

# Puissance libérée par le Soleil

## Document 1 : Perte de masse dans les réactions de fusion nucléaire dans le soleil

Au cours des réactions de fusion nucléaire qui ont lieu dans le soleil, de la masse disparaît : la somme des produits de la réaction est inférieure à la somme des réactifs. On dit qu'il y a une « perte de masse  $\Delta m$  », où  $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$

## Document 2 : Relation d'équivalence entre la masse et l'énergie

En 1905, Einstein formule l'équivalence entre la masse et l'énergie : toute particule, même au repos, possède, du seul fait de sa masse  $m$ , de l'énergie  $E_0$ , appelée énergie de masse, donnée par la relation :

$$E_0 = m \cdot c^2$$

où  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide

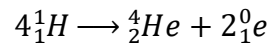
$E_0$  est en joule (J) -  $m$  est en kilogramme (kg) -  $c$  est en mètre par seconde ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

En conséquence, la masse qui disparaît au cours de certaines réactions nucléaires est convertie en énergie selon l'équation :

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

## Document 2 : Mécanisme de fusion de l'hydrogène dans une étoile

Bilan des réactions de fusion nucléaire de l'hydrogène dans le Soleil :



## Document 3 : Relation puissance – énergie

La puissance solaire est l'énergie que rayonne le Soleil pendant 1 seconde.

L'unité de la puissance est le Watt (W) : 1 W correspond à 1J produit chaque seconde :  $1\text{W} = 1 \text{ J/s}$

Remarque : 1 kW = 1000 W =  $10^3$  W

1 MW = 1000 kW = 1 000 000 W =  $10^6$  W

1 GW = 1000 MW = 1 milliard W =  $10^9$  W

Pour calculer une énergie en Joules :  $E = P \times \Delta t$

Données :

Masses des noyaux, en unité de masse atomique :

${}_1^1\text{H}$  : 1,0073 u       ${}_2^4\text{He}$  : 4,0026 u       ${}_1^0\text{e}$  : 0,0006 u

1 u =  $1,66 \times 10^{-27}$  kg       $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$        $M_H = 1,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Questions :

1. Montrer que l'énergie produite par 1 réaction nucléaire dont le bilan est donné à la fin du document 1 est estimée à  $E = 3,8 \times 10^{-12} \text{ J}$ .
2. Le soleil transforme, chaque seconde, 600 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.
  - a. Montrer que le nombre de réaction qui se produisent chaque seconde dans le soleil est d'environ  $N_r = 9 \times 10^{37}$ .
  - b. En déduire la puissance rayonnée par les réactions nucléaires qui ont lieu dans le soleil.
  - c. Comparer la cette puissance à celle produite par un réacteur de centrale nucléaire (1000 MW en moyenne)
  - d. Estimer l'ordre de grandeur de la perte de masse subie, chaque seconde, par le soleil.
3. Le Soleil a une masse  $m_S = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ . On estime que 10 % de cette masse, située au cœur du Soleil peut subir la fusion nucléaire qui transforme l'hydrogène en hélium. Calculer la durée de vie du Soleil.

## Correction

1. Energie libérée par 1 réaction :

Calcul de la perte de masse au cours d'une réaction :

$$\Delta m = m({}_2^4\text{He}) + 2m_e - 4m({}_1^1\text{H}) \approx -2,54 \cdot 10^{-2} u$$

A chaque réaction, il disparaît  $2,54 \cdot 10^{-2} u$  soit  $2,54 \cdot 10^{-2} \times 1,66 \cdot 10^{-27} = 4,21 \cdot 10^{-29} kg$

Energie correspondante :

$$E = \Delta m \cdot c^2 \quad \text{A.N.} \quad E = 4,21 \times 10^{-29} \times (3,00 \times 10^8)^2 = 3,79 \times 10^{-12} J$$

2. On nous dit que chaque seconde, il disparaît  $m_{\text{tot}}=600$  millions de tonnes d'hydrogène.

- a. Calculons le nombre de noyaux contenus dans cette masse :  $N = \frac{m_H}{m_{\text{atome}}}$

$$\text{A.N.} \quad N_H = \frac{600 \times 10^6 \times 10^6}{1,0073 \times 1,66 \times 10^{-27}} = 3,61 \times 10^{38}$$

(rq : il faut convertir les tonnes en g ( $\times 10^6$ ))

Or d'après l'équation bilan établie précédemment, il faut 4 noyaux d'hydrogène pour former 1 noyau d'hélium. On peut donc calculer le nombre de réactions qui ont lieu chaque seconde dans le

$$\text{soleil :} \quad N_r = \frac{N_H}{4} \quad \text{A.N.} \quad N_r = 9,03 \times 10^{37}$$

(Il y a 4 fois moins de réactions que de noyaux)

- b. Calculons l'énergie dégagée par toutes ces réactions :

$$E_{\text{tot}} = E \times N_r \quad \text{A.N.} \quad E_{\text{tot}} = 3,42 \times 10^{26} J$$

Calcul de la puissance rayonnée :

$$P = \frac{E_{\text{tot}}}{\Delta t} \quad \text{A.N.} \quad P = 3,42 \times 10^{26} W$$

- c.  $P = 3,42 \times 10^{26} W = 3,42 \times 10^{20} MW$

$$\frac{3,42 \times 10^{20}}{1000} = 3,42 \times 10^{17} \approx 350 \times 10^9 \times 10^6$$

Ce qui correspond à 350 millions de milliards de réacteurs nucléaires...

- d. En 1 seconde, il disparaît :  $\Delta m_{\text{tot}} = N_r \times \Delta m$

$$\text{A.N.} \quad \Delta m_{\text{tot}} = 1,08 \times 10^{38} \times 4,21 \times 10^{-29} = 4,5 \times 10^9 kg$$

3. Durée de vie du Soleil :  $\frac{\frac{10}{100} \times 2 \times 10^{30}}{600 \times 10^6 \times 10^3} = 3,33 \times 10^{17} s = 10$  milliards d'années