

# Photométrie et radiométrie

## SOURCES LUMINEUSES

Il existe de multiples sources lumineuses :

- Soleil,
- flammes : bougie, lampe à pétrole, bec de gaz, lampe à arc,
- lampes à incandescence
- tubes à décharge, tubes fluorescents (tubes "néon"),
- lasers, diodes-lasers,
- Diodes électroluminescentes (DEL), (Light Emitting Diodes (LED))
- ...

Comment les caractériser ?

- par leur intensité,
- par leur couleur, ou plus précisément par leur spectre d'émission,
- par leur directivité : émission toutes les directions ou dans une direction donnée,
- par leur taille : source ponctuelle, source étendue.

# Quelques définitions

## Émission

Un corps porté à une certaine température convertit son énergie interne (énergie microscopique) en rayonnement électromagnétique; il émet cette énergie (rayonnement).

Flux d'émission  $F_{emi}$  = énergie rayonnée par unité de surface et de temps.

## Absorption

Une partie de l'énergie du rayonnement reçu par un corps est transformée en énergie interne.

Flux absorbé  $F_{abs}$ .

## Réflexion et diffusion

Au lieu d'être absorbé, le rayonnement incident peut être directement renvoyé:

- La réflexion: le renvoi obéit aux lois de l'optique géométrique.
- La diffusion: le renvoi se fait dans toutes les directions

Le rayonnement réfléchi ou diffusé a la même fréquence que l'onde incidente.

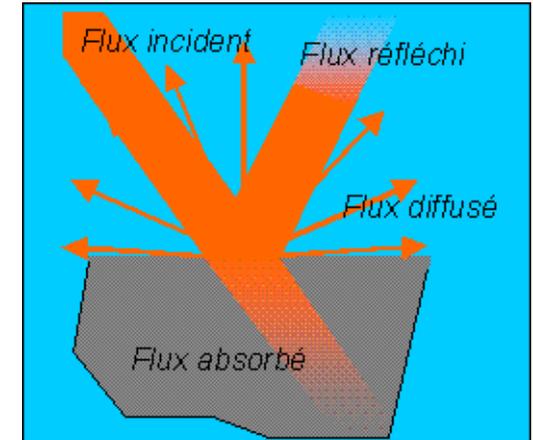
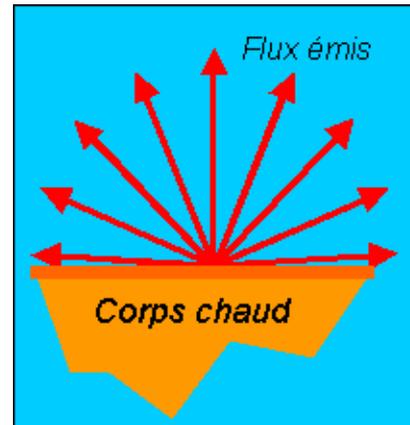
- La somme de ces deux flux est notée  $F_{ref}$ .

## Transparence et opacité

Milieu **transparent** = milieu qui transmet intégralement le rayonnement incidente

Milieu **opaque** = milieu ne transmettant pas le rayonnement incident.

# Relation entre les flux lumineux, notion d'équilibre radiatif



## Flux incident

$F_{inc}$  = flux surfacique du rayonnement incident en un point de la surface du corps

Le flux incident est soit réfléchi-diffusé, soit absorbé.

$$F_{inc} = F_{ref} + F_{abs}$$

## Flux partant

$F_{par}$  = flux surfacique partant du corps est la somme du flux émis et du flux réfléchi.

$$F_{par} = F_{ref} + F_{emi}$$

## Équilibre radiatif

corps opaque est en équilibre radiatif avec le rayonnement qui l'entoure, s'il n'emmagasine pas d'énergie ou n'en perd pas.

$$F_{par} = F_{inc} \quad \text{et} \quad F_{emi} = F_{abs}$$

# L'émission de la lumière par les atomes

Un atome peut se trouver dans divers états d'excitation et son énergie (énergie d'excitation) aller croissant. Ces états, classés par énergie croissante, sont en nombre discret (c'est-à-dire discontinu) à cause de la nature quantique du système atomique. Si l'atome est dans l'état de plus basse énergie, soit  $E_0$ , et que rien ne le sollicite, il y demeure. En revanche, s'il a été placé, par quelque influence extérieure, dans un des états d'énergie supérieure, soit  $E_n$ , il va spontanément revenir à l'état  $E_0$ ; l'énergie disponible, soit  $E_n - E_0$ , est alors emportée par l'émission d'un seul photon, dont la fréquence  $\nu$  est donnée par

$$E_n - E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \text{ où } h \text{ est la constante de Planck et } \lambda \text{ la longueur d'onde de la radiation émise.}$$

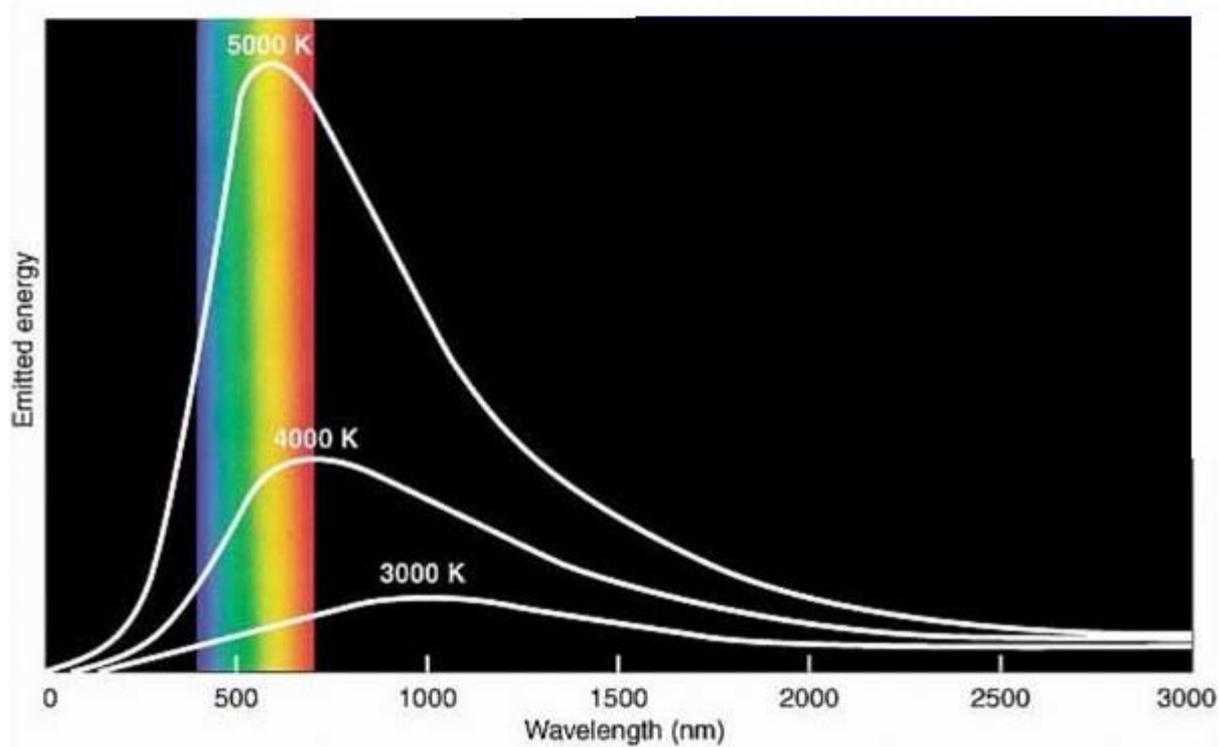
À une longueur d'onde donnée, correspond un photon d'une certaine énergie, d'autant plus grande que la longueur d'onde est plus petite.

# L'émission de la lumière par les atomes

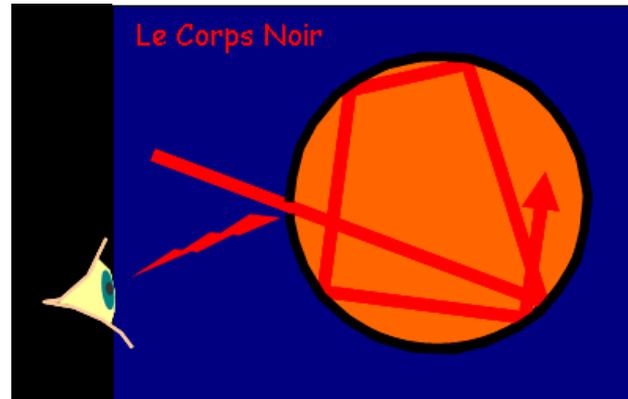
L'émission de lumière par un corps chauffé (le filament d'une ampoule électrique, l'atmosphère du Soleil) résulte de l'agitation thermique des atomes de ce corps. Les innombrables chocs entre atomes transforment leur énergie cinétique en énergie d'excitation, peuplant les divers et nombreux niveaux  $E_n$ . Par désexcitation, ceux-ci émettent les diverses fréquences ou longueurs d'onde correspondantes. Ces longueurs d'onde sont modifiées par la vitesse de déplacement des atomes émetteurs (effet Doppler Fizeau). L'addition de ces émissions produit alors un rayonnement continu et non plus discret, appelé rayonnement thermique. Si le corps est assez chaud (quelques milliers de degrés), le rayonnement est de couleur blanche ; il est plus rougeâtre si la température est inférieure, et devient invisible à l'œil, car la rétine n'y est plus sensible, si la température décroît encore (rayonnement infrarouge ou même millimétrique, comme celui du corps noir cosmologique à 2,7 kelvins (- 270 °C)).

# Le corps noir

- Expérimentalement, on constate que tout corps chauffé émet des ondes électromagnétiques.
- la distribution spectrale de la radiation émise varie en fonction de la température selon la loi de Planck.



- Pourquoi **corps noir** ? En effet, si on le chauffe suffisamment, tout corps nous apparaît d'abord rouge, puis jaune, blanc, ensuite bleu comme certains phares de voiture.



- Le corps noir est par définition un corps absorbant intégralement les radiations qu'il reçoit. Le flux réfléchi est donc nul et le flux partant est seulement constitué du flux émis.

$$F_{ref} = 0 \quad \text{et} \quad F_{par} = F_{emi}$$

- Dans ce cas idéal, il n'y a pas de réflexion de l'énergie incidente; or les objets qui réfléchissent le moins et absorbent le mieux la lumière sont noirs:

d'où le nom de **corps noir**.

- Le spectre d'émission du corps noir **dépend uniquement de sa température**.

# Le spectre du Corps Noir

## La loi de Planck (vers 1900)

Flux émis  $F$  par un corps noir de température  $T$ .

Énergie émise par un élément de surface  $dS$ , dans une direction  $d\Omega$ , dans un intervalle de temps  $dt$  et un intervalle de longueur d'ondes  $d\lambda$ :

$$dF = I(\lambda) dS dt d\Omega d\lambda$$

$I(\lambda)$  = Luminance spectrale énergétique ou intensité monochromatique

$$I(\lambda) = (2hc^2 / \lambda^5) / [e^{hc/\lambda kT} - 1]$$

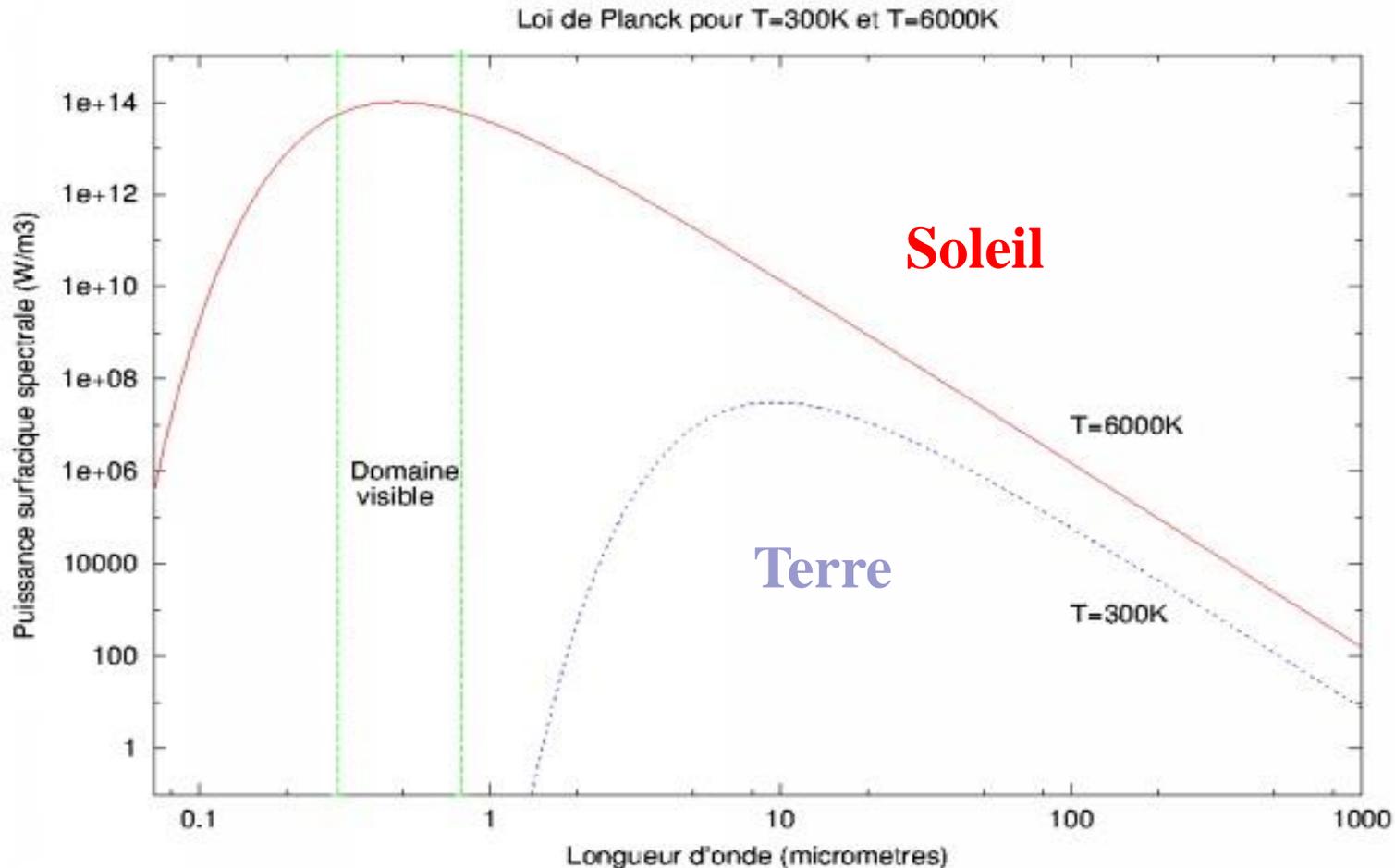
$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  : constante de Planck

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/s}$  : constante de Boltzmann

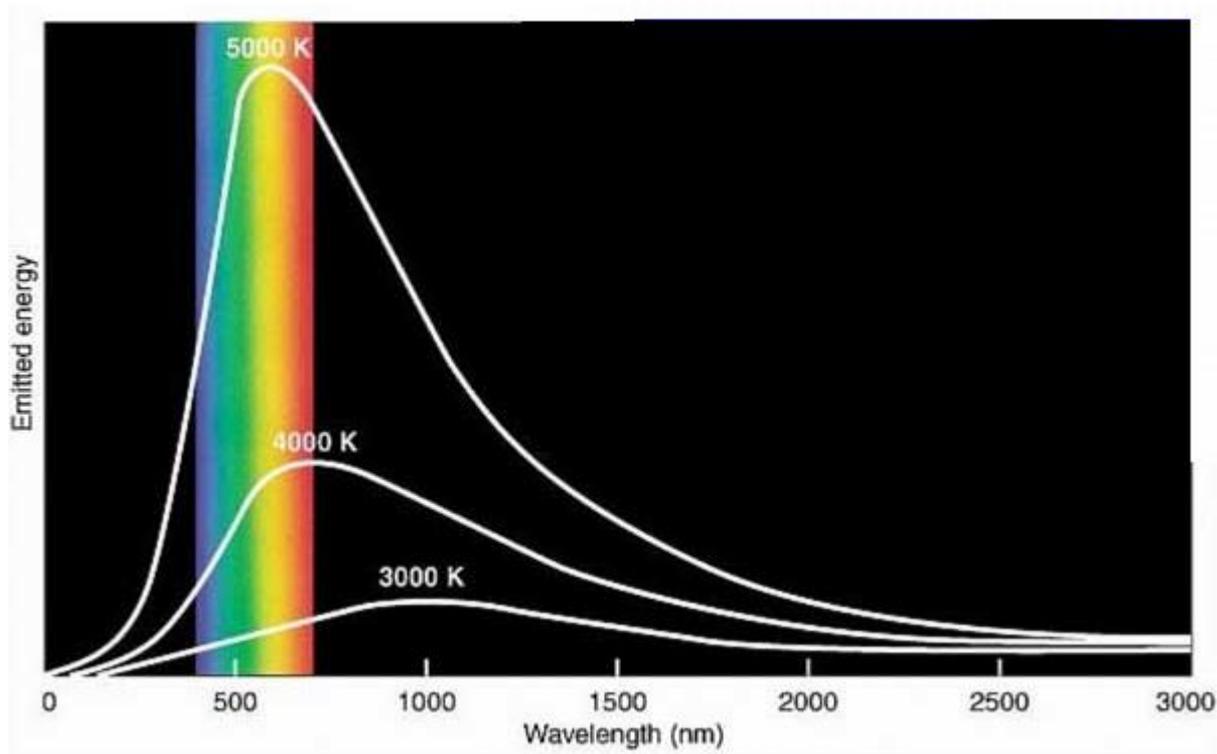
$c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$  : vitesse de la lumière

$\lambda \text{ (m)}$ : longueur d'onde

$T \text{ (K)}$ : Température



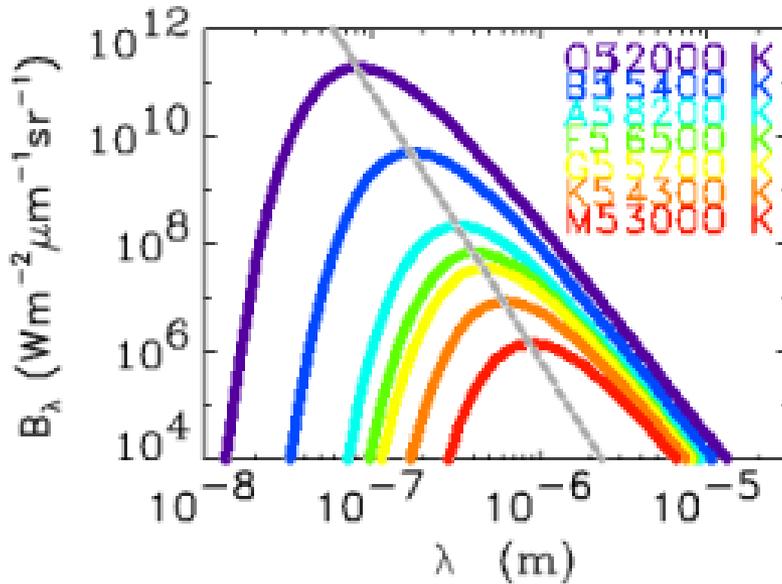
- La loi de Planck montre que le rayonnement du Corps Noir est le même dans toutes les directions: il est isotrope.
- Les spectres du Corps Noir à différentes températures se présentent comme des courbes ayant la même forme s'emboîtant les unes dans les autres.



- Pour réaliser une source lumineuse, il suffit donc chauffer un objet.
- Dans une lampe à incandescence, il s'agit d'un filament de tungstène traversé par un courant électrique et porté à environ 2400°C par effet Joule.

# Relation température – couleur: Loi de Wien

- La longueur d'onde à laquelle le flux est maximal et inversement proportionnel à la température du corps noir.



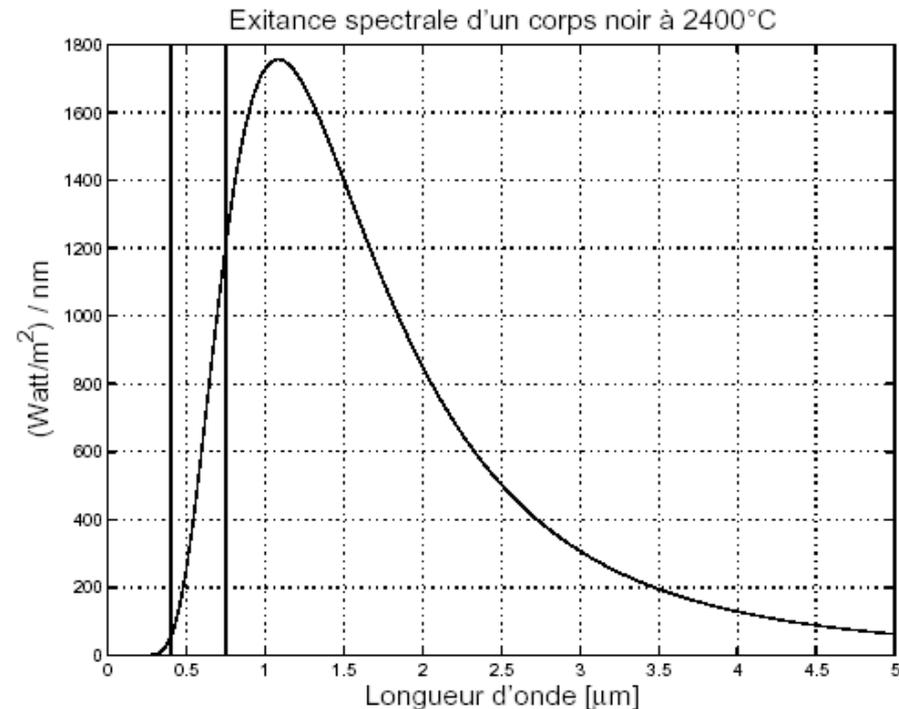
$$\lambda_{\max} T = \text{Constante} \approx 3000 \mu\text{m}\cdot\text{K}$$

Objet	$T$ (K)	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
Soleil	5770	0.52
Terre	300	10

- Le soleil rayonne dans le *visible* alors que la Terre rayonne dans l'*infrarouge*.

# L'efficacité d'une source lumineuse

- Cependant, toutes les radiations électromagnétiques émises ne sont pas visibles.
- Une bonne partie tombe dans l'infrarouge. **L'efficacité d'une source lumineuse** est définie comme le quotient de l'énergie rayonnée dans le visible par le total de l'énergie rayonnée.
- Comme on peut le constater sur la figure ci-contre, l'efficacité d'une lampe à incandescence (température 2400 K) ne peut guère dépasser quelques pourcents.



[Applet corps noir](http://www.iai.heig-vd.ch/~lzo/applets/GVA_05/simulations/corpsnoir/corpsnoir.html)

[http://www.iai.heig-vd.ch/~lzo/applets/GVA\\_05/simulations/corpsnoir/corpsnoir.html](http://www.iai.heig-vd.ch/~lzo/applets/GVA_05/simulations/corpsnoir/corpsnoir.html)

# L'Albédo

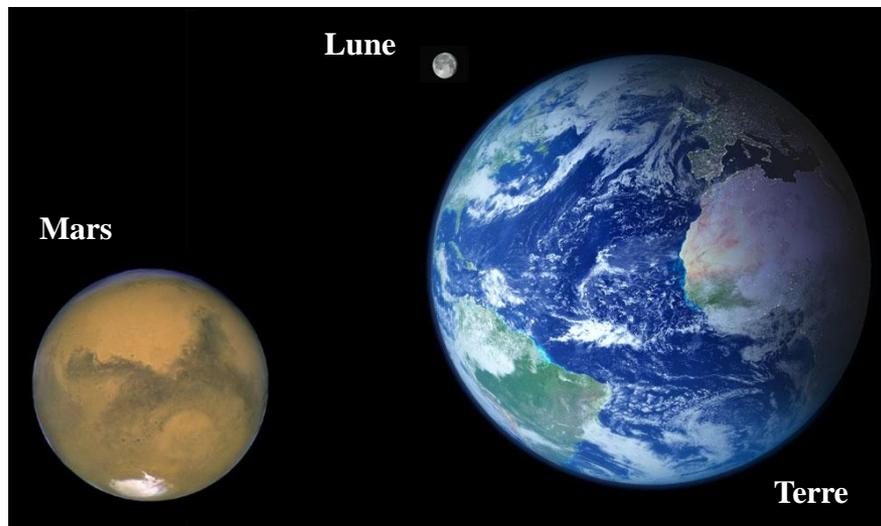
- **Coefficient d'absorption** = rapport entre le flux absorbé et le flux solaire incident.

$$a = F_{abs} / F_{inc}$$

**a** dépend de la longueur d'onde du rayonnement incident.

- **Albédo de la surface** = rapport entre le flux réfléchi et le flux solaire incident.

$$A = F_{ref} / F_{inc} = 1 - a$$



**Terre (0.35)**  
**Continents : 0.10 – 0.40 (0.35)**  
**Oceans: 0.05 – 0.30 (0.25)**  
**Nuages: 0.40 – 0.90**  
**Neiges: 0.60 – 0.85**

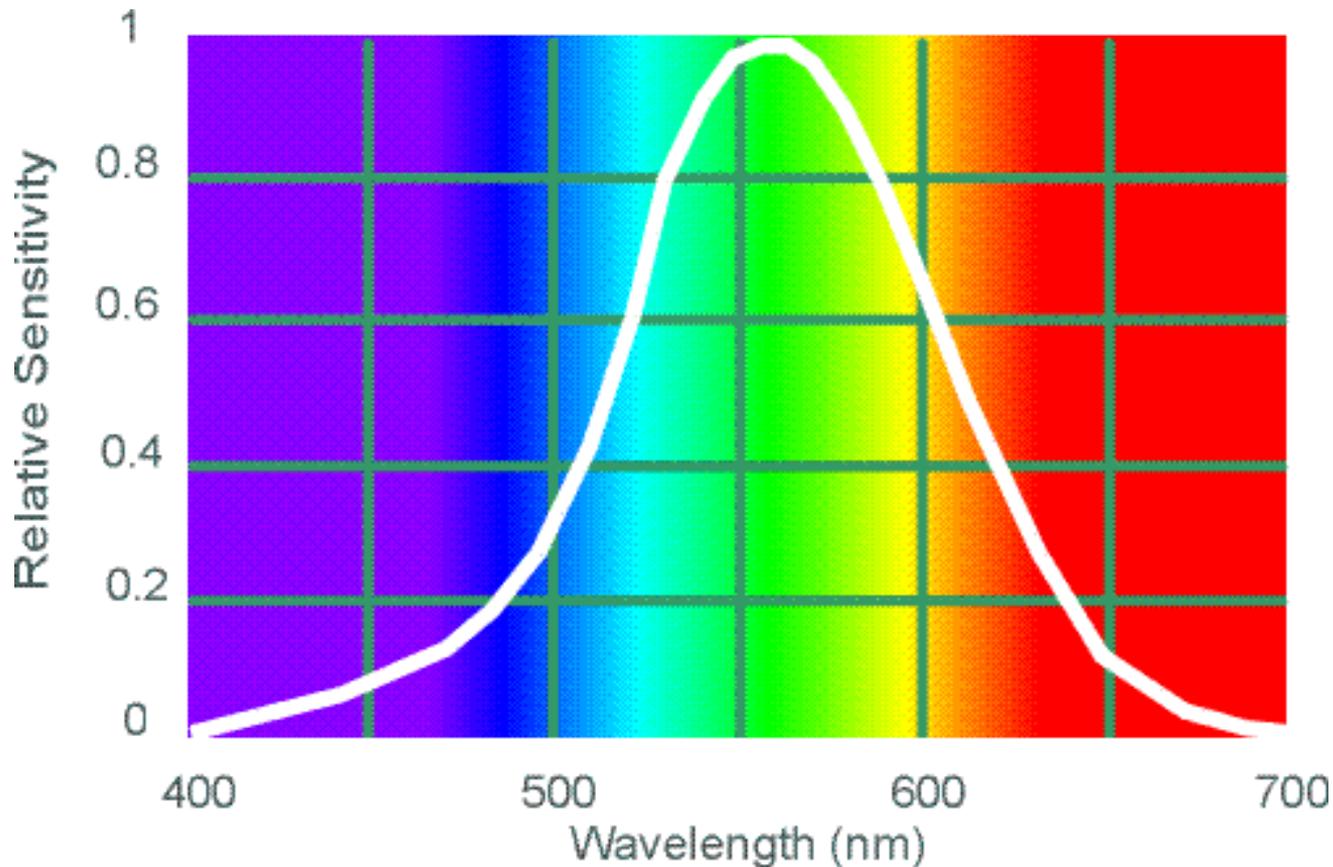
**Mars (0.15)**

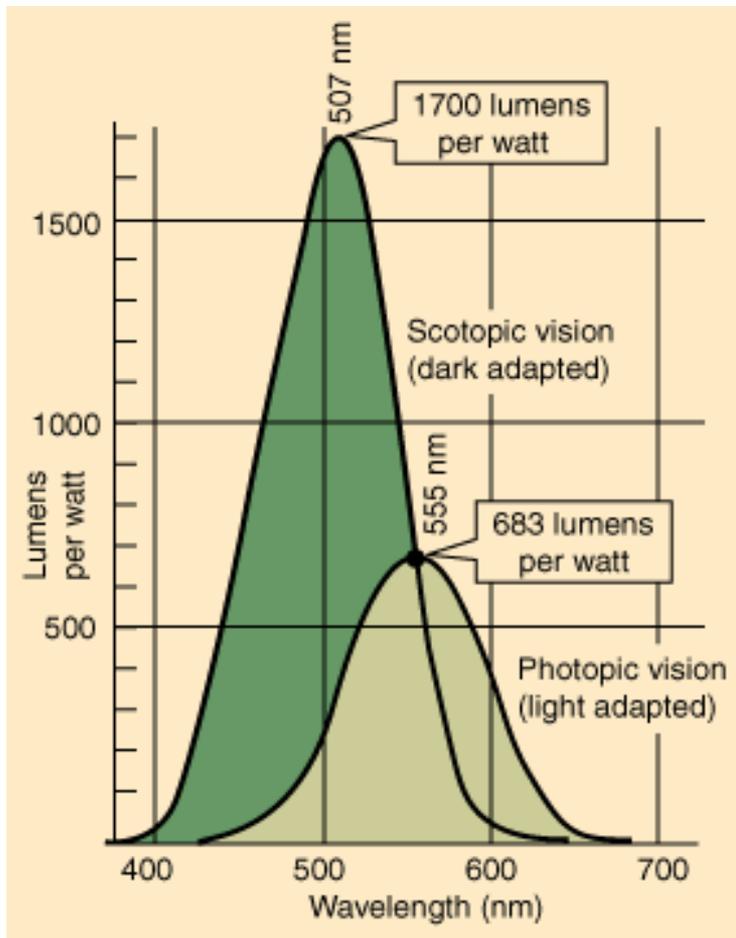
**Lune (0.07)**

# Photométrie et radiométrie

- La **radiométrie** est le domaine qui étudie la mesure de l'**énergie** des rayonnements électromagnétiques, y compris la lumière visible.
- En optique, la **photométrie** est la science qui étudie le rayonnement lumineux du point de vue de la **luminosité** perçue par l'œil humain, plutôt que l'énergie totale du rayonnement. Les appareils de mesure en photométrie, sont étalonnés en fonction de la courbe de sensibilité relative de l'œil humain.
- La différence entre les deux, c'est que la radiométrie prend en compte la totalité de l'énergie du rayonnement émis par un corps alors que la photométrie étudie seulement la partie du rayonnement émis par un corps qui est visible par l'œil humain et en plus la photométrie pondère les mesures en tenant compte de la sensibilité de l'œil humain.

Efficacité lumineuse spectrale pour la vision humaine dans le cas standard de vision diurne, avec l'œil adapté à un éclairage normal, appelée **vision photopique**





L'unité photométrique de flux **lumen** est définie telle qu'au pic de la vision photopique on aie une efficacité lumineuse de **683 lumens/watt**. Ce rapport est aussi valable pour la vision scotopique à la même longueur de d'onde de 555 nm.

En d'autres terme, la définition des unités photométriques prend en considération un rayonnement monochromatique dont la longueur d'onde correspond au maximum de sensibilité de l'œil humain, ~555 nm (540 THz). La raison du facteur 1/683 est historique. Il a été introduit pour des raisons de compatibilité avec l'ancienne définition de la candéla (bougie).

La puissance de la lumière (la luminosité) pouvant être exprimée en watts, on peut se demander pourquoi introduire des nouvelles unités. La justification réside dans **l'importance de l'œil humain**; on a besoin en pratique d'unités qui tiennent compte de la nature subjective du rayonnement électromagnétique sur la vision humaine.

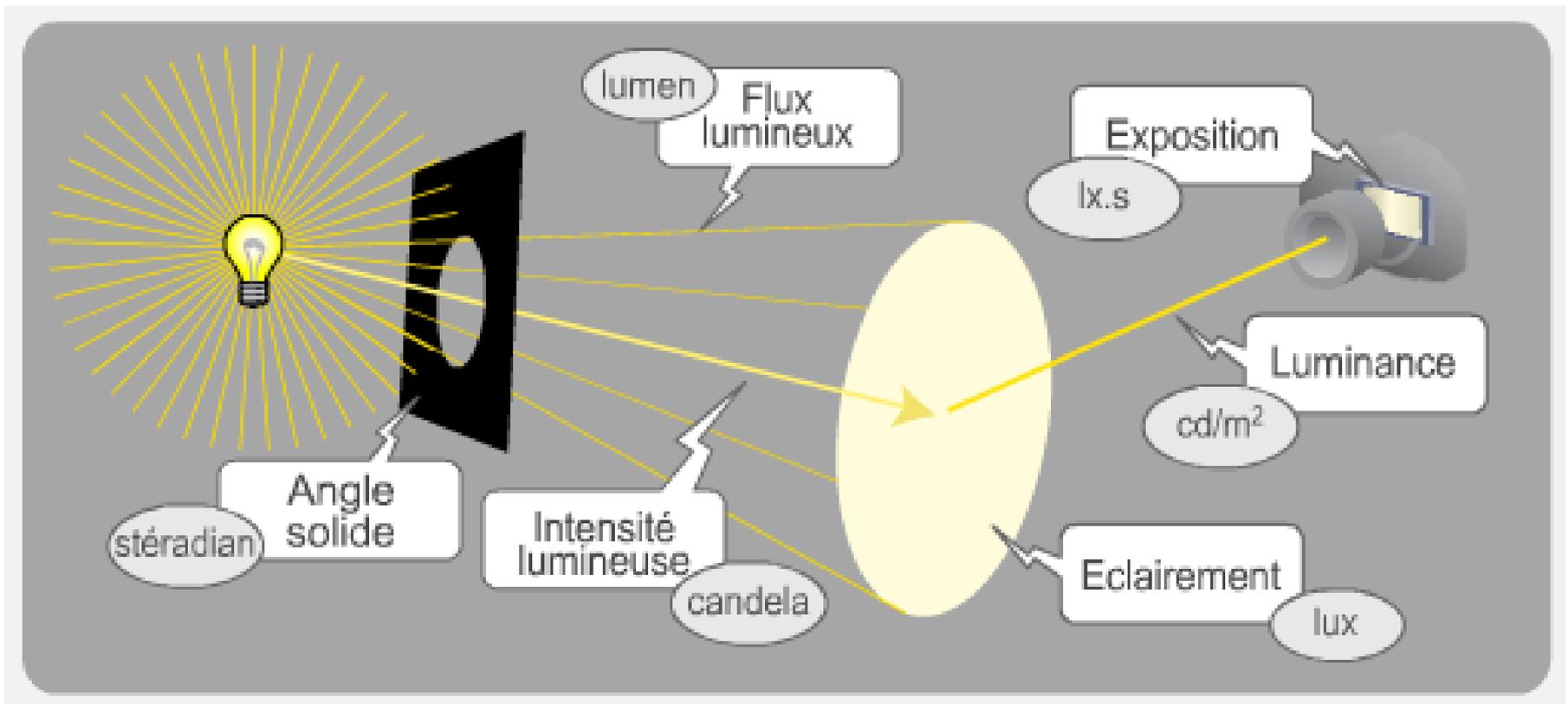


# Unités photométriques

Ses données de base sont **l'intensité**, le **flux lumineux**, **l'éclairement** et la **luminance**.

Ces quatre facteurs sont liés comme ceci:

1. Une source d'éclairage artificielle - une lampe électrique - rayonne dans toutes les directions de l'espace un **flux lumineux** dont l'unité est le lumen (lm).
2. Ce flux a, dans une direction donnée, une certaine **intensité** exprimée en candelas (cd).
3. Une surface, placée à une distance donnée de la source, reçoit un **éclairement** qui s'exprime en lux (lx).
4. Enfin, la surface éclairée renvoie une partie de l'éclairement reçu en direction de l'observateur (par exemple, l'objectif d'une caméra) : c'est la **luminance** exprimée en candelas par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>).



# Tableau des unités photométriques

Grandeur	Unité SI	Symbole	Notes	Unités énergétiques équivalentes
Quantité de lumière	lumen·seconde	lm·s	le lumen·seconde est parfois appelé <i>talbot</i> dans les pays anglosaxons	J
Flux lumineux	lumen	lm	appelé parfois <i>puissance lumineuse</i>	W
Intensité lumineuse	candela	cd	c'est l' <b>unité de base</b> dans le système SI	W/sr
Luminance	candela par mètre carré	cd/m <sup>2</sup>	appelée autrefois <i>brillance</i>	W/sr/m <sup>2</sup>
Éclairement	lux	lx	il s'agit du flux lumineux reçu par une surface	W/m <sup>2</sup>
Exitance	lumen par mètre carré	lm/m <sup>2</sup>	même dimension que l'éclairement mais il s'agit du flux lumineux émis par une surface	W/m <sup>2</sup>

# Tableau des unités radiométriques

Grandeur	Unité SI	Symbole	Notes	Grandeur
Énergie (radiante)	joule	J	c'est l'énergie au sens classique du terme	Énergie (radiante)
Flux ou puissance (radiante)	watt	W	c'est une puissance au sens commun du terme	Flux ou puissance (radiante)
Intensité énergétique	watt par stéradian	$W \cdot sr^{-1}$	la puissance est rapportée à l'unité d'angle solide	Intensité énergétique
Luminance énergétique	watt par stéradian et par mètre carré	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$	la puissance est rapportée à l'unité d'angle solide et à l'unité de surface apparente (surface projetée perpendiculairement à la direction de mesure)	Luminance énergétique
Éclairement énergétique	watt par mètre carré	$W \cdot m^{-2}$	la puissance est rapportée à l'unité de surface réceptrice	Éclairement énergétique
Exitance énergétique	watt par mètre carré	$W \cdot m^{-2}$	la puissance est rapportée à l'unité de surface émettrice	Exitance énergétique

# Pourquoi autant d'unités ?

- Afin de représenter la manière par laquelle la lumière est émise, se propage dans l'espace 3-dimensionnel, diverge, se concentre, est réfléchi par des surfaces mates ou polies, ...
- Le nombre de mesures photométriques différentes possibles et nécessaires est grand.
- Ainsi est le nombre des quantités et unités qui représentent ces mesures.

## ■ Intensité lumineuse: candela

Comme le spectre visible (env. 400 – 750 nm) n'a pas de limites bien précises, la définition de l'intensité lumineuse prend en considération un rayonnement monochromatique dont la longueur d'onde correspond au maximum de sensibilité de l'œil humain, ~550 nm (540 THz). Dans le Système International (SI), l'unité d'intensité lumineuse est la **candéla**, cd en abrégé.

**Déf.** La candéla est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \cdot 10^{12}$  hertz et dont intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 watt par stéradian.

candéla

$$1 \text{ cd} = \frac{\text{puissance}}{\text{angle solide}} = \frac{1}{683} \frac{\text{watt}}{\text{stéradian}} \quad [1/683 \text{ W/sr}]$$

- La raison du facteur 1/683 est historique. Il a été introduit pour des raisons de compatibilité avec l'ancienne définition de la candéla (bougie).

## ■ Flux lumineux $\Phi$ : lumen

**Déf.** Le flux lumineux est l'intensité lumineuse rayonnée dans un angle solide donné.

En d'autres termes, on intègre l'intensité lumineuse sur l'angle solide.

Le flux lumineux est donc égal à toute la puissance rayonnée dans un angle solide donné.

L'unité est le lumen, qui est le flux lumineux d'un rayonnement de 1 candéla dans 1 stéradian.

lumen

$$1 \text{ lm} = \left( \frac{\text{puissance}}{\text{angle solide}} \right) (\text{angle solide}) = \frac{1}{683} \text{ watt} \quad [ 1/683 \text{ W} ]$$

- Rendement d'une source lumineuse: lumen par watt

Une source ponctuelle émettant dans toutes les directions un rayonnement lumineux d'intensité uniforme est qualifiée d'isotrope. Considérons une source isotrope d'intensité  $I = 1$  candela. En intégrant sur tout l'angle solide, qui vaut  $4\pi$ , on trouve que le flux lumineux de cette source vaut  $\Phi = 4\pi$  lumens.

Dans la pratique, le rendement d'une source lumineuse est donné en lumen par watt (lm/W).

Lampe	[lm/W]	Lampe	[lm/W]
Incandescence	5 - 20	Halogénures métalliques	70 - 90
Lampe halogène	15 - 35	Lampe au xénon (automobile)	80 - 90
DEL (LED)	25 - 50	Sodium haute pression	100 - 130
Tube fluorescent	50 - 80	Sodium basse pression	140 - 180
Lampe économique	60 - 70		

**Table 1** Rendement lumineux de quelques sources

## ■ Exitance ou émittance lumineuse: lumen par m<sup>2</sup>

**Déf.** L'exitance d'une source étendue correspond au flux lumineux émis par l'ensemble de ses points, rapporté à sa surface réelle.

Si l'on considère élément de surface  $dS$  émettant globalement un flux lumineux  $d\Phi$

Exitance

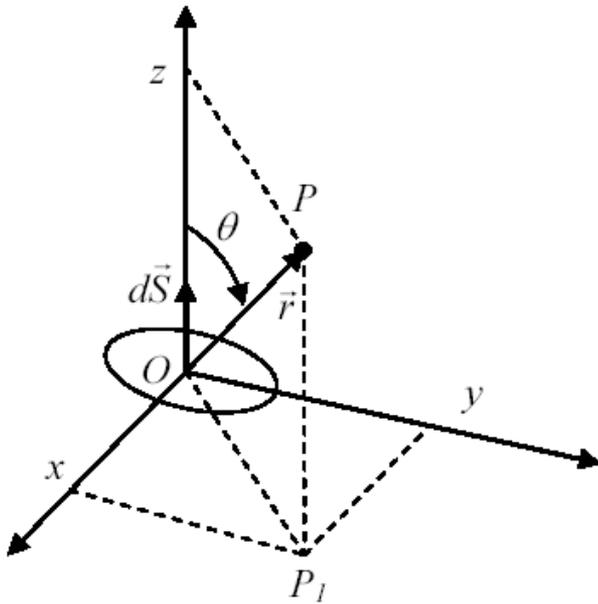
$$M = \frac{d\Phi}{dS} \quad [\text{lm/m}^2] \quad (7.3)$$



## ■ Luminance: lumen par m<sup>2</sup> par sr

La luminance lumineuse est l'intensité lumineuse d'une source lumineuse dans une direction donnée, divisée par l'aire apparente de cette source dans cette même direction.

L'unité de luminance lumineuse est la candela par mètre carré, symbole cd/m<sup>2</sup> ; ou en unité équivalente, le lumen par mètre carré et par stéradian, symbole lm/(m<sup>2</sup>·sr).



Pour calculer l'intensité lumineuse émise par un élément de surface  $dS$  dans une direction donnée, il faut tenir compte de l'angle  $\theta$  entre la normale à la surface et la direction considérée.

Soit  $\vec{r} = \overrightarrow{OP}$  le rayon vecteur définissant cette direction. Depuis le point  $P$ , l'élément de surface  $dS$  est vu sous une surface apparente  $dS \cos \theta$ .

Tenant compte de la surface apparente, la luminance se définit comme suit :

$$L = \frac{I}{dS \cos \theta}$$

# ■ Relation entre luminance, flux lumineux et intensité lumineuse

Luminance  $L = \frac{d^2\Phi}{dS \cos\theta d\Omega}$  [lm/m<sup>2</sup>/sr] ou [cd/m<sup>2</sup>]

Par définition, l'intensité lumineuse est égale au flux lumineux par stéradian. On obtient l'intensité totale en intégrant sur la surface :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \int_{Surface} L \cos\theta dS \quad [\text{lm/sr}] \text{ ou } [\text{cd}]$$

La luminance  $L$  dépend généralement de la direction  $\theta$ .

Les sources pour lesquelles  $L=\text{constante}$ , quelque soit  $\theta$ , obéissent à la loi dite de Lambert et sont dites sources lambertiennes.

Loi de Lambert  $I(\theta) = I_0 \cos\theta$  [lm/sr] ou [cd]

# Luminance et sensibilité de l'oeil

- *La sensibilité de l'œil est assez étonnante, puisqu'il est possible dans de bonnes conditions atmosphériques de percevoir le rayonnement d'une bougie située à une trentaine de km. La puissance traversant la pupille est si faible qu'elle mettrait un milliard d'années pour élever la température d'un gramme d'eau de 1°C. (A. BLANC, Rayonnement)*
- Dans les meilleures conditions, le rapport des luminances extrêmes qu'un œil normal peut percevoir simultanément est de l'ordre de 100'000 à 1'000'000.
- Il est bon de rapprocher dès maintenant ce chiffre du rapport des expositions simultanément enregistrables sur les couches sensibles ou les capteurs, qui est plus souvent de l'ordre de 100 ou 1000.

<b>Luminances en cd/m<sup>2</sup> :</b>	
seuil de perception de l'œil	0,000001
ciel nocturne	0,0001
pleine Lune, temps clair	2 000
tubes fluorescents	5 000
flammes éclairantes	15 000
papier blanc en plein Soleil, en été à midi	30 000
<b>éblouissement vers</b>	500 000
filament de carbone	700 000
filament de tungstène ordinaire	10 000 000
filament de lampe de projection	20 000 000
cratère positif, arc électrique au charbon	160 000 000
<b>apparition possible de lésions oculaires vers</b>	250 000 000
arc au xénon	400 000 000
lampes à vapeur de mercure à haute pression	500 000 000
Soleil à travers l'atmosphère	1 600 000 000
lampes-éclair (flashes, pendant quelques μs)	10 000 000 000

## ■ Eclairage: lux

**Déf.** L'éclairage est l'ensemble des flux lumineux interceptés par unité de surface d'un objet.

Soit une source ponctuelle isotrope d'intensité lumineuse  $I$  placée au centre d'une sphère imaginaire de  $r$  mètres de rayon. Le flux lumineux  $d\Phi$  intercepté par un élément de surface  $dS$  de cette sphère vaut :

$$d\Phi = (\text{intensité})(\text{angle solide}) = I \frac{dS}{r^2}$$

Donc, par définition, l'éclairage de cette surface  $dS$  vaut :  $E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I}{r^2}$

L'unité d'éclairage est donc le lumen par mètre carré ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), qui a reçu le nom de lux, en abrégé lx, pour la distinguer de l'unité d'existance.

Eclairage

$$\boxed{1 \text{ lux} = \frac{\text{flux}}{\text{surface}} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}} \quad [\text{lx}] \quad (7.9)$$

## ■ Eclairage: lux

	[lux]
En plein soleil	100 000
Sous un ciel nuageux	6000 - 10 000
Salle de classe	1000
Local usuel	100
Minimum pour la lecture	10
Minimum perceptible par l'œil	$10^{-9}$

**Table 2** Niveaux d'éclairage

<b>Éclairéments en lux, produits par :</b>	
ciel nocturne	0,0003
pleine Lune	0,2
lampe de 75 W à 4 m	10
lampe de 75 W à 2 m	40
éclairage public	50
éclairage artificiel correct	100
très bon éclairage artificiel (travail fin)	500
extérieur, temps nuageux	15 000
rue par temps clair	25 000
plein Soleil, en été, à midi	100 000
<b>valeurs conseillées en éclairagisme</b>	
chambre à coucher, tableau, sculpture	150
salle à manger ou cuisine	200
plan de travail écriture ou cuisine, salle de bains	300
travaux d'aiguille	500

## ■ Réflectance: (sans dimension)

Les objets éclairés sont des sources lumineuses secondaires. Le flux lumineux réfléchi est proportionnel au flux lumineux incident et à un facteur qui dépend de la nature de la surface de l'objet.

**Déf.** La réflectance est le quotient du flux lumineux réfléchi par le flux incident.

Réflectance

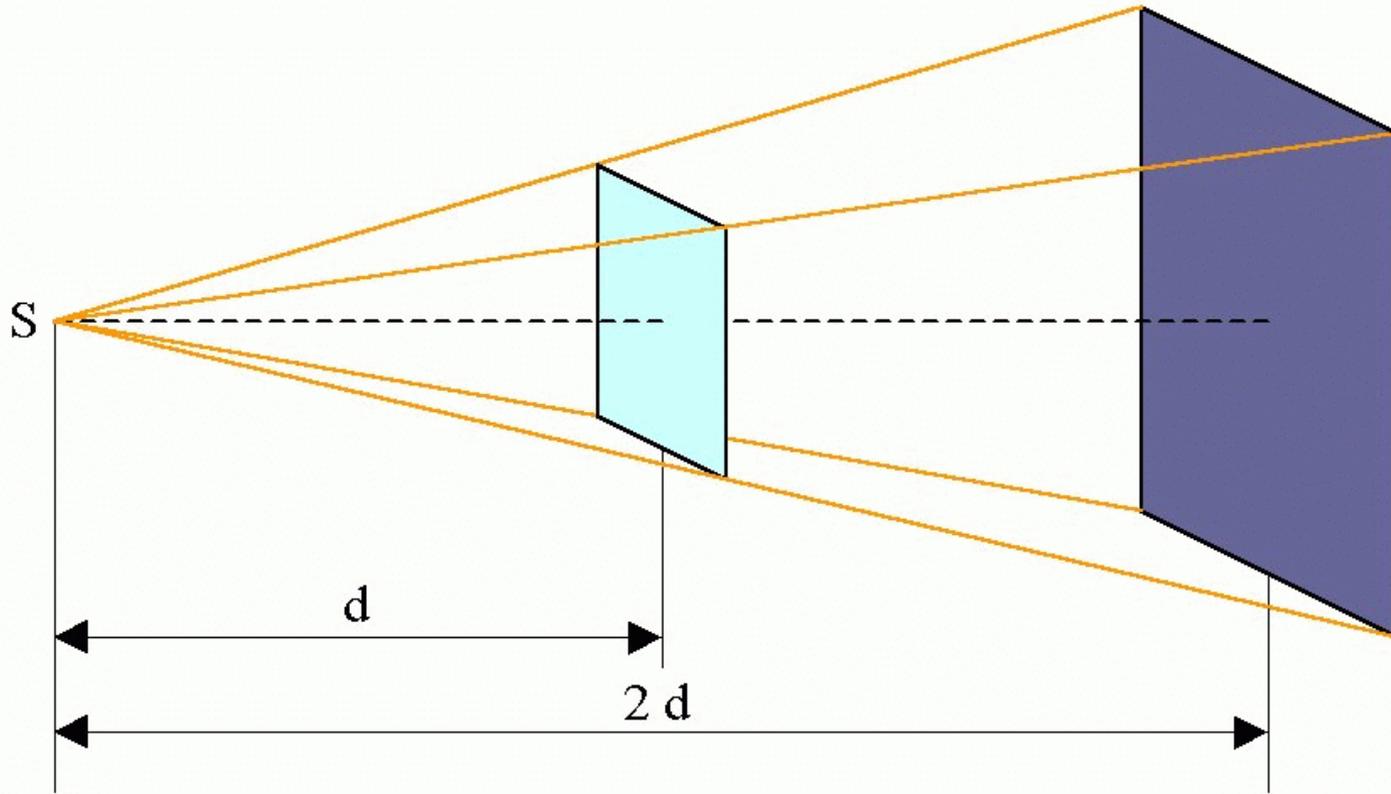
$$R = \frac{\text{flux réfléchi}}{\text{flux incident}}$$

[ 1 ]

(7.10)

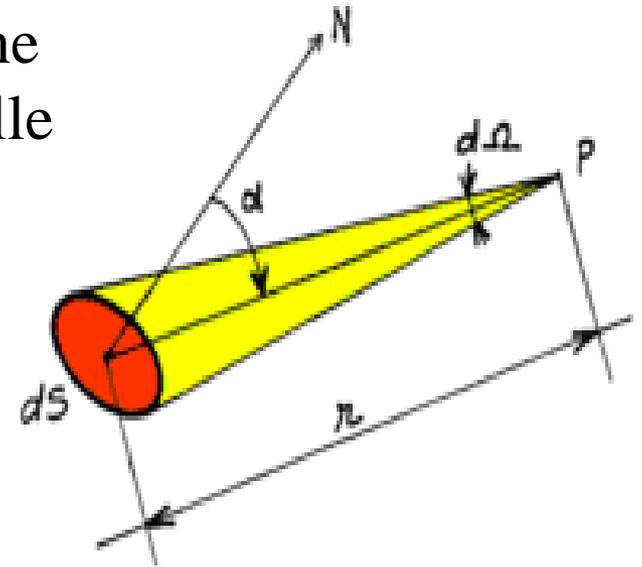
En toute rigueur, ce rapport dépend de la longueur d'onde. Dans la pratique, on se contente d'une moyenne prise sur les longueurs d'ondes visibles.

# Loi de l'inverse du carré de la distance



- Un simple constat pour commencer: la surface claire et la surface foncée interceptent le même flux provenant de la source lumineuse.
- La seconde surface ayant une aire quatre fois plus grande que la première, son éclairement est quatre fois plus faible.
- Si elle était 3 fois plus loin, elle aurait une aire neuf fois plus grande et son éclairement serait neuf fois plus faible, etc.

L'éclairement d'une surface  $dS$ , placée à une distance  $r$  d'une source lumineuse ponctuelle  $P$  d'intensité uniforme  $I$ , varie en raison inverse du carré de la distance.



On appellera  $\alpha$  l'angle, supposé constant, des rayons lumineux avec la normale à  $dS$ .

La surface élémentaire  $dS$  étant vue obliquement depuis  $P$ , il faut calculer l'angle solide  $d\Omega$  à partir de sa surface apparente  $dS \cos \alpha$  :

$$r^2 d\Omega = dS \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad d\Omega = \frac{dS \cos \alpha}{r^2}$$

Le flux reçu par la surface  $dS$  est  $dF = I d\Omega$  et l'éclairement correspondant s'écrit :

$$E = \frac{dF}{dS} = I \frac{d\Omega}{dS} = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

# La relation de Bouguer

La **relation de Bouguer** s'exprime par la formule suivante :

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

Si les rayons tombent perpendiculairement sur la surface  $dS$  la formule se simplifie en :

$$E = \frac{I}{r^2}$$

- Dans les mêmes conditions d'inclinaison, l'éclairement fourni par une source lumineuse est inversement proportionnel au carré de la distance séparant cette source de la surface réceptrice ou, d'une manière plus générale, du point où l'on veut évaluer l'éclairement.
- **On peut en effet calculer l'éclairement en un point de l'espace, même s'il n'y existe aucune surface ou récepteur, à condition de préciser la direction dans laquelle on se place.**

# Applications pratiques

- Choix d'un projecteur vidéo pour une conférence

Les appareils ont des flux lumineux compris entre 800 et 3200 lumens et votre écran mesure 2,5 m x 1,8 m soit 5 m<sup>2</sup>.

L'éclairage de l'écran sera compris entre 160 et 640 lux.

Un éclairage de 200 lux permet d'apprécier l'image dans l'obscurité, il vous faut donc au moins un appareil de 1000 lumens. Si votre « puissance » est inférieure diminuez la taille de votre projection.

Si votre salle est partiellement éclairée, la lumière ambiante (150 à 200 lux) va écraser le contraste de vos images. Un appareil de 2000 lumens sera nécessaire.

# Applications pratiques

## ■ Les écrans plats

Deux valeurs caractérisent la lumière émise par ces appareils, la luminosité et le taux de contraste. La luminosité, c'est la quantité de lumière (en candela par mètre carré) alors que le taux de contraste définit l'aptitude à reproduire les demi-tons.

400:1 signifie que le rapport de la luminance mesurée sur une zone blanche, sur celle d'une zone noire est de 400. Plus la valeur est élevée plus le nombre de demi-tons restitués sera important (attention, on ne parle pas de la qualité des demis tons).

En informatique, les images en niveau de gris sont codées sur 8 bits, donc ne contiennent que 256 niveaux de gris.

Ex : Philips Ecran TFT 17 pouces (170X4FS)

Luminosité : 260 cd/m<sup>2</sup>

Contraste : 400:1

Aujourd'hui, les appareils ont une luminosité de 250 à 400 cd/m<sup>2</sup> et un taux de contraste de 350 à 700:1.

Ne pas confondre contraste et taux de contraste. C'est la qualité du noir qui donne un bon contraste alors qu'un fort taux peut s'obtenir en augmentant la luminosité des blancs ce qui rend l'écran éblouissant et fatigant.

La plupart des écrans ont des luminosités maximales supérieures à 250 cd/m<sup>2</sup>, ce qui est plus que nécessaire, les écrans à tubes n'excèdent pas 100 cd/m<sup>2</sup>.

# Travail personnel

- Etudier le **chapitre 10** du polycopié.
- Exercer les applets indiquées sur la page des supports de cours

# Exercices

## 1. Calcul d'une puissance lumineuse

- Une source lumineuse est placée à 4 m sur la normale à un écran carré de 100 mm de côté.
- Cette source, pratiquement ponctuelle, est une lampe survoltée à réflecteur hémisphérique capable de rayonner de manière quasi uniforme dans un angle solide de  $2\pi$  sr (1/2 espace).
- Quelle doit être sa puissance lumineuse (en lumens) pour que l'éclairement reçu par l'écran soit de 100 lux ?

## 2. Calcul d'un flux lumineux

- L'écran du problème précédent est maintenant situé à 20 m de la source, toujours de telle manière que les rayons lui arrivent normalement.
- Calculer le flux qu'il reçoit.

## (ici avec les unités énergétiques)

3. Soit une source sphérique parfaitement diffusante de rayon  $R=0.2$  m.  
L'intensité  $I_0$  du rayonnement est de  $2$  W/sr.
  - Calculer le flux total émis par cette source.
  - Calculer la luminance.
  - Quel est le profil d'éclairement constaté sur une surface situé à  $2$  m de la source ?
  
4. Un faisceau lumineux composé de rayons parallèles a une exitance de  $10$  W/cm<sup>2</sup> .
  - Transformer cette valeur en unités photométriques
  - Il arrive sur une surface plane parfaitement absorbante dont la normale est inclinée de  $10^\circ$  sur la direction du faisceau. Calculer la taille et l'éclairement de la surface illuminée.
  
5. Une source émet dans toutes les directions avec une intensité de  $25$  W/sr.  
Un écran est situé à  $2$  mètres de la source. Sa normale passe par la source.  
Quel est l'éclairement au pied de la normale ?  
Quel est l'éclairement en un point P situé dans la direction  $15$  degrés ?

# Exercices relatifs à des faisceaux laser

Un LASER émet un faisceau parallèle de 2 mm de diamètre.

Le flux énergétique du rayonnement est de 10 mW. En négligeant la faible divergence du faisceau, calculer son exittance énergétique.

Le faisceau d'un LASER à CO<sub>2</sub> est focalisé pour percer des trous dans une plaque métallique de 5 mm d'épaisseur. Le temps de perçage est de 10 secondes. Le spot du faisceau a une surface de  $10^{-5}$  cm<sup>2</sup>. La puissance rayonnée en continu par le LASER est de 3 kW à la longueur d'onde  $\lambda = 10\,600$  nm. Calculer l'éclairement au niveau du point de focalisation et la quantité d'énergie nécessaire à l'opération.