3 Les réactions de fusion et de fission

Pour remplacer les centrales thermiques utilisant des ressources fossiles, certains pays ont développé des centrales permettant de convertir l'énergie nucléaire en électricité.

➜ Qu'est-ce qui distingue les transformations qui se produisent au sein des centrales nucléaires et celles ayant lieu dans les étoiles ?

Ce que j'ai déjà vu

- Les isotopes
- L'écriture symbolique d'une réaction nucléaire
- Les aspects énergétiques des transformations nucléaires

Partie 1 - Les centrales nucléaires civiles

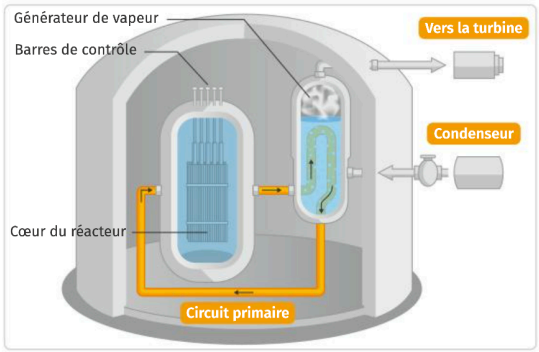
Doc. 1 La centrale nucléaire

Une centrale nucléaire produit de l'électricité à partir de l'énergie thermique libérée par les réactions de fission nucléaire. Cette énergie thermique est récupérée par l'eau sous pression (circuit primaire), ce qui permet de générer de la vapeur d'eau (générateur de vapeur) qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur. Cette mise en mouvement permet la production d'électricité.

Numérique

Visionnez en vidéo le principe de la fission sur LLS.fr/23ES1Fission.

Doc. 2 Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire



Doc. 3 La réaction de fission

L'un des combustibles utilisés dans les centrales nucléaires est l'uranium 235 qui, sous l'impact d'un neutron, se scinde en deux noyaux plus légers. Le nombre et la nature des noyaux produits sont variés : certains sont radioactifs et ont des demi-vies très longues.

Par exemple l'une des équations de fission nucléaire de l'uranium 235 s'écrit :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{92}_{36}Kr + ^{141}_{56}Ba + 3\,^{1}_{0}n$$

Doc. 4 Quelques noyaux fils

Le tableau ci-dessous donne les propriétés de quelques noyaux radioactifs produits au cours de la fission de l'uranium 235.

Élément	$^{92}_{36}Kr$	$^{141}_{56}Ba$	$^{94}_{38}Sr$	$^{140}_{54}Xe$
Demi-vie $t_{1/2}$	1,84 s	18,3 min	75,3 s	13,6 s

Tous ces noyaux présentent une radioactivité β^-, c'est-à-dire qu'ils émettent un électron $^{0}_{-1}e^-$ en se désintégrant.

Questions

1. Doc. 3 Donnez la composition du noyau d'uranium 235 et celles des deux noyaux produits lors de la fission.
2. Doc. 2 Justifiez, en étudiant le schéma, que les produits de fission ne sont pas en contact avec l'eau qui circule dans la turbine.
3. Doc. 3 Un échantillon contenant 10^{20} noyaux d'uranium est bombardé par des neutrons. Combien de noyaux de krypton se forment ? Combien en reste-t-il au bout de 15 secondes ?
4. Doc. 4 Établissez l'équation de la réaction de fission de l'uranium 235 qui produit le strontium 94 et le xénon 140.

Partie 2 - La fusion et le projet ITER

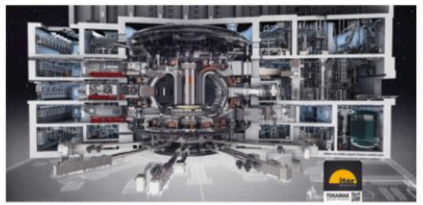
Doc. 5 La fusion nucléaire

La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers fusionnent pour en former un plus gros, en libérant de l'énergie.

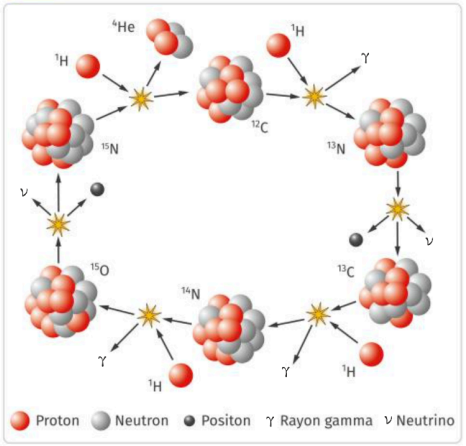
Au cœur d'une étoile, la fusion des noyaux d'hydrogène H peut s'expliquer notamment avec le cycle CNO (voir le Doc. 7).

Doc. 6 Le projet ITER

Le projet ITER (*International thermonuclear experimental reactor*) est un prototype de réacteur nucléaire en cours de construction en France, à Saint-Paul-lez-Durance. L'objectif de ce réacteur est de produire un plasma dans lequel l'énergie libérée par la réaction de fusion entre le deutérium $^{2}_{1}H$ et le tritium $^{3}_{1}H$ est suffisante pour entretenir la température du milieu.



Doc. 7 Le cycle CNO



Ce cycle explique la conversion d'hydrogène H en hélium He dans les étoiles. En effet, les particules permettant les transformations successives entre les noyaux d'azote N, de carbone C et d'oxygène O correspondent à quatre noyaux d'hydrogène H. Au cours du cycle, un noyau d'hélium He est produit.
Un neutrino ν est une particule fondamentale de charge nulle et de masse nulle (ou très faible).

Doc. 8 Les perspectives pour la fusion contrôlée

Les raisons qui ont poussé certains pays contributeurs à financer le projet ITER sont multiples.

Tout d'abord, les noyaux produits dans une centrale nucléaire à fission classique sont radioactifs, d'une grande variété, et difficiles à traiter. Certains nécessitent d'être enfouis pour éviter que les rayonnements qu'ils émettent ne représentent une menace pour les êtres humains et l'environnement. En ce qui concerne la fusion, les noyaux produits seraient plus légers et non radioactifs.

D'autre part, l'énergie produite par une réaction de fusion est, à masse égale de combustible et en moyenne, quatre fois plus importante que celle produite au cours d'une réaction de fission. Les centrales à fusion seront donc en théorie plus puissantes que les centrales nucléaires classiques à fission.

Questions

1. La chaîne « proton-proton » au cours de laquelle des protons (noyaux d'hydrogène $^{1}_{1}H$) réagissent pour former des noyaux d'hélium 4 (particules alpha α) peut être résumée par l'équation suivante :

$$4\,^{1}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + 2\,^{0}_{1}e^{+} + 2\,^{0}_{0}\nu$$

Cette réaction est-elle une fusion ou une fission ? Justifiez.

2. Doc. 6 et 8 Résumez en quelques phrases le principe du projet ITER, ses avantages et ses inconvénients.
3. Doc. 7 Écrivez les équations du cycle CNO au cours desquelles :
   a. le noyau de carbone 12 se transforme en noyau d'azote 13 ;
   b. le noyau d'azote 14 se transforme en noyau d'oxygène 15 ;
   c. le noyau d'azote 15 se transforme en noyau de carbone 12.