

1 Le Soleil : source d'énergie

Le Soleil, siège de la fusion nucléaire

Le Soleil est le siège de réactions de **fusion nucléaire** qui consomme deux noyaux d'hydrogène pour produire un noyau d'hélium (voir partie 1, chapitre 1). Cette réaction s'accompagne de la libération d'une très grande quantité d'énergie. Elle permet au Soleil de conserver des températures très élevées (Fig. 1).

Exemple : La température à la surface du soleil est d'environ 5 700 °C mais elle peut atteindre plusieurs millions de degrés au centre de l'étoile ou dans les couches les plus hautes de la couronne solaire.

Au début du **xx^e** siècle, les physiciens Henri Poincaré et Albert Einstein établissent une **équivalence entre masse et énergie** :

$$\begin{array}{ccc} \text{énergie libérée} & & \text{célérité de la lumière} \\ \text{(ou consommée) en J} & \xrightarrow{\Delta E = \Delta m \cdot c^2} & \text{dans le vide en m} \cdot \text{s}^{-1} \\ & \uparrow & \\ & \text{masse consommée (ou libérée) en kg} & \end{array}$$

L'énergie et la masse vérifient donc une relation de proportionnalité car la célérité est une constante : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire s'accompagne donc d'une diminution de la masse du Soleil au cours du temps.

Exemple : La fusion des noyaux d'hydrogène dans le Soleil produit une puissance rayonnée d'environ $4 \times 10^{26} \text{ W}$. Cette puissance émise s'accompagne donc toutes les secondes d'une diminution Δm de la masse du Soleil :

$$\Delta m = \frac{P \cdot \Delta t}{c^2} = \frac{4 \times 10^{26} \times 1}{(3,00 \times 10^8)^2} \text{ soit } m \approx 4 \times 10^9 \text{ kg}$$

soit 4 millions de tonnes par seconde.

Le Soleil, source d'ondes électromagnétiques

Le Soleil émet des **rayonnements** sur la totalité du spectre électromagnétique. Ces rayonnements sont étudiés à partir de spectres représentant l'énergie rayonnée par le Soleil en fonction de la longueur d'onde (Fig. 2).

L'analyse de ces profils spectraux est réalisée dans le cadre du **modèle du corps noir** qui indique que l'allure des spectres ne dépend que de la température.

Dans le cadre du modèle du corps noir, le spectre du rayonnement émis par le Soleil dépend uniquement de la valeur de la température à sa surface.

Tous les spectres présentent un maximum d'énergie rayonnée pour une certaine valeur λ_{max} de la longueur d'onde. À la fin du **xix^e** siècle, le physicien allemand Wilhelm Wien montra la relation suivante.

Loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{constante}$ où T est la température exprimée en kelvin. La valeur expérimentale de cette constante est $2,8978 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Dans le cadre du modèle du corps noir, la température de la surface du Soleil est inversement proportionnelle à la longueur d'onde d'émission maximale λ_{max} .

Exemple : La température de surface du Soleil est d'environ 6 000 K, son λ_{max} vaut environ 500 nm.

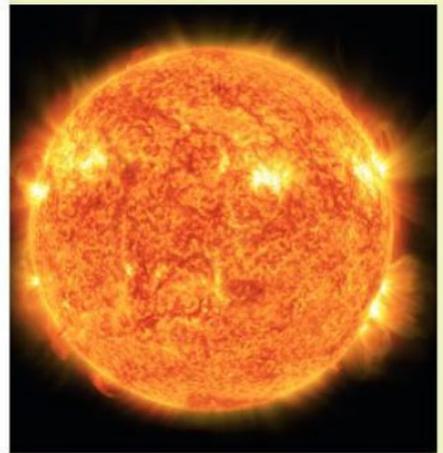


Fig. 1 : Le Soleil est principalement composé d'hydrogène ($\approx 75 \%$), d'hélium ($\approx 25 \%$) et de quelques métaux ($< 0,1 \%$).

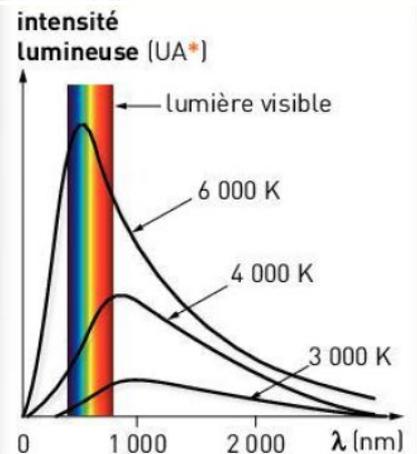


Fig. 2 : Profils spectraux dans le modèle du corps noir en fonction de la température.



Repère

$$\begin{array}{l} \text{température en K} \\ = \\ \text{température en } ^\circ\text{C} + 273 \end{array}$$

2 Énergie solaire reçue sur Terre

● Constante solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre est évaluée par la constante solaire.

La constante solaire est la puissance que reçoit une surface plane de la Terre perpendiculaire aux rayons du Soleil et de surface 1 m^2 . Elle s'exprime en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) et vaut $342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Fig. 3).

Pour une surface plane perpendiculaire aux rayons du Soleil, la puissance solaire reçue est proportionnelle à l'aire de la surface.

● Mouvements de la Terre et inégale répartition de l'énergie

La Terre est animée de deux mouvements appelés révolution et rotation :

- La **révolution** correspond au déplacement de la Terre autour du Soleil. Ce mouvement se fait dans un plan appelé **plan de l'écliptique**.

- La **rotation** de la Terre sur elle-même se fait autour d'un axe qui joindrait les pôles Nord et Sud. Cet axe est incliné par rapport au plan de l'écliptique.

Ces deux mouvements modifient l'angle avec lequel le rayonnement solaire atteint la surface de la Terre et donc la quantité d'énergie qu'elle reçoit.

La puissance reçue du Soleil dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

Cette configuration explique les variations de température, de saisons et de climat que l'on observe sur Terre.

● Conséquences de l'inégale répartition de l'énergie

La puissance reçue du Soleil par unité de surface dépend du moment de la journée, du jour de l'année (saisons) et de l'emplacement sur Terre (latitude).

Différents phénomènes expliquent la variation de la puissance solaire reçue :

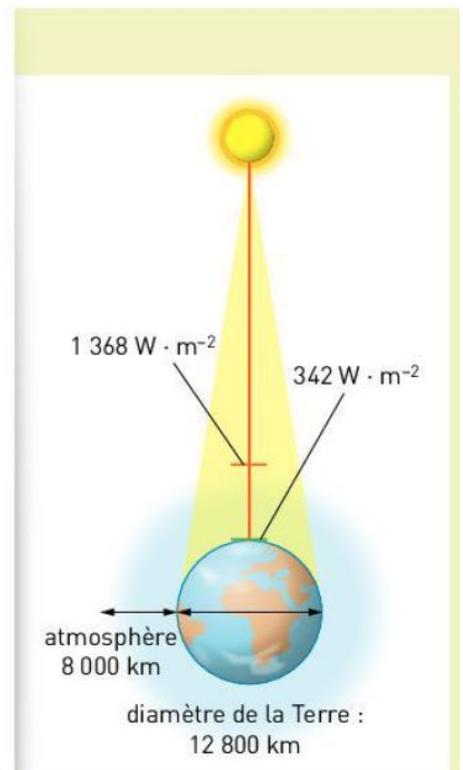


Fig. 3 : La constante solaire.

Le vocabulaire à retenir

- **Équivalence masse-énergie** : la libération d'énergie lors d'une réaction nucléaire s'accompagne d'une diminution de la masse de la source d'énergie.
- **Fusion nucléaire** : réaction se déroulant au cœur des étoiles, libérant une énorme quantité d'énergie et de lumière.
- **Loi de Wien** : relation qui permet de relier la température d'un « corps noir » à la longueur d'onde pour laquelle l'intensité du rayonnement émis est maximale.
- **Modèle du corps noir** : modèle théorique qui considère que le spectre d'émission d'un corps ne dépend que de sa température de surface.
- **Rayonnement** : propagation d'énergie électromagnétique émise par une source.
- **Variation diurne** : en un lieu donné, variation de la puissance reçue du Soleil au cours de la journée.
- **Variation saisonnière** : en un lieu donné, variation de la puissance reçue du Soleil au cours de l'année.
- **Zonation climatique** : répartition de climats différents sur la Terre.

