

## I L'énergie du Soleil

Le Soleil est une étoile dans laquelle se produisent des réactions nucléaires de fusion qui le maintiennent à une température élevée. Ces réactions émettent des rayonnements électromagnétiques qui traduisent la perte d'énergie du Soleil. Pour produire autant d'énergie, le Soleil sacrifie chaque seconde une partie de sa masse.

### A L'énergie libérée par les réactions nucléaires

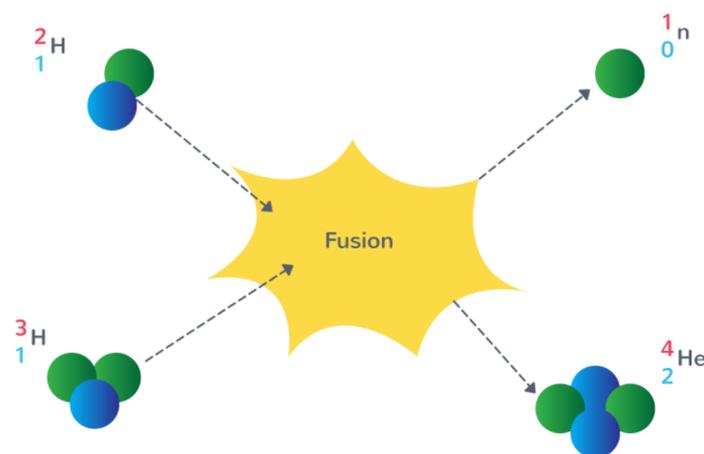
Le Soleil est une étoile dans laquelle se produisent des réactions nucléaires de fusion. Ces réactions le maintiennent à une température très élevée.

#### EXEMPLE

Au cœur du Soleil, l'une des fusions possibles concernent deux isotopes de l'hydrogène : le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et le tritium  ${}^3_1\text{H}$  :



Cette réaction produit un noyau d'hélium et libère un neutron.



Fusion des noyaux de deutérium et de tritium

Lors des fusions nucléaires (et de toutes les réactions nucléaires en général), une partie de la masse des réactifs est perdue et convertie en énergie, conformément à la relation d'Einstein.

#### LOI Relation d'Einstein : l'équivalence masse-énergie

La relation d'Einstein, appelée aussi équivalence masse-énergie, qui permet de calculer l'énergie libérée  $E_l$  par une réaction nucléaire à partir de la perte de masse  $\Delta m$  est :

$$E_{l(J)} =$$

Avec :

- $\Delta m$ , la perte de masse :  $\Delta m_{(\text{kg})} = m_{\text{réactifs}(\text{kg})} - m_{\text{produits}(\text{kg})}$
- $c$ , la vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$



La perte de masse étant très faible, il est nécessaire d'écrire les masses des réactifs et des produits avec une très grande précision (de l'ordre du cent millième de  $10^{-27} \text{ kg}$ ).

À partir des masses des réactifs et des produits, il est possible de calculer l'énergie libérée par la fusion de deux noyaux.

### B La perte d'énergie par rayonnement

Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et perdent donc de l'énergie par rayonnement.

Le spectre du rayonnement émis par la surface d'une étoile est modélisé par un spectre de corps noir, un corps idéal qui absorbe parfaitement toute la lumière qu'il reçoit, quelle que soit sa longueur d'onde.

Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique, dit rayonnement du corps noir, et qui est lié à la température absolue de la surface du corps noir.

### DÉFINITION Température absolue

On appelle **température absolue** une mesure de la température qui prend le zéro absolu (qui est caractérisé par une agitation thermique nulle) comme origine. Elle s'exprime en kelvins (K).

La température du zéro absolu est de  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  et elle correspond aussi à 0 K. La règle de conversion entre les unités degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) et kelvin (K) est :

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273,15$$

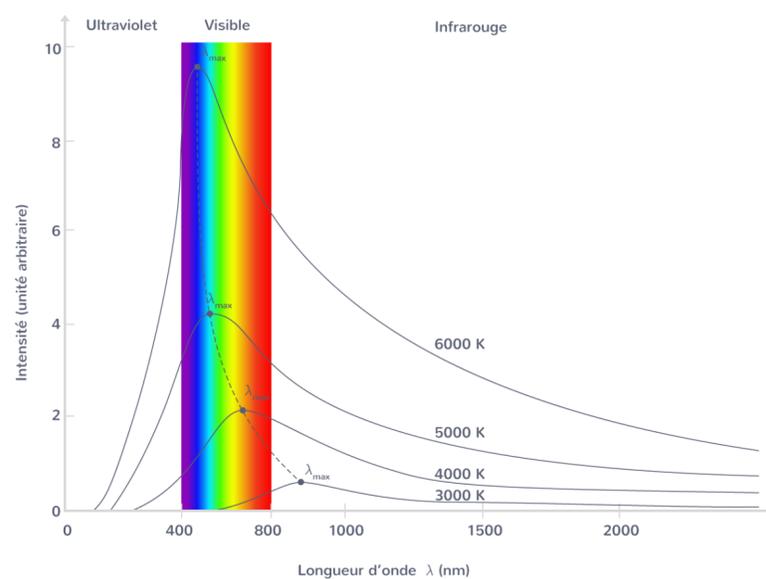
### EXEMPLE

Une température de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  correspond à la température absolue :

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273,15 = 20,00 + 273,15 = 293,15\text{ K}$$

### PROPRIÉTÉ

Le spectre du rayonnement émis par la surface d'une étoile dépend seulement de la température de sa surface. La longueur d'onde  $\lambda_{max}$  qui correspond au maximum d'émission de rayonnement par l'étoile est inversement proportionnelle à la température absolue de sa surface.



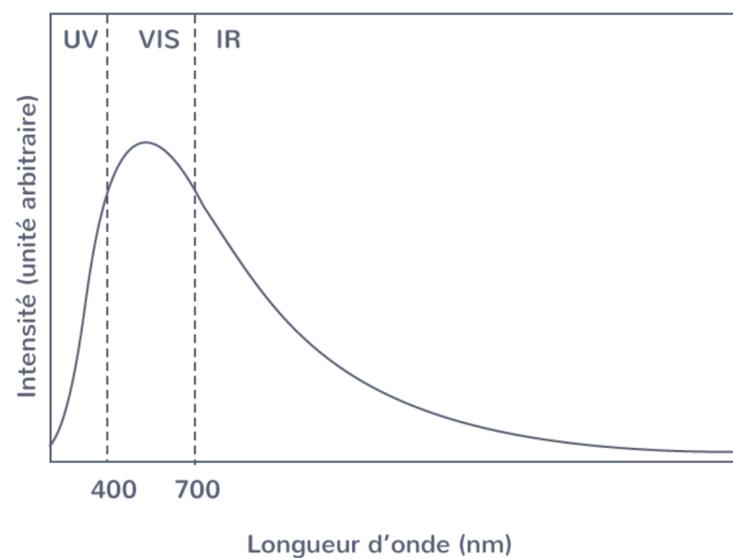
Intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde pour plusieurs températures de surface de la source

**LOI** Loi de Wien

La loi de Wien s'applique aux corps noirs, elle relie la longueur d'onde  $\lambda_{max}$  du maximum d'émission de rayonnement d'un corps à la température absolue de sa surface :

$$T_{(K)} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{\lambda_{max(m)}}$$

La loi de Wien associée au spectre du rayonnement émis par le Soleil permet de déterminer sa température de surface.



Spectre du rayonnement émis par le Soleil

Après lecture graphique de  $\lambda_{max}$  (maximum de la courbe), on peut en effet déduire la température de surface du Soleil à l'aide de la loi de Wien :

$$T_{(K)} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{\lambda_{max(m)}}$$

Cela signifie que plus la température absolue de surface d'une étoile est importante, plus la longueur d'onde à laquelle elle émet son maximum de rayonnement est faible.

**© La masse solaire transformée en énergie**

La masse solaire est transformée en énergie. En effet, grâce à la relation équivalence masse-énergie d'Einstein, sachant que la puissance totale rayonnée par le Soleil est de  $4 \times 10^{26}$  W, on peut montrer que chaque seconde, environ  $4 \times 10^9$  kg de matière solaire sont convertis en énergie.

## DÉMONSTRATION

## II La réception de l'énergie solaire sur Terre

L'essentiel de l'énergie sur Terre lui provient des rayonnements émis par le Soleil. Leur puissance varie en fonction de paramètres de temps et d'espace.

### A La puissance solaire

La Terre reçoit une partie du rayonnement émis par le Soleil. C'est l'essentiel de son énergie.

**DÉFINITION** Puissance solaire (ou radiative)

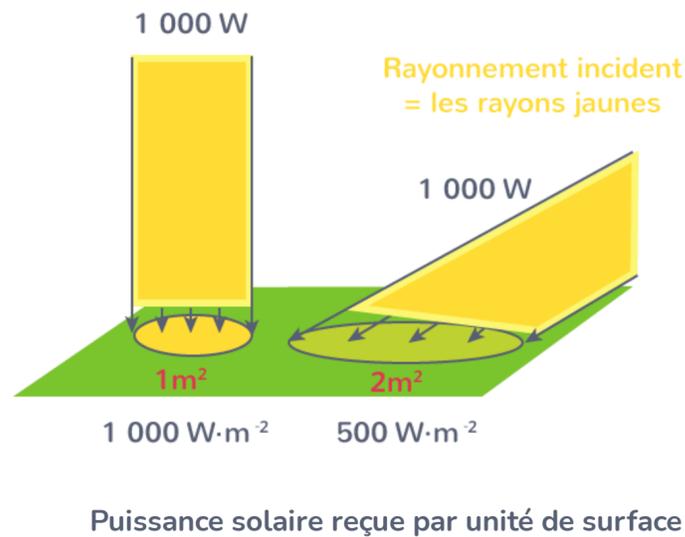
**La puissance solaire (ou radiative)** sur Terre est l'énergie du rayonnement solaire qui est reçue sur une surface chaque seconde. Elle s'exprime en watts par mètre carré ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

**PROPRIÉTÉ**

La puissance solaire reçue sur Terre par unité de surface est inversement proportionnelle à l'aire de la surface éclairée.

**EXEMPLE**

Si la surface qui reçoit le rayonnement solaire est doublée, la puissance solaire reçue sur un mètre carré est divisée par deux.

**DÉFINITION** Puissance solaire (ou radiative) par unité de surface

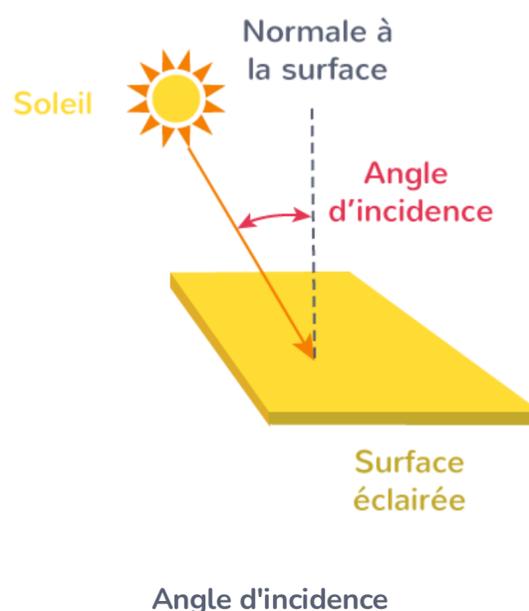
La **puissance solaire (ou radiative) par unité de surface** est l'énergie du rayonnement solaire qui est reçue sur une surface de  $1 \text{ m}^2$  chaque seconde. Elle s'exprime en watts par mètre carré ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

**EXEMPLE**

La puissance solaire maximale à la surface de la Terre est d'environ  $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  pour une surface perpendiculaire aux rayons.

**PROPRIÉTÉ**

La puissance solaire par unité de surface reçue sur Terre dépend de l'angle d'incidence, entre la droite normale à la surface et la direction du Soleil : plus l'angle d'incidence est faible, plus la surface qui reçoit le rayonnement solaire est faible et plus la puissance solaire reçue est importante.



La puissance solaire par unité de surface est maximale lorsque l'angle d'incidence est nul, car elle est concentrée sur une surface minimale.

**REMARQUE**

## B La variabilité de la répartition de l'énergie solaire

Le rayonnement solaire reçu par la Terre varie en fonction de plusieurs paramètres.

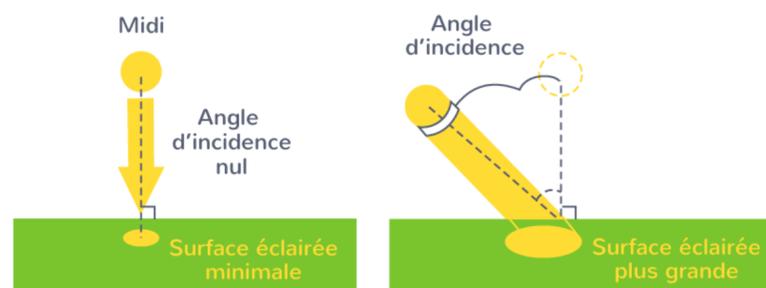
**PROPRIÉTÉ**

La puissance solaire reçue par unité de surface dépend :

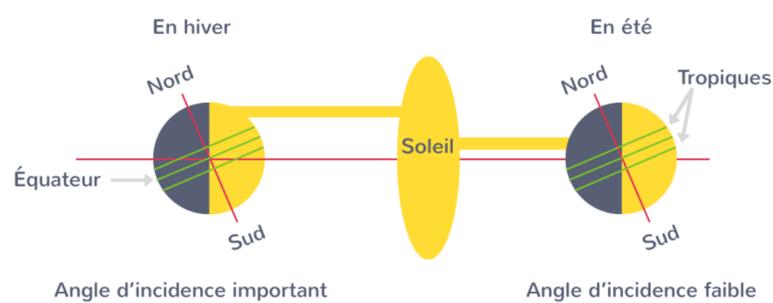
- **de l'heure** (variation diurne), car la position du Soleil varie dans le ciel ;
- **du moment de l'année** (variation saisonnière) : l'axe de révolution de la Terre sur elle-même étant incliné par rapport au plan dans laquelle elle tourne autour du Soleil (plan de l'écliptique), les hémisphères n'ont pas la même inclinaison vers le Soleil au même moment de l'année ;
- **de la latitude** (zonation climatique) : la surface qui reçoit le rayonnement augmente avec la latitude.

**EXEMPLE**

La puissance solaire reçue par unité de surface est plus importante à midi (12 h 00 heure solaire) qu'à un autre moment de la journée.



Variation de la surface avec l'angle d'incidence

**EXEMPLE**

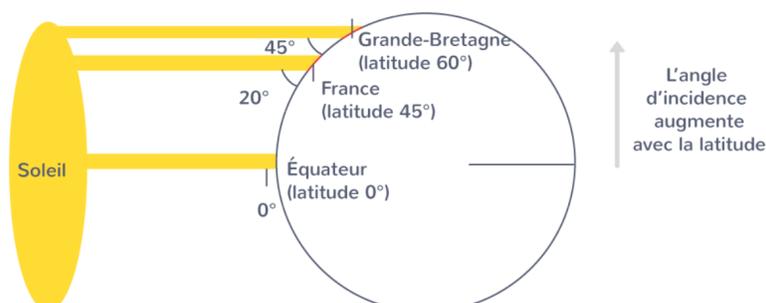
Variation de la surface recevant le rayonnement solaire en fonction en hiver et en été

Quand un hémisphère est incliné vers le Soleil, le Soleil est plus haut dans le ciel et le rayonnement solaire est concentré sur une plus faible surface : il fait donc plus chaud, c'est l'été.

Quand un hémisphère est incliné dans la direction opposée du Soleil, le Soleil est plus bas dans le ciel, les rayons du Soleil sont plus étalés et moins concentrés, il fait donc moins chaud : c'est l'hiver.

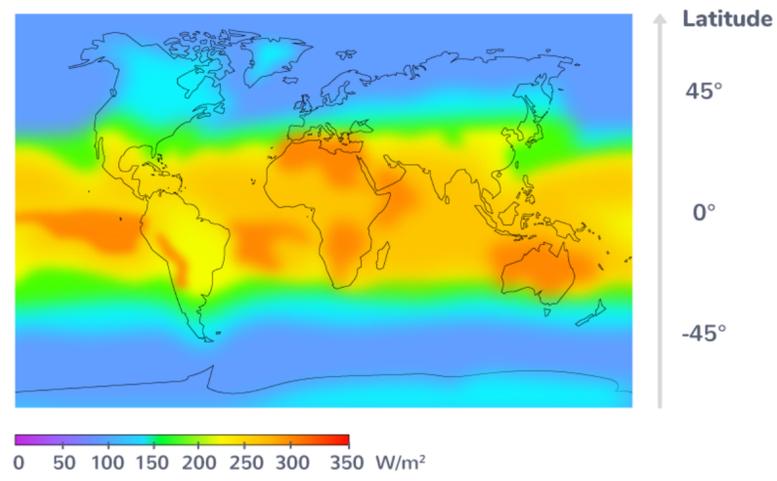
**EXEMPLE**

La surface qui reçoit le rayonnement est minimale à l'équateur et augmente avec la latitude. La puissance solaire reçue par unités de surface diminue donc avec la latitude, elle est maximale à l'équateur.



Variation de la surface recevant le rayonnement solaire en fonction de la latitude

La variation de la puissance solaire reçue en fonction de la latitude est à l'origine des différences de climat observées à la surface de la Terre.



Moyenne de la puissance solaire reçue en fonction de la latitude