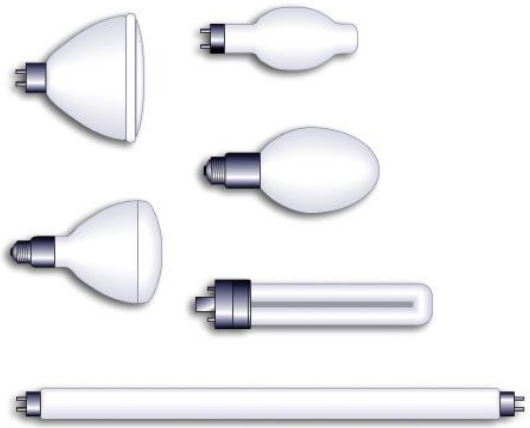
ELE 1409: ÉLECTRICITÉ DU BÂTIMENT

COURS 7: SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE

Liens vidéo
https://www.loom.com/share/e87e6379d338492486aee9ca39271953?sid=3835f29a-9bb0-4d0c-ae48-79f52604620d



POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Objectifs du cours 7

À l'issu de ce 7e cours, l'étudiant(e) sera en mesure de :

- ❑ **Interpréter** les **principales caractéristiques** des appareils d'éclairages
- ❑ **Connaître** les principaux modes d'éclairage.

Sommaire

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

- ❑ Généralités
- ❑ Les grandeurs photométriques
- ❑ Quelques appareils d'éclairage
- ❑ Les luminaires
- ❑ Conclusion

Généralités: *L'éclairage*

L'éclairage est un domaine très vaste pouvant être réparti dans les trois grands groupes suivants :

- L'**éclairage intérieur** (résidentiel ou industriel)
- L'**éclairage extérieur** (décoratif ou fonctionnel).
- L'**éclairage public** qui est celui des voies de circulation.

Dans ce chapitre, il ne sera traité que de l'éclairage intérieur.

Intérieur

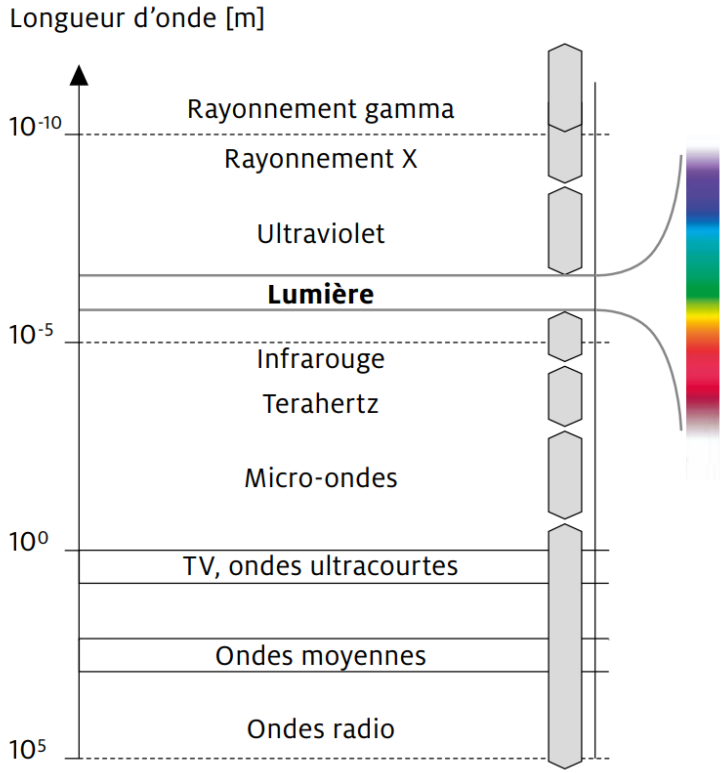
Public

Généralités: *Lumière et longueur d'onde*

La **lumière** est la partie du rayonnement électromagnétique que nos yeux perçoivent. La couleur d'une lumière est caractérisée par sa longueur d'onde λ.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

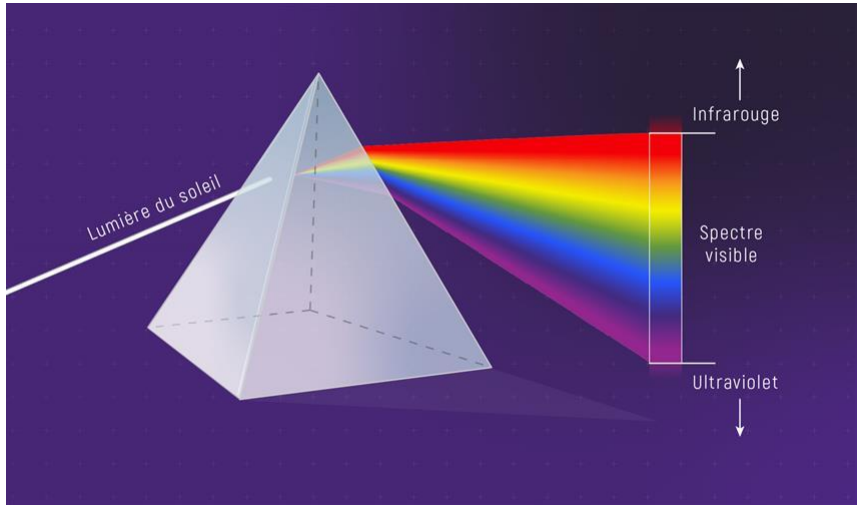
- λ en mètre,
- c est la vitesse de la lumière dans le vide; elle vaut $3 \times 10^8 \ m/s$
- f est la fréquence de la lumière en Hz.



Classification des ondes en fonction de leur longueur d'onde

Généralités: *Lumière du soleil*

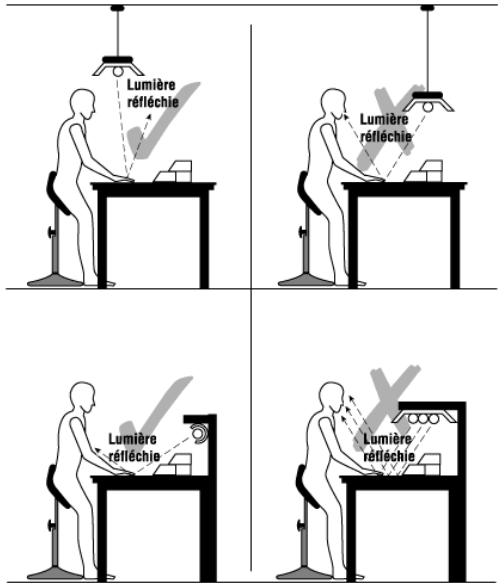
La **lumière du soleil** **n'est pas monochromatique**; elle est composée de plusieurs couleurs allant du violet au rouge. La figure ci-dessous montre le spectre de la lumière du soleil qui est décomposée par un prisme.



Décomposition de la lumière du soleil avec un prisme

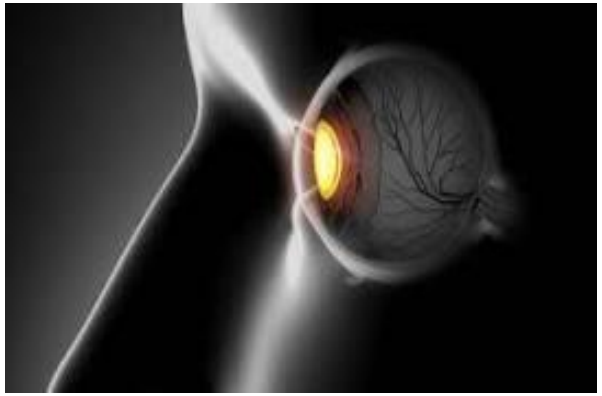
Généralités: *Sensibilité de l'oeil*

La sensibilité de l'œil varie selon les couleurs et le choix des sources lumineuses dépend de cette sensibilité. On distingue les trois effets ci-dessous.

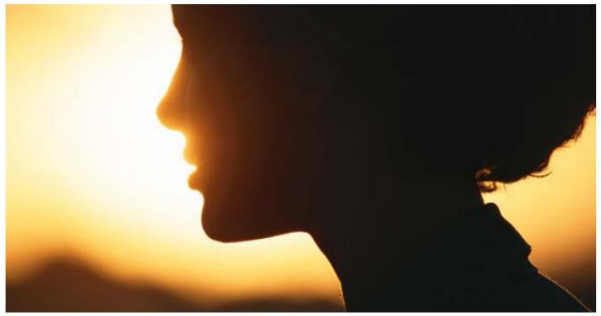


Lumière pour les **fonctions visuelles** : éclairage:

- conforme aux normes de la zone de travail,
- confortable et sans éblouissement.



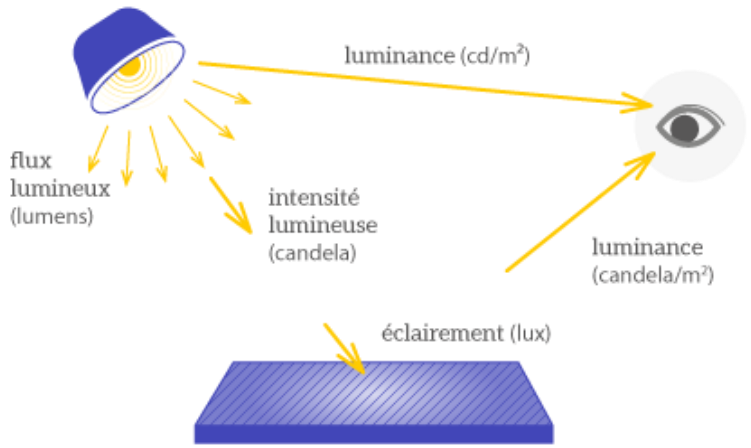
La lumière à **effet biologique** : soutiens le rythme circadien et stimule ou détends.



La lumière pour la **perception émotionnelle** : dans ce cas, on met en place un éclairage qui souligne l'architecture et peut être créatrice d'ambiances et élément d'aménagement.

Les grandeurs photométriques: *Définition*

La **photométrie** est la science qui étudie le rayonnement lumineux du point de vue de la perception par l'œil humain. La plupart des appareils de mesure en photométrie, qui ne font pas intervenir directement l'œil en tant qu'élément sensible, sont étalonnés en fonction de la courbe de sensibilité relative de l'œil humain. On rappelle que la sensibilité de l'œil varie selon les couleurs.



Les grandeurs photométriques: *Le flux lumineux et efficacité lumineuse*

- Le **flux lumineux** est la quantité d'énergie lumineuse rayonnée par seconde (quantité totale de la lumière). Cette grandeur permet ainsi de décrire la quantité de lumière émise par une source lumineuse. Le symbole utilisé pour la source lumineuse est le Φ (phi). L'unité est le **lumen (lm)**. Le flux lumineux est la somme des intensités dans un espace donné.
- L'**efficacité lumineuse** est le quotient du flux lumineux par quantité d'énergie électrique consommée $(\mathrm{lm/W})$.

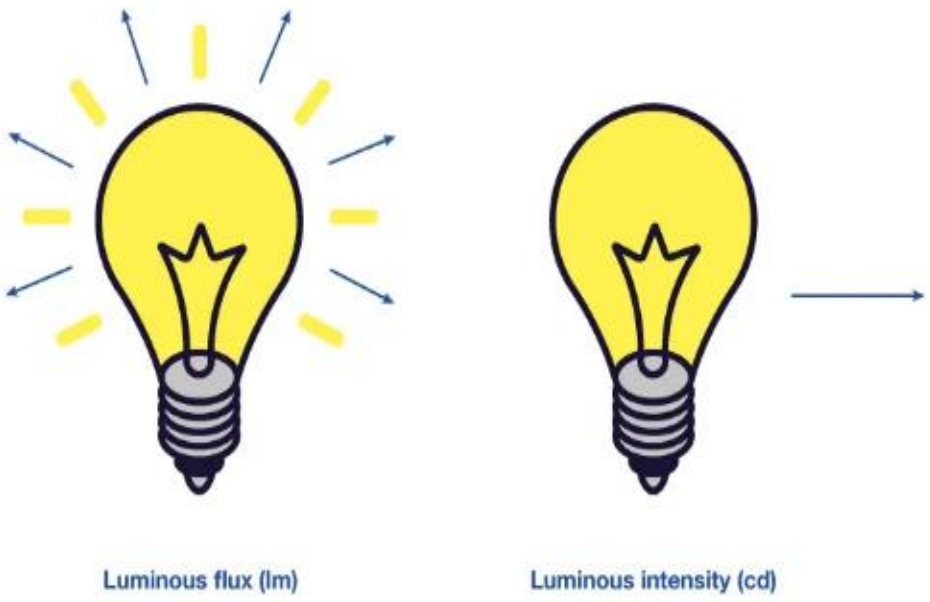
$$K = \frac{\phi}{P}$$

$$\begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ \text{P: puissance en watts (W)} \\ \text{K: intensité lumineuse en (lm/W)} \end{cases}$$

Note: Le flux lumineux est la grandeur lumineuse qui utilisée pour comparer l'efficacité lumineuse de différentes lampes.

Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse*

Noté I c'est l'énergie lumineuse rayonnée par seconde dans une **direction donnée**. Son unité est le candela (**cd**).

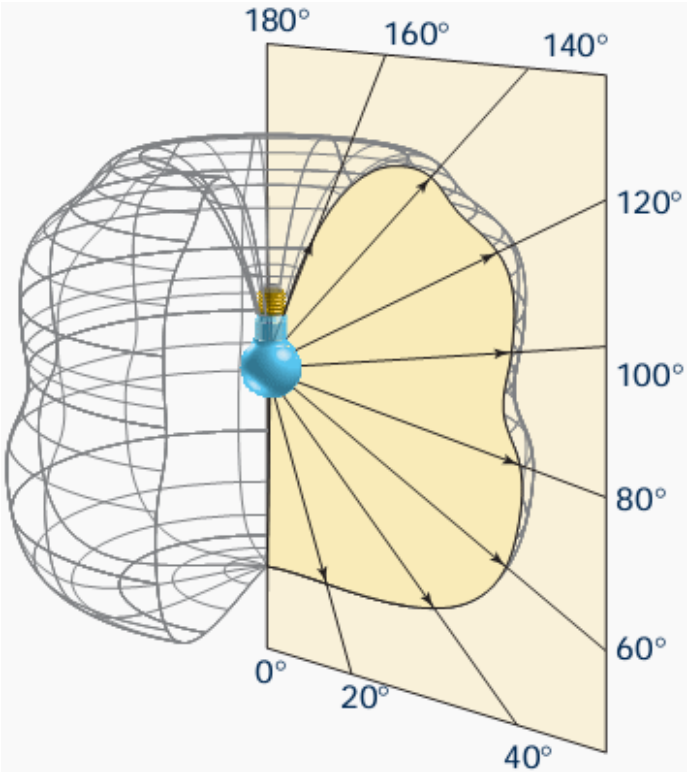


Différence entre flux lumineux et intensité lumineuse

Remarque : Le flux lumineux permettra de comprendre la quantité de lumière dans un espace général, tandis que l'intensité lumineuse est le paramètre utilisé pour calculer les niveaux exacts de lumière qui frappe chaque surface. Lorsque la lampe émet de façon uniforme dans toutes les directions, l'intensité lumineuse I est constante.

Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse (suite)*

Chaque appareil d'éclairage est caractérisé par une **courbe photométrique** qui représente la répartition des intensités lumineuses émises par l'appareil, pour une lampe émettant un flux total de 1000 lumens. En abscisses figurent les angles en degrés, en ordonnées les intensités lumineuses en candelas.



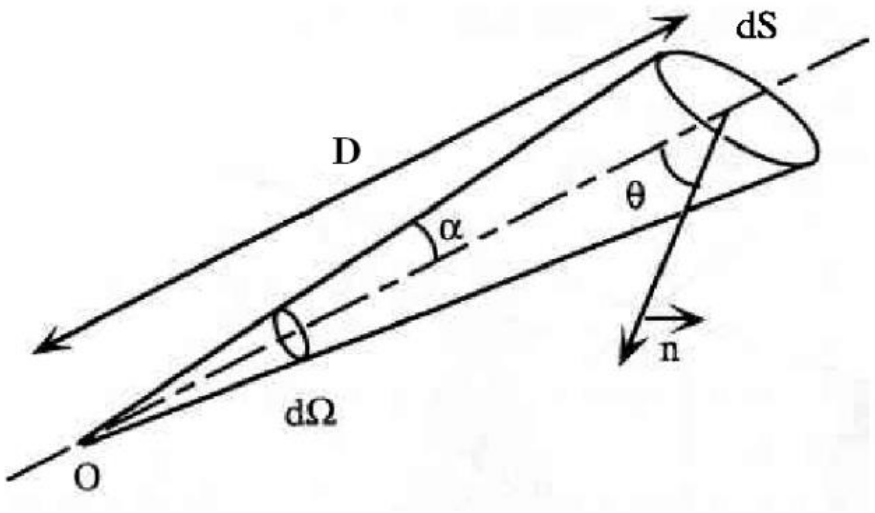
Exemple de graphe de l'intensité lumineuse pour une source circulaire

Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse (suite)*

Pour calculer l'intensité lumineuse, on peut utiliser l'**angle solide** qui est une grandeur géométrique permettant de décrire et de mesurer un cône.

$$\phi = I \times \Omega \qquad \begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ \text{I: intensité lumineuse en cd} \\ \Omega\text{: angle solide en stéradian (sr)} \end{cases}$$

L'angle solide est symbolisé par Ω et son unité est le **stéradian (sr)**.



Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse (suite)*

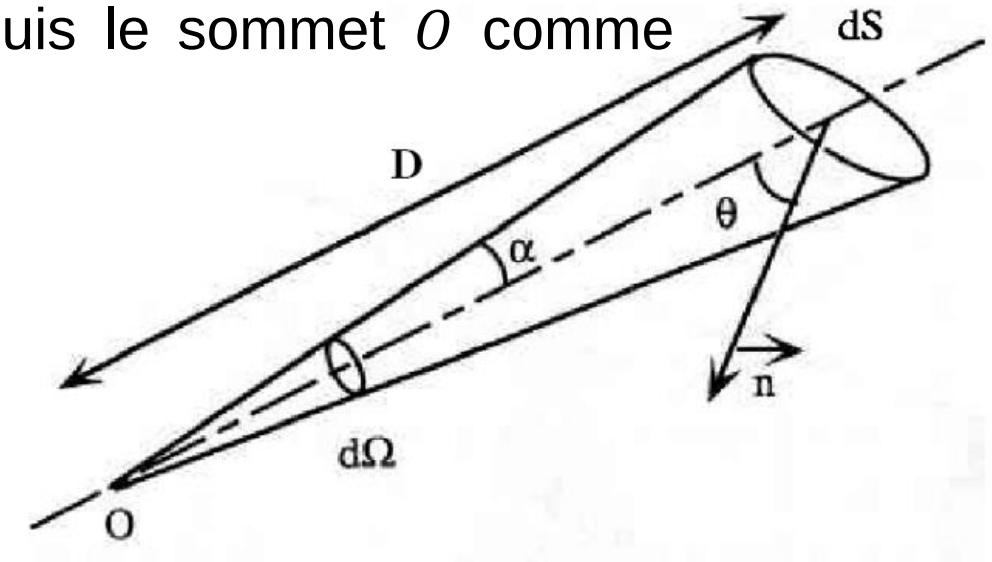
Soit dS une petite surface vue depuis le point O comme montré sur la figure

- Le cône élémentaire $d\Omega$ a un demi-angle au sommet α (plan de coupe diamétral).
- La normale forme un angle θ avec le rayon moyen provenant de O.
- θ est appelé angle d'inclinaison ou d'obliquité.

$dS\cos\theta$ est la surface apparente vue depuis le point O (comme dans une sphère vue de loin).

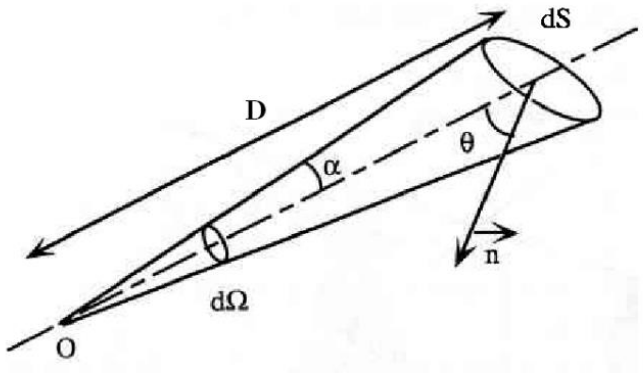
- Le cône élémentaire sous lequel dS est vue depuis le sommet O comme suit :

$$\mathrm{d}\Omega = \frac{dS\cos\theta}{D^2}$$



Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse (suite)*

$$\mathrm{d}\Omega = \frac{dS\cos\theta}{D^2}$$



L'angle solide sous lequel, on verra, du centre de la sphère, une calotte sphérique de surface S dont le diamètre apparent s'étend sur un angle de $2\,\theta$ est alors défini comme suit

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

- Pour un demi-espace $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\Omega_{1/2} = 2\pi$$

- Pour un espace entier $\alpha = \pi$

$$\Omega_{\text{espace}} = 4\pi$$

- Pour un cône très étroit : $\cos\alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$

$$\Omega(\alpha) = \pi\alpha^2$$

Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse (fin)*

Exemple d'application 1: Une lampe fluorescente de puissance $P = 10\,W$ a une intensité lumineuse $I = 35\,\mathrm{cd}$. Calculez le flux lumineux et l'efficacité lumineuse de la lampe sachant qu'elle émet dans toutes les directions.

Solution de L'exemple 1

$$P = 10\,W\ ;\ \ I = 35\,cd$$

Flux lumineux

La source émettant dans toutes les directions alors on aura :

$$\phi = I \times \Omega_{\text{espace}} = 35 \times\ 4\pi = \boxed{439{,}822\ \mathrm{lm}}$$

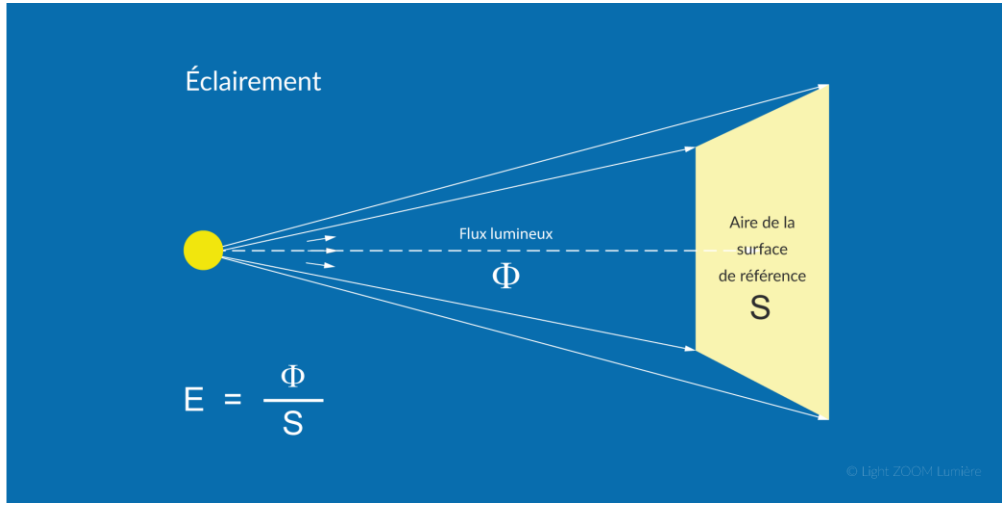
Efficacité lumineuse

$$K = \frac{\phi}{P} = \frac{439{,}822}{10} \approx \boxed{44\ \ \mathrm{lm}/W}$$

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

Quantité de lumière (flux lumineux) reçue sur une surface

$$E = \frac{\phi}{S} \quad \begin{cases} \phi : \text{flux lumineux en lm} \\ S : \text{surface en m}^2 \\ E: \text{Éclairement en lux (lx)} \end{cases}$$



L'unité est le **Lux (lx)** et l'éclairement se mesure avec un **luxmètre**. L'éclairement se mesure aussi en fc (Foot-candle)

$$1 \text{ fc} \approx 10{,}764 \text{ lx}$$

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

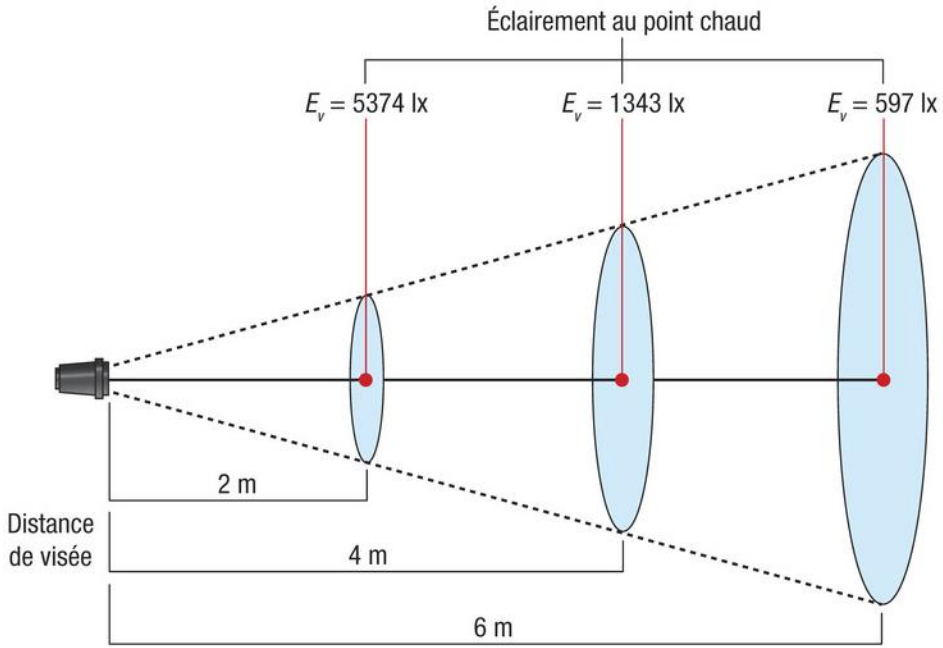
Pour estimer le niveau moyen d'éclairement d'une installation, on effectue des mesures à différents points du local pour ainsi établir la moyenne du niveau d'éclairement. Avec ces valeurs de référence et à l'aide d'un **luxmètre**, il est facilement possible d'évaluer le niveau moyen d'éclairement d'une installation existante. Il suffit de mesurer ce niveau à différents points du local pour ainsi établir la moyenne du niveau d'éclairement.

Luxmètre MTP 1014

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

Lorsqu'une source émet de façon uniforme dans toutes les directions, l'intensité lumineuse est constante et pour évaluer l'éclairement en un point situé à une distance h de la source, on considère une petite surface dS situé autour du point et un cône de lumière d'angle solide élémentaire $d\Omega$.

$$E = \frac{d\phi}{dS} = \frac{I\,d\Omega}{dS} = \frac{I\,dS}{dS.\,h^2} \Rightarrow E = \frac{I}{h^2}$$



Remarque : l'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance qui sépare la source du point de mesure. Cette formule est connue sous le nom de **Loi de l'inverse du carré**.

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

Quelques niveaux d'éclairement recommandé selon le type de local

Local et activité	Eclairement moyen
Hall d'entrée et couloirs	
Hall d'entrée Couloir et circulation Escalier	100 lx 50 - 100 lx 100 lx
Sanitaires	
Eclairage ambiant Eclairage du miroir et du lavabo Toilettes	200 lx 300 - 500 lx 100 lx
Cuisine	
Eclairage ambiant Eclairage du plan de travail	200 - 300 lx 300 - 500 lx
Living – Salon	
Zone de repos (fauteuil, etc.) Lecture	50 - 200 lx 300 lx
Salle à manger	
Eclairage général Eclairage de la table	100 lx 100 - 300 lx
Chambre	
Eclairage général Zone de lecture (tête de lit)	100 - 200 lx 300 lx
Débarras, buanderies, caves, garage, etc.	
Eclairage général Zone de travail (repassage, bricolage, etc.)	50 - 100 lx 300 lx

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

Exemple d'application 2: une ampoule électrique de puissance $60\,W$ et d'efficacité lumineuse $K = 14\ \mathrm{lm}/W$ est suspendue à une hauteur $h_1 = 3\,m$ au-dessus d'une table et envoie toute la lumière émise dans toutes les directions.

1. Quel est l'éclairement de la table juste sous l'ampoule
2. À quelle hauteur h_2 devrait-on mettre l'ampoule pour doubler l'éclairement de la table ?

Les grandeurs photométriques: *Éclairement*

Solution de l'exemple 2: $P = 60\ W\ ;\ K = 14\ \mathrm{lm}/W$

On peut déterminer le flux lumineux en utilisant la relation (7.2) des notes de cours; ce qui donne :

$$K = \frac{\phi}{P} \quad \Rightarrow \phi = K \times P = 14 \times 60 = 840\ \mathrm{lm}$$

1. Calcul de l'éclairement si $h_1 = 3\ m$

La source émettant dans toutes les directions de l'espace, l'intensité lumineuse est constante et en considérant la relation (7.7), on obtient :

$$I = \frac{\phi}{4\pi}$$

Finalement, avec la relation (7.10), on obtient :

$$E = \frac{\phi}{4\pi . h_1^2} = \frac{840}{4\pi \times 3^2} = \boxed{7{,}42\ \mathrm{lux}}$$

2. Calcul de la distance h_2 permettant de doubler l'éclairement

L'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance; on peut alors écrire que :

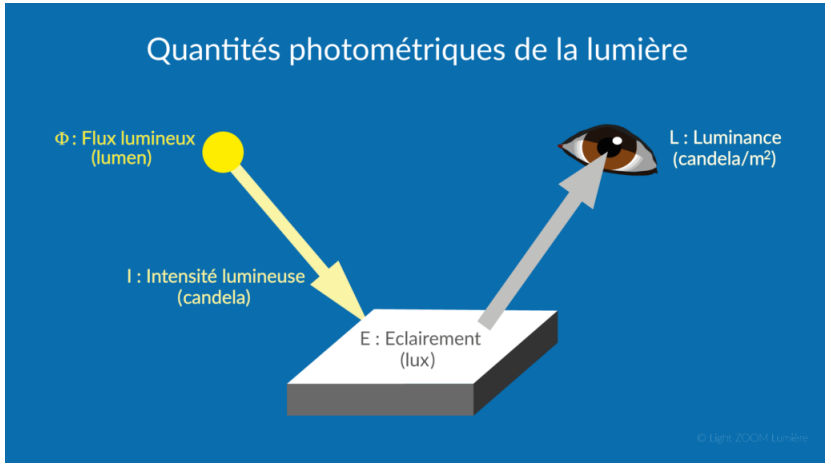
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{h_2^2}{h_1^2} \Rightarrow h_2^2 = \frac{E_1 . h_1^2}{E_2} \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_1\sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \Rightarrow \quad h_2 = 3 \times \sqrt{\frac{E_1}{2E_1}} = \frac{3}{\sqrt{2}} = \frac{3\sqrt{2}}{2} = \boxed{\mathbf{2{,}12\ m}}$$

Les grandeurs photométriques: *Luminance*

La **luminance** représente l'intensité lumineuse produite (ou réfléchie) par une surface et vue d'une direction donnée. Elle caractérise la sensation visuelle d'éblouissement d'une lampe ou d'un luminaire, mais aussi de tout objet susceptible de renvoyer la lumière qu'il reçoit. La sensation visuelle de luminosité sera d'autant plus grande que l'intensité lumineuse est importante et que la surface apparente d'émission est faible.

$$L = \frac{I}{S}$$

$$\begin{cases} \text{I : Intensité lumineuse en cd} \\ \text{S : surface en m}^2 \\ \text{L: Luminance en candelas par m}^2\ (\text{cd/m}^2) \end{cases}$$



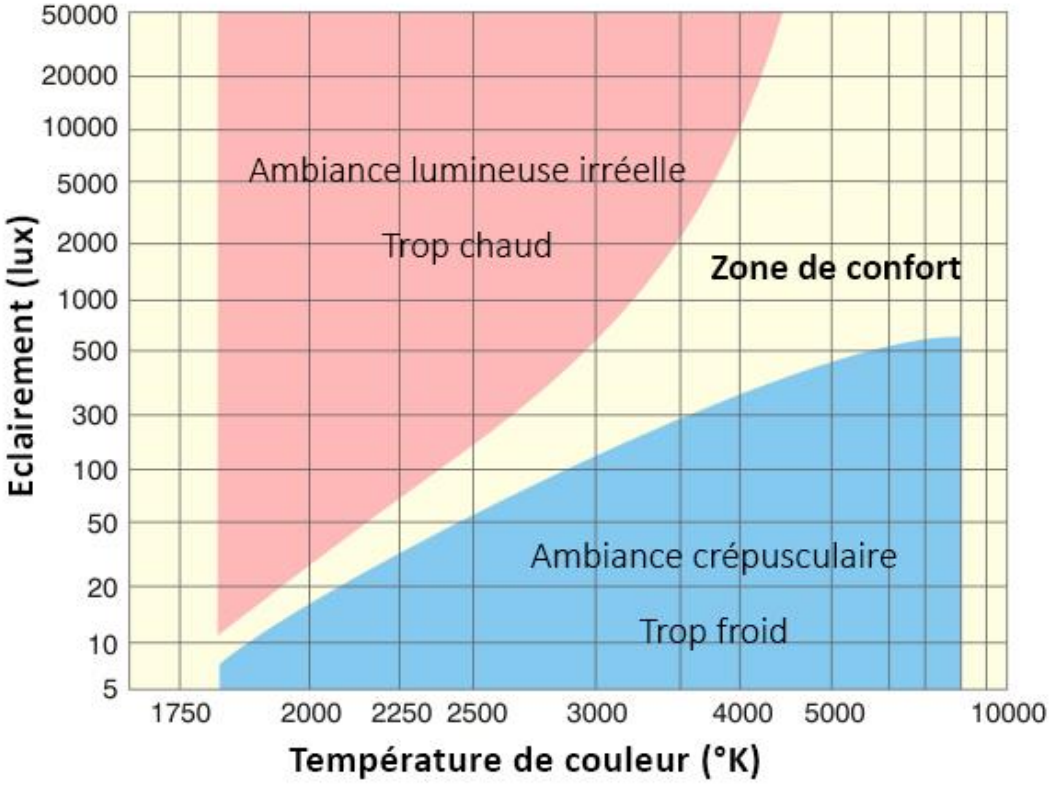
Les grandeurs photométriques: *Température de couleur*

Elle caractérise l'ambiance lumineuse (chaude, intermédiaire ou froide) que les appareils d'éclairage peuvent offrir. Plus la température de couleur exprimée en Kelvin (K) est élevée, plus l'ambiance obtenue est froide. Une classification de la température de couleur est montrée ci-dessous.

Température apparente	Température de couleur
Chaude (blanc, rosé)	< 3000 °K
Intermédiaire (blanc)	3300 à 5500 °K
Froide (blanc, bleuté)	> 5500 °K

Les grandeurs photométriques: *Température de couleur*

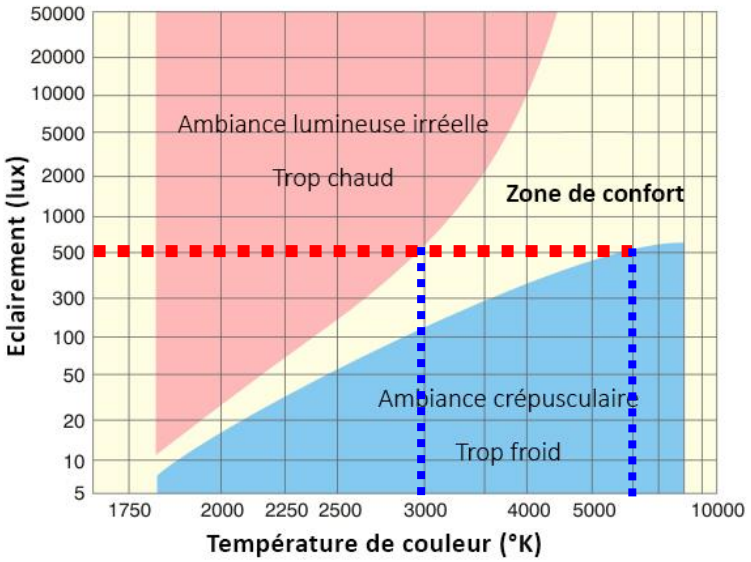
De façon générale, pour choisir la température de couleur en fonction du niveau d'éclairement tout en respectant le confort visuel, on utilise le **diagramme de Kruithof**.



Les grandeurs photométriques: *Température de couleur*

Exemple d'application 3

On désire obtenir un éclairement de 500 lux. En utilisant le diagramme de Kruithof montré sur la figure de la diapositive précédente déterminer quelle température de couleur maxi et mini pourra-t-on utiliser



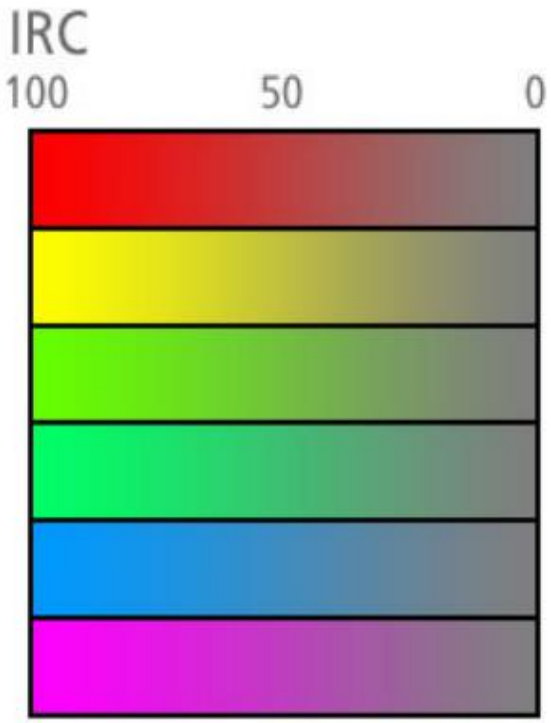
On obtient alors approximativement :

$$\begin{cases} T_{\min} \approx 3000\ K \\ T_{\max} \approx 6000\ K \end{cases}$$

Les grandeurs photométriques: *Indice de rendu de couleur*

L'**IRC** indique la capacité d'une lampe à restituer toutes les nuances du spectre visible (couleurs) d'un objet éclairé. L'IRC est d'autant meilleur qu'il se **rapproche de 100**. Le tableau ci-dessous montre une classification de l'IRC.

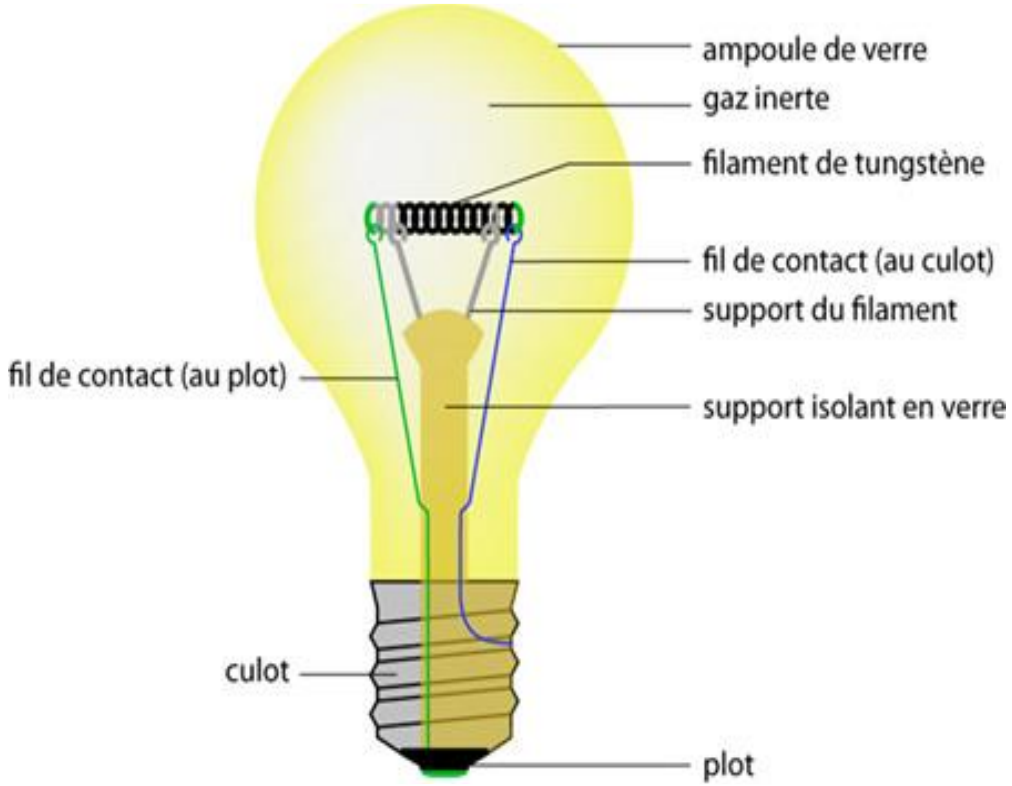
Rendu des couleurs	IRC
Médiocre	60 < IRC < 80
Moyen	80 < IRC < 85
Bon	IRC > 85



Rendu des couleurs

Quelques appareils d'éclairage: *Lampe à incandescence*

La lumière est due à une élévation de température du filament (en **tungstène**) sous l'effet du courant électrique qui le parcourt. Les filaments de tungstène ont une température de fusion élevée (3655 K). On réalise un double spiralage du filament afin d'améliorer l'efficacité lumineuse. Pour éviter la détérioration du filament, on le place à l'abri de l'oxygène dans une ampoule contenant un gaz inerte (argon, krypton).



Quelques appareils d'éclairage: *Lampe à incandescence*

Quelques caractéristiques des lampes à incandescence

- Efficacité lumineuse faible.
- Excellent indice de rendu des couleurs IRC proche de 100.
- Basse température de couleur (ambiance chaude).
- Encombrement réduit.
- Allumage instantané
- Faible prix d'achat.
- Ces lampes conviennent pour l'éclairage des locaux d'habitation, mais sont d'une exploitation couteuse du fait de leur faible efficacité.

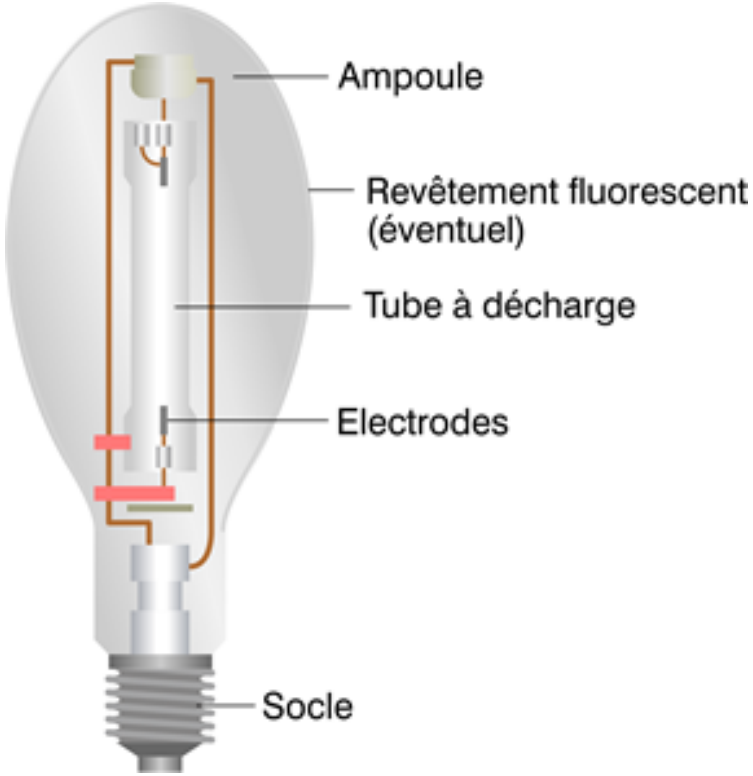
Quelques appareils d'éclairage: *Lampe à incandescence*

Lampe à iode

La lampe a Iode est une variante de la précédente. Les lampes à iodes ont une meilleure efficacité, un flux lumineux constant, ne noircissent pas et durent deux fois plus longtemps que les lampes à incandescence.

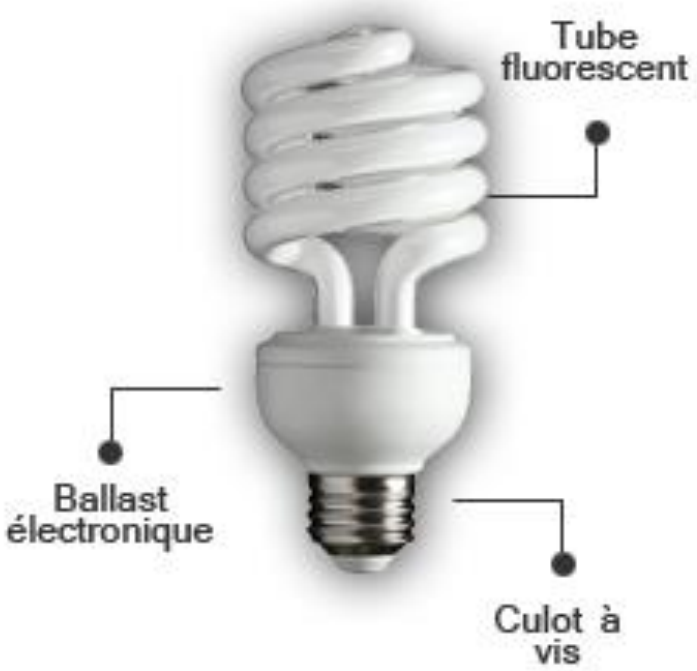
Quelques appareils d'éclairage: *Lampe à décharge*

Il s'agit des lampes fluorescentes et pour réaliser cette lampe, il est placé aux extrémités d'un tube fluorescent, un gaz inerte ou des vapeurs de métal sous pression, on applique une différence de potentiel. Des électrons émis par la cathode seront projetés à la rencontre des électrons périphériques des électrons de gaz et de métal. Lorsque ces électrons rejoignent progressivement leurs orbites initiales, ils libèrent de l'énergie acquise lors des collisions sous la forme des photons de lumière.



Quelques appareils d'éclairage: *Lampe fluorescente*

Il s'agit des lampes à décharge constituées d'un tube de verre dont la paroi interne est recouverte d'une mince couche d'une substance photoluminescente. Chaque extrémité contient une faible quantité de mercure dans un gaz rare. La décharge électrique dans la vapeur de mercure à basse pression produit un rayonnement ultra-violet transformé en lumière visible par la substance photoluminescente.



Quelques appareils d'éclairage: *Lampe fluorescente*

Quelques caractéristiques des lampes fluorescentes:

- La température de couleur 2800 K en blanc confort (lumière chaude) à 6300 K en lumière du jour.
- Un IRC compris entre 52 et 97
- Efficacité lumineuse K entre 40 et $95\ \mathrm{lm}/W$.

Quelques appareils d'éclairage: *Lampe à DEL*

- L'électroluminescence est l'émission de lumière produite lorsqu'un courant continu à basse tension traverse un dispositif à semi-conducteurs contenant un cristal et une jonction p-n. Le dispositif électroluminescent le plus courant est la diode électroluminescente ou DEL.
- Lorsque la diode est polarisée dans le sens passant, de la lumière est émise. Cette lumière est monochromatique et dépend des matériaux utilisés.
- Les DEL sont typiquement utilisées dans les endroits exposés tels que la signalisation, l'éclairage décoratif et festif, l'affichage de produits de consommation, et dans les applications automobiles.

Quelques appareils d'éclairage: *Comparaison des appareils d'éclairage*

	Technologie	Utilisation	Avantages	Inconvénients
	Incandescence Standard	Usage domestique Eclairage localisé décoratif	Branchement direct sans appareillage intermédiaire Prix d'achat peu élévé Facile à recycler Allumage instantané Bon rendu des couleurs	Efficacité lumineuse faible Consommation électrique importante Forte dissipation de chaleur Faible durée de vie
	Incandescence halogène	Éclairage ponctuel et intensif	Branchement direct Allumage instantané Excellent rendu des couleurs Facile à recycler	Efficacité lumineuse moyenne Forte dissipation de chaleur Consommation électrique importante
	Tube fluorescent	Magasins, bureaux, ateliers Extérieurs	Efficacité lumineuse élevée Rendu des couleurs moyen	Puissance lumineuse unitaire faible Sensible aux températures extrêmes Difficile à recycler
	Lampe fluo-compacte	Usage domestique Bureaux Remplace les lampes à incandescence	Bonne efficacité lumineuse Bon rendu des couleurs sensensibles aux nombre de commutations	Investissement initial élevé par rapport aux lampes à incandescence Difficile à recycler
	LED	Signalisation (feux tricolores, éclairage de secours) Hall	Insensibles aux nombre de commutations Faible consommation d'énergie Basse température.	Prix relativement élevé Rendu des couleurs moyen Gamme de puissance réduite

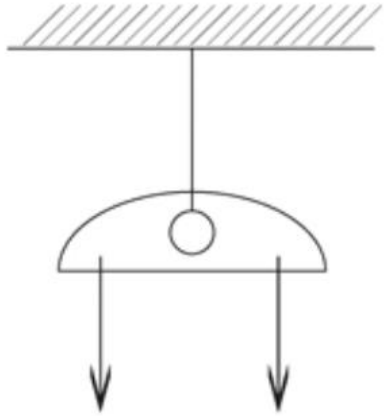
Les luminaires: *Définition*

Les luminaires sont des appareils d'éclairage avec les fonctions suivantes :

- La répartition du flux lumineux émis par la source.
- L'équilibrage des luminances des lampes afin d'éviter l'éblouissement.
- La protection des sources lumineuses.
- Les principaux luminaires que sont (réflecteurs et projecteurs, les abat-jours, etc.) modifient les courbes photométriques des lampes afin de mieux répartir la lumière. Les luminaires peuvent être encastrés, semi-encastrés et même suspendus

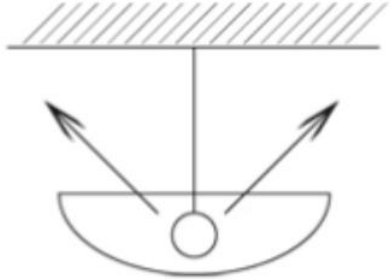
Les luminaires: *Modes d'éclairage*

Éclairage direct



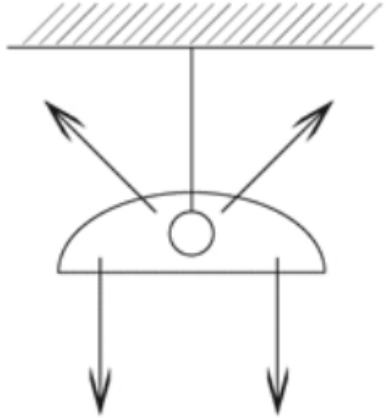
La lumière est envoyée directement sur la surface à éclairer. C'est le moyen le plus économique, mais il faut cependant éviter l'éblouissement.

Éclairage indirect



La lumière est dans ce cas envoyée directement vers le plafond. C'est un moyen très couteux, mais reposant.

Éclairage semi-direct



Une partie de la lumière (10 % à 40 %) est dirigée vers le plafond qui s'il est réfléchissant améliore l'ambiance lumineuse.

- Éclairage semi-indirect: La majeure partie de la lumière (60 % à 90 %) est dirigée vers le plafond réfléchissant, cela permet de diminuer les ombres et d'offrir une impression agréable.
- Éclairage mixte: C'est le compromis entre l'éclairage direct et indirect avec les avantages et les inconvénients des deux systèmes

Les luminaires: *Planification de l'éclairage*

- On définit quatre types d'éclairage pour les installations résidentielles : Ambiance, Travail, Accentuation et mise en valeur et Décoration.
- Dans la planification de l'éclairage, il faut tenir compte des aspects suivants :

✓ L'élément humain
✓ L'architecture
✓ L'artistique

Pour les normes et recommandations, consulter L'ASSTSAS (Association Paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales) : Éclairage, recommandation et normes.

http://asstsas.qc.ca/dossiers-thematiques/eclairage-reglementation-et-normes#:~:text=La%20norme%20NF%20X35%2D103,aux%20caract%C3%A9ristiques%20psychophysiologiques%20des%20travailleurs.

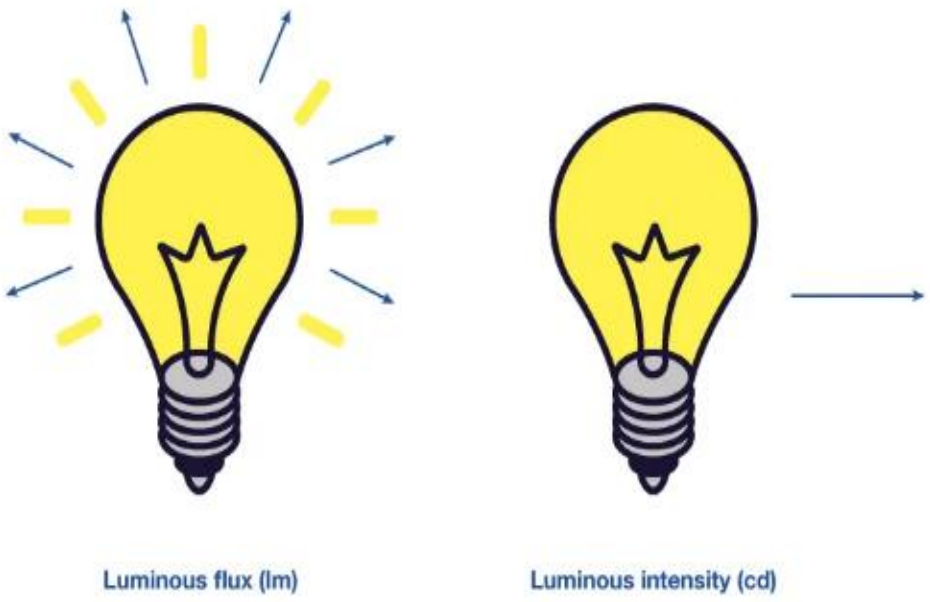
Note: Pas de fiches d'exercices pour ce cours, quelques-unes des problématiques évoquées ici seront traitées dans le rapport de test 5.

À venir

Cours 8: Facturation de l'énergie électrique

Les grandeurs photométriques: *Intensité lumineuse*

Noté I c'est l'énergie lumineuse rayonnée par seconde dans une **direction donnée**. Son unité est le candela (**cd**).



Différence entre flux lumineux et intensité lumineuse

Remarque : Le flux lumineux permettra de comprendre la quantité de lumière dans un espace général, tandis que l'intensité lumineuse est le paramètre utilisé pour calculer les niveaux exacts de lumière qui frappe chaque surface. Lorsque la lampe émet de façon uniforme dans toutes les directions, l'intensité lumineuse I est constante.

À venir

Cours 8: Facturation de l'énergie électrique