Rayonnement thermique

Denis Gialis

I - Définitions

Tout corps chauffé émet par sa surface extérieure un rayonnement électromagnétique dont la puissance est fonction de sa température ; C'est le **rayonnement thermique**. L'analyse spectrale de ce rayonnement montre une majorité de courtes longueurs d'onde aux très hautes températures et une majorité de grandes longueurs d'onde pour des températures inférieures à 500 K.

Flux réfléchi, absorbé, transmis et flux radiatif

Lorsqu'un récepteur reçoit un rayonnement thermique, une fraction ρ du flux d'énergie incident ϕ_i est réfléchie ou diffusée, une fraction a de ce flux est absorbée par le récepteur et une fraction τ est transmise. On a la relation $\rho + a + \tau = 1$.

Un milieu est dit **transparent** si tout le flux incident est transmis, dans le domaine de longueur d'onde considéré ; le facteur de transmission τ est égal à 1.
Un milieu est dit **opaque** s'il ne transmet aucune fraction du rayonnement incident, dans le domaine de longueur d'onde considéré ; le facteur de transmission τ est égal à 0.

On considère un corps opaque au rayonnement qui reçoit un rayonnement de flux incident $\phi_{incident}$; ce corps réfléchit (et diffuse) un flux $\phi_{réfléchi}$, absorbe un flux $\phi_{absorbé}$ et émet par rayonnement thermique $\phi_{émis}$.
On appelle **flux radiatif** de ce corps opaque le bilan net des flux partant et arrivant :

$$\phi_{radiatif} = \underbrace{\phi_{réfléchi} + \phi_{émis}}_{\text{flux partant}} - \underbrace{\phi_{incident}}_{\text{flux arrivant}}$$

Or $\phi_{incident} = \phi_{réfléchi} + \phi_{absorbé}$, donc

$$\phi_{radiatif} = \phi_{émis} - \phi_{absorbé}$$

Le corps opaque est en **équilibre radiatif** avec le rayonnement si $\phi_{radiatif} = 0$ c'est-à-dire si $\phi_{absorbé} = \phi_{émis}$.

II - Corps noir, émittance et loi de Stéfan

Définition d'un corps noir

On appelle **corps noir** un récepteur thermique qui absorbe intégralement toute l'énergie incidente qu'il reçoit ; Son facteur d'absorption est $a = \dfrac{\phi_{absorbé}}{\phi_{incident}} = 1$ pour toute les longueurs d'onde et pour toute direction.

Emittance d'une source rayonnante

Une source de rayonnement est caractérisée par son **émittance** M (appelée aussi exitance) définie comme étant la puissance totale émise par unité de surface de la source :

$$M = \frac{dP_{émise}}{dS_{source}} = \frac{d\phi_{émis}}{dS_{source}} \quad \text{en W/m}^2$$

Loi de Stéfan

Un corps noir, isotherme à la température T, émet un rayonnement dont l'émittance est telle que :

$$M = \left(\frac{d\phi_{\text{émis}}}{dS}\right)_{\text{corps noir}} = \sigma \cdot T^4$$

où σ est la constante de Stéfan et vaut $5{,}7 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.
Le rayonnement émis par un corps noir ne dépend que de sa température et il est indépendant de sa nature.
La relation d'équilibre radiatif s'écrit pour un corps noir de surface S et de température T :

$$\phi_{\text{absorbé}} = \phi_{\text{émis}} = \sigma \cdot T^4 \cdot S$$

III - Corps gris et émissivité

Un **corps gris** est un récepteur thermique qui absorbe partiellement l'énergie incidente qu'il reçoit et son facteur d'absorption a est tel que $0 < a < 1$.
L'émittance d'un corps gris à la température T est :

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

où ε est le **coefficient d'émissivité** globale du corps gris : $0 < \varepsilon < 1$
Remarque ; L'équilibre radiatif exprime un résultat général. Plus un corps absorbe, plus ce corps émet. Ainsi le corps noir qui est un absorbeur intégral est le corps dont l'émission du rayonnement thermique est maximale.

IV - Emittance et énergie volumique spectrales

Dans un intervalle spectral dλ, limité par les longueurs d'onde λ et λ + dλ, l'émittance est :

$$dM = M_\lambda \cdot d\lambda$$

où la grandeur $M_\lambda = \frac{dM}{d\lambda}$ (en $W \cdot m^{-3}$) définit l'**émittance spectrale** qui s'exprime en fonction de λ et de T.

L'émittance totale M est donc : $M = \int_0^{+\infty} M_\lambda(\lambda, T) \cdot d\lambda$

Dans un intervalle spectral dλ, limité par les longueurs d'onde λ et λ + dλ, un corps noir possède une énergie volumique :

$$du = u_\lambda \cdot d\lambda$$

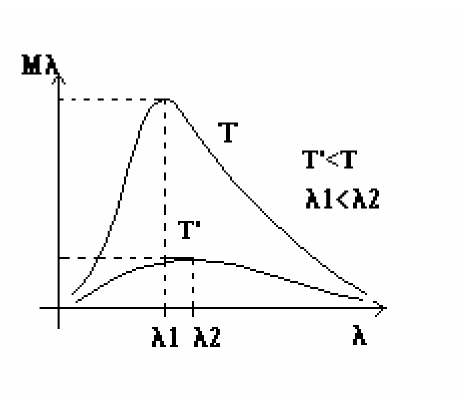
où la grandeur $u_\lambda = \frac{du}{d\lambda}$ (en $J \cdot m^{-4}$) définit l'**énergie volumique spectrale** qui s'exprime en fonction de λ et de T.

L'énergie volumique totale est donc : $u = \int_0^{+\infty} u_\lambda(\lambda, T) \cdot d\lambda$

Pour un corps noir, l'émittance et l'énergie volumique sont telles que : $M = \frac{c}{4} \cdot u$

De même, $M_\lambda(\lambda, T) = \frac{c}{4} \cdot u_\lambda(\lambda, T)$

V - Lois de Wien et loi de Planck



La figure ci-contre traduit la répartition énergétique spectrale à la température T d'un corps noir.
1ère loi de Wien : L'émittance spectrale d'un corps noir est maximale pour une longueur d'onde λ_{max} inversement proportionnelle à la température T du corps noir ;

$$\lambda_{max} \cdot T = 2{,}9 \cdot 10^{-3} \, m \cdot K$$

2ème loi de Wien : L'émittance spectrale maximale $(M_\lambda)_{max}$ est telle que

$$\frac{(M_\lambda)_{max}}{T^5} = cte$$

Loi de Planck :
L'émittance spectrale est telle que ;

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda \cdot T}) - 1}$$

où *h* est la constante de Planck et vaut $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s
et *k* est la constante de Boltzmann et vaut $1{,}381 \cdot 10^{-23}$ J·K^{-1}
On peut aussi exprimer l'émittance spectrale en fonction de la fréquence ν ;

$$M_\nu(\nu, T) = \frac{2\pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{h \cdot \nu}{k \cdot T}) - 1}$$

$M_\nu(\nu, T)$ est en W·s·m^{-2}

$$M_\nu(\nu, T) = M_\nu(\frac{c}{\lambda}, T)$$

$$M_\lambda(\lambda, T) \neq M_\nu(\nu, T)$$

On a cependant les relations ;

$$\int_0^{+\infty} M_\lambda(\lambda, T) \cdot d\lambda = \int_0^{+\infty} M_\nu(\nu, T) \cdot d\nu$$

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{c}{\lambda^2} \cdot M_\nu(\nu, T)$$

L'énergie volumique spectrale est quant à elle ;

$$u_\lambda(\lambda, T) = \frac{8\pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda \cdot T}) - 1}$$