

# 4

## LA SOURCE D'ÉNERGIE DU SOLEIL

Satisfaire les besoins de l'humanité en énergie sans polluer la planète est une question au centre des débats sur la « transition énergétique ». Un moyen pour y parvenir serait de reproduire dans des centrales les réactions qui se produisent au cœur du Soleil.

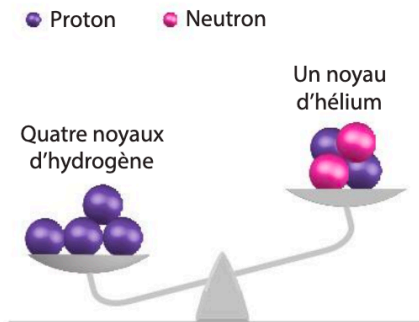
### OBJECTIF

Déterminer la masse du Soleil transformée chaque seconde en énergie

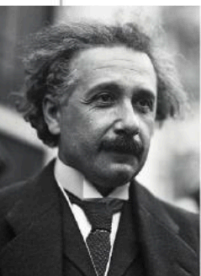
### Quel phénomène est à l'origine de l'énergie solaire? Pourra-t-on le reproduire sur Terre?

#### 1 La production d'énergie dans les étoiles

En 1920, le physicien anglais Francis William Aston (1877-1945) découvre expérimentalement qu'un noyau d'hélium  $^4\text{He}$  (2 protons et 2 neutrons) est plus léger que quatre noyaux d'hydrogène  $^1\text{H}$  (1 proton et 0 neutron).



Comme le noyau d'hélium est le résultat de la fusion de quatre noyaux d'hydrogène, Francis Aston en déduit qu'une partie de la masse initiale disparaît lors de la fusion nucléaire.



L'explication de cette observation repose sur l'équivalence entre la masse perdue  $m$  et l'énergie obtenue  $E$ , formulée en 1905 par le physicien d'origine allemande Albert Einstein (1879-1955).

$$E = m \times c^2$$

Énergie en joules (J) ←

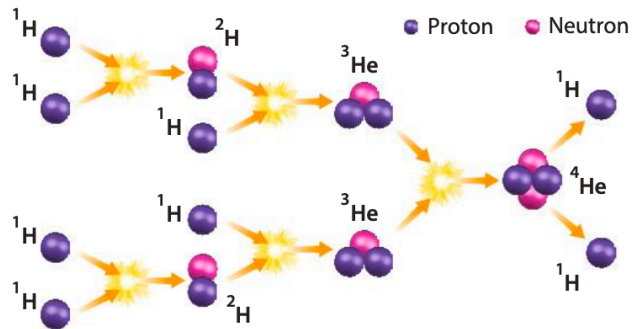
Différence de masse en kilogrammes (kg) ←

Célérité de la lumière dans le vide ( $3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ←

Comme dans toute étoile, il se produit dans le Soleil des réactions de fusion nucléaire stellaire qui transforment les noyaux d'hydrogène en hélium et entretiennent ainsi une température centrale de l'ordre de 15 millions de degrés.

#### 2 Les réactions nucléaires au sein du Soleil

Dans le Soleil, constitué essentiellement d'hydrogène, se produisent différentes réactions nucléaires. Du deutérium  $^2\text{H}$  et de l'hélium  $^3\text{He}$  se forment aux étapes intermédiaires, ces derniers réagissant pour aboutir à la formation d'hélium  $^4\text{He}$ .



Le bilan final est la transformation de quatre noyaux d'hydrogène  $^1\text{H}$  en un noyau d'hélium  $^4\text{He}$ .

#### 3 Une conséquence surprenante de la formule d'Einstein

Si la perte de masse qu'entraîne la transformation des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium est infime à l'échelle microscopique, elle devient énorme à l'échelle du Soleil. Cette conséquence avait été formulée dès 1905 par Einstein : « Si un corps dégage une énergie  $E$  sous forme de radiation, sa masse  $m$  diminue de  $m = E/c^2$ . »

Grâce aux différentes mesures de la puissance radiative du Soleil effectuées au fil des siècles, d'abord au sol, puis en ballon et enfin par satellite, les astronomes connaissent précisément la puissance totale rayonnée par le Soleil : elle est colossale et vaut  $P_{\text{totale}} = 3,87 \times 10^{26} \text{ W}$ .

Cela signifie qu'en une seconde le Soleil libère une énergie  $E_{\text{totale}} = 3,87 \times 10^{26} \text{ J}$ .

On peut ainsi calculer que, du fait de son rayonnement, le Soleil « maigrit » chaque seconde d'environ quatre millions de tonnes !

### QUESTIONS

- 1 Quelle réaction se produit au sein du Soleil?
- 2 Pourquoi cette réaction s'accompagne-t-elle d'une perte de masse? Qu'entraîne-t-elle?
- 3 Démontrer la conclusion du document 3 : « Le Soleil perd quatre millions de tonnes par seconde. »

### FORMULE

$$E = P \times t$$

en joules (J) ←

en watts (W) ←

en secondes (s) ←

## 4 Maîtriser la puissance du Soleil? Le projet ITER

ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) est un projet de réacteur cherchant à reproduire sur Terre les réactions de fusion nucléaire se produisant au cœur du Soleil. Les scientifiques espèrent obtenir, grâce à ce réacteur, une puissance de 500 MW pour des périodes de 400 à 600 secondes.

Sa construction, financée par un consortium mondial de 35 pays (comprenant l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Chine, la Russie, la Corée du Sud, les États-Unis et la Suisse), a débuté fin 2007 sur le site de Cadarache, dans le département des Bouches-du-Rhône (13), sur un site de 42 hectares. Un prototype industriel de fusion pourrait être lancé vers 2045 et commencer à fonctionner entre 2055 et 2060.

La fusion nucléaire envisagée dans le réacteur ITER présente de nombreux avantages par rapport à la fission de l'uranium, actuellement utilisée dans les centrales électriques nucléaires. Son rendement est tout d'abord bien meilleur. Ensuite, elle utilise comme combustible du deutérium  $^2\text{H}$  et du tritium  $^3\text{H}$ , deux isotopes de l'hydrogène. Le deutérium est très abondant dans la nature : on le trouve dans l'eau de mer. Le tritium a quant à lui une très faible toxicité (sa

demi-vie, par exemple est de 12,3 années contre 4,5 milliards d'années pour l'uranium). Par ailleurs, la réaction de fusion ne présente aucun risque d'accident nucléaire de type Fukushima et génère des déchets très faiblement radioactifs.



## 5 ITER, un projet controversé



Le physicien français George Charpak (1924-2010) explique, dans un article paru en 2010 dans le journal *Libération*, que le projet ITER est « un rêve impossible ». Tout d'abord, le coût prévisionnel de construction d'ITER est passé de 5 à 15 milliards d'euros, et il est question d'en faire subir les conséquences aux budgets de financement de la recherche scientifique européenne. De plus, pour contrôler cette production d'énergie, il faut, entre autres, produire le tritium en quantités industrielles et inventer des matériaux capables de supporter des températures très élevées, de l'ordre de 150 millions de degrés pour contenir ces combustibles dans une enceinte de quelques milliers de mètres cubes.

### QUESTIONS

- 4 Quel est le but du projet ITER?
- 5 La réaction nucléaire envisagée dans le réacteur ITER est-elle la même que celle se produisant au sein du Soleil?
- 6 Les températures nécessaires pour réaliser la fusion nucléaire dans le réacteur de ITER sont-elles les mêmes qu'au cœur du Soleil?
- 7 Lister les avantages et les inconvénients du projet ITER. Pourquoi des physiciens comme Georges Charpak s'élèvent-ils contre le projet ITER?

➔ Pour approfondir : ex. 19 p. 85

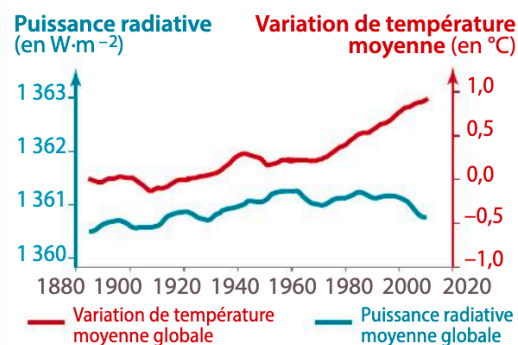
### Penser la science

**Comprendre que le savoir scientifique se distingue d'une croyance ou d'une opinion**

Selon certains « climato-sceptiques », le changement climatique observé sur Terre ne proviendrait pas des activités humaines mais du Soleil lui-même : les variations de sa puissance radiative en seraient responsables.

Des mesures précises de la puissance radiative et de la variation de la température moyenne à la surface du globe en fonction du temps permettent de tester cette interprétation.

- Montrer que cette interprétation est discutable.



➔ Comprendre la démarche scientifique, p. 17