

Exercices 2 Transformations nucléaires

Applications : le Soleil, ITER, la réaction en chaîne, une tranche de centrale

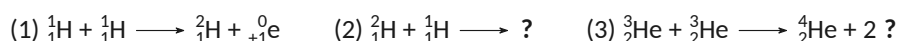
5 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Exploiter l'équation d'une réaction nucléaire dans un contexte réel (Soleil, ITER, réacteur).
- Calculer une énergie libérée, une masse de combustible, et la comparer à celle d'une combustion.

Exercice 1 D'où vient l'énergie du Soleil ? ●●○

Au cœur du Soleil, à 15 millions de degrés Celsius, les noyaux d'hydrogène fusionnent selon la *chaîne proton-proton* :



La particule ${}^0_{+1}\text{e}$ est un *positon* ; elle est aussitôt détruite dans le cœur du Soleil.

Données : le bilan de la chaîne est $4 {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_{+1}\text{e}$ et libère $E = 4,3 \times 10^{-12} \text{ J}$; puissance rayonnée par le Soleil $P = 3,8 \times 10^{26} \text{ W}$; masse du Soleil $M = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$; $m_{\text{nucléon}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$; $1 \text{ an} = 3,15 \times 10^7 \text{ s}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- 1.1 Compléter les équations (2) et (3) en utilisant la conservation de A et de Z . Vérifier que le bilan donné respecte lui aussi ces deux conservations.
- 1.2 Calculer le nombre de bilans de ce type qui se produisent chaque seconde dans le Soleil.
- 1.3 En déduire la masse d'hydrogène consommée par le Soleil en une seconde.
- 1.4 (*Hors programme — relation fournie.*) Lors d'une réaction nucléaire la masse totale diminue un peu : la masse « perdue » m est liée à l'énergie libérée par $E = mc^2$. Calculer la masse perdue chaque seconde par le Soleil, et le pourcentage qu'elle représente par rapport à la masse d'hydrogène consommée.
- 1.5 Le Soleil ne peut consommer qu'environ 10 % de sa masse : estimer en années la durée pendant laquelle il pourra briller ainsi. Il est âgé de 4,6 milliards d'années : conclure.

Exercice 2 ITER : de l'eau de mer comme combustible ? ●●○

ITER étudie la réaction ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, qui libère $2,8 \times 10^{-12} \text{ J}$ par réaction, soit $3,4 \times 10^{14} \text{ J}$ par kilogramme de mélange deutérium-tritium. Le deutérium est extrait de l'eau de mer, qui en contient 33 g par mètre cube ; le tritium, quasi absent de la nature, est fabriqué dans le réacteur : ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + ?$. ITER doit produire 500 MW thermiques pendant 400 s. Combustion du gaz naturel : $5,0 \times 10^7 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

- 2.1 Compléter l'équation de fabrication du tritium. Quel est l'intérêt d'utiliser un des neutrons produits par la fusion ?
- 2.2 Calculer l'énergie libérée par ITER pendant les 400 s, puis le nombre de réactions de fusion correspondant.
- 2.3 Calculer la masse de mélange deutérium-tritium consommée pendant ces 400 s. Commenter.
- 2.4 Il y a autant de noyaux de deutérium que de tritium : montrer que le deutérium représente 40 % de la masse du mélange, puis calculer le volume d'eau de mer contenant le deutérium nécessaire.
- 2.5 Quelle masse de gaz naturel faudrait-il brûler pour libérer la même énergie ? Citer un avantage de la fusion par rapport à cette combustion.

Exercice 3 Contrôler la réaction en chaîne



Chaque fission d'un noyau d'uranium 235 émet 2 à 3 neutrons, qui peuvent provoquer d'autres fissions : c'est la *réaction en chaîne*. La figure 1 correspond au cas où 2 neutrons de chaque fission provoquent une nouvelle fission. Énergie libérée par fission : $3,2 \times 10^{-11}$ J.

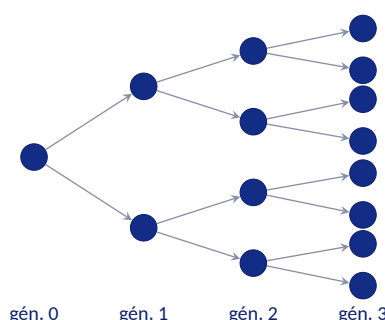


Figure 1 — Chaque disque représente une fission

- 3.1 Combien de fissions ont lieu aux générations 1, 2 et 3 ? Exprimer le nombre N_n de fissions de la génération n en fonction de n .
- 3.2 Calculer le nombre de fissions de la génération 20, puis l'énergie libérée par cette seule génération.
- 3.3 À partir de quelle génération le nombre de fissions dépasse-t-il 10^{20} ? (Procéder par essais à la calculatrice.)
- 3.4 Dans un réacteur, des barres de commande absorbent des neutrons, de façon qu'un seul neutron par fission provoque une nouvelle fission. Combien de fissions ont alors lieu à chaque génération ? Que se passe-t-il si l'on enfonce complètement les barres ?

Exercice 4 Une tranche de centrale nucléaire



Une tranche de centrale nucléaire comporte un réacteur qui libère une puissance thermique $P_{th} = 2\,700$ MW et fournit une puissance électrique $P_{el} = 900$ MW. Elle fonctionne à pleine puissance 7 000 h par an.

Données : fission de 1 kg d'uranium 235 : $8,2 \times 10^{13}$ J ; combustion de 1 kg de charbon : $3,0 \times 10^7$ J ; on assimile le charbon à du carbone pur C ; masses d'un atome : $m_C = 1,99 \times 10^{-26}$ kg, $m_O = 2,66 \times 10^{-26}$ kg.

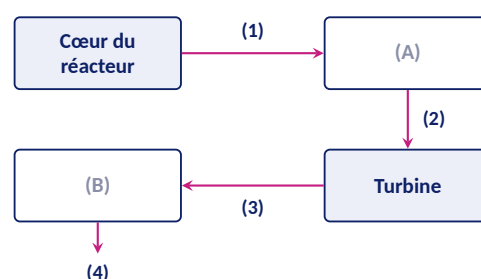


Figure 2 — Schéma de principe

- 4.1 Nommer les appareils (A) et (B) de la figure 2 et préciser ce qui est transporté ou transféré à chacune des étapes (1) à (4).
- 4.2 Calculer l'énergie thermique libérée dans le cœur en un an et l'énergie électrique produite ; quel pourcentage est converti en énergie électrique ?
- 4.3 En déduire la masse d'uranium 235 consommée en un an.
- 4.4 Quelle masse de charbon libérerait la même énergie thermique ? Exprimer le résultat en millions de tonnes.
- 4.5 Écrire l'équation ajustée de la combustion complète du carbone, puis calculer la masse de dioxyde de carbone rejetée en un an par cette centrale au charbon. Citer un inconvénient de la centrale nucléaire que ce calcul ne montre pas.

Exercice 5 Une pastille de combustible



Le combustible d'un réacteur se présente en petites pastilles de dioxyde d'uranium ; chacune contient 0,25 g d'uranium 235. Un habitant de France consomme en moyenne $7,0 \times 10^3$ kW·h d'énergie électrique par an. Données : $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \times 10^6$ J ; 1 kg d'uranium 235 : $8,2 \times 10^{13}$ J ; 1 kg de charbon : $3,0 \times 10^7$ J ; le réacteur convertit 33 % de l'énergie libérée en énergie électrique.

- 5.1 Calculer l'énergie thermique libérée par la fission de l'uranium 235 d'une pastille, puis l'énergie électrique correspondante, en J puis en kW·h.
- 5.2 En déduire le nombre de pastilles nécessaires pour couvrir la consommation électrique d'un habitant pendant 80 ans, puis la masse d'uranium 235 correspondante.
- 5.3 Quelle masse de charbon libérerait la même énergie thermique que ces pastilles ? Commenter le résultat.