 10^9} = 1$$

$$\text{Et } R_{235} = \frac{\text{âge de la Terre}}{t_{1/2}(^{235}\text{U})}, R_{235} = \frac{4,5 \times 10^9}{0,713 \times 10^9} = 6,3 \approx 6.$$

1.5.2. Pour ^{238}U , il s'est écoulé 1 demi-vie depuis la formation de la Terre :
$$N_{238} = \frac{N_0}{2}$$

Pour ^{235}U , il s'est écoulé environ 6 demi-vies depuis la formation de la Terre :
$$N_{235} = \frac{N_0}{2^6}$$

1.5.3. $\frac{N_{238}}{N_{235}} = \frac{\frac{N_0}{2}}{\frac{N_0}{2^6}} = 2^5$, soit $N_{238} = 2^5 \cdot N_{235}$ ainsi l'uranium 238 est environ 32 fois plus abondant

que l'uranium 235.

Remarque : Ce résultat est en désaccord avec le tableau 1 qui indique que l'uranium 238 est au moins 99 fois plus abondant que l'uranium 235.

En réalité, les deux isotopes n'ont pas la même abondance initiale ($N_{0\ 238} = 3,3 N_{0\ 235}$)

2. Un exemple de réaction de fission utilisée dans un réacteur nucléaire

2.1. Lors d'une fission nucléaire, un gros noyau se transforme en deux noyaux plus petits sous l'impact d'un neutron. Cette réaction s'accompagne d'une émission de particules et d'énergie.

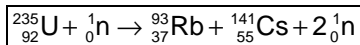
2.2. Si $k \geq 2$, il risque de se produire une **réaction en chaîne**. Chaque fission peut déclencher au moins deux autres fissions. Et ainsi de suite. Un très grand nombre de fissions ont lieu très rapidement, avec un très fort dégagement d'énergie.

Voir l'animation du CEA :

<http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/animations/reaction.html>

2.3. ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_Z^93\text{Rb} + {}_{55}^A\text{Cs} + 2{}_0^1\text{n}$, on applique les lois de conservations (dites de Soddy) :

- Conservation de la charge électrique : $92 + 0 = Z + 55 + (2 \times 0)$ d'où $Z = 37$
- Conservation du nombre de nucléons : $235 + 1 = 93 + A + (2 \times 1)$ d'où $A = 141$



3. Modélisation du mécanisme de fission

3.1. La cohésion du noyau est due à l'**interaction forte**. Les nucléons s'**attirent** mutuellement, quelle que soit leur charge électrique, à condition d'être séparés par une distance de l'ordre du femtomètre (10^{-15}m).

3.2. Les protons sont chargés positivement ainsi ils se **repoussent** mutuellement sous l'effet de l'**interaction électrostatique** (dite aussi coulombienne).

3.3.1 Le système noyau passe de l'état 1 dont l'énergie E_1 est supérieure à celle de l'état 3. Le système noyau perd de l'énergie, le milieu extérieur reçoit cette énergie.

3.3.2 Pour déformer le noyau, il faut que les nucléons s'éloignent les uns des autres. Or à faible distance inter-nucléons la force de cohésion (interaction forte) entre nucléons est prédominante sur la répulsion électrostatique. En apportant de l'énergie au système noyau, on parvient à vaincre l'interaction forte.

Ceci est compatible avec le diagramme énergétique, qui montre que le système noyau doit recevoir de l'énergie pour passer de l'état 1 à l'état 2, puisque $E_1 < E_2$.

3.3.3.

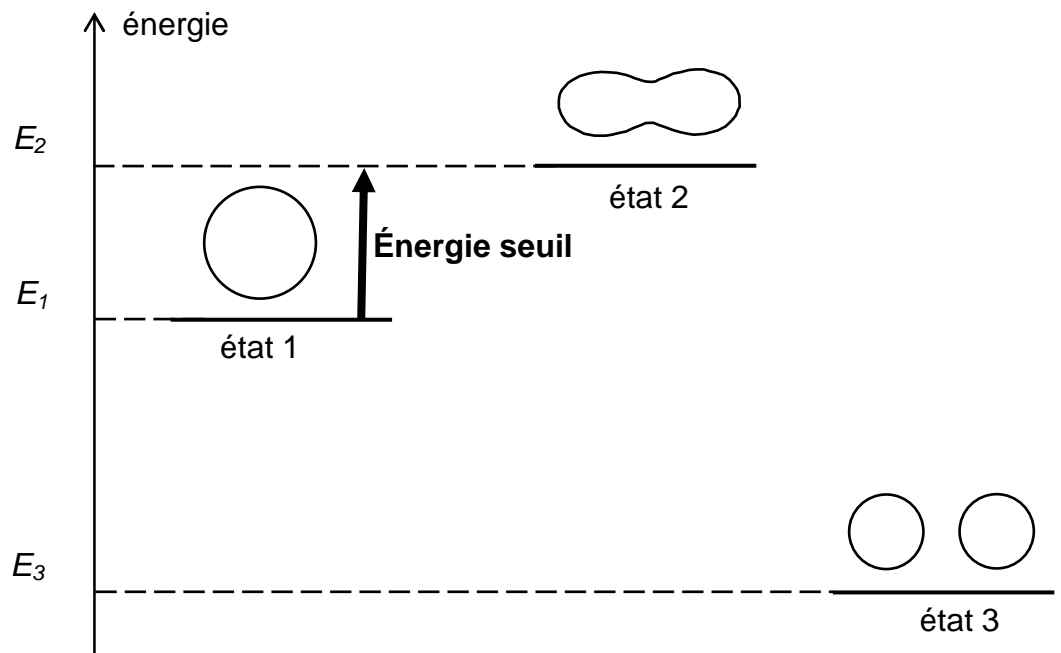


Figure 8 :
Diagramme
énergétique

4. Noyaux fissiles

4.1. Pour qu'un noyau soit fissile, il faut que l'énergie apportée au noyau lors de la capture neutronique soit supérieure à l'énergie seuil. C'est-à-dire que $E_a > E_S$.

C'est le cas pour $^{233}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$ et $^{239}_{94}\text{Pu}$ mais **pas pour $^{238}_{92}\text{U}$** ($E_S = 5,8 > E_a = 4,8$). **L'uranium 238 n'est pas fissile** via le phénomène de capture de neutrons lents.

4.2.1. Grâce à sa vitesse, le neutron incident peut apporter une énergie supplémentaire qui doit permettre d'atteindre l'énergie seuil. Il faut que $E_c + E_a > E_S$ donc **$E_c > E_S - E_a$** .

4.2.2. Les neutrons utilisés dans cette nouvelle filière doivent avoir une **énergie cinétique plus grande**. Or $E_c = \frac{1}{2}.m.v^2$ avec m masse d'un neutron ; m étant constante, alors il faut que leur **vitesse soit plus grande**, d'où l'appellation « neutrons **rapides** ».

4.2.3. L'uranium 238, non fissile dans les réacteurs actuels, peut devenir, grâce à l'énergie cinétique des « neutrons rapides », un combustible utilisable dans les réacteurs de génération IV. Comme l'uranium 238 est bien plus abondant que l'uranium 235 dans le minerai, on optimiserait la consommation de ce minerai.