

Grandeurs énergétique

II.1 Classification des grandeurs énergétique

Les grandeurs énergétiques caractérisant le rayonnement dépendent de :

1. **La longueur d'onde** : une source émet-elle la même quantité d'énergie lorsque la longueur d'onde varie ?
2. **La direction de propagation** : une source émet-elle la même quantité d'énergie lorsque la direction de propagation varie ?

Ces deux paramètres conduisent à définir les grandeurs selon :

1. **La composition spectrale (longueur d'onde)** : on distingue alors
 - Des grandeurs énergétiques totales : pour lesquelles toutes les longueurs d'ondes sont prise en compte pour l'évaluation de la grandeur.
 - Les grandeurs énergétiques monochromatiques : nommées également densités spectrales qui ne concernent qu'un intervalle spectral étroit $d\lambda$ centré autour d'une longueur d'onde λ . La densité spectrale G_λ de la grandeur G est défini par :

$$G_\lambda(\lambda) = \frac{dG(\lambda)}{d\lambda}$$

2. **La distribution spatiale** : direction de propagation par rapport à la normale de la surface émettrice. On distingue deux types de source :
 - Les sources sphériques : pour lesquelles tout rayon issu de la source est confondu avec la normale de la surface d'émission de la source. Un petit élément de surface de la source n'émet que dans une direction, la direction normale.

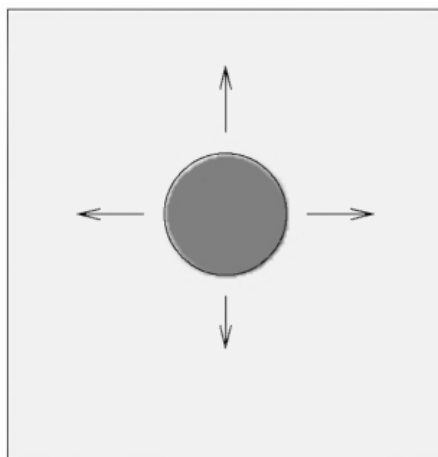


Figure II.1 : Source sphérique

- Les sources hémisphériques : pour ces sources non sphériques, un petit élément de surface du corps émetteur peut être considéré comme plan. Un petit élément de surface admet une direction normale, perpendiculaire au plan tangent.

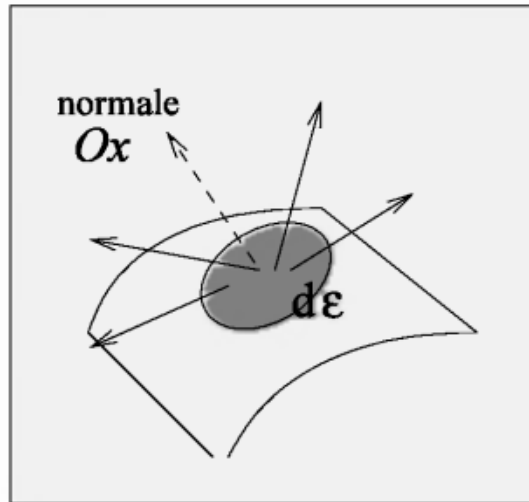


Figure II.2 : source hémisphérique

- *Les sources hémisphériques directionnelles* : le rayonnement est contenu dans un cône de révolution de petite ouverture, la direction de propagation étant confondue avec l'axe de révolution du cône. On les différencie des sources hémisphériques en par un indice Ox (ex : G_{Ox}).

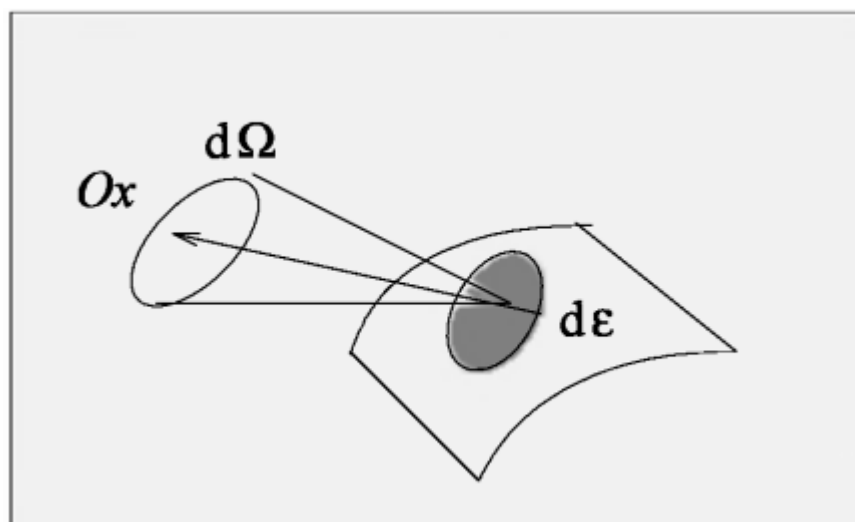


Figure II.3 : Source directionnelle

II.2 Définition des grandeurs énergétiques

a. Flux énergétique : abréviation ϕ , c'est la puissance émise par une source dans tout l'espace où elle peut rayonner.

L'unité SI du flux énergétique est le watt (W). Une puissance peut être exprimée en termes d'énergie par unité de temps, soit, toujours en unités SI, en joules par seconde ($J \cdot s^{-1}$ ou J/s).

Le flux spectral est une distribution statistique du flux relative à un intervalle du spectre mesuré par la quantité (fréquence, longueur d'onde, nombre d'onde, énergie, etc.). L'unité correspondante est alors $Wmes^{-1}$. Sa valeur numérique est dépendante du choix de mes .

Le flux énergétique peut être mesuré par calorimétrie en utilisant un radiomètre ou un bolomètre, en réduisant l'énergie électromagnétique en chaleur. La mesure du flux spectral nécessite l'usage d'un spectroradiomètre

b. Emittance : abréviation M , unité [Wm^{-2}], L'**exitance** ou **émittance** est une grandeur utilisée en photométrie et en radiométrie. Elle désigne le flux (lumineux en photométrie et énergétique en radiométrie) émis par unité de surface d'une source étendue.

considérons un élément de la surface émettrice $d\varepsilon$ émettant un flux élémentaire $d\phi$. L'émittance est le rapport du flux émis par l'élément de surface $d\varepsilon$ dans toutes les directions par l'élément de surface.

- L'exitance est le module de la projection de la densité de flux sur la normale \vec{n} à une surface Σ donnée :

$$M = \vec{F} \cdot \vec{n}$$

- Le flux énergétique est le flux compté au travers d'une surface $\Sigma(\vec{r})$ orientée par sa normale $\vec{n}(\vec{r})$:

$$\phi = \int_{\Sigma} M(\vec{r}) d\Sigma = \int_{\Sigma} \vec{F} \cdot \vec{n}(\vec{r}) dS$$

$$M = \frac{d\phi}{d\varepsilon} [Wm^{-2}]$$

L'émittance énergétique totale est une grandeur qui permet de comparer les densités de puissance émises par des sources d'étendues différentes.

c. Luminance : abréviation L_{Ox} , unité $[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$, la luminance c'est la puissance par unité de surface du rayonnement passant ou étant émis en un point d'une surface. Elle est une distribution angulaire dépendante en général de la position dans l'espace et du temps. Conformément à la définition d'une distribution il s'agit d'une quantité scalaire. Considérons un élément de la surface émettrice $d\varepsilon$ et soit la direction Ox définie par l'angle θ par rapport à la normale de la surface $d\varepsilon$.

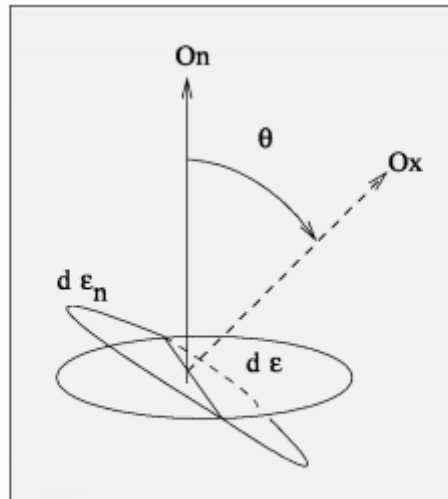


FIG. 2.4 – Surface de luminance

Soit $d^2\phi$ la fraction de flux contenue dans le cône élémentaire d'angle solide $d\Omega$ et de direction Ox . Le flux émis dans la direction Ox semble provenir d'un élément de surface $d\varepsilon_n$ perpendiculaire à la direction Ox . Par définition, on appelle luminance le flux rayonné par unité d'angle solide et par unité de surface perpendiculaire à Ox :

$$L_{Ox} = \frac{d^2\phi_{Ox}}{d\varepsilon_n d\Omega} = \frac{d^2\phi_{Ox}}{d\varepsilon \cos \theta d\Omega}$$

La luminance permet donc de comparer la puissance de rayonnée dans une direction donnée par des sources étendues et d'orientation différentes par rapport à Ox ainsi que les puissances rayonnée par une même source dans différentes directions.

d. Intensité abréviation I , unité $[W \cdot sr^{-1}]$

Soit une direction Ox qui fait un angle θ avec la normale N à la surface d'un corps émissif. Si $d\phi_{Ox}$ est la fraction de flux rayonnée dans l'angle solide $d\Omega$ élémentaire on appelle intensité énergétique totale d'une source dans la direction Ox le flux rayonné par unité d'angle solide dans cette direction. Elle s'exprime en Watt par stéradian.

$$I_{Ox} = \frac{d\phi_{Ox}}{d\Omega}$$

Remarque :

- La notion de luminance ne peut s'appliquer aux sources ponctuelles ($d\varepsilon = 0$), pour lesquelles n'existe que la notion d'intensité.
- Relation entre la luminance et l'intensité.

Pour une source étendue on a :

$$L_{Ox} = \frac{d^2\phi_{Ox}}{d\varepsilon_n d\Omega} = \frac{d(d\phi_{Ox})}{d\Omega d\varepsilon \cos(\theta)} = \frac{d}{d\varepsilon} \frac{d\phi_{Ox}}{d\Omega} \frac{1}{\cos(\theta)} = \frac{dI_{Ox}}{d\varepsilon \cos(\theta)}$$

II.3 Loi de Lambert

Les sources dont la luminance est indépendante de la direction obéissent à la loi de Lambert. Ce type de sources ne permet pas de distinguer le relief d'une surface par variation du contraste. Par exemple, une sphère apparaît comme un disque. Ces sources sont dites à émission diffuse ou isotrope.

II.3.1 Loi de cosinus

Montrons que dans le cas d'une source suivant la loi de Lambert on a :

$$I_{Ox} = I_{On} \cos(\theta)$$

Démonstration :

$$\text{On a : } L = L_{Ox} = \frac{dI_{Ox}}{d\varepsilon \cos(\theta)} = \frac{dI_{On}}{d\varepsilon}$$

$$\text{Soit : } dI_{Ox} = dI_{On} \cos(\theta)$$

$$\text{Soit : } I_{Ox} = I_{On} \cos(\theta)$$

II.3.2 Enoncé de la loi de Lambert

La quantité d'énergie émise à partir d'un élément de surface dans une direction déterminée est proportionnelle au cosinus que fait cette direction avec la normale à la surface. La loi de Lambert est également appelée loi de cosinus.

II.3.3 Représentation de l'intensité en polaire : indicatrice d'une source de Lambert

Pour une source suivant la loi Lambert nous allons montrer, que l'indicatrice de l'intensité est un cercle.

Dessignons en représentation cartésienne l'intensité $I_{Ox} = I_{On} \cos(\theta)$ faisant un angle θ avec la normale :

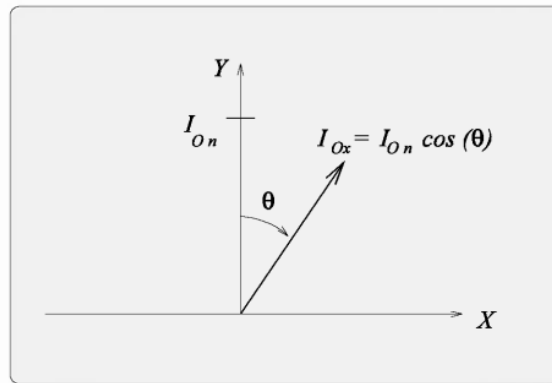


FIG. 2.5 – Représentation polaire de l'intensité

Montrons que lorsque l'angle θ varie entre $-\frac{\pi}{2}$ et $\frac{\pi}{2}$ l'extrémité de l'intensité décrit un cercle :

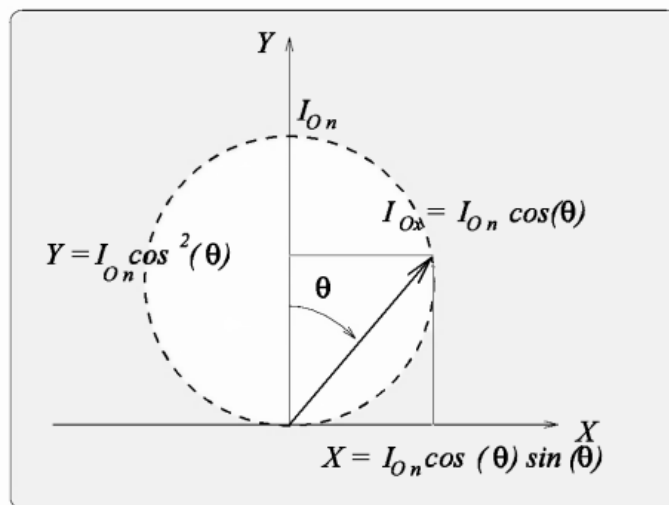


FIG. 2.6 – Indicatrice d'une source de Lambert

Les coordonnées du centre du cercle sont :

$$X_0 = 0 \text{ et } Y_0 = \frac{I_{On}}{2}$$

Et l'on a :

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 = (I_{0n} \cos \theta \sin \theta)^2 + (I_{0n} \cos^2 \theta - \frac{I_{0n}}{2})^2 = \frac{I_{0n}^2}{4} = C^{te}$$

L'indicatrice est donc un cercle de rayon $\frac{I_{0n}}{2}$ et de centre $X_0 = 0$ et $Y_0 = \frac{I_{0n}}{2}$.

Dans les autres cas l'indicatrice est une figure quelconque.

Les grandeurs énergétiques associées au rayonnement que nous venons de décrire sont également utilisées par les opticiens. Elles expriment les mêmes grandeurs physiques, mais utilisent des unités différentes. Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre les unités.

Grandeur	Nom	unités MKSA	unités (optique)
Φ	<i>Flux</i>	<i>W</i>	<i>lumens</i>
$M = \frac{d\Phi}{d\epsilon}$	<i>Emittance</i>	<i>W . m⁻²</i>	<i>lux</i>
$L = \frac{d^2\Phi_{Ox}}{d\epsilon \cos(\theta) d\Omega}$	<i>Luminance</i>	<i>W . m⁻² . sr⁻¹</i>	<i>candelas . m⁻²</i>
$I_{Ox} = \frac{d\Phi_{Ox}}{d\Omega}$	<i>Intensité</i>	<i>W . sr⁻¹</i>	<i>candelas</i>

FIG. 2.7 – Unités thermiques et optiques