

ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

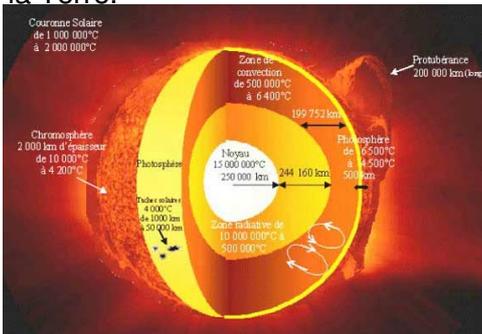
THEME 2 : Le Soleil, notre source d'énergie

2.1. Le rayonnement solaire

Le soleil transmet à la Terre de l'énergie par rayonnement.

Les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles permettent :

- De les maintenir à une température très élevée.
- De convertir la masse solaire en énergie (équivalence masse-énergie de la relation d'Einstein $\Delta E = \Delta m \times c^2$).
- D'émettre comme tous les corps matériels des ondes électromagnétiques qui parviennent jusqu'à la Terre.



Détermination de la masse solaire transformée chaque seconde en énergie.

La puissance rayonnée par le Soleil est de 4×10^{26} Watts soit 4×10^{26} joules en 1 seconde.

Connaissant la relation masse-énergie :

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

on connaît la perte de masse du soleil par seconde :

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{4,0 \times 10^{26}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} = 4,4 \text{ millions de tonnes}$$

Cette énergie migre lentement, par rayonnement et par convection, vers la surface solaire et est émise dans l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique (rayonnement solaire) et de flux de particules (vent solaire).

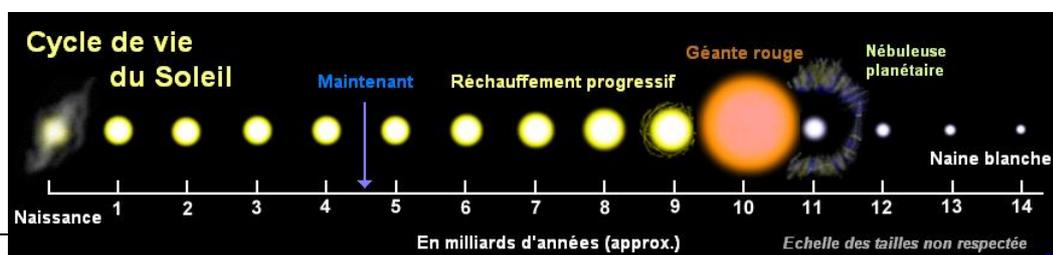
Le Soleil est dans sa *phase linéaire*, durant laquelle le Soleil épuise petit à petit ses réserves d'hydrogène, sa luminosité augmentant d'environ 7 % par milliard d'années.

A l'âge de 10,5 milliards d'années, le Soleil aura converti tout l'hydrogène de son cœur en hélium et se dilatera pendant 1 milliard d'années pour se transformer en géante rouge

À la fin de sa phase de géante rouge, les réactions de fusion de l'hélium produiront du carbone et de l'oxygène : ce sera le flash de l'hélium.

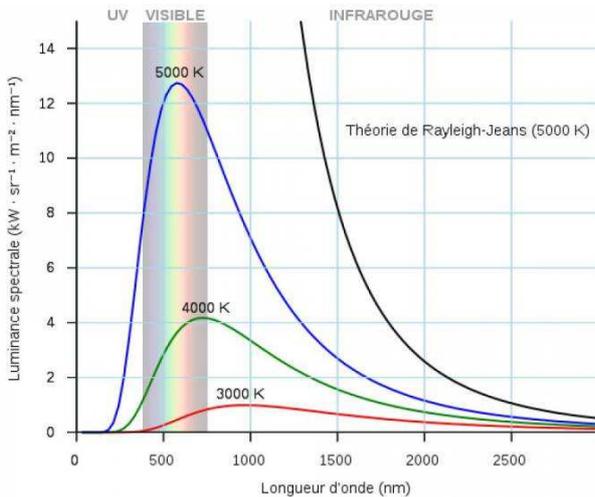
La matière sera répandue dans l'espace et donnera naissance à une nébuleuse planétaire. La nébuleuse planétaire sera un nuage de gaz très chaud (plus de 10 000 K) et servira de berceau à de nouvelles étoiles.

Le cœur de carbone va s'effondrer sur lui-même et former une naine blanche, d'une taille comparable à celle de la Terre. En se refroidissant, elle terminera sa vie en naine noire, un cadavre céleste si froid qu'il n'émet plus aucune lumière.



Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de *corps noir*) dépend seulement de la température de surface de l'étoile.

La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface de l'étoile (loi de Wien) : **plus la température du corps est élevée, plus sa couleur se décale vers le bleu.**



Loi de Wien en chiffre (donnée):

$$\lambda_{max} \times T = 2,898.10^{-3}$$

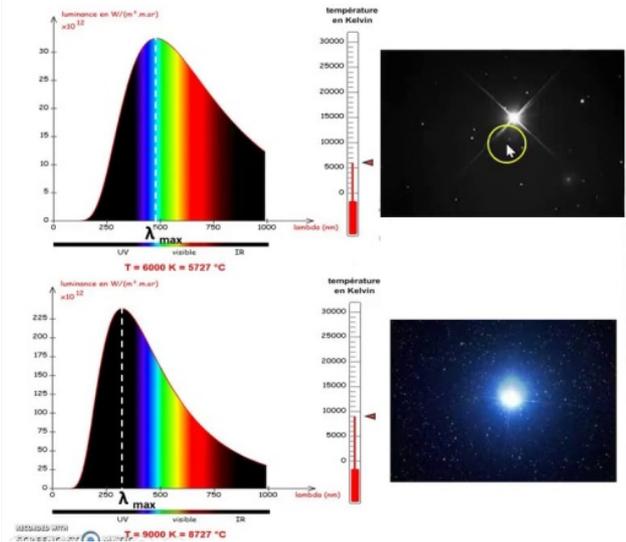
λ_{max} : longueur d'onde d'émission maximale en mètre

T : température du corps en Kelvin

$$T (K) = 273,15 + \theta (°C)$$

Détermination de la température de surface d'une étoile à partir de son spectre d'émission.

À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir, on lit la longueur d'onde d'émission maximale. En utilisant la loi de Wien on en déduit sa température.



Etoile 1

$\lambda_{max} = 480 \text{ nm}$ on trouve la température de surface de l'étoile 1 :

$$T = \frac{2,898.10^{-3}}{\lambda} = \frac{2,898.10^{-3}}{480.10^{-9}} = 6\,000\text{K}$$

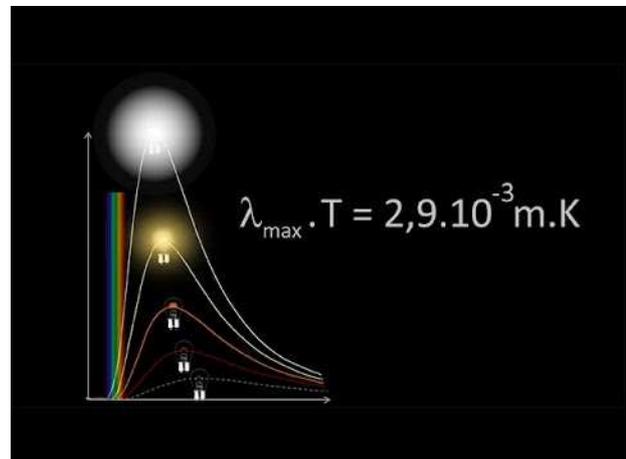
Etoile 2

$\lambda_{max} = 300 \text{ nm}$ on trouve la température de surface de l'étoile 2 :

$$T = \frac{2,898.10^{-3}}{\lambda} = \frac{2,898.10^{-3}}{300.10^{-9}} = 9\,700\text{K}$$

La couleur d'une étoile permet de déterminer la température de surface de celle-ci.

On connaît ainsi l'avancement des réactions de fusion en son cœur : l'âge de l'étoile est ainsi connue.



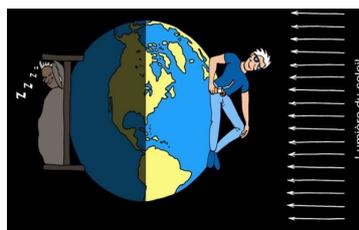
La puissance radiative reçue sur Terre.

Elle est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil. La Terre reçoit un rayonnement d'une puissance moyenne de **1361 W/m²**.

C'est la puissance reçue par une unité de surface qui serait perpendiculaire aux rayonnements juste au-dessus de l'atmosphère terrestre. Cette puissance est aussi appelée constante solaire.

La puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend :

- de l'heure (variation diurne)

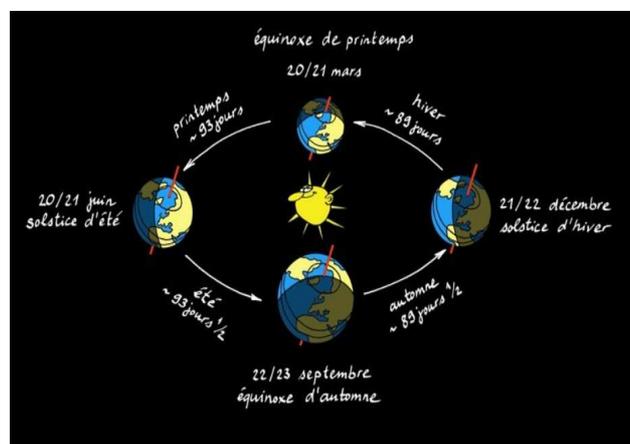
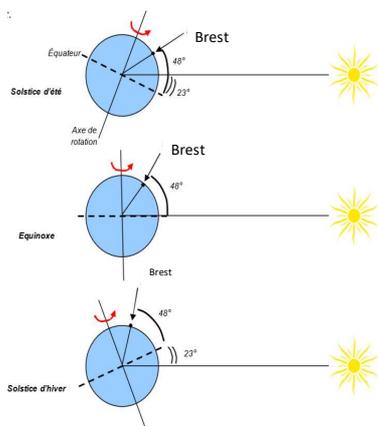


- du moment de l'année (variation saisonnière)

L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. L'inclinaison du plan équatorial terrestre sur le plan de l'écliptique est égal à 23,5°.

La puissance radiative reçue en un point de la surface de la Terre dépend donc de la saison.

En été Brest est plus proche de la direction du Soleil et reçoit donc plus de puissance radiative.



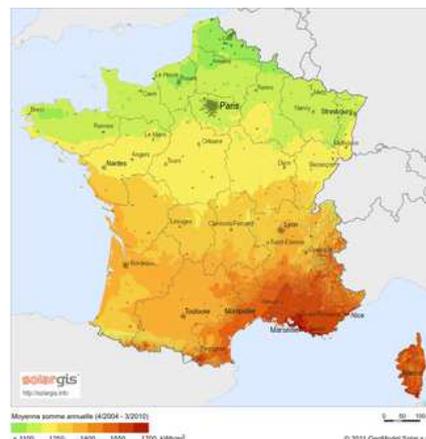
- de la latitude (zonation climatique).

Du nord au sud de la France, la latitude qui détermine l'angle sous lequel le soleil va éclairer le sol, varie entre 50° à Lille et 42° à Perpignan, ce qui à l'échelle de la terre est peu (8° de latitude de variation).

En revanche, le nombre d'heures d'ensoleillement est très inégalement réparti : les régions du sud sont les plus favorisées, avec un maximum d'ensoleillement sur la Côte d'Azur.

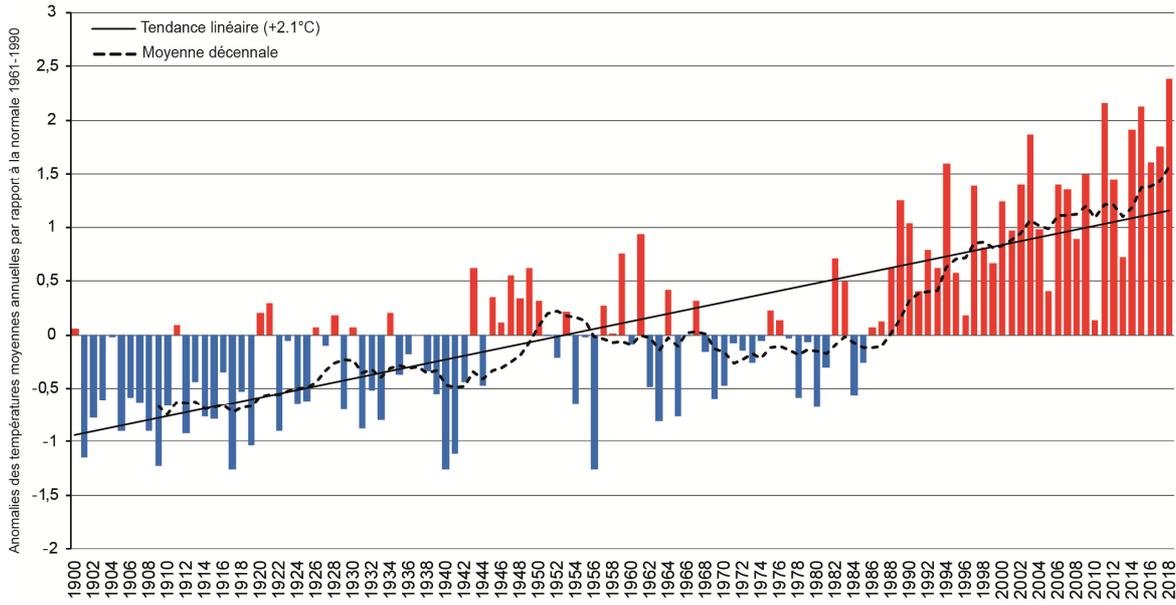
Il faut donc bien distinguer l'énergie maximale disponible (à midi en plein été) et l'énergie moyenne obtenue en une journée.

Par exemple, la Bretagne reçoit une énergie maximale d'environ 850 kWh alors que la Provence en reçoit 1 300 kWh.



Distributions temporelles de températures

EVOLUTION DES TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES ENTRE 1900 ET 2018 DANS LES ALPES FRANÇAISES



Configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface de panneaux solaires est maximale ou minimale.

En pratique, l'orientation d'un capteur solaire fixe est choisie de manière à favoriser la production énergétique du mois le moins ensoleillé de la période envisagée d'exploitation, face au sud dans l'hémisphère nord.

En conséquence, pour des latitudes entre 40 et 50°, on convient d'incliner les capteurs solaires d'un angle α égal à celui de la latitude du lieu, augmenté de 15°, et ce, par rapport à l'horizontale.

On obtient la disposition représentée à droite :

Pour la latitude 48°, il vient $\alpha \approx 63^\circ$; dans ces conditions, la hauteur optimale θ du soleil est de l'ordre de 27°, ce qui est atteint, à midi, et pour cette latitude, début février et début novembre.

Il est à noter qu'un écart de quelques degrés par rapport à cette situation affecte peu l'efficacité moyenne de la captation d'énergie sur une année.

