

## Définitions

**La photométrie** est la science qui étudie le rayonnement lumineux tel qu'il est ressenti par la vision humaine.

Photo va se reporter à la lumière.

Métrie à des mesures.

**La spectrométrie** est l'étude expérimentale du spectre d'un phénomène physique, c'est-à-dire de sa décomposition sur une échelle d'énergie : fréquence, longueur d'onde, etc. Aujourd'hui, ce principe est décliné en une multitude de techniques spécialisées qui trouvent des applications dans quasiment tous les domaines de la physique: astronomie, biophysique, chimie, physique atomique, physique nucléaire, physique du solide, mécanique, acoustique, etc. On analyse par spectroscopie non seulement la lumière visible, mais aussi le rayonnement électromagnétique dans toutes les gammes de fréquence, les ondes élastiques comme le son.

De point de vue physique, la lumière est caractérisée par :

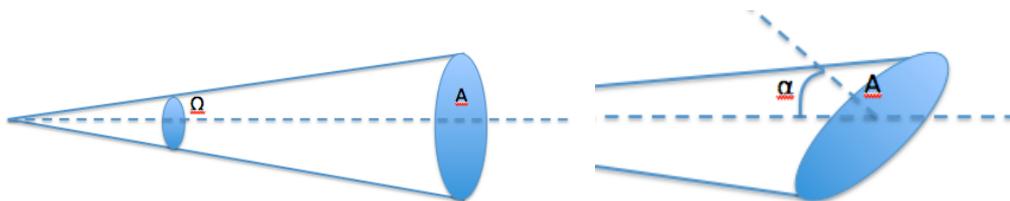
- Sa composition spectrale.
- L'énergie qu'elle transporte.

## I-Grandeurs photométriques :

### I.1. Flux lumineux et éclairement :

#### I.1.1. l'angle solide :

On considère un faisceau de lumière émise par une source suffisamment petite pour être considérée comme ponctuelle. Ce faisceau est caractérisé par l'angle solide  $\Omega$ . Lorsqu'il tombe sur un objet il éclaire une surface  $S$  (aire) de l'objet.



L'angle solide  $\Omega$  : unité stéradian (sr).

#### I.1.1. Le flux lumineux $\Phi$ :

Le flux lumineux est une grandeur intrinsèque à la source ou bien est la quantité de lumière émise (par la source), transportée (par le faisceau) ou reçue (par l'objet) par seconde.

L'unité de  $\Phi$  est le **lumen** (*lm*).

### I.1. 2. Intensité d'un faisceau lumineux dans une direction donnée $\Delta$ :

C'est Le flux transporté par unité d'angle solide est noté :

$$i = \frac{\phi}{\Omega} \quad \text{Avec } \Omega = \frac{S \cos \alpha}{d^2}$$

$i$  en candela (cd).

Pour une sphère :  $\Omega = 4\pi$

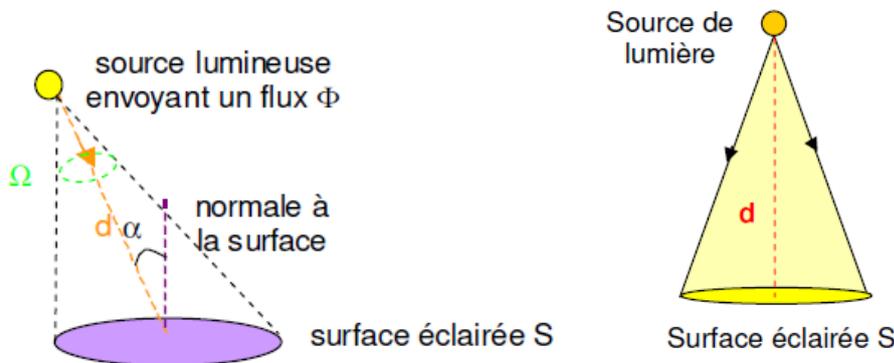
$S$  : en  $m^2$

$d$  : distance entre la source et la surface en m

$\alpha$  : angle entre la direction d'émission et la normale à la surface éclairée

L'unité de l'intensité est **Candéla (cd)** correspond à. ( $lm. sr^{-1}$ ).

Exemple : Une bougie ordinaire a une intensité lumineuse de 1cd.



### I.1. 3. Eclairement en un point d'un objet

Éclairement  $E$ . C'est le flux reçu par unité de surface éclairée.

Si  $S$  est suffisamment petite pour que l'éclairement soit *uniforme* en tout point de cette surface, alors l'éclairement en chaque point de  $S$  est :

➤  $E = \frac{\phi}{S} = \frac{i}{d^2}$  si l'axe du faisceau est perpendiculaire à  $S$ .

➤  $E = \frac{\phi \cos \alpha}{S} = \frac{i \cos \alpha}{d^2}$  si l'axe du faisceau fait avec la perpendiculaire de  $S$  un angle  $\alpha$ .

Il s'exprime en **lux (lx)** correspond à ( $lm. m^{-2}$ ).

Remarque : Si la source est étendue (ciel)  $E = \sum E_i$  : la somme des sources ponctuelles.

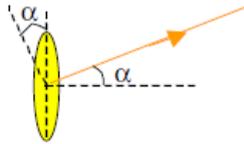
### I.1. 4. LA LUMINANCE $L$ :

La luminance est l'intensité lumineuse envoyée par une surface :

➤  $L = \frac{i}{S}$  si l'axe du faisceau est perpendiculaire à  $S$ .

$L = \frac{i}{S \cos \alpha}$  si l'axe du faisceau fait avec la perpendiculaire de  $S$  un angle  $\alpha$ .

Il s'exprime en (**cd.m<sup>2</sup>**).



source lumineuse de surface S et d'intensité I  
surface apparente dans une direction  $\alpha$

### I.1. 5. L'EFFICACITE LUMINEUSE D'UNE SOURCE DE LUMIERE :

C'est le rapport du flux lumineux au flux énergétique :

$$K = \frac{\Phi}{P}$$

$\Phi$  en **lumen** (lm), P en Watt (W) : flux énergétique (rayonné) .

Exemple : Dans le cas d'une lampe à filament de tungstène qui consomme une puissance électrique de 100W, le flux lumineux dans le domaine du visible n'est que de 1380lm, On dit qu'une telle lampe a une efficacité de 13,8 lm/W.

## II. Nature de la lumière :

- plusieurs propriétés de la lumière (propagation, réfraction, réflexion, diffraction et interférences) peuvent s'expliquer en considérons la lumière comme **onde**.

- D'autres phénomènes qui impliquent l'interaction entre la lumière et la matière ne peuvent s'expliquer que si on suppose que la lumière se comporte comme **un faisceau de particules**.

-Niels Bhor comprit en 1927 que la lumière est à la fois **onde et particule**.

### Propriétés:

La lumière possède les propriétés usuelles d'une onde électromagnétique, avec le champ électrique. L'amplitude des deux champs varie comme une sinusoïde.

Les propriétés de cette onde sont :

- La fréquence :  $\nu = \frac{1}{T}$  ;  
T : période en second ;  $\nu$  en hertz.
- La longueur d'onde :  $\lambda = C.T$   
C : la vitesse de propagation de lumière dans le vide ( $c = 3. 10^8$  m/s).
- La polarisation : c'est la façon dont évolue la direction du champ électrique au cour de la propagation, elle peut être linéaire, circulaire ou aléatoire.

### III-Interaction matière-rayonnement

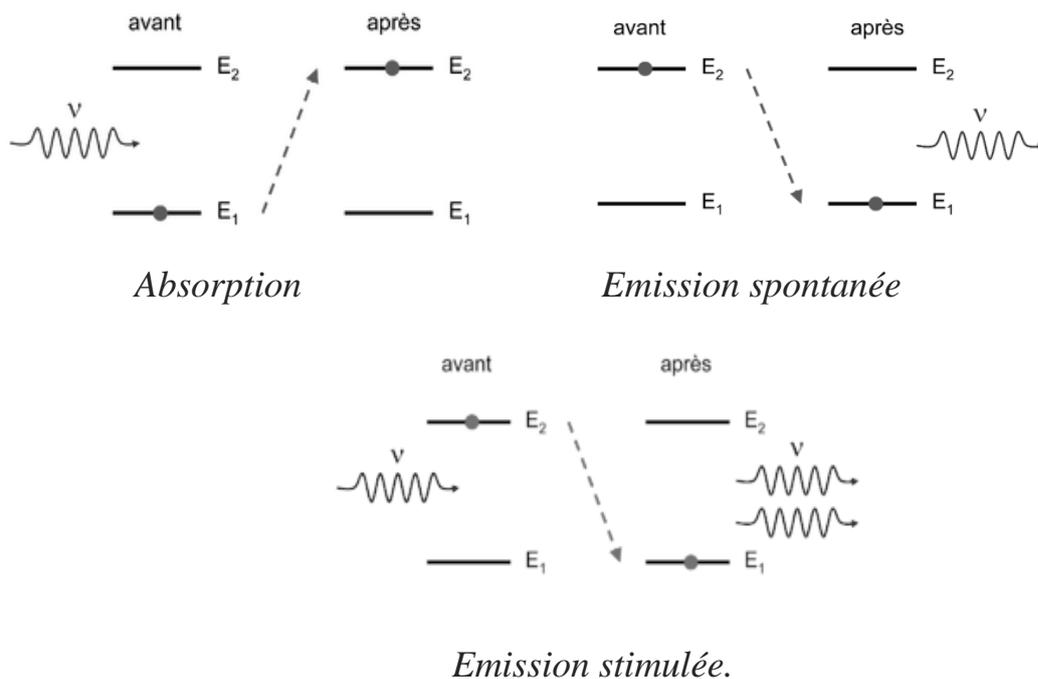
**III.1.Transitions radiatives dans un semi-conducteur :** A la température ambiante (300 K), la plupart des atomes sont à l'état de base.

-Cette situation est perturbée lorsqu'un photon d'énergie supérieur ou égale à la différence d'énergie de la bande interdite du matériau ( $\Delta E = E_2 - E_1 = E_c - E_v$ ) arrive sur l'atome et le fait passer à l'état excité (c.à.d. l'électron passe de  $E_1$  (état fondamental d'énergie basse) vers  $E_2$  (énergie supérieur) après absorption du photon).La transition ne peut se faire «qu'en un coup», c'est à dire qu'avec un seul photon en même temps. Ce processus est appelé « **Absorption** ».

-L'état excité de l'atome est instable et après un temps court et sans stimulant externe l'atome retourne à son état de base c.à.d. que l'électron fait la transition de  $E_2$  vers  $E_1$  (se désexciter) en émettant un photon d'énergie lumineuse  $\Delta E = E_2 - E_1$ . Le temps moyen de l'état excité varie considérablement entre  $10^{-9}$  et  $10^{-3}$  s. cette émission se fait spontanément, sans intervention extérieure sur l'atome et le photon est émis selon une direction aléatoire. Ce processus est appelé « **émission spontanée** » (émission des LED).

-Lorsque l'atome est à l'état excité et absorbe un photon d'énergie égale à la différence d'énergie de la bande interdite du matériau ( $\Delta E = E_2 - E_1 = E_c - E_v$ ), il est immédiatement stimulé pour faire la transition à l'état fondamental d'énergie plus faible en émettant un photon en phase et en même direction de propagation avec le photon de la radiation incidente (deux photons jumeaux). Ce processus est appelé « **émission stimulée**» (émission des LASER).

Les processus de l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée sont représentés par le diagramme d'état d'énergie suivant :



### III.2. Energie d'un photon

L'énergie d'un atome est quantifiée c.à.d. qu'il peut atteindre que certains niveaux d'énergie qui diffèrent suivant les atomes.

L'énergie  $E$  (en Joule) d'un photon est donnée par la relation de Planck :

$$E = h \nu = h.c/\lambda = E_c - E_v = E_g$$

$E_g$  : énergie du gap qui est la différence entre le niveau supérieur et le niveau fondamental,

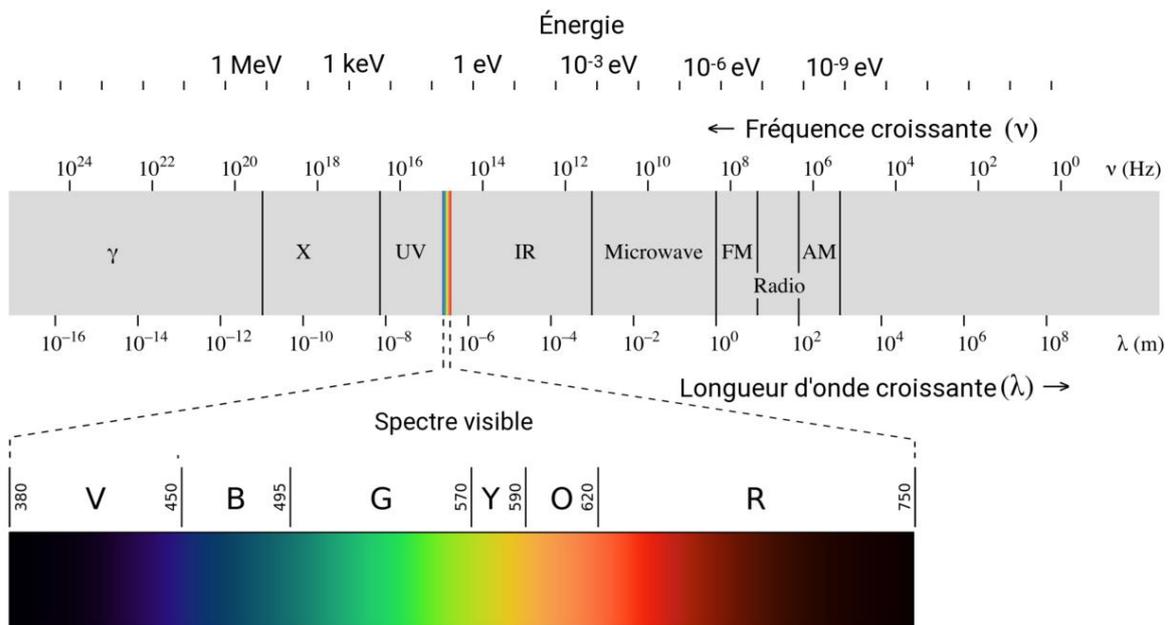
$h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s : constante de Planck ;

$c = 3 \times 10^8$  m/s : vitesse de la lumière dans le vide ;

$\nu$  (en Hz) : fréquence du photon

$\lambda$  (en m) : longueur d'onde du photon.

$E_g$  (eV) avec  $1 \text{ (eV)} = 1,6 \times 10^{-19}$  J. Cette relation permet de choisir le matériau pour émettre la longueur d'onde voulue.



Le spectre électromagnétique

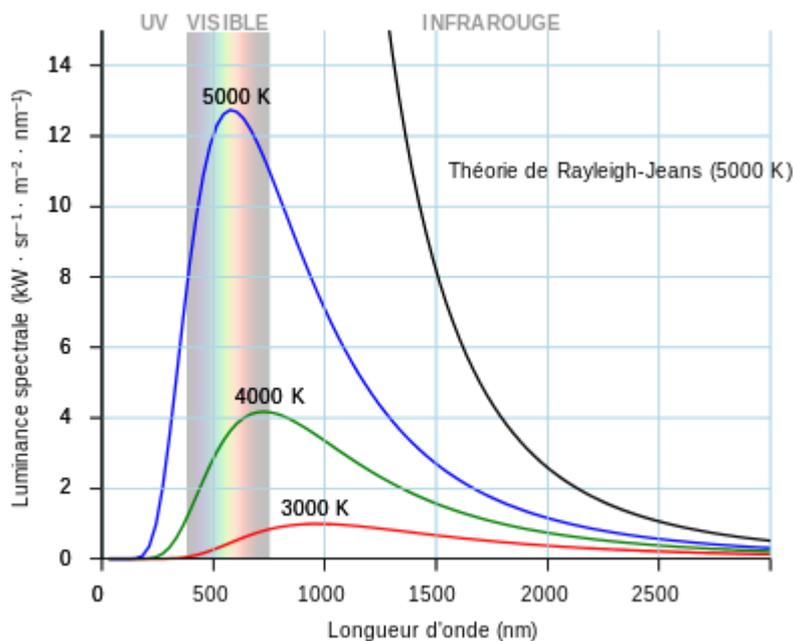
## VI. Le Corps noir

### VI.1. Définition :

En physique, un **corps noir** désigne un objet idéal qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique.

La qualification de « noir » vient donc de ce que la lumière visible est entièrement absorbée. Cependant, si la température du corps est suffisamment élevée, son rayonnement émis atteint le spectre de la lumière visible et il peut être visible à notre œil.

- L'évolution de la couleur d'un corps noir lorsque sa température augmente :  
Noir-rouge- orange- jaune-blanc-blanc bleuté.
- à  $T=600\text{K}$  le corps noir a un maximum d'énergie émis dans le bleu :
- Si on diminue  $T$  du corps noir il devient de moins en moins émetteur de radiation lumineuse, et sa courbe de luminance diminue jusqu'à le corps noir apparait noir dans le visible.



Courbes de rayonnement du corps noir à différentes températures selon l'équation de Planck (courbes en couleur) comparées à une courbe établie selon la théorie classique de Rayleigh-Jeans (courbe en noir).

Toute enceinte isotherme, fermée à l'exception d'une très petite ouverture, joue le rôle d'un corps noir.

La manière de reproduire le plus fidèlement les caractéristiques d'un corps noir est de percer un trou de très petite taille dans une cavité. Ainsi, tout rayonnement

traversant cette ouverture subit de multiples diffusions sur les parois internes, maximisant la probabilité d'absorption. La surface immatérielle du trou semble totalement noire lorsque la température interne est suffisamment basse.

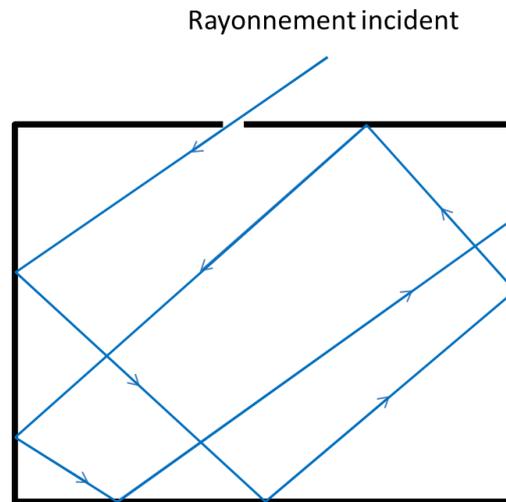


Schéma d'un corps noir.

## VI.2. Spectre du corps noir :

Un four, uniformément chauffé, constitue également un bon modèle de corps noir. C'est d'ailleurs un four qui fut utilisé par Wien pour déterminer les lois d'émission électromagnétique en fonction de la température. Les parois de l'intérieur de l'enceinte émettent un rayonnement à toutes les longueurs d'onde : théoriquement des ondes radio aux rayons X. Cette émission est due à l'agitation des atomes. En effet, la température mesure l'agitation des atomes (ceux-ci « oscillent » autour de leur position). Ce faisant, chaque atome se comporte comme un dipôle électrostatique vibrant (dipôle formé par le noyau et le nuage électronique), qui rayonne donc de l'énergie.

Chaque paroi du four émet et absorbe du rayonnement. Il y a ainsi échange d'énergie entre les parois, jusqu'à ce que l'objet atteigne l'équilibre thermique. La répartition de la quantité d'énergie émise, en fonction de la longueur d'onde, forme le spectre. Celui-ci est la signature d'un rayonnement purement thermique. On l'appelle *spectre du corps noir* et il ne dépend que de la température du four. Quand la température s'élève, le pic de la courbe de rayonnement du corps noir se déplace vers les courtes longueurs d'onde. La courbe en noir indique la prédiction de la théorie dite classique, par opposition à la théorie quantique, qui seule prédit la forme correcte des courbes effectivement observées.

### VI.3. Les lois de rayonnement du corps noir :

#### 1. La Loi du déplacement de Wien :

La loi de Wien décrit la relation liant la longueur d'onde  $\lambda_{max}$  correspondant au pic d'émission lumineux au corps noir et la température absolue T.

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

Donc si T augmente,  $\lambda$  va vers les basses longueurs d'onde.

#### 2. La Loi de STEFAN :

La loi de STEFAN la relation entre le rayonnement thermique et la température d'un objet considéré comme corps noir.

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

$\Phi$  : le flux thermique (Watt).

$\sigma$  :  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  la constante de STEFAN.

S : surface rayonnée ( $\text{m}^2$ ).

T : température(K).

Donc  $\Phi \propto T^4$ , plus T augmente plus  $\Phi$  augmente.

#### 3. La Loi de Beer Lambert :

La loi de Beer-Lambert établit une proportionnalité entre la concentration d'une entité chimique et la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le milieu considéré. Le coefficient de proportionnalité est l'absorbance ou le coefficient d'absorption de celle-ci.

Lorsqu'une lumière d'intensité  $I_0$  passe à travers une solution, une partie de celle-ci est absorbée.

L'intensité I de la lumière est donc inférieure à  $I_0$ .

On définit l'absorbance **A** de la solution par :

$$A = \text{Log} \frac{I_0}{I}$$

On parle de la **transmittance T** :  $T = \frac{I}{I_0}$  donc  $A = -\text{Log}T$

T : sans dimension.

La relation de Beer Lambert : décrit que à une longueur d'onde  $\lambda$  donnée ; l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration et la longueur de trajet optique.

$$A_\lambda = \epsilon_\lambda \cdot l \cdot C$$

$A_\lambda$  : absorbance pour une longueur d'onde  $\lambda$  (sans unité).

C : concentration ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

$\epsilon_\lambda$  : Le coefficient d'extinction molaire ( $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

l : longueur de trajet optique (cm).