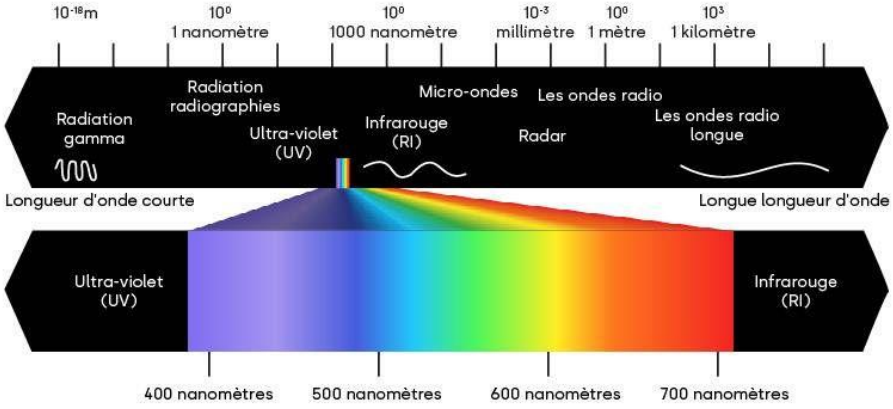
Cours : Confort visuel

I. Définition : la lumière

Définition du petit Larousse :

Lumière n. f. Ensemble des rayonnements électromagnétiques visibles, c'est-à-dire susceptibles d'être perçus directement par un œil humain (spectre visible), dont les longueurs d'onde sont comprises entre 400 et 780 nm.

Notre œil ne perçoit qu'une petite partie du rayonnement électromagnétique : c'est le spectre visible. Il contient toutes les couleurs de l'arc en ciel.



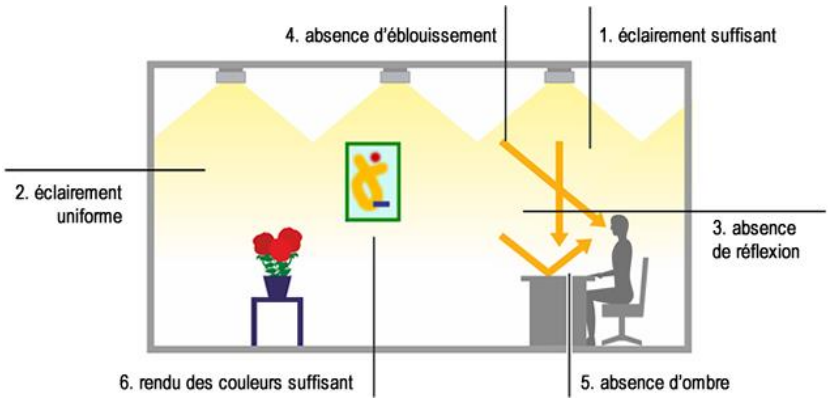
II. Le confort visuel

1) Les critères de confort visuel

Le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de la lumière. Les vues sur l'extérieur sont également importantes. L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.

Le confort visuel est atteint en vérifiant les critères suivants :

- Eclairement uniforme,
- Eclairement suffisant,
- Absence d'éblouissement,
- Absence d'ombre,
- Absence de réflexion,
- Rendu des couleurs suffisant.



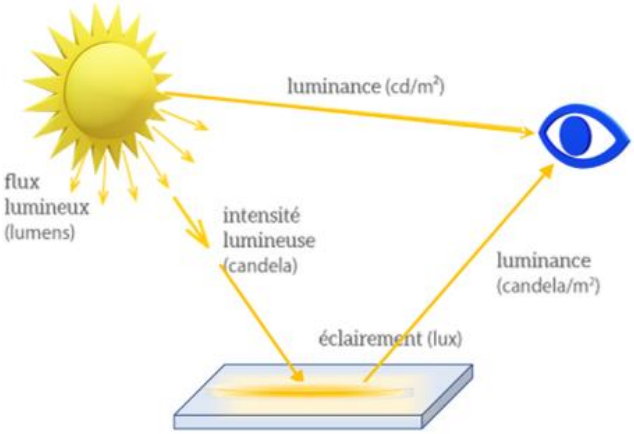
2) Les principales sources d'inconfort visuel

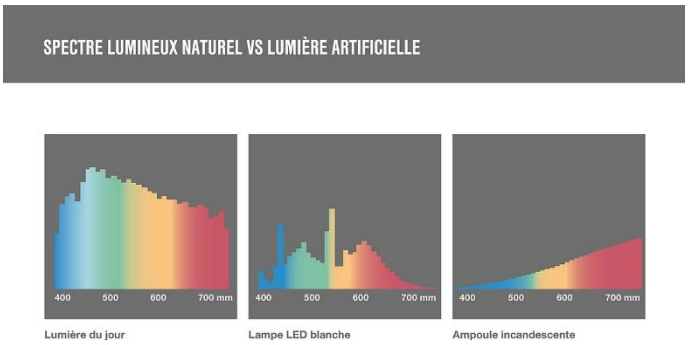
L'éclairement insuffisant : source de fatigue,

La variation trop rapide de l'intensité d'éclairage,

L'éblouissement : trop fort contraste de luminance dans le champ visuel (document ci-dessous),

Un mauvais rendu des couleurs : spectre de la lumière inadapté (document ci-dessous).





III. Les 3 critères de la norme NF EN 12464-1

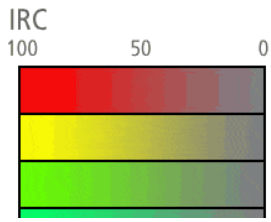
La EN 12464-1 est la norme pour les projets d'éclairage intérieurs. Celle-ci fixe les exigences imposées en la matière, c'est-à-dire les limites que doit respecter l'éclairage des lieux de travail et l'environnement immédiat.

Ainsi, pour chaque application, trois critères sont définis :

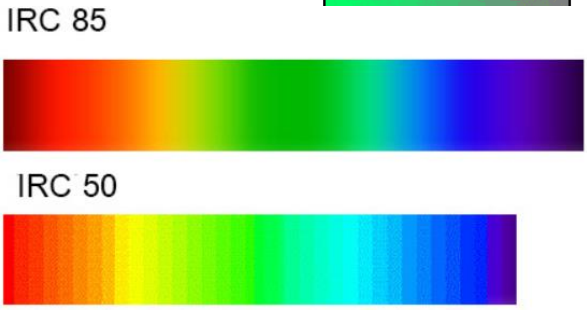
- L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra).
- L'intensité lumineuse exprimée en Lux,
- L'indice d'éblouissement d'inconfort (UGR),

1) L'indice de rendu des couleurs (IRC OU Ra)

L'IRC indique la capacité d'une source lumineuse à restituer toutes les nuances du spectre visible d'un objet éclairé. La valeur de référence est 100. Une lampe d'un IRC=100 permet de voir toutes les couleurs du spectre visible. Un bon IRC est supérieur à 80.



Valeur de l'IRC	Rendu des couleurs
60 < IRC < 80	Médiocre
80 < IRC < 85	Moyen
IRC ≥ 85	Bon



2) L'intensité lumineuse exprimée en Lux

L'intensité lumineuse ou l'éclairement du plan utile E en lux est la quantité de lumière (naturelle ou artificielle) reçue sur une surface, le plan utile (généralement au niveau du plan de travail à 0,80m du sol).

L'appareil de mesure est le luxmètre.

Selon l'occupation des locaux, les besoins en lumière ne sont pas les mêmes. Le niveau d'éclairement de référence est donc fixé en fonction de l'activité du local. En effet, lorsque le niveau d'éclairement diminue, les détails des objets et les textes en petits caractères seront plus difficiles à distinguer. Un éclairement trop important est également inconfortable.

Il faut préciser que la plupart du temps, ces niveaux d'éclairement sont atteints grâce à l'utilisation d'éclairage artificiel, seul garant de l'uniformité dans le temps de l'éclairement, synonyme de confort visuel « permanent ».

Comment le déterminer ?	
Au stade de la conception d'une construction	**Dans un bâtiment existant**
Son évaluation nécessite la construction d'une maquette réelle ou d'une maquette numérique pour pouvoir être chiffrée.	Il s'agit d'effectuer des relevés de mesures d'éclairement intérieur et extérieur ?
Matériaux de maquettage ou logiciel de simulation comportementale (Dialux par exemple).	Matériel : luxmètre

3) L'indice d'éblouissement d'inconfort (UGR)

L'éblouissement peut être :

- Direct : quand la source lumineuse est dans le champ visuel. S'il s'agit d'une source naturelle, le poste de travail doit être protégé du rayonnement solaire gênant.
- Indirect : lorsque l'éclairement est réfléchi sur des objets, des surfaces et le plan de travail.

La limitation de l'éblouissement est donnée sous la forme d'une valeur limite d'UGR.

4) Les valeurs préconisées par la norme

Les valeurs sont prescrites dans la norme NF EN 12464-1 :

Domaines d'application	Lux Min.	Lux Max.	UGR	CRI (Ra)
Lieu de travail (bureau)				
- Bureaux	500	1000	<19	80
- Salle de pause	750	-	<16	90
- Salle de réunion	500	1000	<19	80
- Accueil	300	750	<22	80
Industrie				
- Travail non détaillé	200	300	<25	60
- Travail modéré	300	500	<25	80
- Travail de finesse	500	750	<22	80
- Travail de précision	750	1000	<19	80
Education				
- Salle de classe	500	1000	<19	80
- Auditorium	500	750	<19	80
- Salle de sport	300	500	<22	80
Logistique				
- Chargement et déchargement	200	300	<25	80
- Emballage	300	500	<25	80
- Stockage au sol	150	200	<25	80
- Couloir	300	500	<25	80
Vente au détail				
- Boutique	300	750	<22	80
- Caisse	500	1000	<19	80
- Table d'emballage	500	1000	<22	80
- Stock	300	500	<25	80
Parties communes				
- Couloir	100	-	<28	80
- Escalier ou tapis roulant	150	-	<25	80
- Vestiaires	200	-	<25	80

Selon plusieurs enquêtes ayant analysé l'équilibre des luminances, l'éblouissement, et la qualité des ambiances lumineuses, 1/3 des installations des éclairages de bureau sont de qualité médiocre voire très médiocre.

La maîtrise d'ouvrage connaît peu la réglementation et les règles de l'art en matière d'éclairage. Elle n'est pas sensibilisée à la performance d'un bon éclairage. L'électricien sait installer les luminaires mais n'est pas toujours éclairagiste, avancent les différentes enquêtes.

- Dans 4 % des bureaux analysés, le niveau d'éclairement est inférieur à 100 lux, ce qui est inacceptable.
- Dans 30 % des bureaux analysés, le niveau d'éclairement maximum obtenu sur la zone de travail est inférieur à 300 lux en éclairage général.
- 70 % des bureaux ne disposent pas d'un éclairage général permettant d'atteindre les 500 lux préconisés par la norme NF EN 12464 – Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : lieux de travail intérieurs.

IV. L'éclairage et la réglementation thermique RT 2012

La RT s'applique au tertiaire et aux logements :

- Bâtiments neufs,
- Extensions de bâtiments existants.

La RT s'articule sur 3 critères (coefficients) essentiels :

- Des valeurs maximales de consommation énergétique (Cep) pour le chauffage, la climatisation, la ventilation, la production d'eau chaude des sanitaires, les auxiliaires et l'éclairage.

- Définition du besoin bioclimatique (Bbio)
  - Caractérise l'enveloppe du bâtiment (conception bioclimatique).
  - Bbio = impact énergétique du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage.
  - C'est une mesure de l'énergie requise pour assurer une température correcte en hiver (besoin de chauffer), en été (besoin de rafraichir) et un éclairage intérieur correct tout au long de l'année (besoin d'éclairer).

- La température intérieure conventionnelle (Tic).

L'éclairage devient donc un des leviers pour réaliser de substantielles économies d'énergie dans les bâtiments.

<table>
<tr><td></td><td>LOGEMENT NEUF</td><td>TERTIAIRE NEUF</td></tr>
<tr><td>Objectifs de l’éclairage</td><td></td><td>Assurer au personnel des conditions de travail adaptées à la tâche à effectuer :
Faciliter l’exécution d’une tâche,
Assurer le bien-être,
Eliminer les risques d’accident à la source.</td></tr>
<tr><td>Exigences en termes d’éclairage</td><td>Niveau d’éclairement intérieur Eint fixé en fonction des pièces (autour de 200 lux).</td><td>La norme européenne d’éclairage intérieur NF EN 12464-1 définit trois exigences principales d’éclairage sur les lieux de travail :
Eint moyen (500 lux – variable selon l’activité)
Qualité de la lumière : IRC > 80
Limitation de l’éblouissement : UGR < 19</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Les leviers</td><td colspan="2">L’éclairage intelligent</td></tr>
<tr><td colspan="2">Exploiter au mieux le potentiel de l’éclairage naturel :</td></tr>
<tr><td>Caractéristiques des baies
Orientation des baies
Les baies représentent 1/6 de la surface au sol</td><td>Apports solaires
Coefficient de réflexion des parois (valorisation des parois claires)
Protections solaires</td></tr>
<tr><td colspan="2">Système de gestion de l’éclairage :</td></tr>
<tr><td>Sans objet</td><td>Détection de présence / programmation
Régulation en fonction de la lumière du jour et des besoins locaux :
- Contrôle séparé de l’éclairage des zones proches des baies
- Interrupteurs à détection de seuil d’éclairement</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sources lumineuses éco efficaces :</td></tr>
<tr><td>Se tourner vers un éclairage artificiel éco-efficace :
Lampe à bon rendement</td><td>Rendement de la source lumineuse
Performance du luminaire
Performance du ballast</td></tr>
<tr><td>Economies réalisées</td><td colspan="2">Régulation en fonction de la lumière du jour : 20%
Détection de présence : 35%
Régulation en fonction de la lumière du jour & détection de présence 55%</td></tr>
</table>

V. L'éclairage naturel

L'éclairage naturel peut procurer un meilleur confort visuel que l'éclairage artificiel, et ce avec des niveaux d'éclairement inférieur. En effet, l'œil humain est naturellement adapté à la lumière naturelle.

La qualité de la lumière naturelle est meilleure que celle de la lumière artificielle, elle offre un meilleur rendu des couleurs. La lumière naturelle permet également de conserver un contact avec l'extérieur et présente un intérêt pour les économies d'énergie (lumière gratuite).

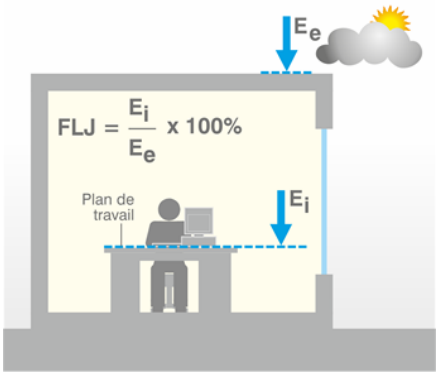
Il est donc nécessaire de fixer un objectif pour l'éclairement naturel dès l'élaboration du cahier des charges du projet (des valeurs optimales de chacun de ces indicateurs décrits ci-après peuvent être mises en recommandation).

Cependant, un éclairage naturel mal conçu peut présenter des conséquences négatives en terme d'éblouissement et peut accroitre la chaleur en été. L'influence des caractéristiques acoustiques des vitrages est également un élément à prendre en compte.

1) Le facteur de lumière du jour (FJ ou FLJ)

C'est le rapport entre le niveau d'éclairement (en lux) reçu en un point de référence à l'intérieur du local (E_{int}) et un point à l'extérieur en un site dégagé, par ciel couvert (E_{ext}).

$$FLJ = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \times 100$$



- E_{ext} : au cours d'une journée moyennement couverte, l'éclairement extérieur varie de 5000 à 20000 lux. En plein été à midi il peut atteindre 100000 lux.
- E_{int} : il faut un éclairement compris entre 100 et 750 lux selon la fonction du local.

Le facteur de lumière du jour caractérise l'apport de lumière naturelle dans une pièce. Il est lié à un ensemble d'indicateurs :

- La qualité des surfaces vitrées : indice d'ouverture,
- Le pourcentage de surface transparente ;
- Les caractéristiques des vitrages : facteur de transmission lumineux,
- La profondeur de la pièce en façade : indice de profondeur,
- Le facteur de réflexion des parois de la pièce.

Quelques valeurs :

Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très Faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très Elevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre).			Zone à proximité des fenêtres ou sous des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à Clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone----------semble être séparée----------de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Selon l'ADEME, les facteurs de lumière du jour moyen préconisés par type de local sont :

Secteur	Local	FLJ (%)	
		Nord	Sud
Résidentiel	Séjour	1,5%	
	Chambre	1%	
	Cuisine	2%	
Scolaire	Salles de classe	2,5%	2%
Bureaux	Bureaux	2,5%	2%

La lumière du jour n'est pas répartie de manière homogène dans un local. En effet, dès lors que l'on s'éloigne des ouvertures, l'éclairement naturel décroit rapidement. Il en est donc de même pour le facteur de lumière du jour.

Lien avec l'éclairage artificiel : Plus le FLJ est élevé, plus le temps d'utilisation des locaux sans lumière artificielle est long, limitant ainsi la consommation d'énergie électrique.

2) L'indice d'ouverture

C'est le rapport entre la surface de baies et la surface du local. Cet indice est corrigé en fonction du facteur de transmission lumineux du vitrage et du pourcentage de surface transparente.

$$I_O = \frac{Surface\ baies}{Surface\ local} \times \%St \times tl$$

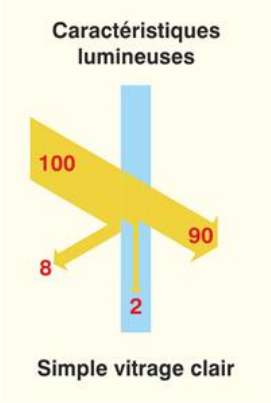
Selon l'ADEME, les indices d'ouverture préconisés par type de local sont :

Secteur	Local	Indice d'ouverture %
Résidentiel	Séjour	20%
	Chambre	16%
	Cuisine	25%
Scolaire	Salles de classe	30%
Bureaux	Bureaux	30%

3) Le facteur de transmission lumineuse tl

C'est le pourcentage de lumière transmis par une paroi.

Lorsque la lumière visible du soleil est interceptée par une paroi, une partie de la lumière est réfléchie vers l'extérieur, une partie est absorbée par les matériaux, une partie est transmise à l'intérieur.



Exemple : simple vitrage clair

La transmission lumineuse d'un simple vitrage clair = 0,9

L'emploi de vitrages clairs permet de maximiser les apports de lumière naturelle en toutes circonstances.

4) Le pourcentage de surfaces transparentes %St

C'est le rapport entre la surface transparente (vitrée) et la surface totale de la baie.

Les menuiseries représentent un obstacle au passage de la lumière naturelle. Par conséquent, les menuiseries « simples » assurent un meilleur éclairage.

Exemples	%St
Sans fenêtre	100%
Châssis fixe	80%
Châssis ouvrant	55%
Châssis ouvrant petits carreaux	45%

5) L'indice de profondeur

C'est le rapport de la profondeur du local sur la hauteur utile sous linteau (différence de hauteur entre le plan utile généralement situé à 0,80m et le linteau)

$$I_p = \frac{profondeur\ du\ local}{(hauteur\ sous\ linteau - hauteur\ du\ plan\ utile)}$$

Selon l'ADEME, les indices de profondeur préconisés par type de local sont :

Secteur	Local	Indice d'ouverture %
Résidentiel	Séjour	<3,0
	Chambre	<2,6
	Cuisine	<2,6
Scolaire	Salles de classe	<3,5
Bureaux	Bureaux	<2,6

Plus la fenêtre est haute, plus le fond de la pièce sera éclairé. Une fenêtre basse ne favorisera pas le passage de la lumière jusqu'au fond de la pièce.

Influence du vitrage en allège :

- Augmente le champ de vision vers le bas,
- Favorise la continuité entre espaces intérieur et extérieur,
- Ne contribue pas de manière significative à l'éclairage du plan de travail
- Augmente les apports thermiques.

VI. L'éclairage artificiel

1) Les sources lumineuses : les types de lampes

Lampe à incandescence	Lampe halogène (fonctionne sur le même principe que la lampe à incandescence)
Lampe fluocompacte	Lampe à diode électroluminescente

2) L'éclairement

L'éclairement E en lux : voir page 3

C'est le rapport du flux lumineux avec la surface : $E = \frac{F}{S}$

3) L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra)

Voir pages 2

4) Flux lumineux

Le flux lumineux F en Lumen [lm] est la quantité d'énergie émise par une source (lampe, soleil) sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps.

5) Consommation électrique

C'est une quantité d'énergie consommée : Watt-heure [Wh].

Pour connaître l'énergie que consomme un dispositif électrique sur toute une année, il suffit de multiplier sa puissance en Watt par le nombre d'heures de fonctionnement.

$$E = P \times t$$

6) Efficacité lumineuse

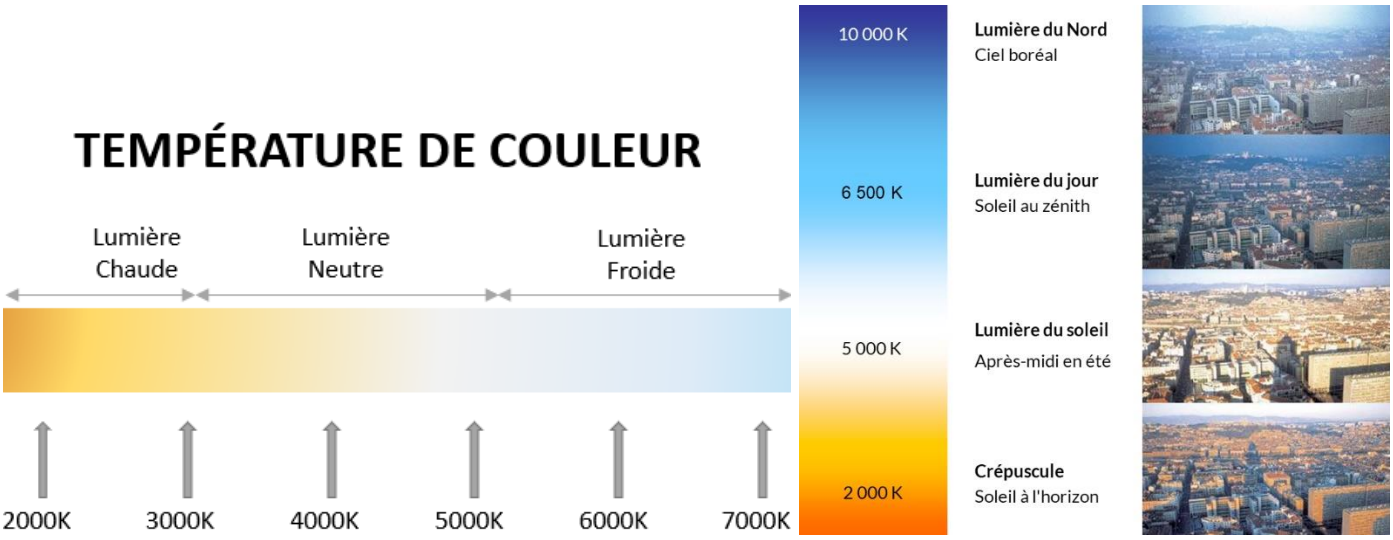
L'efficacité lumineuse fe ou η en lm/W est la quantité de lumière produite par rapport à l'électricité consommée (lumen par Watt) avant que la source soit placée dans le luminaire.

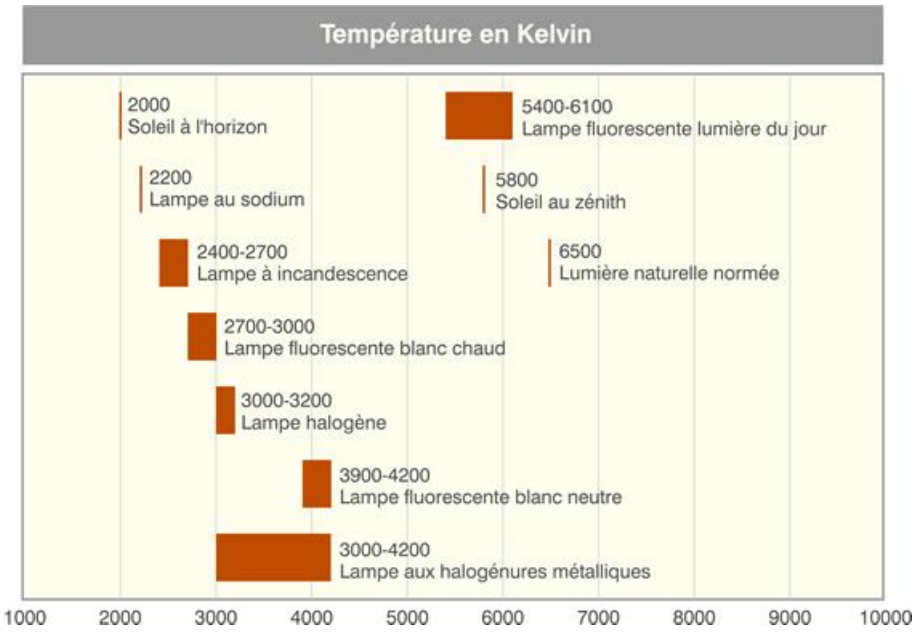
$$\eta = \frac{flux\ lumineux\ fourni}{puissance\ électrique\ absorbée}$$

Sur les étiquettes énergétiques, les lampes les plus efficaces sont classées A, les moins efficaces sont classées G.

7) Température de couleur d'une source lumineuse

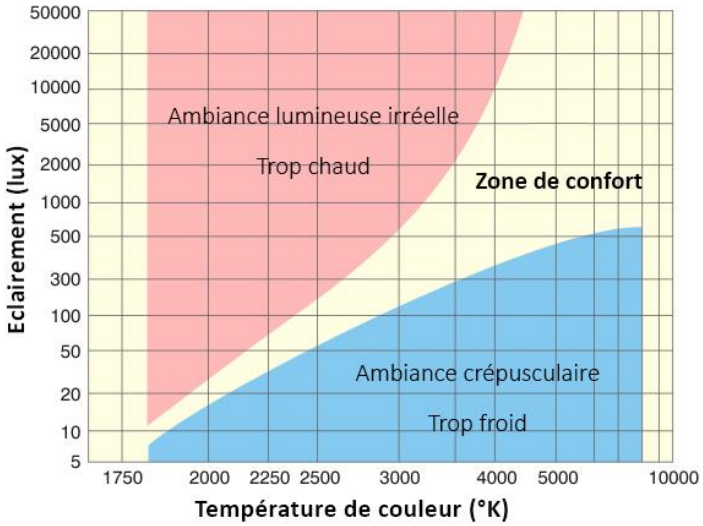
L'unité de la température de couleur d'une source lumineuse est en Kelvin [K]. Elle caractérise la couleur apparente de la lumière émise par une source.





La couleur de la lumière doit être adaptée au niveau d'éclairement. Le diagramme de Kruïthof (ci-contre), donne les valeurs recommandées de la température de la couleur en fonction de l'éclairement. Cette zone correspond à la zone de confort.

Sinon, l'impression visuelle peut correspondre à une ambiance lumineuse irréelle, trop chaude ou à une ambiance lumineuse, de type crépusculaire, trop froide.



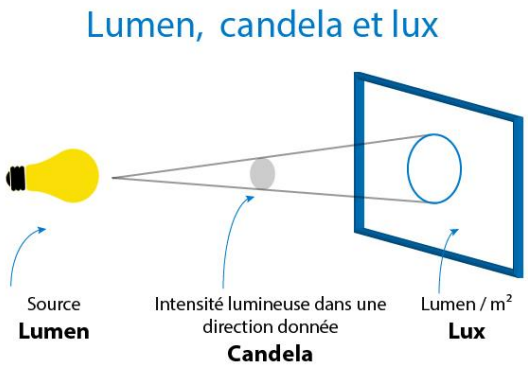
8) Les luminaires

Les luminaires jouent plusieurs rôles dans la fonction d'éclairage :

- Support pour l'alimentation électrique et pour la lampe,
- Protection de l'utilisateur contre le rayonnement direct,
- Orientation / concentration du flux lumineux produite par la source,
- Et évidemment, un rôle esthétique.

9) Intensité lumineuse I

L'intensité lumineuse I en candela [Cd] mesure l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.



10) Luminance L

La luminance L en candela/m² [Cd/m²] mesure l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité.

L'appareil de mesure est le luminance mètre.