



Soleil, perte de masse et énergie

But : Découvrir quelle est l'origine de l'énergie rayonnée par le soleil – Estimer sa durée de vie.

Compétences : APP – REA – VAL

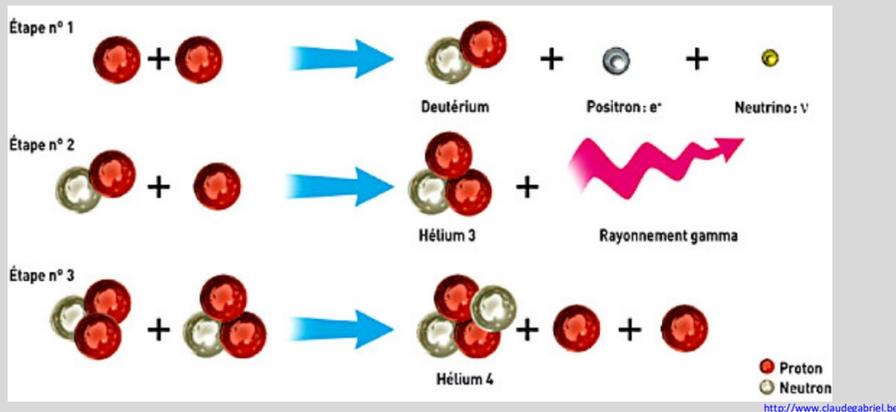
Le Soleil produit de l'énergie mais quelle est l'origine de cette énergie rayonnée et combien de temps brillera-t-il ?

1. Les réactions nucléaires dans le Soleil

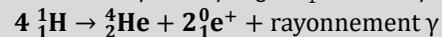
1.1. Processus

Longtemps, les scientifiques se sont interrogés sur la source d'énergie qui permettait aux étoiles de briller pendant de très longues durées.

La solution fut trouvée au début des années 1930 : notre étoile est le siège de réactions nucléaires qui consomment de l'hydrogène pour former de l'hélium. C'est l'astronome américain Charles Critchfield qui proposa le détail du processus, qui peut être résumé en 3 étapes présentées ci-dessous :



Le bilan final est la transformation de 4 noyaux d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ en un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$:



- 1.1.1. Justifier qu'à chaque étape, on assiste bien à des réactions de fusion nucléaire.
- 1.1.2. Justifier que le bilan nécessite que les étapes n°1 et n°2 soient doublées.

1.2. Comment l'énergie est-elle créée ?

- Ouvrir l'animation « Masse et énergie » du site Ostralo.net (accès par l'ENT) pour comparer les masses des réactifs et des produits du bilan final précédent. "Poser" les réactifs sur le plateau de gauche et les produits sur celui de droite. Le positron ${}^0_1\text{e}^+$ a la même masse qu'un électron, on peut donc la négliger pour cette comparaison. Le rayonnement gamma quant à lui est une onde électromagnétique.

La «balance» mesure les masses des particules en unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

- 1.2.1. Noter en unité de masse atomique, la masse totale des réactifs du bilan final m_i et la masse du noyau d'hélium obtenu m_f .
- 1.2.2. Calculer la variation de masse $\Delta m_{\text{fusion}} = m_f - m_i$ lors de la fusion nucléaire. Que remarque-ton ?
- 1.2.3. Proposer une explication à la source d'énergie que représente cette réaction nucléaire.

2. L'énergie rayonnée par le Soleil et perte de masse

Le Soleil est la principale source d'énergie du système solaire et toutes les planètes reçoivent une partie de la puissance qu'il rayonne.

Relation entre puissance P et énergie E

Soit P la puissance d'un rayonnement, E l'énergie dégagée par ce rayonnement et Δt , la durée d'émission de ce rayonnement. On a alors :

$$E = P \times \Delta t$$

avec E exprimée en joule (J) si P est en watt (W) et Δt en seconde (s)

A l'aide des documents des pages 74 et 75 du livre, répondre aux questions suivantes :

- 2.1. Quel nom donne-t-on à la puissance moyenne du rayonnement solaire qui atteint une surface imaginaire de 1 m^2 sur la Terre ?
- 2.2. Choisir parmi les 4 formes du document 4 celle représentant la surface totale recevant toute l'énergie solaire rayonnée par le Soleil. Donner le calcul de S.
- 2.3. En déduire le calcul de la puissance rayonnée à la distance $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ du Soleil (il faut trouver $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$).
- 2.4. Calculer l'énergie rayonnée sur cette même surface pendant 1 seconde. Que permet de confirmer le document 3 ?
- 2.5. Exploiter l'équivalence masse-énergie $E = \Delta m \times c^2$ pour montrer que la variation de masse Δm correspondant à l'énergie rayonnée en 1 s est de **4,3 millions de tonnes**.
 - 2.6. Quelle est la masse perdue par le Soleil en un milliard d'années ? Cette perte de masse est-elle négligeable par rapport à la masse du Soleil ?



Appeler le professeur pour qu'il valide ou en cas de difficulté

3. Bilan

➤ Pour bien comprendre, reprendre et compléter le texte ci-dessous :

Les températures au cœur du Soleil rendent possible les réactions de qui transforment les noyaux d'..... en noyaux La masse des produits de ces réactions est plus que la masse des réactifs.

La perte de masse est liée à l'énergie libérée par l'équivalence masse-énergie :

L'énergie libérée par le Soleil provient donc de la de la masse de celui-ci.

Ces réactions de fusion permettent au Soleil de conserver des températures très

4. Quelle durée de vie pour le Soleil ?

On estime que seulement 10 % de la masse du Soleil, située au cœur, est assez chaude ($T = 15$ millions de kelvin) pour subir la fusion nucléaire qui transforme l'hydrogène 1 (${}^1_1\text{H}$) en hélium 4 (${}^4_2\text{He}$).

Donc la masse disponible est de $2,0 \times 10^{26}$ tonnes.

Le taux de fusion nucléaire est proportionnel à la densité du cœur de l'étoile, ainsi la fusion nucléaire est un processus auto-régulé : si le taux de fusion augmente, cela provoque un réchauffement et une dilatation du cœur, ce qui diminue en retour le taux de fusion, et inversement.

- 4.1. A partir de masses mesurées au paragraphe 1.2., montrer par le calcul que la perte de masse relative à la masse des 4 noyaux d'hydrogène mis en jeu est $\frac{\Delta m_{\text{fusion}}}{m_i} = 0,00685$

A partir du résultat précédent et de la perte de masse correspondant à l'énergie rayonnée en 1 seconde

on peut calculer la masse m d'hydrogène ayant été consommée en 1 seconde : $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta m_{\text{fusion}}}{m_i}$

- 4.2. Montrer que la masse d'hydrogène consommée en 1 seconde est supérieure à 600 millions de tonnes.
- 4.3. En déduire l'espérance de vie du Soleil.



Appeler le professeur pour qu'il valide ou en cas de difficulté