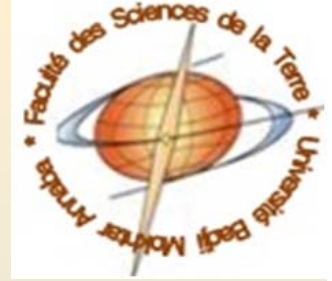




UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



UET2, Matière : Physique du bâtiment

Enseignante : A. HARAT

e-mail : aharat@gmail.com

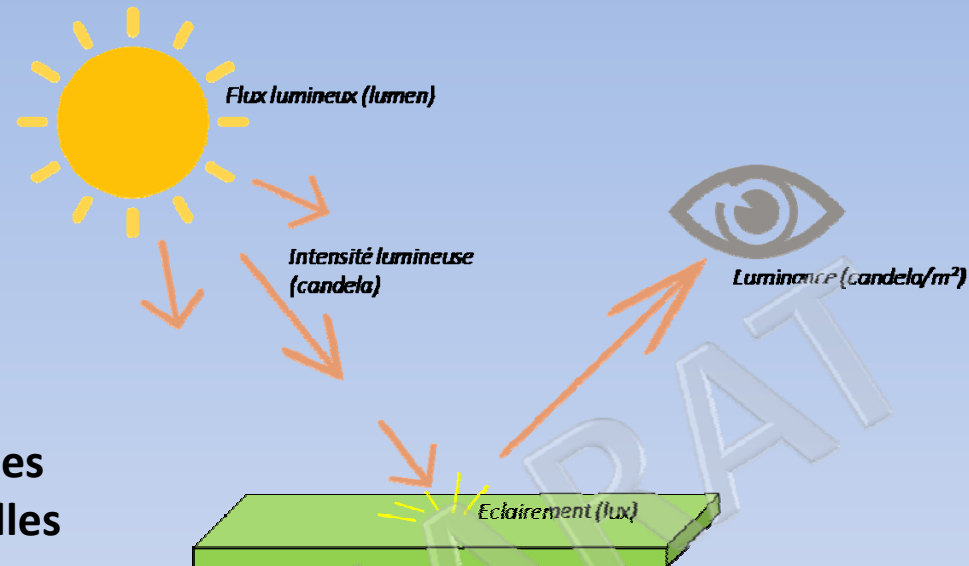
Cours 4 :

PHOTOMETRIE
المضوئية

Année universitaire 2019 / 2020

Semestre 2

Photométrie



1- Sources lumineuses
Naturelles, artificielles
Spectre lumineux , ...

2 – Notions de photométrie : grandeurs et unités adaptées à la mesure de la lumière : Lumen, candela, lux ...etc

3- Interaction avec la matière:
Corps transparents, opaques, verres et vitrage

IV- Photométrie

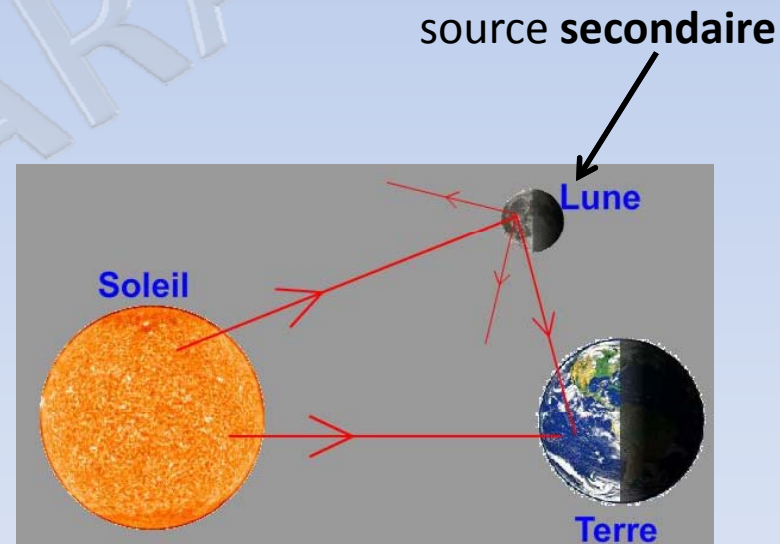
1- Sources lumineuses : Naturelles, artificielles, Spectre lumineux , ...

Types de sources lumineuses

On peut diviser les sources lumineuses qu'elles soit naturelles ou artificielles en: sources **primaires** et sources **secondaires**, les premières sont à l'origine du rayonnement lumineux (le soleil, les lampes d'éclairage, les lasers ...), les deuxièmes transmettent le rayonnement lorsqu'elles sont éclairées (lune, planètes, objets réfléchissants et fluorescents).



sources **primaires**



IV- Photométrie

Caractéristiques des sources lumineuses

Elles se caractérisent par :

- leur géométrie (la source peut être ponctuelle, linéique, surfacique ou volumique)
- leur directivité (la lumière est émise dans toutes les directions comme le soleil ou une seule comme le rayon laser)
- le type de leur spectre (spectre continu, spectre de raie ou monochromatique comme la source laser)
- pour les sources artificielles, les caractéristiques telles que la consommation électrique, la masse, le volume, le rendement énergétique, la durée de vie sont à prendre en considération pour un bon bilan énergétique d'un bâtiment.

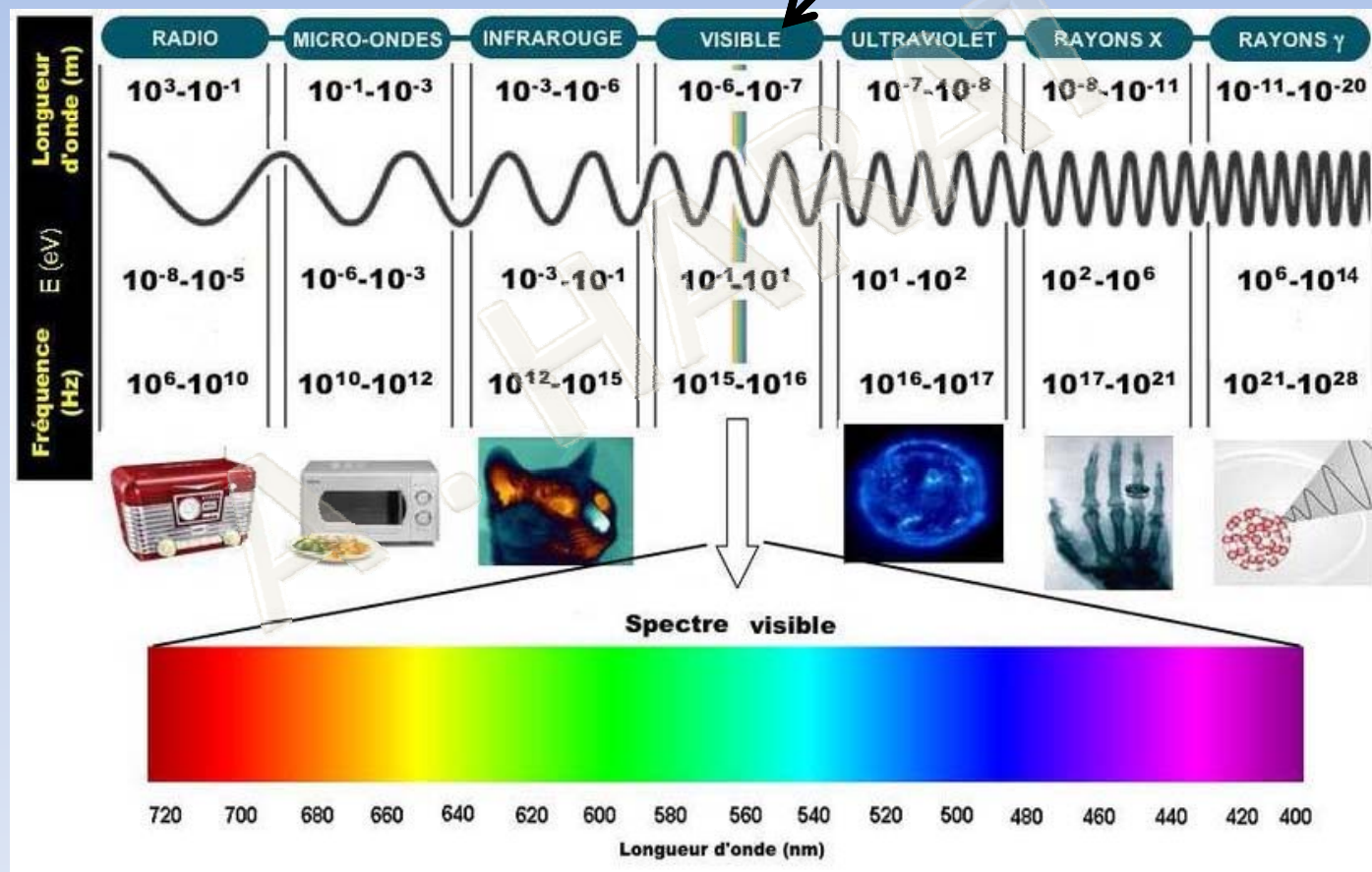


Evolution de l'éclairage à travers le temps

IV- Photométrie

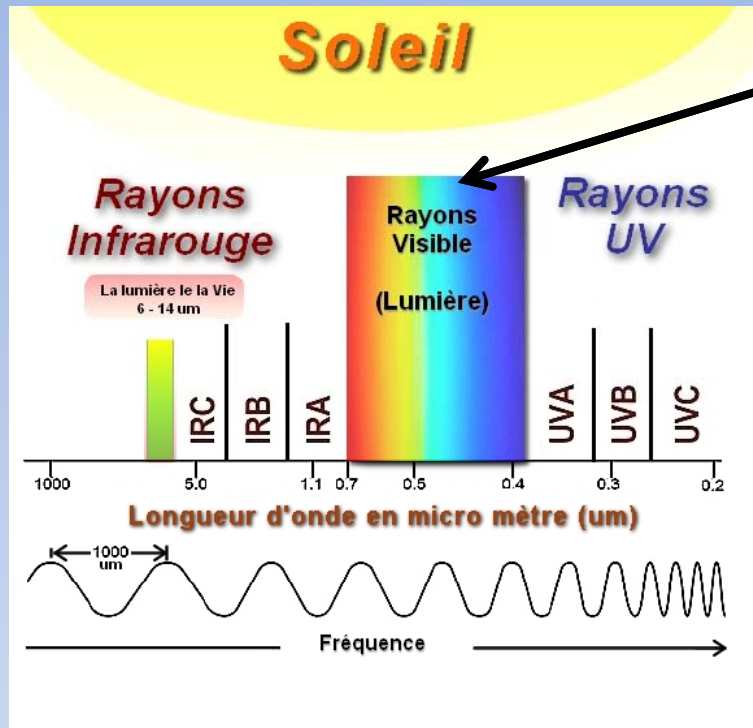
Spectre lumineux (spectre visible)

La lumière qu'on perçoit (l'œil humain) est composée du spectre de la lumière blanche (celle du soleil). On parle de spectre électromagnétique, celui de la lumière étant composé des sept couleurs de l'arc en ciel et constitue le domaine **le plus étroit** des ondes électromagnétiques.



Types de rayonnements électromagnétiques du moins dangereux au plus dangereux

IV- Photométrie



- Le spectre de la lumière blanche est situé entre les longueurs d'ondes $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$ (rouge) et $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$ (violet) c'est le seul spectre perceptible par l'œil humain.

- La lumière est une **onde électromagnétique** qui se propage dans le vide à la vitesse de la lumière:

$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$, ou en kilomètre par heure :

$c = 1,08 \times 10^9 \text{ km/h}$.

- La relation qui relie la longueur d'onde et la fréquence d'une onde électromagnétique :

$$\lambda = c / f = c \cdot T \quad \text{avec}$$

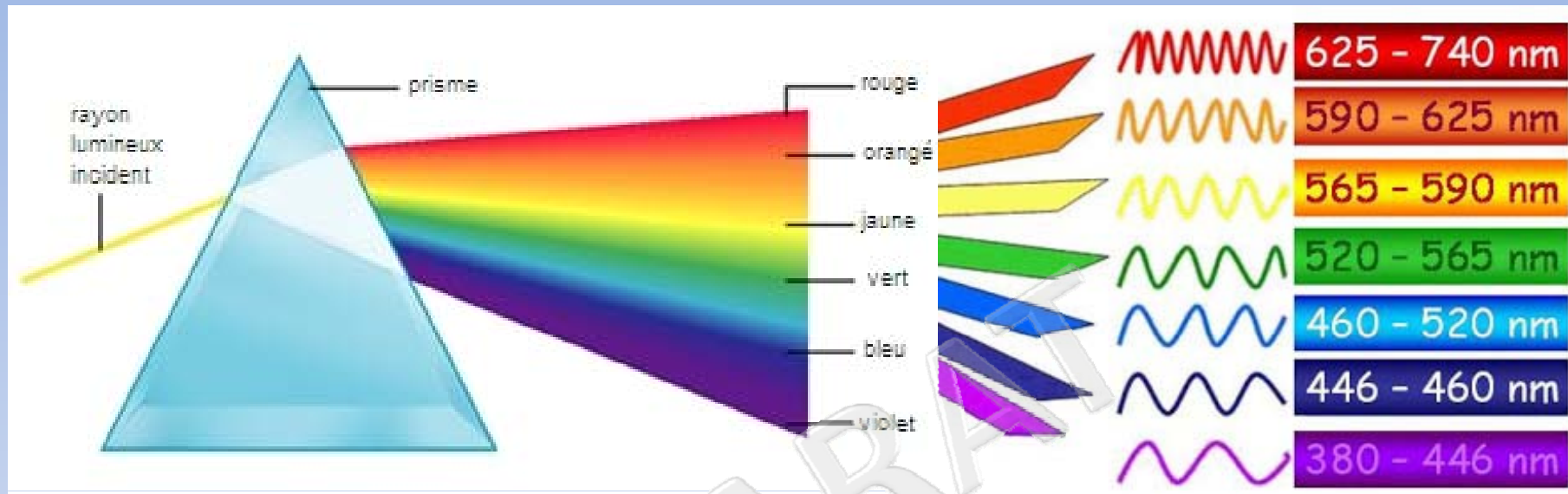
f : la fréquence de l'onde en (Hz)

T : période en (s)

λ : longueur d'onde en (m)

- Une lumière **monochromatique** a une seule longueur d'onde par exemple : le laser est une lumière monochromatique
- Une seule longueur d'onde correspond à une seule couleur
- la lumière blanche (visible) est la combinaison de toutes les couleurs du spectre de l'arc en ciel

IV- Photométrie



- La décomposition de la lumière blanche (soleil) à travers un prisme donne lieu aux sept couleurs de l'arc en ciel allant du rouge le moins énergétique au violet le plus énergétique.
- Une seule longueur d'onde correspond à une seule couleur
- Donc, la lumière blanche (visible) est la combinaison de toutes les couleurs du spectre de l'arc en ciel

⇒ **l'œil humain** ne perçoit pas toutes les longueurs d'ondes de la même manière ⇒ **il n'a pas la même sensibilité à toutes les couleurs**, par exemple : une lumière monochromatique $\lambda = 510$ nm (vert) est perçue comme deux fois moins intense qu'une lumière monochromatique $\lambda = 555$ nm (vert-jaune) de même intensité énergétique.

IV- Photométrie

- La photométrie mesure des « quantités de lumière » **perçues par l'œil**, émises par une source ou renvoyée par un objet. Du point de vue physique, une lumière est caractérisée par : sa composition spectrale et l'énergie qu'elle transporte
- le but de la photométrie est de quantifier les grandeurs relatives au rayonnement en fonction de l'impression visuelle produite.

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures en **éclairage**

il en existe **4 fondamentales** :

- **l'intensité lumineuse (candela)**, qui est une des 7 unités du système international mais qui est peu utilisée.
- **le flux lumineux (lumen)**, qui est notamment utilisé pour exprimer le flux total émis par une source lumineuse
- **l'éclairement (lux)**, qui est utilisé pour exprimer la quantité de lumière souhaitée sur une surface dans une pièce
- **la luminance (candela/m²)**, qui porte la notion d'**éblouissement** et qui est la seule de ces quatre notions directement appréciable par l'œil de l'être humain

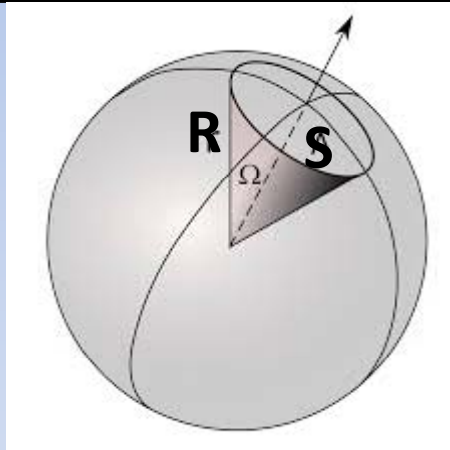
IV- Photométrie

2 – Notions de photométrie : grandeurs et unités adaptées à la mesure de la lumière

2- 1- Angle Solide

Soit un faisceau de lumière émis par une source ponctuelle. Ce faisceau est caractérisé par l'angle solide Ω . Lorsqu'il tombe sur un objet, il éclaire une surface S , tel que :

Angle à 3 dimensions (3D)

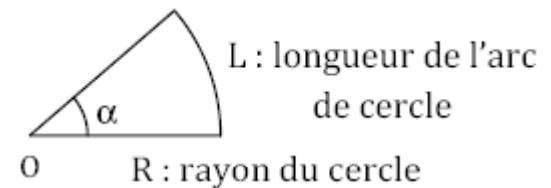


Stéradian
(sr)

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère, une aire égale à celle d'un carré de côté égal au rayon de cette sphère.

Rappel à 2 dimensions (2D)



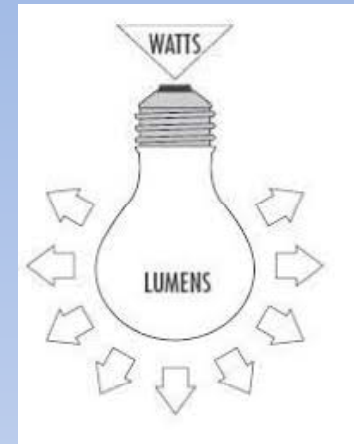
$$\alpha = \frac{L}{R} \text{ en radians}$$

Pour la sphère entière : $S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$, alors $\Omega = 4 \cdot \pi \text{ sr}$

IV- Photométrie

2-2- Flux lumineux

Le flux **énergétique Φ** d'un faisceau de lumière émis par une source, est l'énergie transportée par unité de temps : $\Phi = W/t = P$, donc c'est l'équivalent d'une puissance, c'est-à-dire une quantité mesurée en **Watt**, cette quantité est purement énergétique et ne tient pas compte de la sensation visuelle de l'œil humain qui varie selon plusieurs facteurs tels que la couleur, l'intensité lumineuse lors de la vision diurne ou nocturne ..



On définit alors **le flux lumineux ou visuel φ** :

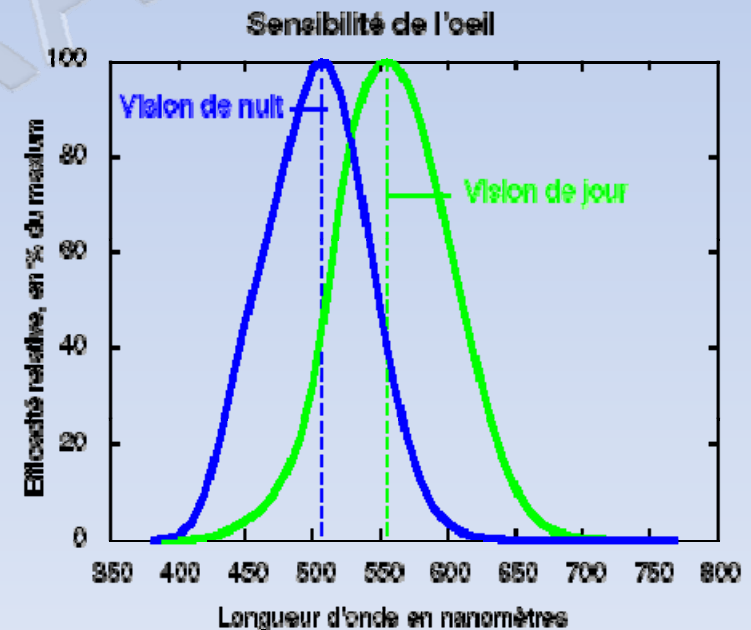
$$\varphi = k \cdot P$$

où k représente le facteur de visibilité de l'œil

L'unité de φ est le **lumen (lm)**

La visibilité est maximale à $\lambda_M = 555 \text{ nm} = 0,555 \mu\text{m}$

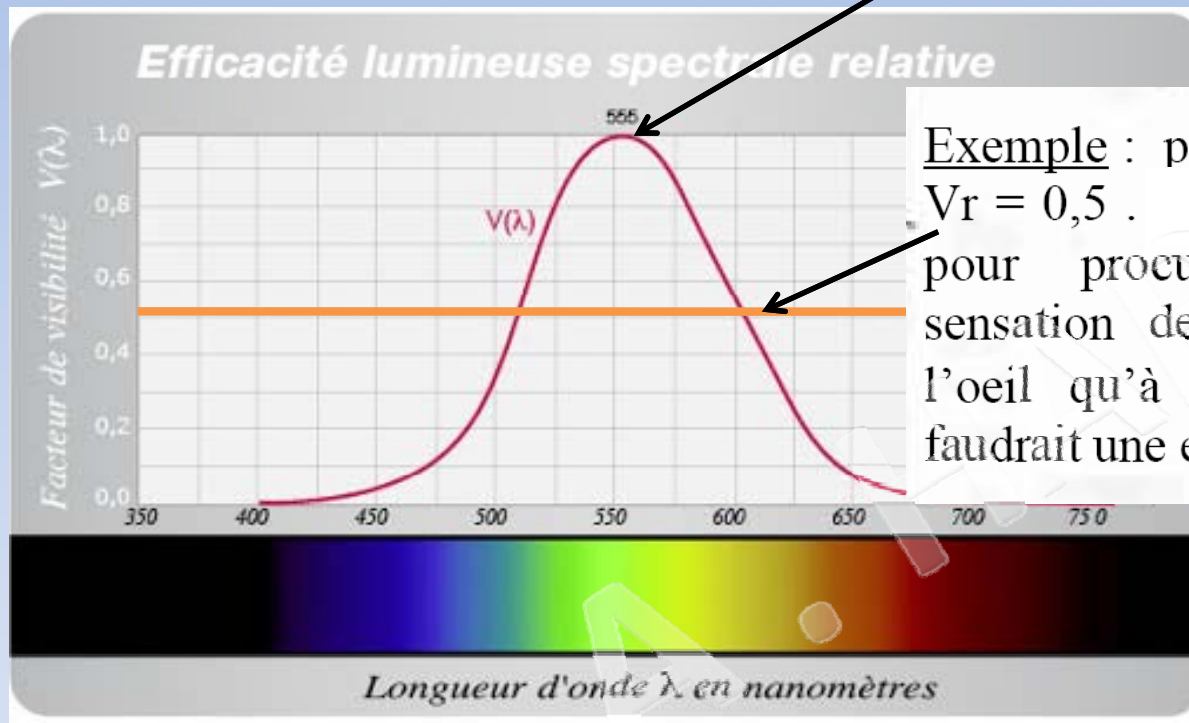
On lui associe un facteur de visibilité $k_M = 680 \text{ lm/W}$



IV- Photométrie

A la suite de nombreuses mesures, on a pu obtenir la courbe de visibilité relative des diverses longueurs d'onde par un « observateur moyen ». On la nomme « courbe d'efficacité lumineuse relative »

Maximum de visibilité à $\lambda = 555$ nm



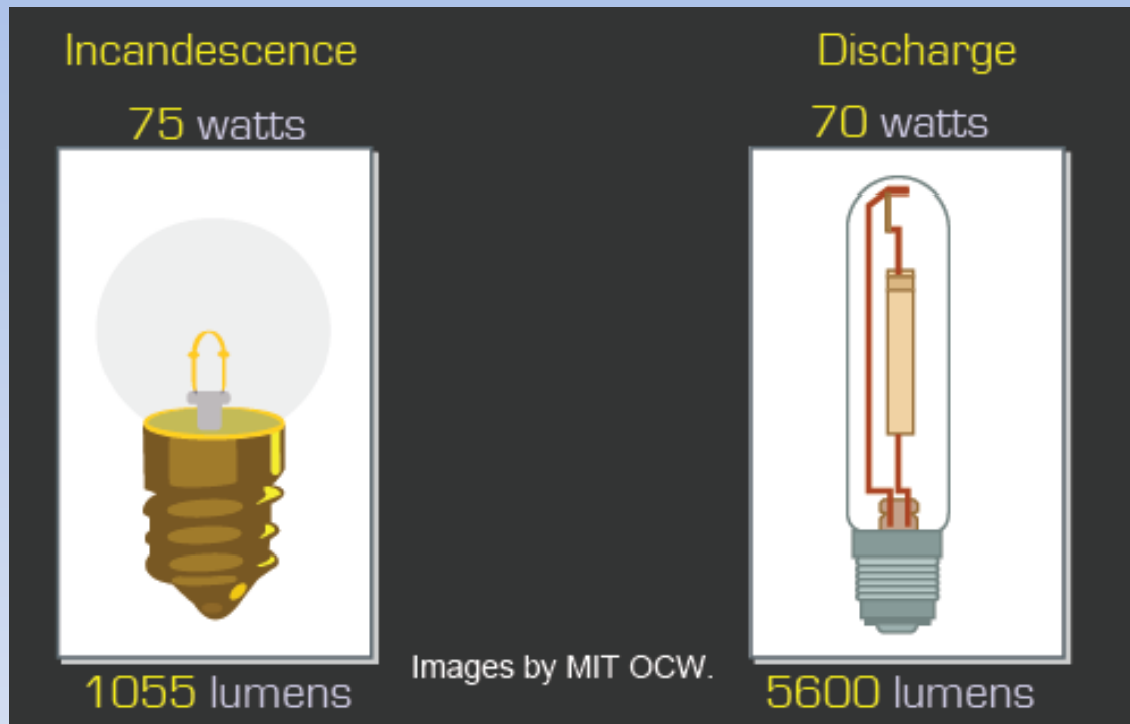
Exemple : pour $\lambda = 625$ nm,
 $V_r = 0,5$.

pour procurer la même sensation de luminosité sur l'oeil qu'à $\lambda = 555$ nm , il faudrait une énergie double.

IV- Photométrie

Une source lumineuse est caractérisée par son **efficacité lumineuse k** , exprimée en lm.W^{-1} .

P représente la puissance de la lampe en Watt. **$k = \varphi/P$**

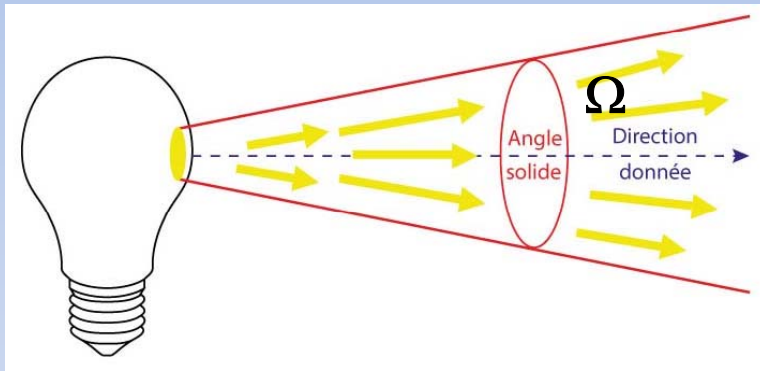


Exemple de différence entre le flux d'une lampe à incandescence et une lampe à décharge électrique comme le néon, on remarque que pour le néon et avec une puissance inférieure à celui d'une lampe à incandescence le flux lumineux perçu par l'œil est supérieur.

IV- Photométrie

2-3- Intensité lumineuse I

On s'intéresse maintenant au faisceau lumineux qui éclaire une région de l'espace, dans une direction donnée, dans l'angle solide Ω :



On définit l'intensité lumineuse par la quantité de lumière émise par unité de temps dans une direction donnée donc par unité d'angle solide :

$$I = \frac{\varphi}{\Omega}$$

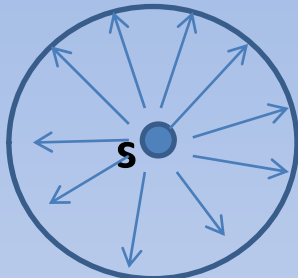
lumen (lm) points to φ
Candela (cd) points to I
stéradian (sr) points to Ω

1 lumen (lm) correspond donc au flux émis dans un angle solide de 1 stéradian (sr) par une source ponctuelle uniforme située au sommet de l'angle solide et dont l'intensité est 1 candela (cd)

IV- Photométrie

Quelques cas d'angles solides fréquents

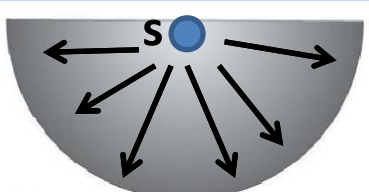
1-



Cas d'une source émettant dans toutes les directions (angle solide : sphère)

$$\Omega = 4\pi \text{ (sr)}$$

2-

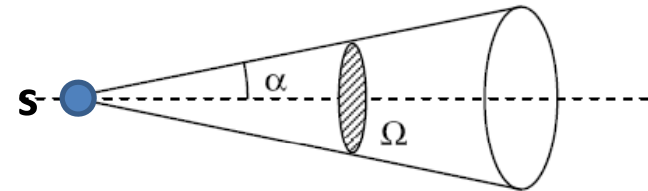


Cas d'une source émettant dans un demi espace (angle solide : demi-sphère)

$$\Omega = 2\pi \text{ (sr)}$$

3-

Cas d'un cône de révolution

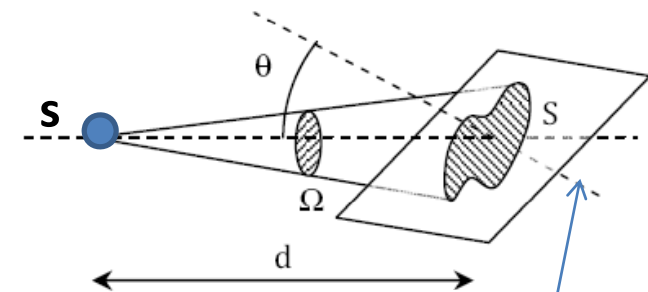


$$\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \alpha)$$

α est le $\frac{1}{2}$ angle du cône.

4-

La surface interceptée est inclinée



Axe
perpendiculaire
à la surface

$$\Omega = \frac{S}{d^2} \times \cos \theta$$

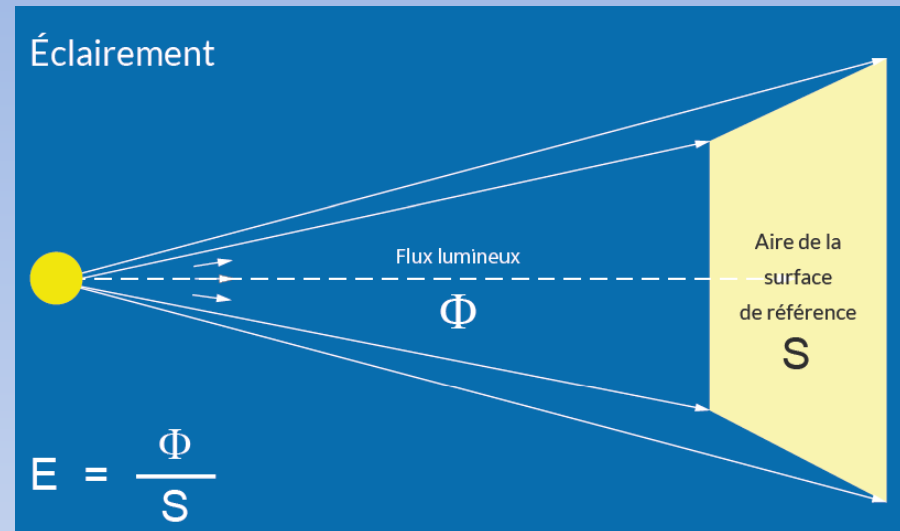
La surface doit être de petite dimension devant la distance d.
Ainsi on suppose que les rayons sont quasiment parallèles

IV- Photométrie

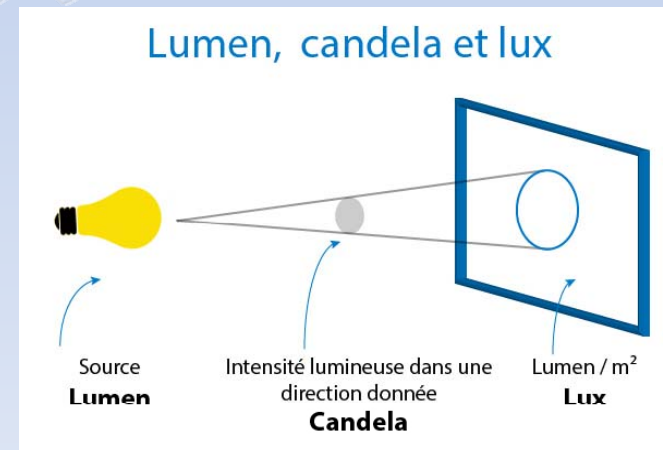
2- 4- Éclairement E d'une surface

L'éclairement E est relié à la surface éclairée par la source lumineuse, donc c'est le flux lumineux par unité de surface :

$$\text{Lux (lx)} \rightarrow E = \frac{\varphi \text{ lumen (lm)}}{S \text{ m}^2}$$



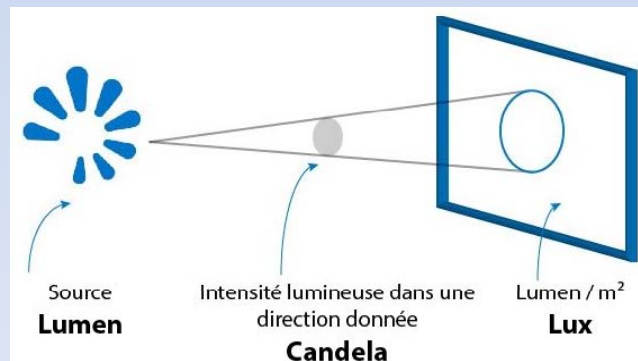
L'éclairement se mesure avec un luxmètre



IV- Photométrie

Quelques ordres de grandeurs de l'éclairement E

Situation	E (lx)
En plein soleil, à midi, en été	100 000
Ciel couvert dans la rue	Entre 20 et 10 000
A l'intérieur en plein jour	Entre 1000 et 3000
La nuit par pleine lune	< 0,25
Eclairage public	50
Lampe de 75 W à 2m	40
Lampe de 75 W à 4m	10
Eclairement suffisant pour lire	300

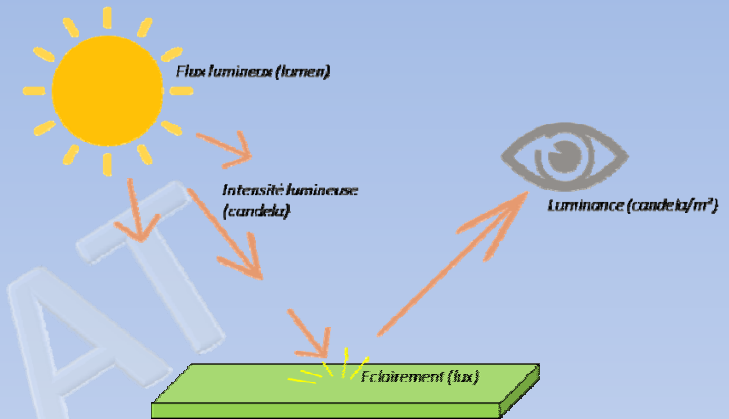


IV- Photométrie

2- 5- Luminance L (Eblouissement)

Des sources d'intensité lumineuse identique dans la même direction peuvent apparaître avec des luminosités différentes. Elles peuvent apparaître plus ou moins brillantes.

La luminance **L** est l'intensité lumineuse émise par une surface dans une direction donnée, rapportée à la surface apparente de la surface considérée.



$$L = \frac{I}{S_{app}}$$

(cd/m²)

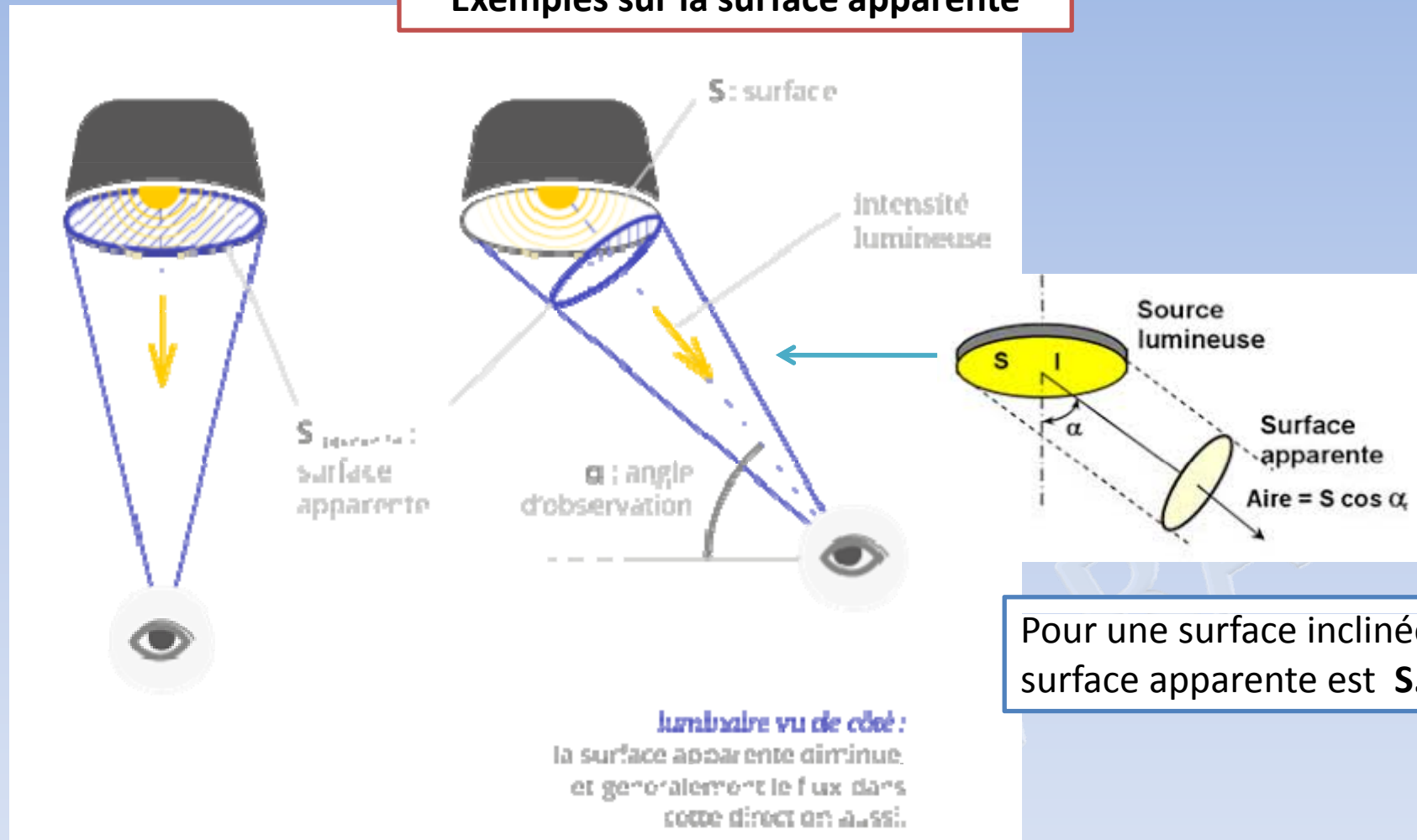
(cd)

Surface apparente (m²)

L'intensité et la luminance caractérisent l'aspect (l'éclat) d'une source, qu'elle soit ponctuelle ou non, qu'il s'agisse d'une source primaire ou secondaire.

IV- Photométrie

Exemples sur la surface apparente



Pour une surface inclinée la surface apparente est $S \cdot \cos \alpha$

IV- Photométrie

Quelques ordres de grandeurs de la luminance L

Primary sources

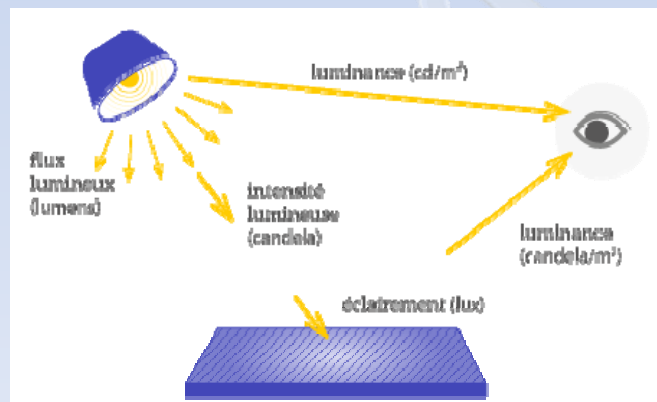
	Cd/m ²
• Sun	1 650 000 000
• Incandescent lamp (100 W, bright)	6 000 000
• Incandescent lamp (100 W, frosted)	125 000
• Fluorescent tube (40 W, 38 mm)	5000 - 8000
• Candle	5000
• Computer screen	100-200

Secondary sources

	Cd/m ²
• Moon	2 500 - 3000
• White paper ($\rho = 0.8$, $E = 400$ lux)	100
• Grey paper ($\rho = 0.4$, $E = 400$ lux)	50
• Black paper ($\rho = 0.01$, $E = 400$ lux)	5

Minimal luminance perceived:

10^{-5}



IV- Photométrie

Une source secondaire reçoit une puissance lumineuse, en absorbe une partie, et restitue le reste (réflexion).

Le facteur de réflexion (ou réflectance)

Il nous donne le rapport de ce qui est renvoyé sur ce qui est reçu :

$$R = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

R : facteur de réflexion (%)

ϕ_r : flux réfléchi (lm)

ϕ_i : flux incident (reçu) (lm)

$$\phi_r = M \times S$$

$$\phi_i = E \times S$$

M est l'émittance, $M = \Phi_r/S$, correspondant au le flux lumineux émis par chaque mètre carre d'une source étendue.

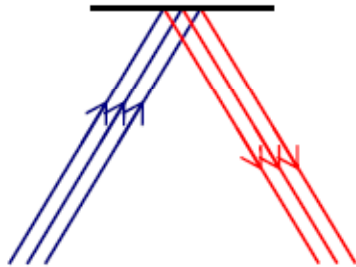
Le facteur de réflexion R dépend de la nature du matériau, il varie entre 0 et 1 :

$0 < R < 1$, pour une surface complètement réfléchissante comme le miroir $R=1 \Rightarrow \Phi_r = \Phi_i$

IV- Photométrie

Le mode de réflexion

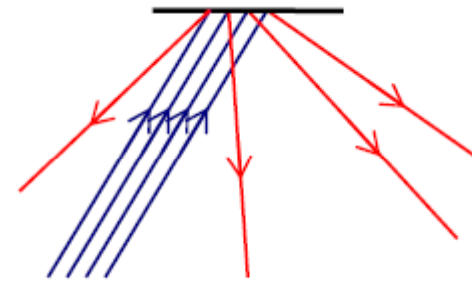
Réflexion spéculaire :



Miroirs, métaux polis, surfaces brillantes, eau... surfaces lisses

Les rayons ayant la même direction incidente repartent selon une même direction en respectant la loi de la réflexion

Réflexion diffuse :



Murs, pierre, sols, surfaces mates... surfaces rugueuses.

Les rayons ayant la même direction incidente repartent dans des directions différentes.

Corps parfaitement diffusant : loi de Lambert

Une source étendue (primaire ou secondaire) qui émet de façon identique dans toutes les directions (luminance identique dans toutes les directions) respecte la loi de Lambert :

$$\pi \times L = M$$

S'il s'agit d'une source primaire, on dit qu'elle est orthotrope.

S'il s'agit d'une source secondaire, on parle d'un corps parfaitement diffusant ou lambertien.

Si un corps qui reflète la lumière est parfaitement diffusant, la loi de Lambert devient alors :

$$\pi \times L = R \times E = M$$

IV- Photométrie

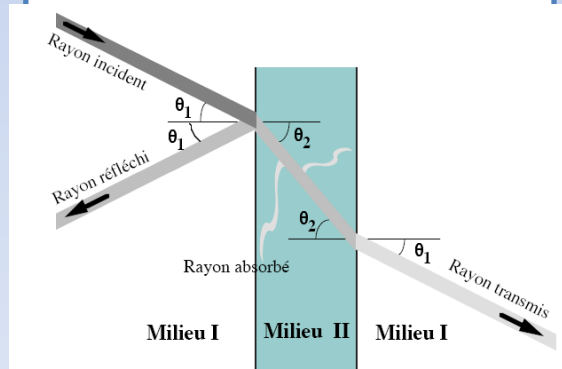
3- Interaction avec la matière: Corps transparents, opaques, verres et vitrage

on distingue trois catégories de corps, répertoriés selon leurs effets sur la lumière.

corps transparents

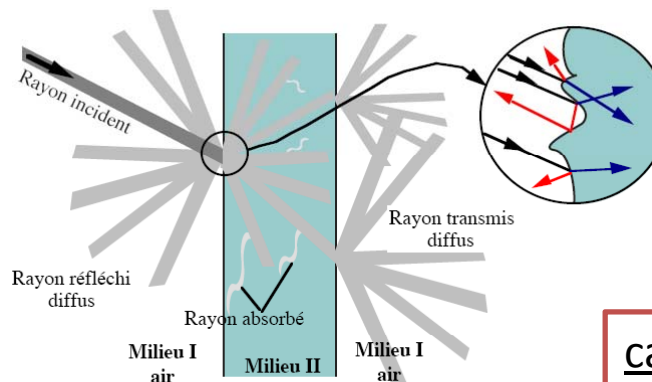
tous les corps qui laissent passer la totalité de la lumière, très faible partie de la lumière est réfléchi

Exemple :
Verres de vitrage



corps translucides

Ressemblent aux corps transparents avec une surface rugueuse



corps opaques

ne transmettent aucune Lumière, Une partie de la lumière est réfléchi l'autre absorbée.

Le comportement du corps dépend essentiellement de sa couleur

cas extrêmes :

les objets noirs absorbent toutes les couleurs incidentes et les objets blancs réfléchissent toutes les couleurs.

IV- Photométrie

Ressources dans la plate forme :

- ❑ Physique pour l'architecte, Hassen Ghalila, Université de Tunis, 2007,
- ❑ fichier à télécharger du site de la plate forme : [mdf_sarr.pdf](#)

A. HARAT