

## 1 Quelles sont les réactions nucléaires au sein du Soleil ?

**Principe général** Les réactions de fusion nucléaire sont typiques du fonctionnement d'une ..... comme le Soleil et sont à l'origine de l'énorme quantité d'énergie rayonnée par cet astre. Ce type de réaction consiste en la fusion de deux noyaux atomiques ..... en un noyau plus lourd, fusion qui s'accompagne d'une libération importante d'énergie.

Une telle réaction n'intervient qu'à des températures élevées (plusieurs dizaines de millions de degrés Celsius) avec des atomes dans un état très condensé (un plasma).

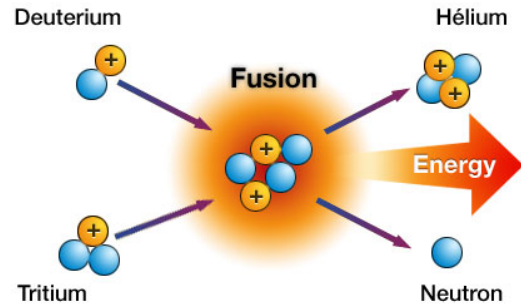


FIG. 1 – Fusion d'un deutérium et d'un tritium.

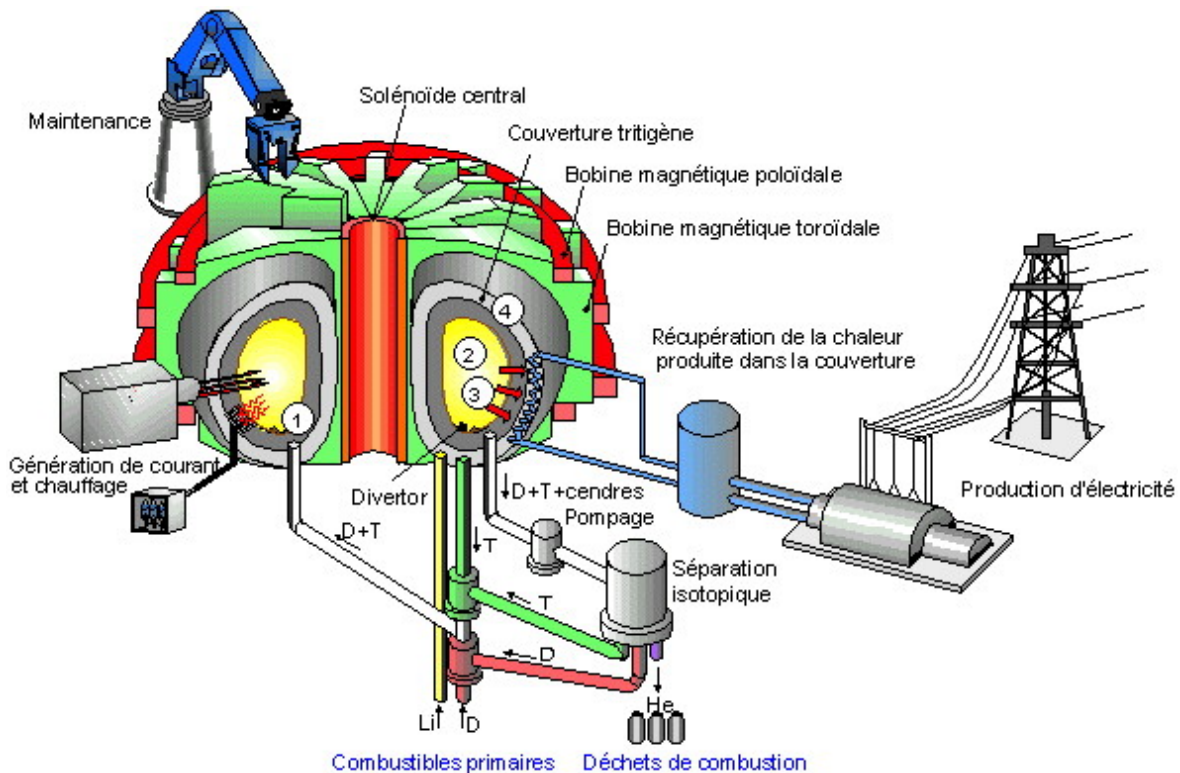


FIG. 2 – Schéma de principe du réacteur expérimental de fusion ITER.

**La fusion... sur Terre!** Si le mécanisme de fusion nucléaire a pu être reproduit dans les bombes thermonucléaires (dites « bombe ..... »), la fusion contrôlée en vue de produire de l'..... en est toujours au stade de la recherche. Depuis une trentaine d'années, de nombreux laboratoires étudient la fusion de deux noyaux légers comme ceux du deutérium et du tritium qui sont deux isotopes de l'élément hydrogène. Le deutérium et le tritium ont un noyau avec un proton ( $Z = 1$ ) et respectivement 1 et 2 neutrons.

Les noyaux sont portés à plus de 100 millions de de-

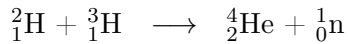
grés dans des machines toriques appelées Tokamak. Le mélange de deutérium et de tritium y est confiné à l'intérieur de parois immatérielles créées par des champs magnétiques intenses.

**Le projet ITER** Le projet ITER (International Experimental Thermonuclear Reactor), lancé en 1986, a pour but de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes.

Avec 12,4 m de diamètre et 27 m de haut, ce réacteur,

en construction dans le sud de la France à Cadarache, devrait permettre de réaliser la fusion du deutérium et du tritium. La première génération de réacteurs à fusion industriels devrait voir le jour vers 2050.

**Équilibrer les équations des réactions nucléaires de fusion** Le principe est le même que pour une réaction de fission. Exemple avec la réaction entre le deutérium et le tritium :



Cette réaction libère 17,6 MeV, ce qui est énorme (1 eV =  $1,602 \times 10^{-19}$  J).

Application directe : écrire l'équation de fusion de deux noyaux de deutérium, pour former du tritium et un autre noyau fils que l'on découvrira.



FIG. 3 – Un moment historique : la pause de la dernière tuile thermique dans ITER, par trois types en pyjamas.

## 2 Quelles sont les réactions nucléaires au sein d'une centrale ?

**Principe général** L'uranium 235 est le seul atome à l'état naturel dont le noyau se brise en deux noyaux plus petits sous l'effet d'un choc avec un neutron (passant dans le coin, comme ça par hasard). Cette transforma-

tion est une réaction nucléaire que l'on appelle réaction de ..... et on dit que l'uranium 235 est .....

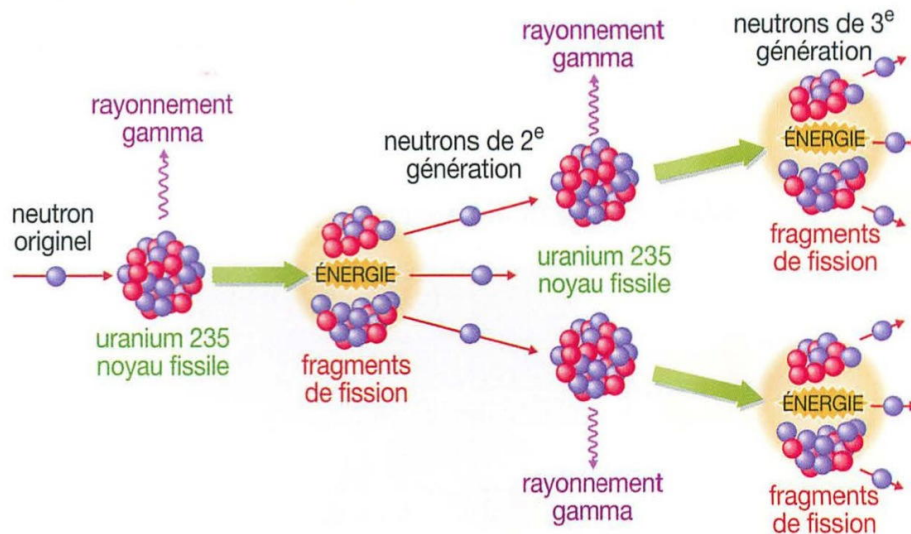


FIG. 4 – Réaction en chaîne pour l'uranium 235

**Possibilité d'une réaction en chaîne** Les deux fragments de fission sont appelés noyaux fils. La réaction libère aussi entre deux ou trois neutrons (2,47 neutrons en moyenne), qui peuvent (après avoir été préalablement ralentis) provoquer deux ou trois nouvelles réactions : c'est la réaction .....

seul noyau!).

Dans un réacteur nucléaire, la réaction en chaîne est maîtrisée pour maintenir un rythme de fissions constant.

Pour un gramme d'uranium, la quantité d'énergie libérée est considérable : la fission d'un noyau d'uranium 235 libère la même énergie que la combustion de 33 millions d'atomes de carbone.

**Énormément d'énergie** Environ 200 MeV d'énergie est libérée lors de la fission de l'uranium (1 eV =  $1,602 \times 10^{-19}$  J), donc ..... J (pour un

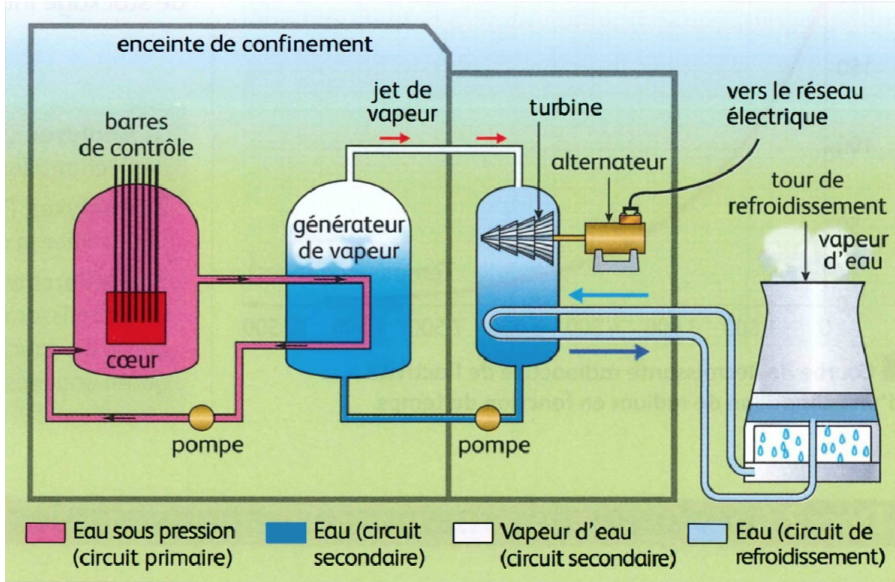
Les produits de fission emportent cette énergie sous forme d'énergie cinétique, énergie qu'ils perdent au cours des chocs avec la matière environnante, donc en transfert ..... (chaleur).

**Le problème de rayons gamma** À chaque modification d'un noyau, un rayonnement  $\gamma$  (lettre grecque « gamma ») est émis. Il s'agit d'un rayonnement pénétrant et très ionisant, c'est-à-dire qu'il va rompre des

liaisons et faire apparaître des ions au sein de la matière qu'il traverse, y inclus la matière organique et notamment l'ADN codant l'information génétique!

### 3 Quel est le principe d'une centrale nucléaire ?

Dans une centrale thermique à uranium, la transformation des noyaux des atomes au cœur du réacteur produit l'énergie.



#### 3.1 Découvrons le fonctionnement

Dans une centrale thermique nucléaire, l'énergie thermique libérée par la ..... des noyaux d'Uranium est transférée à de l'eau qui est vaporisée. La vapeur entraîne une turbine qui actionne un alternateur produisant de l'énergie .....

#### 3.2 Analysons le fonctionnement

1. Quels points communs y a-t-il entre le fonctionnement d'une centrale thermique à combustible fossile et celui d'une centrale thermique à combustible nucléaire ?

2. Quelles sont les différences (entre une centrale nucléaire et une centrale « chimique ») ?

3. Quelles sont les formes d'énergie rencontrées dans ce type de centrale ?

Énergie libérée par la fission d'un gramme d'uranium 235 : 72,6 MJ.

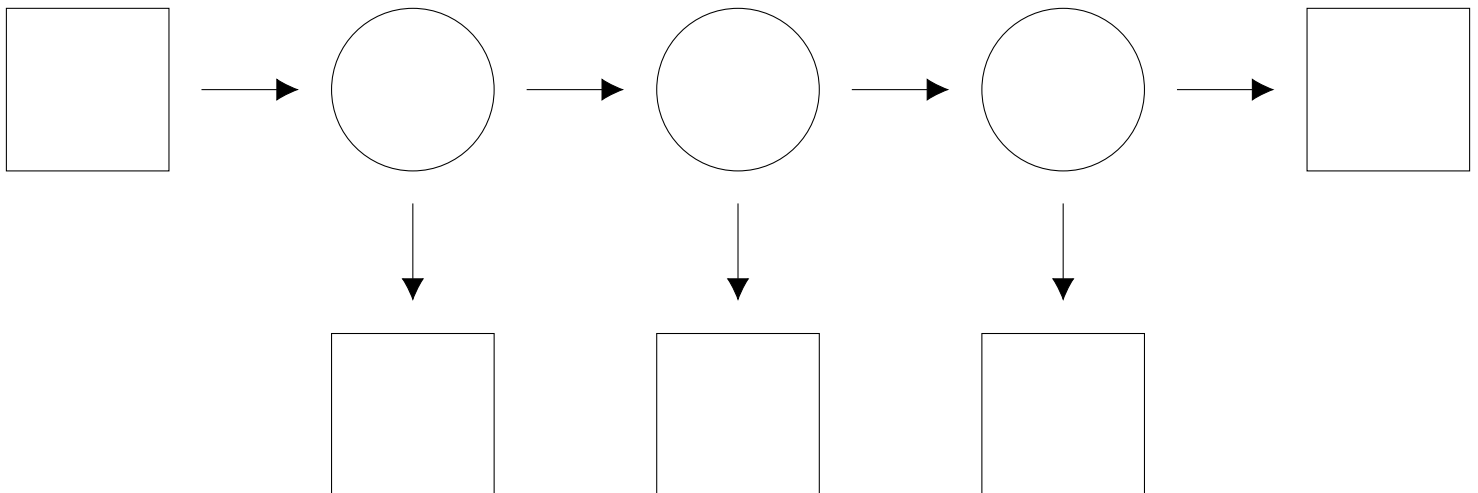


FIG. 5 – Chaîne énergétique d'une centrale nucléaire.

## 4 Correction des exercices du chapitre 10 (fin)

### 10.6 N° 13 p. 154 – Conversions en tout genre

1. L'activité  $\mathcal{A}$  d'une source est le nombre moyen de désintégrations par seconde.
2. L'activité s'exprime en becquerels, symbole Bq. 1 Bq correspond à 1 désintégration par seconde.
3. Pour déterminer l'activité des sources, on divise le nombre de désintégrations par le temps de comptage, exprimé en seconde.

— Homme de 70 kg :

$$\mathcal{A} = \frac{152}{1 \times 60} = 2,5 \text{ Bq}$$

— 1 kg de granit :

$$\mathcal{A} = \frac{503}{500 \times 10^{-3}} = 1,0 \times 10^3 \text{ Bq}$$

— 1 g de Radium :

$$\mathcal{A} = \frac{3,7 \times 10^{10}}{1} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

— 50 kg d'engrais phosphaté :

$$\mathcal{A} = \frac{29}{1 \times 3600} = 8,1 \times 10^{-3} \text{ Bq}$$

— 1 L de Lait :

$$\mathcal{A} = \frac{803}{10} = 80 \text{ Bq}$$

Classement de l'échantillon le plus radioactif à l'échantillon le moins radioactif (par ordre d'activité décroissante) : radium ; granit ; lait ; homme ; engrais.

### 10.7 N° 15 p. 154 – Activité du césium 137

1. La radioactivité est un phénomène aléatoire, spontané et inéluctable. Par conséquent, le nombre d'évènements ne peut pas être strictement identique d'une mesure à l'autre.

Remarque : on dispose du matériel pour réaliser ces mesures au lycée, mais ce TP a été interdit par la Préfecture, de peur qu'un élève avale la source radioactive !

2. Plus le nombre de mesures est important, plus on s'approche du comportement statistique, qui s'exprime par la loi des grands nombres. Donc plus les différences aléatoires seront gommées, et plus le comportement moyen, caractéristique de la loi physique de désintégration, apparaît (il faut s'imaginer en train d'étudier le comportement typiquement aléatoire d'un dès lors d'un jeu : on ne saura si le dés est juste ou *pipé* que si on le lance un grand nombre de fois).

3. a. Il s'agit d'une moyenne *pondérée*, du même type que celle qui apparaît sur votre bulletin de notes trimestriel (la moyenne tient compte des coefficients du Bac, même en Première S!). Pour réaliser un tel calcul, on multiplie chaque nombre  $N$  de désintégrations par sa fréquence de comptage  $f$ , et on divise par la somme des fréquences, qui vaut normalement 120 (10 mesures par élève, 12 élèves, donc  $12 \times 10 = 120$ ) :

$$\begin{aligned} \sum_i f_i &= 1 + 1 + 2 + 7 + 2 + 5 + 7 \\ &\quad + 8 + 11 + 10 + 17 + 15 + 9 \\ &\quad + 7 + 5 + 6 + 3 + 2 + 1 + 1 \\ &= 120 \quad \text{c. q. f. d.} \end{aligned}$$

Notons ce nombre de désintégrations moyen  $\bar{N}$  :

$$\begin{aligned} \bar{N} &= \frac{\sum_i f_i N_i}{\sum_i f_i} \\ &= \frac{1 \times 296 + 1 \times 298 + 2 \times 300 + 7 \times 301 \\ &\quad + 2 \times 302 + 5 \times 303 + 7 \times 304 \\ &\quad + 8 \times 305 + 11 \times 306 + 10 \times 307 \\ &\quad + 17 \times 308 + 15 \times 309 + 9 \times 310 \\ &\quad + 7 \times 311 + 5 \times 312 + 6 \times 313 \\ &\quad + 3 \times 314 + 2 \times 315 + 1 \times 316 \\ &\quad + 1 \times 317}{120} \\ \bar{N} &= \frac{36\,905}{120} = 308 \end{aligned}$$

En moyenne, l'échantillon étudié a une activité de 308 désintégrations lors de la durée de chaque comptage, de 5 secondes.

- b. L'activité d'une source est égale à son nombre de désintégration par seconde :

$$\mathcal{A} = \frac{308}{5} = 62 \text{ Bq}$$

### 10.8 N° 19 p. 155 – Authenticité d'un millésime

1. Isotopes issus de la radioactivité naturelle : carbone 14 et potassium 40.  
Isotopes issus de la radioactivité artificielle : césium 137.
2. Activité du vin pour 75 cL :

$$\mathcal{A} = \frac{42}{500} = 0,084 \text{ Bq}$$

L'activité est proportionnelle au volume du vin. Pour 1 L, on a donc :

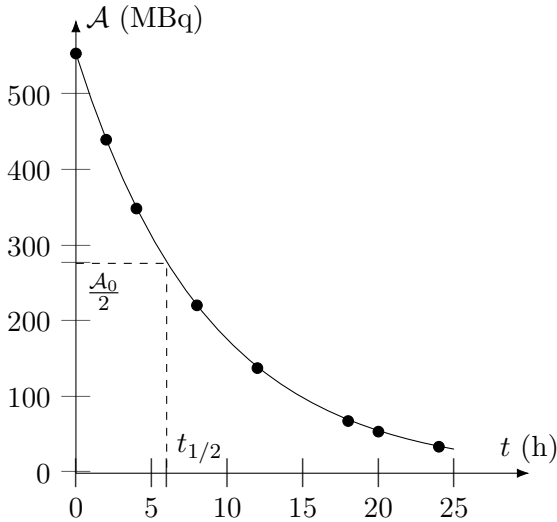
$$\mathcal{A} = \frac{0,084}{0,75} = 0,112 \text{ Bq} = 112 \text{ mBq},$$

valeur qui peut correspondre aux l'années 1953, 1973 ou 1987 sur le graphe (droite déjà tracée en rouge).

- Le pic provient des essais nucléaires aériens.

### 10.9 N° 16 p. 154 – Scintigraphie osseuse

- Courbe  $A = f(t)$  :



L'activité diminue avec le temps, et de moins en moins (courbe dite exponentielle décroissante, qui sera vue en mathématiques en Terminale S).

- Lecture graphique pour :

$$\frac{A_0}{2} = \frac{555}{2} = 277,5 \text{ MBq}$$

On trouve  $t_{1/2} = 6$  h.

- Au bout d'un jour, c'est-à-dire 24 heures, l'activité vaut  $\mathcal{A}_{24} = 35$  MBq ; l'activité initiale  $\mathcal{A}_0$  de l'échantillon injecté est donc divisée par un facteur :

$$\frac{A_0}{A_{24}} = \frac{555}{35} = 16$$

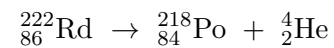
L'activité d'un traceur diminuant très rapidement au cours du temps, cela permet son usage médical.

### 10.10 N° 22 p. 156 – Le retour de la momie

- Une baisse de 40 % de la radioactivité de la momie signifie qu'il reste 60 % de cette radioactivité, donc 0,6 pour la courbe. Par lecture graphique, on trouve environ  $t = 4500$  ans pour l'âge de la momie.
- Il n'y a plus d'ingestion de matière carbonée, puisque les organismes n'absorbent plus de dioxyde de carbone (soit directement pour les végétaux, soit ultérieurement dans la chaîne alimentaire).
- La proportion de carbone 14 est quasi-nulle à partir de 30 000 ans, donc on ne peut pas utiliser la datation au carbone 14 pour des fossiles trop anciens, comme ceux des dinosaures.

### 10.11 N° 23 p. 156 – Le radon des sous-sols

- Il s'agit d'une radioactivité naturelle.
- Réponse (c), car le radon perd deux protons et deux neutrons lors de sa désintégration :



C'est donc bien que le radon a un excès de protons et de neutrons.

- ${}_{84}^{210}\text{Po}$ .
- La radioactivité est un phénomène aléatoire, spontané et inéluctable. Par conséquent, entre chaque mesure, le caractère aléatoire apparaît.
- Moyenne sur l'ensemble des mesures :  $\mathcal{A} = 8,5$  Bq.
- Avec  $10 \text{ L} = 0,010 \text{ m}^3$ , l'activité par mètre cube d'air est donc :

$$\mathcal{A} = \frac{8,5}{0,010} = 850 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Il faut aérer la cave car le seuil de précaution est dépassé.