

# SOURCES D'ÉNERGIES PRIMAIRES RENOUVELABLES

## Définition d'une énergie renouvelable

---

Energie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elle soit considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Aujourd'hui, elles sont sous-exploitées par rapport à leur potentiel. Elles couvrent seulement 20 % de la consommation mondiale d'électricité.

C'est une énergie qui permet un développement durable.

# Quelles sources d'Énergie Renouvelables ?

Les 5 familles des énergies renouvelables basées sur la théorie des 4 éléments : eau, air, feu , terre



# Quelle source d'Energie et quelle forme d'Energie?

## Soleil

- Thermique
- Photovoltaïque

## Vent

- Eolien Mécanique
- Eolien Aérogénérateur

## Eau

- Hydraulique des marrées
- Hydraulique des barrages

## Vivant

- Biocarburant (biocarburant) : éthanol, biodiesel, ...
- Biocombustible (solides) : déchets organiques, bois, rafles de maïs, paille, ...

## Terre

- Géothermie basse et moyenne
- Géothermie profonde

# ENERGIE SOLAIRE

## Quelques caractéristiques

Diamètre : environ 1,4 millions de kilomètres

Distance : 150 millions de km de la terre

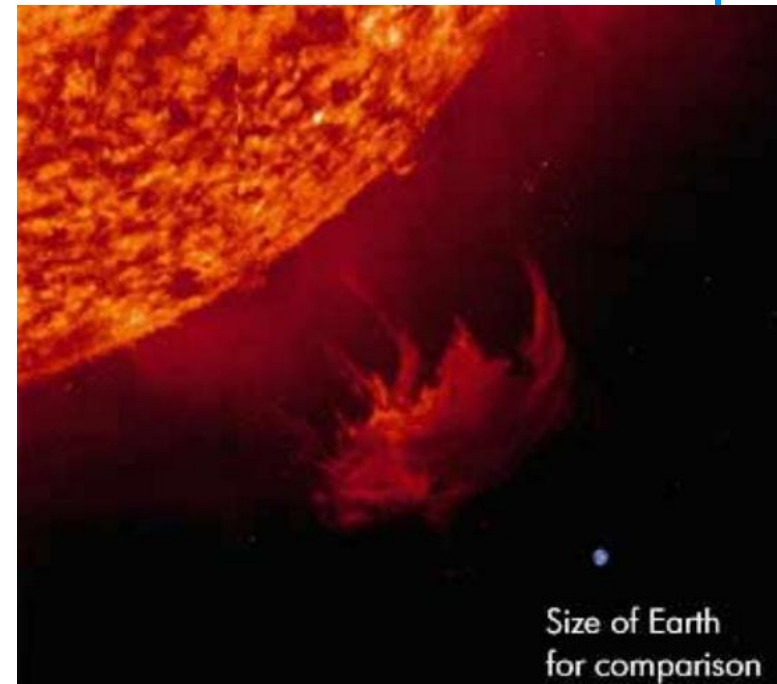
Masse :  $1,989 \cdot 10^{30}$  kg

Age : 4,5 milliards d'années

T° de surface : 5780 K se rapproche du corps noir  
(photosphère)

T° interne : 15 à 20 millions K

Pression au cœur : 200 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre

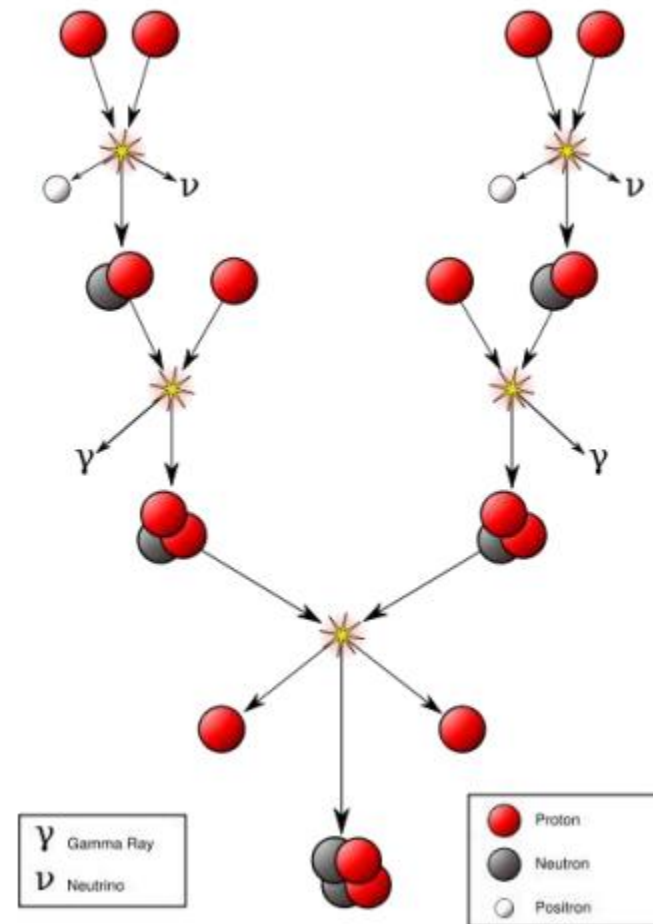
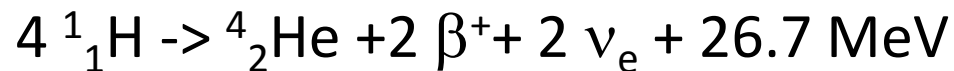


# ENERGIE SOLAIRE

## Origine de l'énergie solaire

Le soleil est une sphère gazeuse d'Hydrogène et d'Hélium.

L'énergie émise par le soleil provient de la fusion d'hydrogène en Hélium :



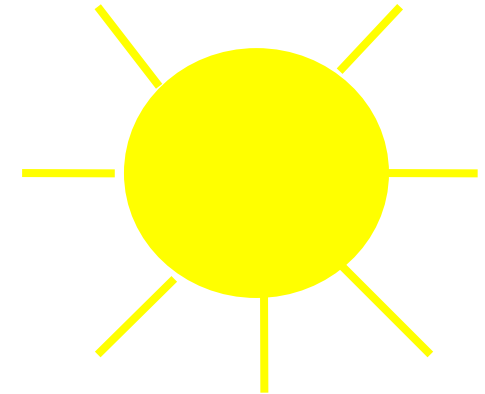
# ENERGIE SOLAIRE

## Flux énergétique ou flux radiatif $F$ (en $J/s = W$ )

C'est la quantité d'énergie émise par unité de temps par la totalité de la surface de la source dans toutes les directions. S'exprime en joule/seconde (en watts) : le flux énergétique est la puissance rayonnée par la source.

Exemple :

une ampoule à incandescence a un flux  $F = 60 W$



$$M = \frac{dF}{dS}$$

## Emittance énergétique $M$ ou Exitance (en $W/m^2$ )

C'est le flux émis par unité de surface de la source.

Exemple :

Surface d'une sphère :  $S = 4\pi r^2 \rightarrow M = \frac{F}{4\pi r^2}$

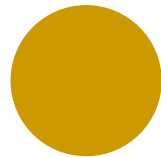
Ampoule 60 W, sphérique, de rayon  $r = 3 \text{ cm} \rightarrow M = 5.3 \text{ kW} / m^2$

# ENERGIE SOLAIRE

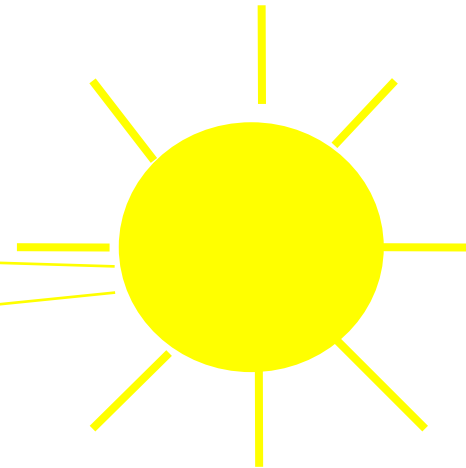
## Eclairement énergétique : E (ou Irradiance)

L'éclairement énergétique E est la quantité de puissance (rayonnée par la source) et reçue par unité de surface d'un récepteur.

$$E = \frac{dF}{dS}$$



Récepteur d'éclairement  
E (W/m<sup>2</sup>)



Source de Flux énergétique  
F(W) et d'émittance M(W/m<sup>2</sup>)



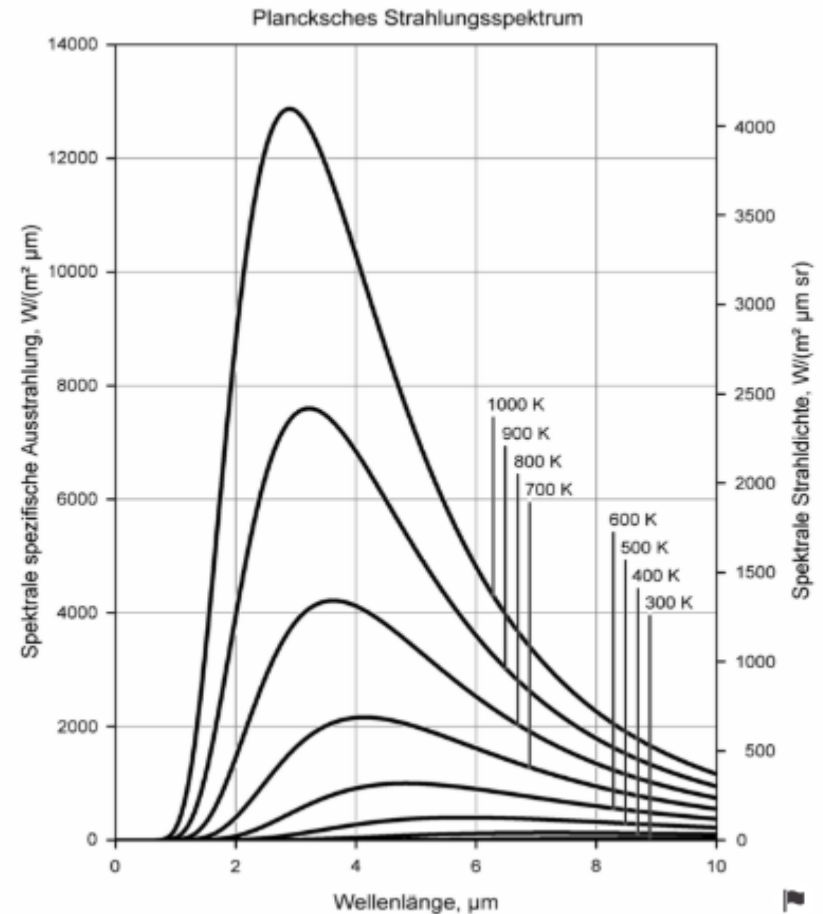
# ENERGIE SOLAIRE

## Corps noir

Gustav Kirchhoff, en 1862, constate que les objets chauffés émettaient tous la même lumière, quelque soit leur matière, s'ils sont portés à la même  $T^\circ$ .

Il en déduit que l'émission de lumière par la matière doit posséder un caractère universel, ne dépendant que de la  $T^\circ$ .

La théorie du corps noir est née.



Source : [wikiwand](#)

# ENERGIE SOLAIRE

---

## Corps noir

### Définition

C'est un corps qui absorbe toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ni en diffuser ni en transmettre.

### Mais où part toute l'énergie qu'il absorbe?

Un "corps noir" reçoit de l'énergie, s'il n'en émettait pas, sa température augmenterait indéfiniment. Il réémet donc l'énergie qu'il a absorbée sous forme de rayonnements électromagnétiques.

### Mais d'où vient ce rayonnement électromagnétique ?

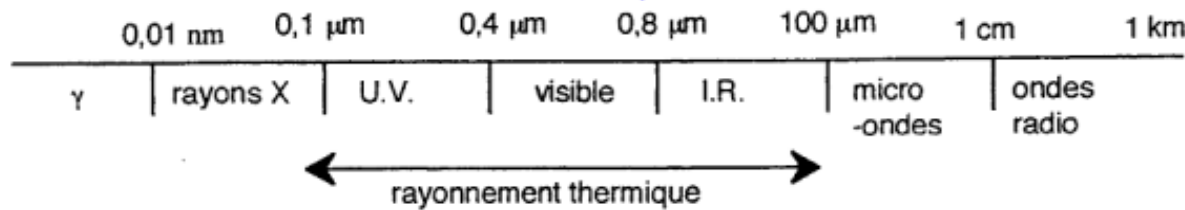
Les atomes ou molécules comportent des particules chargées qui rayonnent lorsqu'elles sont accélérées par agitation thermique. Ce rayonnement est dû à l'agitation, désordonnée, des particules constituant le corps.

À l'équilibre thermique, l'émission et l'absorption s'équilibrent et le rayonnement émis ne dépend que de la température. C'est le rayonnement thermique :

$$0.1 \mu\text{m} < \lambda < 100 \mu\text{m}$$

# ENERGIE SOLAIRE

## Corps noir



Tout corps éclairé par ce rayonnement s'échauffe d'où le nom thermique

Rappel : OEM = Energie

L'énergie transportée par une onde électromagnétique de longueur d'onde  $\lambda$  est :

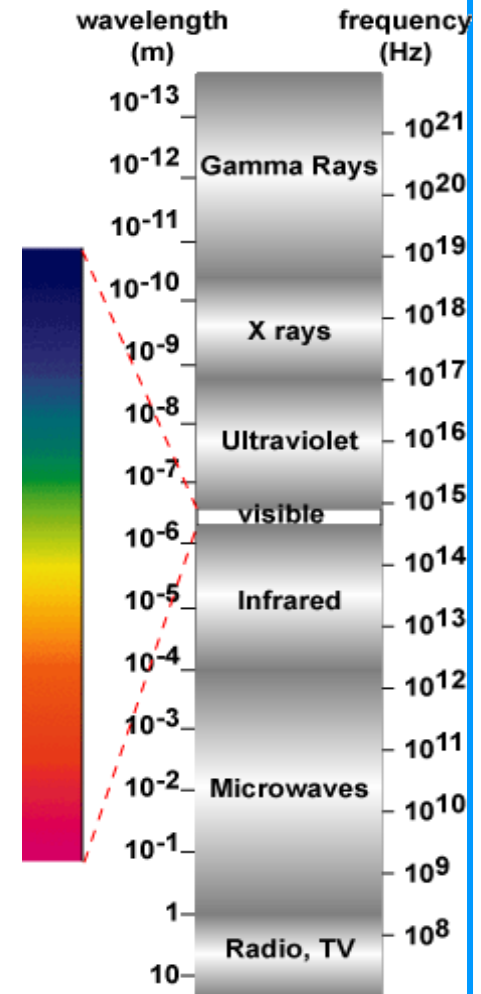
$$E(eV) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda(\mu m)}$$

où  $h$  constante de Planck,  $c$  vitesse de la lumière.

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{s}$$

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m / s}$$

$$1 \text{ eV} = q \times 1 \text{ V} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$



# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement du corps noir

### La réalité

L'irradiance spectrale  $I(\lambda) = \frac{dM}{d\lambda}$   
à une température  $T$ , a la même  
allure quelque soit le corps

Quand la  $T^\circ$  diminue, le pic de  
radiation se déplace vers les  
faibles intensités et les grandes  
longueurs d'ondes.

### Physique classique

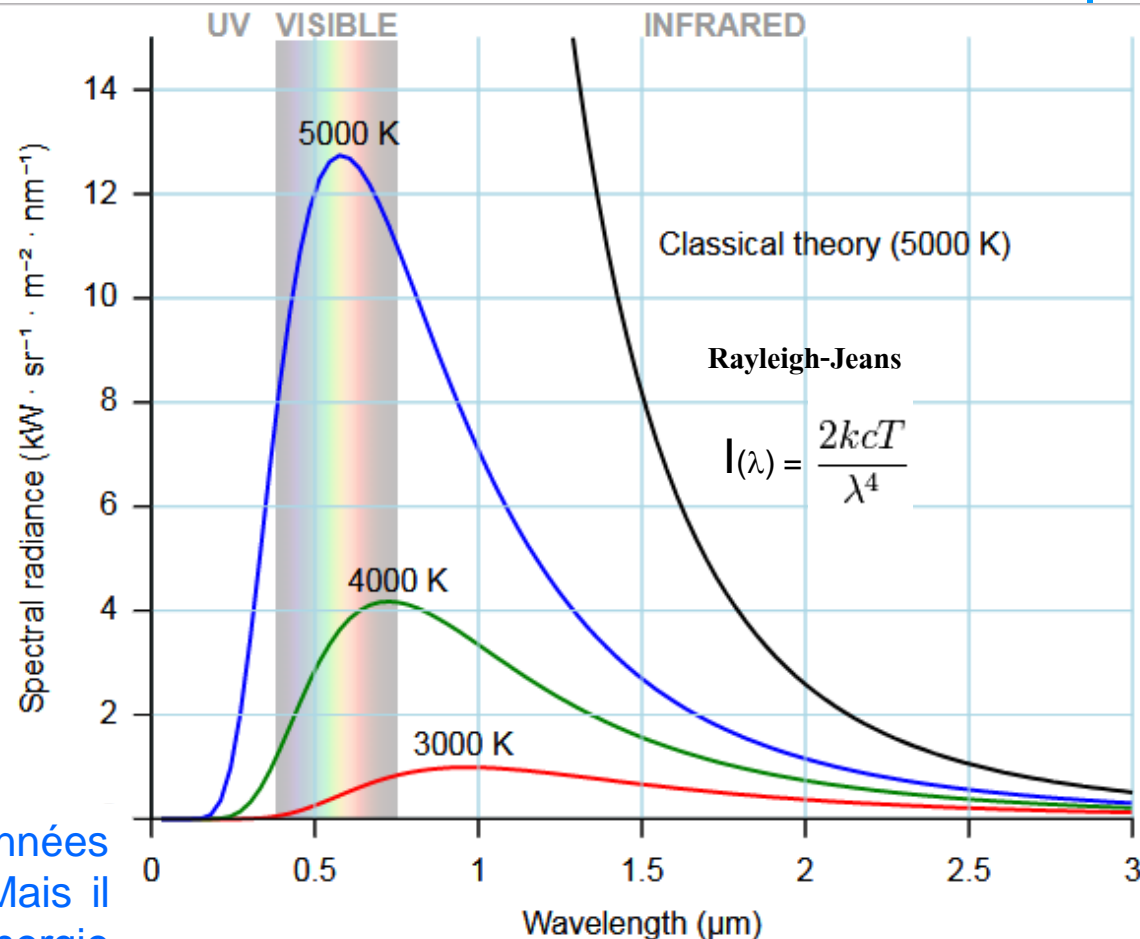
Rayleigh-Jeans

Prédiction du modèle classique  
→ Courbe noire

$$I(\lambda) = \frac{2kcT}{\lambda^4}$$

Modèle classique s'accorde aux données  
expérimentales pour les IR lointains. Mais il  
prédit qu'aux hautes fréquences, l'énergie  
rayonnée tend vers l'infini!!! (catastrophe UV)

Exemples de spectres de corps noir.



Source : wikipedia

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement du corps noir

### Loi de Planck

En 1900, Max Planck établit sa formule qui fixe la contribution de chaque longueur d'onde  $\lambda$  dans l'émission du corps noir. Cette contribution est appelée irradiance spectrale ou émittance spectrale. Elle est exprimée en  $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ .

Elle donne l'expression de la puissance émise par unité de surface et par unité de longueur d'onde,

$$I(\lambda) = \frac{dM}{d\lambda}$$

$$I(\lambda) = \frac{2h c^2}{hc \lambda^5 (e^{\frac{K\lambda T}{hc}} - 1)}$$

$\lambda$  : longueur d'onde

$h$  : constante de Planck

$c$  : vitesse de la lumière

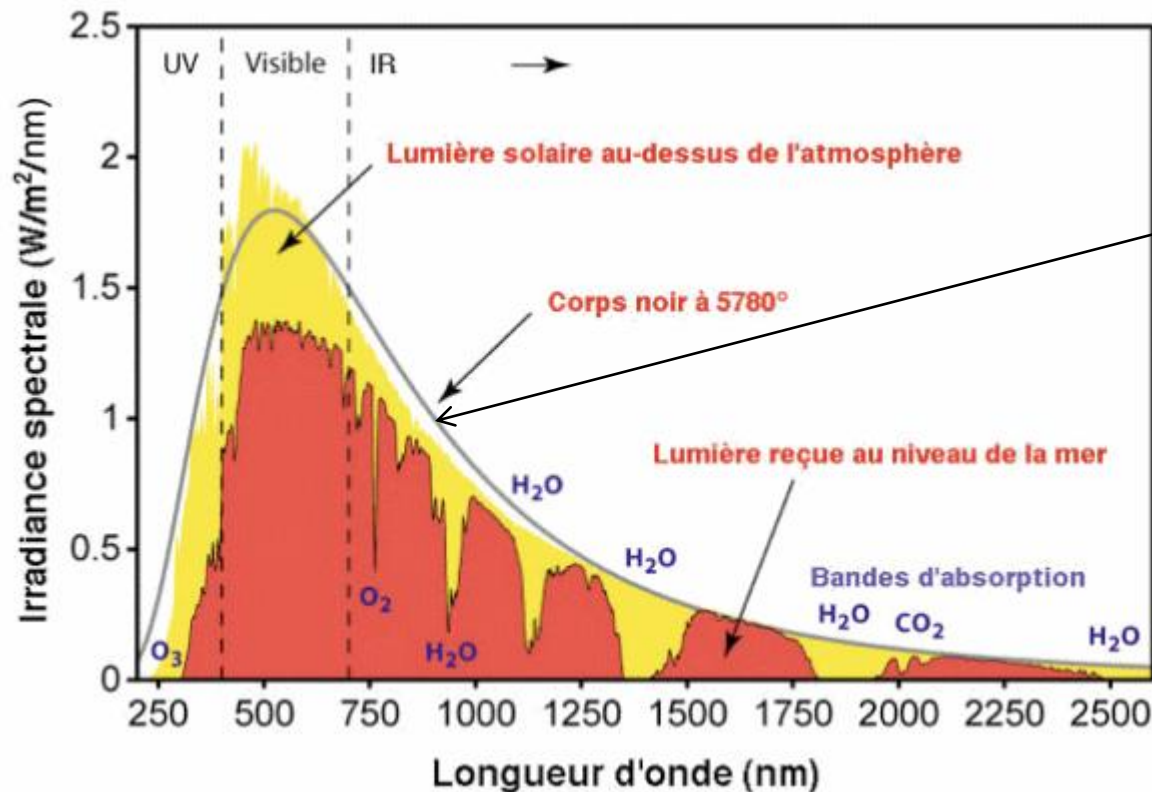
$k$  : constante de Boltzmann

Pour établir cette formule, Planck introduisit pour la première fois la quantification de l'énergie;  $E = h\nu$ . La physique quantique est née !

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

Le rayonnement du soleil est un exemple de rayonnement thermique dont le spectre correspond à celui d'un corps noir à 5780°C.

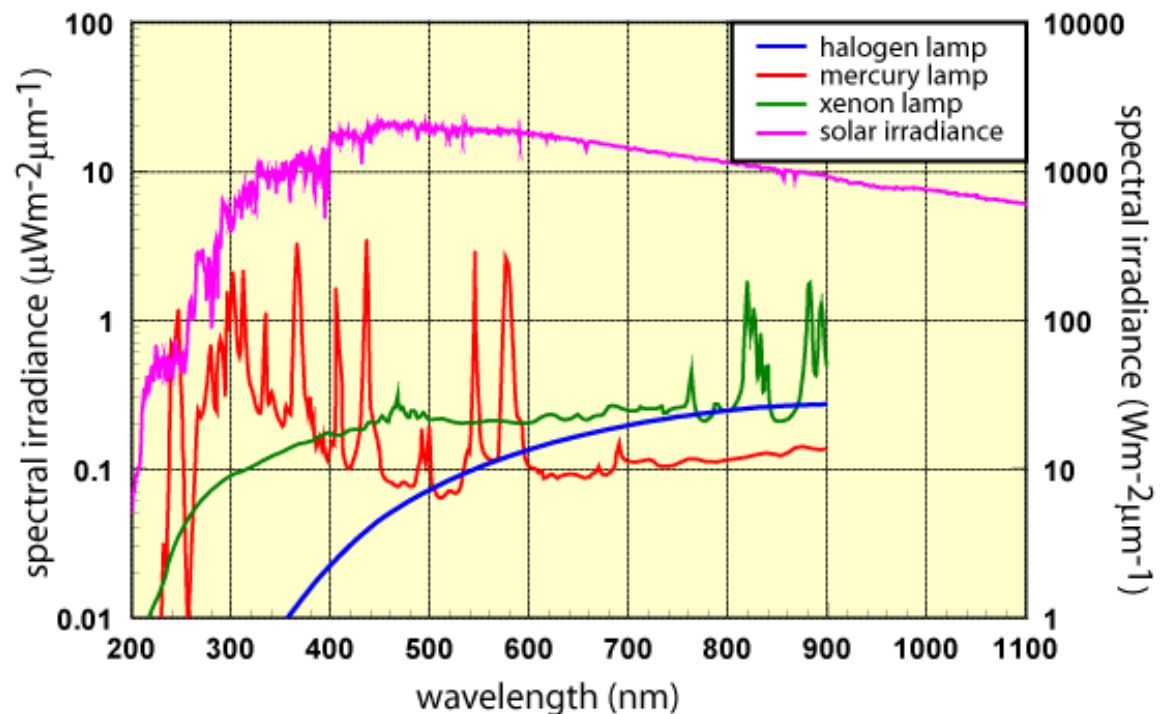


Courbe d'un corps noir ayant la  $T^\circ$  effective de la photosphère à 5780°C.

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

La lampe Xenon avec une diminution de l'IR est souvent utilisée pour simuler le spectre solaire (avec un filtre IR).



# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

L'émittance énergétique émis par le soleil peut être calculée par l'intégration de l'irradiance spectrale sur toutes les longueurs d'onde :

$$M = \int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda$$

$$M = \sigma T^4$$

M : Emittance, puissance totale émise par le soleil en  $\text{Wm}^{-2}$

I : irradiance spectrale en  $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$

$\lambda$  : longueur d'onde

C'est la loi de Stefan-Boltzmann

où  $\sigma$  est la constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

T est la température du soleil en kelvin

### Exercice

Retrouvez la loi de Stefan-Boltzmann sachant que :  $\int_0^{\infty} \frac{u^3}{(e^u - 1)} du = \pi^4/15$



# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

Pour déterminer la  $T^\circ$  de surface d'une étoile à partir de son profil spectral, il faut appliquer la loi de Wien :

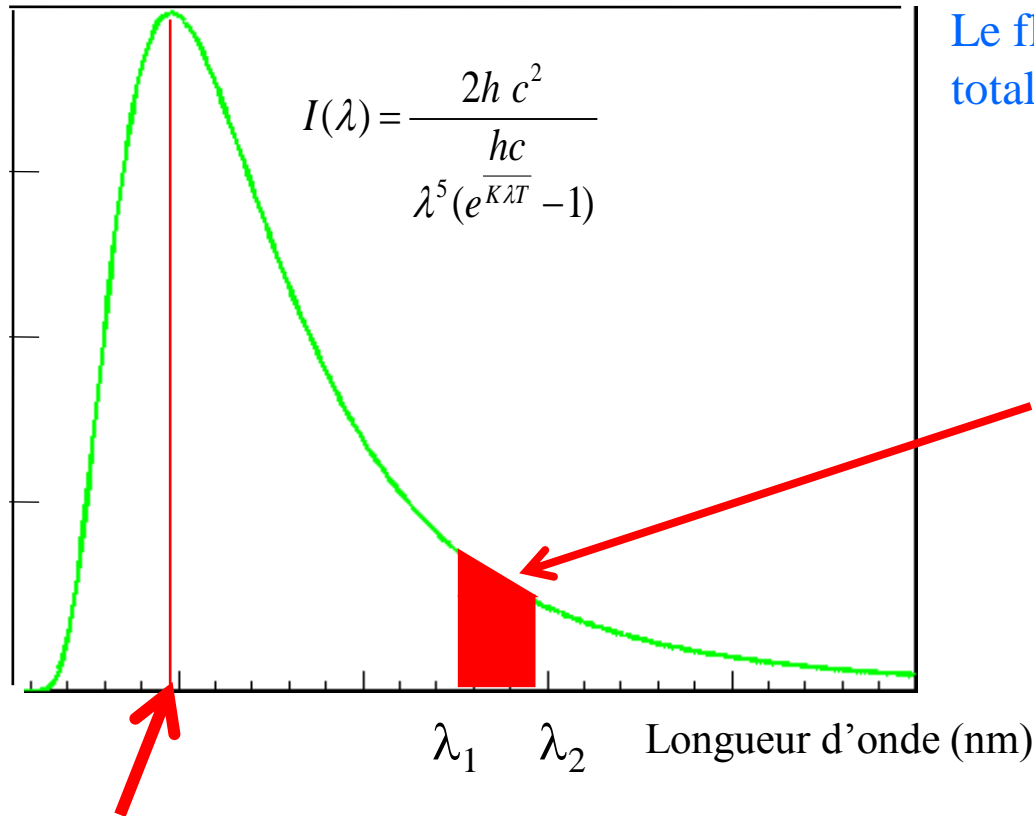
$$\lambda_{\max} (\mu m) = \frac{2898}{T(K)}$$

L'émission du rayonnement thermique par un corps noir est gouvernée par sa température.

Celle du rayonnement solaire à  $5780^\circ\text{C}$  est de 0,2 à 3  $\mu\text{m}$  avec un maximum de 0.5  $\mu\text{m}$ .

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère



Le flux énergétique  $F$  est la puissance totale émise par toute la surface du soleil

$$F = SM = S\sigma T^4$$

La puissance émise entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  est

$$\Delta M = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) d\lambda$$

$$\lambda_{\text{max}} (\text{um}) = \frac{2898}{T(K)}$$

# ENERGIE SOLAIRE

---

## Rayonnement solaire hors atmosphère

### Exercice

Le pic du rayonnement solaire est situé à 500 nm environ.

1. Déterminez la température de surface de notre Soleil.
2. En déduire la densité de puissance  $M$  (Emittance) émise par le soleil en  $W/m^2$ .
3. En déduire la densité de puissance  $E$  au sommet de l'atmosphère terrestre.  $E$  c'est l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires, située à la limite de l'atmosphère.
4. En déduire l'éclairement moyen reçu par une unité de surface de la terre en  $W/m^2$ .

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

### Exercice

Le pic du rayonnement solaire est situé à 500 nm environ.

1. La température de surface de notre Soleil est donnée par la Loi de Wein :

$$\lambda_{\max} (\mu m) = \frac{2898}{T(K)} \longrightarrow T = 5796 \text{ K}$$

2. La densité de puissance  $M$  (Emittance) émise par le soleil en  $\text{W/m}^2$  est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann :

$$M = \sigma T^4 \longrightarrow M = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 5796^4 \\ = 6.4 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$$

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire hors atmosphère

3. L'éclairement énergétique, densité de puissance au sommet de l'atmosphère terrestre.

L'émittance du soleil est :  $M = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$

La puissance totale émise par le soleil est  $F = S M = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$

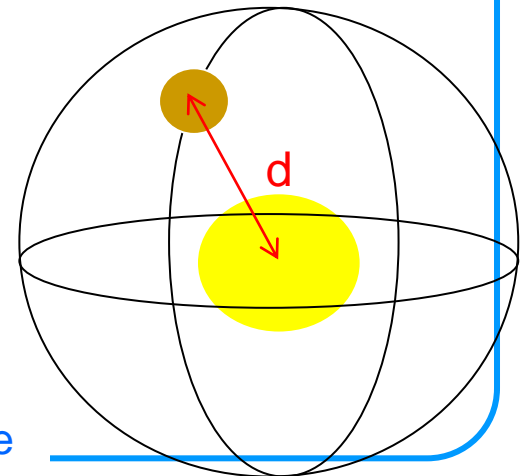
(avec  $S$  = Surface du soleil =  $4\pi R^2$ ,  $S = 6.16 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$ )

La terre se trouve à  $d \approx 150 \cdot 10^6 \text{ km}$  de la terre, elle n'intercepte qu'une part infime de cette puissance. La densité de puissance au sommet de l'atmosphère :

$$E = F/(4 \pi d^2)$$

$$E = 1368 \text{ W/m}^2$$

$E$  est la **constante solaire**. C'est l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires, située à la limite de l'atmosphère

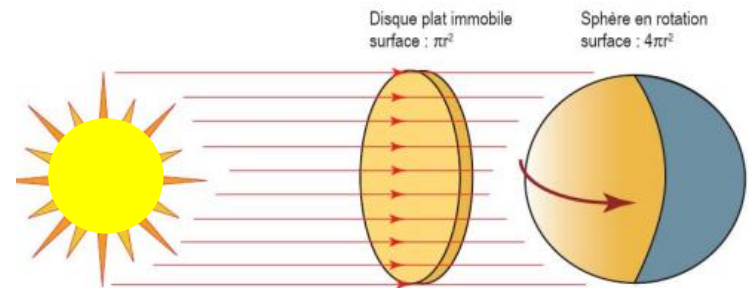


# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire

4. L'éclairement moyen reçu par une unité de surface de la terre en  $\text{W/m}^2$ .

La densité de puissance au sommet de l'atmosphère terrestre est  $E = 1368 \text{ W/m}^2$



$R_t$  est le rayon de la terre. La Surface de la terre est :  $4 \pi R_t^2$   
 La surface effective de la terre qui intercepte le soleil est :  $\pi R_t^2$

La quantité moyenne d'énergie reçue par la Terre est :  $w = \frac{\pi R_t^2 E}{4 \pi R_t^2} = \frac{1368}{4}$

$$w = 342 \text{ W/m}^2$$

# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire au niveau du sol

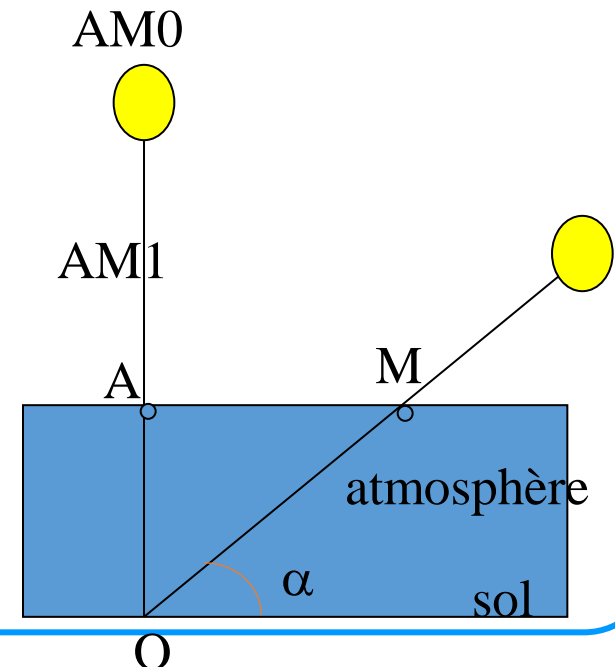
La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée.

Elle est caractérisée par le nombre de masse d'air AM

La masse d'air quantifie la réduction de la puissance de la lumière. Elle est définie comme :

$$AMm^* : m^* = 1/\sin\alpha$$

où  $\alpha$  est l'angle par rapport à l'horizontal.



# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire au niveau du sol

- **AM0** : masse d'air " 0" → rayonnement au zénith (à midi) en dehors de l'atmosphère  
 $E = 1368 \text{ W/m}^2$
- **AM1** : masse d'air "1" → rayonnement au niveau de la mer au zénith dans un ciel clair.  
 $E = 1000 \text{ W/m}^2$
- **AM1,5** : masse d'air "1,5" → rayonnement à  $42^\circ$  par rapport au sol  
 $E = 827 \text{ W/m}^2$

Conditions standards de test (STC) :

Niveau d'éclairement :  $1000 \text{ W/m}^2$

Température :  $25^\circ\text{C}$

Coefficient Air Masse = 1.5

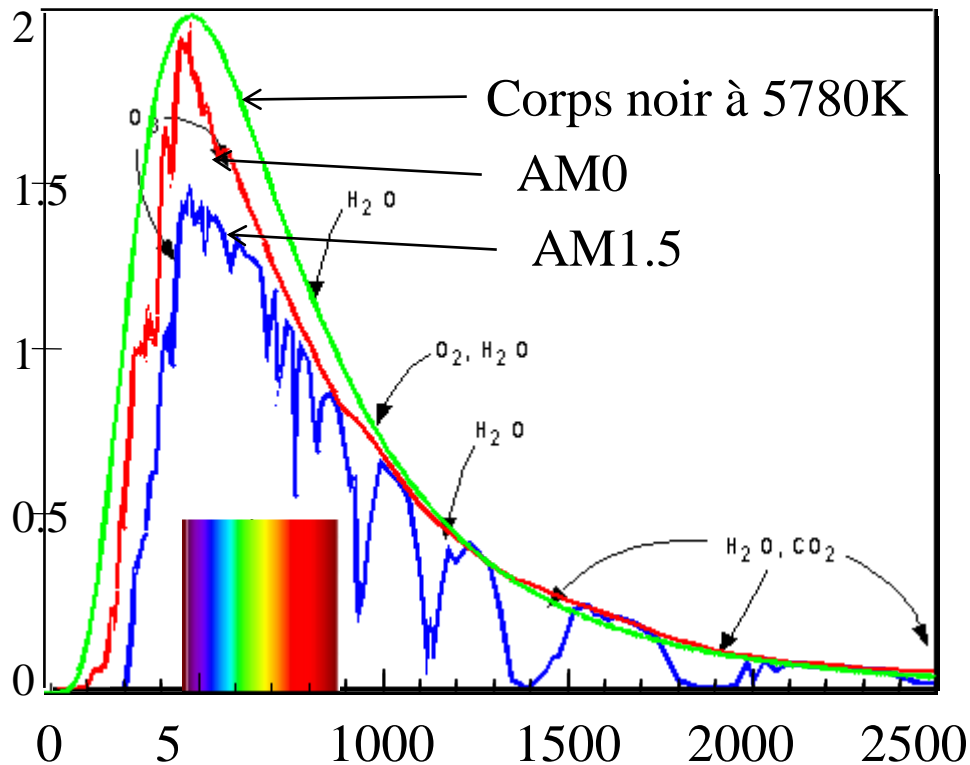


# ENERGIE SOLAIRE

## Rayonnement solaire au niveau du sol

C'est une énergie rayonnante composée de plusieurs longueurs d'ondes.

Spectre solaire  $\text{W/m}^2/\text{nm}$



- 9 % des ultraviolets ( $<0,4 \mu\text{m}$ )
- 47 % visible ( $0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$ )
- 44% des infrarouges ( $>0,8 \mu\text{m}$ )

Longueur d'onde (nm)

A suivre