Le rayonnement électromagnétique

La lumière transporte de l'énergie sans support de matière par rayonnement. C'est ainsi que la Terre est chauffée pour une grande partie, c'est ainsi que réciproquement on peut déterminer la température d'une source lumineuse à distance.

1. Les lois du rayonnement

a. La loi de Stefan

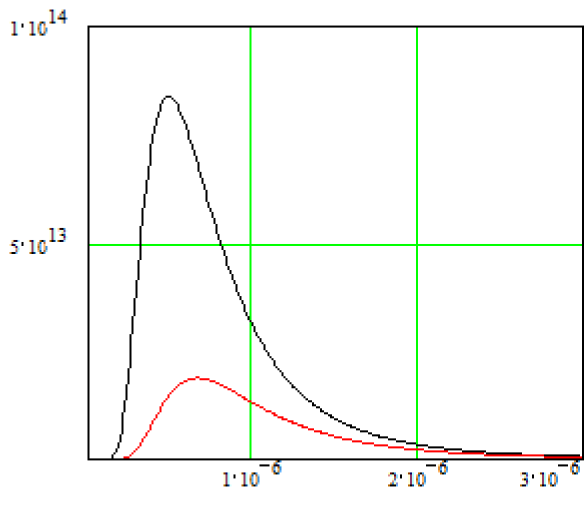
On définit un corps noir. Il absorbe toute l'énergie qu'il reçoit et la réémet sous forme d'un rayonnement qui ne dépend que de la température.
La loi de Stefan a été établie en 1879 par ce physicien autrichien :
$\boldsymbol{M = \sigma T^4}$ où M = dP / dS est l'émittance énergétique en $W.m^{-2}$ et T la température en K. La constante de Stefan vaut $\sigma = 5{,}67.10^{-8}$ $W.m^{-2}.K^{-4}$.
Exemple : le Soleil émet une puissance $P = 4.10^{26}$ W. Son diamètre est $D = 1{,}4.10^{6}$ km.
Son émittance est donc $M = P / 4\pi R^2 = 6{,}5.10^{7}$ $W.m^{-2}$.
La température de sa surface est $T = (M/\sigma)^{1/4}$ = 5800 K

b. La loi de Planck

Le spectre de la lumière occupe un large domaine de longueurs d'onde. L'intensité de chaque longueur d'onde est donnée par la loi de Planck :

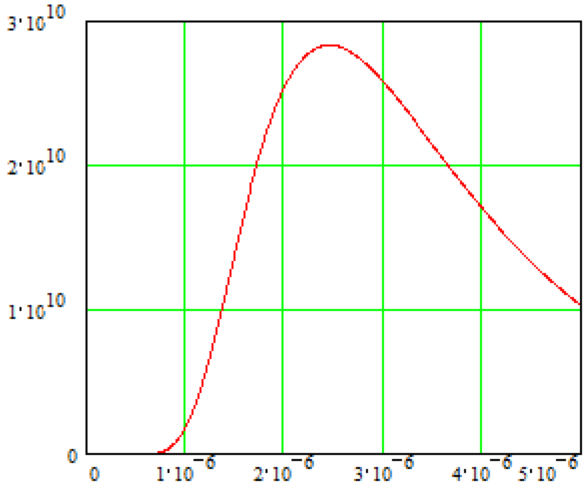
$$I = \frac{dM}{d\lambda} = c_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

avec $c_1 = 2\pi hc^2 = 3{,}74.10^{-16}$ $W.m^2$ et $c_2 = hcN / R = 1{,}438.10^{-2}$ m.K
Exemple des spectres à 5800 K et à 4300 K :



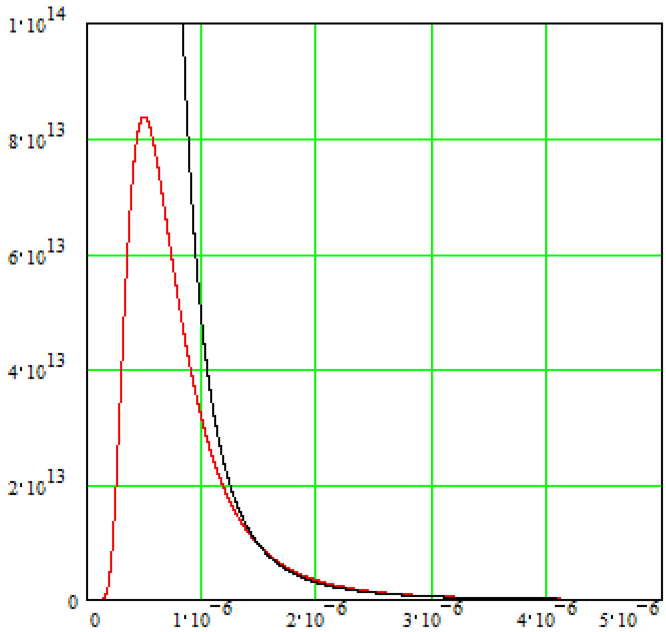
On remarque que lorsque la température augmente l'intensité du rayonnement augmente et le maximum est dévié vers les courtes longueurs d'onde.
Le calcul de M donne $M = \int_0^\infty I \, d\lambda = \sigma T^4$. La loi de Stefan est donc démontrée à partir de la loi de Planck.
Le maximum d'intensité est donné par $\frac{dI}{d\lambda} = 0$. On se place dans la situation où $e^{c_2/\lambda T} >> 1$.
Ainsi, $I = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$ et on démontre que la dérivée s'annule pour $\lambda T = \frac{c_2}{5} = 2{,}9.10^{-3}$ m.K.
C'est la loi de Wien.

Pour le Soleil, le maximum d'émission est donc λ = 2,9.10^{-3} / 5800 = 0,5 μm donc dans le bleu vert. L'aspect jaune du Soleil est du au mélange des longueurs d'onde sur tout le spectre de la lumière visible.
On a ci-dessous un corps à 900°C, son domaine visible est petit. Il apparaitra rouge plus ou moins sombre :



c. La loi de Rayleigh

En 1895, Lord Rayleigh établit la loi $\mathrm{I} = \mathrm{K}\left(\frac{T}{\lambda^4}\right)$ avec $K = \frac{2Rc}{N}$. Elle est valable pour les grandes longueurs d'onde mais conduit à la catastrophe ultraviolette : I tend vers ∞ quand λ décroit. C'est la loi de Planck qui résoudra la contradiction.



2. La pyrométrie optique

Un capteur de lumière peut permettre de mesurer la température de la source. On en a de 2 sortes : les pyromètres monochromatiques qui fonctionnent sur une longueur d'onde donnée et les pyromètres à rayonnement total qui fonctionnent sur toutes les longueurs d'onde.
Dans un cas, il mesure : $I = \frac{dM}{d\lambda} = c_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$, dans l'autre cas, il mesure : M = σT^4.

Mais, ce qui est déterminant est si le corps est ou non un corps noir.
On définit son émissivité ε. Pour un corps noir, $\varepsilon = 1$ et pour un corps gris $\varepsilon < 1$.
Pour un pyromètre à rayonnement total : M = $\sigma T^4 = \varepsilon \sigma T_{rélle}^4$
d'où : $T_{rélle} = T_{mesurée} / \sqrt[4]{\epsilon}$
Pour un pyromètre monochromatique :

$$I = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_{mesurée}}} = \varepsilon c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_{réelle}}}$$

et on en déduit la température : $\frac{1}{T_{réelle}} = \frac{1}{T_{mesurée}} + \frac{\lambda \, Ln\, \epsilon}{c_2}$
On peut aussi se servir d'abaques qui permettent de lire les résultats.

A titre d'exemples :

- Pour un pyromètre à rayonnement total.
  $T_{réelle}$ = 900 °C, ε = 0,6 $\Rightarrow$ $T_{mesurée}$ = 759 °C soit Δ T = 141 °C
- Pour un pyromètre à rayonnement monochromatique avec λ = 0,6 μm,
  $T_{réelle}$ = 900 °C, ε = 0,6 $\Rightarrow$ $T_{mesurée}$ = 871 °C soit Δ T = 29 °C