

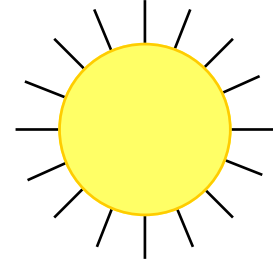
1- FLUX SOLAIRE EMIS

Paramètres des sources de rayonnement

- **Flux énergétique** : F [J/s = W]

(Ou Flux radiatif)

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, donc en watts : le flux énergétique est la puissance rayonnée par la source.



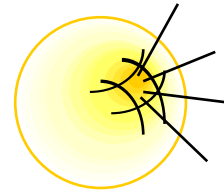
Exemple : une ampoule à incandescence de 60 W¹ .

- **Emittance énergétique** : Φ [W.m⁻²]

(ou Exitance).

Flux émis par unité de surface de la source.

(surface d'une sphère : $S = 4\pi r^2$) $\Rightarrow \Phi = \frac{F}{4\pi r^2}$.



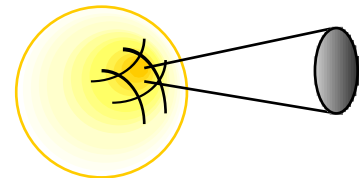
Exemple : ampoule 60 W, sphérique, de rayon $r = 3$ cm :

$$\Phi \approx 5,3 \text{ kW/m}^2$$

- **Luminance énergétique** : \mathcal{L} [W.m⁻².sr⁻¹]

(anglais "radiance")

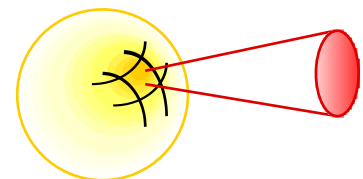
Emittance rapportée à l'angle solide d'émission



- **Luminance énergétique spectrale** : \mathcal{L}_λ [W.m⁻³.sr⁻¹]

(ou Luminance énergétique monochromatique)

Luminance énergétique rapportée à la longueur d'onde²



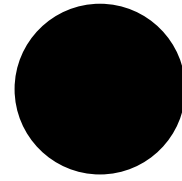
¹ Il s'agit de la puissance totale de l'ampoule à incandescence, aussi bien en lumière visible ($\approx 10\%$) qu'en infrarouge ($\approx 90\%$ de la puissance émise !).

² On définit aussi \mathcal{L}_ν luminance énergétique rapportée à la fréquence

Corps noir

- **Corps noir :**

Source physique idéalisée qui absorbe toutes les radiations qui l'atteignent.

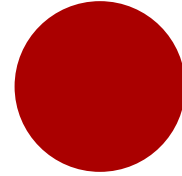


- **Loi de Stefan :**

Émittance énergétique d'un corps noir élevé à la température T [Kelvin] :

$$\Phi = \sigma \cdot T^4$$

avec : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ (constante de Stefan)



- **Loi du corps noir**

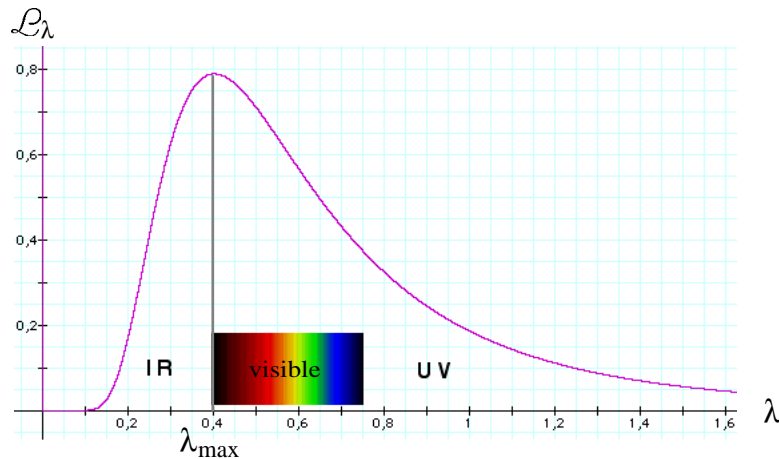
(ou loi de rayonnement de Planck)

donne \mathcal{L}_λ en fonction de la température T à laquelle est porté le corps noir et de la longueur d'onde λ du rayonnement émis :

$$\mathcal{L}_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad [\text{W.m}^{-2} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}] \quad \text{avec } \lambda \text{ [m]}$$

Avec h cte de Planck, k cte de Boltzmann, c vitesse de la lumière :

$$2hc^2 = 1,191 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{et} \quad \frac{hc}{k} = 1,434 \cdot 10^{-2} \text{ m.K}$$



- **Loi de Wien :**

En dérivant l'expression précédente par rapport à λ , on montre que la luminance est maximale pour :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ [m]}$$

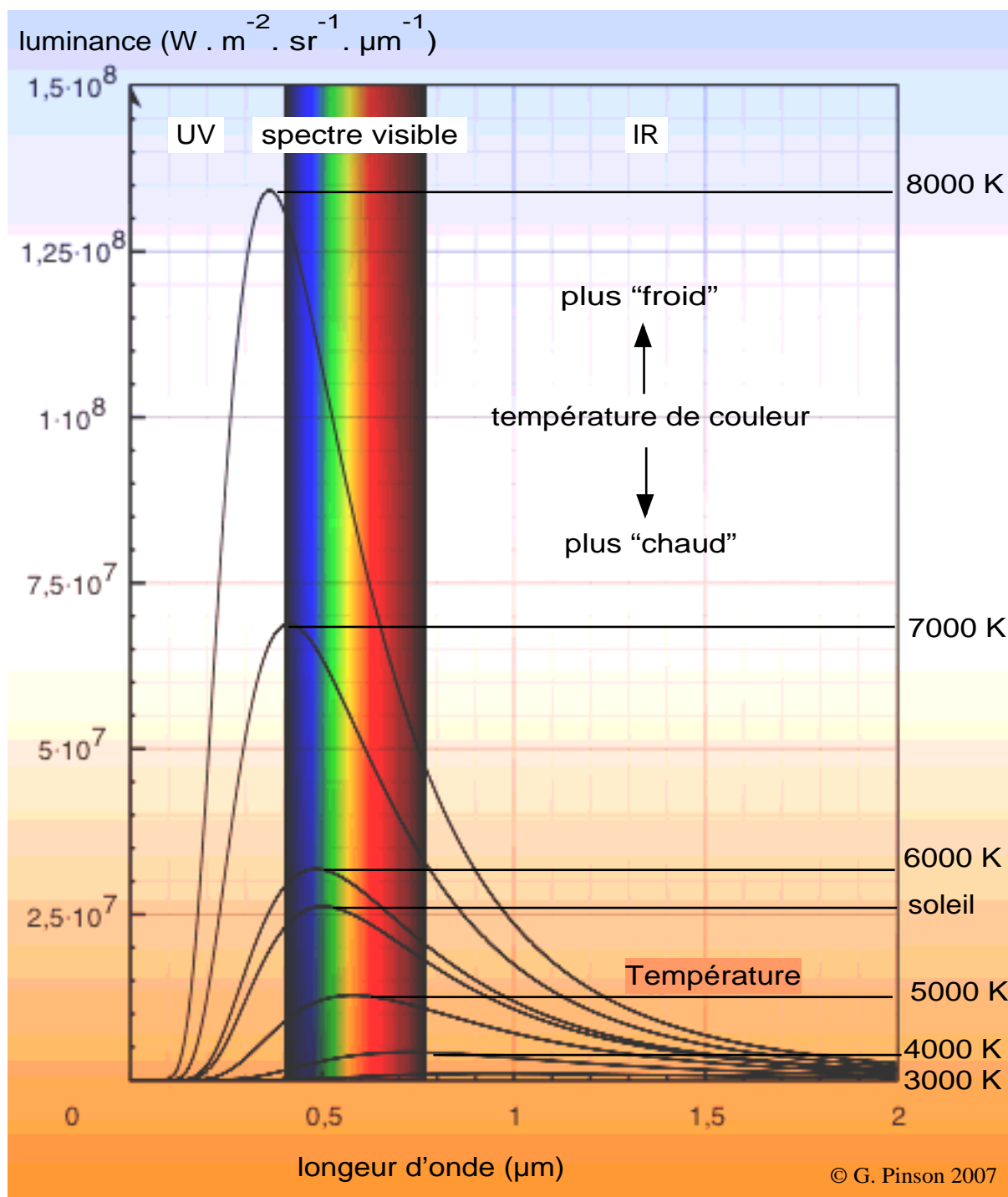
Exemples :

-fer en fusion ($T = 2000 \text{ K}$) : $\lambda_{\max} = 1,27 \text{ } \mu\text{m}$ (infrarouge proche)

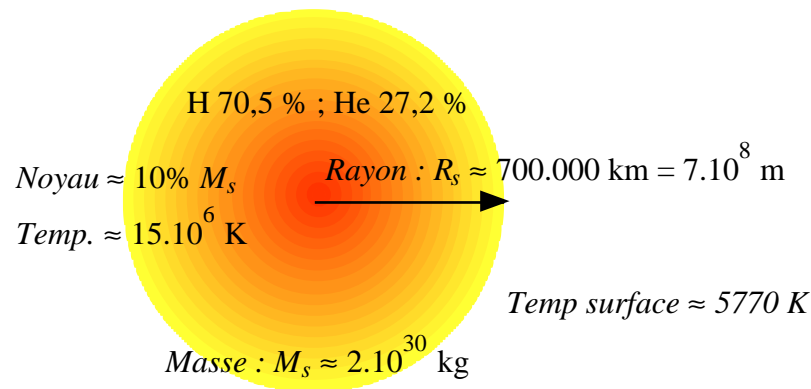
-température ordinaire ($T = 290 \text{ K}$) : $\lambda_{\max} = 10 \text{ } \mu\text{m}$ (infrarouge lointain)

-rayonnement spatial fossile ($T = 3 \text{ K}$) : $\lambda_{\max} = 1 \text{ mm}$ (170 GHz pour \mathcal{L}_v)

Loi du corps noir



Le soleil



Paradoxalement, le soleil est un corps noir quasi idéal... L'expérience montre que la luminance solaire est maximale pour $\lambda \approx 0,5 \mu\text{m}$ (couleur jaune-vert).

\Rightarrow d'après la loi de Wien, la surface du soleil est portée à la température :

$$T = \frac{2,898.10^{-3}}{\lambda_{\max}} \approx 5800 \text{ K (la valeur exacte est } 5770 \text{ K)}$$

\Rightarrow d'après la loi de Stefan, l'émittance énergétique solaire vaut :

$$\Phi_s = \sigma.T^4 = 5,67.10^{-8} .5770^4 \approx 62,8 \text{ MW/m}^2$$

\Rightarrow sachant que la surface du soleil est $S_s = 4\pi(7.10^8)^2 = 6,16.10^{18} \text{ m}^2$,

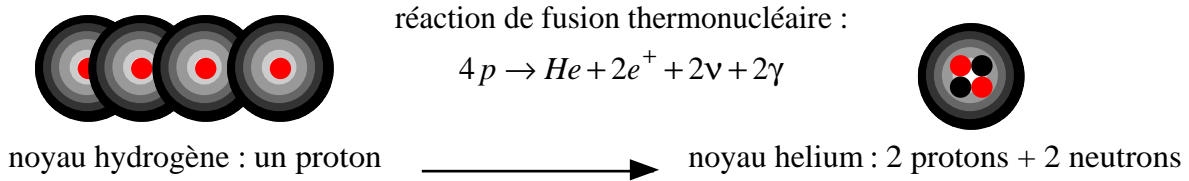
le flux émis par le soleil est : $F = \Phi_s.S_s \approx 3,87.10^{26} \text{ W}$

Soit encore une énergie rayonnée par seconde $\Delta W = 3,87.10^{26} \text{ J} \approx 10^{20} \text{ kWh}$

***** **COMPLEMENTS** *****

• **Réaction thermonucléaire**

La réaction de fusion thermonucléaire a lieu dans le noyau. De l'énergie est libérée sous forme de photons gamma³ :



• **Bilan énergétique de la réaction de fusion (calcul approché) :**

Masse molaire Hydrogène $M_H = 1,0073$ g

Masse molaire Hélium $M_{He} = 4,0026$ g

⇒ Perte de masse par mole : $\Delta M = 4 \cdot 1,0073 - 4,0026 = 0,0266$ g = $2,66 \cdot 10^{-5}$ kg

Une mole comprend \mathcal{N} atomes, avec $\mathcal{N} = 6.10^{23}$ (nombre d'Avogadro)

Équivalence masse - énergie : $E = mc^2$

⇒ Énergie libérée par la fusion de 4 protons :

$$\Delta E = \frac{\Delta M \cdot c^2}{\mathcal{N}} \approx 3,8 \cdot 10^{-12} \text{ J} \approx 2,5 \cdot 10^7 \text{ eV} = 25 \text{ MeV (la valeur exacte est 27 MeV)}$$

Il se produit donc dans le soleil chaque seconde environ $\frac{3,87 \cdot 10^{26}}{3,8 \cdot 10^{-12}} \approx 10^{38}$ réactions élémentaires de fusion.

• **Perte de masse solaire par seconde :**

$$\Delta M_s = \frac{\Delta W}{c^2} = \frac{3,87 \cdot 10^{26}}{(3 \cdot 10^8)^2} \approx 4,3 \cdot 10^9 \text{ kg} \approx 4\,300\,000 \text{ tonnes}$$

Masse d'hydrogène "brûlé" par seconde :

$$\left. \begin{array}{l} 4M_H = 4 \times 1,0073 \text{ g} \leftrightarrow \Delta M = 0,0266 \text{ g} \\ \Delta M_{(H)} \leftrightarrow \Delta M_s = 4,3 \cdot 10^9 \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta M_{(H)} = 4,3 \cdot 10^9 \frac{4 \times 1,0073}{0,0266} \approx 6,5 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

• **Durée de vie du soleil :**

Seule 10% de la masse solaire (le noyau) contribue aux réactions de fusions :

$$t_s = 0,1 \cdot \frac{M_s}{\Delta M_{(H)}} \approx 3^{17} \text{ s} \approx 10 \text{ milliards d'années .}$$

³ La réaction produit également des positons (e^+) et des neutrinos (ν)
ISBN 2-9520781-0-6