

Leçon 3

Le Corps noir

Plan

- 1 - PREMIERES APPROCHES CONCEPTUELLES
- 2 - REALISATIONS PRATIQUES.
- 3 - DE L'ABSORPTION A L'EMISSION.
- 4 - AUTRES PROPRIETES DU CORPS NOIR.
- 5 - LA DENSITE D'ENERGIE DU CORPS NOIR
- 6 - LE RAYONNEMENT DU CORPS NOIR ET THEORIE DES QUANTA : **LOI DE PLANCK.**
- 7 - RAYONNEMENT DU CORPS NOIR DANS UN MILIEU D'INDICE QUELCONQUE

3.1 - PREMIERES APPROCHES CONCEPTUELLES.

Nous avons vu dans la leçon précédente portant sur les grandeurs fondamentales que les propriétés émissives d'une source mettaient en jeu divers aspects géométriques, mais également une grandeur très importante : la **luminance**.

Nous allons ici caractériser cette grandeur dans le cas d'une **source idéale**, qui sert de modèle de comportement radiatif : **le corps noir** (C.N.).

Les **corps réels** présentent en général des écarts de comportement à l'égard du corps noir. Voir le concept d'**émissivité**, ε (voir leçon 6)

3.1.1 - Définition :

Un **corps noir** est un corps qui absorbe totalement le rayonnement incident.

Ses propriétés sont donc :

absorption : 100 %

réflexion et transmission : 0 %

C'est donc un corps opaque, non réfléchissant

Émissivité : 

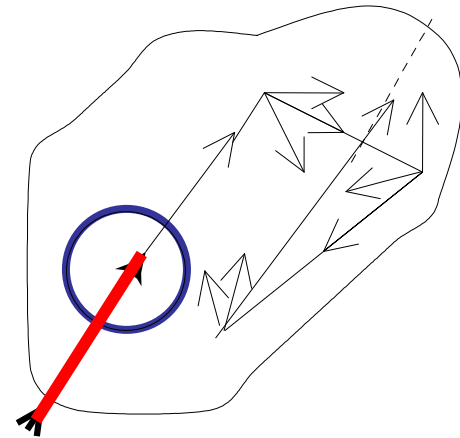
Corps noir $\varepsilon = 1$

Surface réelle $\varepsilon < 1$

3.1.2 - Premières illustrations de ce concept :

1er exemple :

Un corps noir est obtenu en réalisant dans une cavité opaque, un trou petit devant la dimension de la cavité, de sorte que tout rayonnement incident subit des réflexions multiples (et absorptions progressives) sur les parois, sans pouvoir ressortir.



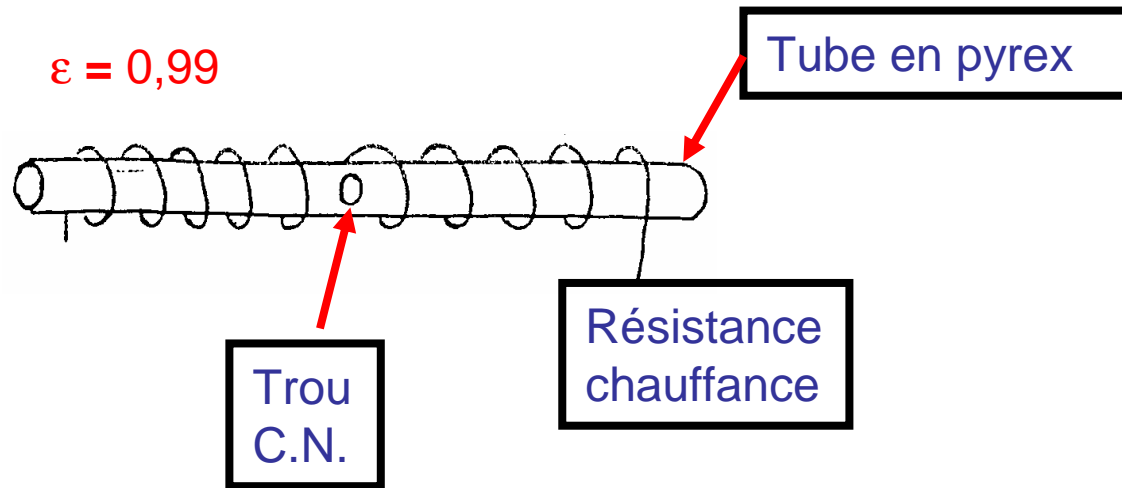
Le corps noir est donc constitué par les parois internes de la cavité plus le trou.

Le Corps Noir théorique est, celui dont le trou a une dimension qui tend vers zéro.

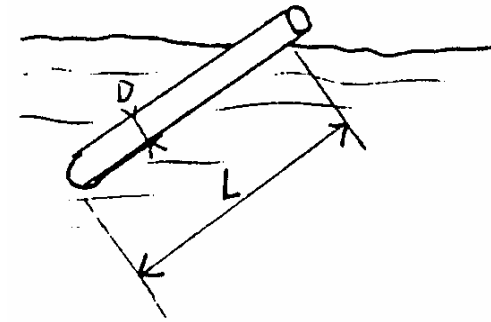
C'est en fait une cavité « garnie » de rayonnement, dont nous calculerons la densité volumique d'énergie u

3.2 - REALISATIONS PRATIQUES.

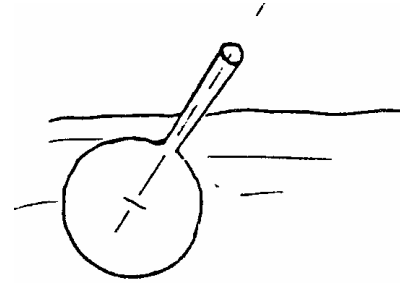
Nous donnons ci-après quelques exemples simples à réaliser, mais qui constituent des approximations du corps noir, que l'on caractérise ici par leur émissivité ε



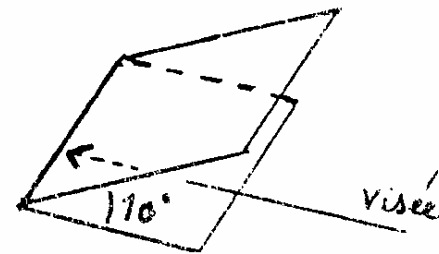
$\varepsilon = 0,95 \text{ à } 0,99$
 $L > 5 D$



$$\varepsilon = 0,96$$



$$\varepsilon = 0,9$$

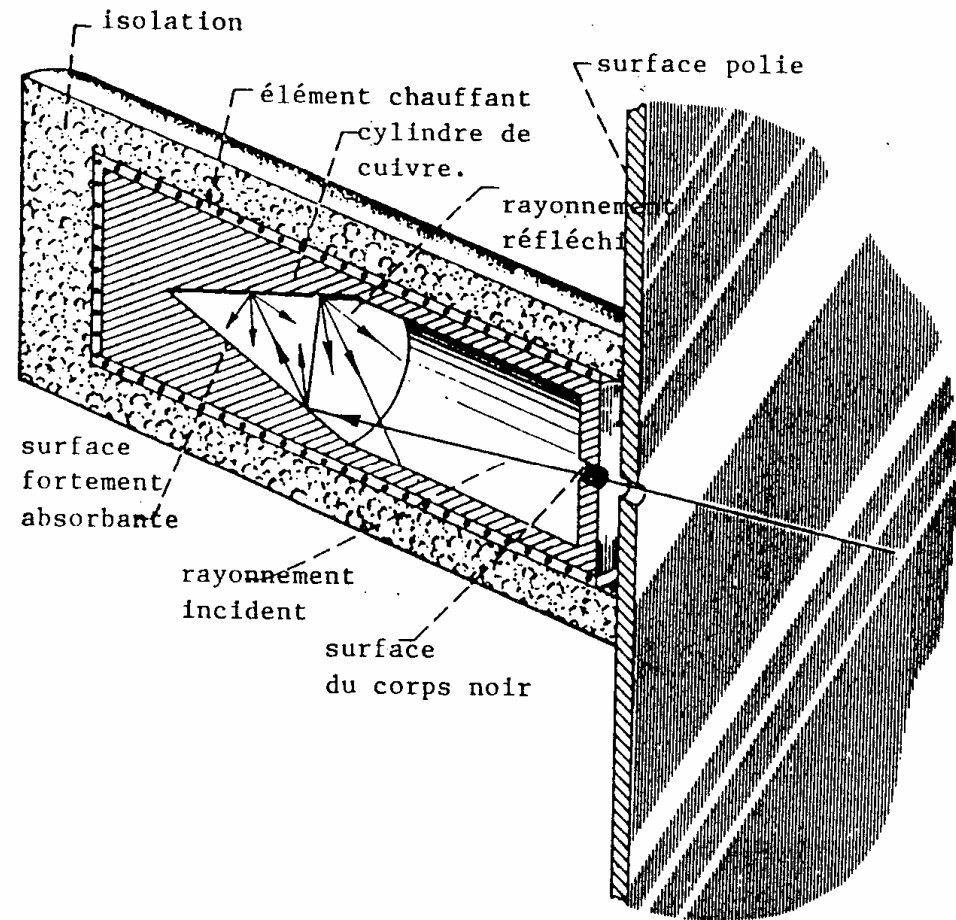


Surfaces planes recouvertes de noir de fumée

Dans la pratique du laboratoire, le corps noir est un objet qui doit être:

absorbant, de par sa forme

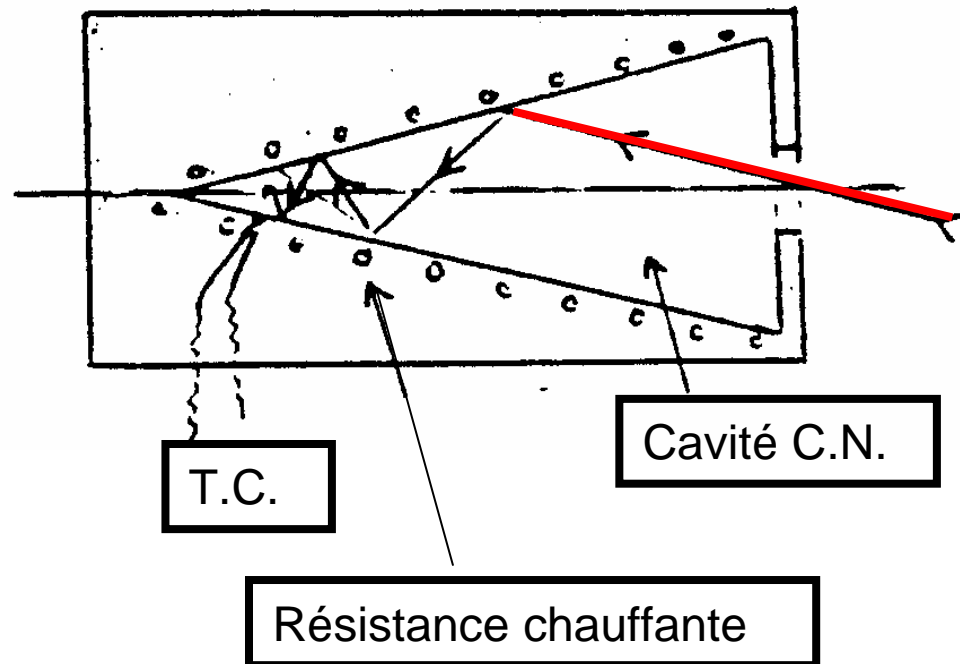
et de par le matériau utilisé et **isotherme**.



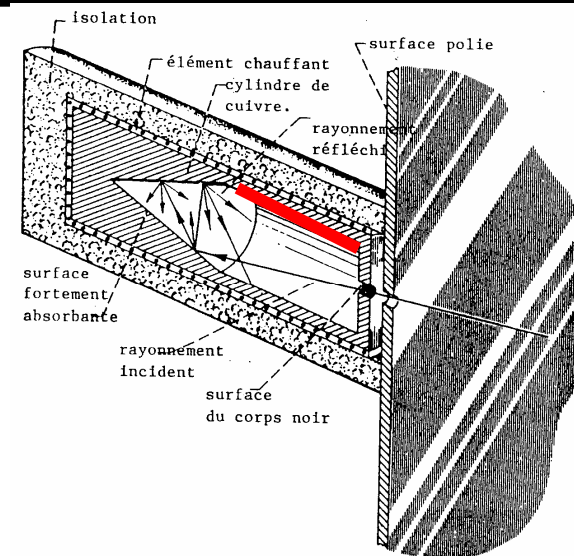
a) les rayons incidents ont peu de chance d'en sortir.

Pour cela, il est constitué d'une grande cavité, avec un petit trou.

La cavité est en général conique avec le trou sur la face opposée, les réflexions successives conduisant les rayons vers le sommet du cône.



b) les rayons incidents sont **absorbés par les parois**, donc en matériaux absorbants (tel que les oxydes réfractaires : alumine, magnésie, pyrex ...) par ailleurs de bonne tenue à température élevée et diffusant bien la chaleur.



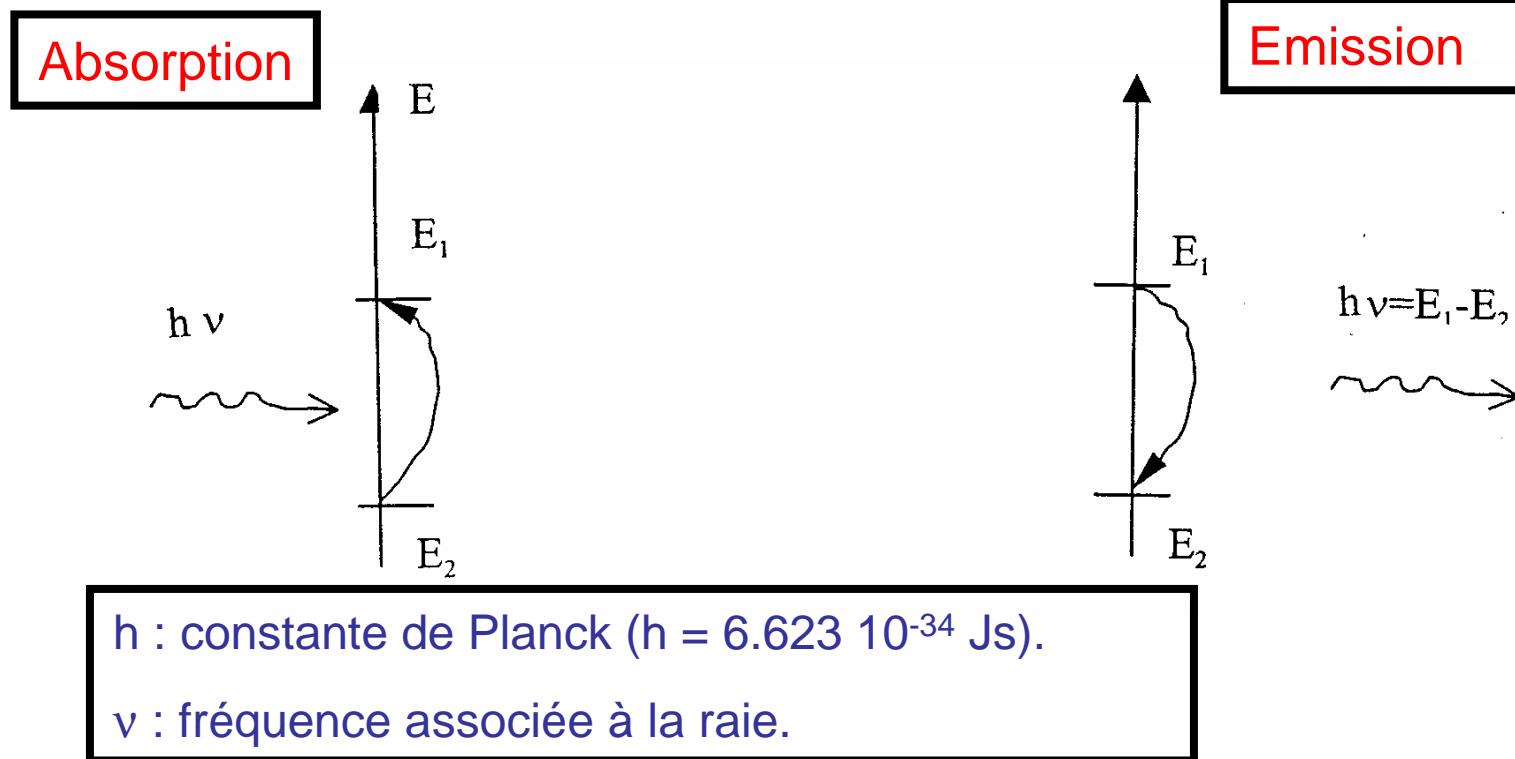
c) Il est **isotherme**, à la température imposée par l'utilisateur. Le dispositif précédent est chauffé par voie électrique et l'on note la présence d'un élément en cuivre, dont le rôle est d'uniformiser au mieux la température. Malgré cela, il peut exister des gradients

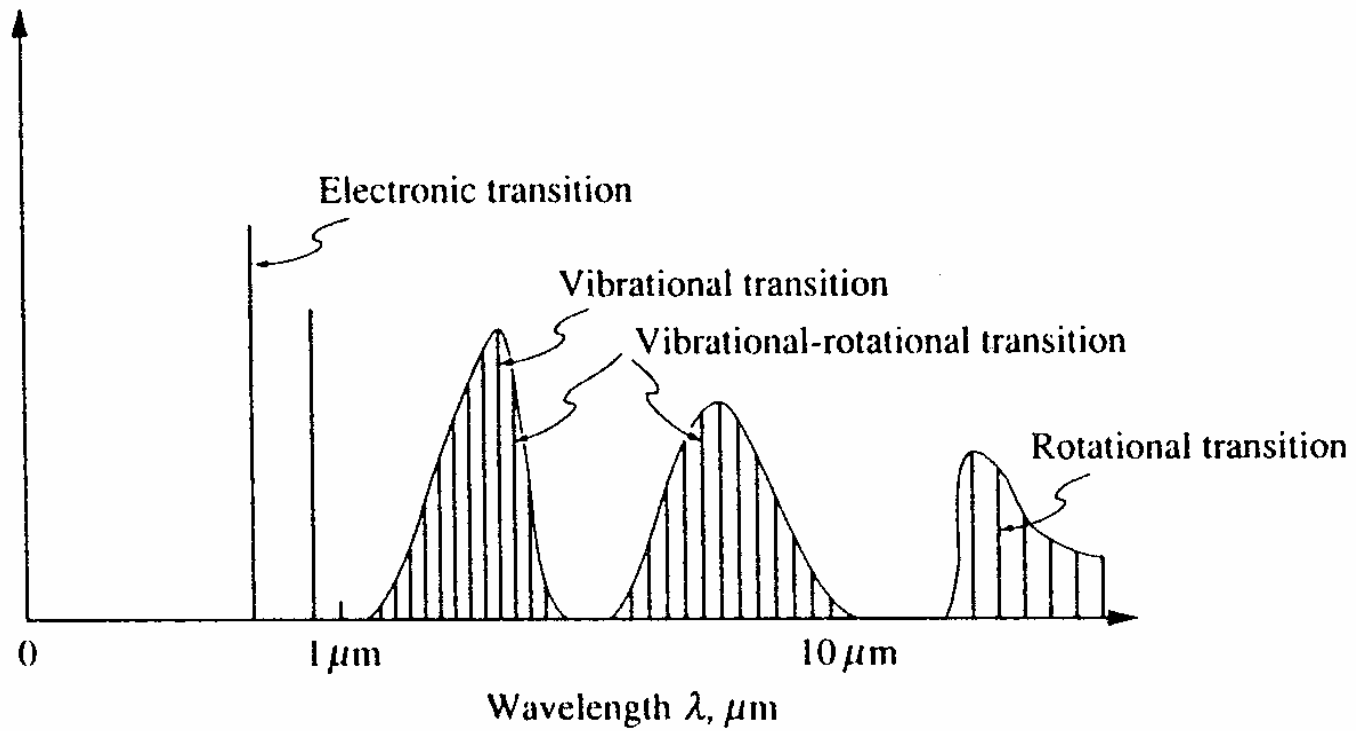
3.3 - DE L'ABSORPTION A L'EMISSION

Nous avons jusque là évoqué essentiellement les capacités d'absorption du corps noir.

Il possède également des propriétés remarquables en terme d'émission.

a) L'émission des gaz

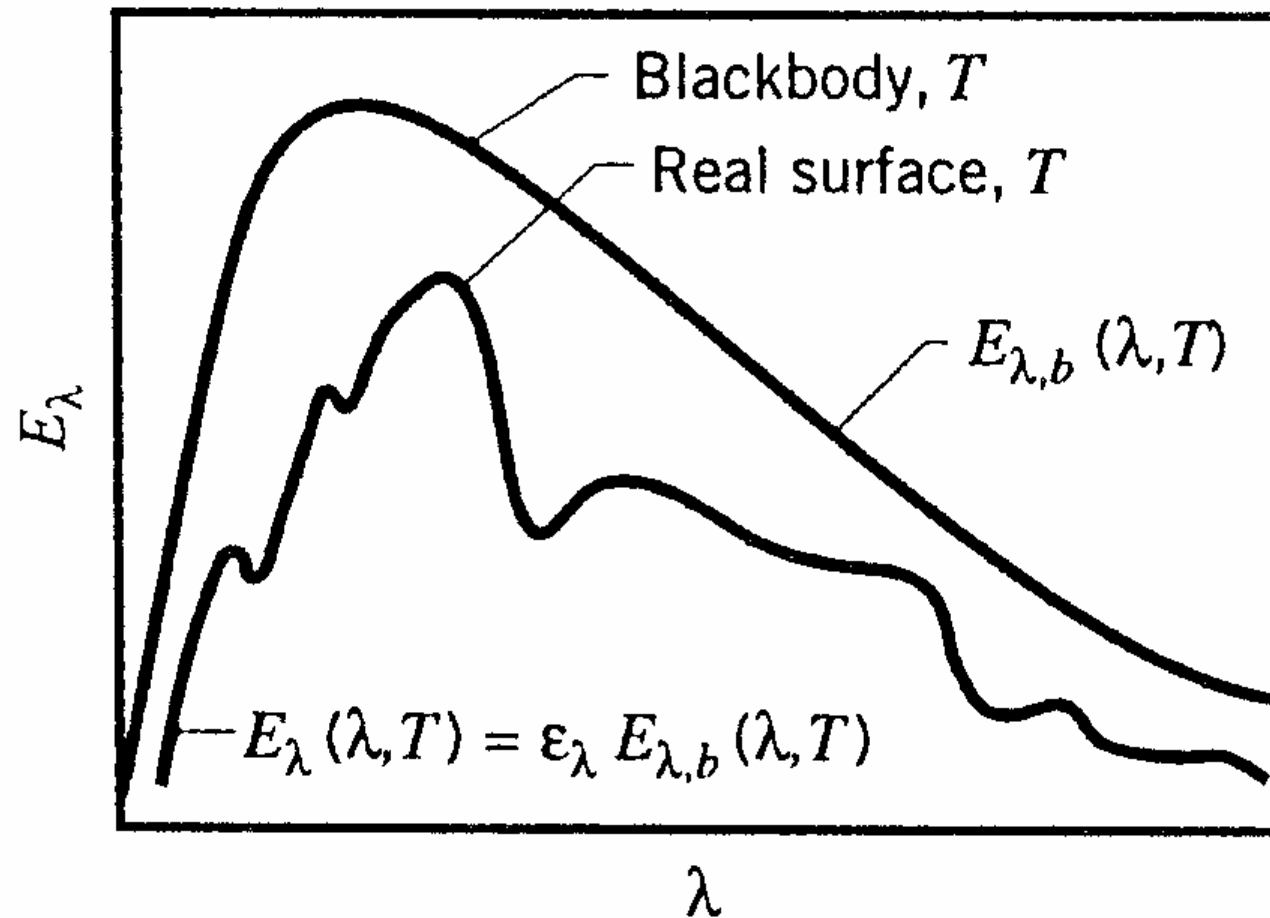




Les spectres d'émission des gaz sont composés d'une multitude de raies , groupées en bandes

b) Emission du **solide**.

Le fort couplage entre les atomes du solide fait que le spectre d'émission est continu



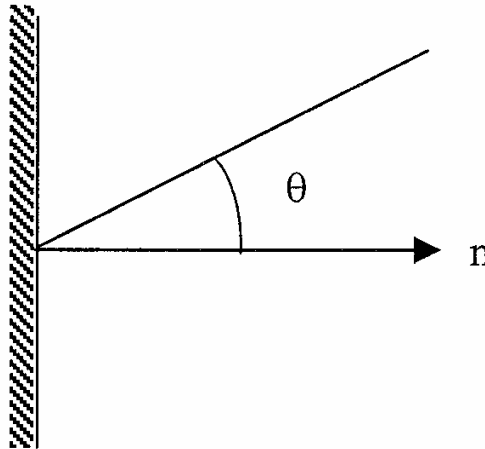
3.4 - PROPRIETES DU CORPS NOIR

- Pour toutes valeurs données de T , λ , θ (direction) le corps noir est, par rapport à un corps réel pris dans les mêmes conditions :
 - le meilleur absorbeur
 - le meilleur émetteur.
- Le rayonnement du corps noir est **isotrope**, c'est-à-dire que le flux énergétique qui se propage, dans la cavité, dans une direction donnée, est indépendante de cette direction.
- L'énergie rayonnée par le corps noir est **fonction croissante de la température**.

- Le corps noir (élément de la cavité, trou orifice) obéit à la **loi de LAMBERT**: la luminance locale est indépendante de la direction d'émission (repérée par un angle θ).

$$L_{\lambda}(\lambda, \theta, T) \equiv L_{\lambda}^0 \equiv L_{\lambda}^0(\lambda, T)$$

indépendant de θ .



Remarque :

Cette indépendance est vraie à l'échelle monochromatique comme à l'échelle totale.

La luminance du corps noir est notée avec l'**indice supérieur 0** : L^0 .

En toute rigueur, nous la noterons $L_{\lambda, T}^0(\lambda, T)$, mais aussi, lorsqu'il n'y a pas ambiguïté $L_{\lambda, T}^0$ voire L_{λ}^0

3.5 - LA DENSITE D'ENERGIE DU CORPS NOIR

La densité **volumique spectrale (en fréquence)** d'énergie est définie par:

$$u_\nu = \frac{1}{V} \frac{dU_\nu}{d\nu}$$

Elle représente la densité volumique d'énergie du corps noir par unité de largeur de bande fréquentielle $d\nu$

V est le volume de la cavité constituant le corps noir et dU_ν est l'énergie radiative contenue dans la bande de fréquence de largeur $d\nu$.

Le cours de physique établit la loi de distribution des photons , sachant qu'ils obéissent à la statistique de Bose . Il en déduit alors que la densité volumique spectrale en fréquence s'écrit

$$u_\nu = \frac{1}{V} \frac{dU_\nu}{d\nu} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp \frac{h\nu}{kT} - 1}$$

Le cours de physique établit la loi de distribution des photons , sachant qu'ils obéissent à la statistique de Bose . Il en déduit alors que la densité volumique spectrale en fréquence s'écrit

$$u_\nu = \frac{1}{V} \frac{dU_\nu}{d\nu} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp \frac{h\nu}{kT} - 1}$$

3.6 - LE RAYONNEMENT DU CORPS NOIR ET LA THEORIE DES QUANTA : LA LOI DE PLANCK.

Nous nous appuierons sur les résultats précédents, auxquels s'ajoutent le fait que l'on peut également montrer que :

$$u_\nu = \frac{4\pi L_\nu^0}{c_0}$$

où c_0 est la vitesse de la lumière

Il vient alors :

$$L_\nu^0 = \frac{2h}{c^2} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$L_{\nu}^o = \frac{2h}{c^2} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Enfin, compte tenu de ce que : $L_{\lambda}^0 d\lambda = L_{\nu}^0 d\nu$, l'expression correspondante à l'égard des longueurs d'ondes s'écrit:

$$L_{\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \text{ en } W / m^3 sr$$

avec

$$C_1 = 2hc_0^2 = 1.1910^{-16} Wm^2$$

$$C_2 = hc_0 / k = 14400 \mu K$$

Cette dernière expression constitue la loi de Planck

h , constante de Planck

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

c_0 , vitesse de la lumière dans le vide

$$c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

k , constante de Boltzmann

$$k = R / N = 1.38 \cdot 10^{-23}$$

R constante des gaz parfaits

$$R = 8.32 \text{ J/K}$$

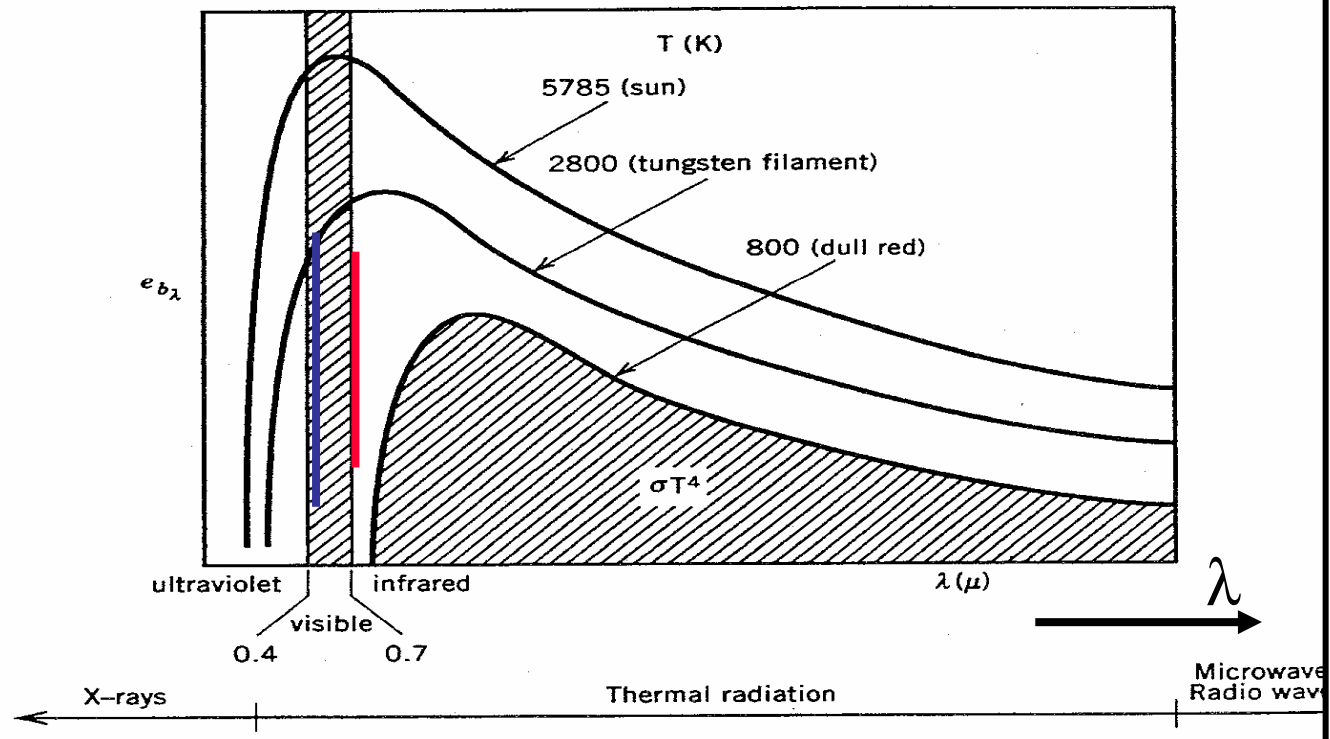
N Nombre d'Avogadro

$$N = 6.02 \cdot 10^{23}$$

$$C_1 = 2hc_0^2 = 1.19 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$C_2 = hc_0 / k = 14400 \mu\text{K}$$

10 THE NATURE OF THERMAL RADIATION



Allure de la fonction de Planck

3.7 RAYONNEMENT DU CORPS NOIR DANS UN MILIEU D'INDICE QUELCONQUE

Que retenir?

L'indice de réfraction du milieu , n , chiffre le quotient de la vitesse de la lumière dans le vide, c_0 à la vitesse de la lumière c' dans le milieu: $n = c_0 / c'$.

Il en découle que la longueur d'onde λ' dans le milieu est divisée par n : $\lambda' = \lambda_0 / n$.

La densité spectrale est proportionnelle à $c' \lambda'^{-5}$

Donc la luminance monochromatique est proportionnelle à:

$$\left(\frac{c_0}{n} \right)^2 \left(\frac{\lambda_0}{n} \right)^{-5} = c_0^2 \lambda_0^{-5} n^3$$

La luminance devient donc:

$$L_{\lambda',T}^0 = n^3 L_{\lambda,T}^0$$