

Chapitre V

TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT

V.1 Introduction :

La plupart des corps matériels solides, liquides ou gazeux, portés à une température supérieure à 0 K émettent un rayonnement électromagnétique. Lorsque ce dernier est absorbé, il est transformé en énergie thermique. Tout corps qui émet ce type de rayonnement est capable d'absorber un rayonnement de même nature. Ainsi il apparaîtra entre deux corps capables d'émettre ce type de rayonnement un échange de chaleur dit par rayonnement. Ce type d'échange existe même lorsque les deux corps sont à la même température mais dans ce cas le débit net de chaleur échangé est nul (les deux corps sont dits en équilibre thermique). Le débit de chaleur croît au fur et à mesure que la différence de température entre les deux milieux augmentent mais il dépend aussi du niveau des températures. On peut dire dès à présent que les échanges par rayonnement augmentent et deviennent prédominants aux températures élevées.

Le rayonnement se propage de manière rectiligne à la vitesse de la lumière, il est constitué de radiations de différentes longueurs d'onde comme l'a démontré l'expérience de W. Herschell

V.2 Définitions :

V.2.1 Classification

Les grandeurs physiques seront distinguées selon :

- La composition spectrale du rayonnement
 - Si la grandeur est relative à l'ensemble du spectre elle est dite totale.
 - Si elle concerne un intervalle spectral étroit $d\lambda$ autour d'une longueur d'onde λ elle est dite mono chromatique : G_λ
- La distribution spatiale du rayonnement
 - Si la grandeur est relative à l'ensemble des directions de l'espace elle est dite hémisphérique.
 - Si elle caractérise une direction donnée de propagation elle est dite directionnelle : G_x

V.2.2 Définitions relatives aux sources

V.2.2.1 Flux

On appelle flux d'une source S la puissance rayonnée notée φ par S dans tout l'espace qui l'entoure, sur toutes les longueurs d'onde. Le flux φ s'exprime en W

- Le flux envoyé par un élément de surface dS dans un angle solide élémentaire $d\Omega$ est noté $d^2\varphi$
- Le flux envoyé dans tout l'espace par une surface élémentaire dS est noté $d\varphi$.

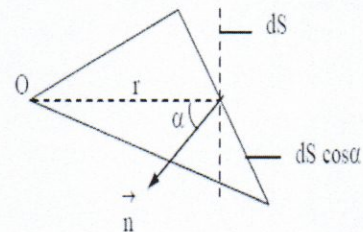
- Le flux envoyé par une surface S dans l'angle solide $d\Omega$ entourant la direction O_x est noté $d\varphi_x$.

Nous avons donc les relations suivantes :

$$d\varphi = \int_{\Omega} d^2\varphi \quad \text{et} \quad \varphi = \int_S d\varphi = \int_{\Omega} d\varphi_x \quad (\text{V.1})$$

Les angles solides élémentaires :

L'angle solide sous lequel depuis un point O on voit une surface S est par définition l'aire de la surface intersection de la sphère de rayon unité et du cône de sommet O s'appuyant sur le contour de la surface S . L'angle solide $d\Omega$ sous lequel est vu d'un point O le contour d'une petite surface dS (assimilée à une surface plane) peut être calculé par :



$$d\Omega = \frac{dS \cos \alpha}{r^2} \quad (\text{V.2})$$

V.2.2.2 Emission énergétique

▪ Monochromatique :

Un élément de surface dS émet dans toutes les directions du demi-espace un certain flux d'énergie par rayonnement. Ce flux est réparti sur un intervalle de longueurs d'ondes. Si l'on considère le flux d'énergie $d\varphi_{\lambda}^{\lambda+d\lambda}$ émis entre les deux longueurs d'ondes λ et $\lambda + d\lambda$, on définit l'émission monochromatique d'une source à la température T par :

$$M_{\lambda T} = \frac{d\varphi_{\lambda}^{\lambda+d\lambda}}{dS d\lambda} \quad [W / m^2] \quad (\text{V.3})$$

▪ Totale :

C'est la densité de flux de chaleur émise par rayonnement par dS sur tout le spectre des longueurs d'ondes. Elle n'est plus fonction que de la température T et de la nature de la source :

$$M_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} M_{\lambda T} d\lambda = \frac{d\varphi}{dS} \quad [W / m^2] \quad (\text{V.4})$$

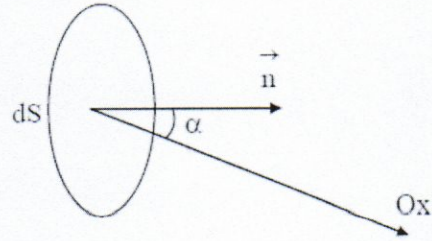
V.2.2.3 Intensité énergétique dans une direction

On appelle intensité énergétique I_x le flux par unité d'angle solide émis par une surface dS dans un angle solide $d\Omega$ entourant la direction O_x :

$$I_x = \frac{d^2\varphi_x}{d\Omega} \quad (\text{V.5})$$

V.2.2.4 Luminance énergétique dans une direction :

Soit α l'angle fait par la normale $\vec{n}$ à la surface émettrice S avec la direction O_x suivant laquelle la surface S possède une intensité énergétique I_x . La projection de S sur le plan perpendiculaire O_x à s'appelle la surface émettrice apparente Σ .



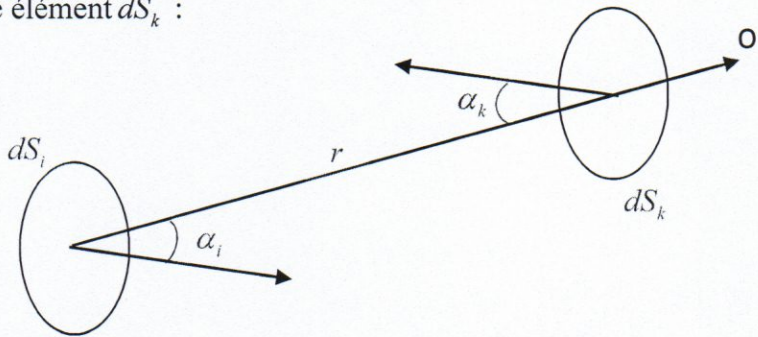
Et l'intensité énergétique dans la direction O_x par unité de surface émettrice apparente s'appelle la luminance énergétique L :

$$L_x = \frac{I_x}{dS_x} = \frac{I_x}{dS \cos \alpha} = \frac{d^2 \phi_x}{d\Omega dS \cos \alpha} \quad (\text{V.6})$$

Application : Formule de Bouguer

On déduit des définitions précédentes l'expression du flux $d^2 \phi_x$ envoyé par un élément dS_i de luminance L_x sur un autre élément dS_k :

$$d^2 \phi_x = I_x d\Omega = L_x dS_i \cos \alpha_i d\Omega$$



D'où : $d\Omega$ est l'angle solide duquel depuis la surface dS_i on voit la surface dS_k donc :

$$d\Omega = \frac{dS_k \cos \alpha_k}{r^2}$$

D'où la formule de Bouguer :

$$d^2 \phi_x = L_{ix} \frac{dS_i \cos \alpha_i dS_k \cos \alpha_k}{r^2} \quad (\text{V.7})$$

V.2.3 Définitions relatives à un récepteur

V.2.3.1 Eclairement

C'est l'homologue de l'émittance pour une source. L'éclairement est le flux reçu par unité de surface réceptrice, en provenance de l'ensemble des directions.

V.2.3.2 Réception du rayonnement par un solide

Quand un rayon incident d'énergie ϕ_λ frappe un corps à la température T , une partie $\phi_\lambda \rho_{\lambda T}$ de l'énergie incidente est réfléchi par la surface S , une autre partie $\phi_\lambda \alpha_{\lambda T}$ est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste $\phi_\lambda \tau_{\lambda T}$ est transmis et continue son chemin.

Évidemment :

$$\phi_\lambda = \phi_\lambda \rho_{\lambda T} + \phi_\lambda \alpha_{\lambda T} + \phi_\lambda \tau_{\lambda T} \quad (\text{V.8})$$

D'où : $\rho_{\lambda T} + \alpha_{\lambda T} + \tau_{\lambda T} = 1$

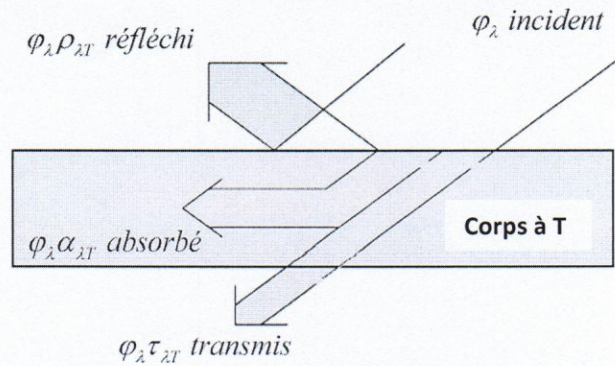


Fig. V.1 : Réflexion, transmission et absorption du rayonnement.

On définit ainsi les pouvoirs monochromatiques réfléchissant $\rho_{\lambda T}$, absorbant $\alpha_{\lambda T}$ et filtrant $\tau_{\lambda T}$ qui sont fonction de la nature du corps, de son épaisseur, de sa température T , de la longueur d'onde λ du rayonnement incident et de l'angle d'incidence.

Si l'on considère l'énergie incidente sur tout le spectre des longueurs d'onde, on obtient les pouvoirs réfléchissants $\rho_{\lambda T}$, absorbant $\alpha_{\lambda T}$ et filtrant $\tau_{\lambda T}$ totaux.

V.2.4 Définitions des corps noir et gris

V.2.4.1 Corps noir

C'est un corps qui absorbe toutes les radiations qu'il reçoit indépendamment de son épaisseur, de sa température, de l'angle d'incidence et de la longueur d'onde du rayonnement incident, il est défini par : $\alpha_{\lambda T} = 1$. Une surface enduite de noir de fumée est approximativement un corps noir.

Les propriétés du corps noir :

- Tous les corps noirs rayonnent de la même manière.
- Le corps noir rayonne plus que le corps non noir à la même température.

V.2.4.1 Corps gris

Un corps gris est un corps dont le pouvoir absorbant $\alpha_{\lambda T}$ est indépendant de la longueur d'onde λ du rayonnement qu'il reçoit. Il est défini par : $\alpha_{\lambda T} = \alpha_T$.

V.3 Lois du rayonnement

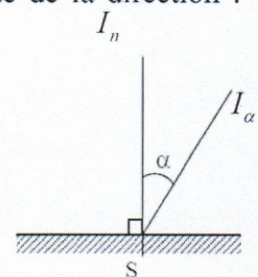
V.3.1 Loi de Lambert

Dans le cas où la source est isotrope, la luminance est indépendante de la direction : $L_x = L$

$$L_n = \frac{I_n}{S} ; L_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{S \cos \alpha}$$

De l'égalité $L_n = L_{\alpha}$ on déduit la loi de Lambert pour une source isotrope :

$$I_{\alpha} = I_n \cos \alpha \quad (\text{V.9})$$



Ainsi l'indicatrice de l'intensité est une sphère tangente en O à la surface émettrice lorsque celle-ci suit la loi de Lambert :

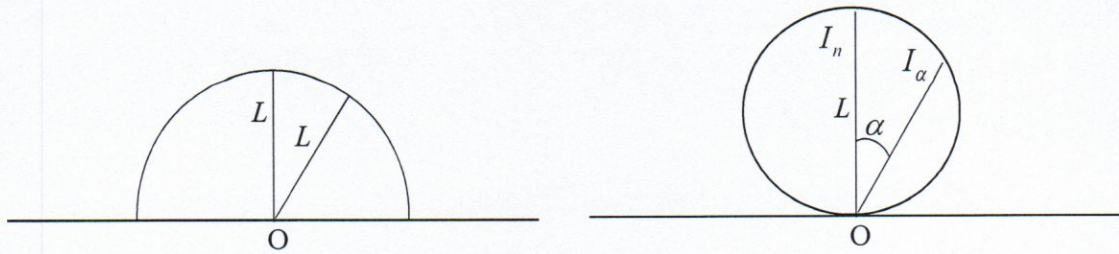


Fig. V.2 : Luminance et intensité énergétique d'une source isotrope.

Lorsqu'un corps suit la loi de Lambert, on montre qu'émittance et luminance sont proportionnelles :

$$M = \pi L \quad [W / m^2] \quad (V.10)$$

V.3.2 Loi de Kirchoff

A une température T donnée et pour une longueur d'onde λ donnée, le rapport $\frac{M_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}}$ est le même pour tous les corps.

Pour le corps noir : $\alpha_{\lambda T} = 1$, le rapport $\frac{M_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}}$ est donc égal à $M_{O\lambda T}$ en appelant $M_{O\lambda T}$ l'émittance monochromatique du corps noir, donc :

$$M_{\lambda T} = M_{O\lambda T} \alpha_{\lambda T} \quad [W / m^3] \quad (V.11)$$

L'émittance monochromatique de tout corps est égale au produit de son pouvoir absorbant monochromatique par l'émittance monochromatique du corps noir à la même température, d'où l'intérêt de connaître le rayonnement émis par le corps noir.

Cas des corps gris : loi de Kirchoff généralisée

Dans le cas du corps gris, on peut généraliser cette loi ce qui facilite les applications. En effet pour un corps gris I_{α} , donc :

$$M_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} M_{\lambda T} d\lambda = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \alpha_{\lambda T} M_{O\lambda T} d\lambda = \alpha_{\lambda T} \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} M_{O\lambda T} d\lambda \quad (V.12)$$

En appelant $M_{O\lambda T}$ l'émittance totale du corps noir à la température T , nous obtenons pour un corps gris :

$$M_T = M_{OT} \alpha_T \quad [W / m^2] \quad (V.13)$$

L'émittance totale M_T d'un corps gris à la température T est égal au produit de son pouvoir absorbant α_T par l'émittance totale M_{OT} du corps noir à la même température.

V.3.3 Lois de Wien

La longueur d'onde λ_m pour laquelle l'émission est maximale varie avec la température de la source, elle est exprimée par la loi de déplacement de Wien :

$$\lambda_m = \frac{2898 \cdot 10^{-6}}{T} \quad [\mu m] \quad (V.14)$$

La 2^{ème} loi de Wien exprime la valeur maximale de l'émittance du corps noir en fonction de la sa température :

$$Mo_{\lambda MT} = 1287 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 \quad (V.15)$$

V.4 Rayonnement du corps noir

V.4.1 Emittance monochromatique :

Elle est donnée par la loi de Planck :

$$M_{O\lambda T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad [W / m^{-3}] \quad (V.16)$$

Avec :

$$\begin{cases} C_1 = 3,742 \cdot 10^{-16} \quad [W \cdot m^{-2}] \\ C_2 = 1,4385 \cdot 10^{-2} \quad [m \cdot K] \end{cases}$$

La loi de Planck permet de tracer les courbes isothermes représentant les variations de $M_{O\lambda T}$ en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures :

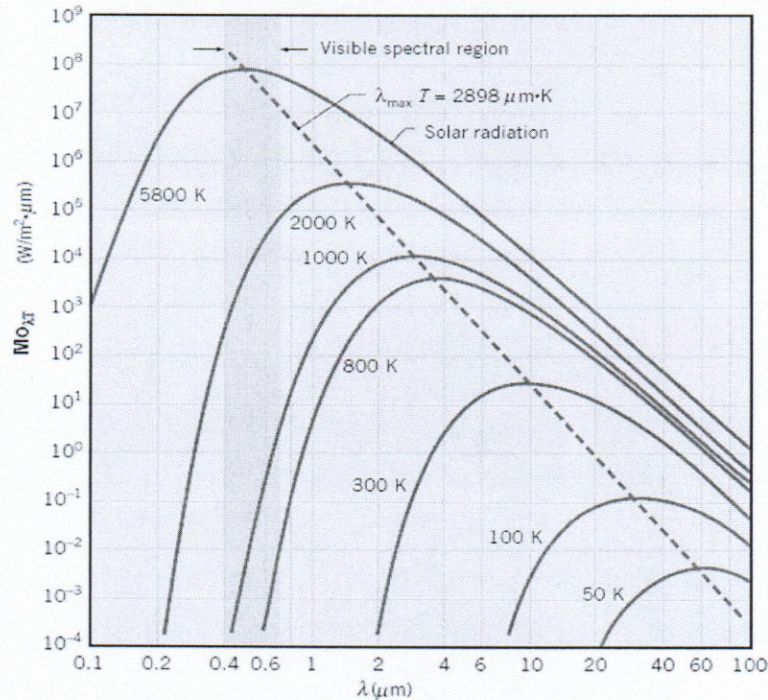


Fig. V.3 : Variations de $M_{O\lambda T}$ en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures.

La longueur d'onde M_λ pour laquelle l'émission est maximale varie avec la température de la source :

$$\lambda_M = \frac{2,897.10^{-3}}{T} \quad [\mu m] \quad (V.17)$$

$$M_{O_{\lambda_M}T} = 0,410 \left(\frac{T}{10} \right)^5 \quad [W / m^3] \quad (V.18)$$

☞ Pour le Soleil ($T \approx 5777 K$), 90% de l'énergie est émise entre $0,31$ et $2,5 \mu m$, le maximum étant situé dans le spectre visible. Par contre, un corps noir à $373 K$ ($100^\circ C$) a son émission maximale vers $\lambda = 8 \mu m$ dans l'IR.

V.4.2 Emittance Total :

L'intégration de la formule de Planck pour toutes les longueurs d'onde donne l'émittance totale M_{O_T} du corps noir qui n'est plus fonction que de la température T , on obtient la loi de Stephan-Boltzmann :

$$M_{O_T} = \sigma T^4 \quad [W / m^2] \quad (V.19)$$

Avec : $\sigma = 5,675.10^{-8} [W.m^{-2}.K^{-4}]$

Dans les calculs on écrira souvent : $\sigma = 5,675 \left(\frac{T}{100} \right)^4$

V.4.3 Fraction de l'émittance :

C'est la fraction du flux émis par l'unité de surface du corps noir à la température T entre les longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 :

$$F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{O_{\lambda T}} d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{O_{\lambda T}} d\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{O_{\lambda T}} d\lambda}{\sigma T^4} = \frac{\int_0^{\lambda_2} M_{O_{\lambda T}} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} M_{O_{\lambda T}} d\lambda}{\sigma T^4}$$

$$\Rightarrow F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = \frac{\int_0^{\lambda_2} M_{O_{\lambda T}} d\lambda}{\sigma T^4} - \frac{\int_0^{\lambda_1} M_{O_{\lambda T}} d\lambda}{\sigma T^4} \quad (V.20)$$

Ce qui peut également s'écrire : $F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = F_{0 - \lambda_2 T} - F_{0 - \lambda_1 T}$;

Calculons $F_{0 - \lambda_1 T}$ à T constant :

$$F_{0 - \lambda T} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_0^{\lambda} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} d\lambda = \frac{1}{\sigma} \int_0^{\lambda} \frac{C_1 (\lambda T)^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} T d\lambda = \frac{1}{\sigma} \int_0^{\lambda} \frac{C_1 (\lambda T)^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} d(\lambda T) \quad (V.21)$$

☞ Nous constatons que $F_{0-\lambda T}$ ne dépend que du produit λT . Il suffit donc de dresser une fois pour toutes une table à une entrée unique λT donnant $F_{0-\lambda T}$ et de l'utiliser pour le calcul de $F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T}$.

V.5 Rayonnement des corps non noirs

V.5.1 Facteur d'émission ou émissivité

On définit les propriétés émissives des corps réels par rapport aux propriétés émissives des corps noirs dans les mêmes conditions de température et de longueur d'onde et on les caractérise à l'aide de coefficients appelés facteurs d'émission ou émissivités. Ces coefficients monochromatiques ou totaux sont définis par :

$$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{M_{\lambda T}}{M_{o\lambda T}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_T = \frac{M_T}{M_{oT}} \quad (\text{V.22})$$

D'après la loi de Kirchhoff, on montre que :

$$\alpha_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T} \quad (\text{V.23})$$

V.5.2 Cas des corps gris :

Ils sont caractérisés par $\alpha_{\lambda T} = \alpha_T$ soit d'après ce qui précède : $\varepsilon_{\lambda T} = \varepsilon_T$

Or : $M_T = \varepsilon_T M_{oT}$, nous en déduisons l'émittance du corps gris à la température T :

$$M_T = \varepsilon_T \sigma T^4 \quad (\text{V.24})$$

V.6 Rayonnement réciproque de plusieurs surfaces

Hypothèse :

Les surfaces considérées seront supposées homogènes, opaques, isothermes et grises.

Radiosité et flux net perdu

Le rayonnement qui quitte une surface S_i est la somme de son émission propre et de la réflexion d'une partie du rayonnement incident sur cette surface. On appelle radiosité, que l'on note J_i , l'émittance apparente de la surface S_i donc :

$$J_i = \varepsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) E_i \quad [W / m^2] \quad (\text{V.25})$$

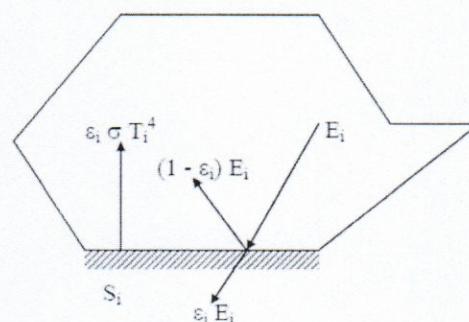
Avec :

E_i : Eclairement de la surface S_i en $[W / m^2]$

Considérons maintenant la surface S_i choisie parmi n surfaces isothermes et homogènes qui délimitent un volume :

La densité d'énergie nette perdue par rayonnement par S_i s'écrit :

$$\phi_{i_{net}} = \varepsilon_i \sigma T_i^4 - \varepsilon_i E_i \quad (\text{V.26})$$



En introduisant, la radiosité J_i par : $E_i = \frac{1}{1-\varepsilon_i}(J_i - \varepsilon_i \sigma T_i^4)$ nous obtenons :

$$\phi_{i_{net}} = \frac{1}{1-\varepsilon_i}(\sigma T_i^4 - J_i) = \varepsilon_i(\sigma T_i^4 - E_i) = J_i - E_i \quad [W / m^2] \quad (V.27)$$

Exercice N° 1 :

Une surface de $1,5 \text{ cm}^2$ rayonne comme un corps noir à la température de 1600°C .

Calculer :

- 1- La puissance totale rayonnée dans l'espace.
- 2- Sa luminance énergétique.
- 3- La longueur d'onde pour laquelle le rayonnement est maximal.

Solution :

- 1- La puissance totale rayonnée dans l'espace :

$$\phi = M_{\lambda T} S = \sigma T^4 S$$

AN :

$$\phi = M_{\lambda T} S = \sigma T^4 S = 5,67 \cdot 10^{-8} (1873)^4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 104,67 \text{ W}$$

- 2- luminance énergétique :

$$L_T = \frac{\sigma}{\pi} T^4 = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} (1873)^4}{\pi} = 2,25 \cdot 10^5 \text{ W} / \text{m}^2 \text{sr}$$

- 3- La longueur d'onde pour laquelle le rayonnement est maximal :

Est donnée par la loi de Wien :

$$\lambda_{\max} = \frac{2900}{T} = \frac{2900}{1873} = 1,55 \mu\text{m}$$

$$\text{Pour } 2,3 \mu\text{m nous avons } x = \frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{2,3}{1,55} = 1,48$$

Sur la couche réduite de Planck, on lit que, pour cette valeur de x , y vaut sensiblement $y = 0,73$.

La luminance spectrale a alors pour valeur :

$$L_{\lambda T}^0 = b T^5 y = 4,1 \cdot 10^{-8} (1873)^5 \cdot 0,73 = 6,9 \cdot 10^8 \text{ W} / \text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}$$

Exercice N° 2 :

Une source de rayonnement ponctuelle émet une puissance de 200 W.

- Calculer son intensité énergétique.

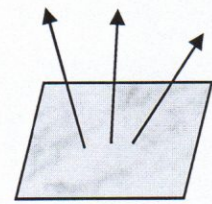
Elle éclaire sous une incidence de 30° une surface de $0,25 \text{ m}^2$ placée à 3 m.

- Calculer l'éclairement de cette surface, ainsi que le flux énergétique qu'elle reçoit.

Solution :

- La source est uniformément répartie autour de celle-ci l'intensité énergétique est :

$$I_e = \frac{\phi}{4\pi} = \frac{200}{4\pi} = 15,9 \text{ W} / \text{sr}$$



Corps noire (s)

- L'éclairement énergétique d'un élément de surface est donnée par :

$$E = \frac{I_e \cos \alpha}{L^2} = \frac{15,9 \cdot \sqrt{30}}{2,3^2} = 1,53 W / m^2$$

Ainsi le flux reçu par la surface est : $\varphi = E.S = 1,53 \cdot 0,25 = 0,38 W$

Exercice N° 3 :

Pour chauffer une pièce d'un appartement, on se sert d'un radiateur cylindrique de 2 cm de diamètre et de 50 cm de longueur. Ce radiateur rayonne comme un corps noir et émet une puissance de 1 KW :

- 1- Calculer sa température.
- 2- Calculer la longueur d'onde pour laquelle sa luminance est maximale.
- 3- Quelle devrait être sa température pour que cette longueur d'onde soit $2 \mu m$.
- 4- Calculer la puissance dégagée.

Solution :

- 1- *Calcul de sa température :*

Le flux total rayonné est donné par la relation : $\varphi = M_{oT} S = \sigma T^4 S$

$$S = \pi D L = \pi 2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 = 3,14 \cdot 10^{-2} m^2$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{\varphi}{\sigma S}} = \sqrt[4]{\frac{10^3}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 10^{-2}}} = 866 K$$

- 2- *La longueur d'onde λ_m pour laquelle sa luminance est maximale est :*

$$\lambda_m = \frac{2900}{866} = 3,35 \mu m$$

- 3- *Pour cette longueur d'onde soit de $2 \mu m$ il faut une température : $T' = \frac{2900}{2} = 1450 K$*

- 4- *La puissance dégagée est proportionnelle à sa température à la quatrième puissance de la température, cette puissance serait :*

$$\phi = \varphi \left(\frac{T'}{T} \right)^4 = 10^3 \left(\frac{1450}{866} \right)^4 = 7,86 \cdot 10^3 W$$

Exercice N° 04 :

On considère un objet de forme sphérique de 23 cm de diamètre à la température de 1500 K suspendu dans l'air comme indiqué sur la figure ci-contre. En supposant que la boule rapproche étroitement un corps noir, déterminer :

- a)- la puissance d'émission spectrale du corps noir à une longueur d'ondes de $1,93 \mu m$
- b)- la puissance d'émission totale du corps noir.
- c)- la longueur d'ondes à laquelle l'émission de rayonnement de l'objet atteint un niveau maximal, en déduisant la puissance d'émission spectrale maximale.
- d)- la quantité totale du rayonnement émise par cet objet dans 5 minutes.

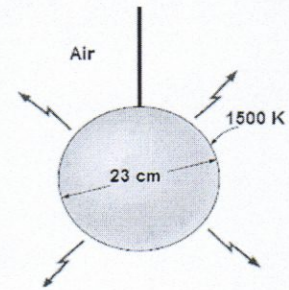
On donne :

Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$

Constantes de la loi de Planck : $C_1 = 2\pi h c_0^2 = 3,742 \times 10^8 W \mu m^4 / m^2$

$$C_2 = \frac{hc_0}{k} = 1,439 \times 10^4 \mu m.K$$

Solution :



Un objet sphérique ($\varnothing = 23 \text{ cm}$) isotherme (1500 K) est suspendu dans l'air, en supposant qu'il se comporte comme un corps noir.

(a) Sa puissance d'émission spectrale à une longueur d'ondes de $1,93 \mu m$ sera déterminée de la loi de distribution de Planck pour être :

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} = \frac{3.742 \times 10^8}{(1.93)^5 \left[\exp\left(\frac{1.439 \times 10^4}{(1.93)(1500)}\right) - 1 \right]}$$

$$= 97638.27 \text{ W} / \text{m}^2 \mu m \quad \text{Soit } 97.64 \text{ W} / \text{m}^2 \mu m$$

(b) Sa puissance d'émission totale sera déterminée de la loi de Stefan-Boltzmann pour être :

$$E_b = \sigma T^4 = (5.67 \times 10^{-8})(1500)^4 = 287043.75 \text{ W} / \text{m}^2 \quad \text{Soit } 287 \text{ KW} / \text{m}^2$$

(c) La longueur d'ondes à laquelle l'émission de rayonnement de cet objet atteint un niveau maximal sera déterminé d'après la loi de déplacement de Wien :

$$(\lambda T)_{\text{puiss max}} = 2897,8 \mu m.K \rightarrow \lambda_{\text{puiss max}} = \frac{2897,8}{1500} = 1,93 \mu m$$

Donc on peut déduire que la puissance d'émission spectrale maximale pour cette longueur

$$\text{d'onde soit : } E_{b\lambda_{\text{max}}} = 97638.27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \mu m} = 97,64 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \mu m}$$

(d) La quantité totale du rayonnement émise par ce corps noir dans 5 minutes sera :

$$A_s = \pi \varnothing^2 = \pi \cdot (0,23)^2 = 0,72243 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 5 \times 60 = 300 \text{ s}$$

$$Q_{\text{ray}} = E_b A_s \Delta t = (287 \times 10^3)(0,72243)(300) = 62201,22 \text{ KJ}$$