



## Fiche de synthèse n°6.b

# Rayonnement et grandeurs photométriques

## 1. Grandeurs énergétiques et grandeurs photométriques

Toute onde transporte de l'énergie, c'est donc aussi le cas des ondes électromagnétiques. Mais puisque l'œil est sensible à certaines des ondes électromagnétiques (celles appartenant au domaine visible) il nous faut distinguer deux types de grandeurs caractérisant ces ondes :

- les grandeurs énergétiques (aussi appelées grandeurs radiométriques) : énergie, puissance, éclairement énergétique ; elles caractérisent l'onde et/ou la surface éclairée indépendamment du récepteur (donc de l'œil) ;
- les grandeurs photométriques, tenant compte de la sensibilité de l'œil.

**Par exemple** : un rayonnement X peut transporter une puissance très élevée, les grandeurs énergétiques qui lui sont associées sont donc élevées. Mais comme elle n'est pas visible par l'œil, les grandeurs photométriques sont nulles.

## 2. Les grandeurs ÉNERGÉTIQUES associées aux rayonnements électromagnétiques

### 2.1. Rappel : puissance d'un transfert d'énergie

Toutes les ondes transportent de l'énergie. C'est notamment le cas des ondes électromagnétiques : on parle alors de **transfert d'énergie par rayonnement**. Cette énergie transférée, comme toutes les énergies, s'exprime en J.

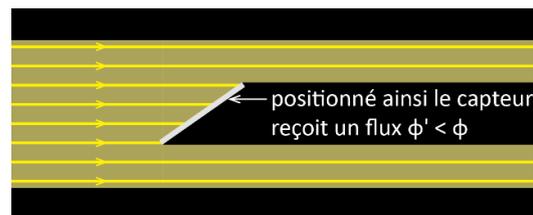
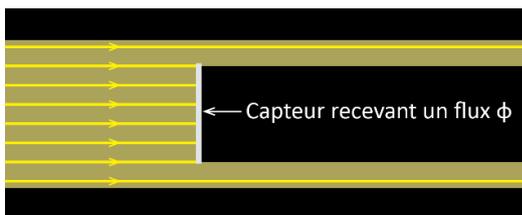
La **puissance d'un transfert** est une énergie par unité de temps. Toute puissance s'exprime donc en  $J \cdot s^{-1}$  ou **watt** (W).

### 2.2. Flux énergétique

Le flux énergétique  $\phi_{\text{én}}$  est la puissance reçue par rayonnement par un récepteur de surface donnée. Un flux est donc homogène à une puissance et s'exprime en watt (W).

Le flux énergétique est donc une fraction de la puissance rayonnée par la source.

Le flux énergétique dépend de la puissance rayonnée mais aussi de la taille et de la position du capteur qui le reçoit :



Le capteur représenté à droite reçoit un flux énergétique inférieur à celui de gauche.

### 2.3. Éclairement énergétique

**Définition de l'éclairement énergétique**

L'éclairement énergétique est un **flux énergétique par unité de surface**. Il s'exprime donc en  $W \cdot m^{-2}$ .

L'éclairement énergétique d'une surface vaut :

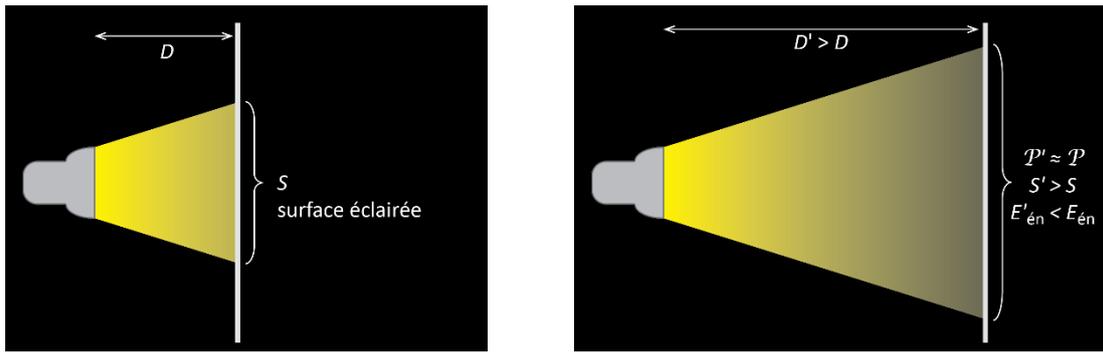
$$E_{\text{én}} = \frac{\phi_{\text{én}}}{S}$$

- $\phi_{\text{én}}$  : flux énergétique reçu (en W) ;
- $S$  : aire de la surface éclairée ( $m^2$ ) ;
- $E_{\text{én}}$  : éclairement énergétique en  $W \cdot m^{-2}$ .

**Remarque** : l'éclairement énergétique est parfois appelé « irradiance » et noté  $I$ .



Envisageons une paroi éclairée par une même source de lumière placée à deux distances différentes.



Sur la figure de droite :

- la puissance totale reçue par la paroi est n'a pas varié (si l'on néglige l'absorption par l'air) donc  $\mathcal{P}' \approx \mathcal{P}$  ;
- la surface éclairée est plus vaste :  $S' > S$  ;
- l'éclairement énergétique de la paroi est donc plus faible :

$$\frac{\mathcal{P}}{S'} < \frac{\mathcal{P}}{S}$$

$$E'_{\text{én}} < E_{\text{én}}$$

Cela indique que, dans la situation représentée à droite, la surface est « moins éclairée ».

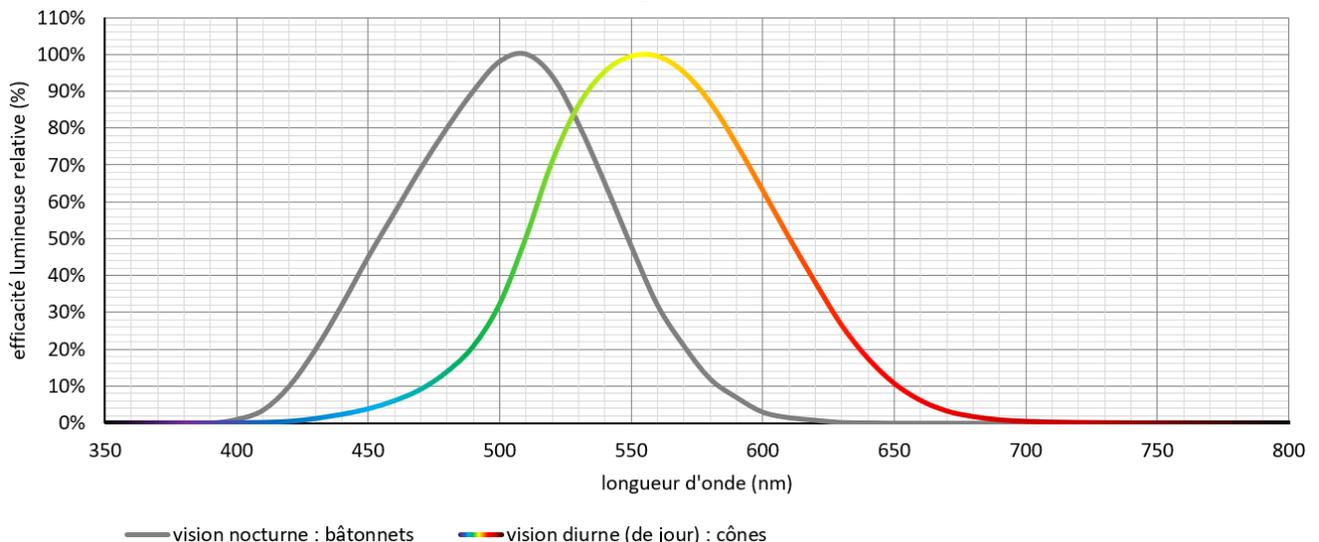
### 3. Le rôle de l'œil : grandeurs PHOTOMÉTRIQUES

#### 3.1. Vision par l'œil humain, rappels et compléments

Comme nous l'avons étudié dans la partie « Image » du cours de 1<sup>ère</sup> STL, l'œil humain possède deux types de récepteurs :

- **les bâtonnets**, sollicités en vision nocturne (très faible luminosité), très sensibles à la lumière mais qui ne permettent pas la vision des couleurs ;
- **les cônes**, sollicités en vision diurne (de jour), aussi appelée vision photopique, moins sensibles à la lumière que les bâtonnets mais permettant la vision des couleurs.

Cônes et bâtonnets ont une efficacité qui dépend de la longueur d'onde :



Ce diagramme révèle notamment que :

- de jour le maximum de sensibilité correspond à une longueur d'onde de 555 nm environ (lumière jaune) ;
- de nuit il correspond à une longueur d'onde de 510 nm (lumière verte) ;
- en dessous de 400 nm et au-delà de 700 nm, de jour comme de nuit, l'œil est insensible à la lumière (ce qui ne signifie pas qu'il ne reçoit pas d'énergie).



### 3.2. Flux lumineux et éclairage lumineux

#### Flux lumineux et flux énergétique

Le flux lumineux est une grandeur proportionnelle au flux énergétique (propriété de l'onde reçue), tenant compte de la sensibilité de l'œil. Le flux lumineux s'exprime en **lumen** (symbole lm).

Le flux lumineux vaut, par définition :

$$\phi_{\text{lum}} = \phi_{\text{en}} \times K \times V(\lambda)$$

- $\phi_{\text{lum}}$  est le flux lumineux exprimé en lumen (lm)
- $K$  est l'efficacité lumineuse maximale ; sa valeur dépend du type de récepteur sollicité :
  - $K = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  en vision diurne (de jour) par les cônes ;
  - $K = 1700 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  en vision nocturne par les bâtonnets ;
- $V(\lambda)$  est l'efficacité lumineuse relative, à lire graphiquement sur le diagramme du paragraphe 3.1.

**Exemple** : considérons un rayonnement dont le flux énergétique vaut 1W ; en vision diurne :

- si  $\lambda = 450 \text{ nm}$  (lumière bleue) :  $\phi_{\text{lum}} = 1 \times 683 \times 0,4\% = \mathbf{2,7 \text{ lm}}$  ;
- si  $\lambda = 555 \text{ nm}$  (lumière jaune) :  $\phi_{\text{lum}} = 1 \times 683 \times 100\% = \mathbf{683 \text{ lm}}$  : la sensation de luminosité est plus élevée ;
- si  $\lambda = 1000 \text{ nm}$  (infrarouge) :  $\phi_{\text{lum}} = 0$  : ce rayonnement n'est pas perçu par l'œil.

#### Éclairage lumineux

L'éclairage lumineux caractérise **une surface éclairée observée à l'œil nu**. Il vaut par définition :

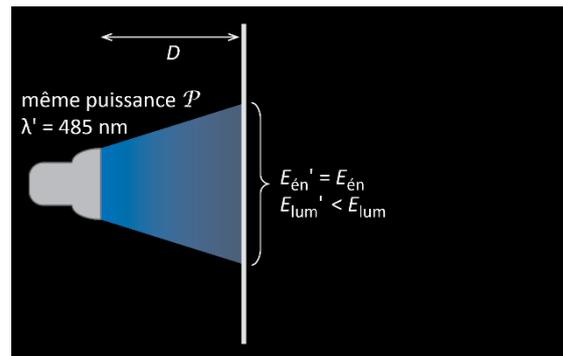
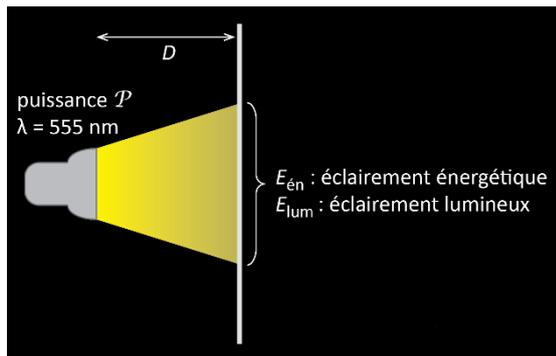
$$E_{\text{lum}} = \frac{\phi_{\text{lum}}}{S}$$

- $\phi_{\text{lum}}$  est le flux lumineux exprimé en lumen ;
- $S$  est l'aire de la surface éclairée exprimée en  $\text{m}^2$  ;
- $E_{\text{lum}}$  est l'éclairage lumineux exprimé en  $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$  ou **lux**.

**Remarque** : relation entre éclairage énergétique et éclairage lumineux :

$$E_{\text{lum}} = \frac{\phi_{\text{lum}}}{S} = \frac{\phi_{\text{en}} \times K \times V(\lambda)}{S} = E_{\text{en}} \times K \times V(\lambda)$$

Envisageons une paroi éclairée par deux sources émettant des rayonnements de longueurs d'onde différentes mais avec la même puissance  $\mathcal{P}$  et placées à la même distance :



- Les deux sources émettent avec la même puissance et sont placées à la même distance de la surface éclairée, donc l'éclairage énergétique est le même dans les deux cas, ce qui signifie que la paroi reçoit la même énergie pendant une durée donnée dans les deux cas.
- L'œil est plus sensible à la lumière jaune qu'à la lumière bleue, l'éclairage lumineux est donc plus faible avec la lampe bleue : la surface éclairée en bleu semble « moins éclairée » bien que recevant la même énergie.

## À retenir sur les grandeurs énergétiques et photométriques

$\times K \times V(\lambda)$ propriétés de l'œil	
Grandeurs ÉNERGÉTIQUES	Grandeurs PHOTOMÉTRIQUES
<b>Flux énergétique <math>\phi_{\text{én}}</math></b> → exprimé en W → caractérise le rayonnement reçu par une surface donnée	<b>Flux lumineux <math>\phi_{\text{lum}}</math></b> → exprimé en <b>lumen</b> → caractérise le rayonnement <b>et sa perception par l'œil</b>
<b>Éclairement énergétique</b> $E_{\text{én}} = \frac{\phi_{\text{én}}}{S}$ → exprimé en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ → caractérise une surface éclairée	<b>Éclairement lumineux</b> $E_{\text{lum}} = \frac{\phi_{\text{lum}}}{S}$ → exprimé en <b>lux</b> → caractérise <b>la sensation de luminosité</b> que l'on a en observant la surface éclairée à l'œil nu

## 4. À propos de la lumière laser

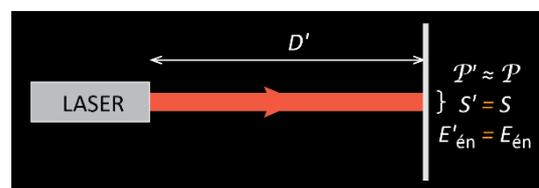
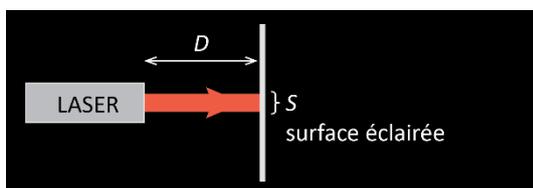
### 4.1. Propriétés de la lumière laser

Un LASER (acronyme issu de l'anglais « light amplification by stimulated emission of radiation » qui signifie « amplification de la lumière par émission stimulée de radiation ») est une source de lumière qui, dans l'idéal, génère un faisceau :

- monochromatique (constitué d'ondes électromagnétiques de longueur d'onde unique) ;
- directif (le faisceau est cylindrique : il ne diverge pas) ;
- assurant un éclairage élevé : le faisceau est très mince donc, même à faible flux, la section du faisceau produit est tellement faible (usuellement quelques  $\text{mm}^2$ ) que l'éclairement énergétique est élevé, donc provoque une forte sensation de luminosité.

### 4.2. Éclairement et distance

Puisque le faisceau de lumière produit par le laser est quasi-cylindrique, sa section est d'aire quasi-constante donc l'éclairement (énergétique ou lumineux) de la surface d'un capteur décroît très peu avec la distance :



### 4.3. Utiliser un laser en sécurité

Les propriétés du faisceau laser énoncées dans les paragraphes précédents sont un atout pour le physicien mais présentent un danger pour l'œil si les règles de sécurité ne sont pas respectées.

L'énergie reçue par la rétine vaut :

$$Q_{\text{ray}} = \phi_{\text{én}} \Delta t$$

$\phi_{\text{én}}$  étant le flux énergétique reçu et  $\Delta t$  le temps d'exposition.

Il faut donc notamment limiter :

- le temps d'exposition, limité par les normes dont il faut prendre connaissance ;
- le flux énergétique du faisceau, souvent communiqué à l'utilisateur via la classe du laser.