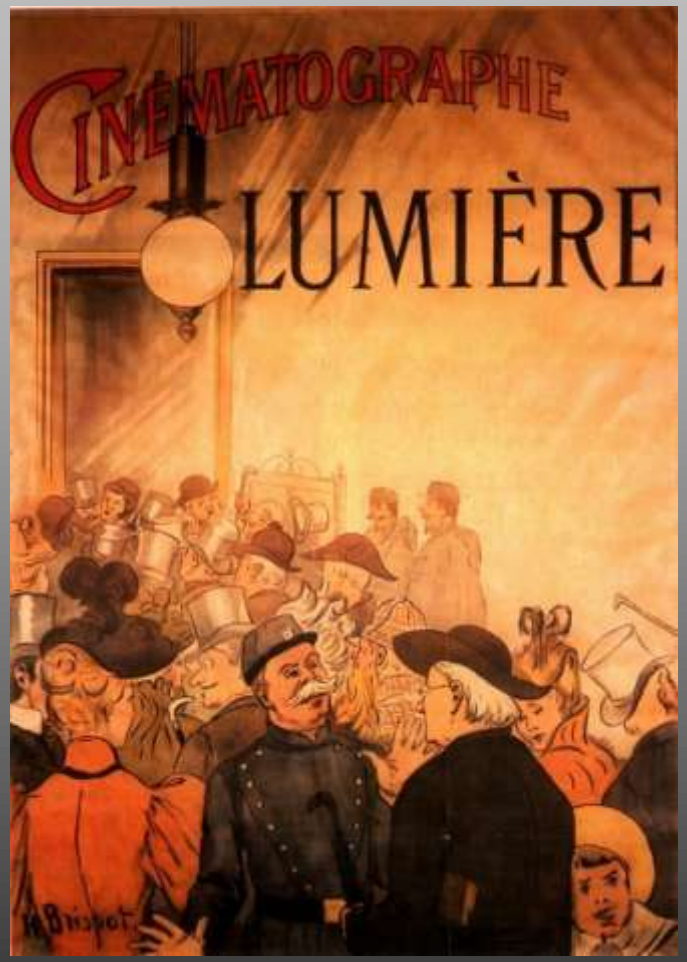
LA LUMIERE

« Si l'on veut vraiment maîtriser un art,
les connaissances techniques ne suffisent pas.
Il faut passer au-delà de la technique,
de telle sorte que cet art devienne
"un art sans artifice",
qui ait ses racines dans l'Inconscient »
D. T. Suzuki



EXTRAITS DU COURS

« LA PRISE DE VUES CINEMATOGRAPHIQUE ET VIDEO MONOCAMERA »

Benoît GUEUDET – Avril 2013

LA LUMIERE

SOMMAIRE

Aspect qualitatif

Aspect quantitatif

Les sources de lumière artificielle

Les projecteurs

Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les accessoires

Studio, équipement

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Comprendre la lumière

D'où vient la lumière ? D'un rayonnement.

Tout corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, soumis à un changement de niveau d'énergie, produit un rayonnement dû à l'excitation des atomes et des molécules qui le composent.

Comprendre la lumière

La lumière naturelle

Les étoiles produisent elles-mêmes l'énergie qui les fait briller (au contraire des planètes, qui se contentent de réfléchir la lumière que les étoiles leur envoient).

Leur source d'énergie provient de la fusion d'atomes. Ce sont la plupart du temps des atomes d'hydrogène (élément très simple dont l'univers regorge) qui sont transformés en atomes d'hélium. Ces réactions nucléaires dégagent de l'énergie qui chauffe les gaz constitutifs de l'étoile. Ces gaz chauds émettent alors des radiations électromagnétiques dont la lumière qui rend l'étoile brillante.

LA LUMIERE,

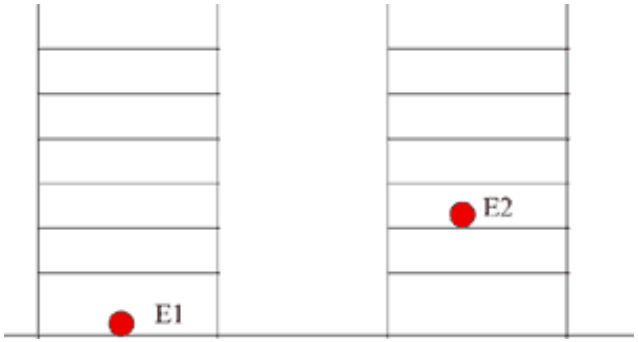
Le soleil une étoile

Les étoiles sont des soleils lointains

Animation tirée du DVD « Tous sur Orbite » Réal Nicolas Gessner

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires



D'où vient la lumière ?

Les électrons qui se trouvent autour des noyaux des atomes ont chacun une énergie bien définie, on parle de **"niveau d'énergie"**.

Mais ils ne peuvent pas prendre n'importe quelle valeur. *Les électrons se placent sur l'équivalent des barreaux d'une échelle d'énergie: ils ne peuvent pas être entre deux barreaux...*

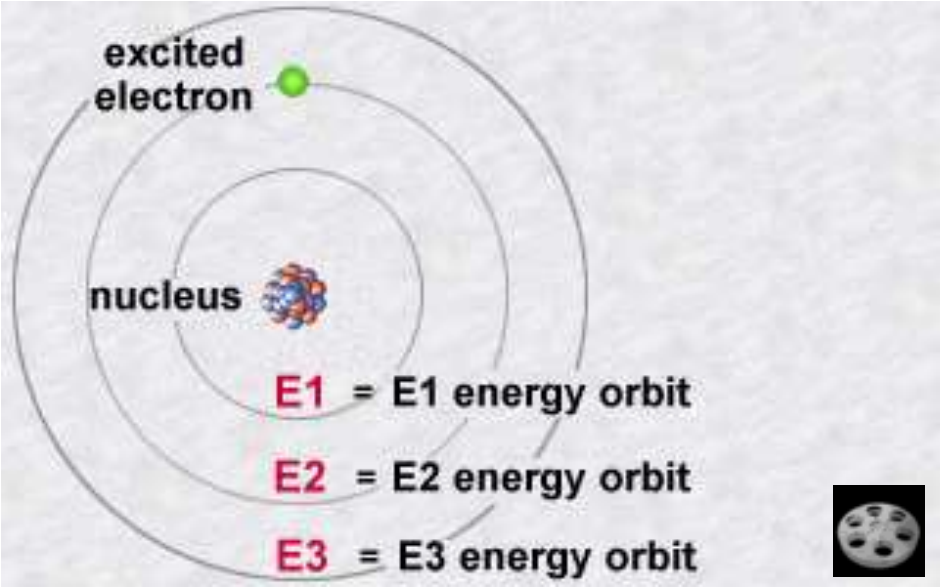
Par exemple, pour faire passer l'électron de l'état de gauche à celui de droite, il faut lui fournir de l'énergie (**chaleur, choc, lumière**...). Mais il va vite vouloir redescendre à l'état le plus stable, il retombe alors, en libérant cette fois de l'énergie, la même quantité qu'il lui en avait fallu pour monter.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

D'où vient la lumière ?

Donc, si un atome émet de la lumière, c'est parce qu'il libère des photons ayant exactement l'énergie correspondante au passage d'un niveau à l'autre.



Sous l'effet d'une action extérieure adéquate, un électron peut passer de l'orbite qu'il occupait à une autre de plus haut niveau énergétique. Le retour ultérieur de cet électron à sa position primitive s'accompagne de l'émission d'un **photon** dont le **quantum** correspond précisément à la **transition** effectuée.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Théorie de quanta

Selon la théorie des quanta, le photon est considéré comme une particule sans masse, animée de la vitesse C dans le vide et porteur d'une quantité élémentaire d'énergie appelé quantum.

Ce dernier est proportionnel à la fréquence de la radiation :

$$\mathbf{q} = \mathbf{h} \times \boldsymbol{\nu}$$ *(nu en lettre grec)*

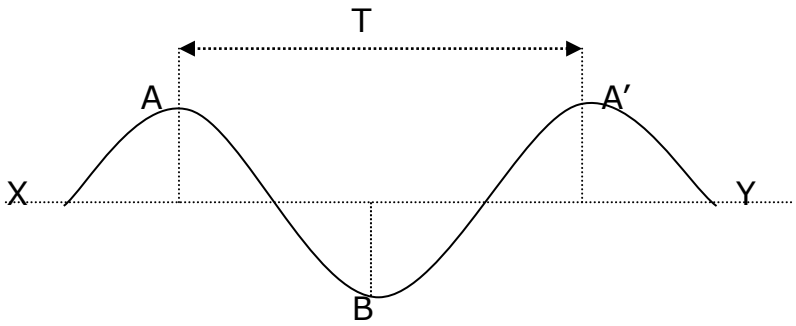
h est la constante de Planck, qui vaut $6{,}626176\ 10^{-34}$ joules.seconde

Par convention, c'est la quantité $\mathbf{h}.\boldsymbol{\nu}$ que l'on appelle photon.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

La **fréquence** définit le nombre de périodes contenues dans une seconde.
Si la période est de 1/50 seconde, la fréquence correspondante est de 50.

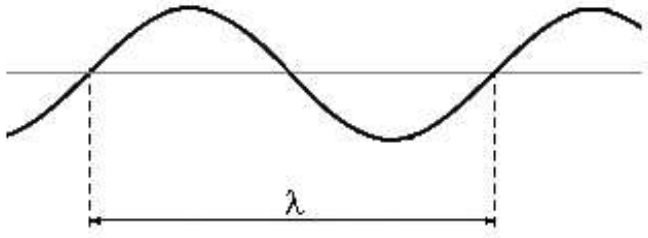


Caractéristiques des phénomènes vibratoires

La **longueur d'onde** est le trajet parcouru par une onde pendant une période.

Le produit « fréquence » x « longueur d'onde » est constant et égal à **la vitesse de propagation**.

En ce qui concerne la lumière, cette vitesse est de 299 792,458 km/s dans le vide.



La longueur d'onde

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Théorie des quanta

L'énergie du photon détermine la longueur d'onde de la lumière émise, donc pour nous sa couleur.

$$\mathbf{q} = \mathbf{h} \times \boldsymbol{\nu}$$

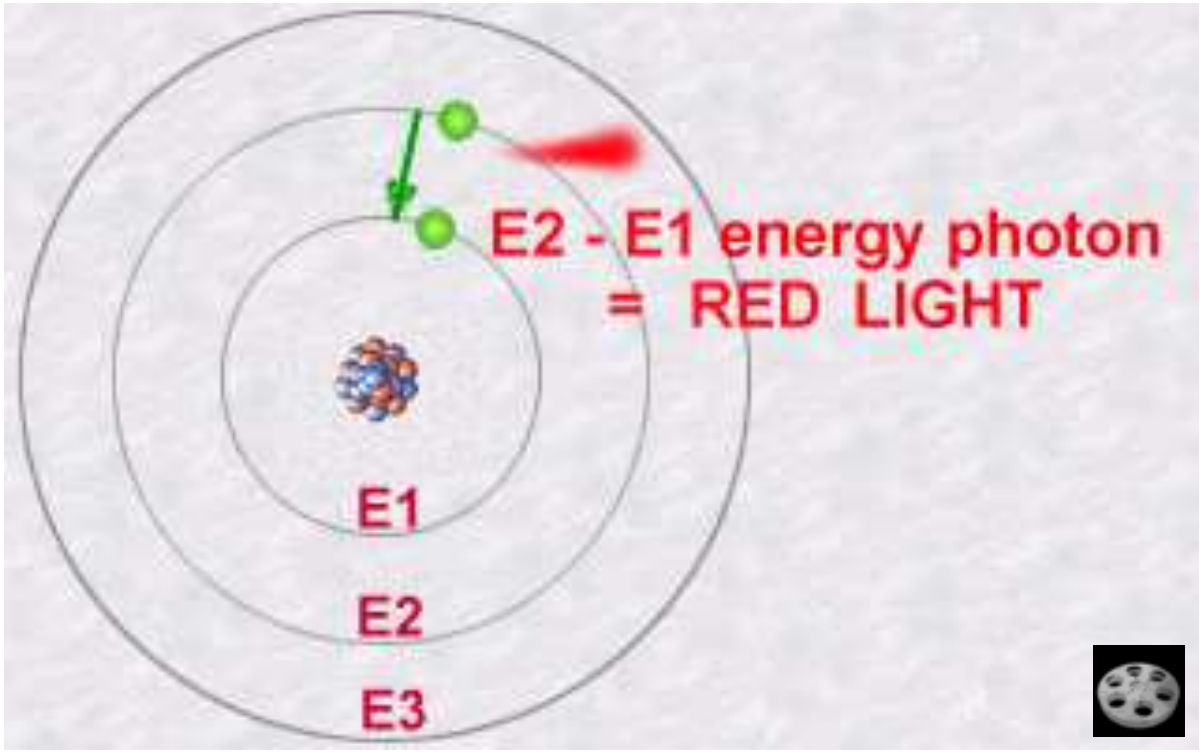
Les couleurs obtenues diffèrent selon le nombre et la disposition des électrons dans les atomes.

Les radiations ayant une longueur d'onde plus courte ont plus d'énergie (rayons X ou ultraviolets).

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Théorie des quanta



Un électron qui fait un saut plus grand d'un orbite à l'autre va émettre un photon de plus grande énergie qui correspond à une fréquence plus élevée.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Le rayonnement **:**

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Une des particularités de ce rayonnement dit "thermique" est qu'il peut se propager dans le vide.

Comme tout rayonnement électromagnétique, le rayonnement dit thermique est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde).
Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente.

Il faut finalement distinguer la nature des récepteurs de ce rayonnement thermique : certains le réfléchissent d'autres l'absorbent et la transforment en énergie interne pour rayonner à leur tour

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Il y a émission d'énergie électromagnétique à travers l'espace.

Elle se matérialise par des radiations, variables en fréquence et en longueur d'onde.

La radiation électromagnétique est une onde transversale qui propage dans l'espace une série de champs magnétiques et électriques alternatifs et auto induits.

La **radiation électromagnétique** voyage à environ 300 000km/s (la vitesse de la lumière) dans le vide de l'espace.

Les radiations électromagnétiques transportent de l'énergie de leur source jusqu'à un point distant où l'énergie est ultimement relâchée en entier ou en partie. C'est ce «dépôt» d'énergie qui nous permet de détecter la présence de radiation.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

Est-ce que la radiation électromagnétique est un phénomène particulaire ou ondulatoire ?

Généralement, la radiation électromagnétique se comporte comme une onde lorsqu'elle se déplace dans l'espace, mais elle se comporte comme une particule lorsqu'elle interagit avec la matière.

En physique moderne, le photon est défini comme le quantum du champ électromagnétique.

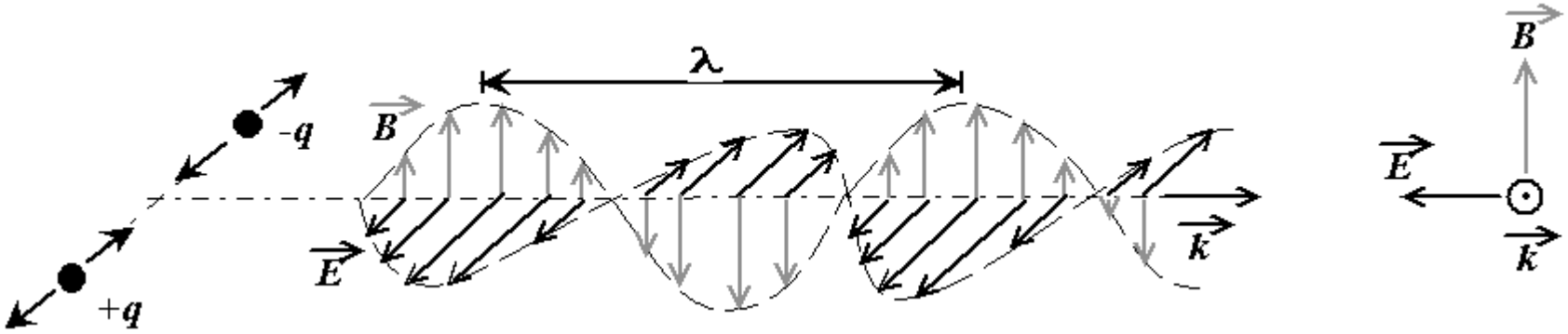
A une onde électromagnétique de fréquence ν est associé un photon (particule énergétique à masse nulle) d'énergie **$q = h.\nu$**

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

La lumière est la partie visible du rayonnement électromagnétique.
Les ondes radio et les rayons X en constituent d'autres exemples.

Ce rayonnement se caractérise par sa longueur d'onde λ ou sa fréquence ν **(*qui sont inversement proportionnelles*).**



Onde électromagnétique : oscillation couplée du champ électrique et du champ magnétique, modèle du dipôle vibrant

Caractéristiques des phénomènes vibratoires

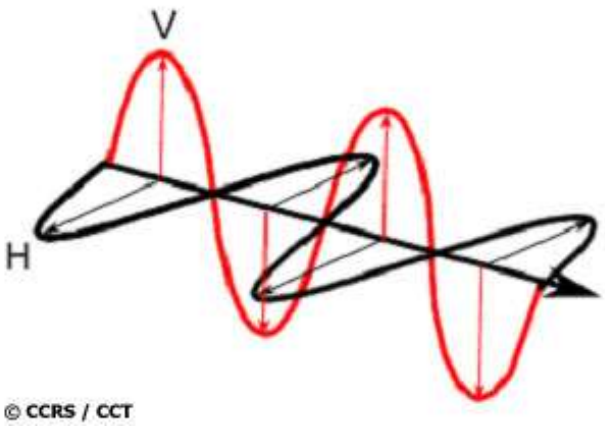
Polarisation

La polarisation correspond à la direction et à l'amplitude du champ électrique $\vec{E}$

Pour une onde non polarisée, ou naturelle, $\vec{E}$ tourne autour de son axe de façon aléatoire et imprévisible au cours du temps.

Polariser une onde correspond à donner une trajectoire définie au champ électrique.

La polarisation est linéaire quand $\vec{E}$ reste toujours dans le même plan.



Exemples de polarisations horizontales (noir) et verticales (rouge) d'une onde électromagnétique.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Tout corps à une température supérieure à 0 kelvin (soit -273°C) émet un rayonnement électromagnétique.

Valeurs Kelvins

Pour les corps incandescents, il y a un rapport constant entre la température du corps chauffé et la composition de la lumière qu'il émet.

Ainsi le filament de tungstène utilisé dans les lampes à incandescence a une couleur caractéristique de sa température. A faible température, il est rouge-orangé, puis jaune puis blanc.

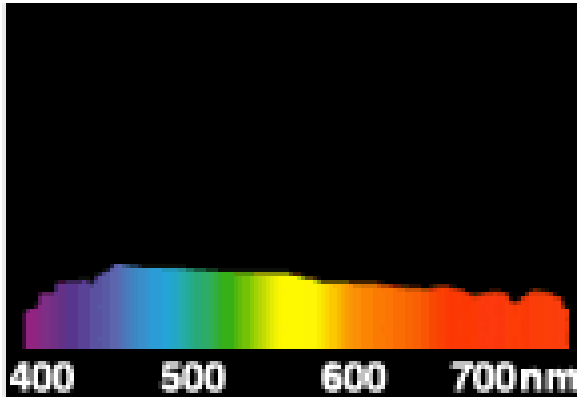
Les températures en kelvins ne sont autres que les températures exprimées en degrés absolus, c'est-à-dire à partir du zéro absolu.
Par exemple,
1 000K correspondent à : 1000 - 273 = 727°C (degrés Celsius)

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

La température de couleur (Tc) est la couleur apparente d'une <u>source lumineuse</u>

La composition spectrale d'une source de lumière incandescente à spectre continu, comme l'est celle du soleil, peut être définie avec précision par sa température de couleur (ou "Tc") en kelvins (K) ou en mired.

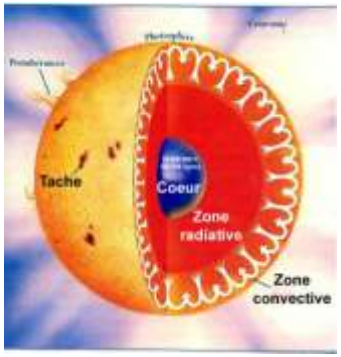


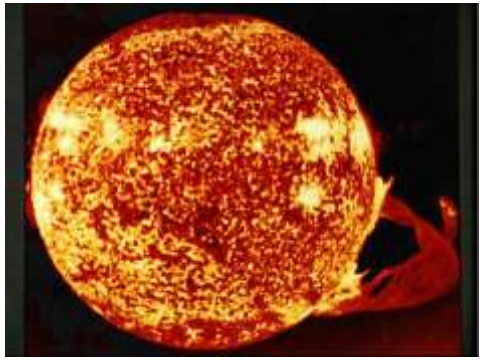
Composition spectrale de la lumière blanche du jour

LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'énergie émise par le soleil

Le Soleil est la centrale nucléaire idéale. À 150 millions de kilomètres de la Terre se réalisent, sans problème, des réactions de fusion nucléaire qui assurent un rayonnement permanent et constant.
La surface du Soleil est bien moins chaude que son centre ; elle rayonne sensiblement comme un corps noir porté à 6 000 kelvins.





La température de la couche superficielle du soleil est de 5780 K

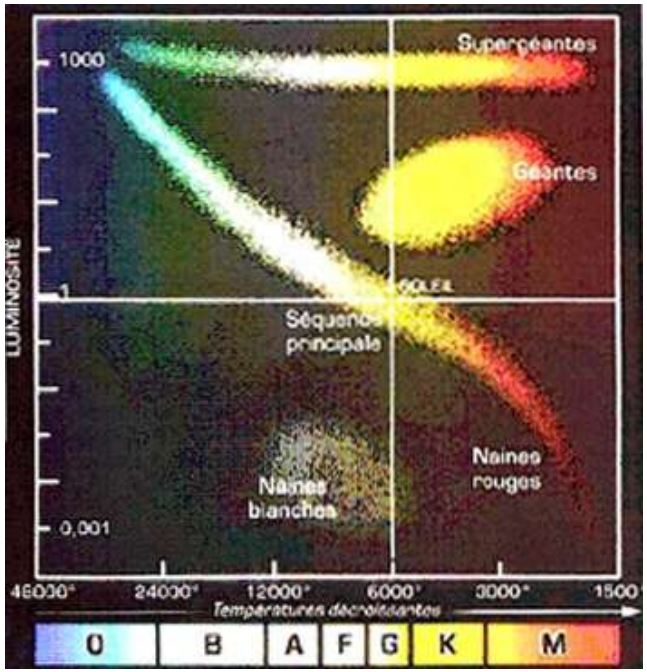
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température des étoiles

Le danois Ejnar HERTZSPRUNG (1873-1967)

Le diagramme d'Hertzsprung-Russel est un tableau graphique dans lequel on positionne les étoiles en fonction de deux paramètres :

- **La température en abscisse** (qui est directement liée à la couleur)
- **La luminosité par rapport au Soleil** (si situés à même distance)

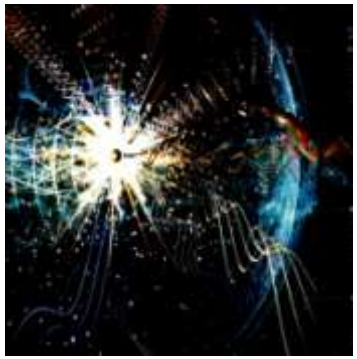


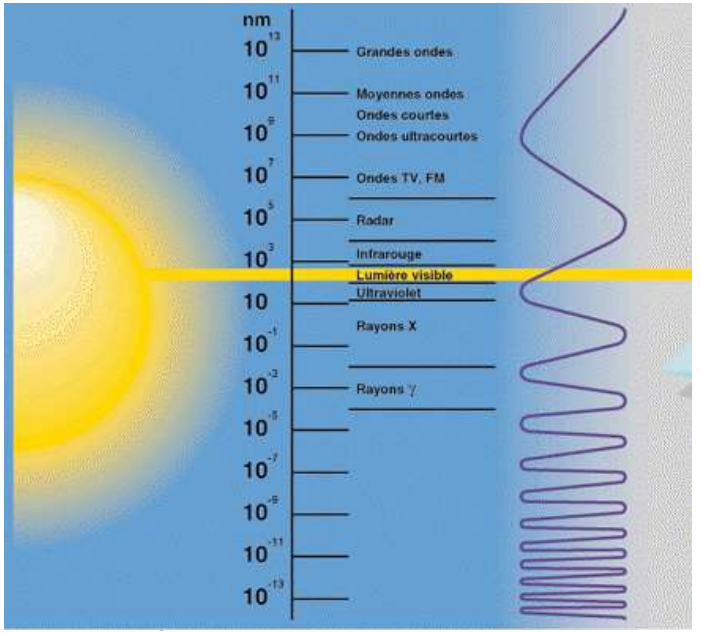
Au-delà d'une classification le diagramme HR raconte l'évolution des étoiles de leur naissance à leur mort. La diagonale centrale, que l'on nomme séquence principale, représente la zone où la majorité des étoiles passe leur vie à brûler tranquillement leur hydrogène.

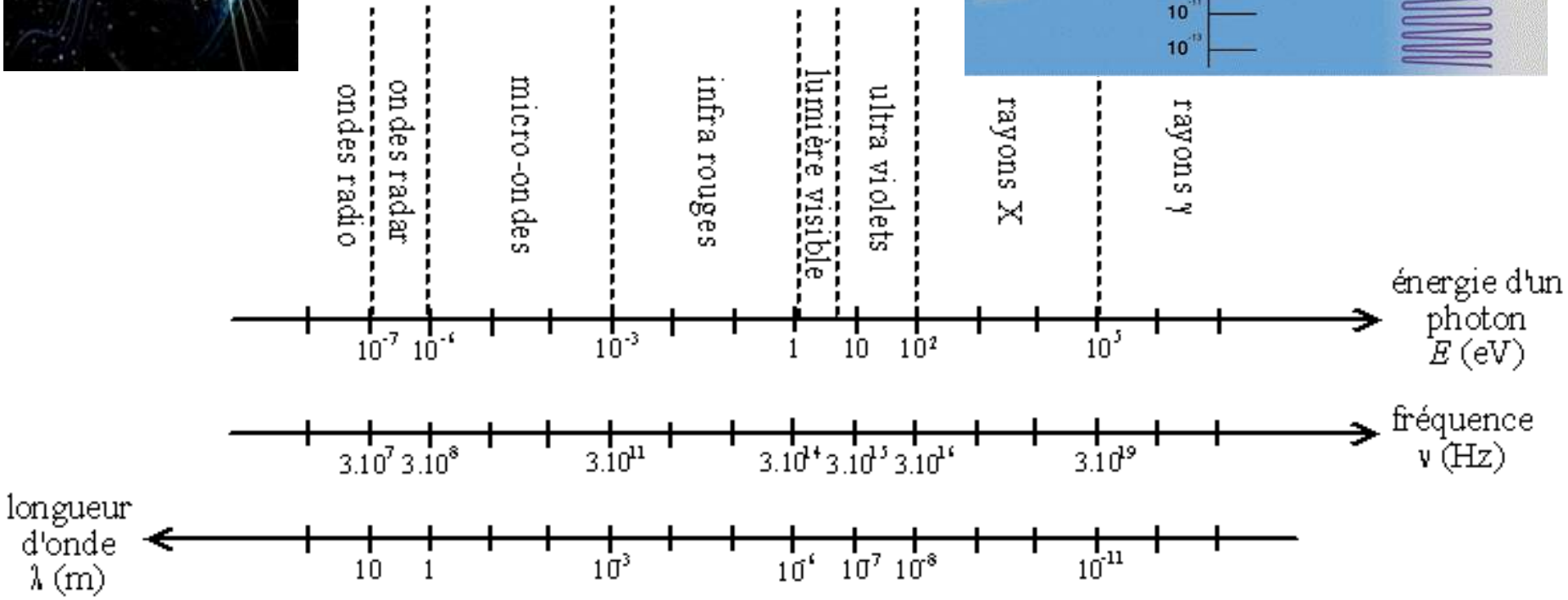
Le Soleil est actuellement dans cette phase d'évolution lente. Sa température de surface il y a 4,5 milliards d'années, n'était que de 2 % supérieure à ce qu'elle est aujourd'hui.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le spectre électromagnétique



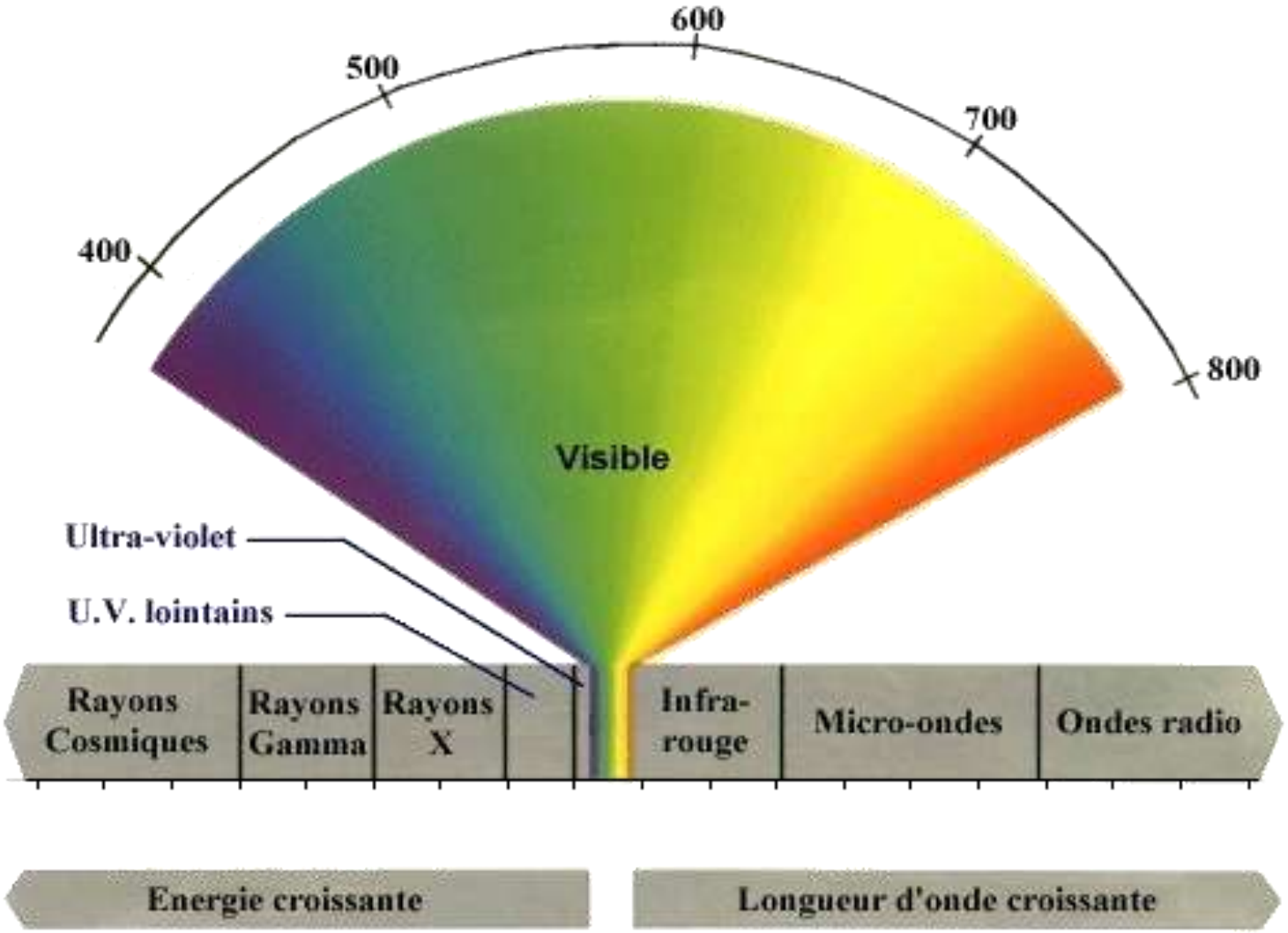




Classification des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou de l'énergie de leur photons

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Qu’appelle-t-on spectre ou répartition spectrale ?



LA LUMIERE, aspect qualitatif

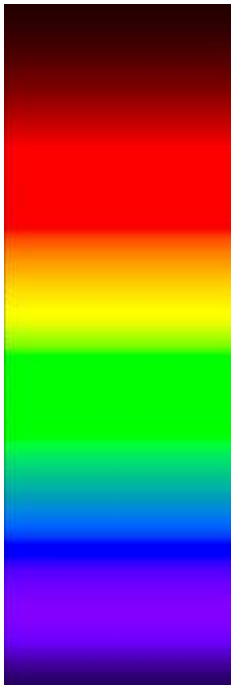
Les radiations visibles,
Isaac Newton (physicien anglais - 1669) :
théorie de la décomposition de la lumière

Extrait du DVD EDF « Que la lumière fuse »

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Les radiations visibles

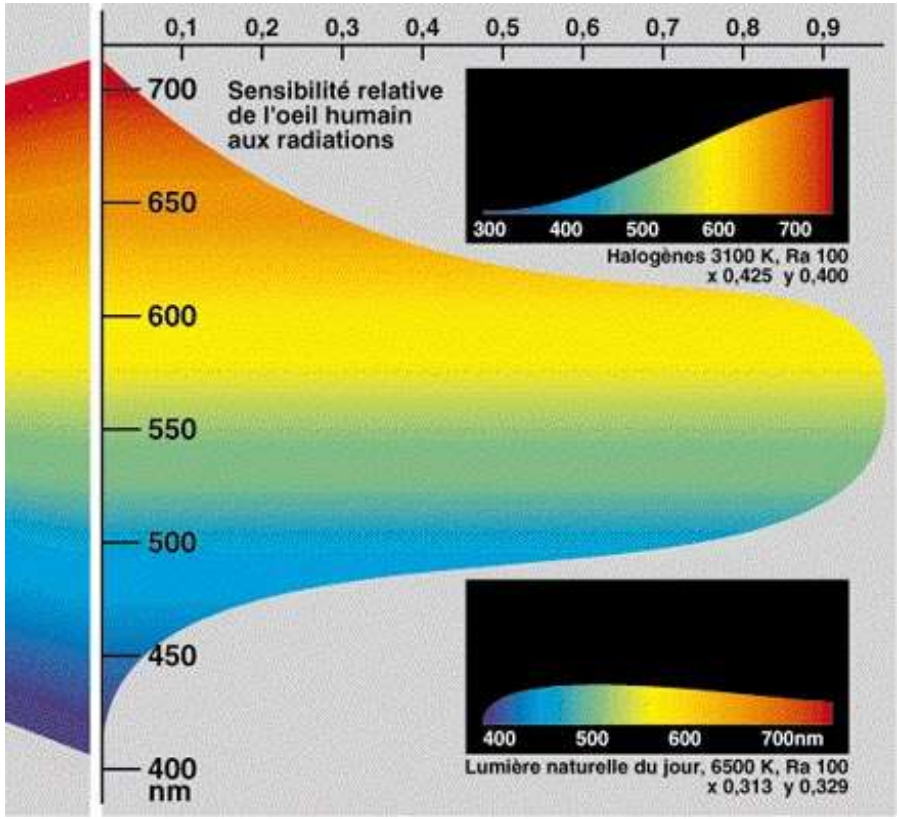
Ensembles des radiations électromagnétiques dont
la longueur d'onde est comprise entre 400 et 750 nm
ou
la fréquence est comprise entre 4,2 x 10^8 et 6,5 x 10^8 MHz

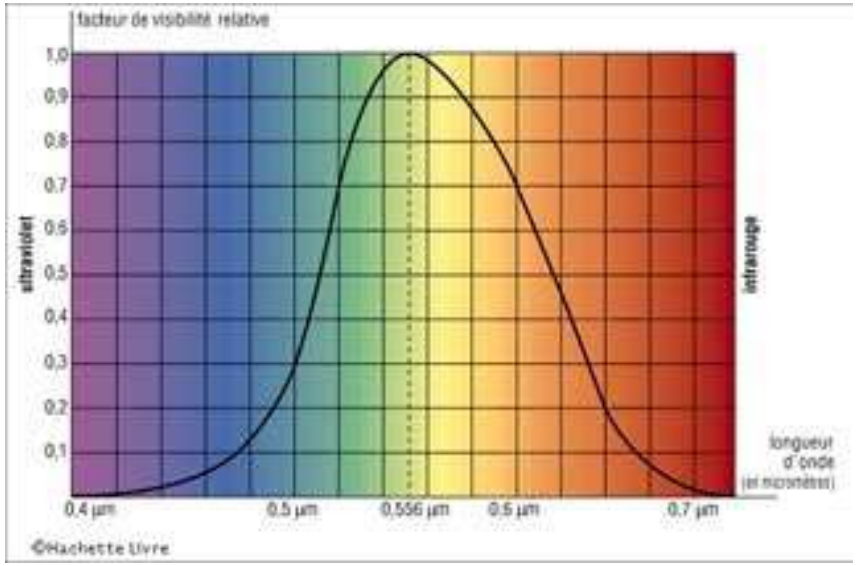


Nanomètres	Couleur
700	Rouge
615	Rouge-orangé
590	Orange
578	Jaune
565	Vert-Jaune
508	Vert
492	Bleu-vert
484	Bleu
475	Bleu pourpre
400	Violet
1 nanomètre = 1 millimicron = 1^{-9} m = 0,000 000 001 m	

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Les radiations visibles





Deux façons de montrer **la sensibilité relative de l'œil humain aux radiations**

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

Les physiciens appellent *corps noir* celui qui absorbe intégralement les radiations reçues ; Il possède la propriété de transformer intégralement la lumière en chaleur. Inversement ce corps noir peut émettre de la lumière qui va dépendre de sa température.

Un *corps noir* se réfère à un concept idéal d'un objet qui émet *des rayonnements thermiques* à la perfection.

Il émet un rayonnement dont le spectre (la distribution des longueurs d'onde) ne dépend que de la température. Pour respecter l'équilibre thermique, le corps noir émet autant qu'il absorbe.

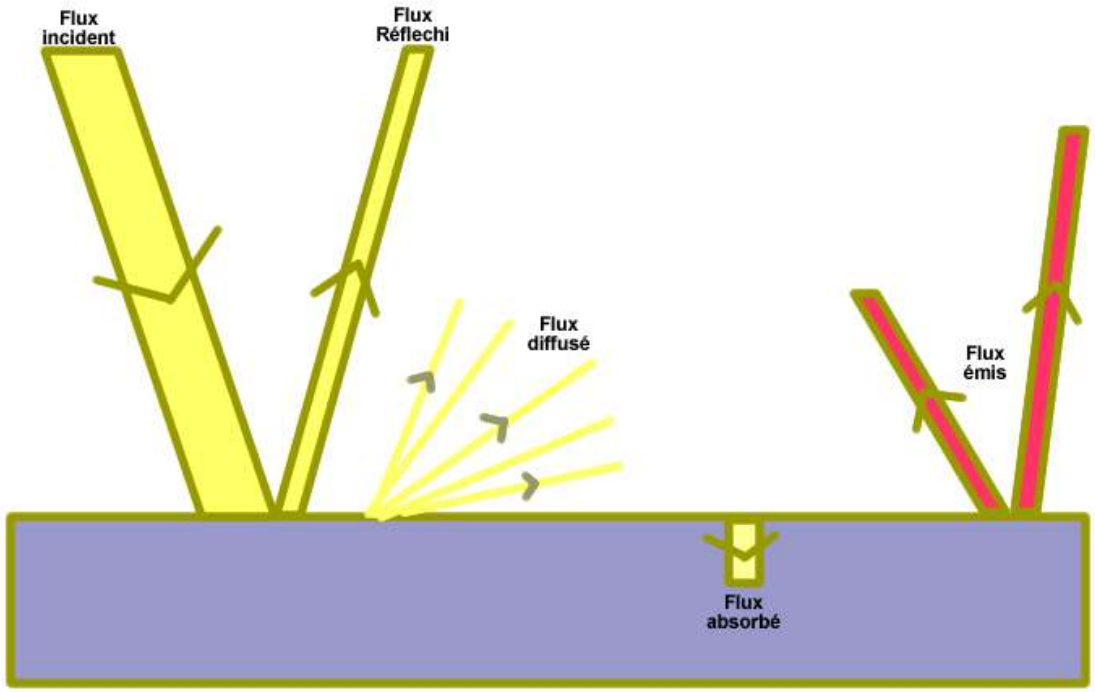
Définition
Un corps noir est un corps idéal parfaitement absorbant pour les radiations électromagnétiques et parfaitement émissif pour le rayonnement thermique.

Le rayonnement thermique est caractérisé par des longueurs d'ondes comprises entre 100 et 100 000 nm, il inclut le domaine du visible (ondes lumineuses de 400 à 800 nm) et n'occupe qu'une faible portion du spectre d'ondes électromagnétiques.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

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



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

Heureusement, il est possible de construire un corps noir presque parfait. Construisons une boîte faite d'un matériau conduisant la chaleur, comme le métal. La boîte doit être complètement fermée sur tous les côtés, de telle manière que l'intérieur forme une cavité qui ne reçoit pas de lumière de l'extérieur. Puis, faisons un tout petit trou quelque part sur la boîte. La lumière sortant de ce trou ressemblera presque parfaitement à la lumière émise par un corps noir parfait pour la température de l'air qui se trouve à l'intérieur.

LA LUMIERE, aspect qualitatif
Le corps noir

Qu'est-ce qu'un corps « pas noir » ?

Plusieurs phénomènes sont irréductibles au corps noirs :

• Un miroir est par définition très réfléchissant, et ne peut donc pas être absorbant. Il n'y aucun équilibre entre un miroir et le flux lumineux qu'il réfléchit.

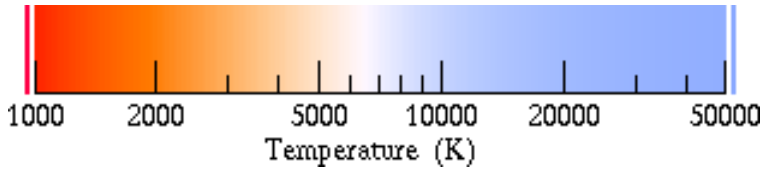
• Le rayonnement émis par une lampe à vapeur spectrale obéit à des règles de quantification énergétique fixées par la nature du gaz qui émet le rayonnement. La position des raies d'émission dépend de la nature de l'élément, et pas de la température.

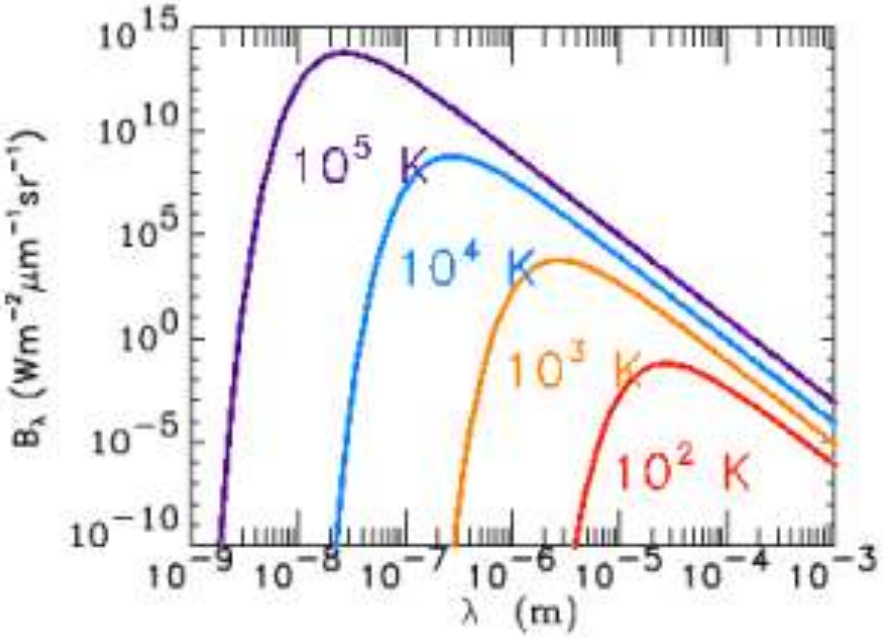
LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

Au début du 20° siècle, les scientifiques Lord Rayleigh, Wilhelm Wein, et Max Planck (entre autres) ont étudié les rayonnements du corps noir en utilisant un tel matériel. Après beaucoup de travail, Planck a pu décrire parfaitement l'intensité de la lumière émise par un corps noir comme une fonction de la longueur d'onde. De plus, il a pu décrire comment ce spectre changeait avec la température.

Ce que Planck et les autres ont trouvé est que lorsque la température d'un corps noir augmente, la quantité totale de lumière émise par seconde augmente, et la longueur d'onde du pic spectral se modifie vers les couleurs bleues.





LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

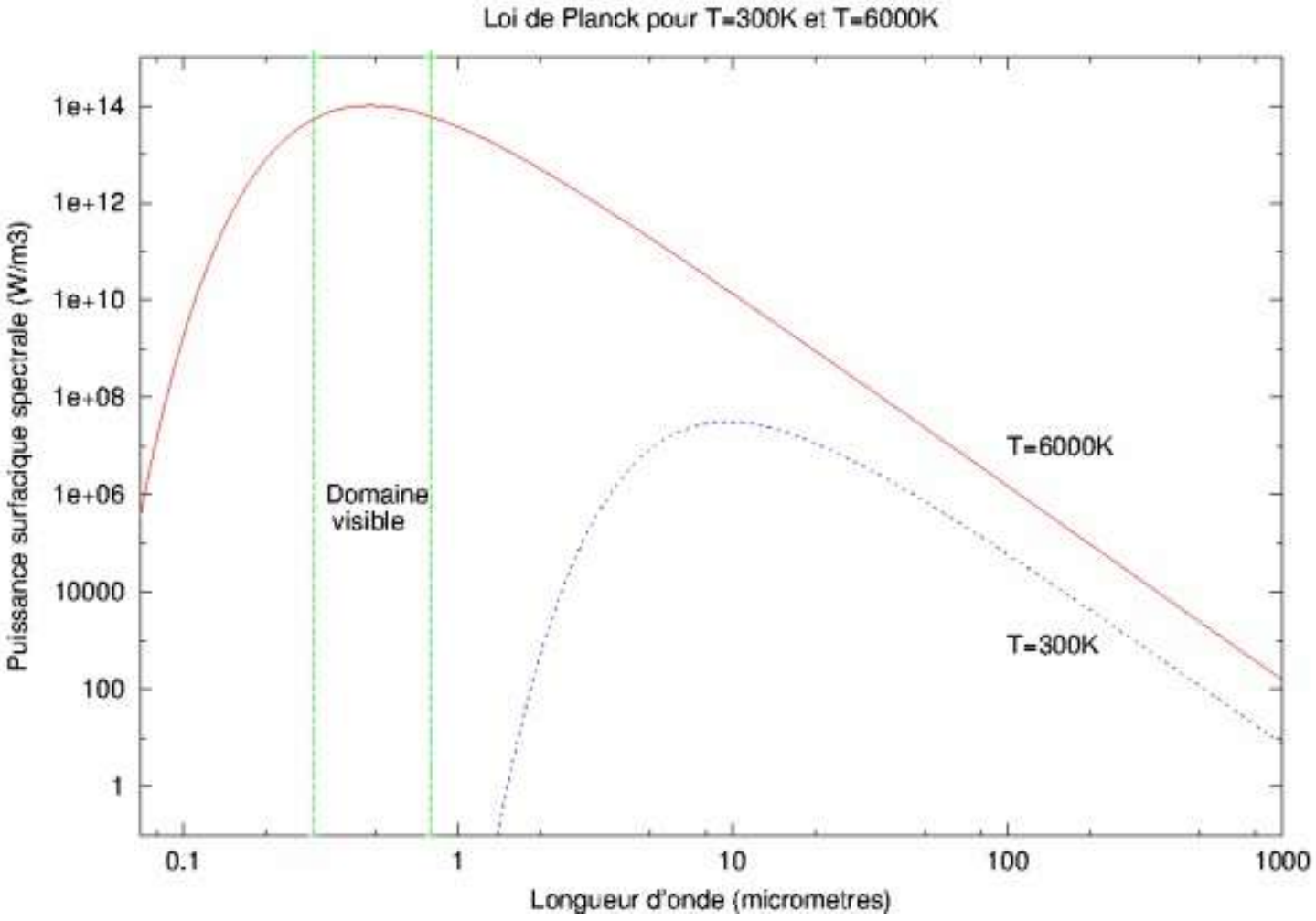
La loi de Planck donne **la répartition suivant la longueur d'onde** du flux émis F_{emi} d'un corps noir à la température T.

Dans un petit intervalle de longueur d'onde, le flux émis F_{emi} a l'expression suivante :

$$dF_{emi}^{CN} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp \frac{hc}{k_B \lambda T} - 1} d\lambda$$	*h* = 6.63 10-34 *(* constante de Planck) *kB* = 1.38 10-23 (constante de Boltzmann) *c* = 3.00 108 *m/s* vitesse de la lumière λ = longueur d'onde. *T* : Température du corps opaque.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le corps noir, lois de Planck

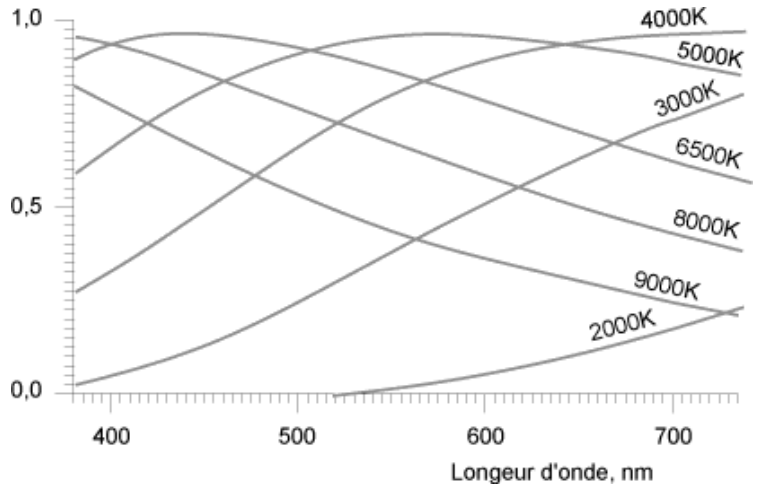


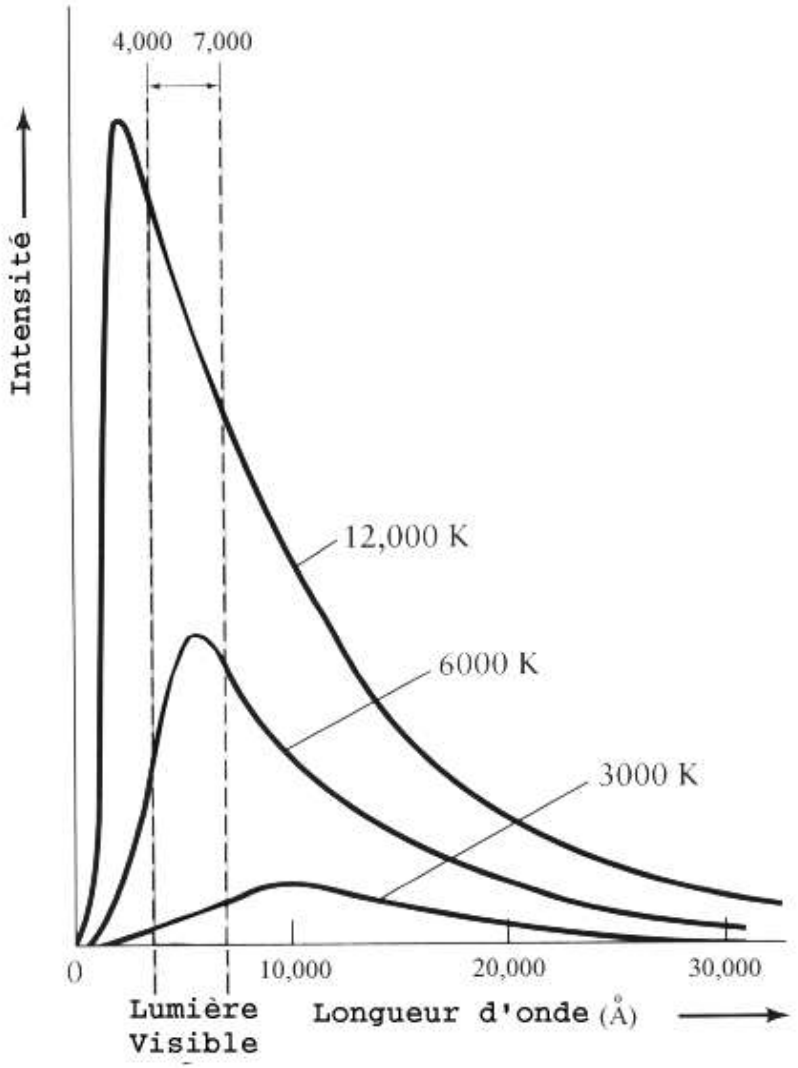
Les courbes de Planck pour le soleil (T° 6000K) et la Terre (T° 300)
On notera la différence d'amplitude des flux malgré l'échelle logarithmique en ordonnée.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Spectres obtenus pour différentes températures du corps noir, exprimées en degré Kelvin :





LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

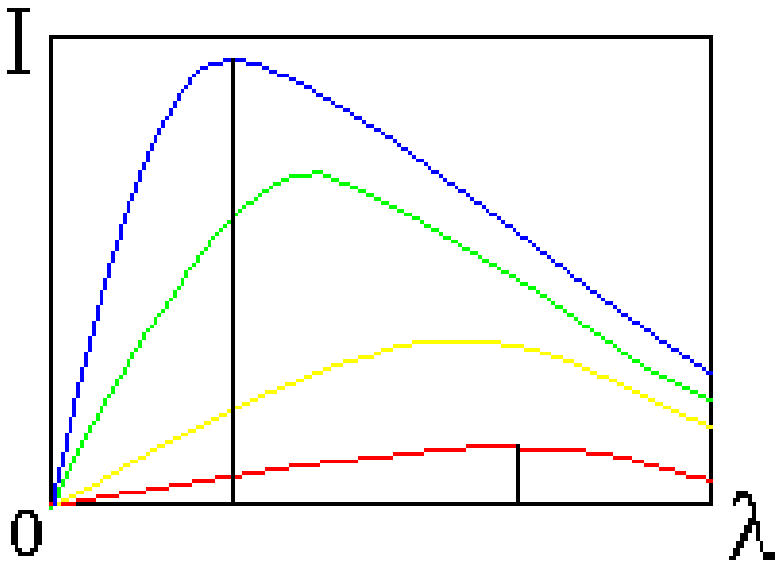
En physique, la **loi de Wien**, nommée d'après son découvreur Wilhelm Wien, donne la relation existant entre la température d'un corps noir et la longueur d'onde où le rayonnement est le plus intense, ou plus précisément la longueur d'onde où le flux ou l'exitance lumineuse est maximale:

Ce maximum d'émission (λ_{max}) est donné par **la loi de Wien** :

$$\boldsymbol{\lambda_{max} = 2\,898\,106 / T}$$

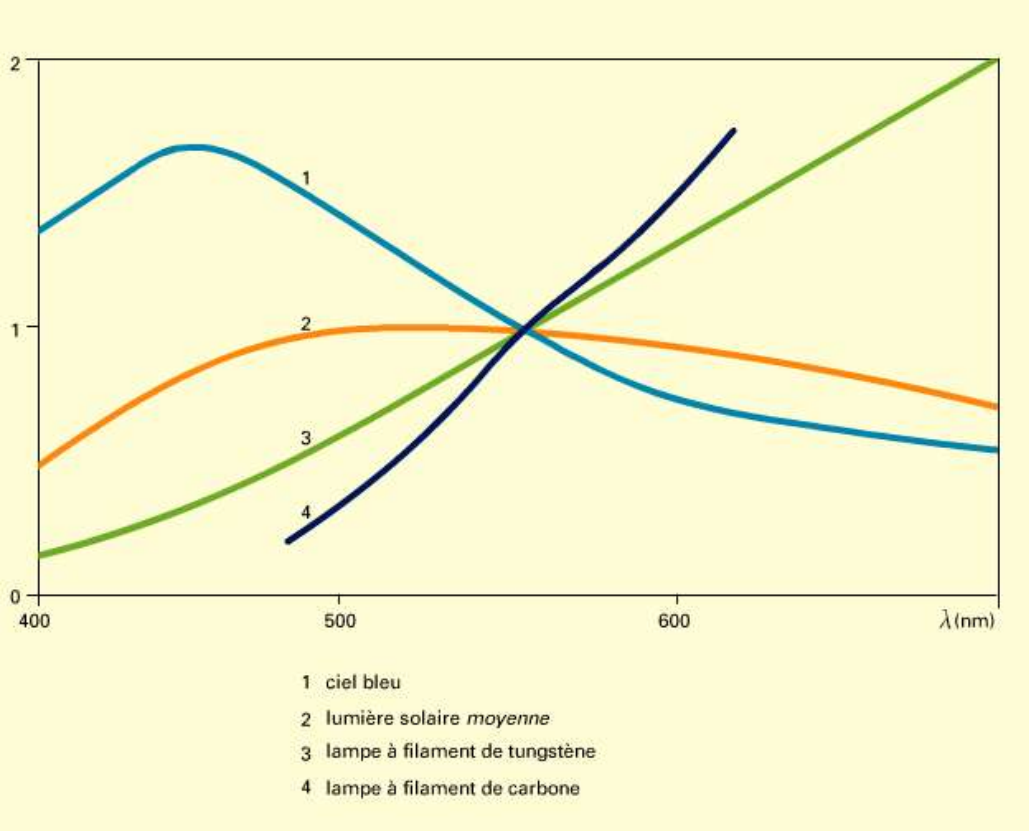
T exprimé en Kelvin, et λ_{max} en nm
1 nanomètre = 10^{-9} m = 0,000 000 001 m

Voici les spectres d'étoiles de diverses températures. Ce sont des spectres de corps noirs, c'est à dire que plus les étoiles sont chaudes et plus leur maximum d'émission se situe dans les courtes longueurs d'onde ("bleu").

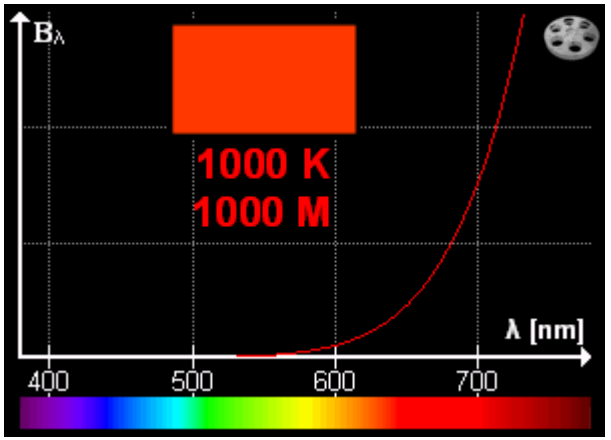


LA LUMIERE, aspect qualitatif

Exemples de **répartitions spectrales** de lumières dites blanches :



1 ciel bleu
2 lumière solaire *moyenne*
3 lampe à filament de tungstène
4 lampe à filament de carbone



Evolution de la distribution spectrale du corps noir en fonction de la température de ce corps donné en Kelvin (K) et en mired (M).
Dans le rectangle coloré : couleur apparente de la source.

La température de couleur

Tc	Naturelle	Artificielle
1 700		Allumette
1 850		Bougie
2 000	Couché du soleil	
2 650 à 2 900		Ampoule domestique 40W à 100W
3 200		**Éclairage tungstène studio**
4 300	Matin, fin d'après-midi, **Clair de lune**	Tungstène + ½ bleu
5 400	**Soleil d'été**	**HMI,** **Tungstène + bleu entier,** Flash électronique.
6 000	Grand soleil, ciel couvert	Arc au Xénon
7 000	Jour d'été peu ombragé	
8 000	Ciel brumeux, jour d'été ombragé	
12 000 – 30 000	Lumière diffuse du ciel bleu	

NB) La lune ne fait que réfléchir la lumière solaire (5 500K), mais sa surface n'est pas neutre et agit comme un filtre de correction légèrement ambré qui ramène sa température de couleur proximale à environ 4 000 K.

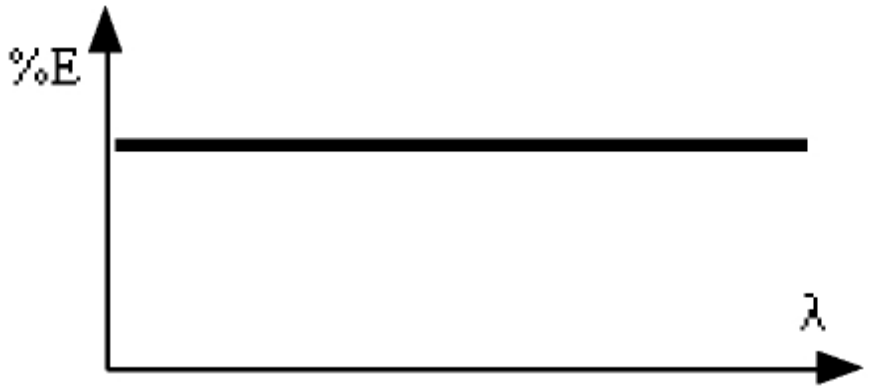
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

*« **Germinal** » Réal. Claude Berri, DP : Y. Angelo*

Blancs étalons

Sur un plan physique, idéal, **le blanc est obtenu par la représentation de toutes les couleurs en répartition énergétique constante**, donc :



On le note **blanc E**. Sa température de couleur proximale est d'environ 5 600K.

En incandescence, il n'existe pas et on travaille avec des instruments plus ou moins approximatifs même s'ils s'avèrent efficaces à l'usage.

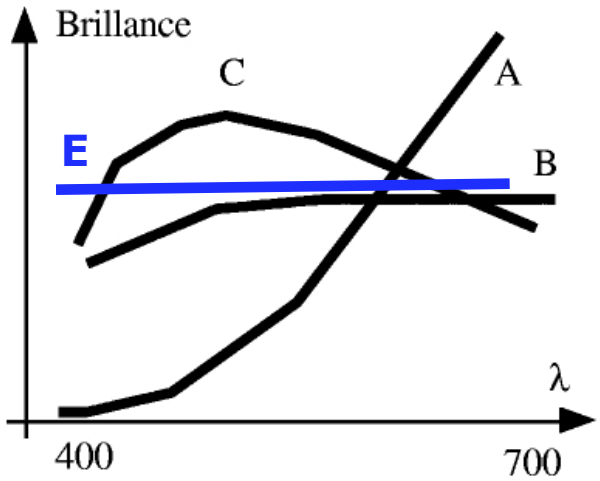
Blancs étalons

Devant la complexité de ce problème, une lumière blanche étalon a été déterminée par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) => Blancs étalons

A : filament de tungstène dont la température de couleur est 2856 K (pied ascendant dans la loi de Planck sur la brillance énergétique)

Pour arriver au blanc, on ajoute deux types de filtres, soit B, soit C.
B : spectre obtenu en faisant passer le blanc étalon A à travers un filtre (température de couleur 4 874 K correspondant aux rayons solaires).
C : autre filtre (température de couleur 6 774 K).

Les spectres de brillance deviennent :

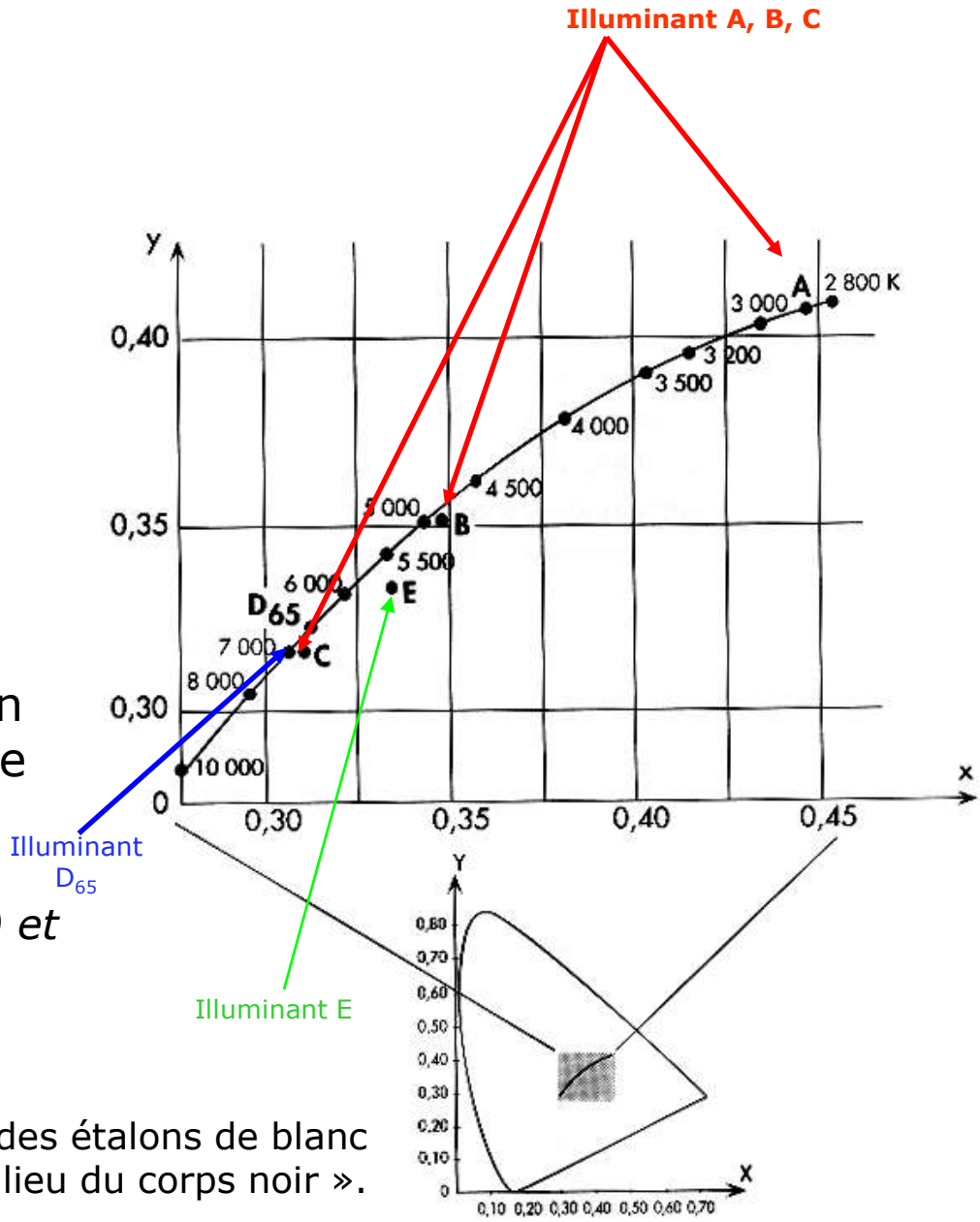


Blancs étalons

- **le blanc D_{65}** a été défini par l'Union Européenne des Radiodiffuseurs (UER).

C'est en Europe le blanc de référence pour la reconstitution d'une image vidéo sur l'écran d'un téléviseur couleur. Sa température de couleur est de 6 504 K.

Il existe aussi les blancs D_{50} (5 000K) et D_{93} (9 300 K).



Coordonnées trichromatiques des étalons de blanc dans la zone « du lieu du corps noir ».

Document « Les secrets de l'image vidéo »

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Principaux illuminants normalisés de la CIE :

- **illuminant A** : lumière émise par un corps noir porté à la température de 2856K. (= lampe à filament de tungstène de 500W à une température de couleur proximale de 2856K).

- **illuminant B** : lumière directe du soleil à midi à 4870K environ. Il n'est plus en usage depuis 1986.

- **illuminant C** : lumière moyenne du jour avec une température de couleur proximale d'environ 6770K.

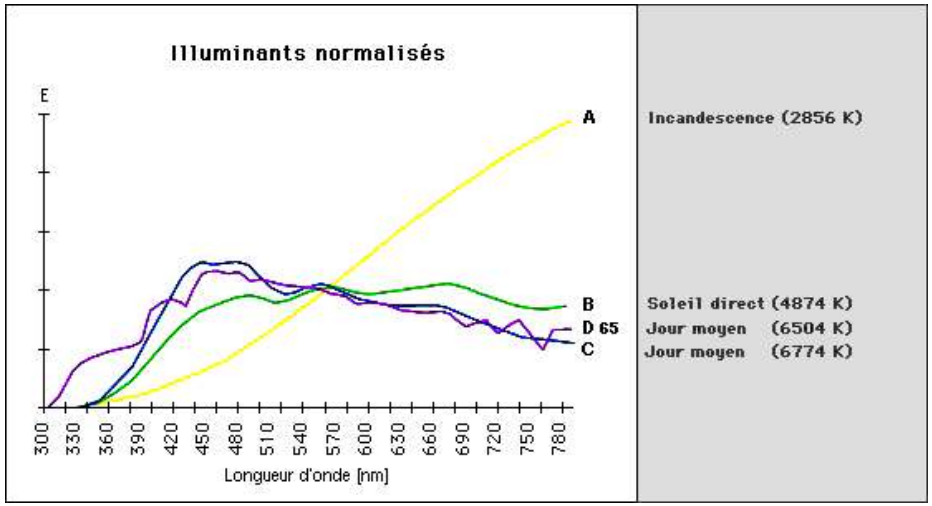
- **illuminants D** : différentes lumières du jour. Un indice lié à la température de couleur proximale est toujours associé à un illuminant D : le plus utilisé est D_{65} qui représente la lumière du jour à une température de couleur proximale d'environ 6500K. (moyenne des lumières durant une journée).

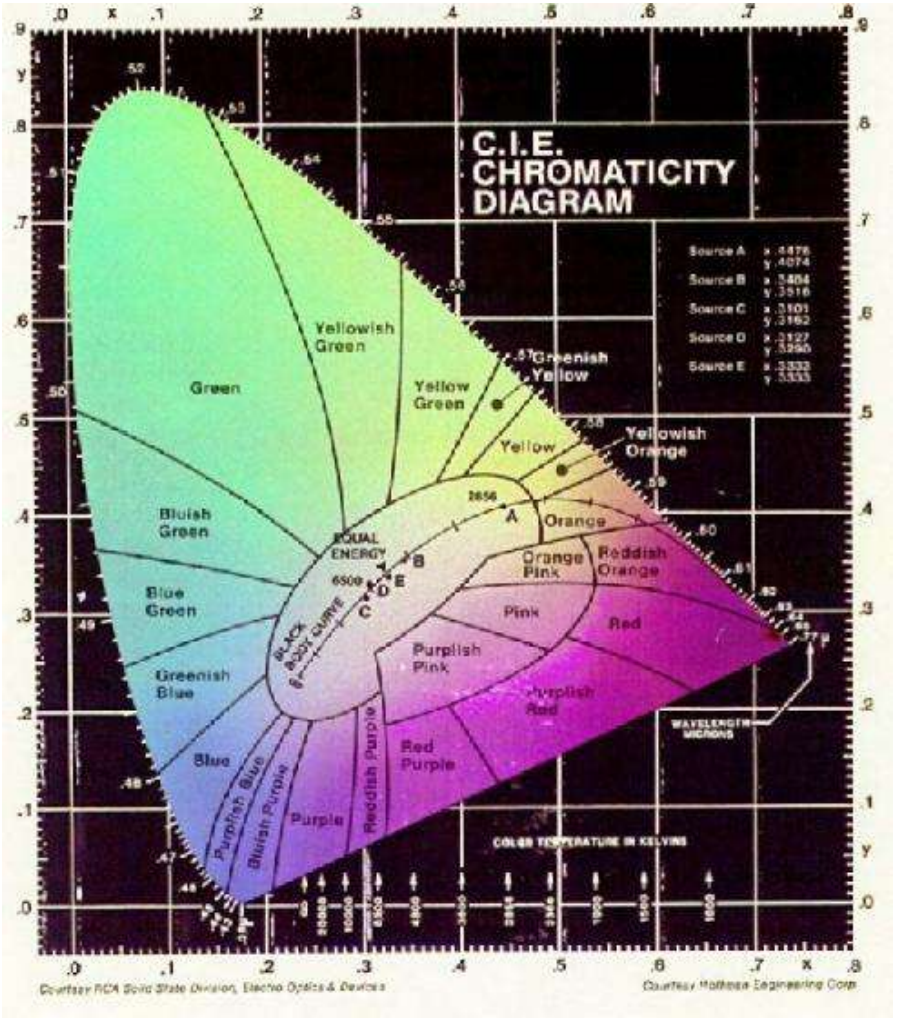
- **illuminant E** : lumière d'égale énergie ou source *équi-énergétique*

- **illuminants F** : 12 illuminants de F1 à F12 correspondant aux lumières émises par des lampes fluorescentes. Ex. : F2 (lampe fluorescente standard)

Illuminants

Designation	x	y
Illuminant A	0.448	0.407
Illuminant B	0.348	0.352
Illuminant C	0.310	0.316
Illuminant D 5500	0.332	0.348
Illuminant D 6500	0.313	0.329
Illuminant D 7500	0.299	0.315
Illuminant E	0.333	0.333



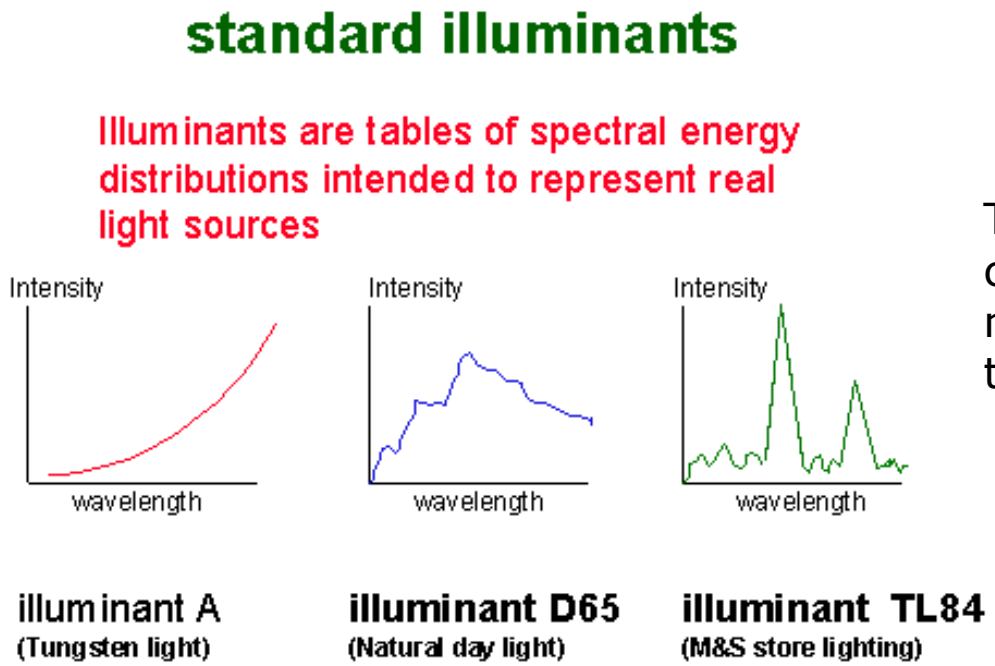


Le blanc de référence utilisé pour la norme NTSC est l'illuminant C alors que l'EBU (European Broadcasting Union) a préconisé l'emploi de l'illuminant D_{65}.

Illuminants

Quelle est la différence entre un illuminant et une source de lumière ?

Une source de lumière émet physiquement des radiations (bougie, lampe tungstène, le soleil). Un illuminant a les caractéristiques d'une source potentielle.



Toutes les sources peuvent être considérées comme des illuminants, mais les illuminants ne peuvent pas tous être des sources lumineuses.

Illuminants et température de couleur

Définition à retenir:

La qualité de la couleur d'un illuminant peut être exprimée par le terme de « température de couleur », mesure qui définit **la couleur d'une source lumineuse par rapport à l'apparence visuelle de la lumière radiée par un corps noir** porté à incandescence.

Cette mesure est exprimée en Kelvin.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Valeurs mired :

Il existe une autre manière d'exprimer la Tc :
l'échelle mired (MIcro REciprocal Degree), établie en divisant un million par la Tc indiquée en kelvins.

Valeur mired = 1 000 000 / T (en Kelvin) [1]

Équivalence en mired des températures de couleur de 2 000 à 8 900 kelvins

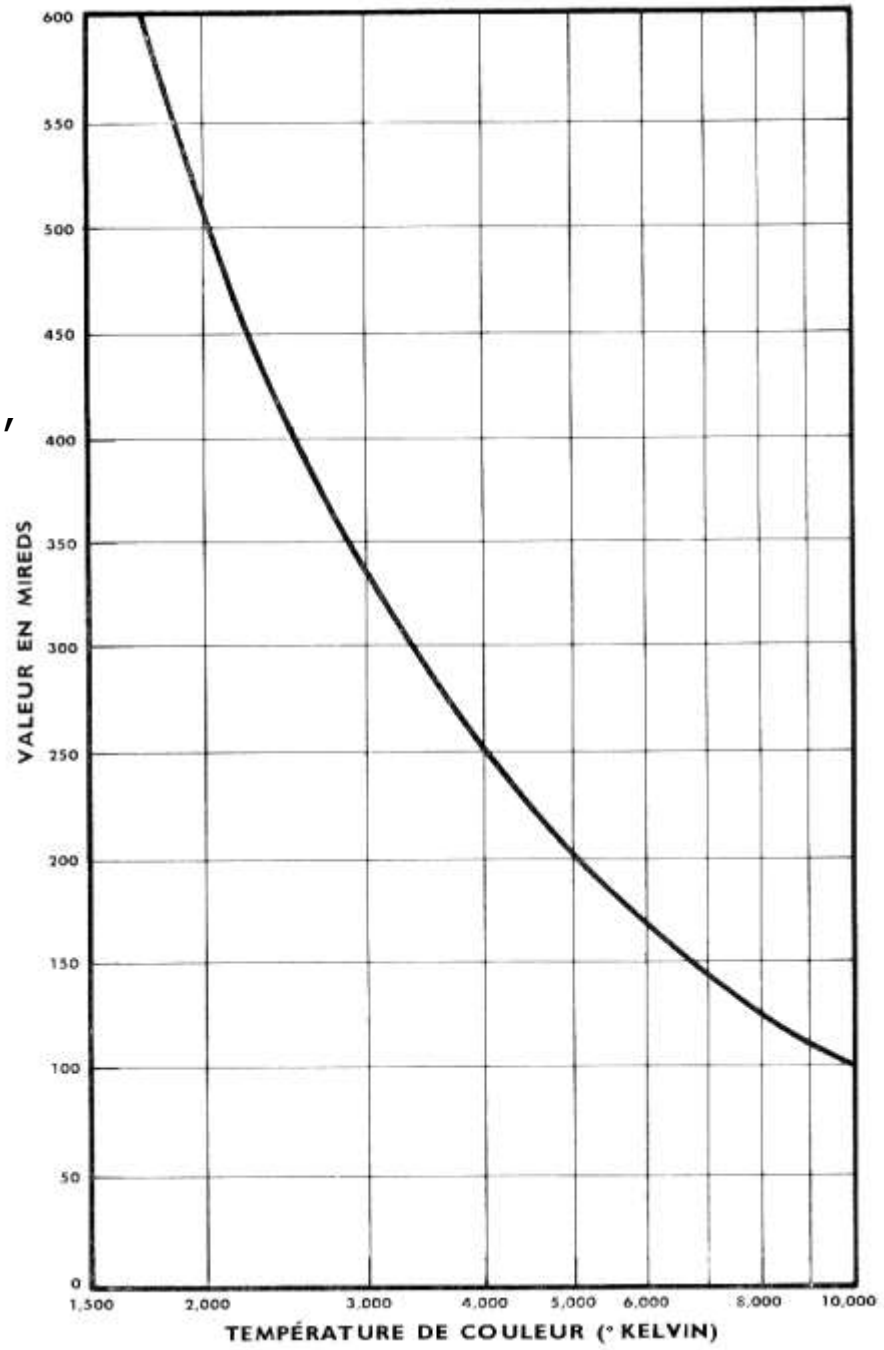
K		100	200	300	400	500	600	700	800	900
2000	500	476	455	435	417	400	385	370	357	345
3000	333	323	312	303	294	286	278	270	263	256
4000	250	244	238	233	227	222	217	213	208	204
5000	200	196	192	189	185	182	179	175	172	169
6000	167	164	161	159	156	154	152	149	147	145
7000	143	140	139	137	135	133	132	130	128	126
8000	125	123	122	120	119	118	116	115	114	112

Exemple : 3 200 K correspond à 312 mired

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Le graphique est représentatif de la fonction [1], il donne la correspondance, Degré Kelvin-Mired.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Le MK^{-1} et le MKI

Le mired s'appelle maintenant

✓ MK^{-1} « **Mega kelvin moins un** »
ou
✓ MKI (**Mega Kelvin Inverse**)

Exemple :

5 000 K = 0,005 MK → 1/ 0,005 MK^{-1} = 200 MK^{-1} = 200 Mired
ou 1/ 0,005 MKI = 200 MKI = 200 Mired

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

L’échelle des mireds

Son existence est justifiée par le fait que l'échelle des Kelvins n'est pas linéaire (la variation de couleur de la lumière n'est pas la même aux basses Tc qu'aux Tc plus élevées).

Un même filtre, par exemple de +18 mireds (81A), permet de convertir aussi bien une lumière à 3 400K en une lumière à 3 200K (diminution de 200 K), qu'une lumière à 6 100K en une à 5 500K (diminution de 600 K).

Vous remarquez alors qu'**une même valeur d'écart en mireds ne donne pas le même écart en Kelvin suivant la température à convertir**. Indexer un filtre avec un écart en Kelvin est alors impossible.

L’intérêt de l’échelle mired est de simplifier les calculs des filtres de conversion. Il suffit de connaître, en mired, l’écart de température de couleur entre la source et celle de la caméra pour savoir directement quel filtre utiliser.

C'est la raison d'existence de l’échelle des mireds.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Quand utiliser les mired ?
Les mireds ne sont jamais utilisés en valeur absolue. Il sont uniquement utilisés pour exprimer **la notion d'écart** entre deux températures de couleur (lors de l'emploi des filtres).

L'équation: $\Delta = (1/T_2 - 1/T_1).10^6$

donne l'écart en mireds entre T_1 et T_2 où **T_1 représente la température de couleur de la source de la lumière originale et T_2 celle de la source de lumière corrigée par le filtre**.
L'échelle mired simplifie les calculs de filtres de conversion :

Tc *corrigée* (mired) – Tc *source* (mired) = Correction à apporter en mired
ou
Tc *capteur* (mired) – Tc *source* (mired) = Correction à apporter en mired

La valeur d'écart est positive dans le cas d'une conversion d'une température vers une température plus basse et négative dans le cas contraire.
Les thermocolorimètres indiquent directement la valeur mired du filtre de conversion à utiliser ainsi que le filtre correspondant .

La température de couleur,

Les filtres de conversion

Les filtres de conversion ont la propriété de modifier d'une quantité définie la température de couleur et, par conséquent, la valeur en mired de chaque source lumineuse.

Comment lire les valeurs Mired : le chiffre de la colonne centrale indique la valeur Mired. Les filtres froids (bleutés) apportent une valeur négative et les filtres chauds (ambrés) une valeur positive. Ainsi le filtre 82 a une valeur de - 10 Mired et le filtre 81 une valeur de + 10 Mired.

L'addition d'un filtre ambré avec un filtre bleu n'a pas de sens, l'addition donne un filtre gris neutre.

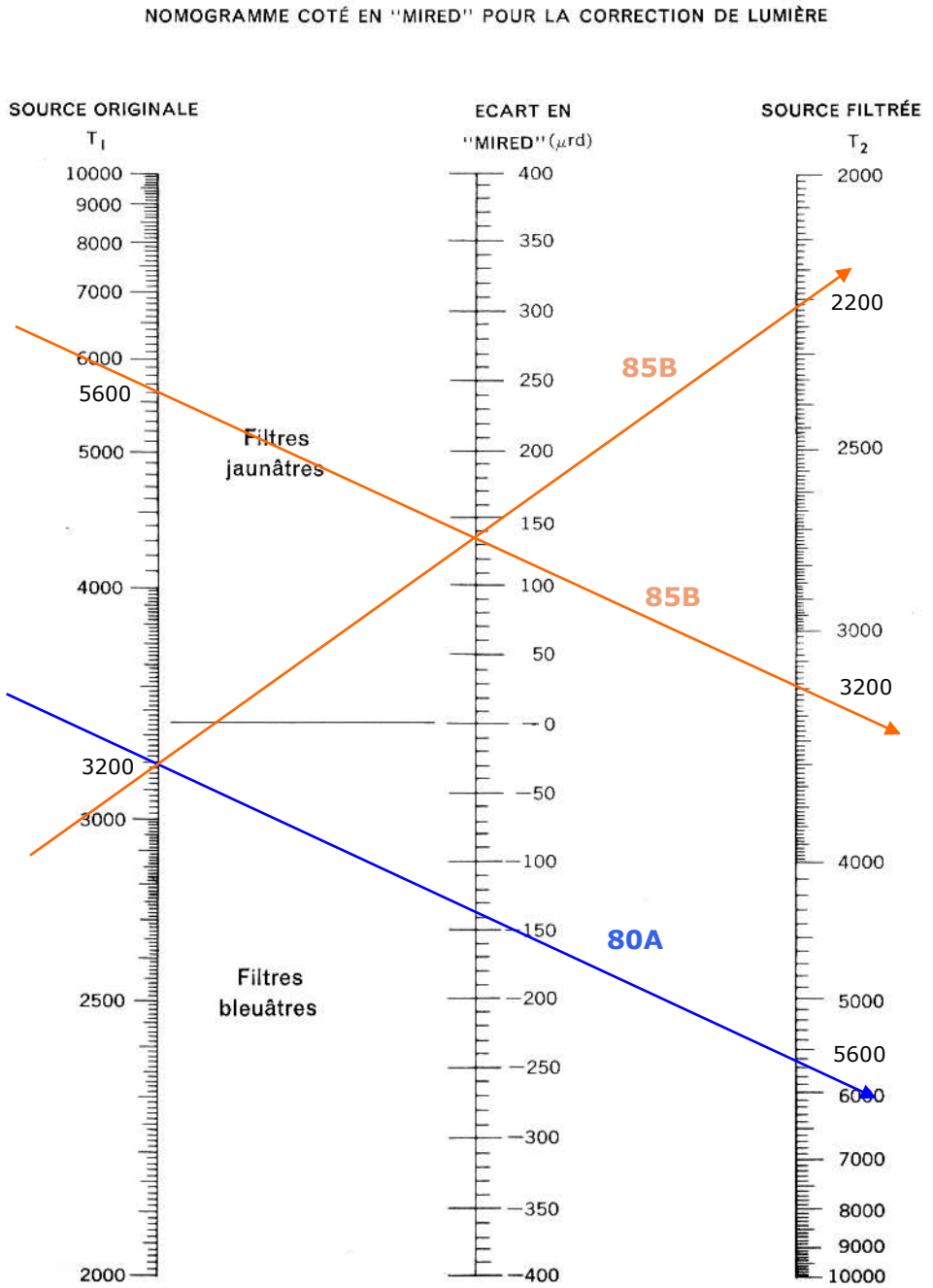
Bleu		Jaune/ambré
-	Correction en Mired	+
82	10	81
	18	81 A
82 A	21	
	27	81 B
82 B	32	
	35	81 C
	42	81 D
82 C	45	
	53	81 EF
80 D	56	
80 C	81	85 C
80 B	112	85
80 A	131	85 B

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Le nomogramme permet de trouver pratiquement le filtre à employer pour passer d'une température T_1 à une température T_2 (source de lumière corrigée par le filtre).

Pour trouver le filtre adéquat, pour une certaine conversion, il suffit de placer une règle sur les points correspondant à la température de couleur T_1 de la source utilisée et à la température de couleur T_2 que l'on désire obtenir.
La règle coupe la colonne du centre en un point qui indique la correction en mired du filtre requis.

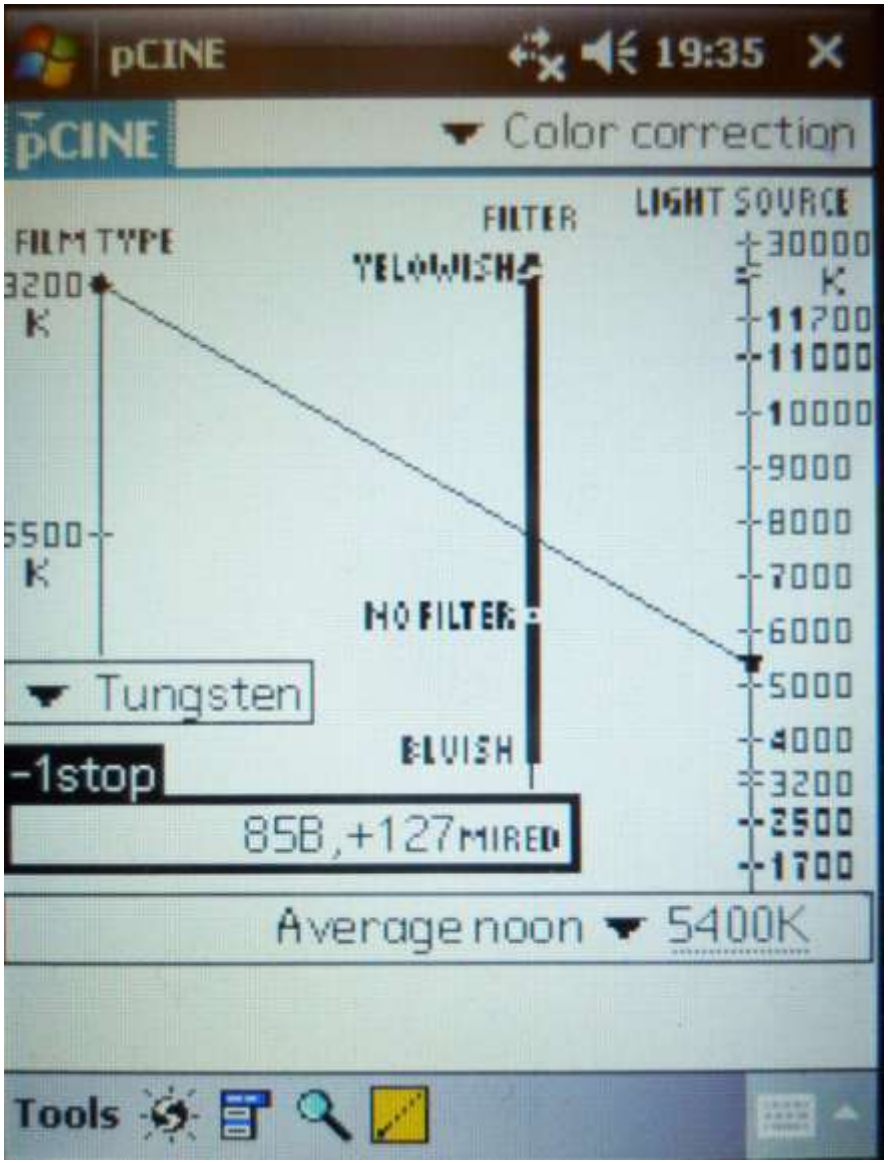


Nomogramme : Système de courbes permettant de trouver certains résultats par simple lecture, sans calcul.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur

Le logiciel **pCINE** permet d'utiliser le nomogramme sur Palm, PPC ou **pCAM** sur Iphone.
Parmi les calculs offerts par ce logiciel, il existe une page pour la correction colorimétrique.
Pour trouver le filtre adéquat, il suffit de placer la règle sur les points correspondant à la température de couleur T_1 de la source utilisée (ici 5400K – environ midi) et à la température de couleur T_2 que l'on désire obtenir (ici film type 3200).
La fenêtre indique le filtre adéquat pour corriger la dominante (ici 85B) et la correction en mired du filtre requis (ici +127 mired). En noir, l'opérateur connait la compensation d'exposition à appliquer (ici 1 stop).



pCINE : http://www.davideubank.com

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur,

Les filtres de <u>conversion</u>

Filtres Gélatine KODAK WRATTEN pour conversion des températures de couleur

Couleur du filtre	Numéro du filtre	Compensation de l'exposition	**Correction en mired**	*Exemples de conversion en kelvins*
Bleu	80A 80B 80C 80D	2 1+2/3 1 1/3	**- 131** **- 112** **- 81** **- 56**	*3 200 à 5 500* *3 400 à 5 500* *3 800 à 5 500* *4 200 à 5 500*
Ambré	85B 85 85C	2/3 2/3 1/3	**+131** **+112** **+ 81**	*5 500 à 3 200* *5 500 à 3 400* *5 500 à 3 800*

Note : en superposant les filtres 80B et 85, on obtient un filtre gris neutre de densité 0,7

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur,
Les filtres de conversion sur un capteur argentique

Film lumière du jour

Film lumière artificielle sans filtre

Film lumière artificielle sans 85 tirage corrigé au labo…

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur,
Les filtres de conversion sur un capteur numérique

Exercice réalisé par les étudiants en 2e année BTS Image à l'EICAR en mai 2008 sur une DSR 570

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur,

Les filtres de <u>correction</u>

Filtres KODAK correcteurs de lumière

Couleur du filtre	Numéro du filtre	Compensation de l'exposition	**Correction en mired**	*Pour obtenir 3 200 K à partir de*	*Pour obtenir 5 500 K à partir de*
Bleuâtre	82C + 82C	1+1/3	**- 89**	*2 500 K*	*3 700 K*
	82C + 82B	1+1/3	**- 77**	*2 600 K*	*3 850 K*
	82C + 82A	1	**- 65**	*2 650 K*	*4 000 K*
	82C + 82	1	**- 55**	*2 700 K*	*4 200 K*
	82C	2/3	**- 45**	*2 800 K*	*4 400 K*
	82B	2/3	**- 32**	*2 900 K*	*4 700 K*
	82A	1/3	**- 21**	*3 000 K*	*4 900 K*
	82	1/3	**- 10**	*3 100 K*	*5 200 K*
--	--	--		*3 200 K*	*5 500 K*
Jaunâtre	**81**	1/3	**+ 9**	*3 300 K*	*5 800 K*
	81A	1/3	**+ 18**	*3 400 K*	*6 100 K*
	81B	1/3	**+ 27**	*3 500 K*	*6 450 K*
	81C	1/3	**+ 35**	*3 600 K*	*6 800 K*
	81D	2/3	**+ 42**	*3 700 K*	*7 150 K*
	81EF	2/3	**+ 53**	*3 850 K*	*7 750 K*

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Les gélatines de conversion de couleur à placer sur les projecteurs

Gélatines bleues CTB :

Type	***Rosco*** *Cinegel n°*	*Différence MIRED*	***Lee*** *n°*	*Différence MIRED*	***GAM*** *n°*	*Exemples de différence température de Couleur (K)*	*Absorption (diaph)*
Double CTB			**200**	**- 274**		3 200 à 26 000	3 + ½
Extra CTB	-	-	-	-	1520	3 200 à 6 000	1+3/4
CTB plein	3202	- 131	**201**	**- 137**	1523	3 200 à 5 500	1 + ½
¾ CTB	-	-	-	-	1526	3 400 à 5 500	1 + ¼
½ CTB	3204	- 68	**202**	**-78**	1529	4 000 à 5 500	1
1/3 CTB	3206	- 49				4 300 à 5 500	2/3
¼ CTB	3208	- 30	**203**	**- 35**	1532	4 800 à 5 500	1/2
1/8 CTB	3216	- 12	218	- 18	1535	5 200 à 5 500	1/3

Les gélatines de conversion de couleur à placer sur les projecteurs

Gélatines orangées CTO :

Type	***Rosco*** *Cinegel n°*	*Différence MIRED*	***Lee*** *n°*	*Différence MIRED*	***GAM*** *n°*	*Exemples de différence température de Couleur (K)*	*Absorption (diaph)*
Extra CTO	-	-	-	-	1540	20 000 à 3 200 5 500 à 2 200	1
CTO plein	3407	+ 167	204	+159	1543	6 500 à 3 200 5 500 à 2 900	2/3
Sun 85	3401	+131	-	-	-	5 500 à 3200	2/3
¾ CTO	-	-	285	+ 124	1546	5 300 à 3 200	2/3
½ CTO	3408	+ 81	**205**	**+ 109**	1549	4 300 à 3 200	1/2
¼ CTO	3409	+ 42	206	+ 64	1552	3 700 à 3 200	1/3
1/8 CTO	3410	+ 20	223	+ 26	1555	3 500 à 3 200	1/4

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le point couleur

Il indique les proportions de chacune des trois composantes de la couleur de la lumière : bleu, vert, rouge.

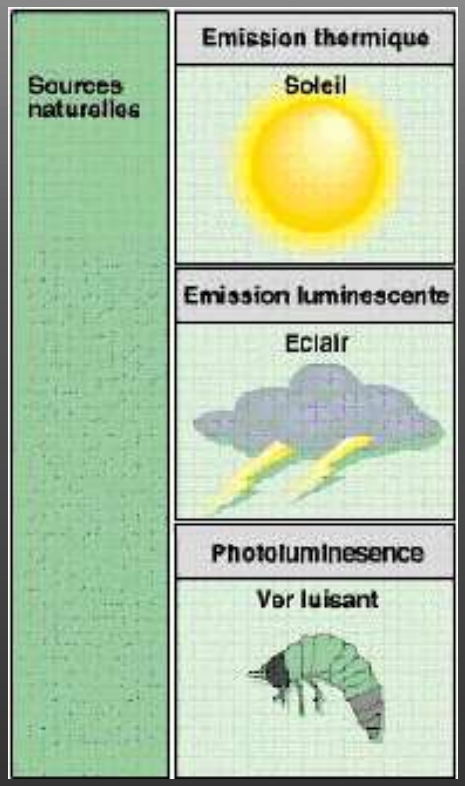
La somme des trois est toujours égale à 1.

	Spectre visible		
Kelvin	**Bleus** 0,4 – 0,5 µ	**Verts** 0,5 – 0,6 µ	**Rouges** 0,6 – 0,7 µ
1200	0,002	0,104	0,894
1400	0,01	0,14	0,85
1600	0,02	0,17	0,81
1800	0,03	0,18	0,79
2000	0,04	0,23	0,73
2200	0,05	0,30	0,65
2400	0,07	0,30	0,63
2600	0,09	0,30	0,61
2800	0,11	0,31	0,58
3000	0,13	0,33	0,54
3200	0,15	0,34	0,51
3400	0,17	0,34	0,49
3600	0,20	0,34	0,46
3800	0,21	0,35	0,44
4000	0,23	0,35	0,42
4500	0,26	0,35	0,39
5000	0,30	0,36	0,34
5500	0,33	0,35	0,32
6000	0,35	0,34	0,31
8000	0,42	0,33	0,25
10000	0,47	0,31	0,22
15000	0,51	0,30	0,19
16000	0,55	0,28	0,17

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La lumière naturelle

- **L'incandescence**
- **La luminescence**



Extrait du DVD EDF
« Que la lumière fuse »

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La lumière naturelle

La luminescence

On appelle luminescence l'émission de tout rayonnement électromagnétique visible, ultraviolet ou infrarouge, **qui n'est pas d'origine purement thermique.**

Le phénomène de luminescence se décompose toujours au moins en deux phases : l'excitation du système électronique de la substance et sa désexcitation au cours de laquelle l'émission lumineuse se produit.

Excitation et émission peuvent être séparées par des phases intermédiaires, ce qui conduit en particulier à distinguer deux types d'émission lumineuse : la ***fluorescence*** lorsque l'émission suit presque instantanément l'excitation (*t* de l'ordre de 10^{-8} s) et la ***phosphorescence*** quand l'émission persiste au bout d'un temps plus long (*t* pouvant aller de la fraction de seconde à plusieurs jours).

LA LUMIERE, aspect qualitatif

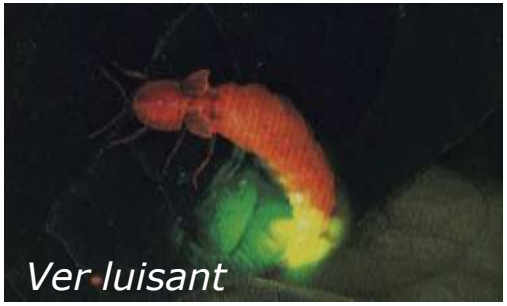
La lumière naturelle

La luminescence

La luminescence produite par l'absorption de photons ultraviolets ou visibles est appelée ***photoluminescence***. La photoluminescence a de nombreuses applications, notamment pour les revêtements internes des **tubes fluorescents**.

On appelle ***électroluminescence*** l'émission de lumière produite par l'application d'un champ électrique à certaines substances luminescentes (**diodes luminescentes, tubes néon**).

La ***chimiluminescence*** est l'émission de photons produite directement ou indirectement par réaction chimique. La chimiluminescence se réalise en quatre temps : réaction chimique, transfert d'énergie, excitation et émission. La ***bioluminescence*** est une chimiluminescence qui se produit chez des organismes vivants. Les exemples les plus connus sont les vers luisants femelles, les lucioles et certaines espèces de plantes marines. On la trouve aussi chez certains poissons.

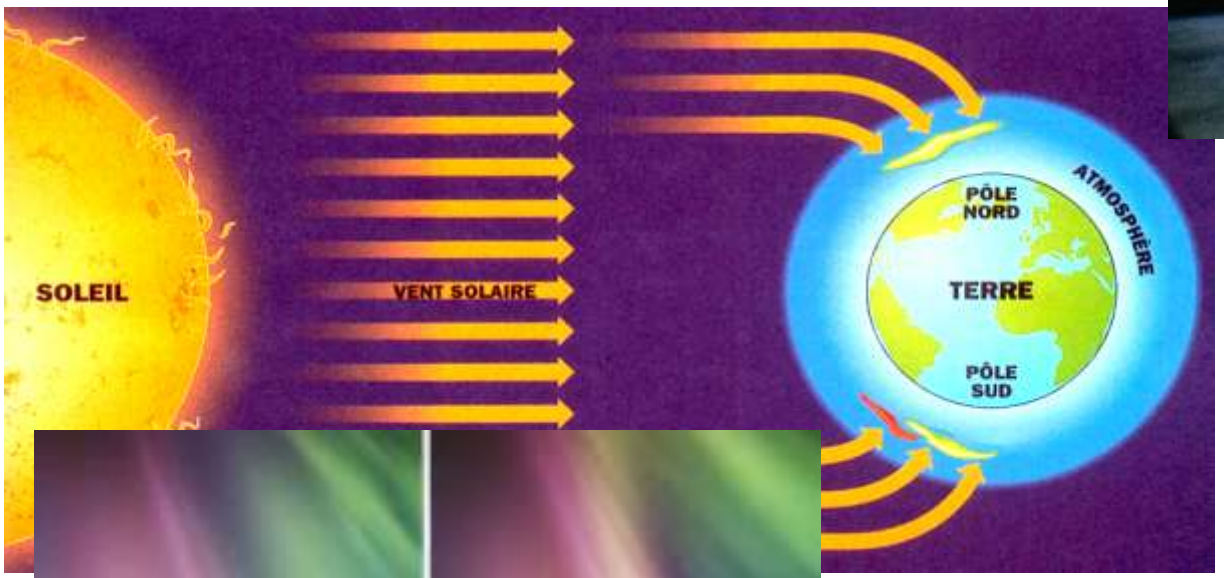


Ver luisant

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La lumière naturelle

Aurores polaires ou boréales et luminescence



Aurore polaire observée depuis la navette spatiale

La terre agit comme un aimant, les pôles magnétiques piègent les particules chargées d'électricité envoyées par le soleil.
Dans certaines conditions, ces particules heurtent violemment les atomes présents dans la haute atmosphère.
Cela provoque une lueur.

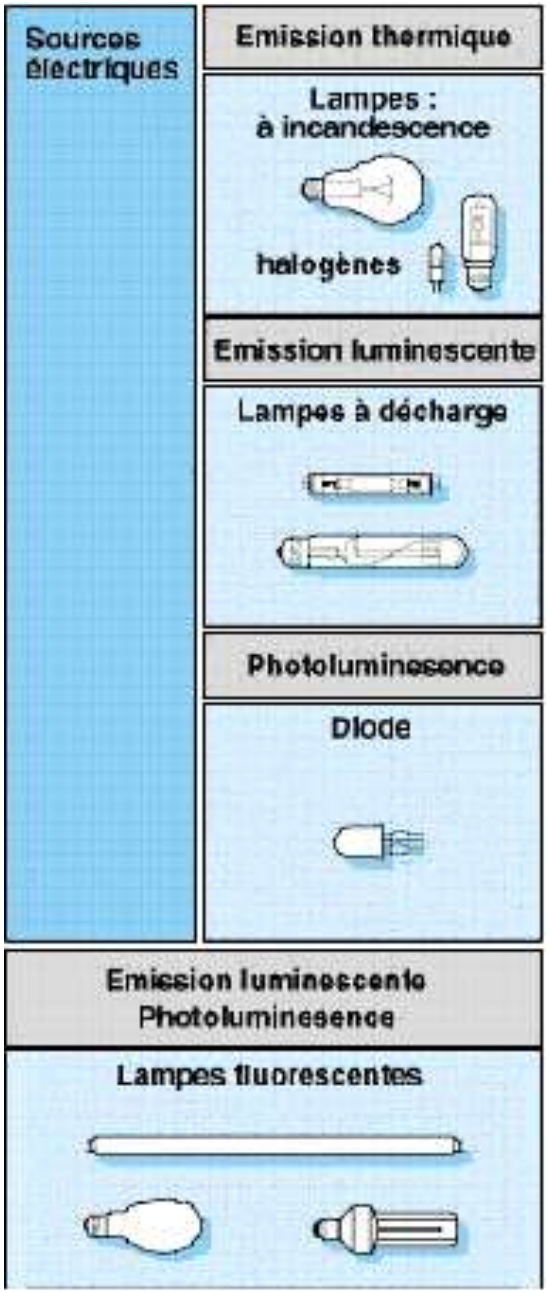
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La lumière artificielle

- L'incandescence
- La luminescence

Les lampes d'aujourd'hui

- Les lampes à filament
- Les lampes à décharge



Nature de la lumière émise

Spectre continu, spectre de raies

Les lumières à spectre continu: toutes les longueurs d'ondes sont présentes (bien sûr entre deux limites). C'est le cas de la lumière émise par **les lampes à incandescence** par exemple.

Les lumières à spectre de raies: la lumière ne comporte qu'un nombre limité de radiations de longueurs d'onde parfaitement déterminées. C'est le cas de la lumière émise par **les lampes à décharge et les LED**.

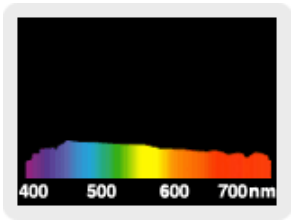
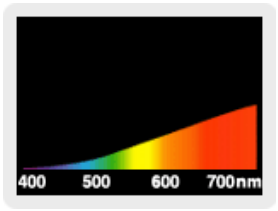
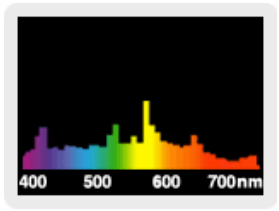
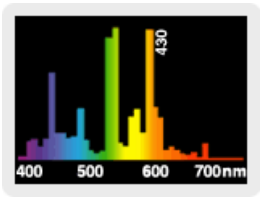
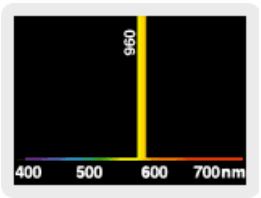
Lampe à vapeur de mercure

Lampe à vapeur de sodium

LED

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Différents spectres d'émission

lumière du jour	lampe à incandescence	lampe à décharge	tube fluorescent	lampe au sodium
				

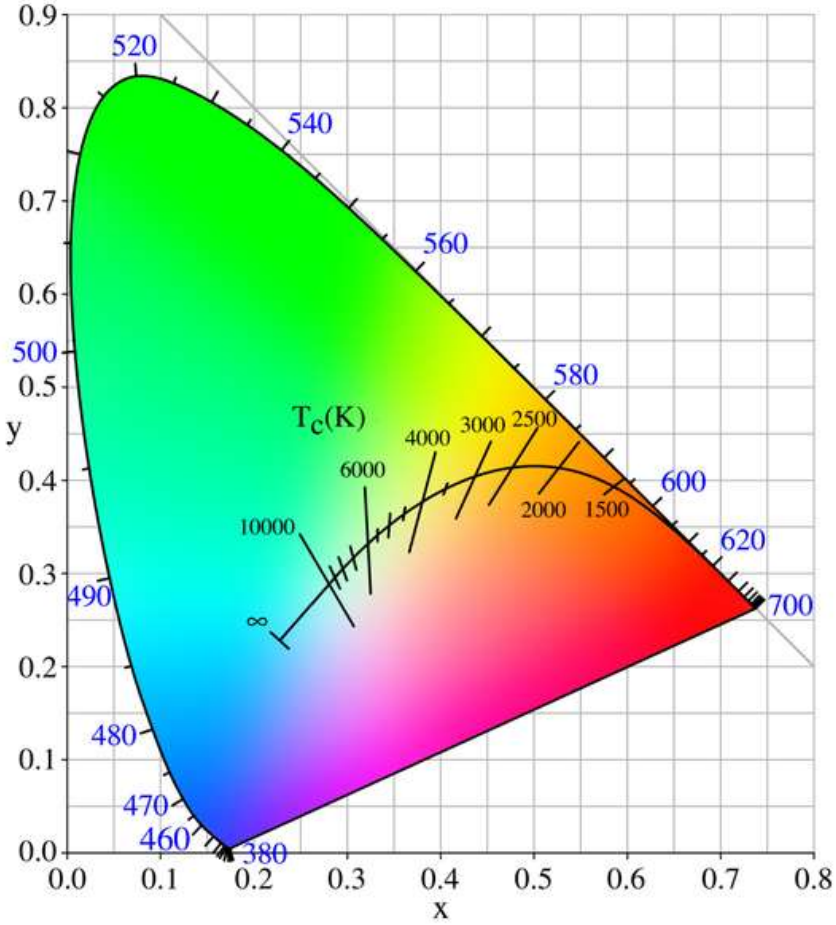
Température de couleur proximale

La température de couleur permet de qualifier une source de lumière par la température du corps noir produisant un rayonnement équivalent. Dans le cas des lampes à incandescence, l'équivalence est très facile à trouver, car le spectre d'un filament est très proche de celui du corps noir.

Pour les sources qui utilisent une décharge électrique dans un gaz, comme les tubes fluorescents ou les lampes HMI, le spectre comporte des raies importantes et la corrélation avec l'émission du corps noir est presque impossible à trouver. Dans ce cas, on donne une température de couleur indicative qui **correspond à une sensation équivalente pour l'œil** : c'est la *température de couleur proximale (ou CCT, température de couleur corrélée)* .

Température de couleur proximale

La température de couleur proximale d'une source est calculée en trouvant le point le plus proche placé sur la courbe du corps noir du diagramme de chromaticité.

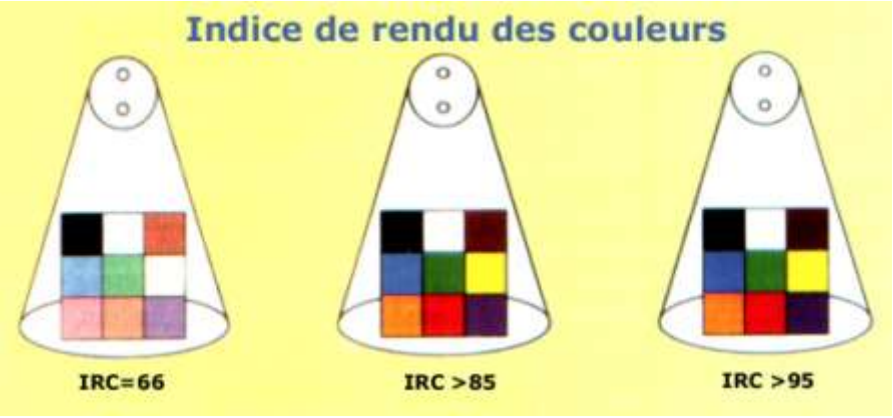


LA LUMIERE, aspect qualitatif

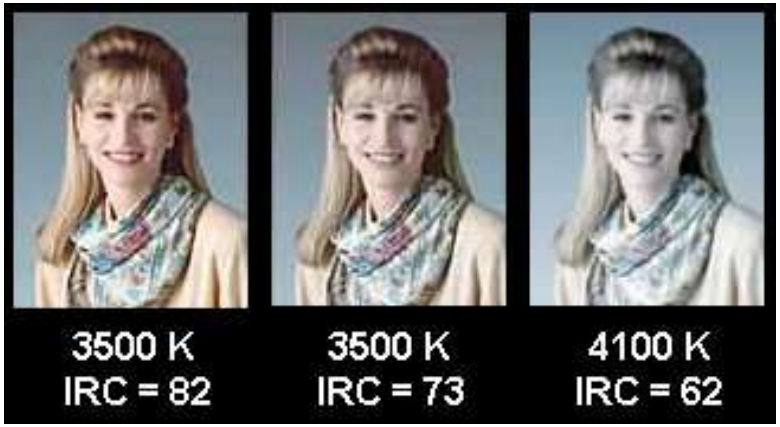
L’indice de rendu des couleurs IRC ou CRI Color rendering index

L'indice de rendu des couleurs varie de 0 à 100 et donne une indication sur la capacité d'une source de lumière à restituer les différentes couleurs du spectre visible sans en modifier les teintes.

L'indice maximum (IRC = 100) correspond à une lumière blanche naturelle qui possède un spectre à la fois complet et continu, et qui restitue toutes les nuances de couleur du spectre.



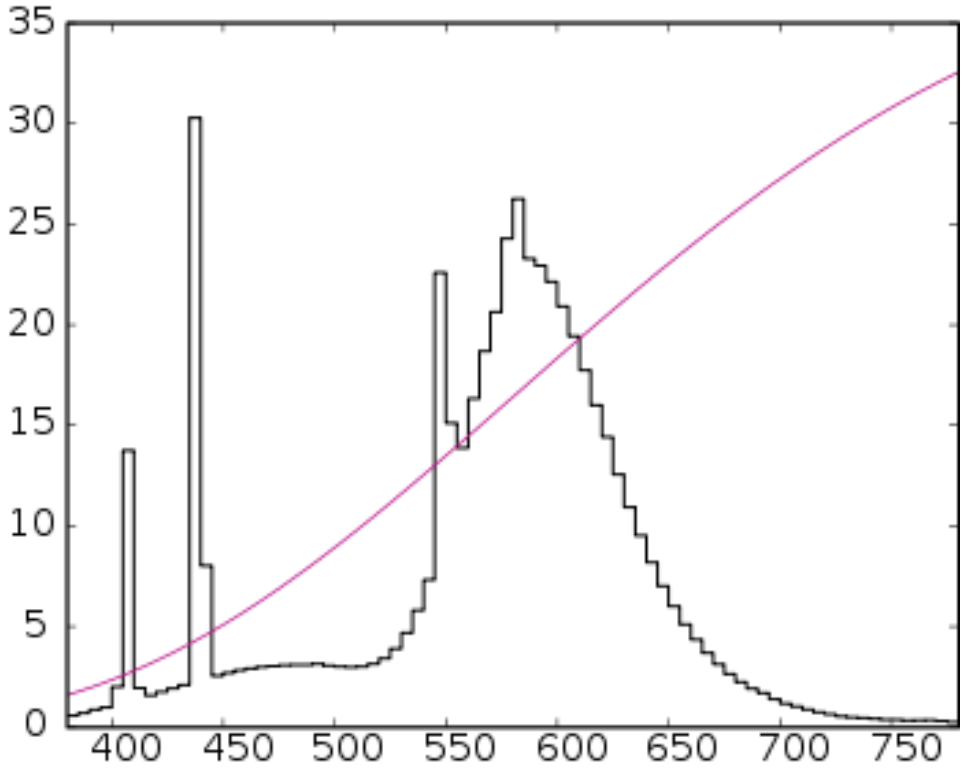
Le soleil, les filaments ont un indice maximum de 100. Au-dessus de 85 la perception est normale



LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'indice de rendu des couleurs et la température de couleur

L'indice de rendu des couleurs d'une source lumineuse n'indique pas la couleur apparente de cette source. Cette information est donnée par la **température de couleur proximale**.



Distributions spectrales d'une source à incandescence de 3200K (tracé rouge) qui a un IRC de 99 ou 100
et
d'une source luminescente qui a une température de couleur proximale de 3200K et un IRC inférieur à 80.

Les couleurs apparentes des deux sources sont très similaires mais leurs aptitudes à respecter les nuances colorimétriques très différentes.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'indice de rendu des couleurs

Light source	CCT proximale (K)	IRC
Low-pressure sodium (LPS/SOX)	1800	-44
Clear mercury-vapor	6410	17
High-pressure sodium (HPS/SON)	2100	24
Coated mercury-vapor	3600	49
Halophosphate warm-white fluorescent	2940	51
Halophosphate cool-white fluorescent	4230	64
Tri-phosphor warm-white fluorescent	2940	73
Halophosphate cool-daylight fluorescent	6430	76
"White" SON	2700	82
Quartz metal halide	4200	85
Tri-phosphor cool-white fluorescent	4080	89
Ceramic metal halide	5400	96
Incandescent/halogen bulb	3200	100

Attention aux lampes installées en salle de maquillage !

Éclairage sodium

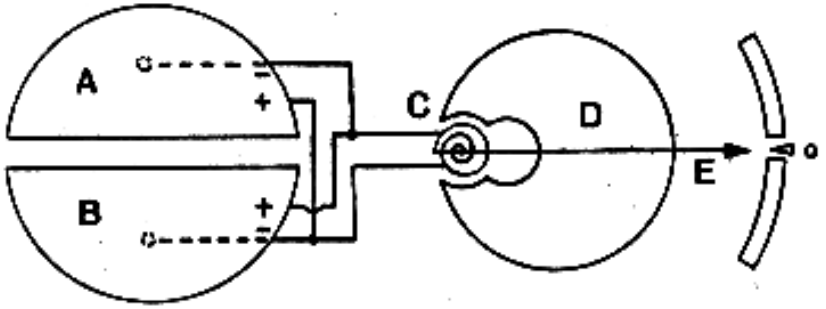
Éclairage fluo industriel

La température de couleur,

Le thermocolorimètre

La « température de couleur photographique » est différente de la « température de couleur » utilisée en physique et en colorimétrie.

En gros, on peut dire que la température de couleur utilisée en physique se réfère à la température à laquelle se trouverait un « corps noir » idéal qui émettrait une lumière identique (de chromaticité identique) à celle de la lumière mesurée.



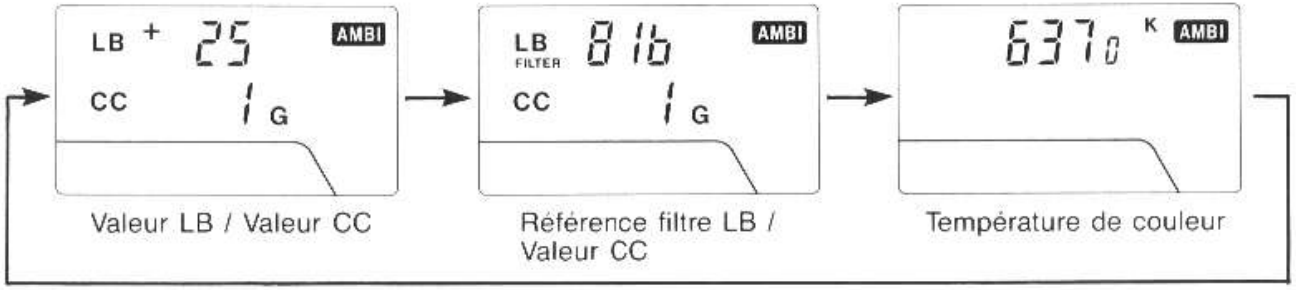
A – Cellule sensible au rouge
B – Cellule sensible au bleu
C – Ressort du galvanomètre
D - Galvanomètre
E - Aiguille

La température de couleur,

Le thermocolorimètre MINOLTA

Le Thermocolorimètre IIIF propose trois types d'affichage différents: valeurs LB/ valeurs CC, référence de filtre LB (série Wratten)/valeur CC, et température de couleur.

Pour sélectionner le mode désirer, appuyer sur la touche **DISPLAY**.
Le mode d'affichage changera dans l'ordre ci-dessous à chaque pression sur la touche.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur,

Le thermocolorimètre

Le Thermocolorimètre Minolta IIIF donne les indications de filtrage pour 2 types de filtres: les filtres de correction de la température de couleur (LB = Light Balancing) et les filtres de correction de couleur (CC = Color Compensating).

Il faut savoir que l'on peut combiner plusieurs filtres pour obtenir l'écart en mired désiré. Par exemple, pour une valeur LB de +149 mired, on pourra utiliser un filtre 85B (écart en mired apporté: +131) avec un filtre 81A (écart: + 18).

La température de couleur,

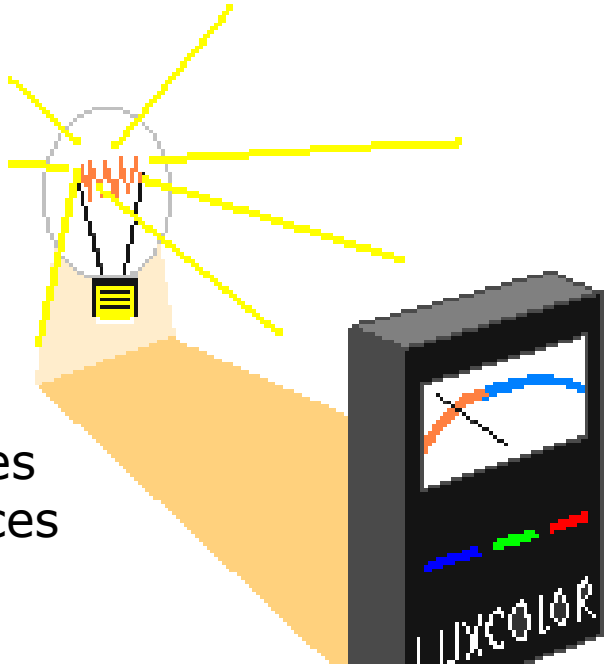
Le thermocolorimètre

Le thermocolorimètre Sekonic SE C 500 est équipé de capteurs adaptés à la fois au NUMERIQUE et au FILM . Il donne également une mesure en LUX. Le PRODIGICOLOR C-500 analyse la couleur de la même manière que les capteurs CCD / CMOS.

CARACTERISTIQUES

- 4 CAPTEURS en silicium
  - 2 capteurs :BLEU - VERT communs aux 2 types de support (Numérique/argentique)
  - 2 capteurs ROUGE : Rd (Rouge pour le numérique) Rf (Rouge pour l'argentique / film)
- Valeurs données en : ° Kelvin et index CC , valeur de filtre Kodak Wratten, Fuji LBA/LBB et CC, index LB en MK^{-1} et CC
- Plage de mesure :2300 à 20.000K
- Temps de pose : 1s à 1/500s
- 19 mémoires pour stocker des éclairages types et mesurer des écarts
- Mesure d'éclairement (lumière continue) en Lux et Footcandle
- Plage de mesure : 2,5 à 610.000 lux.

Prix (2011): 750 €



La température de couleur,

Le thermocolorimètre

Bien que les thermocolorimètres soient capables de mesurer la température de couleur de sources à *spectre discontinu* (telles que les tubes fluorescents ou les lampes HMI), les valeurs obtenues ne seront pas nécessairement très précises et même parfois hasardeuses.

Le thermocolorimètre photographique se réfère à un spectre continu idéal (courbe de Planck du corps noir) en analysant simplement la proportion de bleu et de rouge du spectre.

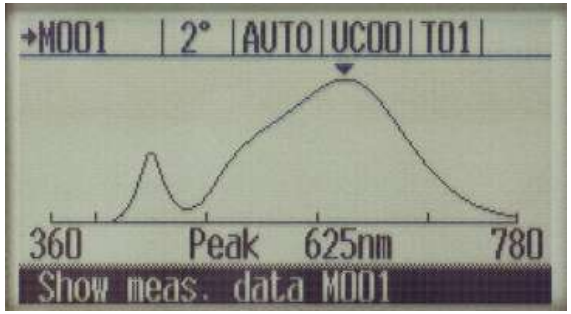
C'est pourquoi **il est recommandé de ne pas mesurer la température de couleur de la lumière émise par une lampe à décharge**.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

La distribution spectrale

Le spectrophotomètre

Le CL-500A est le premier Luxmètre-Spectroradiomètre portable Konica Minolta qui peut être utilisé pour l'évaluation de toutes les sources de lumière, y compris la nouvelle génération de lampes LED.
Le capteur détermine l'IRC (Indice de Rendu des Couleurs), l'éclairement, la distribution spectrale et la température de couleur proximale de pratiquement n'importe quelle source lumineuse.



L'écran intégré permet une utilisation en laboratoire ou sur le terrain.

Le CL500-A est commercialisé au prix de 5200€ HT (en 2013).

LA LUMIERE, aspect qualitatif

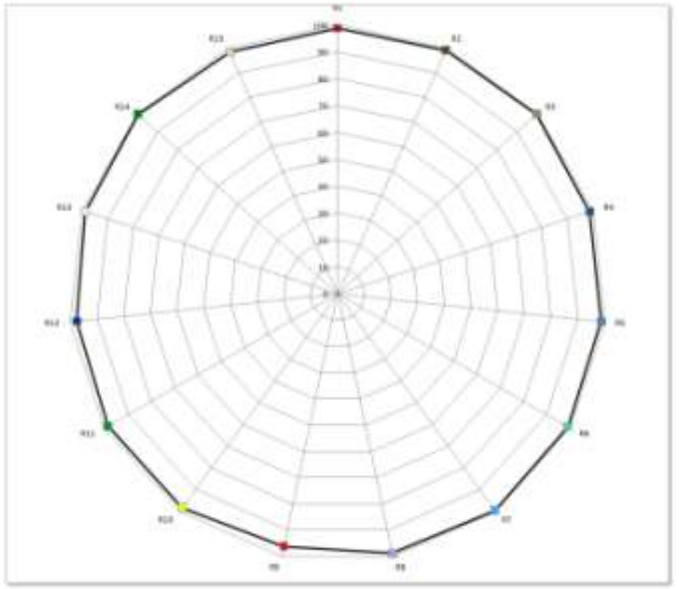
L'indice de rendu des couleurs

Le spectrophotomètre

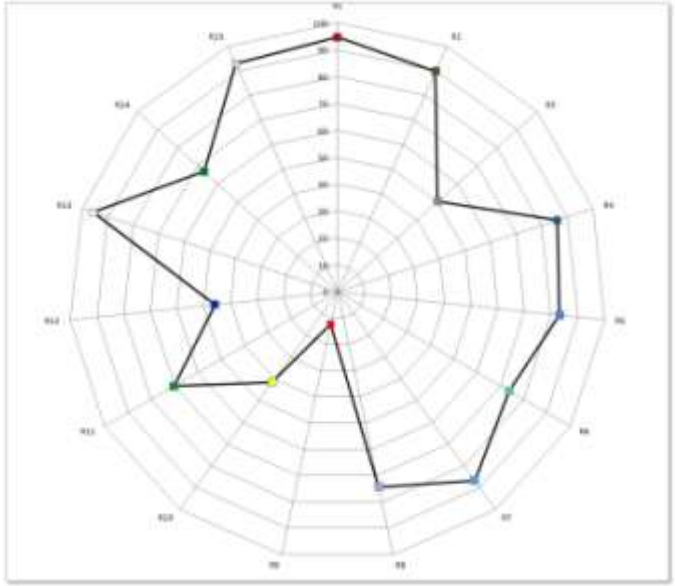
A partir d'un échantillon connu de 14 couleurs, le spectrophotomètre évalue la capacité de la source à restituer fidèlement chacune de ces couleurs.

Une formule mathématique relativement complexe que l'on peut assimiler au calcul d'un écart-type en statistique permet de traduire avec un seul chiffre la capacité de la source analysée à respecter les nuances colorimétriques d'un objet.

Name	Appearance under daylight	Swatch
TCS01	Light greyish red	
TCS02	Dark greyish yellow	
TCS03	Strong yellow green	
TCS04	Moderate yellowish green	
TCS05	Light bluish green	
TCS06	Light blue	
TCS07	Light violet	
TCS08	Light reddish purple	
TCS09	Strong red	
TCS10	Strong yellow	
TCS11	Strong green	
TCS12	Strong blue	
TCS13	Light yellowish pink	
TCS14	Moderate olive green	



IRC 99



IRC 80

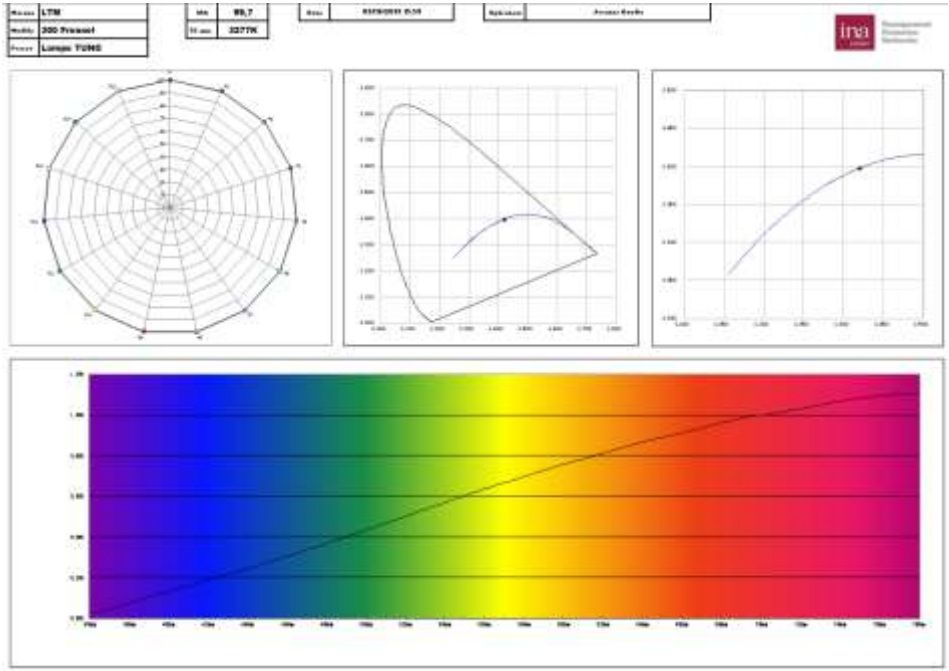
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur proximale, la distribution spectrale et l'IRC

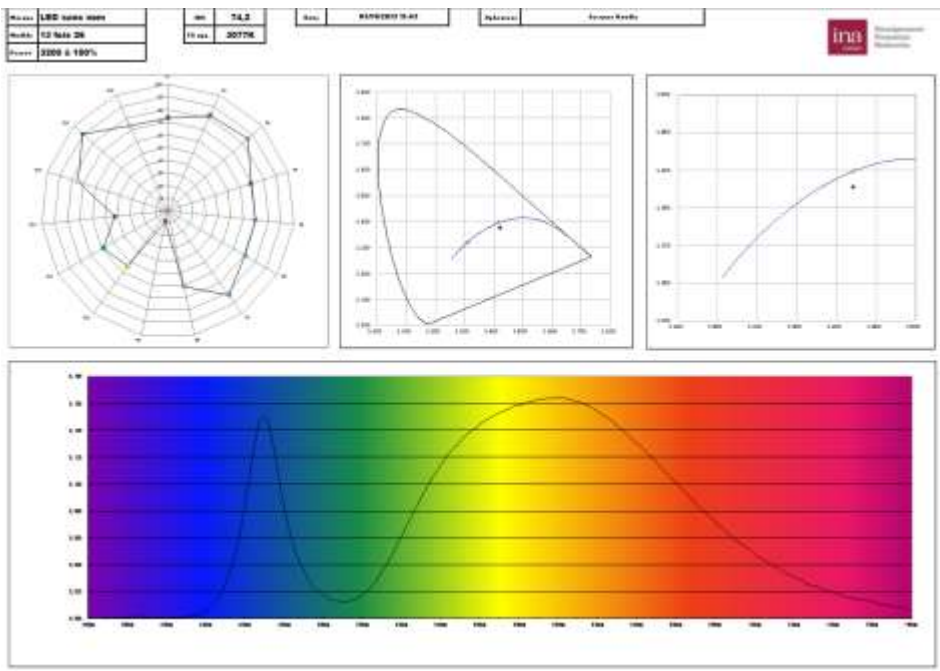
Le spectrophotomètre

A l'INA, Jacques Gaudin a développé une mise en forme sur Excel pour exploiter et afficher une synthèse des données brutes mesurées par le CL500, IRC et température de couleur proximale :

Incandescence :



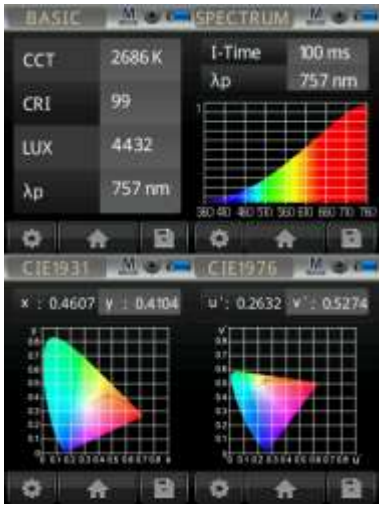
Led :



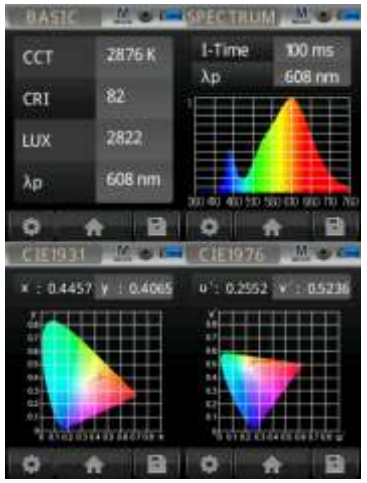
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur proximale, la distribution spectrale et l'IRC

Le spectrophotomètre UPRtek 350



incandescence

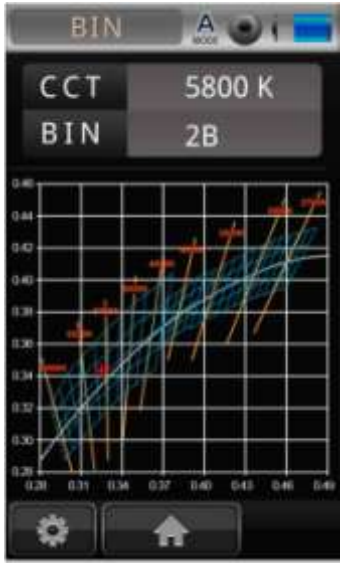


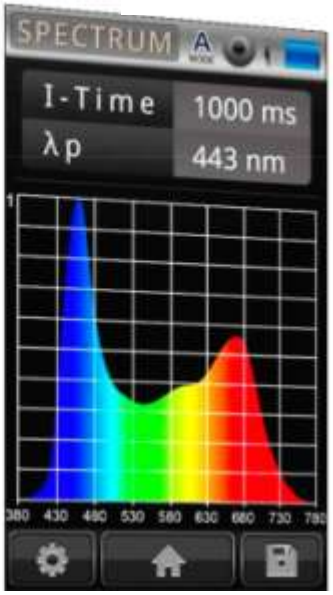
Led domestique

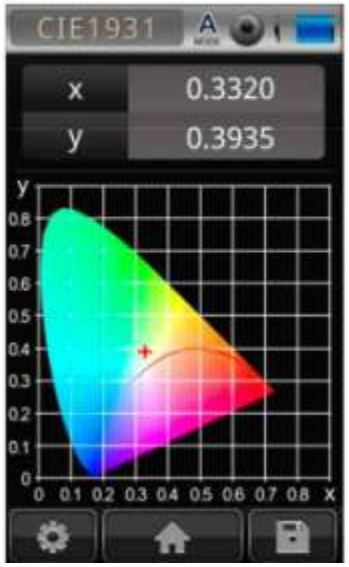
LA LUMIERE, aspect qualitatif

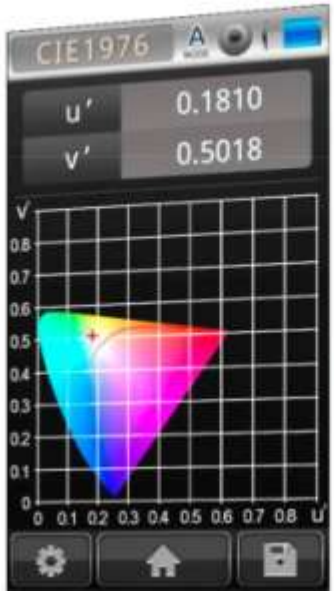
La température de couleur proximale, la distribution spectrale et l'IRC

Le spectrophotomètre UPRtek 350S









LA LUMIERE, aspect qualitatif

La température de couleur proximale, la distribution spectrale et l'IRC

Le spectrophotomètre UPRtek 350S

Comparaison entre deux sources de lumière

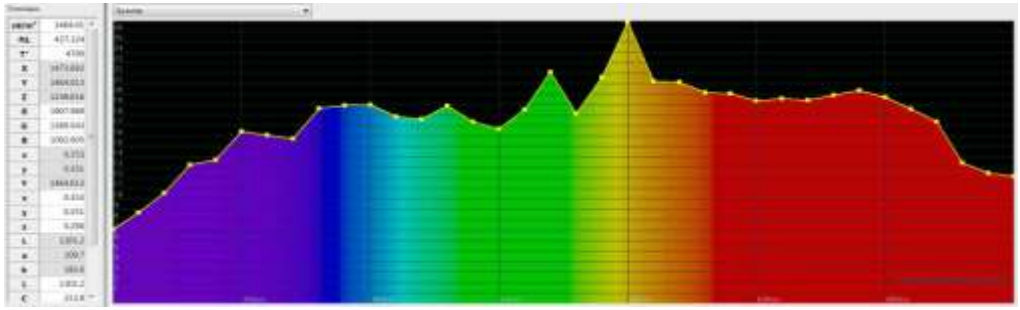
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La distribution spectrale,

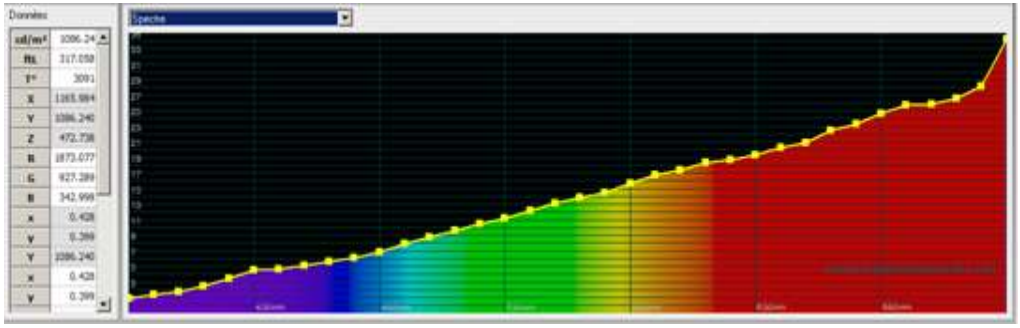
Le spectrophotomètre

Une alternative moins onéreuse consiste à utiliser le i1pro de X-Rite*, appareil conçu pour étalonner les écrans muni d'un intégrateur lumière, associé à un logiciel de calibration (HCFR) pour interpréter les informations de la sonde, les traiter et permettre d'afficher les différentes courbes et histogrammes. HCFR ne calcule pas l'IRC.

Distribution spectrale
HMI Black Jack K5600 :
TC proximale : 4700 Kelvin



Distribution spectrale mandarine :
TC 3091 Kelvin



** Tête Gretagmacbeth*

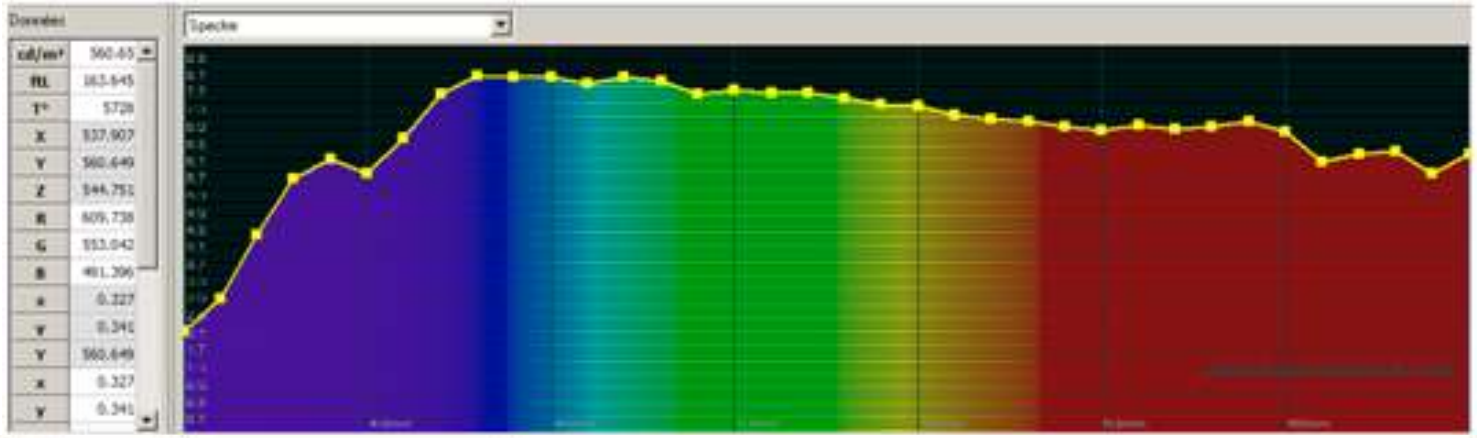
LA LUMIERE, aspect qualitatif

La distribution spectrale,

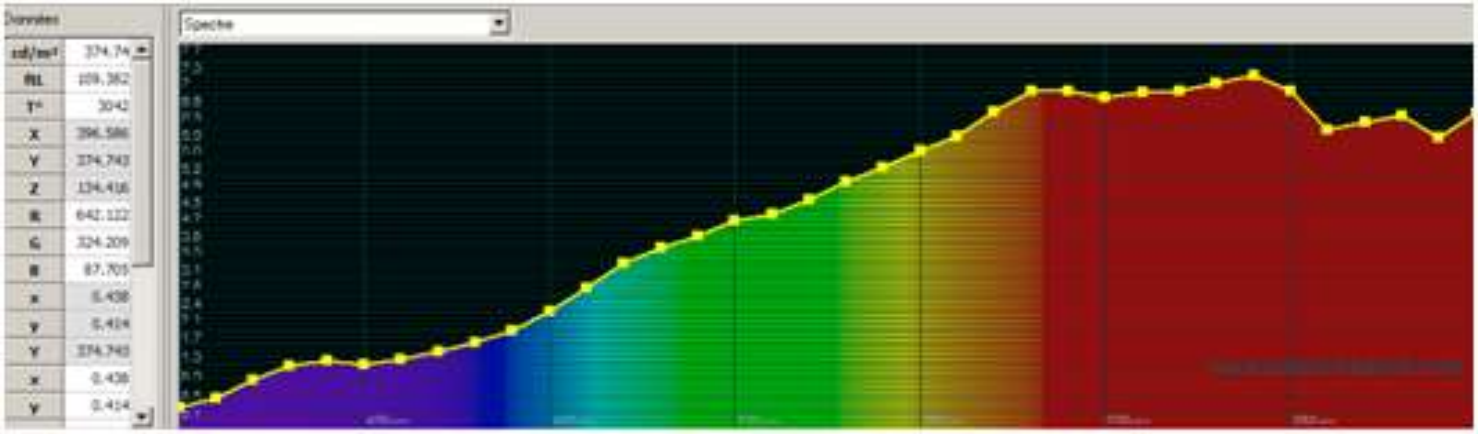
Le spectrophotomètre

En plaçant une gélatine devant la tête, vous pouvez voir évoluer la distribution spectrale :

Jour



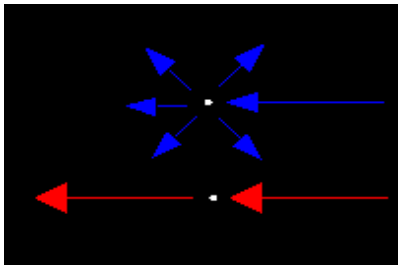
Jour +
CTO 204 Lee



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Pourquoi le ciel est-il bleu ?

Quand le ciel est pur et dégagé, il est tout bleu. Notre atmosphère est essentiellement constituée de Dioxygène et de Diazote, de toutes petites molécules. En traversant ce milieu, la lumière est diffusée.

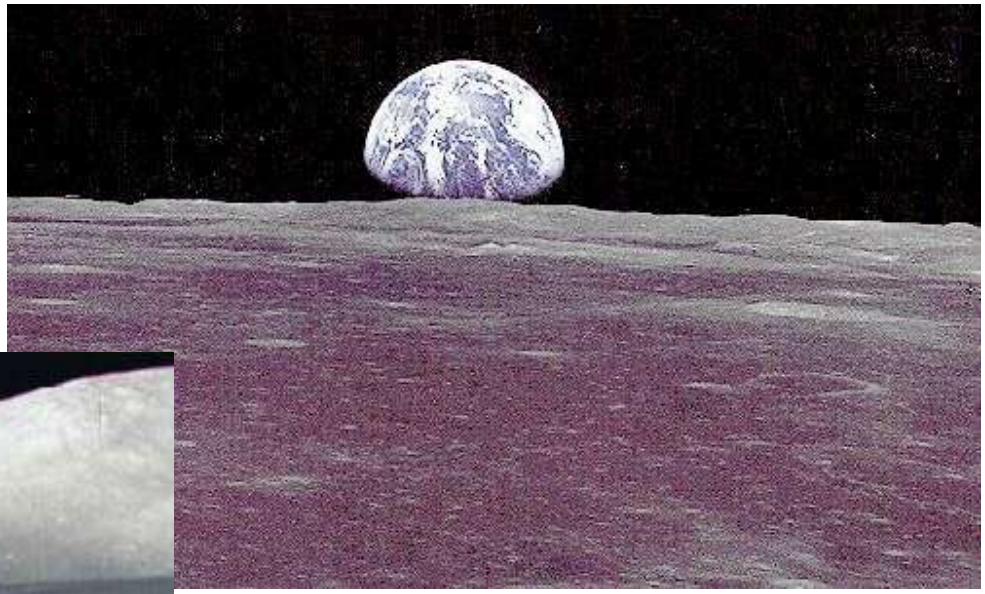


Mais toutes les couleurs ne sont pas diffusées avec la même efficacité. Les plus courtes longueurs d'onde (violet, bleu) le sont plus que les grandes (orange, rouge), ces dernières ne sont que peu déviées de leur trajectoire.
(voir la sélection par la loi de Rayleigh des ondes du spectre visible)

Lorsque **la lumière bleue** est réémise, elle ne l'est pas n'importe comment : elle **est polarisée dans une direction perpendiculaire à la lumière venant du soleil** !

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Pourquoi le ciel est-il bleu ?

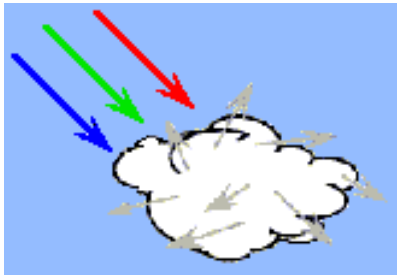


En revanche sur la Lune, sans atmosphère, le ciel apparaît noir.

Pourquoi les nuages sont blancs ?

Les nuages sont chargés de micro-gouttelettes d'eau, la lumière est diffusée de la même manière quelle que soit sa longueur d'onde, il s'agit là de la **diffusion de Mie**.

La diffusion de Mie s'observe lorsque la taille des particules diffusantes est importante. On peut ainsi expliquer la couleur blanche des nuages, ils diffusent l'ensemble du spectre de la lumière blanche et pas seulement les petites longueurs d'onde.



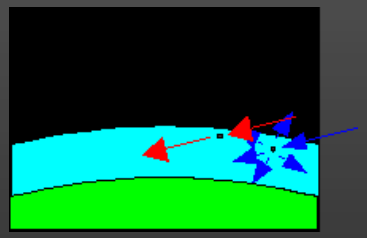
La fumée de cigarette

Dans des conditions d'éclairage favorables, **la fumée de cigarette ou de cigare apparaît bleue**, ce phénomène est également lié a la diffusion Rayleigh.

Exhalée, la fumée de cigarettes, chargée de micro gouttelettes d'eau, apparaît **blanche**. Il s'agit là de la diffusion de Mie.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

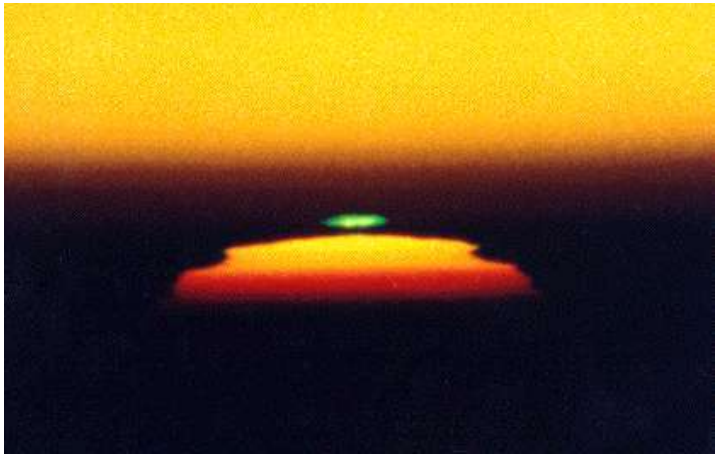
Pourquoi le soleil couchant vire au rouge ?



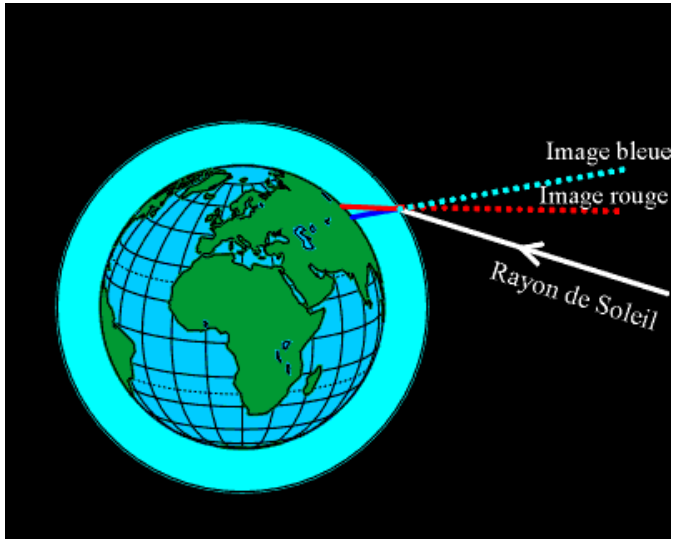
Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il apparaît **rouge**. Plus le chemin optique est long, plus la diffusion Rayleigh retire du rayonnement incident les composantes bleues, alors le soleil apparaît rouge.

Le rayon vert existe-t-il vraiment ?

Non seulement le rayon vert existe réellement, mais on peut le photographier...



La raison en est que l'atmosphère joue le rôle d'un prisme qui décompose la lumière blanche du Soleil. Un rayon tombant dans l'atmosphère, a sa trajectoire déviée, il se rapproche de la verticale, et cela d'autant plus que sa longueur d'onde est courte, donc qu'il est bleu (couleur très diffusée dans l'atmosphère).
Le bord du Soleil visible à disparaître en dernier est verdâtre. Au pôle sud, le rayon vert y a été vu pendant 35 min...



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le point de vue artistique, les ambiances

Lever du soleil

Aube

Crépuscule

Coucher soleil

LA LUMIERE, aspect qualitatif

Le point de vue artistique

« ***Titanic*** »
Réal. James Cameron;
DP Russel Carpenter, ASC

LA LUMIERE, aspect qualitatif

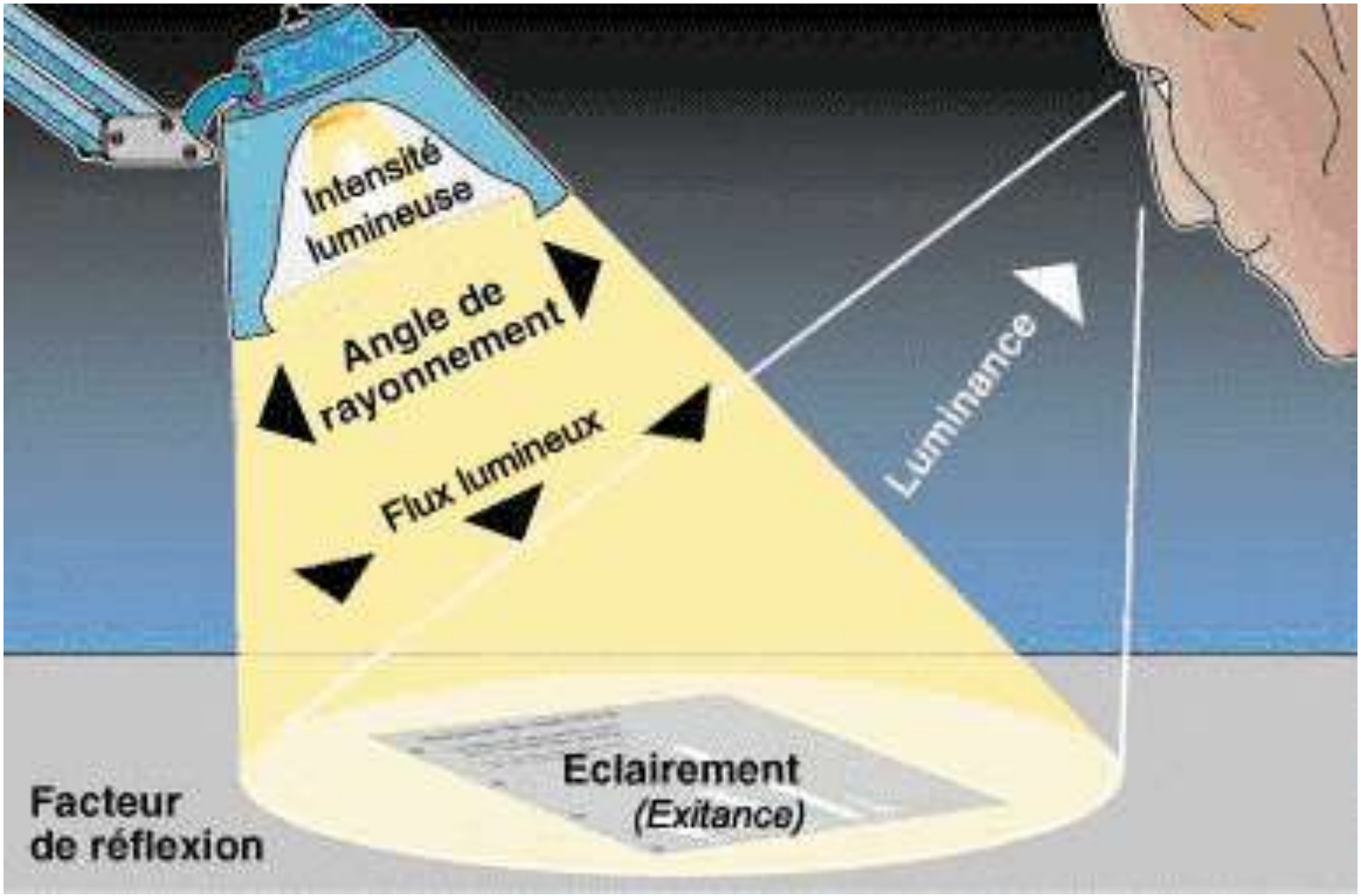
Le point de vue artistique

Le philosophe en méditation
Rembrandt 1606-1669

Le pont de Mantes
Jean Baptiste Camille Corot

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

But de la photométrie :
Définir des grandeurs, des unités et fabriquer des appareils pour mesurer les quantités de lumière (visible) émises ou reçues.

Domaine d'application :
Photo, cinéma, vidéo mais aussi architecture, éclairagisme.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

La photométrie a pour objet de rendre comparables, et donc mesurables, les impressions lumineuses perçues par l'homme.
Elle fut créée par le Français Pierre Bouguer (1698-1758).

UNE SOURCE :
Une source est un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement: une lampe électrique, par exemple.

UN RECEPTEUR :
Dans les études quantitatives sur la propagation du rayonnement, on est souvent amené à considérer des surfaces matérielles qui font office de relais entre la source et le détecteur : ce sont les récepteurs.

UN DETECTEUR :
On appelle détecteur tout appareil qui convertit ce rayonnement en une autre forme d'énergie stockable et plus facilement mesurable.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Source ponctuelle, source étendue

Une source est dite ponctuelle si sa dimension transversale la plus grande est très petite par rapport à la distance qui la sépare du système d'utilisation (écran récepteur, etc.).

Un rapport dimension-distance égal à 1/100 permet, dans la plupart des cas, une précision de mesure convenable.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

On donne aussi, par extension, le nom de photométrie (plus souvent que celui de *radiométrie*) à la mesure des *flux d'énergie* transportés par les rayonnements, qu'ils soient visibles, infrarouges ou ultraviolets, et des grandeurs qui s'y rattachent

On utilise donc en photométrie 3 systèmes d'unité équivalents :

- **Énergétique**, l'unité de la quantité de lumière étant le joule.

- **Photonique**, l'unité de la quantité de lumière étant sans dimension (un nombre de photons).

- **Lumineuse**, l'unité fondamentale étant la Candela

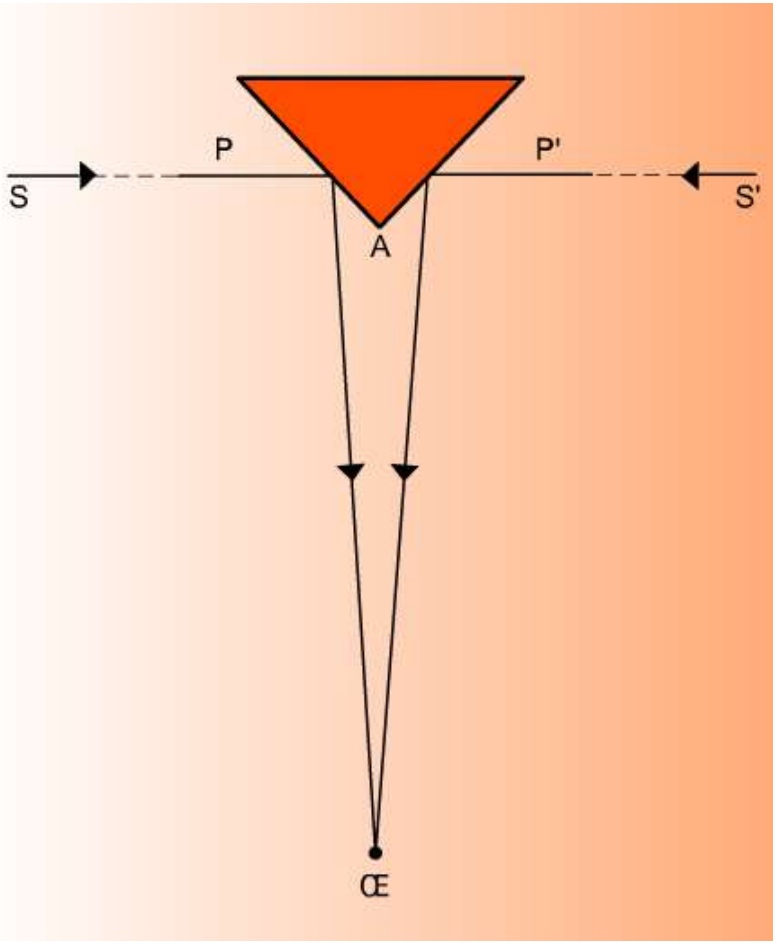
Remarque : Les deux premiers systèmes peuvent être utilisés dans tout le domaine spectral, alors que le troisième n'est utilisable que dans le domaine visible en tenant compte de la sensibilité de l'oeil.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Récepteur, l'oeil

L'œil peut évaluer l'égalité d'éclairement de deux surfaces (ou plages) voisines éclairées par la même source, mais **il quantifie difficilement** un écart de luminosité ;
La comparaison devient délicate si les deux plages sont éclairées par des sources de couleurs différentes.



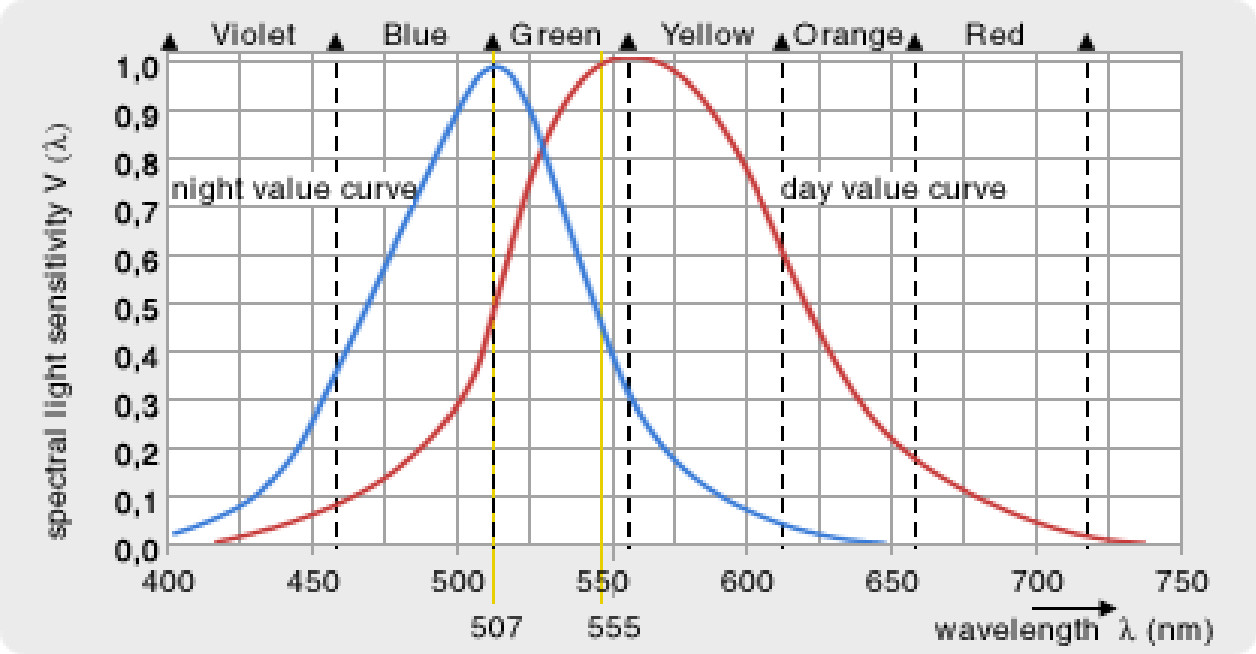
Photomètre de Ritchie

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Récepteur, l'oeil

L'œil humain présente une sensibilité qui varie avec la longueur d'onde, mais aussi avec l'intensité de la lumière perçue. Cette sensibilité, en fonction de la longueur d'onde, est représentée par une courbe en forme de cloche, dont le maximum se situe vers 555 nanomètres (nm) aux fortes luminosités (vert-jaune), et vers 507 nm aux faibles luminosités (vert).



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

La *photométrie physique* utilise des récepteurs dont la sensibilité spectrale est très analogue à celle de l'œil.

Le résultat des mesures est alors le même qu'en *photométrie visuelle.*

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Mesure de flux d'énergie

La puissance transportée par un faisceau de radiations est due à l'ensemble de ces radiations : ultraviolettes, visibles, infrarouge.

Flux énergétique

Le flux énergétique Φ est la *quantité d'énergie rayonnée par une source ponctuelle pendant une seconde* dans tout l'espace.
C'est une puissance, on l'exprime en **watt**.

Exitance *(anciennement émittance ou radiance)*

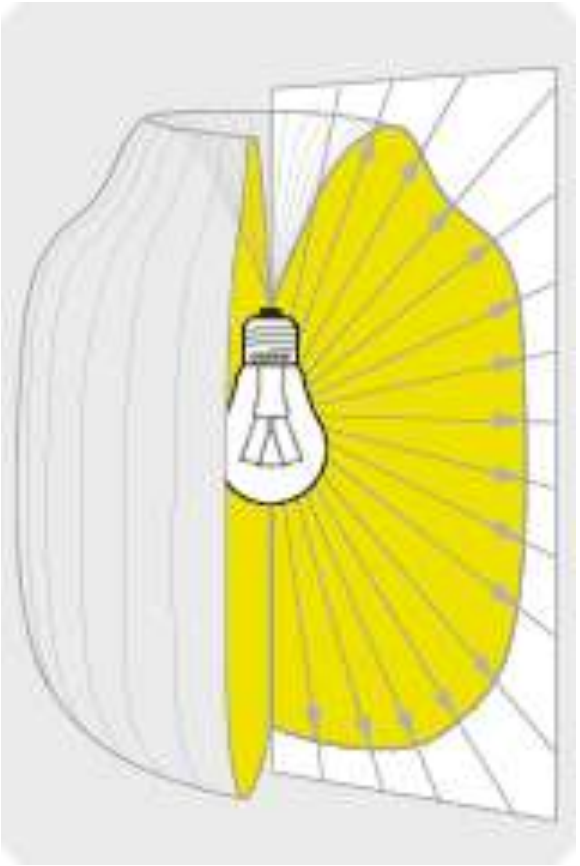
Si on ne prend que la puissance rayonnée par unité de surface de la source, on obtient un facteur e_T que l'on appelle l'exitance du corps à la température T et qui s'exprime en $W.m^{-2}$.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Flux lumineux *(dans le domaine visible)*
Le flux lumineux - exprimé en **lumens** (lm) - indique la quantité globale de lumière qu'une ***source ponctuelle*** émet dans l'espace durant 1 seconde.



Le *flux lumineux* Φ_v est, pour une lumière de composition spectrale déterminée, proportionnel à la puissance transportée, dite *flux d'énergie* **Φ**, évaluée en watts.

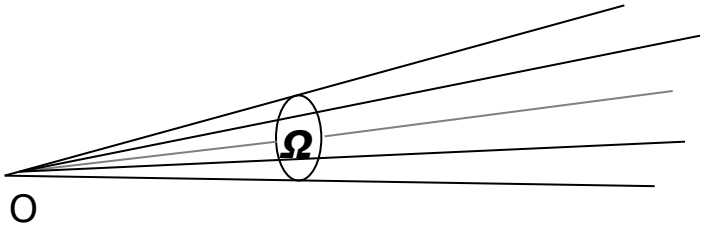
Dans un milieu non absorbant, quel que soit l'endroit où on le mesure, le flux Φ_v *d'un faisceau est constant. De même,* Φ_v *est indépendant de la surface sur laquelle on le détermine, et la somme des flux de tous les faisceaux émis par une source est égale au flux lumineux de cette source.*

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

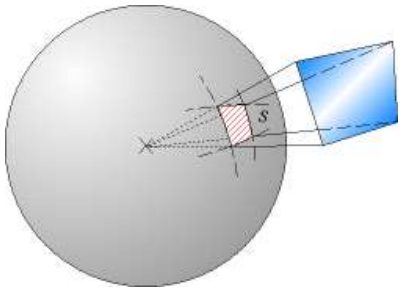
Grandeurs et unités géométriques

L'angle solide Ω, stéradian (sr) caractérise l'ouverture d'un cône ;
stéreo = solide, en relief.



Le stéradian (sr) est l'angle solide centré sur une sphère de rayon R, qui découpe sur elle une surface S égale à R².

- Pour une sphère complète, l'angle solide vaut donc 4∏ stéradians (surface sphère = 4∏ R²).
- Pour une ½ sphère, l'angle solide vaut 2∏ sr (surface 2∏ R²).
- 1 sr embrasse 1 / (4∏) = 0.0796, soit 7.96% de l'espace entourant un point.



Ω (en sr) = S / R² *= S′ / R′²*

L'angle solide du soleil vu de la terre vaut 6×10^{-5} sr.

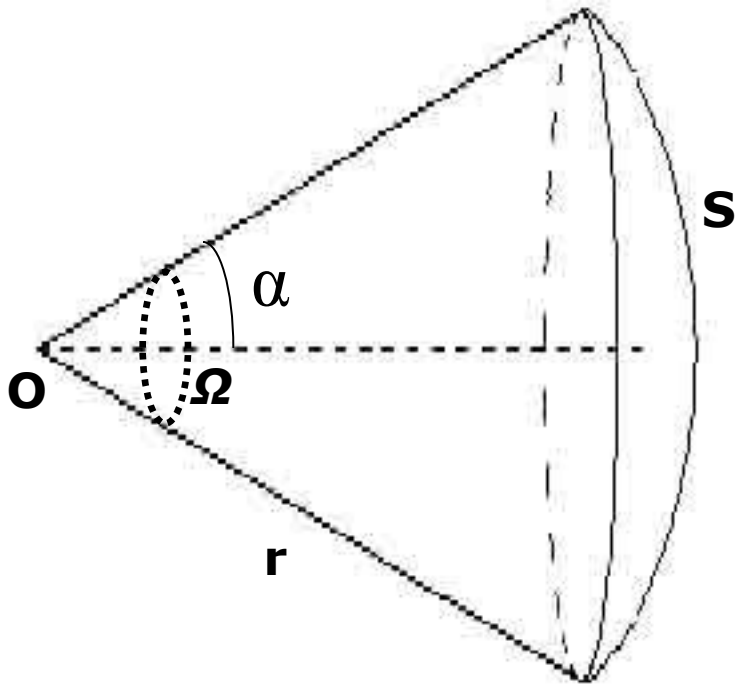
LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités géométriques

Calcul effectif de Ω

Angle solide



S, cercle perpendiculaire à l'axe du cône de taille quelconque. (cône de révolution)

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

Attention : α est le ½ angle

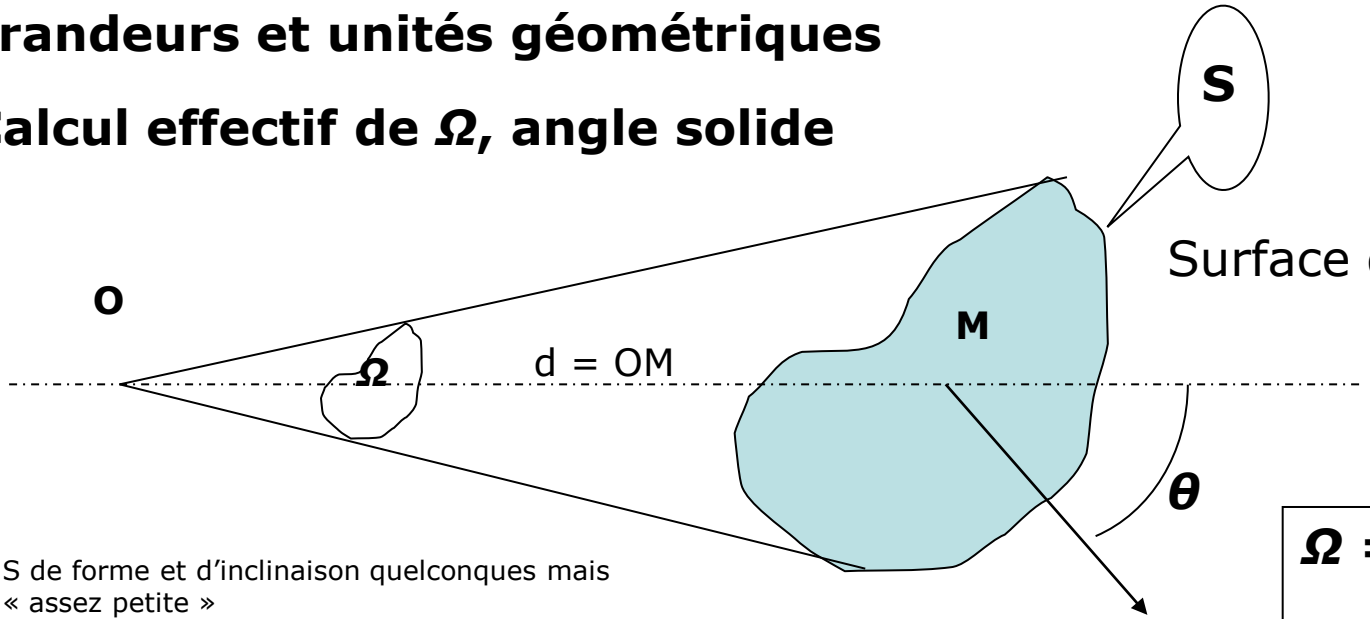
Rappel : $\Omega = S/r^2$

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

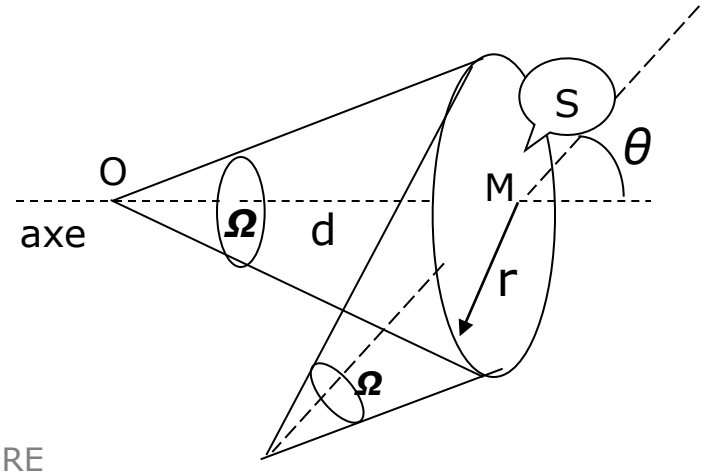
Grandeurs et unités géométriques

Calcul effectif de Ω, angle solide



S de forme et d'inclinaison quelconques mais « assez petite »

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



Surface d'un cercle : $\pi \times r^2$
(r rayon du cercle)

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

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

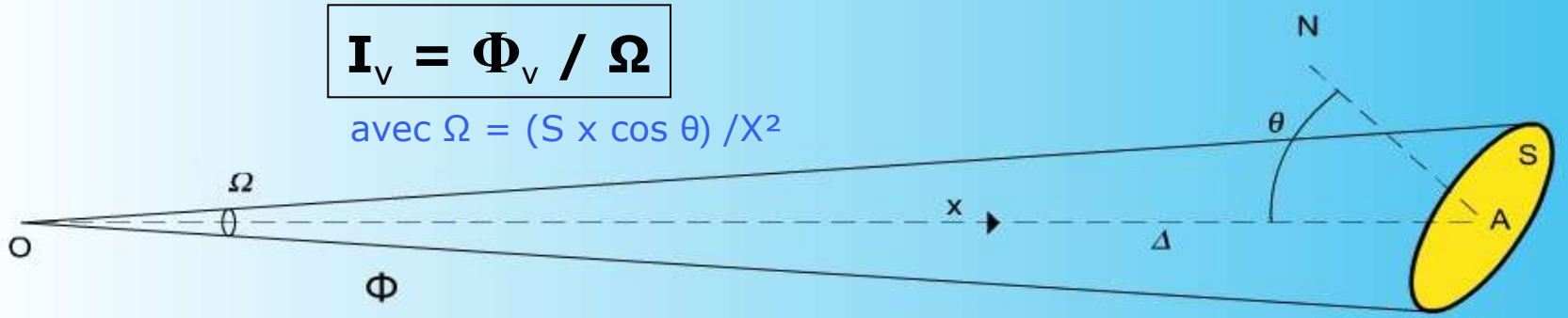
L'intensité lumineuse visuelle Iv

d'une source ponctuelle mesure l'énergie rayonnée dans une direction donnée par cette source, à l'intérieur du spectre visible.

L'intensité lumineuse Iv d'une telle source ponctuelle, dans une direction Δ , est par définition égale au quotient du flux lumineux élémentaire Φ, émis par la source à l'intérieur d'un cône infiniment petit de sommet O contenant Δ, par l'angle solide Ω de ce cône :

$$\mathbf{I_v = \Phi_v / \Omega}$$

avec $\Omega = (S \times \cos\theta) / X^2$



L'intensité est la densité de flux dans une direction donnée.
Cette grandeur est orientée et on peut la représenter par un vecteur.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Intensité lumineuse

La candela (cd) est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540 x 10^{13} Hertz et dont l'intensité énergétique dans une direction est 1/683 watt par stéradian.

La fréquence de la source de 540 x 10^{13} Hertz qui a été choisie pour cette définition correspond à une longueur d'onde de 555 nanomètres qui correspond au maximum de sensibilité de l'oeil (elle se situe dans le jaune-vert). Le coefficient bizarre de 1/683 est là pour rendre la valeur identique à une précédente définition de la candela…

En photométrie visuelle, on a choisit **l'unité d'intensité comme unité fondamentale**, les autres apparaissent comme des unités dérivées.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Intensité lumineuse

Dans un milieu non absorbant, le vide, l'intensité est constante, indépendante de la distance.

Lorsque la lumière traverse un milieu absorbant (air, eau, brouillard) elle subit une absorption qui peut aller jusqu'à l'extinction.

L'intensité diminue en fonction de l'absorption du milieu.

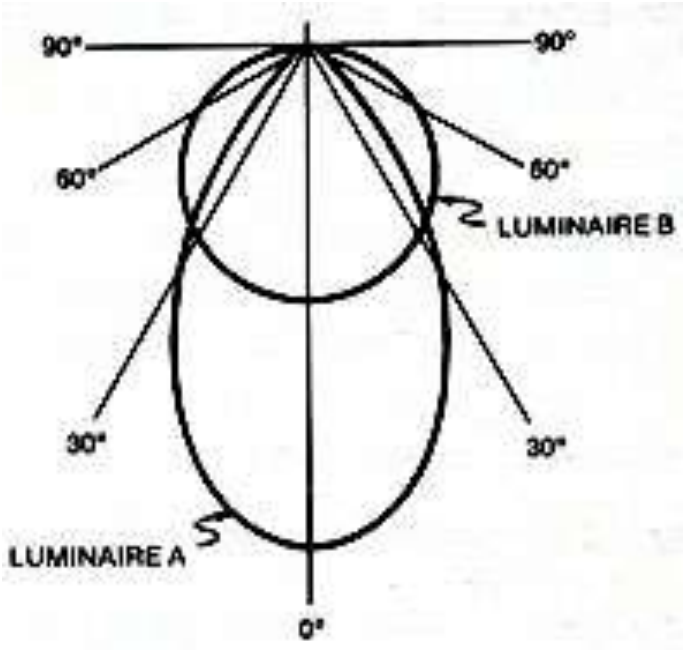
La lumière d'une bougie est encore perceptible à 27 km par temps clair, de nuit, la lueur d'un cigarette est perceptible d'avion en revanche dans le brouillard un automobiliste ne perçoit plus les phares à 100 m de lui.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Intensité lumineuse



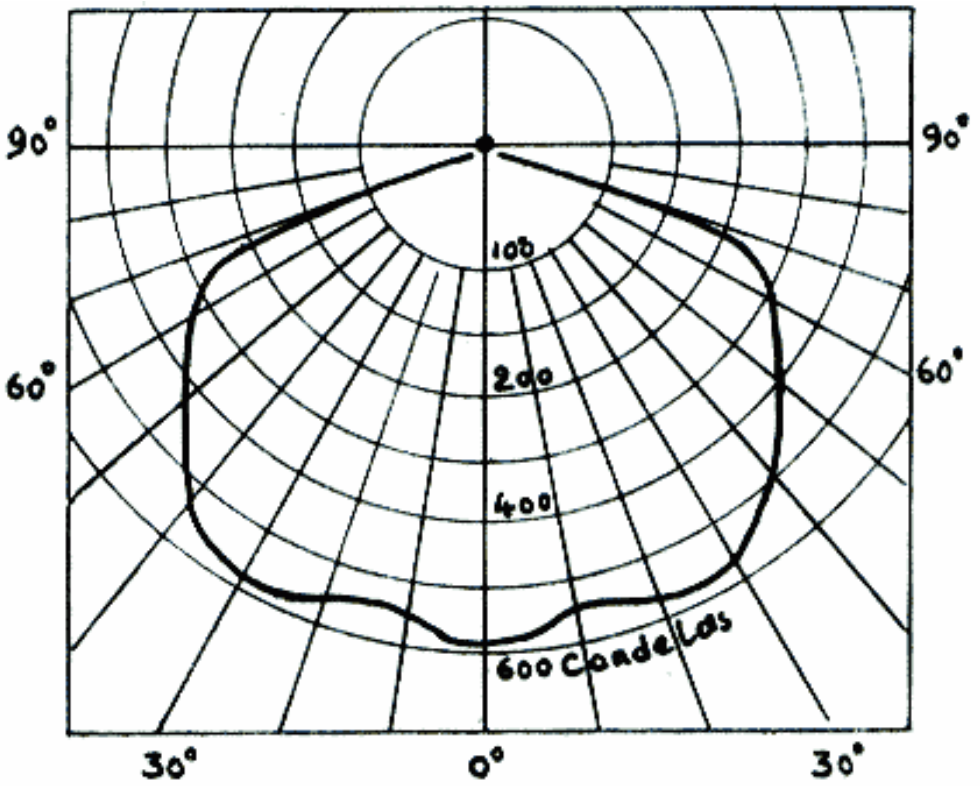


Diagramme polaire d'une lampe placée dans un réflecteur

La courbe photométrique permet d'apprécier la répartition des intensités lumineuses d'un appareil d'éclairage. Les valeurs sont données en candelas (cd).

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Les courbes photométriques constituent un outil indispensable pour l'éclairagiste. Il y a lieu toutefois de signaler que l'établissement des courbes photométriques suppose que **les appareils sont ponctuels**, ce qui est rarement le cas.

Pratiquement, l'éclairagiste considère qu'un appareil est ponctuel par rapport à la surface éclairée, lorsque la distance entre la surface et l'appareil est d'environ 5 fois la plus grande dimension de la source lumineuse.

Exemples

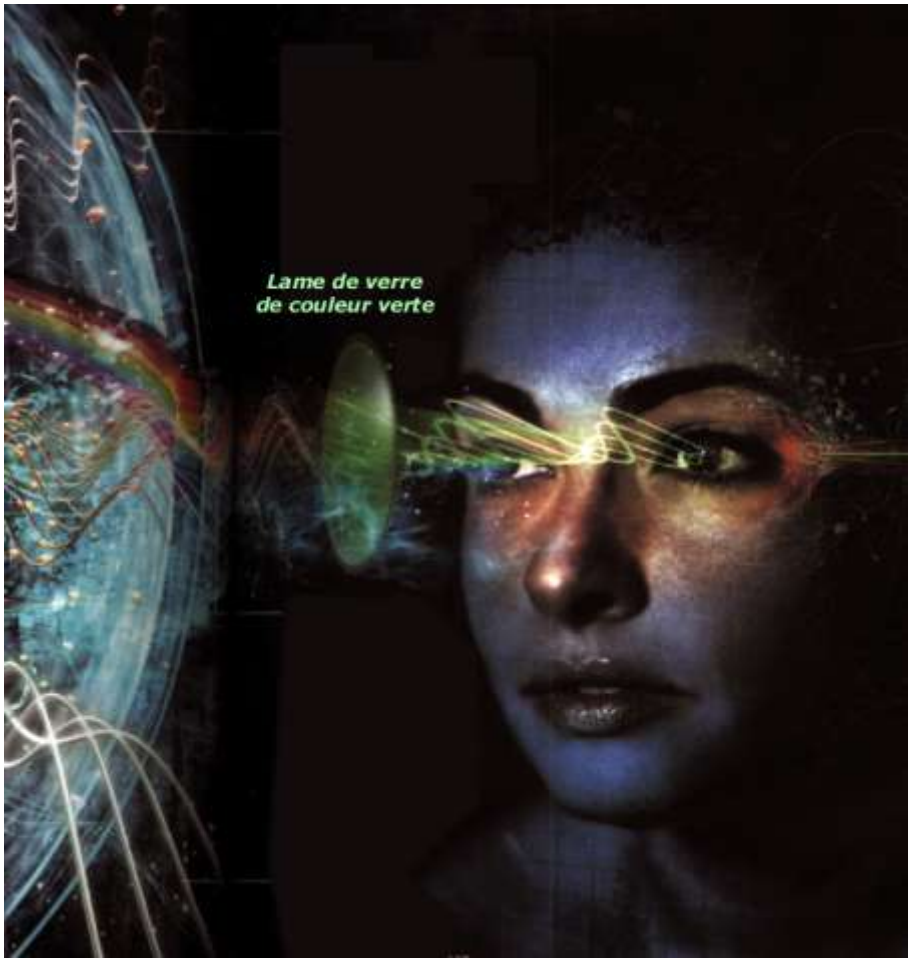
- La plus grande dimension du filament d'une lampe à incandescence de 100 W claire est de 2 cm. On considère ce filament comme ponctuel à partir de 10 cm.
- La plus grande dimension d'une lampe fluorescente de 36 W est de 1,20 m. On considère cette source comme ponctuelle à partir de 6 m.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Mesure du flux lumineux

Seules les radiations visibles ont un intérêt pour un observateur qui reçoit le faisceau lumineux. Nous définirons le flux lumineux transporté par un faisceau de radiation, non par la puissance transportée, mais par la *sensation produite sur la rétine* d'un observateur.



Son unité, le **lumen** (lm) est le flux lumineux émis dans un angle solide de 1 stéradian par une source ponctuelle uniforme, placée au sommet de l'angle solide, et ayant une intensité lumineuse de 1 cd.

$$\Phi_v \text{ (lm)} = I_v \text{ (cd)} \times \Omega \text{ (sr)}$$

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle
Éclairement *(dans le domaine visible)*
L'éclairement d'un objet correspond à l'ensemble des flux lumineux qu'il intercepte, rapporté à la surface réelle qui est éclairée.

$$\mathbf{E = \Phi_v / S \text{ (lumen /m}^2 \text{ ou lux)}}$$

Exemple : Un flux de 18 000 lumen pour une surface éclairée de 3 m² : E = 6 000 lx

L'unité d'éclairement est le *lux* (symbole lx).

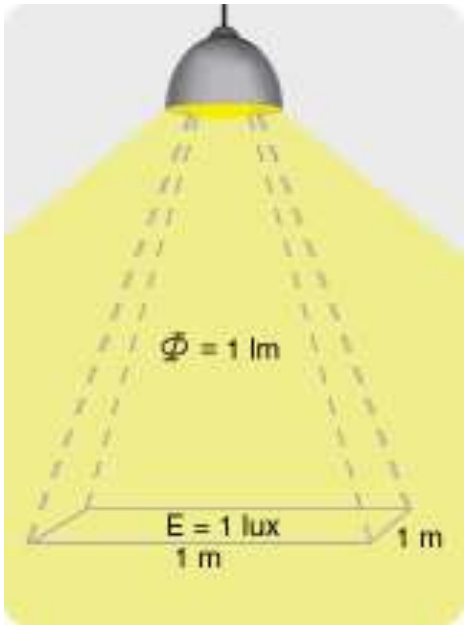
L'éclairement E indique le flux lumineux (lm) reçu par une surface d'un mètre carré.

Autres unités : le phot = 1lm/cm² = 10^4 lux
le blondel = 0,318 cd/m²
l'apostilb = 0,318 cd/m²
le foot-Lambert = 3,42 cd/m²

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle



En d'autres termes, le *lumen* (lm), est le flux reçu par une surface de 1 m² dont l'éclairement est partout de 1 lux.

Problème que se pose l'éclairagiste :

Combien de lumens reçoit une surface de 10 m² éclairée sur la base de 500 lux ?

Réponse :
500 lux = 500 lm.m-². La surface de 10 m² reçoit donc : 500 x 10 = 5 000 lm.

NB) L'unité **énergétique** de l'éclairement est le watt par m² (W.m-²).

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement

Application :
Un vidéoprojecteur possède un flux lumineux total de 1000 lumens pour un blanc à 6500°K. Ce projecteur projette une image sur un écran de 3m². La totalité du flux lumineux est intercepté par l'écran. Quel est alors l'éclairement de l'écran ?

On a 1000 lumens qui voyage dans le *cône de lumière* du projecteur.
Ces 1000 lumens interceptent une surface de 3m². L'éclairement en lux ou lm/m² est alors de 1000 / 3 = 333 lux

Notons la relation très simple :
Eclairement de l'écran (lux) =
flux lumineux total intercepté par l'écran (lumen) / taille de l'écran (m²).

Cette relation n'est valable que si l'écran est perpendiculaire au flux lumineux.

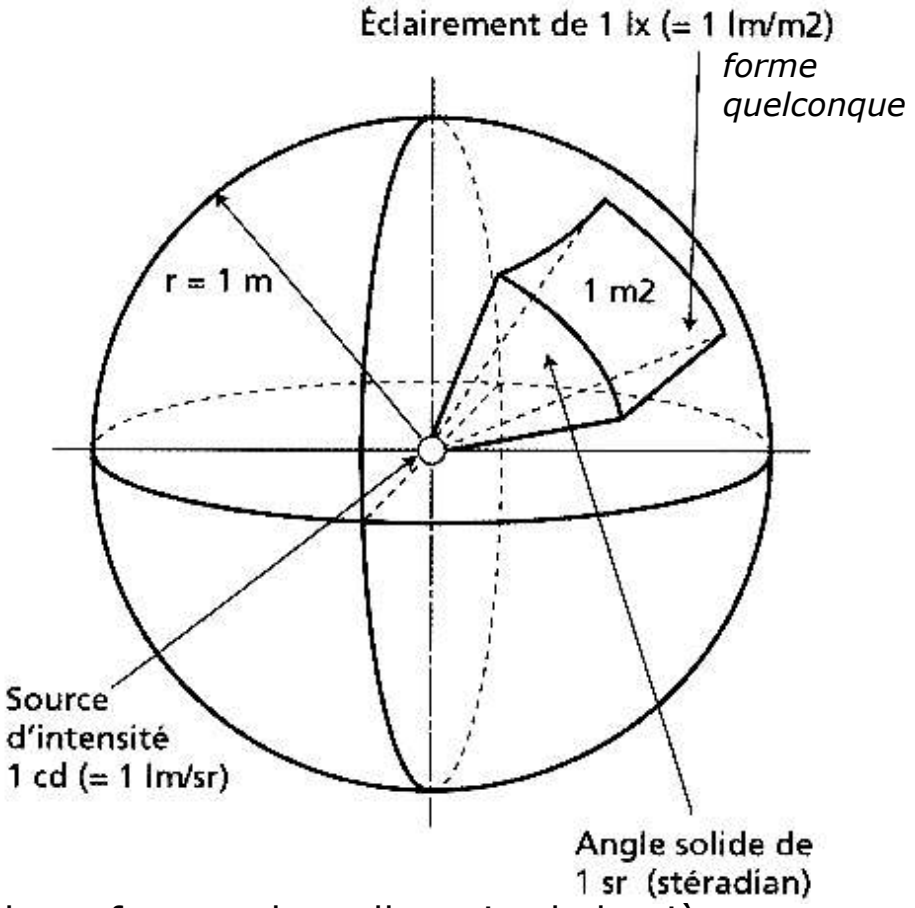
Dans le système anglais, on a la relation équivalente :
Screen Brightness (foot lamberts) = Projecteur light ouput (lumen) / Screen size (Square feet)

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de base de la photométrie

Le lumen est l'unité de flux lumineux équivalent au flux lumineux émis dans 1 stéradian par une source ponctuelle uniforme placée au sommet de l'angle solide et ayant une intensité de 1 candela.

Une source ponctuelle, uniforme, d'une candela émet un flux total de 12,57 lm.
(surface d'une sphère S = 4 π r² ou π x d²)



Une relation simple unit les lux, les lumens et la surface sur laquelle arrive la lumière :

lux x **surface** = **quantité de lumens**

Exemple : 1 000 lux d'éclairement sur un carré d'écran de 1 mètre de côté, sont le résultat d'un flux de 1 000 lumens : 1 000 lux x 1m² = 1 000 lm.
Si on éloigne, le rayon qui éclaire l'écran s'élargit. Supposons qu'on double la distance : le carré d'écran double de taille. Il fait maintenant 2m x 2m et sa surface est de 4 m². Mais la mesure ne donne alors plus que 250 lux : 250 lux x 4m² = 1 000 lumens.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement *(dans le domaine visible)*

L'éclairement se mesure avec un luxmètre.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

On dit que deux surfaces ont le même éclairement si, lorsqu'on les recouvre d'écrans diffusants blancs, ces derniers présentent le même aspect dans des conditions identiques d'observation (plages juxtaposées, par exemple).

Soit une surface éclairée, d'abord par une source O1, puis par une source O2, enfin par O1 et O2 simultanément, les sources ne se masquant pas l'une l'autre, les éclairements correspondants E1, E2 et E sont, par convention, tels que :

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2.$$

L'éclairement d'une surface réceptrice est un **phénomène additif** : on pourra calculer indépendamment les effets sur une même surface de deux sources et en additionner les résultats.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

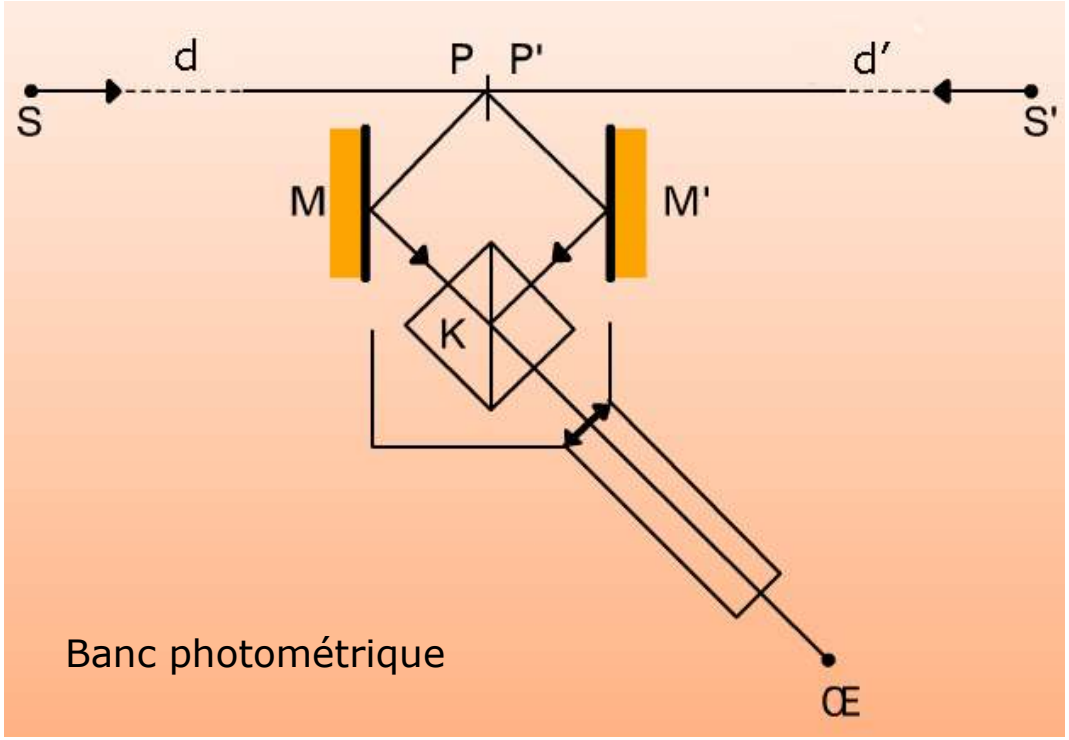
Éléments de photométrie

Éclairement

Avec une **source ponctuelle**, l'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance

$$E\ (lx) = Iv\ (cd) / d^2\ (m)$$

Connaissant l'intensité lumineuse Iv (cd) et distance (d) d'un luminaire à la surface éclairée, on peut calculer l'éclairement en divisant l'intensité lumineuse Iv par le carré de la distance d (en mètres).



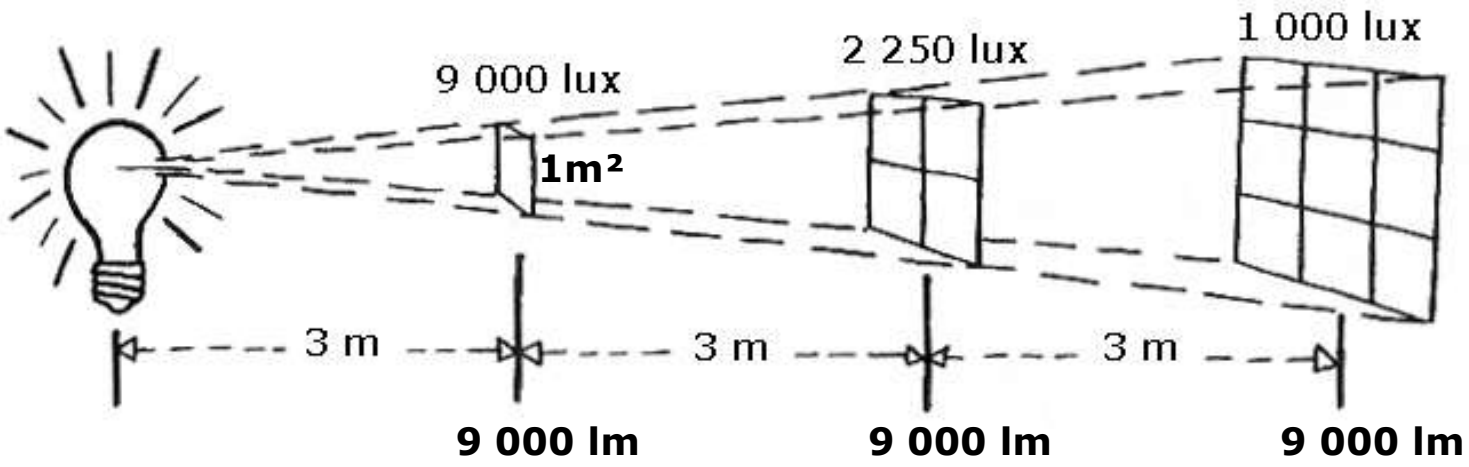
Banc photométrique

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Loi de l'inverse du carré de la distance, relation de Bouguer

Si la source émissive est ponctuelle, le milieu non absorbant et non diffusant et si la surface éclairée garde toujours le même angle par rapport à la direction de son déplacement, l'éclairement obéit à la loi de l'inverse du carré de la distance.



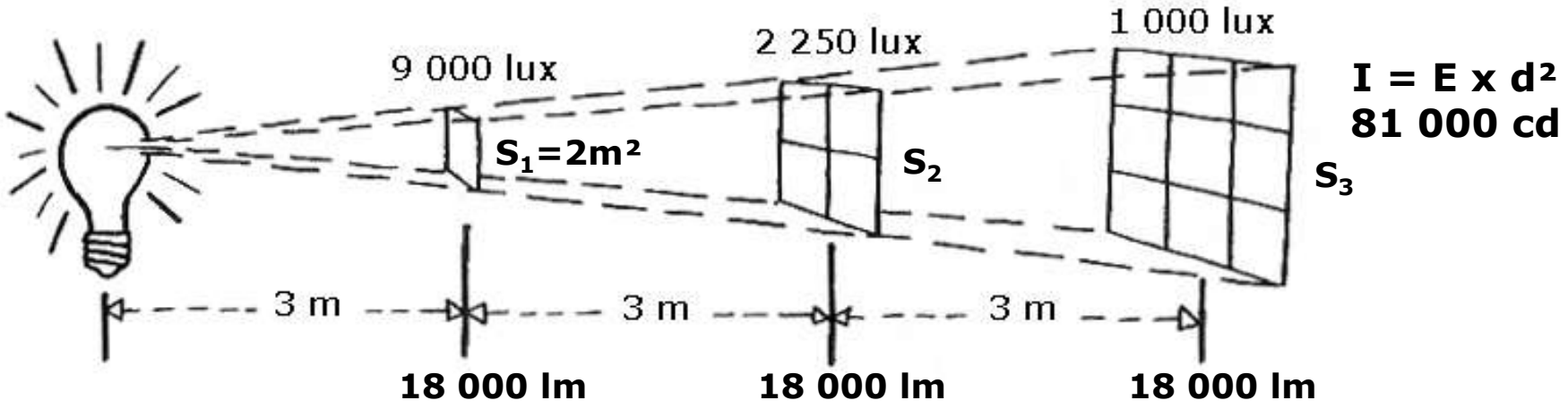
Si l'éclairement est de 9 000 lux à 3 m sur une surface de 1 m²,
il sera de 2 250 lux à 6 m pour une surface de 4 m² (9 000 lm),
il sera de 1 000 lux à 9 m pour une surface de 9 m² (9 000 lm).

Pierre Bouguer *(1698-1758) est un mathématicien, physicien et hydrographe français.*

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement, l'inverse du carré de la distance

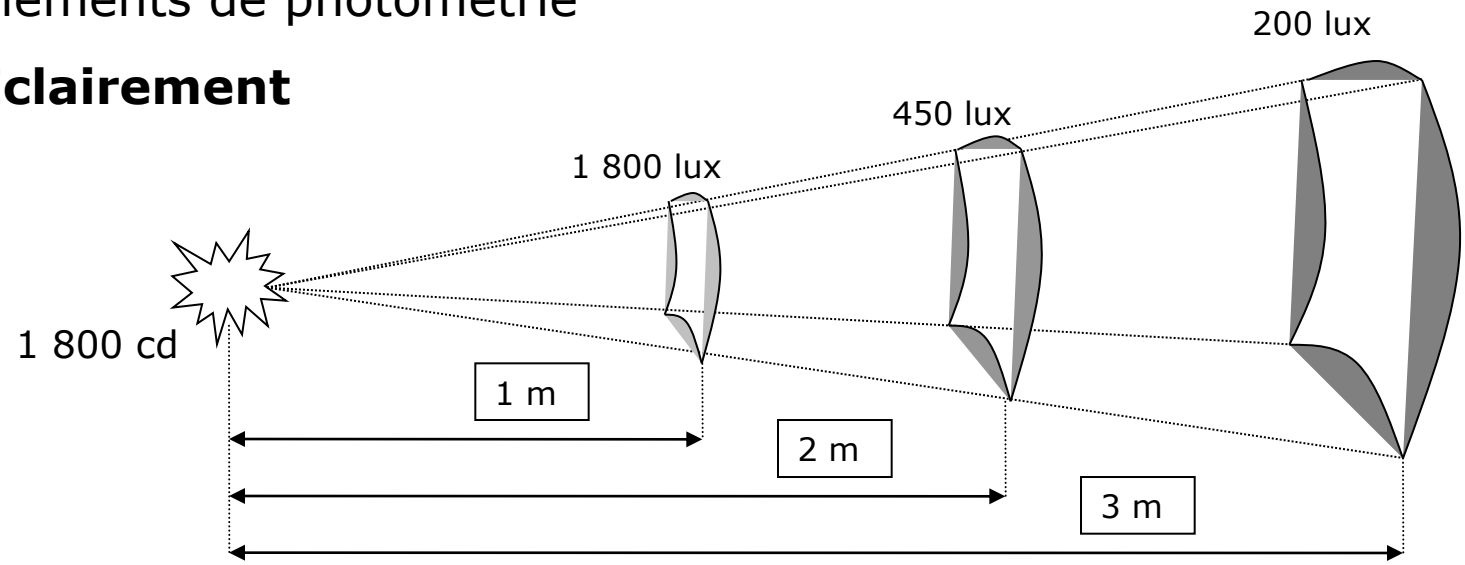


- **Si S_1 fait 2m², la surface S_1 reçoit 18 000 lm (2 x 9 000 lm.m-²), S_2 reçoit 18 000 lm (2 x 4 x 2 250), S_3 reçoit 18 000 lm (2 x 9 x 1000)…**
- **L'angle solide vaut : (2m² / 9) = (8m² / 36) = (18m² / 81) = 0,2222 sr.**
- **L'intensité lumineuse vaut 18 000 / 0,2222 = 81 000 lm/stéradian soit 81 000 cd (remarquez aussi que I = E x d² = 81 000 cd).**
- **Le flux global de la source lumineuse est de : 81 000 x 4π ≈ 1 000 000 lm.**

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement

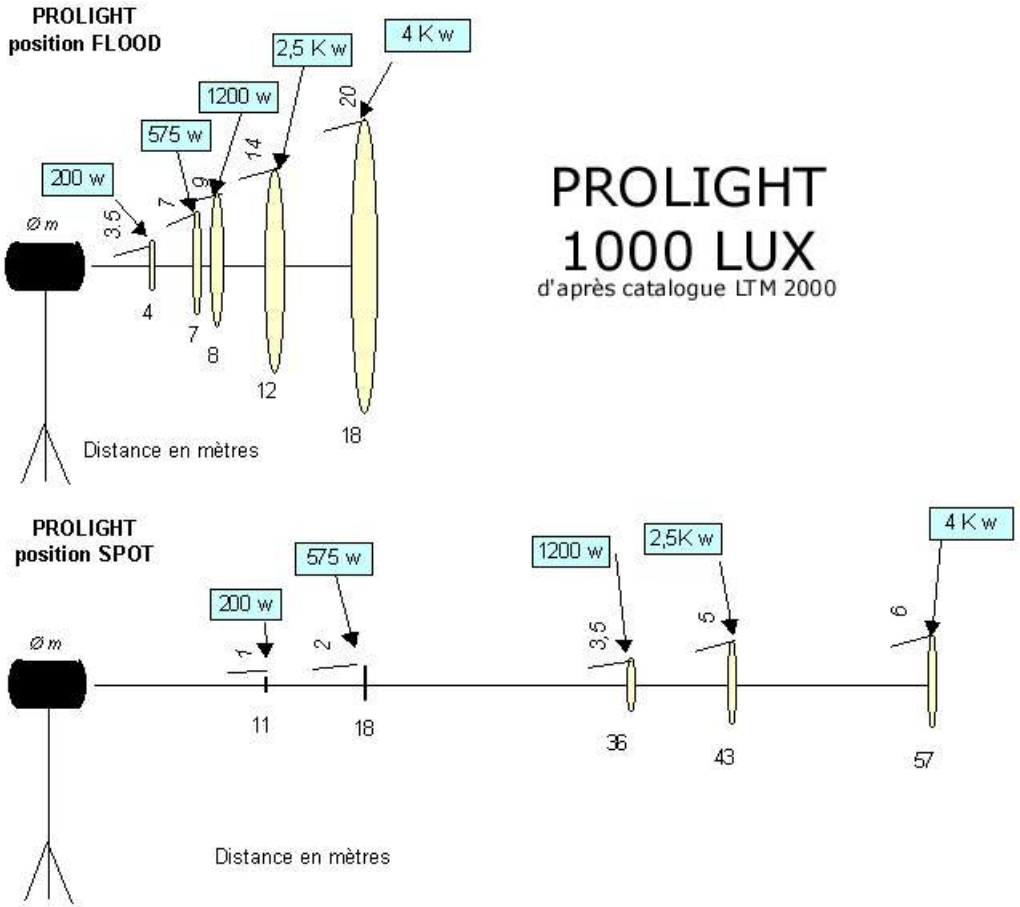


450 = 1800 x (1/**2**)² ; **200** = 1800 x (1/**3**)² ; **200** = 450 x (2/**3**)²
1800 = 450 x (2/ **1**)² ; **1800** = 200 x (3/**1**)² ; **450** = 200 x (3/**2**)²

Éclairement = Éclairement connu x (Distance connue / Distance désirée)²
ou
Distance = √ (Éclairement connu x Distance connue²**)** / Éclairement désiré

En règle générale, vous savez quel éclairement vous voulez obtenir et vous cherchez à connaître une nouvelle distance en fonction de la mesure que vous venez de faire.
Ex. Pour obtenir 1 000 lux avec le projecteur ci-dessus,
d = √(1800 x 1²)/1000 ou d = √(450 x 2²)/1000 ou d = √(200 x 3²)/1000 => **d = 1,34 m**

Caractéristiques photométriques des projecteurs



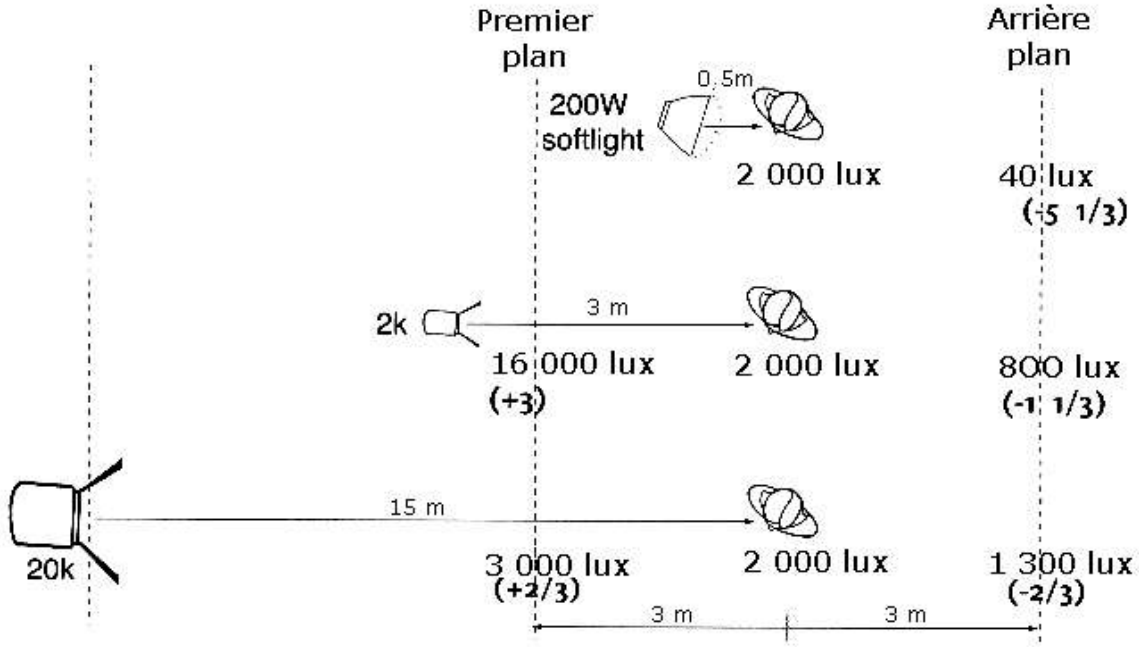
PROLIGHT
1000 LUX
d'après catalogue LTM 2000

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement

L'inverse du carré de la distance dans la pratique.



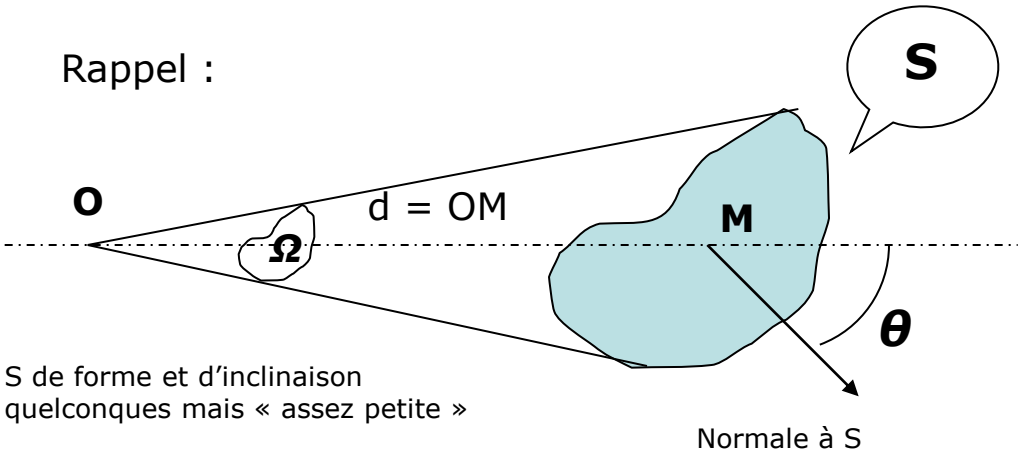
L'éclairement sur le sujet est de 2 000 lux. L'éclairement du premier plan et de l'arrière plan varie de façon considérable en fonction du positionnement (et de la puissance) du projecteur. **Pour filmer un acteur qui se déplace, il est préférable d'éclairer de plus loin avec des sources plus puissantes**…
Entre parenthèses, les écarts de diaphragme avec le sujet.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Quand l'objet éclairé n'est plus perpendiculaire au flux lumineux :

Rappel :



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

Éclairement au point M par une source ponctuelle

Relation directe entre I et E :

$E_M = F / S = I \times \Omega / S$ et $\Omega = (S \times \cos\theta) / d^2$

d'où : $E_M = (I \times S \times \cos\theta) / (S \times d^2)$

$$\mathbf{E_M = (I \times \cos\theta) / d^2}$$ *(Formule très importante dans la pratique)*

LA LUMIERE, aspect quantitatif

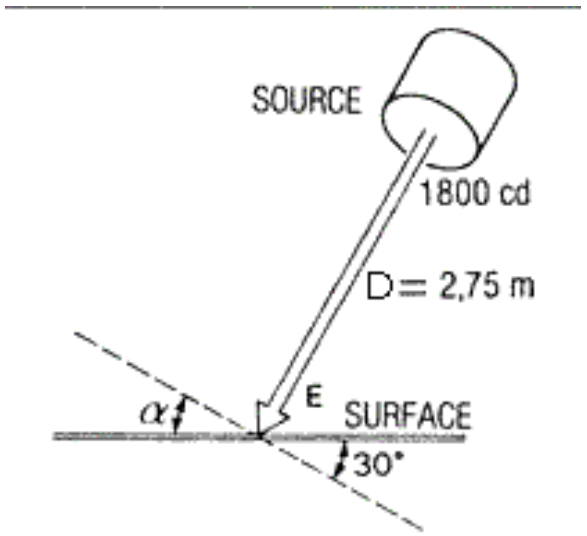
Éléments de photométrie

Lorsque la surface n'est pas perpendiculaire à l'axe de la source, l'éclairement diminue en raison du cosinus de l'angle alpha que fait la surface avec la direction de la source :

$$E\ (lx) = [\ Iv\ (cd) / D^2\ (m)\ ] \times \cos \alpha$$

L'éclairement (E) dépend de l'intensité de la source en candela (cd), de la distance (D) de la source à la surface éclairée, enfin de l'angle (alpha) de la surface par rapport au centre de la source.

L'éclairement est maximum si l'incidence est normale (α =0), il est alors proportionnel au carré de la distance.



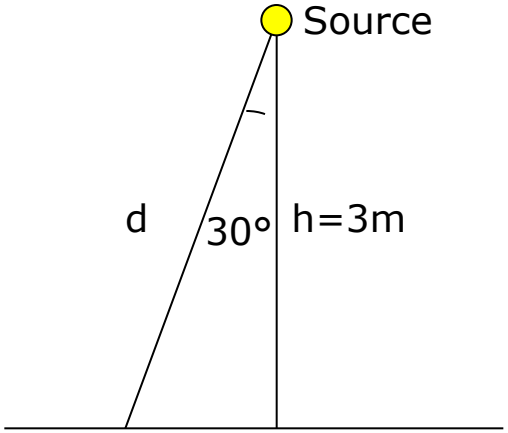
Une source d'intensité 1800 cd éclaire, sous un angle de 30°, une surface de 1m² placée à 2,75 m.
Le calcul indique que cette surface reçoit un éclairement de 206 lux. (cos30°= 0,866)

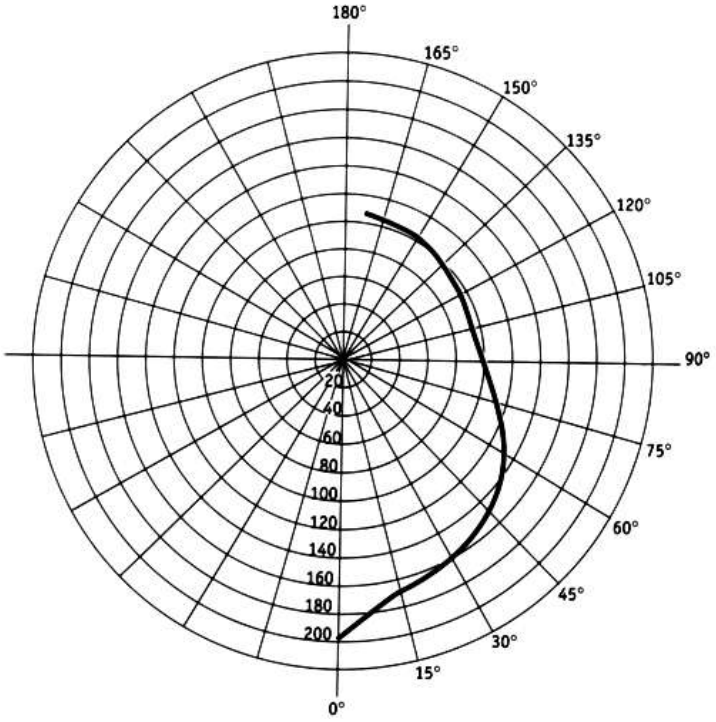
LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement, l'inverse du carré de la distance

Exemple :
Dans une pièce peinte en noire, une lampe est suspendue au plafond. Avec la courbe photométrique de cette lampe de 100W, on vous demande de trouver l'éclairement d'une table située à 3m de la lampe, la direction des rayons lumineux faisant un angle de 30° avec la verticale ?



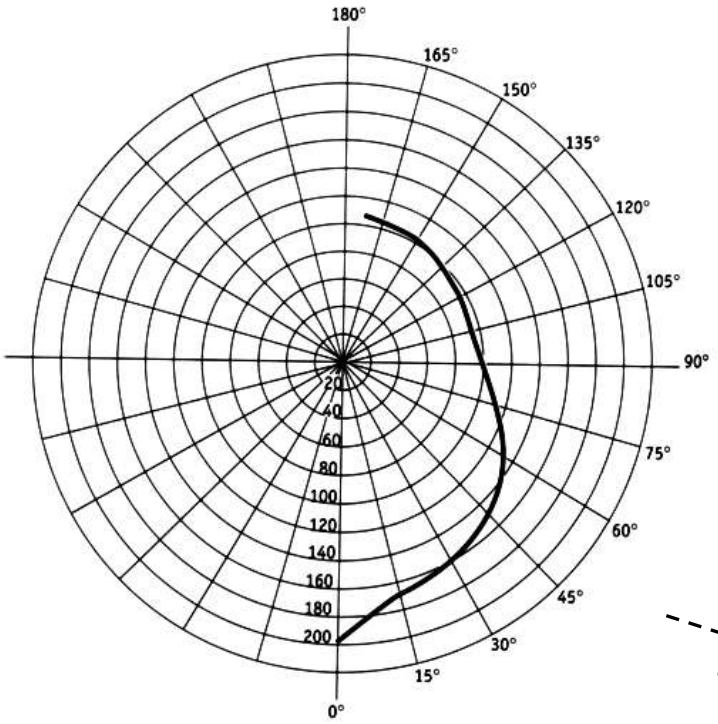


LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement, l'inverse du carré de la distance

On cherche sur la courbe photométrique ci-dessous, l'intensité lumineuse dans la direction faisant 30° avec la ligne 0-180° soit 160 cd. On applique la formule :

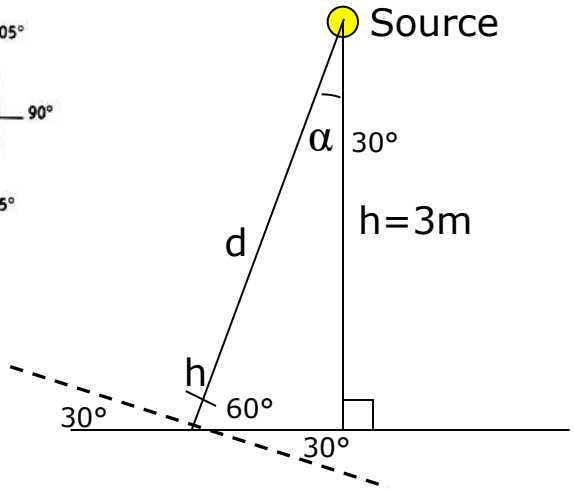


$E = (I / d^2) \cos \alpha$

$\cos \alpha = h/d \Rightarrow d = h / \cos \alpha \Rightarrow d^2 = h^2 / \cos^2 \alpha$

$E = (I / h^2) \cos^3 \alpha$

Ici $E = 160/3^2 \times 0{,}650 = 11{,}5$ lux



$\cos (30°) = 0{,}866$

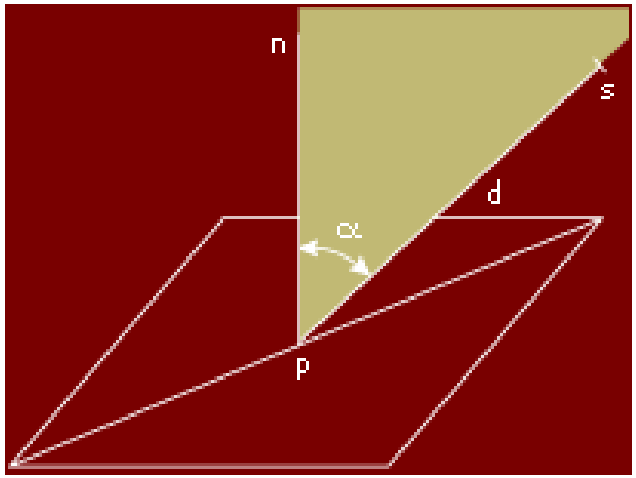
$\cos^3 (30°) = 0{,}65$

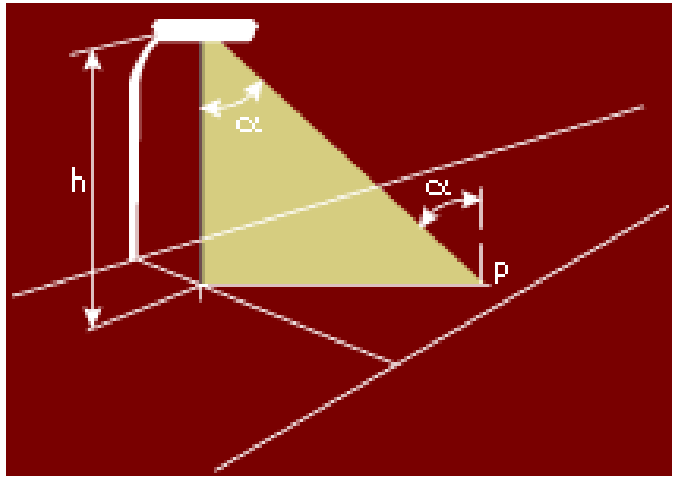
Source : Cours d'éclairage niveau 1 AFE (Association Française de l'Éclairage)

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Éclairement, l'inverse du carré de la distance





Une source ponctuelle placée en S à une distance d d'un point P d'une surface plane crée un éclairement Ep dont la valeur est : Ep = Icos (α) / d² où alpha est l'angle que forme la direction SP d'où vient l'intensité lumineuse avec la normale n en P. Cette formule est universelle et permet d'exprimer des éclairements horizontaux, verticaux ou sur des plans quelconques.
Le cas particulier où le plan de calcul est horizontal est souvent retenu pour des considérations pratiques. On parle alors d'une source située à une hauteur h au-dessus de ce plan. L'éclairement au point P s'exprime alors par la formule :

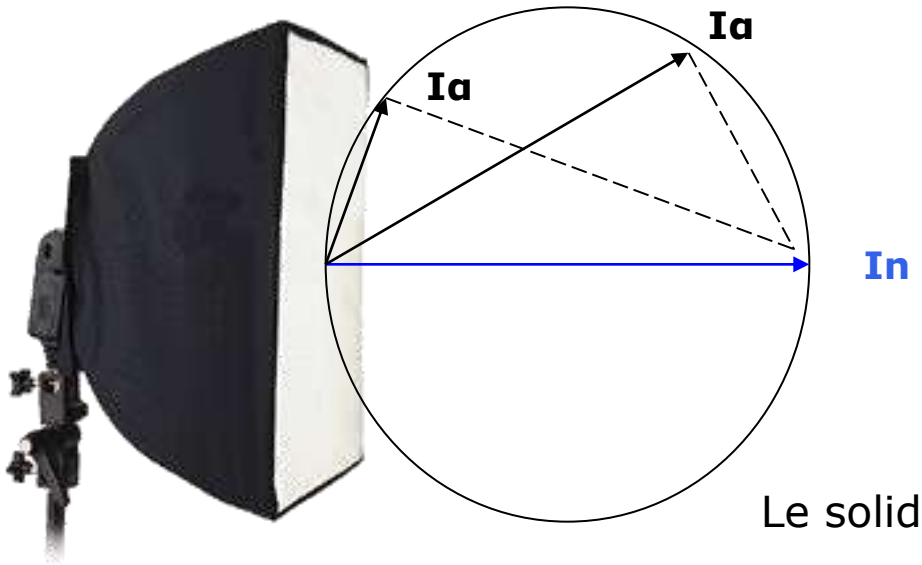
$$\mathbf{E_p = I \bullet \cos^3(\alpha) / h^2}$$

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Courbe photométrique d'une surface diffusante :
On peut tracer les courbes photométriques de sources ayant une forme géométrique parfaitement définie.
Exemple
La courbe photométrique d'une surface diffusante se présente sous la forme d'une circonférence, la surface étant tangente à ce cercle. L'intensité $I\alpha$ dans une direction quelconque est le produit de l'intensité I_n perpendiculaire à la surface par le cosinus de l'angle a que fait la direction avec la perpendiculaire.

$$\mathbf{I\alpha = I_n \cos \alpha}$$



Le solide photométrique est une sphère.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

La courbe photométrique d'une sphère est un cercle dont la source occupe le centre. L'intensité est la même dans toutes les directions,

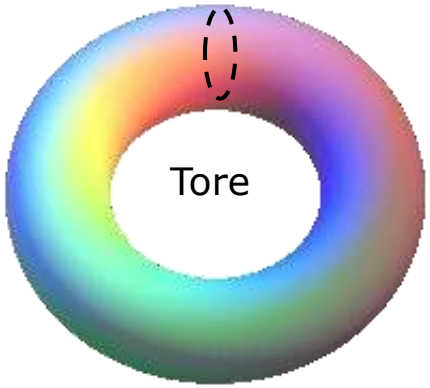
$$\mathbf{I = constante}$$

Pour les sources cylindriques, la courbe photométrique est représentée par 2 cercles tangents au cylindre.

$$\mathbf{I\alpha = I_n \cos \alpha}$$

Cette courbe photométrique est intéressante car elle est le modèle des courbes photométriques de toutes les sources lumineuses cylindriques telles que les lampes à incandescence tubulaires à filament rectiligne, les lampes fluorescentes, le tube à décharge des lampes à ballons fluorescents, des lampes à vapeur de sodium à haute et basse pression.

Le solide photométrique est, dans le premier une sphère, dans le deuxième exemple une surface torique.



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Foot-candle :

Dans les **mesures anglo-saxonnes**, **l'éclairement est défini par le foot-candle**

Le foot-candle est calculé avec une sphère d'un pied de rayon !

$$\text{Éclairement}(lux) = \frac{\text{Intensité}(candelas)}{D^2(mètres)}$$

$$\text{Éclairement}(footcandles) = \frac{\text{Intensité}(candelas)}{D^2(pieds)}$$

Les 12,57 lumens émis par la candela seront donc répartis sur 1,17 m² au lieu des 12,57 m² habituels.

Un foot-candle égale donc 10,75 lux
(12,57 / 1,17 = 10,75)

Éclairement (lux) = Éclairement (fc) x 10,75

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éclairement et exposition

Luxmètre ou cellule à lumière incidente

Valeurs repères d'éclairement produit par

Situation	Éclairement
Pleine lune	0,5 lx
Lumière d'une bougie	10 lx
Rue de nuit bien éclairée	20 - 70 lx
Appartement lumière artificielle	100 lx
Bureau, atelier	200 - 300 lx
Grand magasin	500 - 700 lx
Studio ciné./TV	500-1000 lx
Stade de nuit, salle de sport	1500 lx
Extérieur à l'ombre	10000 - 15000 lx
Ciel couvert	25000 - 30000 lx
Soleil "moyen"	48000 lx
Plein soleil	50000 - 100000 lx

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Source primaire et source secondaire

Une *source primaire* produit un rayonnement électromagnétique à partir d'une transformation d'énergie.

Une *source secondaire* est une source qui émet des rayons lumineux issus de la réflexion ou de la transmission par un matériau des rayons d'une source primaire ou issus de la combinaison de rayons lumineux provenant de plusieurs sources.

Source secondaire

Source primaire

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Réflexion, diffusion

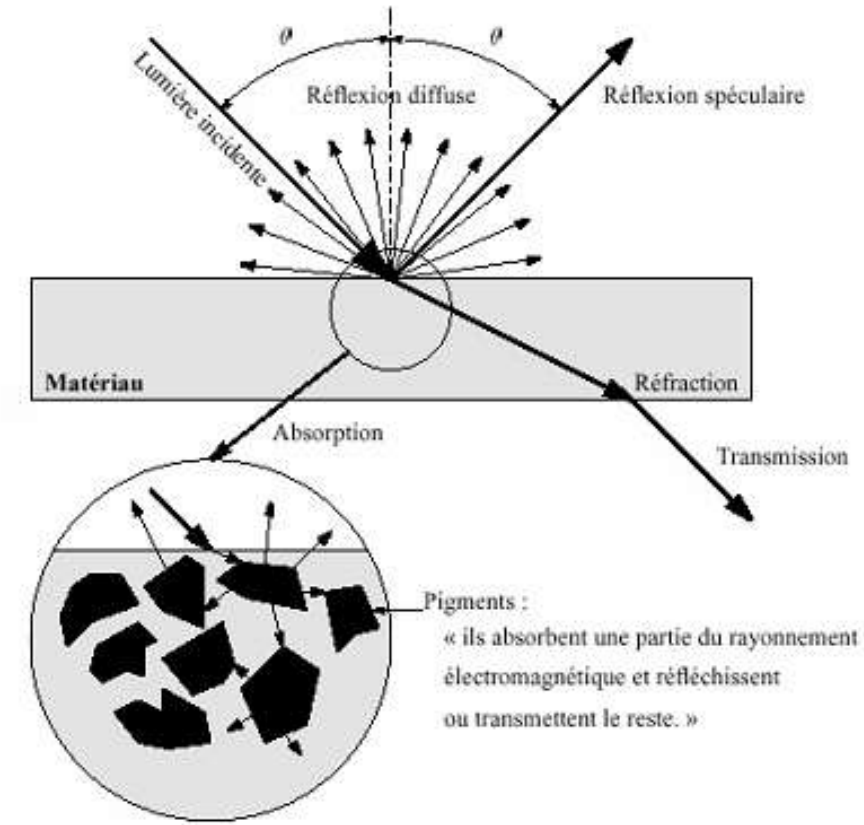
Lorsque la lumière incidente entre en contact avec un matériau, deux phénomènes se produisent :
– une réflexion de surface des rayons lumineux incidents,
– une pénétration des rayons lumineux incidents dans le matériau.
La lumière incidente peut être en partie ou complètement réfléchie par la surface du matériau.
Lorsqu'elle est complètement réfléchie selon une direction unique, elle n'apporte pas d'information de couleur. Cette réflexion et cette surface sont dites *spéculaires* (cas du miroir). Quand la surface présente des irrégularités dues à sa rugosité, la lumière se disperse alors selon plusieurs directions. Il s'agit alors de *diffusion* ou de *réflexion diffuse* de la lumière. Une lumière diffusée par une surface est constituée par l'ensemble des réflexions spéculaires issues de la multitude de surfaces planes élémentaires orientées dans tous les sens qui constituent cette surface rugueuse. Lorsque les rayons incidents sont réfléchis dans toutes les directions de manière égale, la surface, dite *lambertienn*e, correspond à un *diffuseur parfait*.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Absorption, Réfraction, Réflexion, Diffusion

En pénétrant dans un matériau, la lumière incidente est déviée car elle change de milieu de propagation. C'est le phénomène de *réfraction.*



En fonction de la nature du matériau, la lumière qui y pénètre peut, soit être réfléchie vers l'extérieur du matériau (corps opaque), soit traverser le matériau (corps transparent), soit les deux à la fois (corps translucide).

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Diffusion de la lumière, lois de Lambert

La réflexion peut être :
- Régulière (miroir)
- Diffuse (papier buvard)
- Sélective (surface colorée)
- Non sélective (surface blanche)

La transmission peut être :
- Régulière (verre à vitre)
- Diffuse (verre opale ou dépoli)
- Sélective (vitraux)
- Non sélective (verre blanc)

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Diffusion de la lumière, lois de Lambert

La lumière réfléchie par une surface parfaitement diffusante présente une même luminance dans toutes les directions.

Il en est de même pour un matériaux parfaitement translucide (verre dépoli sur ses deux faces)

La luminance d'une surface parfaitement diffusante est la même dans toutes les directions

On a l'impression d'une même luminosité* sous tous les angles.

**Luminosité : attribut de la sensation visuelle selon lequel une surface parait émettre plus ou moins de lumière. Cet attribut est le correspondant psychosensoriel approximatif de la grandeur photométrique « luminance »*

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

La luminance
La luminance sert à mesurer **l'intensité d'une source étendue** en fonction de sa surface (source primaire ou source secondaire (surface réfléchissante). **Son unité, la candela par mètre carré (cd/m²)** est la luminance d'une surface dont l'aire apparente, dans une direction donnée, est de 1 m² et qui émet, dans cette direction, une intensité de 1 candela.

Les luminances de corps incandescents peuvent atteindre des millions de candela/m², alors que celle des corps réfléchissants sont de l'ordre de dizaines ou centaines de cd/m². Un œil adapté à l'obscurité peut percevoir une luminance de l'ordre de 1/1 000 000e cd/m².

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

La luminance

Voici quelques valeurs de luminance

Pleine lune par temps clair …… 2,5 x 10^3 cd/m²
Flammes éclairantes ……. 10 à 20 x 10^3 cd/m²
Papier blanc plein soleil …….. 30 x 10^3 cd/m²
Filament d'une lampe à
filament de tungstène .....5 à 10 x 10^3 cd/m²
Arc électrique …… 160 x 10^3 cd/m²
Soleil vu de la terre ……...1 600 x 10^3 cd/m²

Une luminance dépassant plusieurs centaines de milliers de nits (ou cd/m²) peut être dangereuse pour l'œil, d'où l'emploi de filtres convenables.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

La luminance

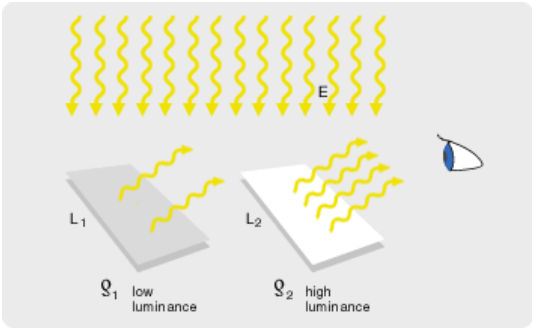
La luminance visuelle Lv est le quotient de l'intensité lumineuse d'une surface, par l'aire apparente de cette surface, pour un observateur lointain. En termes plus simples, **c'est l'éclat ou "la brillance" d'une surface réfléchissante éclairée ou d'une surface éclairante**, telle qu'elle est vue par l'œil ou l'objectif de la caméra.

$$L_V = I_V / (S \times \cos\theta)$$

Son unité légale est la candela par mètre carré (cd/m²)

Unité anglo-saxonne : Foot-lambert (Fl) = 3,426 cd/m2
Autres unités : le nit (1 cd/m²), le stilb (1 cd/cm² =104 cd/m²)

Cette grandeur est perçue par l'œil alors que les précédentes ne le sont pas !



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

La luminance

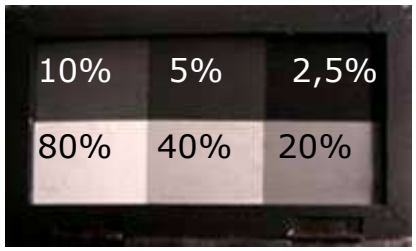
La luminance d'une surface réfléchissante varie selon deux facteurs :
l'éclairement E (lx) sur une zone déterminée de la scène et
le facteur de réflexion (r) de cette surface.

Le facteur de réflexion (ou albedo) est le quotient du flux réfléchi par le flux incident.

r = flux réfléchi / flux incident

Il a toujours une valeur inférieure à 1 (ou à 100% si on l'exprime en pourcentage), car aucune substance ne réfléchit 100% de la lumière qu'elle reçoit.

Valeurs de réflexion de certains matériaux :
Plâtre : 85%
Papier blanc : 84 %
Marbre blanc : 83 %
Chêne naturel : 33 %



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

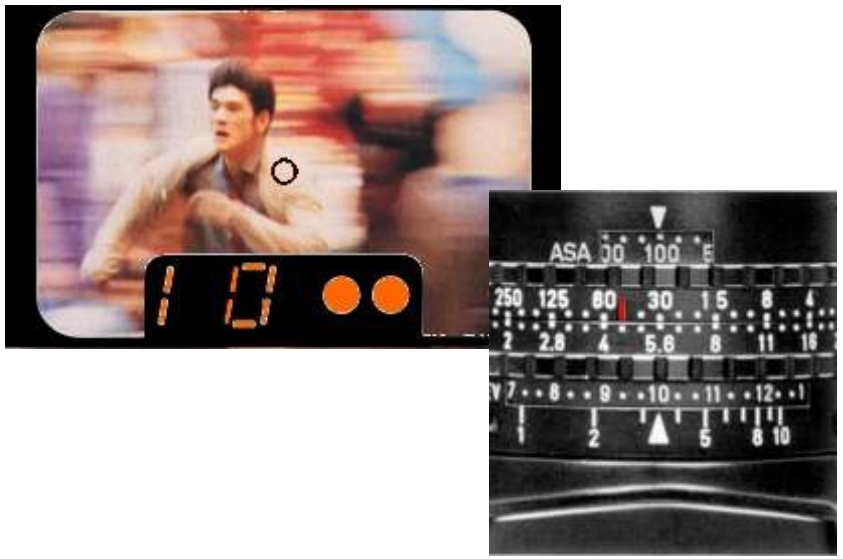
La luminance

Connaissant l'éclairement E (en lux) du sujet vu par l'objectif, il est facile de calculer sa luminance L_V, par la relation suivante :

$$\mathbf{L_v\ (cd/m^2) = E \times r \times 1/\Pi} \quad \text{(avec } 1/\Pi = 0{,}318\text{)}$$

$$\mathbf{L_v\ (cd/m^2) = E \times \tau \times 1/\pi} \text{ (avec } \boldsymbol{\tau} \text{ facteur de transmission)}$$

Nous verrons plus loin que cette relation est valable pour une surface parfaitement diffusante.

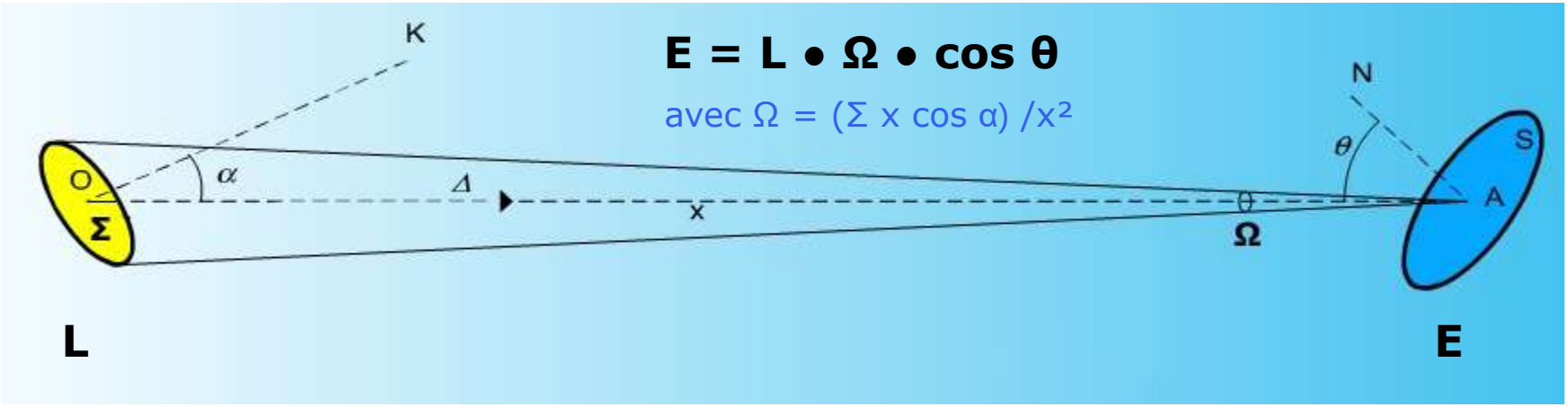


LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Eclairement

L'éclairement E que la source élémentaire d'aire Σ et de luminance L produit sur une surface, disposée comme l'indique la figure, s'exprime par :



Ω étant l'angle solide sous lequel l'élément Σ est vu du point éclairé A. On peut, à l'aide de la formule précédente, calculer l'éclairement dû à des faisceaux provenant de sources dont la luminance est connue dans chaque direction. C'est le cas, par exemple, de l'éclairement produit par le ciel à travers une fenêtre.

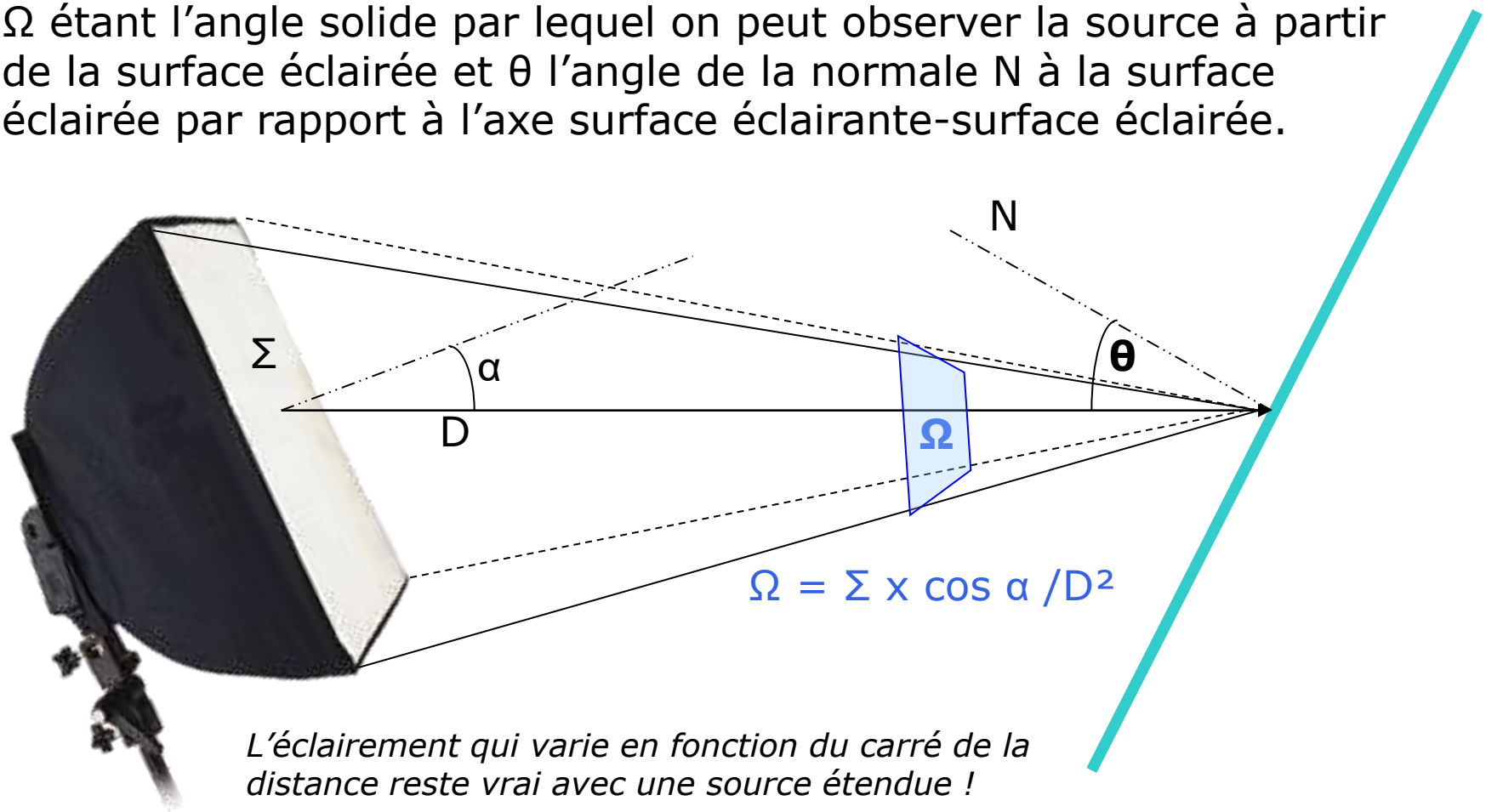
LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

L'éclairement d'une surface à partir d'une source étendue, dont on connaît la luminance, satisfait la relation

$$\mathbf{E = L \times \Omega \times \cos \theta}$$

Ω étant l'angle solide par lequel on peut observer la source à partir de la surface éclairée et θ l'angle de la normale N à la surface éclairée par rapport à l'axe surface éclairante-surface éclairée.



L'éclairement qui varie en fonction du carré de la distance reste vrai avec une source étendue !

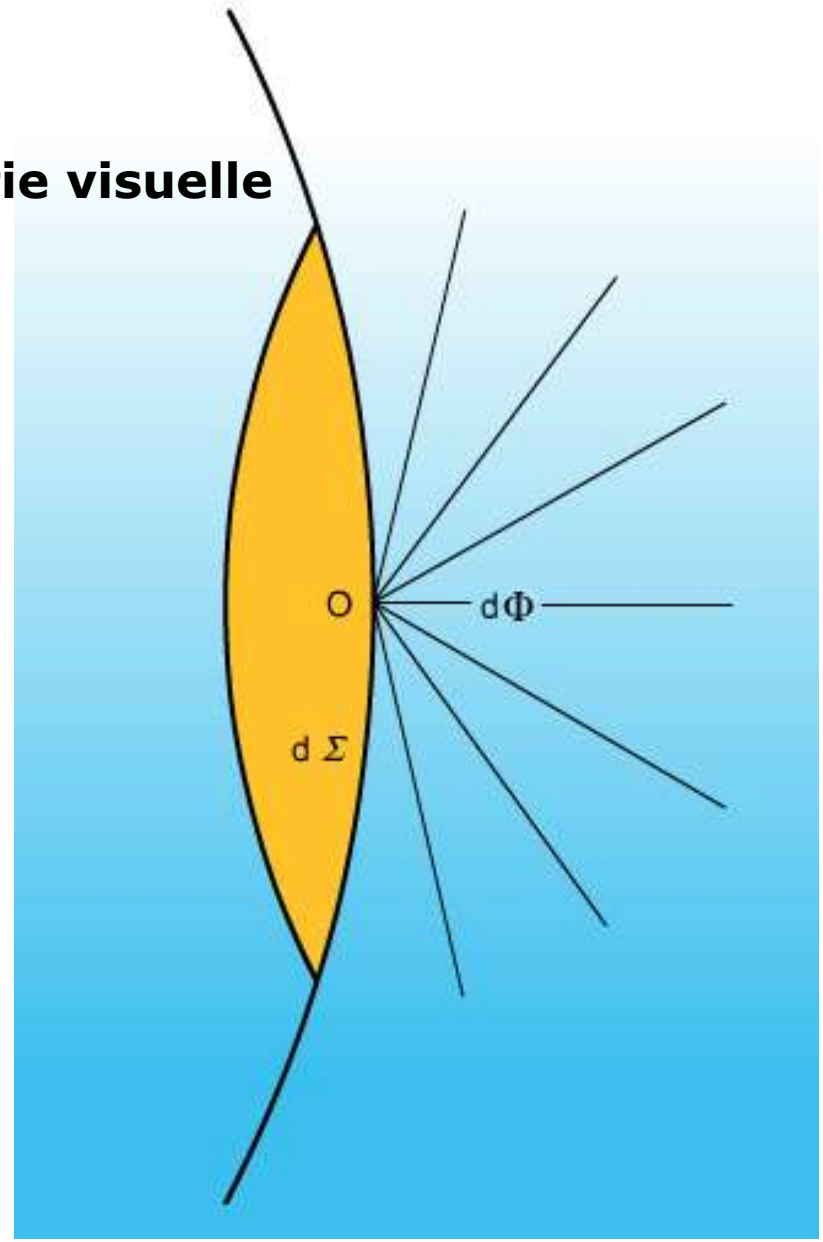
LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

L'exitance d'une source en un point O est le rapport $M = d\Phi/d\Sigma$, $d\Phi$ étant le flux lumineux émis dans un demi-espace par l'élément de surface $d\Sigma$ entourant O.

M s'exprime en lumens par mètre carré ($lm.m^{-2}$)



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

L'exitance *(anciennement émittance ou radiance)* d'une ***source non ponctuelle*** correspond *au flux global* émis par l'ensemble de ses points dans un **demi espace**, rapporté à sa surface réelle ($\Omega = 2\pi$ sr).

Pondérée par la courbe de sensibilité spectrale de l'œil, on parle d'**exitance lumineuse**.
Son unité est le lumen par mètre carré (lm/m²).

Pour un corps donné, l'énergie rayonnée, l'exitance, la luminance et le facteur d'absorption sont variables suivant la longueur d'onde du rayonnement.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Diffusion de la lumière, lois de Lambert

Exitance et luminance

Quand la luminance L d'une source est la même dans toutes les directions d'émission, la source est dite *orthotrope* ; on dit encore qu'elle obéit à la condition de Lambert *(en anglais : Lambertian source).*

On peut montrer qu'alors son exitance (M) est :

$$M\ (lm/m^2) = \pi.L\ (cd/m^2).$$

Cette loi est appelée « Loi de Lambert »

En connaissant l'un des facteurs, on peut facilement en déduire l'autre. Dans la pratique, il n'existe pas de surfaces parfaitement diffusantes, mais on admet souvent que l'on peut leur appliquer la « Loi de Lambert ».

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Diffusion de la lumière, lois de Lambert

Exitance et éclairement

On calcule la valeur de M en fonction de l'éclairement reçu par une surface considérée. On doit donc tenir comte du facteur de réflexion (r) ou de transmission (t).

L'exitance **M = E x r ou E x t**

Nous avions déjà vu que L= E x r x 1/π.
Pour r = 1, matière idéale réfléchissant la totalité du flux lumineux reçu, M = E pour une matière parfaitement diffusante.
Si, par exemple, une feuille de papier blanc placée au soleil (E ≈ 100 000 lx) n'absorbe qu'une fraction négligeable de la lumière, son exitance est proche de 100 000 lm/m² et sa luminance est de 30 000 nits.

L'exitance d'une surface qui n'est ni lumineuse par elle-même ni luminescente est, au plus, égale à son éclairement.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Diffusion de la lumière, lois de Lambert

Exitance et éclairement

Attention !

Éclairement et Exitance ont la même dimension, la différence fondamentale étant que **l'éclairement concerne la lumière reçue et l'exitance la lumière émise**.

Pour éviter les erreurs, on utilise deux unités différentes (lux et lm/m²) et on convient souvent de noter S une surface réceptrice et Σ une surface émissive, même quand il s'agit d'une source secondaire qui se contente de renvoyer une partie de la lumière qu'elle reçoit.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Deux formules importantes à retenir :

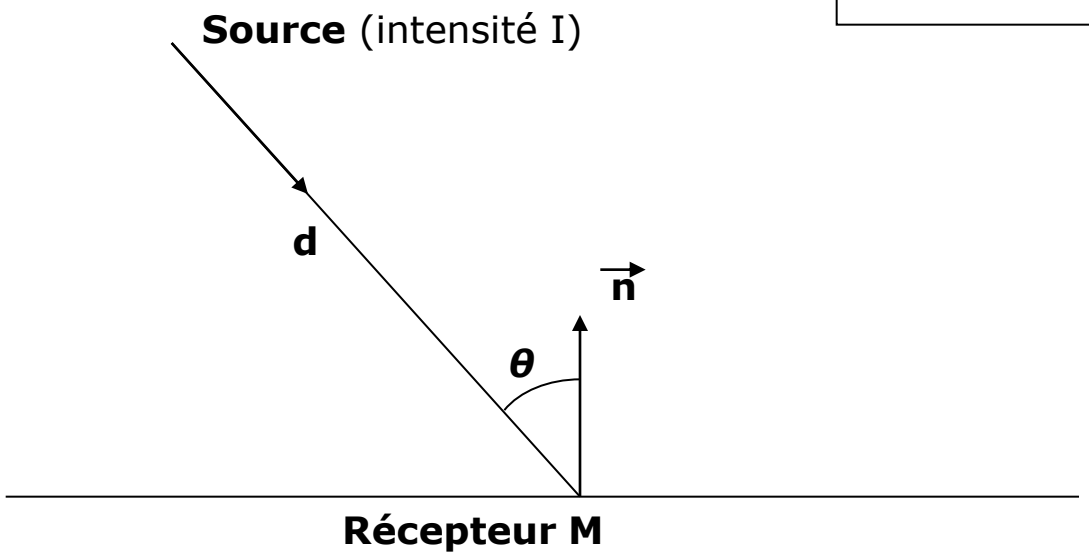
$$E_v = (I_V \times \cos\theta) / d^2$$

et

$$\pi \times L = r \times E_v$$

ou

$$\pi \times L = \tau \times E_V$$



LA LUMIERE, aspect quantitatif

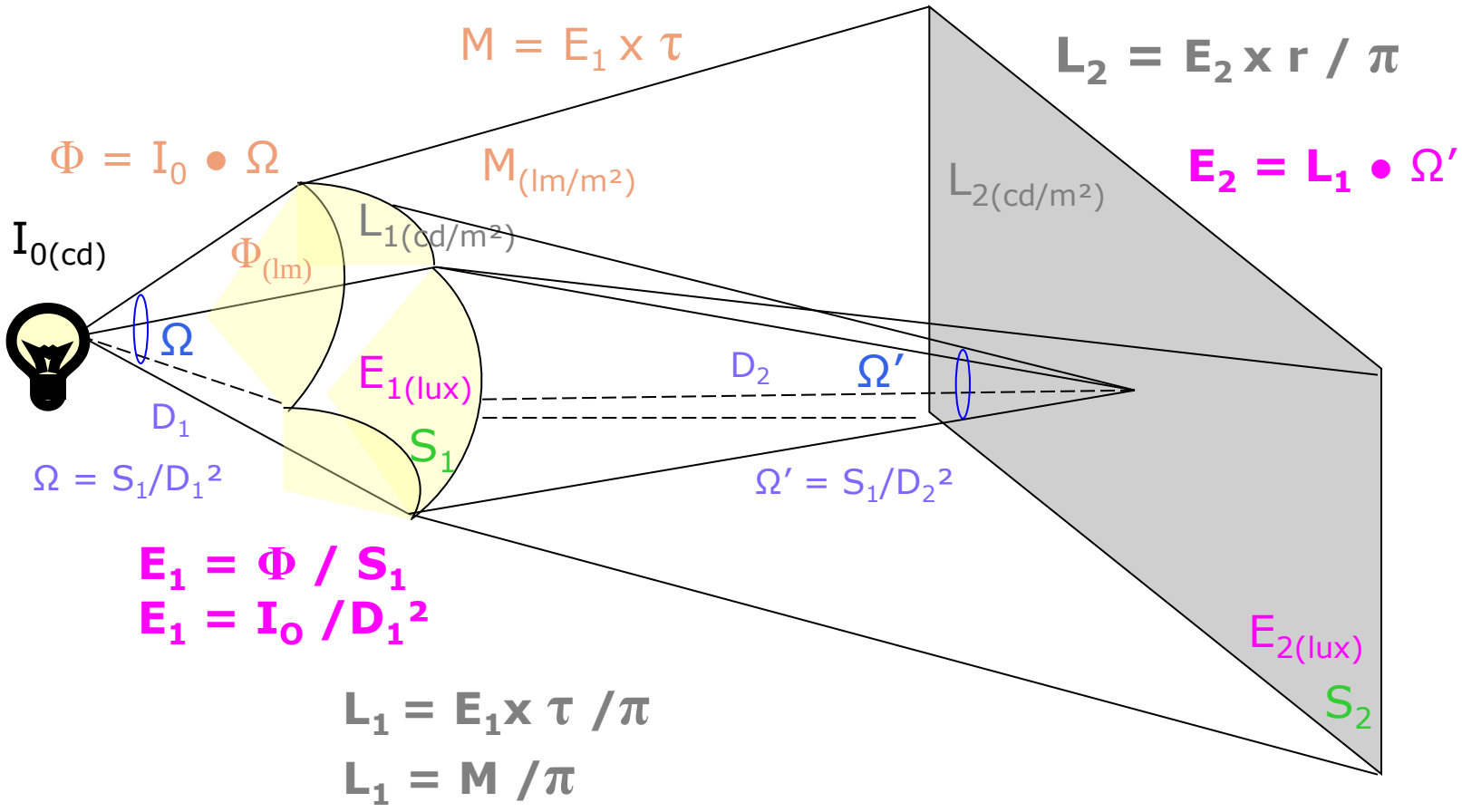
Grandeurs et unités

en résumé

En photo et en vidéo, la reproduction objective des valeurs fait appel à un petit nombre seulement d'unités photométriques : l'*intensité I d'une source lumineuse* en candelas ; le *flux lumineux* F émis par cette source dans l'espace, en lumens ; l'*éclairement E*, en lux, d'une surface frappée par ce flux ; la *luminance L*, en candelas par mètre carré, fraction du flux réfléchie ou transmise vers l'observateur.

Grandeurs	Système international (S.I.)
Intensité lumineuse	Candela (cd)
Flux lumineux	Lumen (lm)
Éclairement lumineux	Lux (lx)
Luminance	Candela / m^2 ($cd.m^{-2}$)
Exitance	Lumen /m^2 ($lm.m^{-2}$)

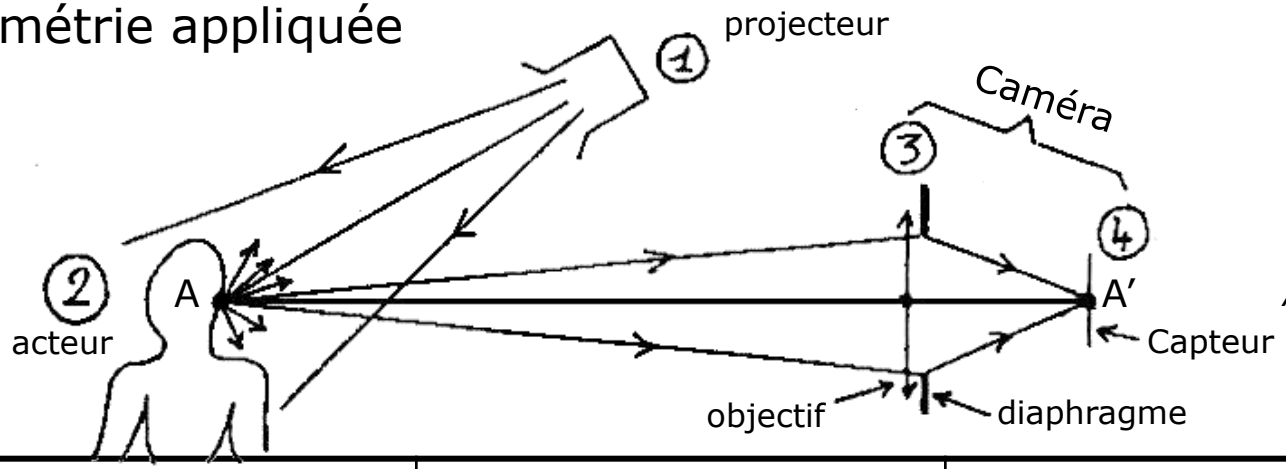
Grandeurs et unités
en résumé



Dans l'axe, transmission 100%, diffusion parfaite !

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée



A' est l'image de A

	Nature photométrique	Caractéristique principale	Autres caractéristiques
1	Source primaire (sensiblement ponctuelle)	Intensité I en candela (cd)	Température de couleur Directivité : « spot ou fllod » Puissance électrique (en watt, W)
2	Récepteur	Éclairement E en lux (lx)	La source secondaire est un récepteur qui réfléchit la lumière reçue. Caractéristiques : • facteur de réflexion R en % • degré de diffusion (brillant, mat)
2 bis	Source secondaire (en général étendue)	Luminance L en cd /m²	
3	Objectif	Diaphragme valeurs de N : 1,4; 2; 2,8…	Facteur de transmission des filtres T en %
4	Récepteur (capteur, détecteur)	Sensibilité (ISO, mA / lux)	Éclairement minimum (seuil) Sensibilité spectrale

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Mesures pratiques :
But : prévoir l'éclairement en A' sans pouvoir y accéder réellement

<u>Trois cas</u> :
• cellule dans la caméra mesurant à travers l'objectif
(**mesure TTL** - **T**hrough **T**he **L**ens)

• mesure de l'éclairement en A : E_A
lumière incidente (avec luxmètre)

• mesure de la luminance en A : L_A
lumière réfléchie (posemètre, spotmètre)

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Le luminancemètre, le spotmètre, la cellule à lumière réfléchie

La cellule est sur l'axe optique
et
dirigée vers le sujet.

Si le sujet est très clair ou très sombre : utilisez un gris à 18%.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Le luminancemètre, le spotmètre, la cellule à lumière réfléchie

Gossen, Lunasix

Pentax

Minolta

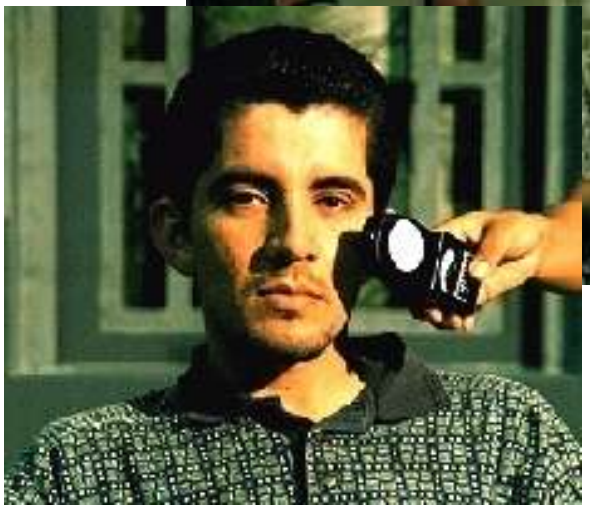
Luminancemètre
TOPCON ESSILOR

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Le luxmètre, la cellule à lumière incidente

La cellule est placée contre le sujet et
dirigée vers le projecteur.



Luxmètre avec photosphère, type Spectra, Sekonic

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

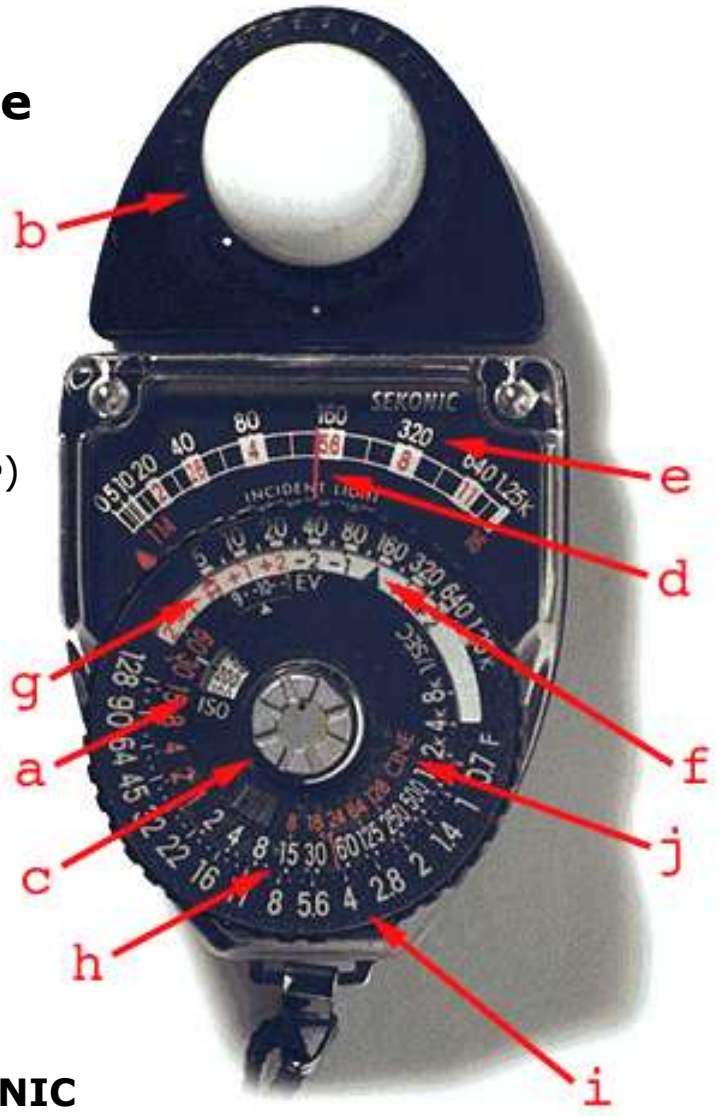
Le luxmètre, la cellule à lumière incidente

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Le luxmètre, la cellule à lumière incidente

a. Indication de la sensibilité du capteur en ISO
b. Sphère intégration
c. Bouton de contrôle (*tourner ¼ tour pour libérer l'aiguille*)
d. Aiguille indiquant la quantité d'éclairement
e. Échelle graduée en Foot Candles
f. Marque pour positionner la quantité de Fc **(sans la grille des hautes lumières)**
g. Marque pour positionner la quantité de Fc avec la grille des hautes lumières
h. Échelle des temps d'exposition exprimée en /sec
i. Échelle des diaphragmes
j. Échelle des cadences de prise de vues en cinéma



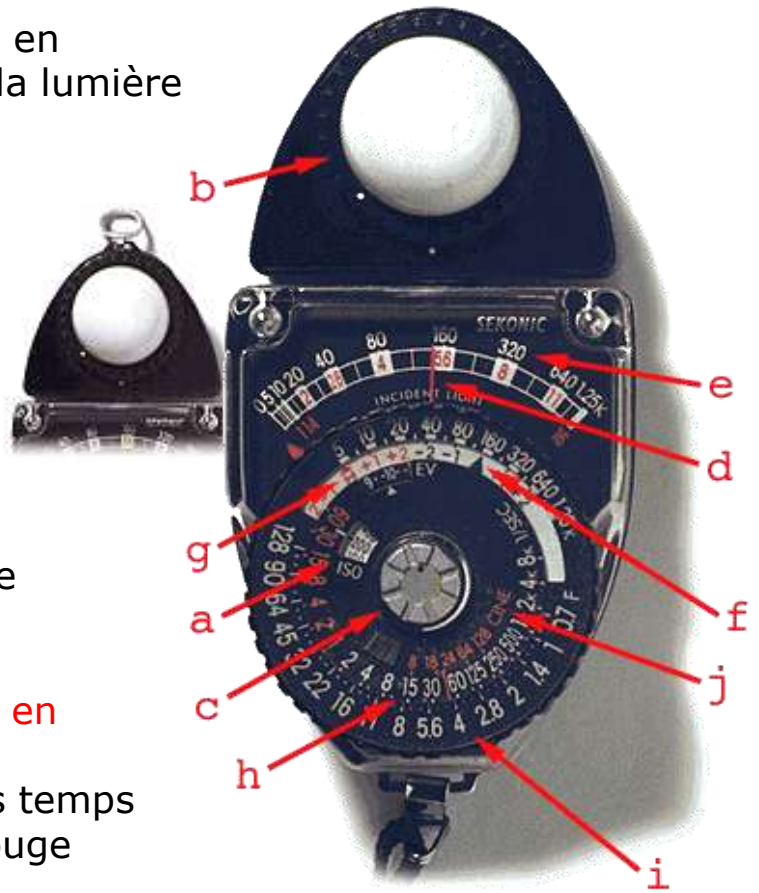
SEKONIC

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Comment utiliser la SEKONIC Studio Deluxe L398M :

1. Réglez l'échelle des sensibilités en fonction de la sensibilité de votre capteur (exprimée en ISO ou EI). [a]
2. Tenez la cellule au niveau du sujet recevant la lumière en orientant la sphère [b] à mi-chemin entre l'incidence de la lumière principale et l'axe de la caméra.
En analyse, orientez la sphère vers le projecteur.
3. Appuyez sur le bouton central [c]
4. L'aiguille [d] se positionne sur l'échelle graduée en foot-candle [e].
Remarquez l'échelle graduée en diaph. Ne l'utilisez pas !
Si l'aiguille se positionne tout à droite de l'échelle, utilisez la grille des hautes lumières située à l'arrière de la cellule en la glissant dans la fente réservée à cet effet sur le dessus de la cellule.
5. Tournez le disque du calculateur de la cellule pour faire correspondre la valeur lue en face du repère [f] .
Vérifiez que la sensibilité n'a pas bougée.
Important : En utilisant la grille des hautes lumières, lire en face du repère rouge marqué « **H** » [g].
6. Reportez vous en bas du disque. Il y a une échelle des temps d'exposition 1/sec [h] et une échelle de diaph. Le trait rouge indique la cadence de prise de vues des caméras vidéo.
7. En vidéo, vous lisez le diaphragme à afficher sur l'objectif en face de ce trait rouge [i].



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

La cellule à lumière incidente ou réfléchie

Sekonic L508

Gossen

Lunasix

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Le contraste

Prenons le cas d'un mur blanc mat dont le facteur de réflexion est de 0,8 éclairé uniformément avec un niveau de 100 lux.
Quel est la valeur de sa luminance ?
Dans les conditions de Lambert, ce mur ne réfléchit que
100 x 0,8 = 80 lm/m²
En partant de l'éclairement E, on a $L = (E \times r) / \pi$
$L = 100 \times 0,8 / \pi = 25,46$ cd.m-².

On fixe sur ce mur un gris neutre dont le facteur de réflexion est de 0,4, sa luminance sera plus faible.
$L = (E \times r) / \pi = (100 \times 0,4) / \pi = 12,73$ cd.m-².

Le contraste de luminance sera de 1:2; la différence de luminance (ou contraste) entre les deux surfaces est importante ce qui permet une bonne perception du gris.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Le contraste

Si à l'aide d'un projecteur, on éclaire seulement le gris à un niveau de 200 lux, sa luminance est alors de : (200 x 0,4) /π = 25,46 cd.m-².

Sa luminance est alors la même que celle du mur. Le contraste entre les deux surfaces est nul et la perception du gris n'est plus possible.

On constate l'importance de la notion de luminance car **c'est le contraste de luminance qui assure une bonne ou une mauvaise perception.**

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Grandeurs et unités en photométrie visuelle

Le contraste

Le contraste d'une scène est le rapport entre la luminance des ombres dans lesquelles on veut encore percevoir des détails et la luminance des hautes lumières diffuses dans lesquelles on veut encore percevoir des détails.
Le contraste s'exprime par un rapport 1:n correspondant à ce rapport de luminance. On peut ainsi exprimer le contraste en terme de diaphragmes ou d'indices de lumination IL.

Exemple :
Un sujet dont la luminance est 8x plus grande dans les lumières que dans les ombres a un rapport de luminance de 1:8 ou 3 IL (3 diaph) de contraste.

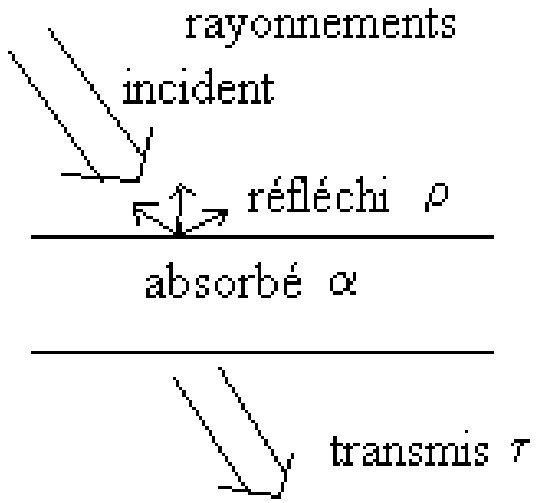
Rapports L	Écarts IL
1:1	0
1:2	1
1:3	1 ½
1:4	2
1:5	2 ¼
1:6	2 ½
1:7	2 ¾
1:8	3
1:16	4
1:32	5
1:64	6
1:128	7
1:256	8
1:512	9
1:1024	10

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Facteurs de réflexion, de transmission et d'absorption

Si, à propos d'une surface, F*i*, F*r*, F*a*, F*t* sont, respectivement, les flux incident, réfléchi, absorbé et transmis, on définit les trois facteurs suivants :



- facteur de réflexion : $\rho = Fr/Fi$;
- facteur de transmission : $\tau = Ft/Fi$;
- facteur d'absorption : $\alpha = Fa/Fi$.

Si l'on tient compte, dans l'évaluation de ρ, de toute la lumière réfléchie, on a :

$$\rho + \tau + \alpha = 1.$$

Ces trois facteurs dépendent, dans certains cas, de la composition spectrale de la lumière.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Photométrie appliquée

Loi de FECHNER

D'une manière générale, « la sensation croit comme le logarithme de l'excitation ».

Cela veut dire que si l'on prend pour référence un éclairement de 10 lux, il en faut 100 pour avoir le sentiment du double, 1000 pour avoir le sentiment du triple. C'est la raison pour laquelle on préfère souvent calculer avec une échelle logarithmique dont les intervalles sont directement évocateurs des sensations.

C'est la raison d'être de l'échelle des densités.

[1] $\text{Log}_{10}\ 10 = 1$ car $10^1 = 10$; $\text{Log}_{10}\ 100 = 2$ car $10^2 = 100$; $\text{Log}_{10}\ 1000 = 3$ car $10^3 = 1000$

La densité optique

Il y a une grande analogie entre la densité optique et le décibel.

La densité optique est à l'opérateur de prise de vues ce que le décibel est à l'ingénieur du son.

Plutôt que de calculer la valeur d'un nouveau diaphragme en considérant la transparence d'un filtre, il est souvent commode d'utiliser la *densité optique* : cette quantité est définie comme le logarithme décimal de l'inverse de son facteur de transmission :

$$D = \mathrm{Log}_{10}\ 1/\ \tau.$$

Lorsqu'on superpose deux filtres, leurs densités optiques s'ajoutent si les pertes de lumière par réflexion sont négligeables devant les pertes par absorption.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Tableau de correspondance (*chiffres usuels arrondis*) :

Transparence			**Opacité 1/T**	**Densité optique** Log (O) **base 10**	**Écart exprimé en I.L.** log (O) **base 2**	
1	100%	1	1	0	0	
4/5	80%	0,8	1,25	0,10	0,33	1/3
2/3	64%	0,64	1,60	0,20	0,66	2/3
1/2	50%	**0,5**	**2**	**0,30**	**1**	
2/5	40%	0,4	2,50	0,40	1,33	1+1/3
1/3	32%	0,32	3,20	0,50	1,66	1+2/3
1/4	25%	**0,25**	**4**	**0,60**	**2**	
1/5	20%	0,20	5	0,70	2,33	2+1/3
1/6	16%	0,16	6,4	0,80	2,66	2+2/3
1/8	12,5 %	**0,125**	**8**	**0,90**	**3**	
1/10	10%	0,1	10	1	3,33	3+1/3
1/12	8%	0,08	12,5	1,10	3,66	3+2/3
1/16	6,25 %	**0,06**	**16**	**1,20**	**4**	
1/32	3,125 %	0,03	32	1,50	5	
1/64	1,562 %	**0,015**	**64**	**1,80**	**6**	
1/100	1%	0,01	100	2	6,66	6+2/3
1/1000	0,1 %	0,001	1000	3	10	

Log_{10} 10 = 1 car 10^1 =10 ;
Log_2 2 = 1 car 2^1 = 2 ;

Log_{10} 100 = 2 car 10^2 =100 ;
Log_2 4 = 2 car 2^2 = 4 ;

Log_{10} 1000 = 3 car 10^3 =1000
Log_2 8 = 3 car 2^3 = 8

LA LUMIERE, aspect quantitatif

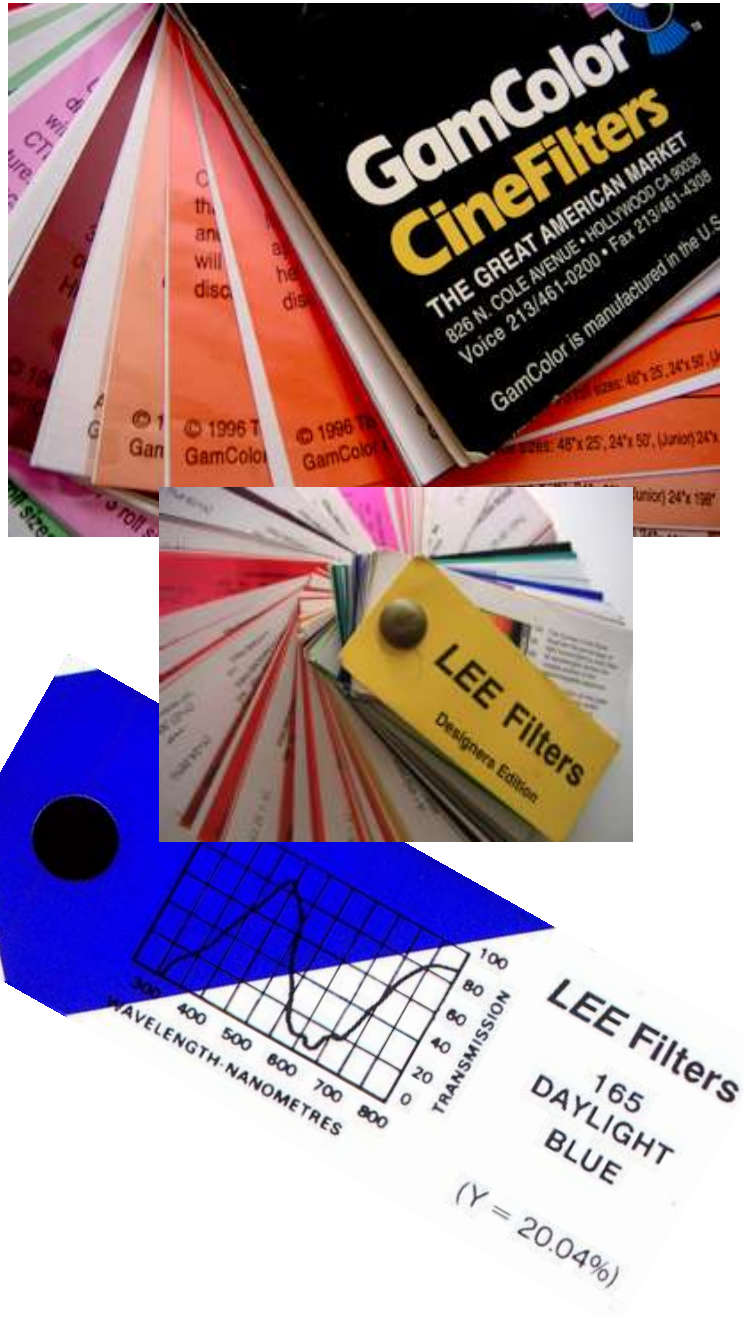
Les gélatines, l'absorption en lumière

Lorsque l'on feuillette un nuancier, on y trouve plusieurs informations :

1) **Le numéro de gélatine** :
   Mis à part Gamcolor, aucun fabricant n'a de classement logique. Les gélatines ont été très souvent numérotées en suivant l'ordre de fabrication.

2) **La transmission** : Notée «Y» ou «T», il s'agit d'un pourcentage de lumière traversant le filtre. Exemple : Y=30 indique que seulement 30% de lumière émise par le projecteur traverse le filtre.

3) **Le graphique** : Celui-ci représente le spectre de la couleur de la gélatine.



LA LUMIERE, aspect quantitatif

Les gélatines, l'absorption en lumière

Gélatines neutres ou combinées :

Type	*Rosco Cinegel n°*	*Différence MIRED*	*Lee n°*	*Différence MIRED*	*GAM n°*	*Exemples de différence température de Couleur (K)*	*Ecart exprimé en (I.L.)*
.15 ND	3415	0	298	0	1514	0	1/2
.3 ND	3402	0	209	0	1515	0	1
.6 ND	3403	0	210	0	1516	0	2
.9 ND	3404	0	211	0	1517	0	3
1.2 ND	-	-	299	0	1518	0	4
CTO .3 ND	3405	+131	207	+159	1556	5 500 à 3200	1 + 2/3
CTO .6 ND	3406	+ 131	208	+ 159	1557	5 500 à 3200	2 + 2/3
CTO .9 ND	-	-	-	-	1558	5 500 à 3200	3 + 2/3

LA LUMIERE, aspect quantitatif

La densité photométrique d'un filtre

Vous connaissez la densité du filtre…

Opacité = $10^{Densité,}$ *sa transparence = inverse de l'opacité.*

Ecart (exprimée en I.L.) = log (10 ^{Densité}) *base 2*

Densité *Log(O) base 10*	**Opacité** (facteur exposition) *10^D*	**Transparence** 1/Opacité	**Ecart (I.L.)** *log(O) base2*
0,15	1,41	0,71	0,5
0,20	1,58	0,63	0,66
0,25	1,78	0,56	0,83
0,3	**2**	**1/2**	**1**
0,6	4	1/4	2
0,9	8	1/8	3
1,2	16	1/16	4
1,8	64	1/64	6

Excel : log(10^Densité;2)

Ecart exprimé en (I.L.) *log(O) base2*	**O** (facteur exposition) *2^Absorption*	**D** *Log(O) base 10*
0,33	1,26	0,10
0,5	1,41	0,15
0,66	1,58	0,20
0,83	1,78	0,25
1	**2**	**0,3**

La densité photométrique d'un filtre

ND :
Neutral Density

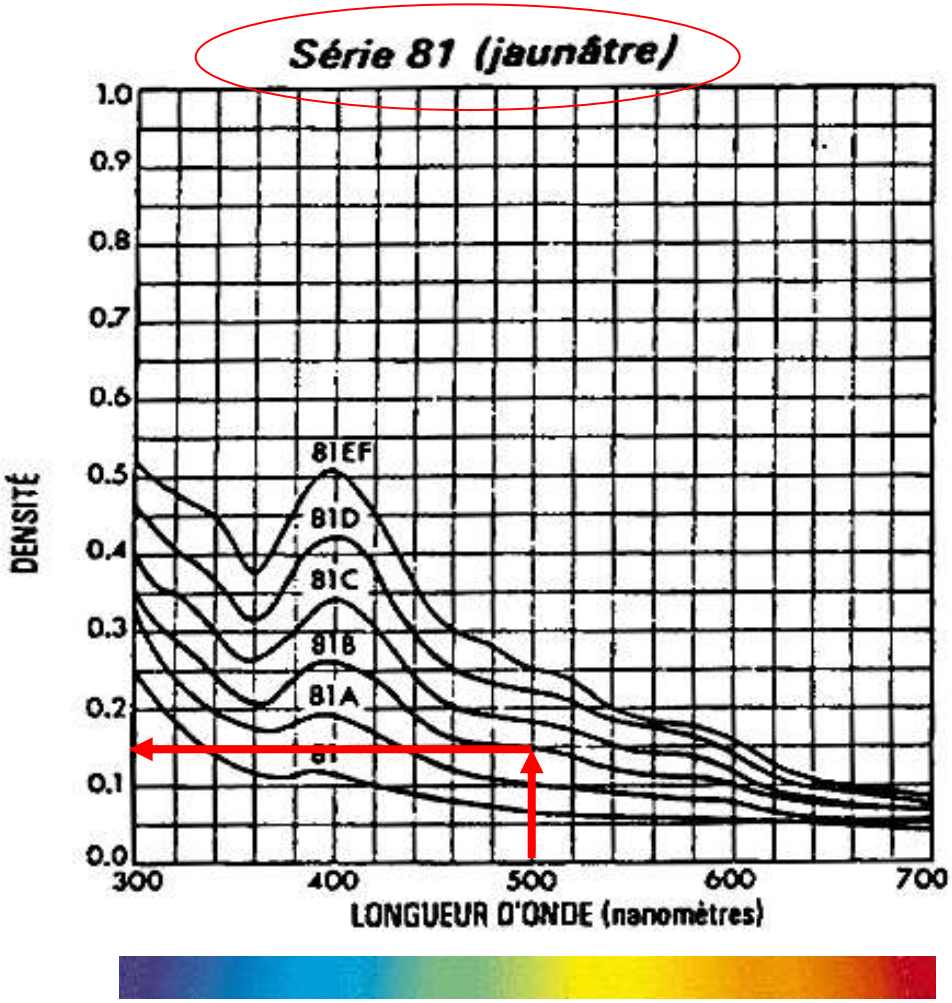
Les filtres neutres permettent de réduire l'intensité lumineuse en proportion précise et connue

Ecart (IL) = D / Log(2)
avec Log(2) = 0,3
Changement de base:
$log_b(O)=log_a(O)/log_a b$

Transparence	**0,71**	0,63	**1/2**	0,4	**1/4**	0,16	**1/8**	**1/16**	1/25	**1/64**	1/100
Densité	**0.15**	0.2	**0.3**	0.4	**0.6**	0.8	**0.9**	**1.2**	1.4	**1,8**	2
Ecart exprimé en (IL)	**1/2**	2/3	**1**	1 1/3	**2**	2 2/3	**3**	**4**	4 2/3	**6**	6 2/3

La densité photométrique d'un filtre

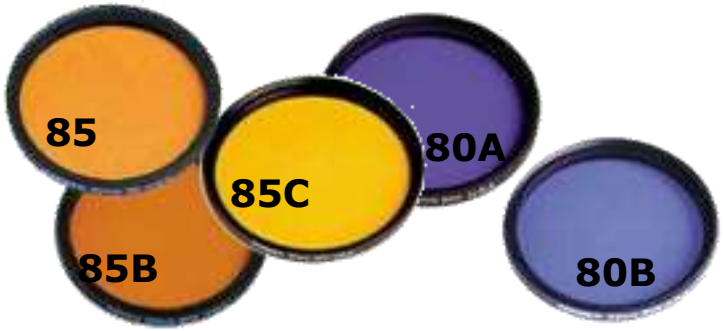
Courbe de transmission ou densité du filtre pour une longueur d'onde donnée.



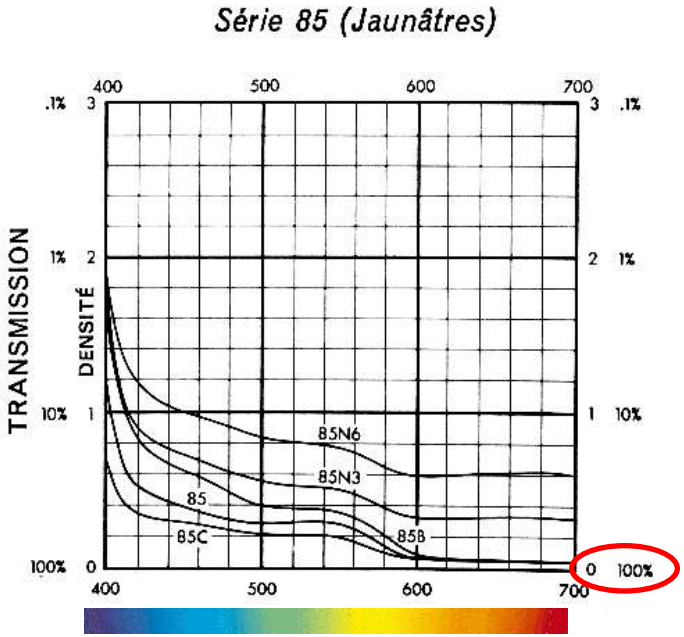
*Dans cet exemple, le filtre Kodak Wratten **81B** a une densité de **0,15** pour la longueur d'onde **500 nm.** Pour cette même longueur d'onde, le filtre 81A a une densité de 0,10.*

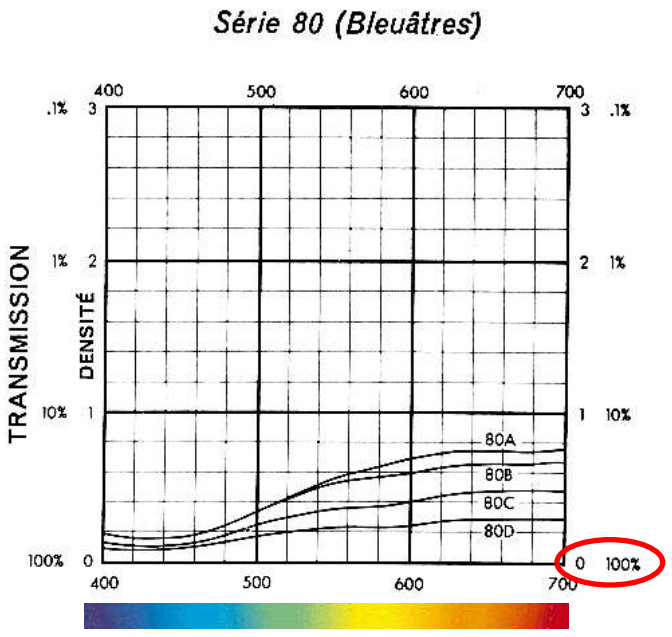
LA LUMIERE, aspect quantitatif

La densité photométrique d'un filtre



Courbe de transmission ou densité du filtre pour une longueur d'onde donnée.





Ces courbes permettent de se rendre compte de la transmission d'un filtre en fonction de la longueur d'onde, et leur forme générale donne du premier coup d'œil une idée d'ensemble de chaque filtre.

Le barillet de filtres sur les caméras vidéo

Sur la plupart des caméras vidéo, le barillet de filtre est noté :

3 200 : absence de filtre correcteur (présence d'un filtre UV).

5 600 ND1/16 : Filtre correcteur (85B) associé à un filtre neutre transmettant 1/16^{e} de la lumière (Opacité 16, Densité 1,2).
Sachant que les densités s'additionnent et que le filtre 85B a une densité de 0,2, la densité du filtre 5 600 1/16^{e} sera 1,2 + 0,2 = 1,4.
Pour compenser la présence de ce filtre combiné, l'opérateur doit ouvrir le diaphragme de 4 + 2/3.

5 600 : Filtre 85B donc densité de 0,2, correspondant à 2/3 diaphragme.

5 600 ND1/64 : Filtre correcteur 85B + filtre neutre d'opacité 64.
La densité totale de ce filtre sera 0,2 + 1,8 soit 2.
Écart en diaphragme : 6 +2/3.

Le barillet de filtres sur les caméras vidéo

*Calculer les écarts de diaphragme en s'aidant des **valeurs de densité** est **universel**. Tous les opérateurs du monde le font (souvent mentalement). Les fabricants de filtres et gélatines donnent les valeurs en densités, les loueurs de caméra louent des séries de « densités neutres », les ND. C'est la raison pour laquelle il faut s'habituer très tôt à utiliser cette méthode « universelle ».*

Sony, qui n'avait pas la culture « audiovisuelle », a noté sur ses barillets les valeurs en transparence (1/4, 1/16, 1/64). Cela a pu paraître curieux mais il a fallu s'y habituer même si cela est moins pratique. Il s'en suit que l'on peut retenir une autre méthode pour calculer un diaphragme lorsque l'on positionne une ND sur la caméra:

τ étant la transmission du filtre, en prenant N_1 pour le diaphragme « nominal », le diaphragme affiché sur l'objectif N_2 sera égal à :

$$N_2 = \sqrt{(N_1^2 \times \tau)}$$

A vos calculettes, ce calcul étant difficile à faire mentalement sur un plateau !

Les filtres de la Betacam numérique

La Betacam numérique possède deux barillets de filtres, concentriques :
Le bouton de filtres intérieur est dévolu aux **densités neutres.**
Le bouton de filtres extérieur est dévolu à la **température de couleur.**

Barillet intérieur			
1	**2**	**3**	**4**
Clear	**1/4 ND**	**1/16 ND**	**1/64 ND**
Barillet extérieur			
A	**B**	**C**	**D**
3200 K + star	**3200 K**	**4300 K**	**6300 K**

Les balances de blancs A et B ne sont liées qu'au barillet de filtres température de couleur et le barillet de densités neutres peut-être utilisé à loisir pour diminuer la profondeur de champ.

- La position lumière artificielle est la position B du filtre T.C..
- La position C est très utile pour des mélanges tungstène / jour et pour les températures de couleur intermédiaires.
- La position D est la position lumière du jour.
- La position A du filtre est une position 3200 K *plus filtre étoilé*.

Pour les utilisateurs habitués à la position 1 du filtre sur 3200K, attention à la position A du filtre de TC qui est la position 3200K+star, car dans beaucoup de cas l'effet "star" ne se distingue pas vraiment... jusqu'à ce qu'un haute lumière entre dans le champ !

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

L'exposition lumineuse (*anciennement lumination*)

Pour le capteur, c'est l'exposition lumineuse (H) qui importe et non l'éclairement E.

Définition :
L'exposition lumineuse est le produit de l'éclairement reçu par le capteur par le temps d'exposition.

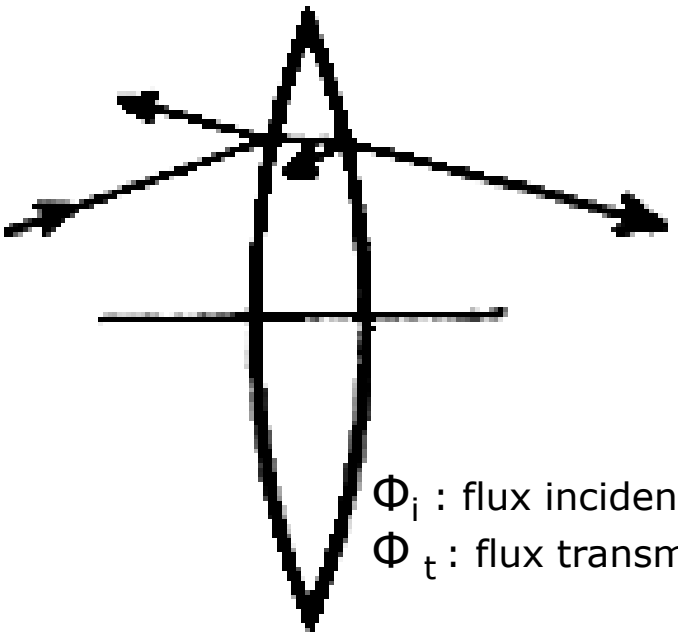
$$\boxed{H = E \times t}$$

Dans le système international, l'unité est le lux seconde (lx.s)

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Le coefficient de transmission



Le flux qui sort de l'instrument est inférieur au flux qui entre, même pour un point objet situé dans le champ de pleine lumière. Les pertes sont dues à deux causes

1) Il y a des pertes de lumière **par réflexion parasite** sur les dioptres d'entrée et de sortie des lentilles. Des couches anti-reflets déposées sur ces dioptres permettent de réduire ces pertes.

2) Il y a des pertes par **absorption dans le verre** des lentilles.

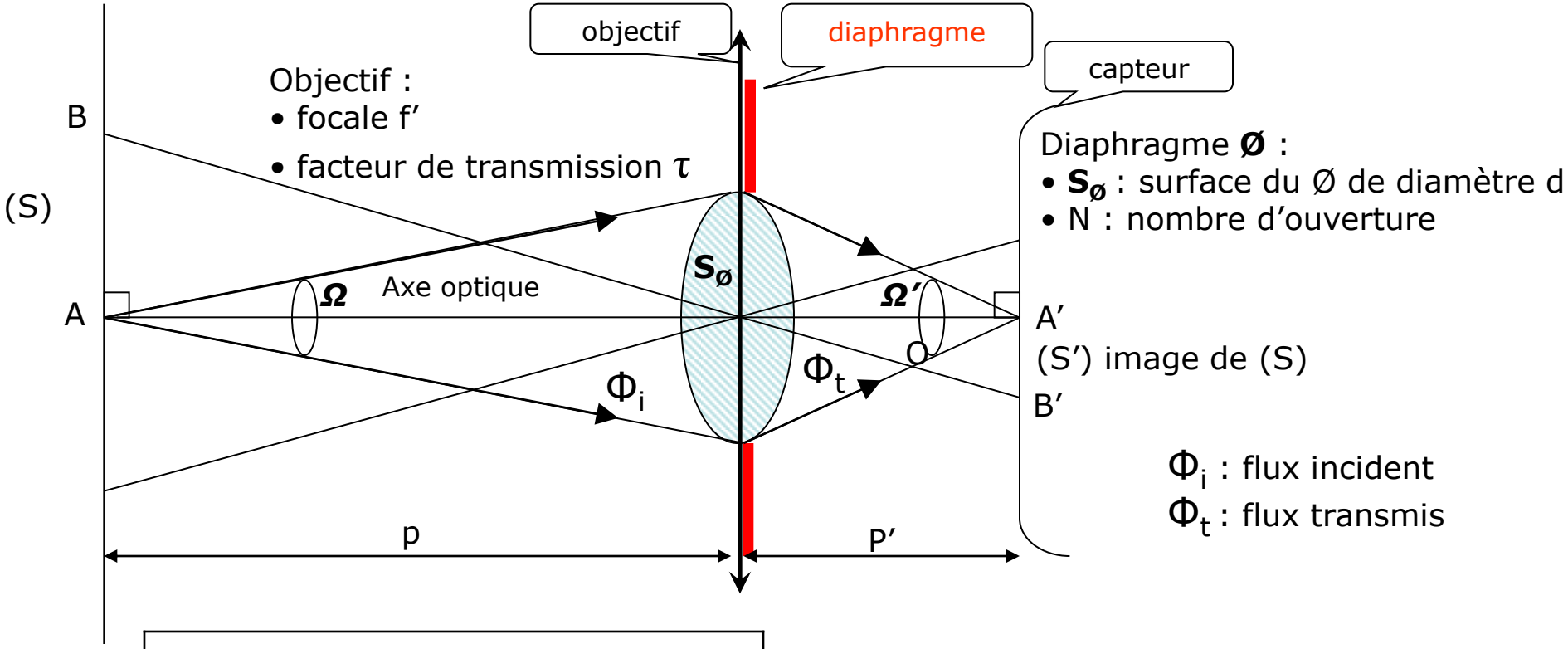
Le rapport τ du flux transmis Φ_t au flux incident Φ_i s'appelle **coefficient de transmission** de l'instrument. Pour une lentille mince non traitée, τ est de l'ordre de 0,9; donc, si l'instrument possède n lentilles, l'ordre de grandeur de son coefficient de transmission τ sera : $\tau \approx (0,9)^n$

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Formule de transfert – « Clarté » des appareils

Quelle est la relation entre l'éclairement du capteur et la luminance de l'objet ?



$$E_{A'} = \tau \times \frac{\pi}{4} \times \frac{L}{N^2} \times \frac{f'^2}{p'^2}$$

En général :
$|p| > 100\ f' \Rightarrow p \approx f'$

$$E_{A'} = \tau \times \frac{\pi}{4} \times \frac{L}{N^2}$$

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éclairement et exposition

Correspondance entre la **sensibilité du capteur** (S exprimée en ISO), **l'éclairement du sujet** (E exprimé en lux), **l'ouverture du diaphragme** (N) et **le temps d'exposition**.

On utilise la relation empirique :

$$S = (250 \times N^2) / (E \times t)$$

Pour une vitesse d'obturation de 1/50 sec :

ISO \ N / E	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16
50	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000
100	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000
200	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
400	64	125	250	500	1000	2000	4000	8000
800	32	64	125	250	500	1000	2000	4000

Valeurs d'éclairement pour un diaphragme donné en fonction de la sensibilité.

Les valeurs "idéales" d'éclairement en studio se situent, pour le cinéma comme pour la vidéo, entre 500 et 1000 lux.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Note sur la sensibilité apparente en modifiant le gain d'une caméra vidéo

En tension ou courant
Le dB est 20 fois le logarithme base 10 du rapport des tensions Us/Ue ou des courants Is/Ie.

$$dB = 20 \log_{(10)} \frac{Is}{Ie}$$

3dB correspondent à un rapport de 1,41 (racine de 2) en tension/courant.
La valeur Is indique le courant de sortie, la valeur Ie représente la valeur d'entrée.

Et l'opération inverse pour déterminer le rapport connaissant la valeur en dB ?
$R = 10^{(dB/20)}$ (avec 12dB, $R=10^{(12/20)} = 4$, on quadruple la sensibilité apparente)

En vidéo, on "gagne" l'équivalent d'une division de diaphragme de l'objectif à chaque fois que l'on augmente le gain de 6 dB.

Voici les indices d'exposition fournis par Sony pour les différentes valeurs du gain, en ce qui concerne la Betacam numérique

-3dB	0 dB	+3dB	+6dB	+9dB	+12dB	+15dB	+18dB
280 EI	400 EI	560 EI	800 EI	1120 EI	1600 EI	2250 EI	3200 EI

EI : Exposure index

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Étalons photométriques

L'étalon primaire, qui sert à définir l'unité d'intensité lumineuse, fut constitué à l'origine par des bougies, puis par des lampes à flamme, telles que la lampe à huile de Carcel, puis par des lampes électriques à incandescence ;

C'est aujourd'hui un « corps noir » (enceinte à température uniforme, percée d'une très petite ouverture).

La recherche d'une précision accrue a ainsi conduit à la définition actuelle de la candela (nom donné à l'ancienne bougie, dans un but d'unification internationale) : c'est la soixantième partie de l'intensité, en direction normale, d'un centimètre carré de corps noir à la température de solidification du platine (1 773 °C).

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Éléments de photométrie

Étalons photométriques

Les étalons secondaires usuels, calibrés par comparaison directe ou indirecte avec l'étalon primaire, sont des lampes dont le filament de carbone ou de tungstène est situé dans le vide ; la couleur des premières est voisine de celle du corps noir (platine), les secondes se rapprochant davantage de nos sources d'éclairage habituelles. Le filament de ces lampes est disposé dans un plan : on oriente celui-ci normalement à la direction d'utilisation.

Ces lampes sont « formées » après quelques dizaines d'heures de fonctionnement. Si on règle la tension d'alimentation à quelques dix millièmes près, l'intensité lumineuse est stable à quelques millièmes près.

Au bout d'une centaine d'heures d'utilisation, la volatilisation du carbone ou du tungstène qui se dépose sur la paroi rend celle-ci plus absorbante, et, la résistance électrique augmentant, la lampe devient inutilisable pour des mesures précises.

LA LUMIERE, aspect quantitatif

Les unités photomètriques visuelles (ou lumineuses)

Unité d'intensité : la puissance lumineuse d'une lampe est caractérisée par son intensité qui est mesurée en CANDELAS.
Un corps noir chauffé à la température de fusion du platine (1 773°C) émet par centimètre carré d'ouverture 60 candelas.

Unité de quantité : l'intensité d'une source n'étant pas la même dans toutes les directions, on préférera indiquer la quantité de lumière transportée dans un flux lumineux. Cette quantité s'exprimera en LUMENS

Unité d'éclairement : l'éclairement reçu par une surface d'un mètre carré éclairée par un lumen vaut un LUX.
Remarque : Dans les mesures anglo-saxonnes, l'éclairement est défini non plus par le lux mais par le FOOT-CANDLE (=10,75 lux)

Unité de luminance : l'unité utilisée est le STILB qui est la luminance résultant d'une intensité lumineuse d'une candela par cm^2, ou le NIT, candela par m^2.
Le pouvoir réflecteur ou ALBEDO est le rapport du flux lumineux total renvoyé par une surface au flux lumineux qu'elle reçoit. On l'exprime soit de 0 à 1 soit en %.

Unité d'exposition lumineuse : l'exposition lumineuse (anciennement lumination) est la quantité d'éclairement reçue par une couche sensible photographique, c'est à dire le produit de l'éclairement par la durée d'exposition.
L= E x T . L'exposition lumineuse s'exprime en LUX-SECONDE.

Unité de transparence : un filtre absorbe une certaine quantité de lumière. Le rapport lumière transmise / lumière incidente est la transmission (ou transparence) Elle s'exprime entre 0 et 1 (ex.0,5) ou en % (ex.50%)

Unité d'opacité : l'opacité en un point donné est l'inverse de la transparence.
O = 1/T = Fi / Ft . Les valeurs de l'opacité seront comprises entre 1 et l'infini.

Unité de densité : les opacités sont représentées par des nombres croissant en progression géométrique. Elles deviennent difficilement maniables pour les valeurs élevées. On lui préférera le logarithme décimal appelé aussi densité.
$D = \mathrm{Log}_{10}$ Opacité

Correspondance des termes anglo-saxons

Anglais	Français	Symboles	Unités
Luminous intensity	Intensite lumineuse	I_v	cd
Luminous flux	Flux lumineux	Φ_v	lm
Luminous energy	Energie lumineuse	Q_v	lm.s
Luminance	Luminance lumineuse, luminance visuelle	L_v	cd/m^2, nit
Luminous *emittance*, exitance	Exitance, *émittance* lumineuse	M_v	lm/m^2
Illuminance	Eclairement lumineux	E_v	lx
Luminous (light) exposure	Exposition lumineuse, *Lumination*	H_v	lx.s

En italique : anciennes dénominations

Grandeurs et unités

Noms et symboles	Définitions	Ce que cela représente	Unités photométriques	Autres unités	Unités énergétiques
Intensité Iv	**Définie à partir du W / sr**	La « luminosité » d'une source ponctuelle	Système S.I. candela (cd)	—	Système S.I. W / sr
Flux Φ_V	$\Phi_V = I_V \times \Omega$	Energie lumineuse transportée en 1 s par un faisceau	lumen (lm)	Pour passer des lm aux W, on utilise kλ, kλ : efficacité lumineuse du rayonnement	Watt (W)
Eclairement E	$E = \Phi_V / S$	Flux lumineux reçu par la surface unité ($1m^2$)	lux (lx)	1 phot = 1 lm / cm^2 = 10^4 lx 1 foot candle = 1 lm / $pied^2$ = 10,76 lux ≈ 10 lux	W / m^2
Luminance L	$L = I_V / (S \times \cos\theta)$	La « luminosité » d'une surface ou d'une source étendue (non ponctuelle)	cd/m^2	1 nit = 1 cd / m^2 1 stilb = 1 cd / cm^2 = 10^4 cd / m^2 Voir également « exitance »	W / sr.m^2 ou $W.sr^{-1}.m^{-2}$
Exitance (ex radiance et émittance) M	$M = \Phi_V / S$	Flux émis par la surface unité, dans tout le demi-espace ($\Omega = 2\pi$ sr)	lm/m^2	Autres unités de luminance : Si la source (secondaire) suit la loi de Lambert (source parfaitement diffusante – luminance constante dans toutes les directions) $M = \rho \times E = \pi \times L$ ρ= facteur de réflexion) Si, de plus, elle est parfaitement réfléchissante : ρ = 100% = 1 alors : L = E / π E = 1 lx ◊ L = 1 blondel = 1 apostilb = 0,318 cd/m^2 E = 1 foot –candle ◊ L = 1 foot-Lambert = 3,42 cd/m^2	
Exposition lumineuse (ex lumination) H	$H = E \times t$	Flux lumineux reçu par 1 m^2 pendant un temps t	lux.seconde (lx.s)		
Angle solide Ω	$\Omega = (S \times \cos\theta) / d^2$	L'ouverture d'un cône de forme quelconque	stéradian (sr)		

LE LEXIQUE DE LA LUMIERE

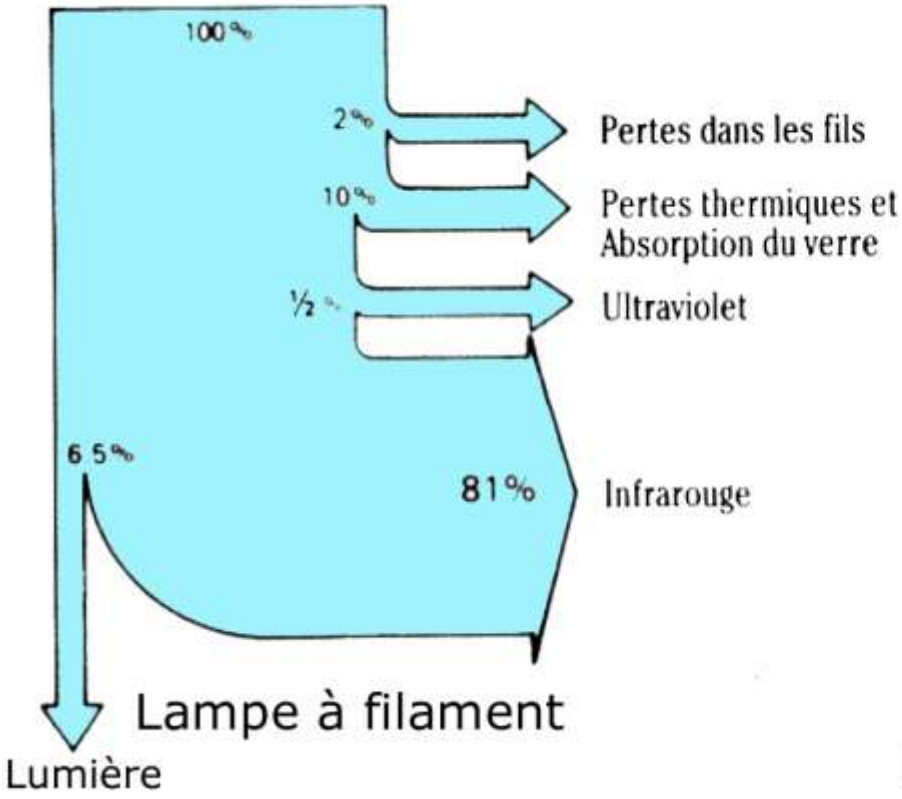
La fréquence indique le nombre de cycles de radiation par seconde et s'exprime en Hertz (Hz)
La longueur d'onde est la distance qui sépare deux ondes consécutives et s'exprime en nanomètres (nm = 10^{-9} m)
Le flux lumineux (F) exprime en lumens (lm) la quantité de lumière émise à la tension nominale de fonctionnement.
La puissance absorbée (P) mesure en watts (W) la quantité d'énergie consommée par la lampe et son appareillage.
L'efficacité lumineuse indique le rapport en lumens-watt (lm/W) entre le flux lumineux et la puissance absorbée.
L'angle de rayonnement est l'angle solide formé par un réflecteur qui dirige la lumière dans une direction ;
L'intensité lumineuse (I), exprimée en candela (cd), est la densité de flux lumineux projeté dans une direction donnée. Elle résulte du flux lumineux de la lampe et de l'angle de rayonnement ;
L'éclairement (E), mesuré en lux est le flux lumineux moyen reçu par une surface déterminée située à une certaine distance de la source.
Le facteur de réflexion est le rapport entre le flux lumineux réfléchi et le flux lumineux incident ;
La luminance (L) se mesure par candela au mètre ou au centimètre carré (cd/m², ou cd/cm²) et indique l'intensité lumineuse produite ou réfléchie par une surface donnée.

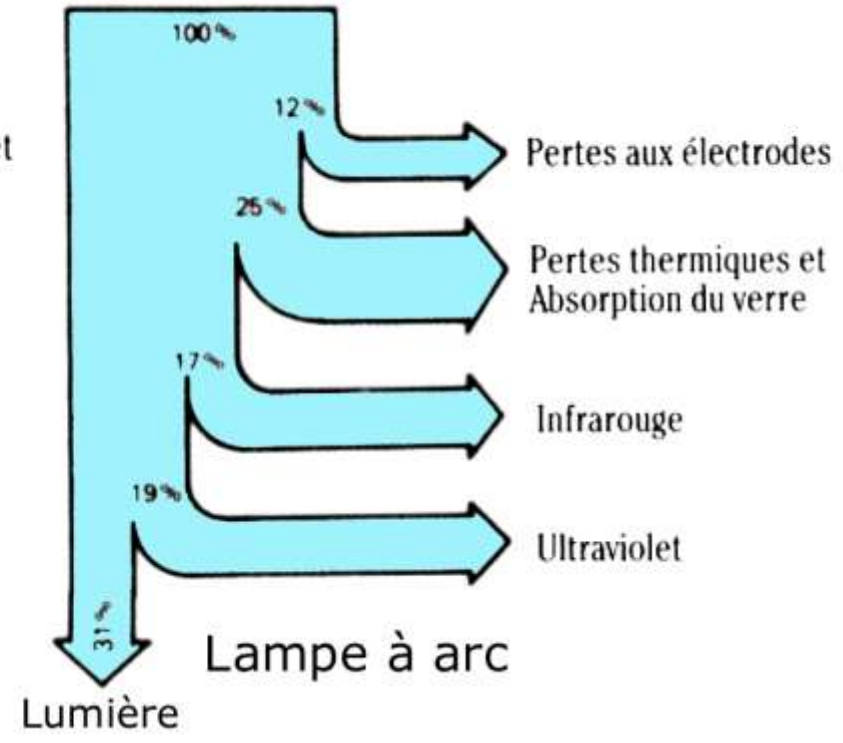
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Puissance et quantité lumineuse

Puissance

L'énergie électrique qui anime la lampe se mesure en **watts**.

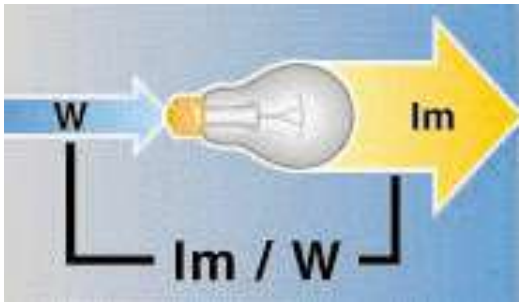


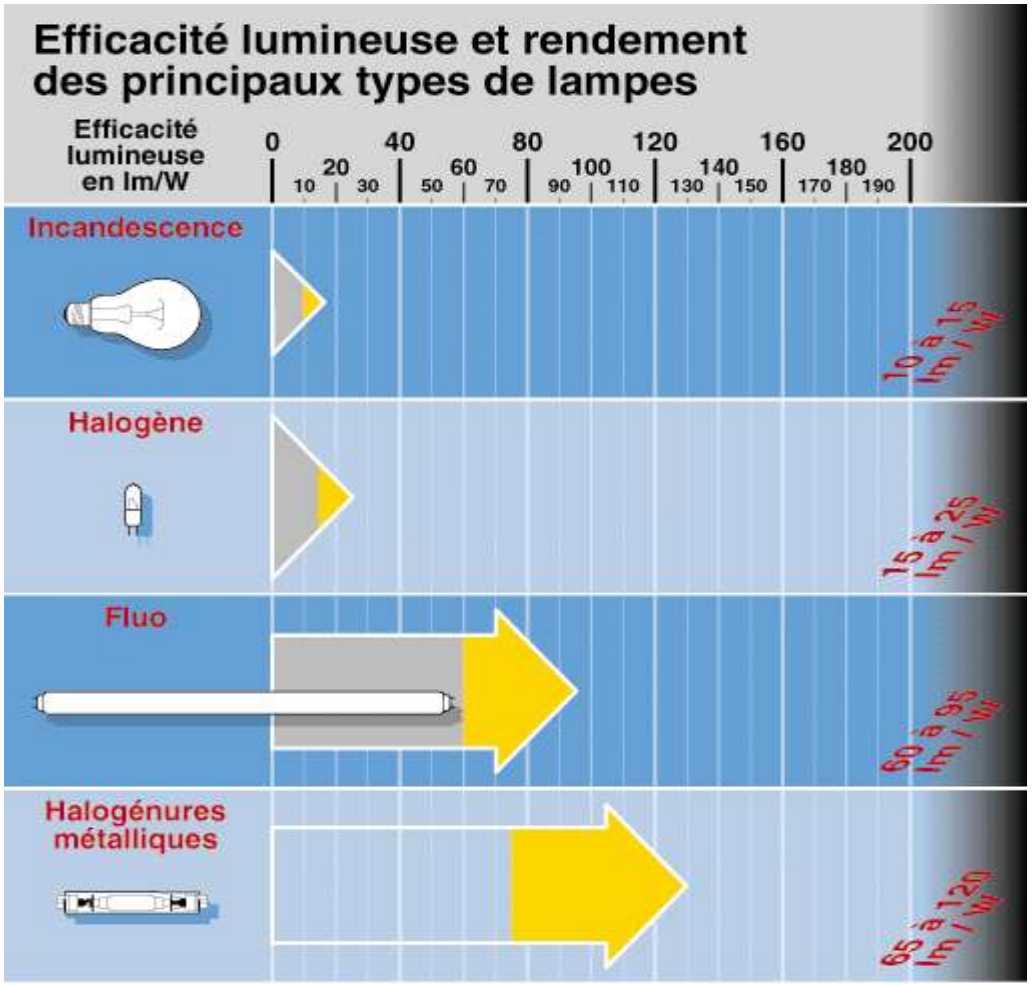


LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Efficacité lumineuse et Rendement

Une comparaison entre les watts électriques fournis et les lumens obtenus donnera une idée de **rendement lumineux**.



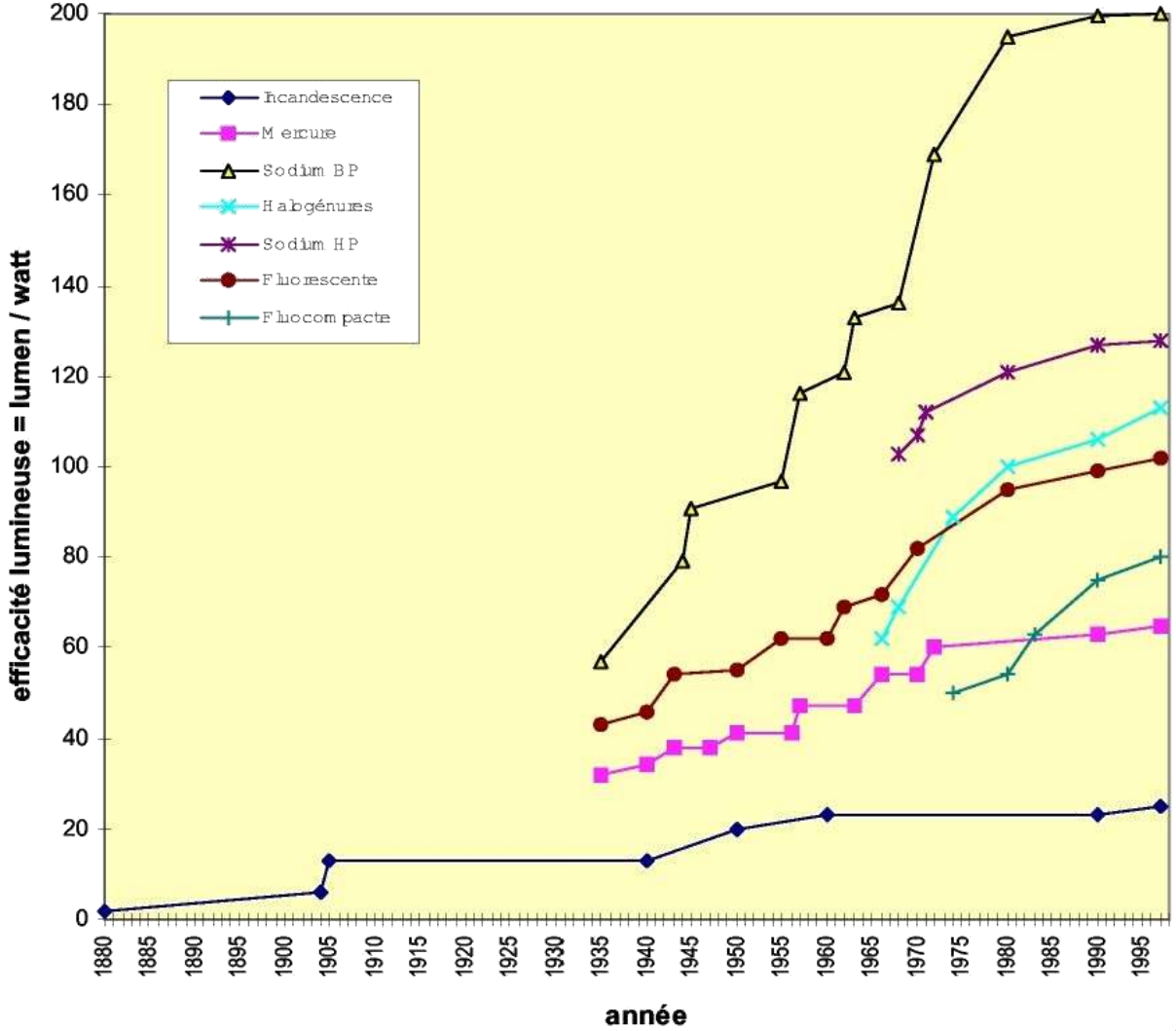


Définition de l'efficacité lumineuse d'une lampe :
rendement de la conversion de l'énergie électrique en énergie lumineuse

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Efficacité lumineuse et Rendement

Amélioration de l'efficacité lumineuse des divers types de lampes d'éclairage général

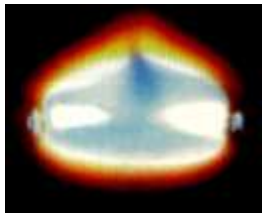


LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Classification des sources lumineuses

De façon générale, il est possible de distinguer les ***sources thermiques***, dans lesquelles la radiation lumineuse résulte de la température élevée d'un corps, et les sources basées sur l'existence ***d'une décharge électrique dans un gaz***.

Dans la première catégorie, on retrouve les étoiles (le soleil en particulier), les flammes et les lampes à incandescence.

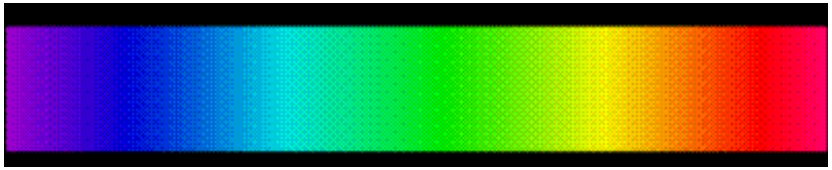


Dans la seconde figurent, notamment, les étincelles sous tension élevée et les tubes à décharge.

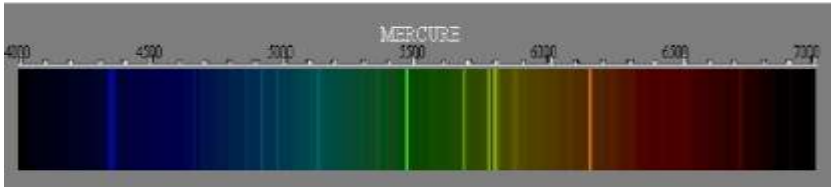
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Classification des sources lumineuses

Si l'on envisage la distribution d'intensité de la lumière émise, il est possible de distinguer, de manière académique, les ***sources continues*** **et les** ***sources discrètes***, selon que toutes les fréquences d'un domaine spectral déterminé sont émises ou seulement certaines d'entre elles.



Source continue



Source discrète (ou discontinue)

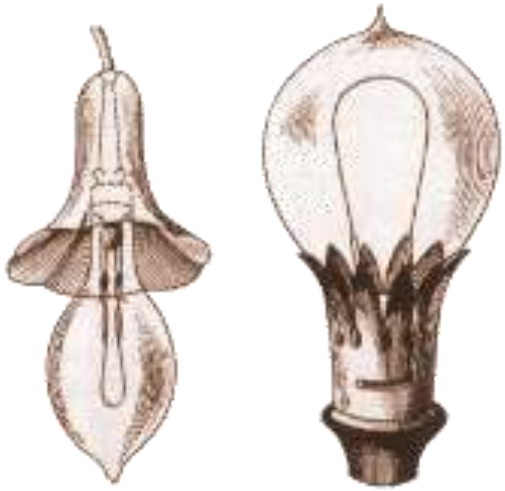
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à incandescence, principe physique

On a vu que tous les corps portés au-dessus du zéro absolu émettent un rayonnement électromagnétique. Pour obtenir une quantité de lumière (rayonnement électromagnétique) suffisante pour être perçue par l'oeil, la température doit être supérieure à 700 K.

Les corps portés au-dessus de 700 K sont dits *"incandescents"* d'où le nom de lampes à incandescence. Ils se combinent avec l'oxygène et ce, d'autant plus vite, que la température est élevée. Aux températures de l'incandescence, les métaux se volatilisent instantanément. Il faut donc soustraire les corps incandescents à l'action de l'oxygène et les placer dans une enceinte dans laquelle on fait le vide ou que l'on emplit de gaz inertes : azote, argon, krypton, xénon...

Bien entendu, cette enceinte doit transmettre la lumière, ce qui suggère immédiatement l'emploi de matériaux transparents tels que le verre ou le quartz.



Edison (1847 – 1931)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à incandescence

Le filament constitue l'âme de la lampe.
Il est toujours en tungstène
(*symbole chimique : W de Wolfram*).
La température de fusion du tungstène est de 3695 K (3422°C), ce qui permet d'atteindre des températures du filament élevées.
Cela explique pourquoi la température de couleur des lampes incandescentes en studio est limitée à 3 200K. Il est en effet impossible de fabriquer une lampe à incandescence à 5 500K ce qui aurait été idéal.
<u>En conséquence</u>, les caméras en studio (film et vidéo) ont des capteurs équilibrés pour une Tc de 3200K.

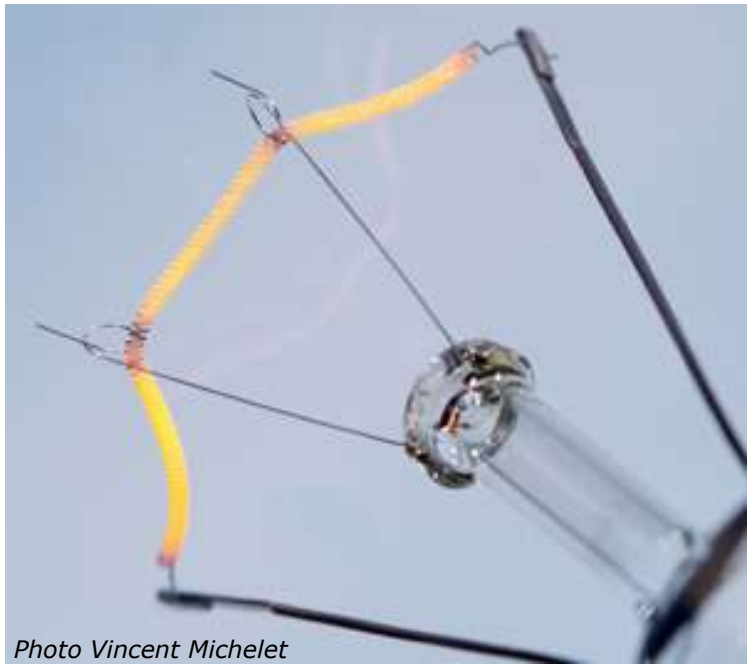


Photo Vincent Michelet

Pour augmenter la durée de vie des lampes, **en usage domestique**, la température est limitée. Par exemple, pour une lampe argon 100 W, 230 volts, 1 000 heures, la température du filament est d'environ 2700 K, ce qui correspond à **une Tc voisine de 2780 K**.

Lampes à incandescence

La résistance mécanique d'un filament de tungstène est très élevée, ce qui permet un étirage et un tréfilage très poussés puisqu'on peut obtenir des fils de quelques microns de diamètre. De plus, son taux d'évaporation à chaud est plus faible que celui du carbone utilisé dans les premières lampes.

Photo Vincent Michelet

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

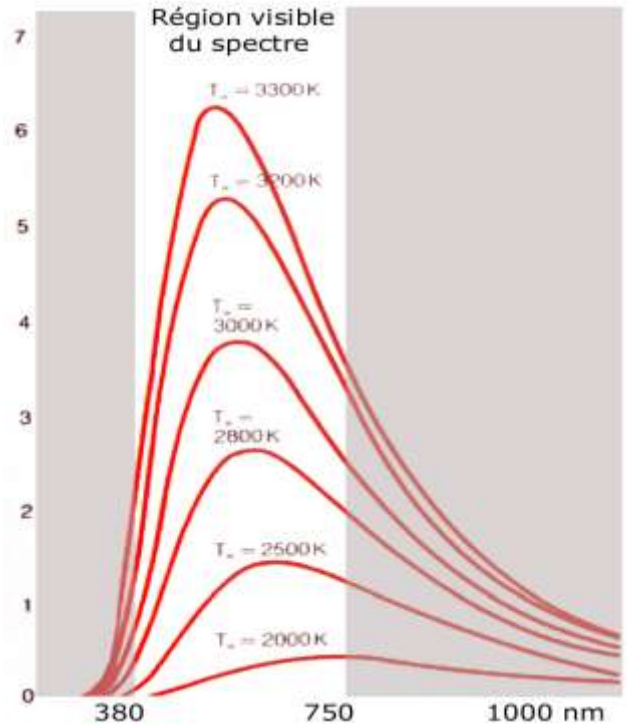
Lampes à incandescence : un filament, une ampoule.

Extrait du DVD EDF « Que la lumière fuse »

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à incandescence

La courbe de rayonnement du filament de tungstène diffère quelque peu de celle d'un corps noir. Le spectre est continu.



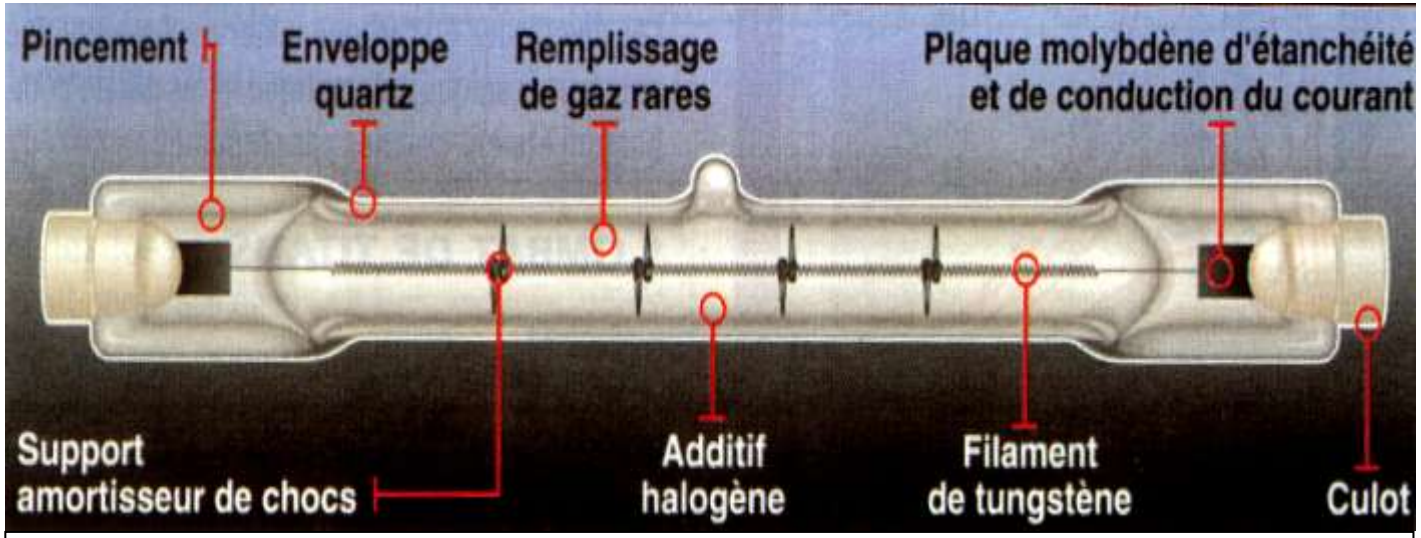
Échauffement du tungstène

Les lampes de studio ont toujours eu une température de couleur de 3200 K.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes « de type incandescent » **halogènes, lampes TH**

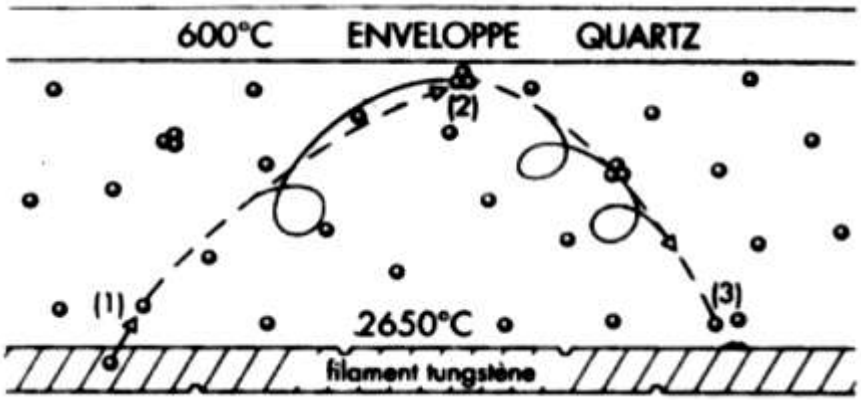
Les lampes à incandescence ont été considérablement améliorées par l'utilisation des halogènes pour le remplissage de l'ampoule. La vapeur d'iode, en particulier, permet d'éviter le noircissement du verre lié au dépôt de particules de tungstène.



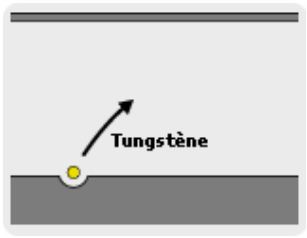
Structure d'une lampe halogène « crayon ».
En fonctionnement, le centre de l'ampoule atteint 600°C.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

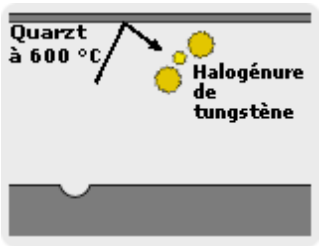
Lampes « de type incandescent » **halogènes, lampes TH**



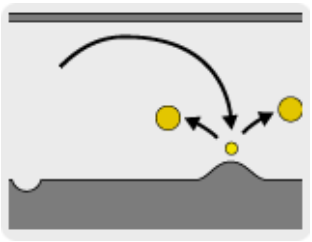
(1) Volatilisation d'un atome de tungstène du filament
(2) Combinaison tungstène - halogène au niveau de l'enveloppe quartz
(3) Dans la zone du filament, la molécule d'halogénure de tungstène se dissocie :
· En atome de tungstène qui se redépose sur le filament,
· En atome d'halogène, libéré, qui peut ainsi reprendre le cycle de l'halogène



(1)



(2)

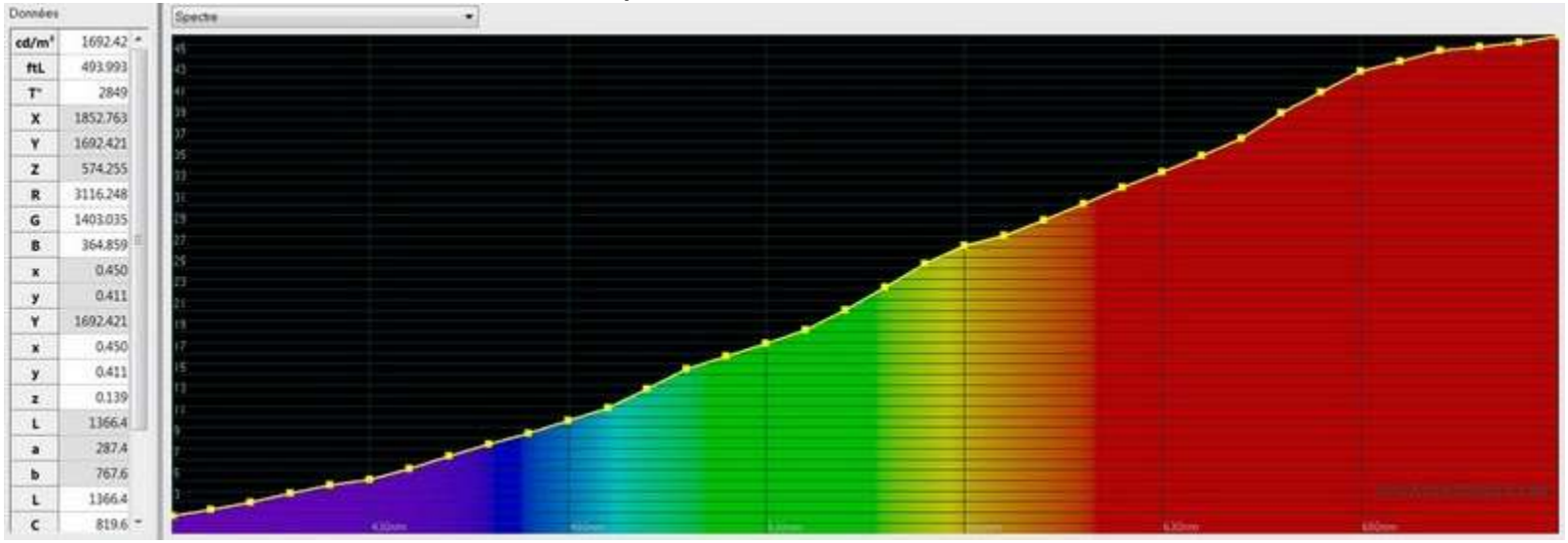


(3)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

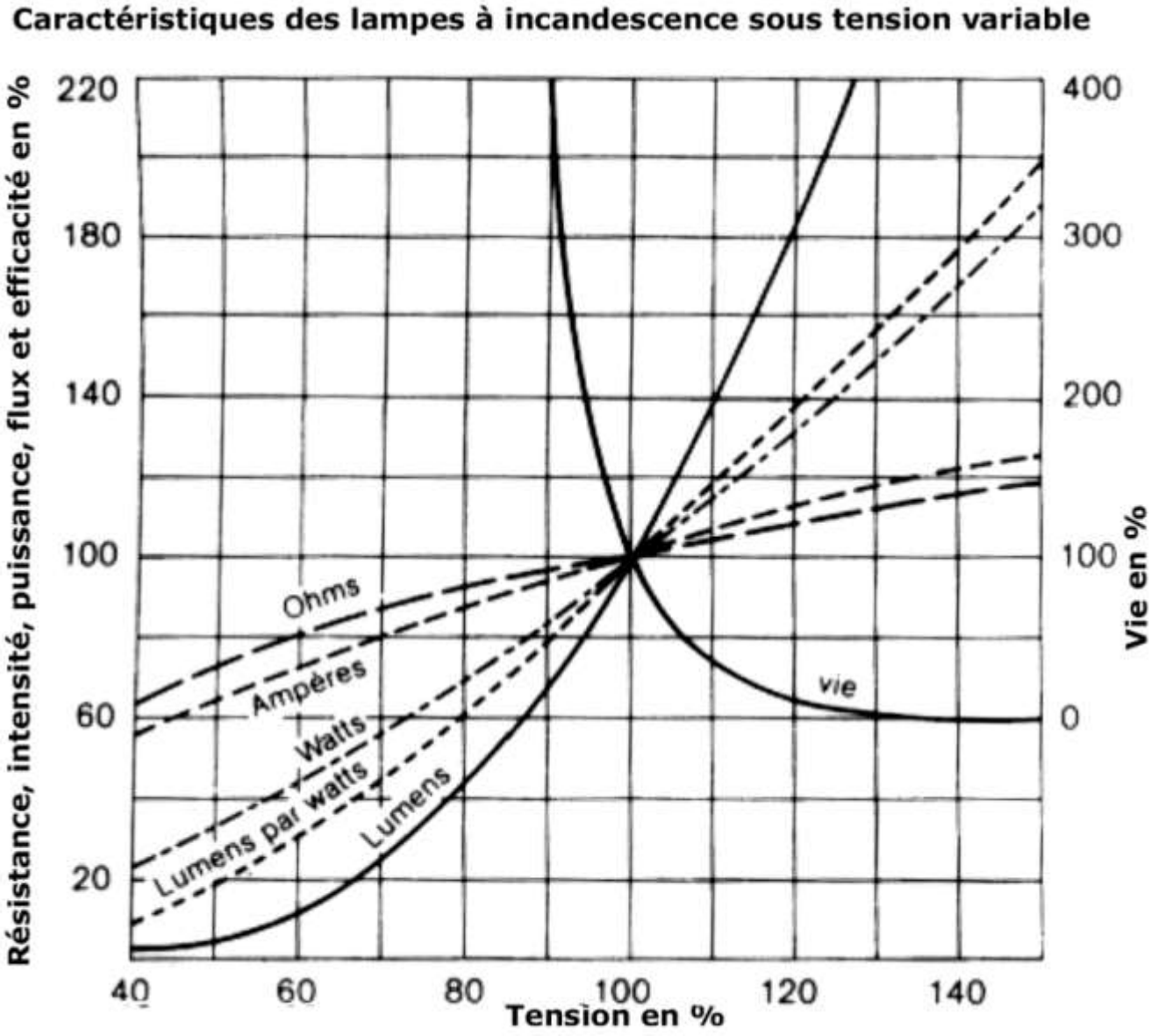
Lampes « de type incandescent » **halogènes, lampes TH**

Spectre Fresnel TH



Source : INA (décembre 2011)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE



LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Caractéristiques des lampes à incandescence sous tension variable

Si on **augmente la tension de 5%** (de 220V à 230V) :

- **La durée de vie est divisée par deux**
- Le flux augmente de 15 %
- La température de couleur passe de par exemple de 3 000 K à 3 050 K

A l'inverse, si on **diminue de 5% la tension** d'alimentation (de 220V à 210V) :

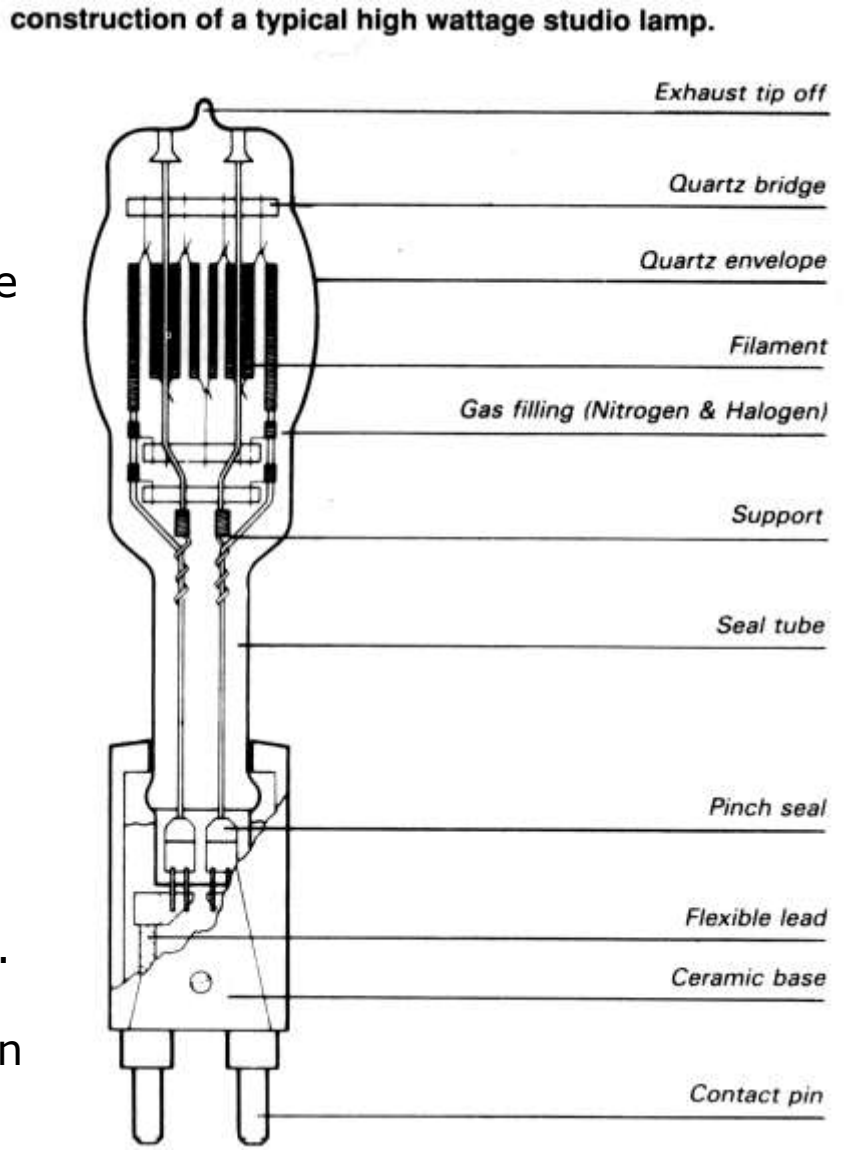
- **La durée de vie de la lampe est doublée** (un peu moins)
- Le flux diminue de 15 %
- La température de couleur passe de 3 000 K à 2 950 K

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Contraintes thermiques

Pour bien fonctionner, la lampe doit respecter quelques contraintes thermiques.
D'abord le cycle halogène ne fonctionne que si la paroi de quartz atteint au moins 250 °C, et cette paroi se dévitrifie si elle dépasse les 1 000 °C : en pratique la fourchette sera donc de 300-800 °C.

Pour les branchements, les broches de la lampe sont traitées pour assurer un contact franc avec la douille, mais ce traitement est détruit au-dessus de 350 °C. Les constructeurs indiquent donc des températures de fonctionnement, en particulier au culot. La valeur souvent rencontrée est de 250 °C, que l'on contrôle par ventilation ou évacuation par conducteur thermique des supports.



LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Consignes de sécurité, lampes TH aux halogénures

• Avant d'enlever ou de remplacer une lampe ou un fusible, **il faut déconnecter l'appareil de la prise de courant**.

• Dans certaines conditions tous les produits en verre ou en quartz peuvent se briser. Par mesure de sécurité, **montez la lampe en la prenant par le culot** et protégez vos yeux.

• **Ne touchez pas l'enveloppe de quartz avec les mains nues**. De l'huile ou de la graisse peuvent salir l'ampoule et être cause de performances réduites pendant la marche et d'une usure prématurée. Si par hasard vous touchez le quartz, il faut le nettoyer avant la mise en service avec un chiffon imbibé d'alcool.

• **Éviter un usage impropre de la lampe**, par exemple en la survoltant ou en la mettant dans un appareil qui n'est pas conçu pour **le type ou la puissance de la lampe**.

• En fonctionnement, la température de surface est élevée et **il faut permettre à la lampe de se refroidir avant de la changer**.

• **Les lampes** arrivées en fin de vie **devraient être brisées dans un récipient ou un emballage suffisamment solide pour en retenir les éclats**. Le gaz de remplissage contient une substance légèrement toxique et des quantités importantes de lampes ne devraient être brisées que **dans un endroit bien ventilé**.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Consignes de sécurité

Informations sur les fusibles à utiliser avec les lampes

Puissance de la lampe	**220-250 volts**
150 à 300 watts	2.0 amp.
420 watts	3.0 amp.
500 à 650 watts	4.0 amp.
750 watts	4.0 amp.
800 à 1250 watts	6.3 amp.
1500 watts	10.0 amp.
2000 watts	10.0 amp.
2500 watts	16.0 amp.
5000 watts	30.0 amp.
10000 watts	50.0 amp.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les arcs à charbon

L'arc électrique. - L'arc est produit par le passage du **courant** entre deux électrodes, ces dernières étant volatilisées et contribuant au processus ionique et à l'émission de lumière (contrairement au tube à décharge). Il s'agit d'une source extrêmement lumineuse.

L'excitation est essentiellement thermique, la température atteignant plusieurs milliers de degrés. Cette dernière dépend notamment de la tension appliquée et de la forme des électrodes.

Les solides portés à incandescence, par exemple les électrodes au carbone d'un arc électrique, émettent un spectre continu dont **la distribution d'intensité est approximativement celle d'un corps noir idéal** avec un maximum caractéristique.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les arcs à charbon

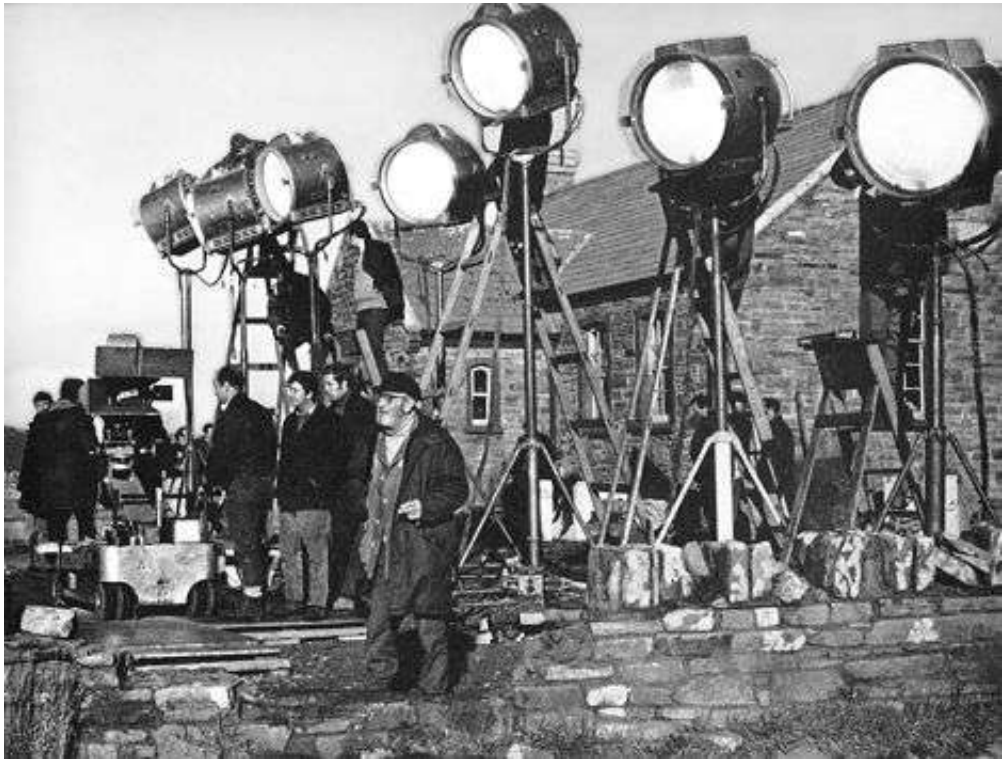
L'illumination de la marquise de ce cinéma de Toronto, en 1911

Cette lampe à arc de 1200 bougies témoigne de l'activité économique de Calgary, vers 1910.

On connaissait le système d'éclairage à arc, inventé en 1811 par Sir Humphrey *Davy, ce système composé de deux charbons traversés par un courant continu, créé un arc électrique très puissant d'une couleur proche* de la lumière naturelle du soleil.
Cette invention, d'abord faite pour les lampes de mineur, puis pour les lampes de phares marins (1862) fut évidemment vite utilisée pour les éclairages de cinéma.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les arcs à charbon



*Arcs en batterie sur **La Fille de Ryan** (Ryan's Daughter) réalisé par David Lean, sorti en 1970.*
Directeur photo : Freddie Young, BSC (1902 – 1998)

A partir de 1935, les arcs à charbon étaient utilisés dans des projecteurs munis de **lentilles de Fresnel** : les arcs 255 A (courant continu).

Ce type de projecteurs étaient appréciés des directeurs de la photo pour leur puissance et la qualité de la lumière fournie.

La température de couleur était de 5600K avec les charbons « White flame » et de 3200K avec les charbons « Yellow flamme ».

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

De l'arc à charbon à la lampe HMI

Extrait du DVD EDF « Que la lumière fuse »

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

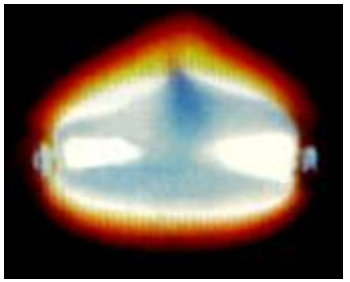
Lampes à décharge

Principe :

Par décharge électrique, on entend le passage d'un courant dans un gaz (argon, xénon, néon, etc.) ou dans une vapeur métallique (mercure, sodium, thallium, etc.).

Le terme décharge provient des premières expériences où le passage du courant était provoqué par la décharge d'un condensateur.

Le passage d'un courant électrique dans un gaz, ou une vapeur métallique, contenu dans un tube (ou une ampoule) permet d'observer la naissance de phénomènes lumineux. Ces phénomènes présentent des aspects extrêmement variés suivant la nature des constituants. Bien souvent, ces phénomènes varient même d'un point à l'autre du tube.



Aspect d'un arc HMI avec un centre blanc- bleuté et un tour plutôt rougeâtre.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

On assiste dans l'arc à trois phénomènes parallèles :

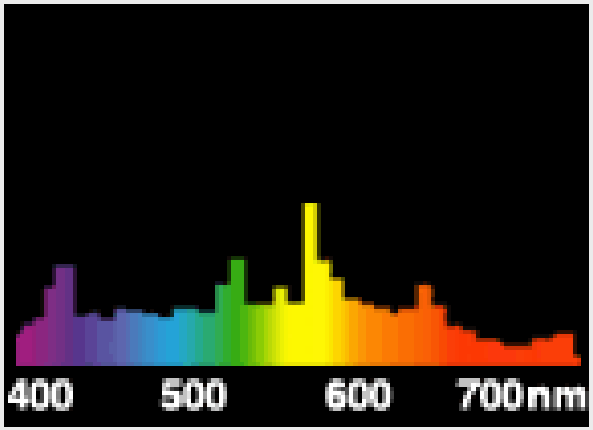
- Les électrons libres et les ions (atome ayant perdu des électrons, donc devenu positif) conduisent le courant électrique en se déplaçant très rapidement au sein de l'arc : leurs chocs entretiennent, voire augmentent encore la quantité d'ions et d'électrons…
  C'est la transformation de l'énergie électrique extérieure en énergie utilisable pour l'émission de lumière.

- Les électrons « excités » sont instables et reviennent à leur position naturelle en libérant l'énergie qui les avait excités sous forme d'un brin de lumière d'une longueur d'onde très précise : cela crée **des « raies »** dans le spectre de l'arc. De même pour un ion lorsqu'il récupère ses électrons manquants.

- Le gaz dans lequel se produit l'arc et les électrodes entre lesquelles il se produit sont fortement chauffés et émettent de la lumière avec un **spectre continu** exactement comme tout corps chauffé (dont les filaments étudiés précédemment).

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge



Le spectre d'un arc a un « fond » continu qui s'étend du haut ultraviolet aux infrarouges d'où émergent des pointes de très haute énergie à des fréquences très précises, parfois très serrées entre elles : les raies.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

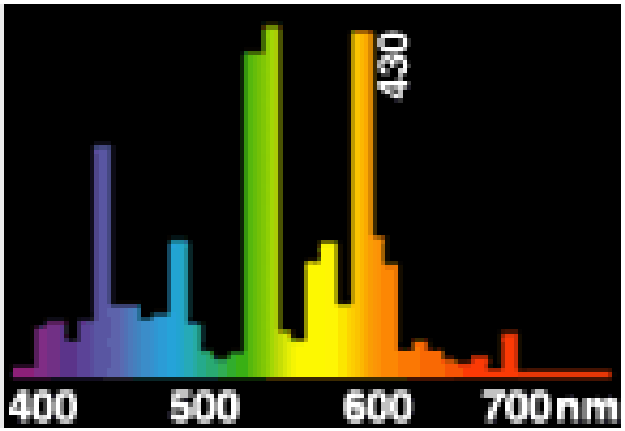
Lampes à décharge

Principe de la décharge :

La lumière ainsi émise ne contient pas toutes les radiations du rayonnement lumineux, mais un nombre limité de ces radiations.

Le spectre de cette lumière est un « spectre de raies ».

Ce spectre de raies est spécifique du gaz ou de la vapeur utilisée et sa composition permet d'identifier le gaz ou vapeur qui l'a produit.



On peut modifier la couleur de la lumière émise en modifiant la pression et la nature des vapeurs.
On introduit dans le même tube des gaz ou vapeurs différentes en les choisissant de telle sorte que l'addition de leur spectre donne une lumière acceptable.
On peut aussi modifier le spectre émis par l'adjonction d'une poudre fluorescente sur les parois de l'enceinte.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Technique des lampes à décharge :

Soit un tube vidé d'air mais rempli de gaz, ou d'une vapeur, sous une certaine pression et comportant des électrodes à chaque extrémité.

Si on applique aux bornes des électrodes une tension régulièrement croissante, pour une valeur dite tension d'amorçage, les gaz ou les vapeurs s'illuminent. L'arc qui jaillit entre les deux électrodes est à "résistance décroissante", c'est-à-dire que la résistance du milieu gazeux diminue lorsque l'intensité augmente, alors que dans la plupart des corps métalliques, au contraire, la résistance augmente lorsque la résistance est "positive".

Tube au Xénon

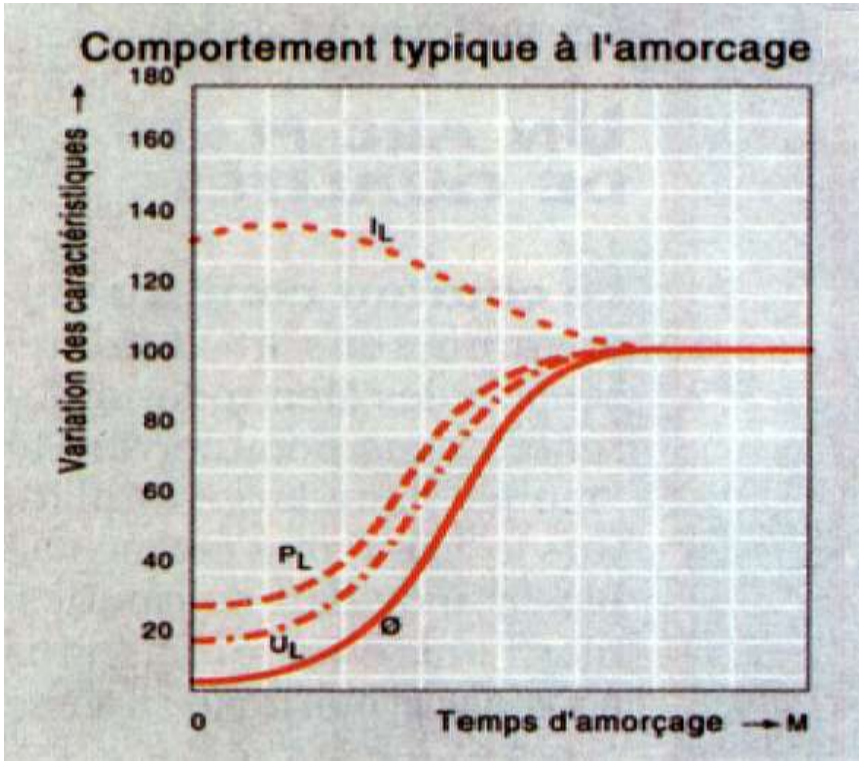
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Technique des lampes à décharge :

La résistance de l'atmosphère de la lampe avant l'allumage est très grande. Cette résistance diminue très vite lorsque la décharge s'établit. Il s'ensuit que l'intensité électrique augmente au fur et à mesure que la lampe fonctionne et atteint rapidement des valeurs qui détruisent la lampe.

IL faut donc prévoir des dispositifs qui permettent l'amorçage de la lampe et maintenir la stabilisation du courant à une valeur convenable.



Le flux « Phi » prend sa valeur en 2 minutes. En même temps le courant I diminue tandis que la tension de lampe U augmente

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Technique des lampes à décharge :

Il est nécessaire de limiter l'intensité dans le tube pour en éviter la destruction. Il faut donc intercaler dans le circuit d'alimentation du tube, une résistance "positive" dont la valeur augmente avec l'intensité.

Dans la pratique, les lampes à décharge sont alimentées en courant alternatif et la résistance (impédance en courant alternatif) est alors appelée "ballast" qui peut être de type ferromagnétique ou électronique, ce dernier permettant également, dans certains cas, la gradation de la lumière.

Lampes à décharge

Le ballast

Définition
Un ballast est un dispositif utilisé dans une lampe à décharge pour fournir l'amorçage (allumage) et assurer les conditions électriques de fonctionnement.

Fonction

- Le ballast fournit la tension adéquate pour amorcer et faire fonctionner la lampe.
- Le ballast limite le courant dans la lampe à décharge lors du fonctionnement – la résistance d'une lampe à décharge devient négligeable une fois que l'arc a été amorcé.
- Le ballast empêche toute fluctuation de tension ou de courant, provoquée par la décharge en arc, d'être introduite dans le circuit d'alimentation.
- Le ballast permet de compenser le faible facteur de puissance qui est caractéristique de la décharge en arc.

Le ballast

Construction des ballasts

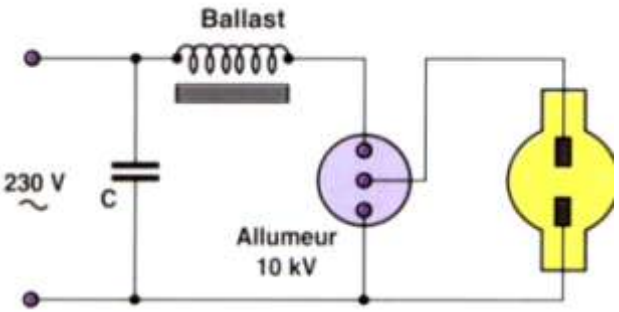
Un ballast standard simple est un ensemble constitué d'un noyau et d'une bobine d'inductance.

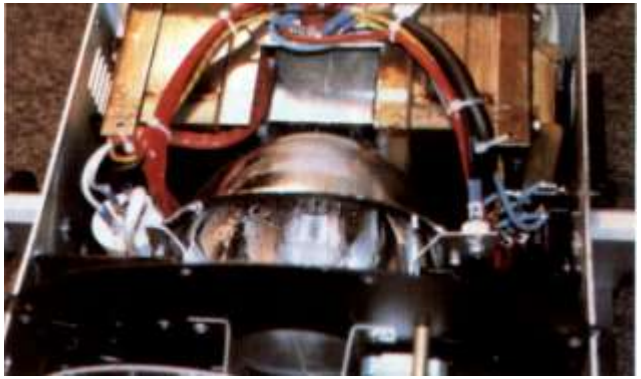
Le noyau est fait d'acier laminé pour transformateur. La bobine d'inductance se compose d'un fil de cuivre ou d'aluminium qui est enroulé autour du noyau.

L'ensemble noyau-bobine est imprégné d'un produit non conducteur qui assure l'isolation électrique et aide à dissiper la chaleur produite.

Des condensateurs peuvent être ajoutés au circuit du ballast afin d'aider à fournir une tension suffisante, à allumer la lampe, et/ou à corriger le facteur de puissance.

Certains ballasts sont logés à l'intérieur même de l'appareil d'éclairage (ci-contre).





La lampe dans sa corolle est encadrée par deux grosses selfs aux allures de transfo : le ballast. Il n'y en a généralement qu'une, mais ici des considérations d'encombrement ont amené à la dédoubler. Sur la gauche, on aperçoit un cylindre blanc : l'amorceur.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast

Pertes dans le ballast

Comme tous les circuits électriques, le ballast connaît des pertes d'énergie.
Les fabricants de ballast, dans leurs catalogues, fournissent les valeurs des pertes dans les ballasts.
Les ballasts à bon rendement énergétique connaissent moins de pertes d'énergie (on les nomme aussi ballasts à faibles pertes).

Types

- Les principaux types de ballasts, classés d'après leur construction et leur efficacité, sont les suivants :
- ballasts à faibles pertes (magnétiques à noyau et bobine)
- ballasts électroniques (à semi-conducteurs)
- ballast magnétique standard (magnétiques à noyau et bobine).
- Chaque ballast est conçu de façon à convenir à un type particulier et à une puissance particulière (W) de lampe.
- Le type et la puissance de la lampe compatible avec le ballast sont inscrits sur le ballast.
- Tous les ballasts à noyau et bobine produisent un bruit habituellement décrit comme un "bourdonnement".

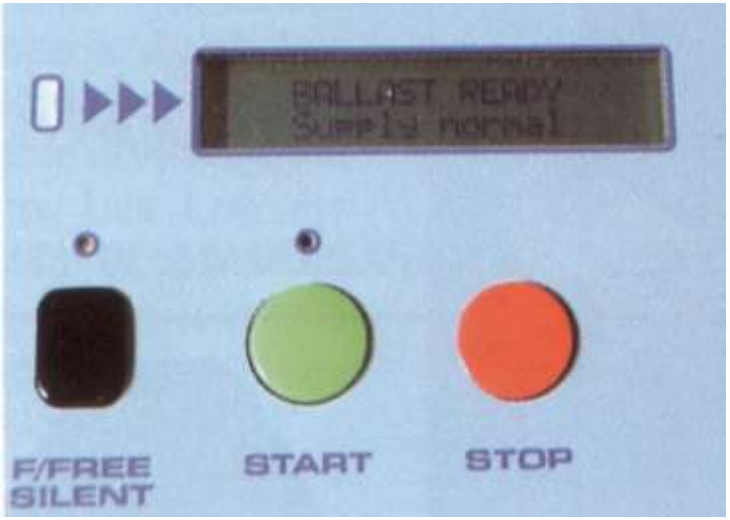
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Technique des lampes à décharge :

L'amorçage : Les ballasts ont non seulement pour but de maintenir l'intensité et la tension, mais encore d'assurer la tension d'amorçage qui est plus élevée que la tension d'arc.

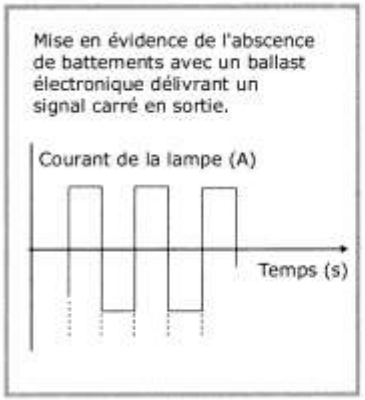
En effet, on ne peut pas alimenter directement les lampes à décharge car il faut que les électrodes soient en mesure de libérer des électrons pour provoquer l'ionisation de l'atmosphère de la lampe, ce qui augmente sa température d'où une vaporisation du métal qu'elle contient.

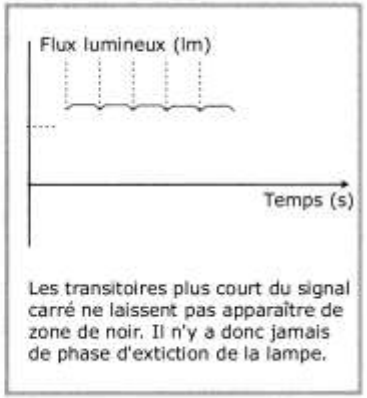


LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast électronique ou signal carré ou flicker free





Avantages :
- Poids et encombrement réduit
- Sensibilité moindre aux fluctuations de tension et de fréquence, ce qui permet l'utilisation sur les groupes non régulés et tous les types de convertisseurs.
- Disparition du phénomène de battements quelle que soit la vitesse jusqu'à 10 000 images/seconde.
- Fonctionne sur 110 V ou 220 V, 50 ou 60 Hz selon les versions.
- Meilleur redémarrage à chaud.
- Augmentation de la durée de vie des lampes
- Possibilité de « dimmer » : varier l'intensité lumineuse en diminuant l'intensité du courant de la lampe.

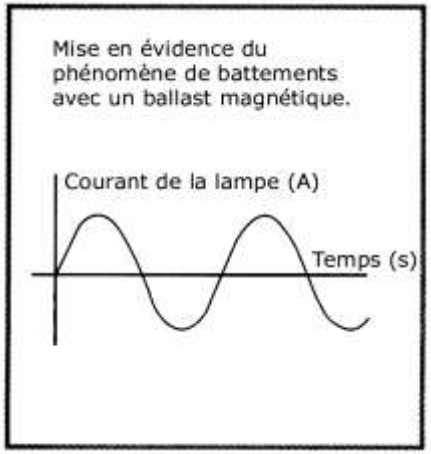
NB : *Ceci n'est pas sans conséquence sur la température de couleur de la lampe*.

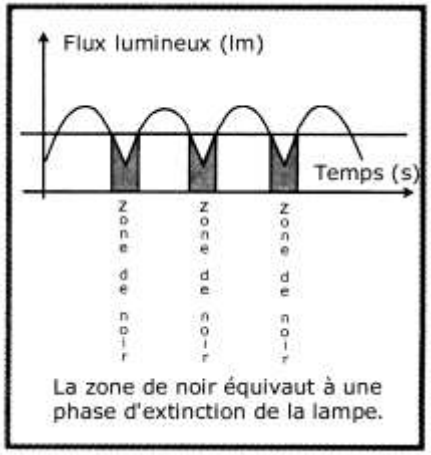
Inconvénients :
- Fragilité relative. Entièrement composé d'éléments électroniques, les conditions d'utilisation sont plus restreintes (températures extrêmes, fort taux d'humidité…)
- Coût plus élevé.
- Bruit. A partir de 1 200 W, les ballasts électroniques émettent un sifflement causé par les harmoniques du signal carré. Une position « silence » est proposée qui réduit considérablement le bruit. Il est déconseillé de varier la vitesse d'obturation dans ce mode.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast magnétique (ou selfique)





Simple et robuste

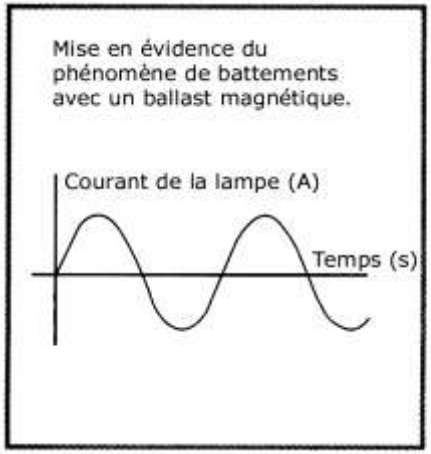
Avantages :
- Résistant
- Quasiment insensible à l'humidité et aux températures basses et hautes.
- Prix attractif.

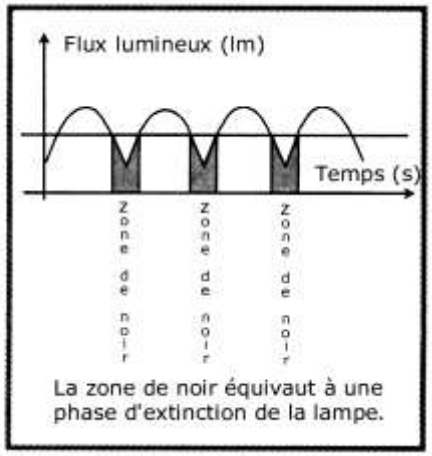
Inconvénients :
- Impossibilité de varier la vitesse de prise de vues.
- Impossibilité de varier l'intensité de la lampe.
- Le ballast ne peut être utilisé qu'en 110 ou 220 V.
- Poids.
- Encombrement.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast magnétique (ou selfique) avec une caméra cinématographique





Si votre caméra tourne à une vitesse autre que 25 im/s avec une fréquence du courant de 50 Hz, afin d'éviter un effet de battement, ou flicking, on doit synchroniser la fréquence du courant alternatif avec la cadence de prise de vues ou régler l'obturateur mécanique de la caméra.

Pour cela on utilise la formule :

$$\mathbf{F = (360 \times V) / \alpha} \quad \text{ou} \quad \mathbf{\alpha = (360 \times V) / F}$$

avec F pour la fréquence du courant en Hz
V pour la cadence de prise de vues (en images / seconde)
α pour l'angle d'obturation en degré

Notez bien qu'il n'y a aucun réglage à faire à 25 im/s et qu'un obturateur à 172°8 permet de tourner aussi bien à 24 qu'à 25 im/s.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast magnétique (ou selfique) avec une caméra cinématographique

Voici un résumé des vitesses le plus utilisées avec leur ouverture d'angle d'obturation :

Fréquence HMI	Angle d'obturation (en °)	Cadence de prise de vues (en im/s)	Temps d'exposition (en s)	Compensation en diaph
50 Hz	180	25	1/50	
50 Hz	172,8	24	1/50	
50 Hz	172,8	48	1/100	Ouvrir 1 diaph
50 Hz	144	40	1/100	Ouvrir 1 diaph
50 Hz	135	37,5	1/100	Ouvrir 1 diaph

Cadences de prise du vues compatibles avec n'importe quel angle d'obturateur (avec F = 50 Hz) : 1; 1,25; 2; 2,5; 4; 5; 6,25; 9,09; 10; 12,5; 20; 25; 50; 100

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le ballast magnétique (ou selfique) avec une caméra cinématographique

Ralenti et accéléré avec HMI sans battement avec un courant de fréquence 50 Hz

Obturateur à 180 °		Obturateur à 172,8 °	
Cadence prise de vues	Temps d'exposition	Cadence prise de vues	Temps d'exposition
100	1/200	100	1/208
50	1/100	50	1/104
33.33	1/67	48	1/100
25	1/50	33,33	1/69
20	1/40	25	1/52
16.66	1/33	24	1/50
14.285	1/29	20	1/42
12.5	1/25	16	1/33
11.11	1/22	12	1/25
10	1/20	10	1/21
9.09	1/18	8	1/17
8.33	1/17	6	1/12
7.69	1/15	5	1/10
7.14	1/14		
6.67	1/13		
6.25	1/13		
5.88	1/12		
5.56	1/11		
5.26	1/11		
5	1/10		

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Rendement énergétique des ballasts ou Facteur de puissance

Tout appareil électrique transformant le courant consomme de l'énergie. Il en est de même pour les ballasts ;
La formule de calcul est simple : La puissance théorique divisée par le facteur de puissance (F) donne la puissance consommée.

Dans le cas des ballasts magnétiques et des ballasts électroniques non corrigés :
Le coefficient du Facteur de puissance est de 0,7 à 0,8.
Exemple : Si l'on considère un coefficient de F=0,7 on obtient 4 000 W / 0,7 = 5 714 W presque 43% de plus.
Par mesure de sécurité et pour simplifier les calculs mentaux, on multiplie par 1,5 la puissance du projecteur, notamment pour définir la puissance nécessaire pour le branchement E.D.F. ou le groupe électrogène.

Dans le cas des ballasts électroniques avec correction du facteur de puissance :
Certains ballasts sont électroniquement corrigés. Le coefficient est alors de 1. Dans ce cas, la puissance consommée est égale à la puissance délivrée.
Il est donc important afin de pouvoir calculer ses besoins en énergie de tenir compte de ce facteur de puissance.
NB : *Attention, tous les ballasts électroniques ne possèdent pas de correction de facteur de puissance, ce qui peut expliquer qu'un HMI 4 000 W avec un ballast électronique peut ou ne peut pas fonctionner sur un petit groupe de 5Kw : Ceci dépend vraiment du ballast*.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les projecteurs HMI, les ballasts

« Puissance apparente », « Puissance réelle ou active »

- La « puissance réelle ou active » est celle consommée par la lampe. Exprimée en Watts (W), elle est mesurée en sortie du ballast.

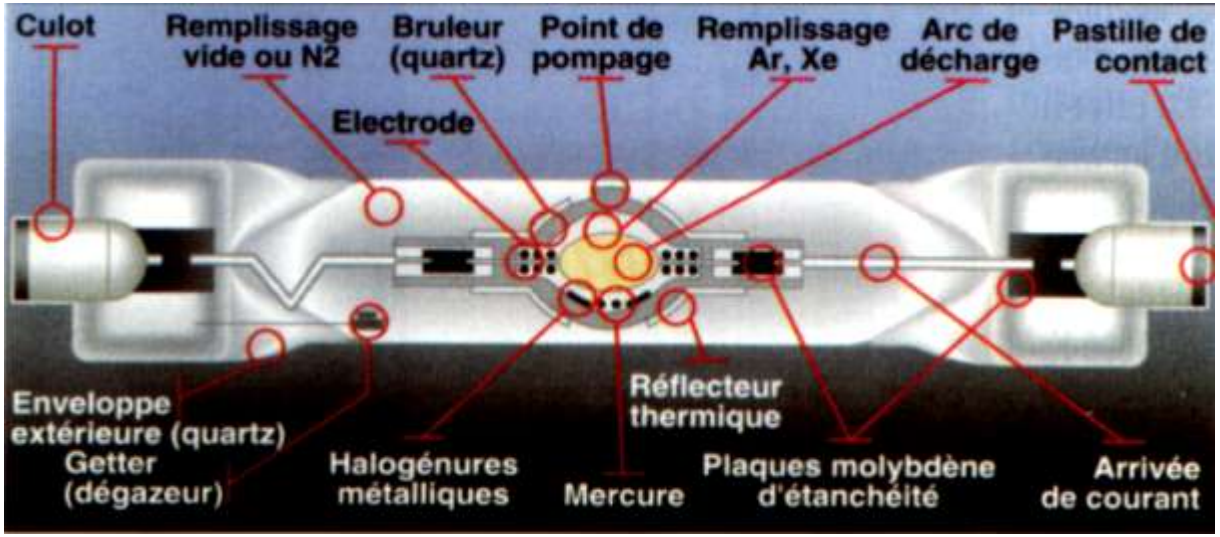
$$P\,(W) = U\,(V) \times I\,(A)$$

- La « puissance apparente » est celle considérée par EDF. Elle équivaut à la puissance consommée par l'ensemble de l'électronique (ballast et lampe) Exprimée en Volts Ampère (VA) ; elle est mesurée à l'entrée du ballast.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les lampes à décharge modernes :

- lampes aux « halogénures métalliques » (HMI, MSR)
- lampes xénon
- lampes au sodium



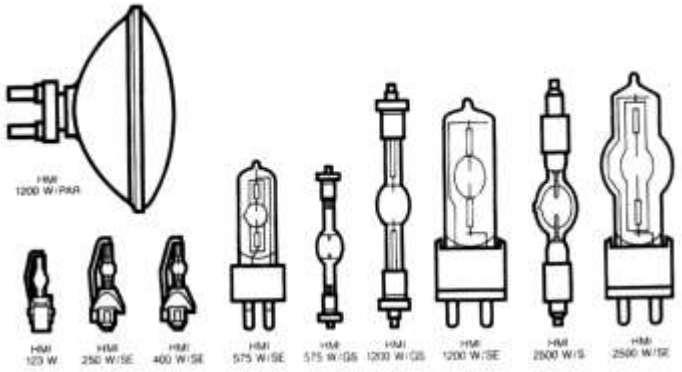
Exemple d'une lampe aux »halogénures métalliques
(OSRAM)

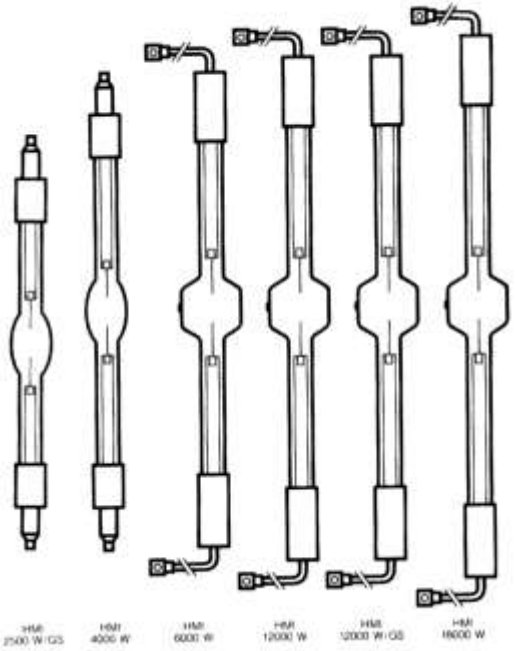
L'arc éclate dans un bulbe central, lui-même enfermé dans une enveloppe protectrice qui retient une partie des UV.

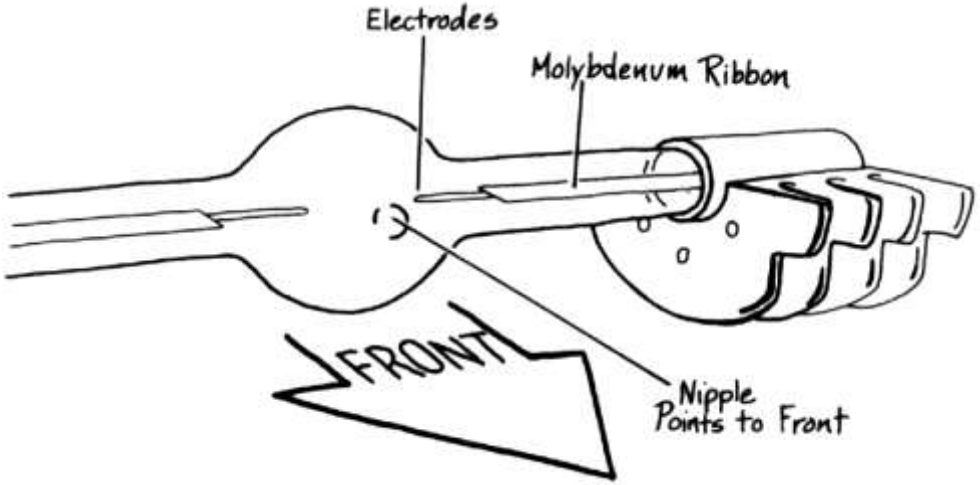
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge, HMI, MSR, CDM

***HMI** : Hydrargyrum (mercure) Medium arc length (arc de longueur moyenne) Iodine (iode) conçue par OSRAM début 1970.*
***MSR** : (Medium Source Rare-earth gas) fondée sur le même principe que la HMI mais développée par Philips, avec extension HR(MSR-HR).*
***CDM** : Ceramic Discharge Metal Halide, (mélange mercure-argon, Philips). Moins bon rendement que les HMI mais meilleure durée de vie. On les trouve beaucoup en éclairage architectural,IRC 96.*



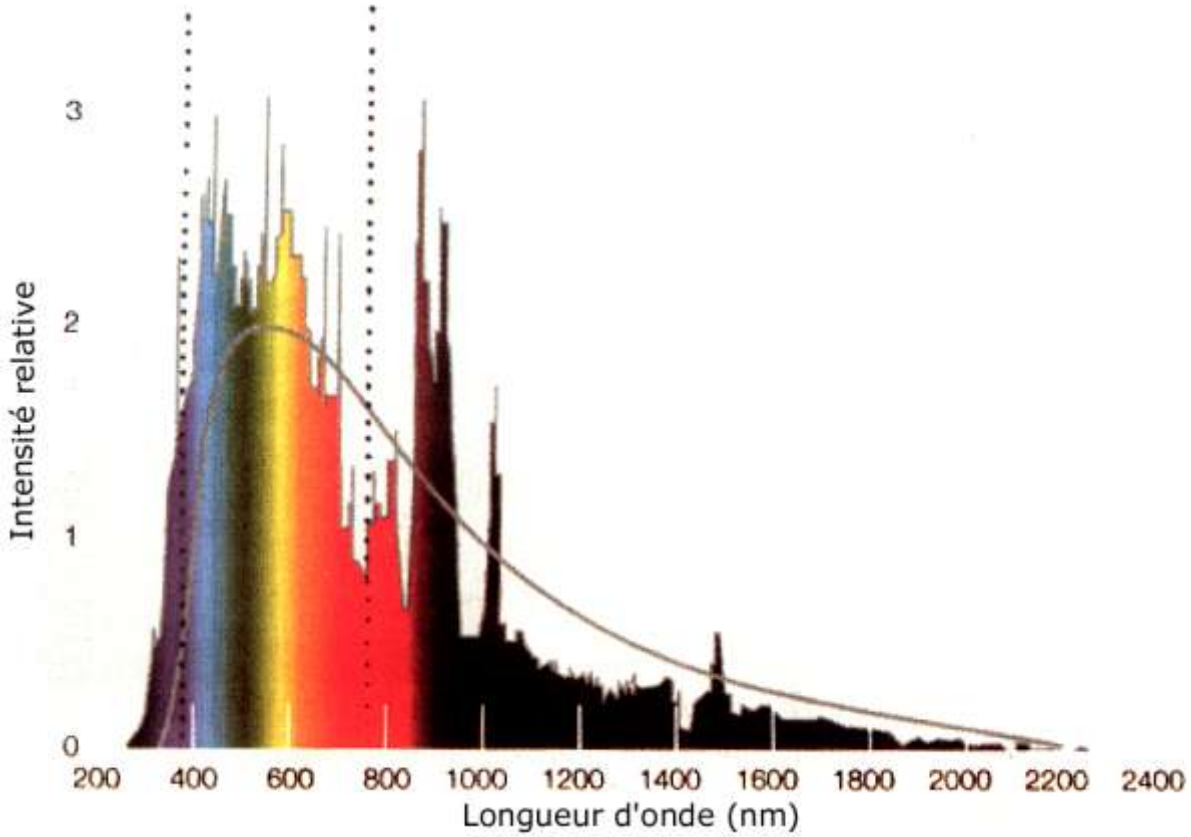




LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Température de couleur proximale et indice de couleur des lampes HMI

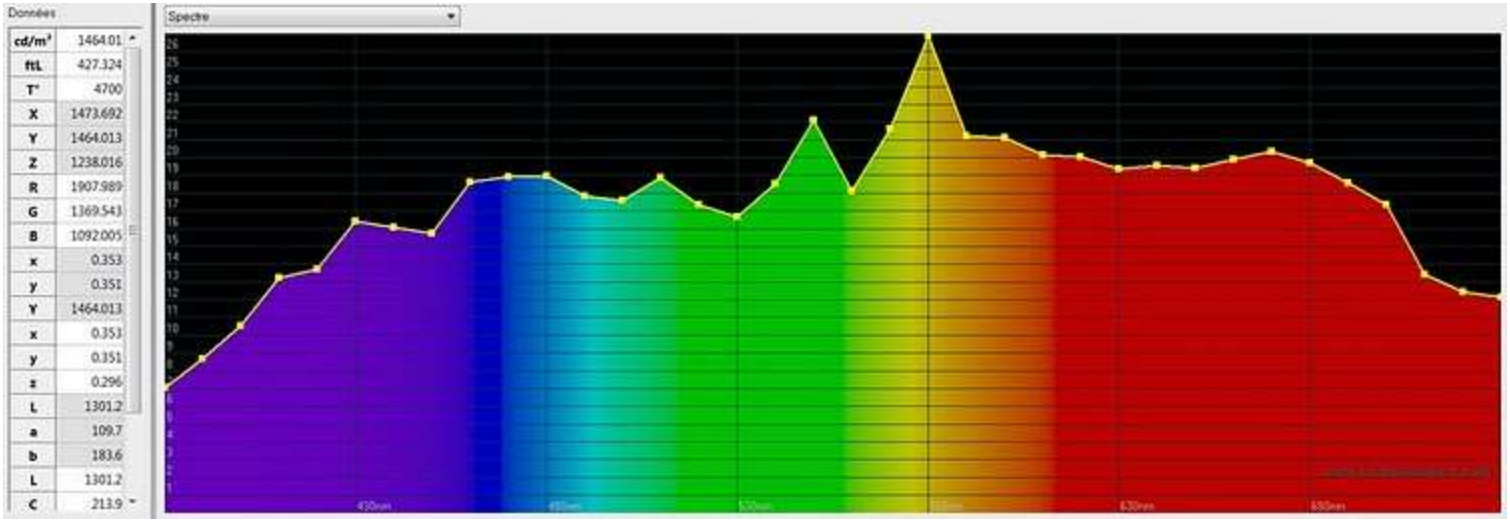


Un spectre continu d'un corps chaud (le soleil) superposé pour comparaison à celui d'une lampe HMI 4 000 W. Dans ce spectre l'œil ne voit que l'étroite bande de 380 à 750 nm.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampe HMI

Spectre HMI Black Jack K5600

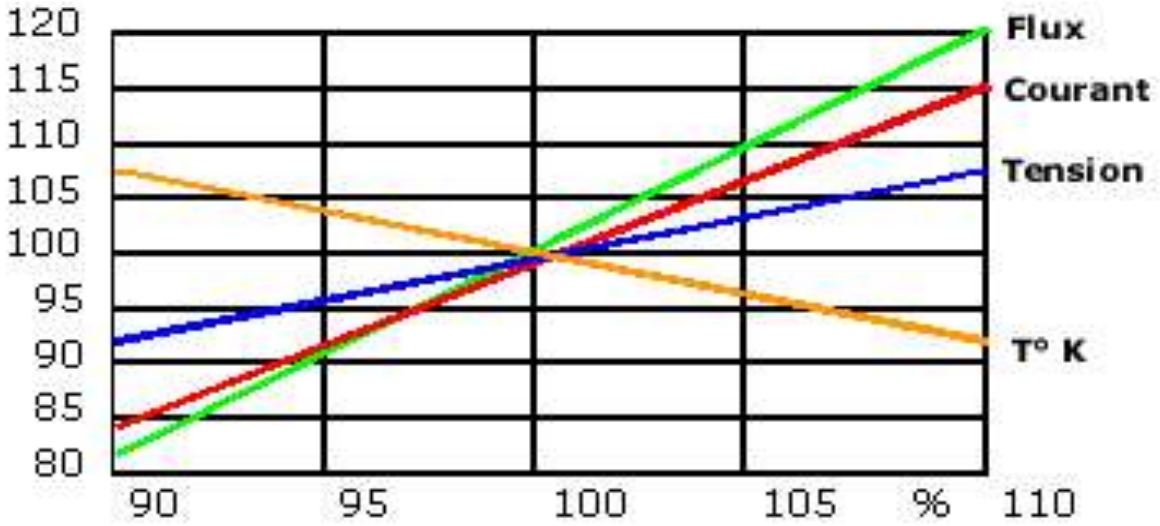


Source : INA (décembre 2011)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

La gradation de lumière



La gradation d'un arc HMI n'est guère possible. Si on fait évoluer la tension de lampe de quelque 10%, le flux y est assez sensible.

La température de couleur change aussi mais à l'inverse des filaments :
- *froide à la diminution,*
- *chaude à l'augmentation.*

La bonne solution est mécanique : volet, obturateur appelé « shutter ».

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Le succès des lampes HMI s’explique par de nombreux avantages

Équilibrée en température couleur (5600 Kelvin) ce type de lampe permet d'éviter l'adjonction de gélatine bleue de correction sur les sources incandescences (3.200 K) qui absorbe jusqu'à 50% du flux lumineux soit un diaph.

Dégagement de chaleur limité

Rendement lumineux considérable
Les mesures des fabricants de lampes sont les suivantes :
H.M.I. : 75 à 95 lumens par watt selon la puissance des lampes.
Incandescence: 15 à 25 lumens par watt selon la puissance.
Ces mesures sont faites en l'absence de tout accessoire optique tel que réflecteur ou lentille, le but étant d'estimer la lampe et non le projecteur.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Avantages du HMI / incandescence *:*

- *Le rendement lumineux des lampes HMI est très supérieur à celui des lampes à incandescence.*
- *Les lampes HMI chauffent infiniment moins que les lampes à incandescence.*
- *La lumière produite par une lampe HMI est équilibrée à 5500K bien qu'il soit incorrect de parler de température de couleur pour une lampe à décharge. En effet, pour les sources qui utilisent une décharge électrique dans un gaz, comme les lampes HMI ou les tubes fluorescents, le spectre comporte des raies importantes et la corrélation avec l'émission du corps noir est presque impossible à trouver. Dans ce cas, on donne une température de couleur indicative qui correspond à une sensation équivalente pour l'œil : c'est la* ***température de couleur proximale****. Toujours est-il qu'il est commode d'utiliser une source HMI en extérieur. En extérieur, il faut corriger la Tc de la lumière produite par une lampe à incandescence par l'adjonction d'un filtre correcteur. CTB*

Inconvénients du HMI/ incandescence

- *L'allumage de la lampe HMI n'est pas instantané. Il faut attendre quelques minutes (2 à 3) pour que la lampe trouve son point d'équilibre et ne produise plus de dominantes.*
- *Les projecteurs munis de lampes HMI sont plus lourds puisque la lampe fonctionne avec un ballast.*
- *Avec un ballast fonctionnant à 50 Hz, il devient impossible de tourner en vidéo avec un shutter autre que le 1/50^{e} ou son multiple.*

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les projecteurs HMI, prix des lampes (en 2000)

Désignation	*Vie*	*En €*
HMI 123 125w	**150**	**300**
HMI 200 200w X515	**300**	**140**
HMI 200/SE 200w GZY9,5	**200**	**274**
HMI 250/SE 270w FAX1,5	**250**	**247**
HMI 400/SE 400w GZZ9,5	**650**	**NC**
HMI 575/GS 575w SFC10	**750**	**115**
HMI 575/SE 575w G22	**750**	**182**
HMI 1200/GS 1200w SFC15,5	**750**	**136**
HMI 1200/SE 1200w G38	**750**	**272**
HMI/PAR64 1200 1200w G38	**1000**	**462**
HMI 2500/GS 2500w SFA21	**500**	**313**
HMI 2500/S 2500w SFA21	**500**	**400**
HMI 2500/SE 2500w G38	**500**	**422**
HMI 4000 4000w SFA21	**500**	**420**
HMI 4000/SE 4000w G38	**500**	**NC**
HMI 6000 6000w S25,5	**500**	**898**
HMI 12000/380 12000w S25,5	**500**	**1360**
HMI 12000/GS/220 12000w S30	**500**	**1959**
HMI 18000/380 18000w S30	**250**	**2395**

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les projecteurs HMI, prix de location lampes (Lumex 2008)

Dénomination	Tarif / jour H.T.
575 W	5 €
1200 W	6 €
2.5 KW	8 €
4 KW	9 €
6 KW	12 €
12 KW	28 €
18 KW	46 €

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les projecteurs munis de lampes HMI

Goya

*HMI avec lentille de Fresnel : le **Prolight***

*HMI avec réflecteur parabolique : le **Cinepar***

Joker

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les projecteurs HMI, consignes de sécurité

Avant d'enlever ou de remplacer une lampe ou un fusible, il faut **déconnecter l'appareil** de la prise de courant.

Une haute pression règne à l'intérieur des lampes HMI durant leur fonctionnement. Le brûleur atteint une très haute température (jusqu'à 950° C). Pour cette raison, on n'utilisera les lampes HMI que dans les projecteurs adaptés à leur utilisation et qui empêchent les éclats de verre de sortir du projecteur.

De plus, pour des raisons de santé, **les lampes HMI ne peuvent être utilisées qu'avec une vitre de protection absorbant les ultraviolets**.

L'enveloppe en quartz ne doit pas être touchée à doigts nus. Le cas échéant, nettoyer le brûleur d'abord avec un chiffon doux imbibé d'alcool à brûler, puis à sec.

Lors de la mise en place de la lampe, il est impératif de la tenir uniquement par le culot, pour **éviter tout bris entre le culot et la lampe**.

L'introduction de la lampe et le branchement des amenées de courant doit être effectué avec beaucoup de soins. **Les surfaces de contact** des pièces de maintien de la lampe et les contacts électriques, exemptes de traces de corrosion ou de brûlure, **doivent assurer un bon contact thermique et électrique**. Après chaque transport, on s'assurera de la bonne position des mâchoires de fixation et des pièces de refroidissement.

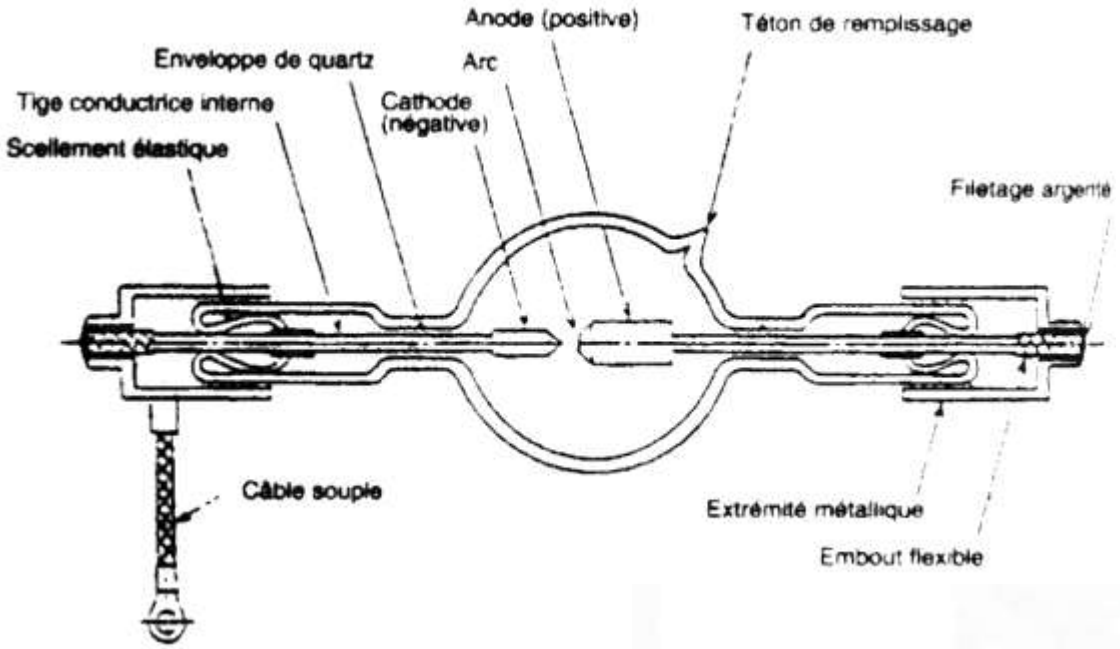
En cours de fonctionnement les contacts ne doivent en aucun cas changer de couleur. Des teintes moirées démontrent un défaut de refroidissement et que la température maximum admissible du culot (230° C) a été dépassée.

La durée de vie moyenne indiquée dans les documents se rapporte (selon les modèles de lampes) à une durée de fonctionnement de 20 à 60 minutes par cycle. Après dépassement de la durée de vie indiquée de 25%, il est recommandé pour des raisons de sécurité de changer les lampes HMI. Le danger d'explosion croit notablement avec la durée de vie à cause de la modification de structure du quartz (recristallisation)

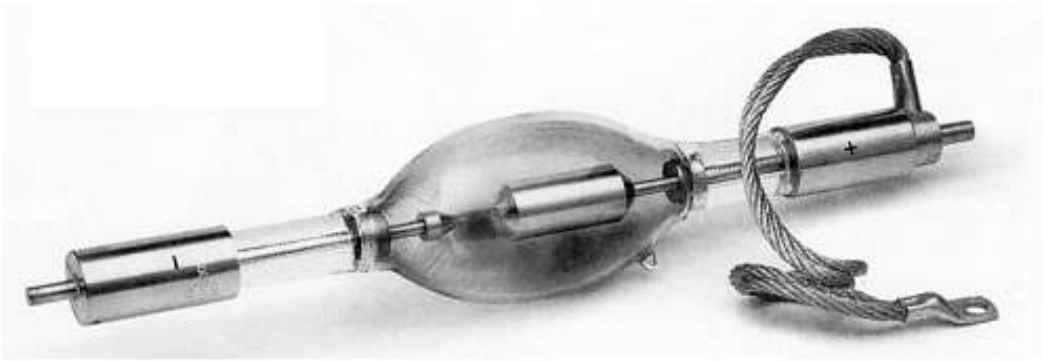
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les lampes Xénon, une mise en œuvre particulière

Un arc plein de qualité



Ce type de lampe se compose d'une électrode positive et d'une électrode négative enfermées dans une ampoule contenant du xénon sous une pression de 6 à 10 atmosphères. L'explosion d'une lampe au xénon est fort semblable à celle d'une grenade du fait de la forte pression du gaz qu'elle contient.



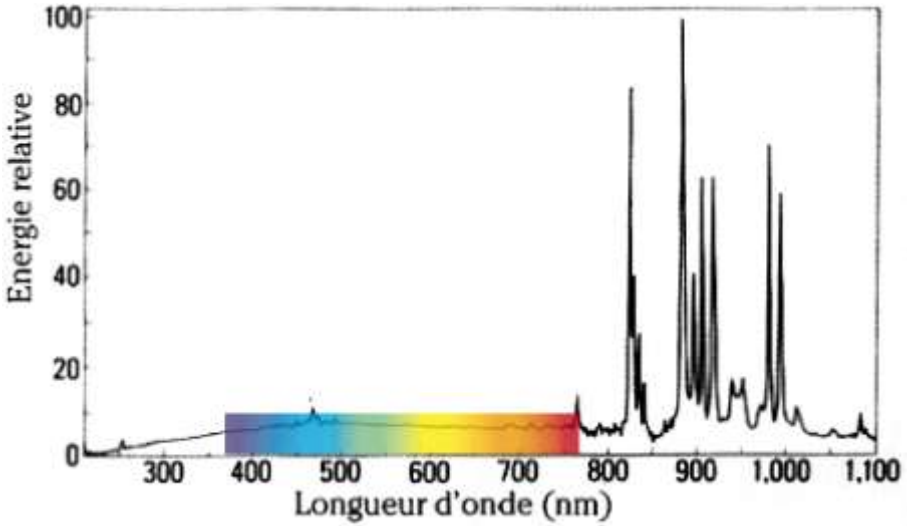
La construction des lampes xénon est complexe afin de tenir compte des dilatations.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

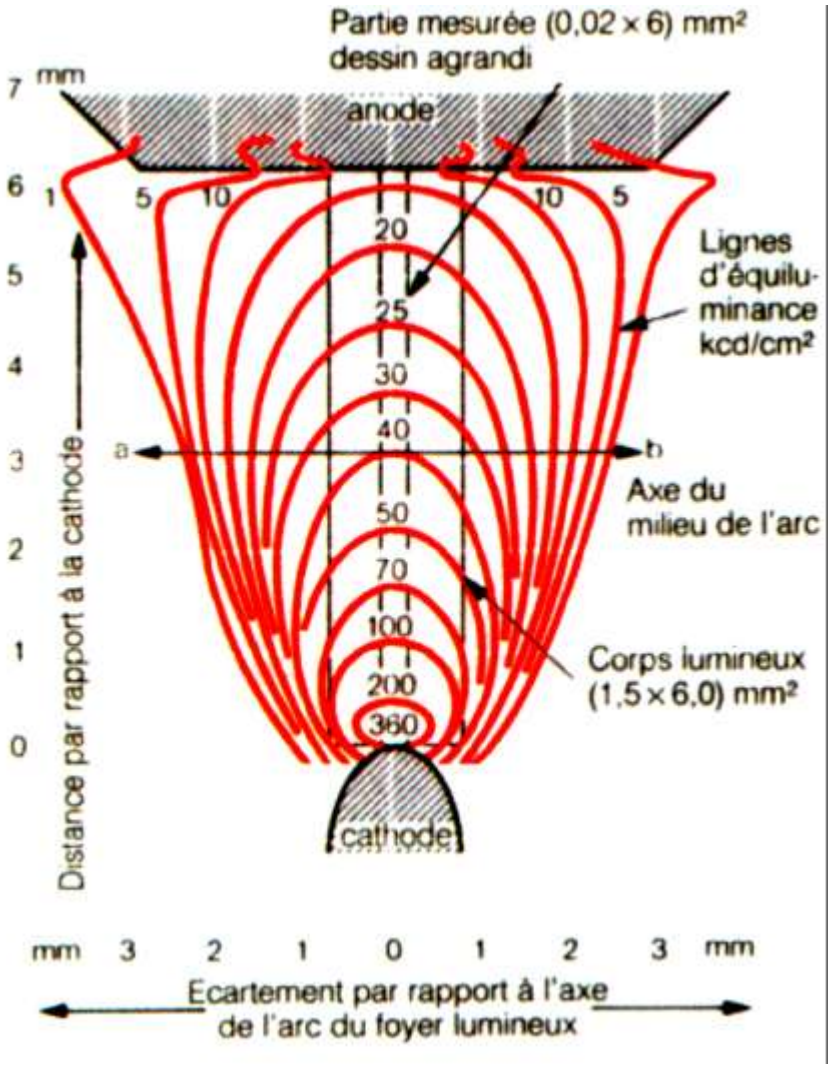
Lampes à décharge

Les lampes Xénon,
une mise en œuvre particulière

Un arc plein de qualité



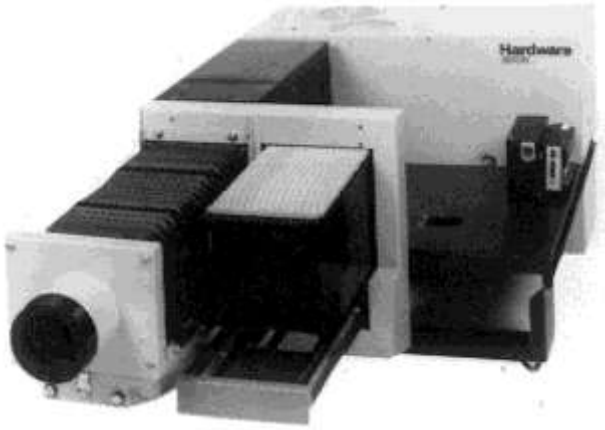
L'arc xénon a un spectre dans le visible très proche de celui de la lumière solaire



LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les projecteurs munis de **lampes Xénon**



Images sur centrale nucléaire de 80 mètres de hauteur. Projecteur de 5 000 W

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les projecteurs munis de **lampes Xénon**

Location Cinelumière 2008	Tarif (Euros HT) Consommation (Euros)
XENON 2 KW	245 31/heure
XENON 4 KW	305 39/heure
XENON 7KW	420 46/heure

Caractéristiques du projecteur 10 Kw :

Reflector	:	30" Aluminum
Voltage	:	208/240 VAC
Current	:	26-50 Amps Dimming 40%
Phase	:	3 Phase 50/60 Hz
Candle Power	:	350 Million - 500 Million
Weight	:	115 Lbs
Dimensions	:	33" x 33" x 36"
Ballastfree Termination	:	Camloc
Cooling System	:	Forced Air
Shipping Specs	:	320 Lbs 60" x 37" x 43"

Lamp Focus	Distance	Beam Size	Foot Candles
Full Spot	50'	39"	80000.000
Full Flood	50'	12'	43000.000

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Lampes à **Vapeur de Sodium à Basse Pression** (éclairage public)

Le tube est rempli d'un mélange de néon, d'argon et de parcelles de sodium. Une décharge électrique dans ce mélange fournit une lumière orange monochromatique (longueur d'onde 589 nm).
Le néon, avec sa couleur rouge caractéristique, sert à démarrer la décharge et à chauffer le sodium.
Ces lampes sont surtout utilisées pour l'éclairage des routes. De toutes les sortes de lampes actuellement disponibles, ce sont celles qui ont la plus grande efficacité lumineuse (P = 15 W, Rendement 140 à 180 lm/W, Durée de vie 16.000 h). C'est le type de lampe idéal quand le rendu des couleurs n'est pas important. Dans les régions qui ont établi des règlements sur l'éclairage extérieur, c'est le seul type de lampe autorisé à proximité des observatoires astronomiques, car le rayonnement qu'elles émettent peut facilement être filtré.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Lampes à **Vapeur de Sodium à Haute Pression** (éclairage public)

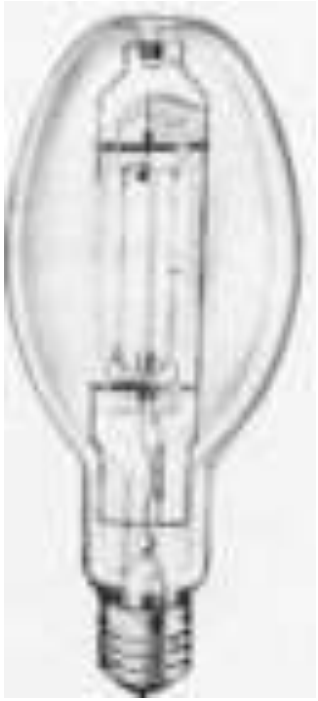
Également lampes à décharge, elles émettent une lumière jaune-orange, plus éblouissante que les lampes au sodium à basse pression, et elles donnent un rendu des couleurs un peu meilleur que ces dernières.
Actuellement, c'est ce type de lampes qui est le plus couramment installé pour l'éclairage public, bien que son efficacité lumineuse (150 lm/W) soit moins bonne que celles des lampes au sodium à basse pression.
Durée de vie estimée 12.000 à 22.000h

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Lampes à **vapeur de mercure** (éclairage public)

Autrefois utilisées en abondance pour l'éclairage public, elles sont de plus en plus remplacées par les lampes au sodium, qui ont un meilleur rendement lumineux.
Elles produisent une lumière blanc-bleuté, grâce à une décharge électrique à travers la vapeur de mercure à haute pression (500 fois la pression des tubes fluorescents) contenu dans l'ampoule. A cause de cette pression plus élevée, elles émettent plus de lumière visible et moins d'ultraviolet que les tubes fluorescents. Ces lampes sont interdites dans les régions réglementant l'éclairage, car elles consomment beaucoup d'énergie.



LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides

Les tubes néon

Le tube néon trouve son origine dans les travaux de Moore, **Cooper-Hewitt** et Claude qui développèrent des tubes a décharge sous basse pression pour l'éclairage générale , vers le début du 20^{e}. Moore conçu les lampe à azote et CO2, **Cooper-Hewitt travailla sur la décharge dans le mélange argon-mercure** et Claude lui obtint suffisamment de néon pour créer ... le premier tube au néon. C'était en 1901.

plateau des studios Cinéroman (fin des années 1920)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides

Les tubes néon

Le tube néon est un tube ouvragé à la demande du client.
Une électrode est ensuite soudée à chaque extrémité du tube afin d'exécuter l'opération la plus importante : faire le vide dans le tube et le remplir de gaz rare.
Le gaz néon donne une couleur rouge, l'argon et le mercure la bleue.

Dans les tubes au néon, c'est le gaz qui donne la couleur.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides ***Ne pas confondre Néon et tube « fluo » !***

Extrait du DVD EDF « Que la lumière fuse »

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides, les tubes fluorescents

Appelés improprement "néons", ils renferment un mélange d'argon et de vapeur de mercure très raréfié; une décharge électrique au travers de ce gaz, d'un bout à l'autre du tube, fait briller le mercure d'un rayonnement ultraviolet, qui excite une substance fluorescente (composés phosphorés) déposée sur la paroi interne du tube; cette substance émet en retour une lumière blanche.
Les lampes dites économiques, qui se substituent de plus en plus aux lampes à incandescence, sont également des tubes fluorescents, dits compacts.

Tube fluo compact
avec ballast incorporé

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les tubes fluorescents

Un peu d'histoire :

Les premiers travaux sur une source de lumière fluorescente remontent a 1896, avec Edison qui enroba l'intérieur de tubes de Crookes-Roentgen (1895, cf. découverte des rayons X par Roentgen avec des tubes de Crookes) avec du tungstate de calcium. Le rayonnement X produit par le tube fait fluorescer le revêtement, ce qui donne une lumière blanche-bleutée produite avec un rendement trois fois meilleur que les lampes a incandescence a filament de carbone (1889, Edison) de l'époque.
Seulement le problème est que le rayonnement X produit par cette lampe enverra au cimetière un employé d'Edison.
Donc exit cette lampe.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les tubes fluorescents

Un peu d'histoire :

***En 1901 Cooper-Hewitt** développe donc sa lampe a vapeur de mercure basse-pression. Cette source eue un certain succès du fait de son efficacité "relativement" supérieure face aux lampes à filament. Cependant, la couleur blafarde de la décharge dans le mercure a grandement limité son utilisation. De plus, ces lampes utilisaient des bains de mercure comme électrodes, ce qui donne lieu, comme on le sais aujourd'hui, a un très faible rendement de la source du fait de l'énergie considérable qu'il faut pour extraire les électrons des électrodes*

Les tubes fluorescents

Un peu d'histoire :

Il faudra attendre 1927, et les travaux de Ruttenauer et Pirani (Osram) pour le développement d'électrodes en oxydes d'alcalins. Cette innovation permis de réduire les pertes d'énergie au niveau des électrodes pour l'extraction des électrons. Ceci accroît ainsi énormément le rendement des lampes.
Toujours chez Osram, le développement des poudres fluorescentes adéquates permis le lancement du premier tube fluo en 1936 a l'exposition universelle de Paris (Osram), suivi en 1938 par GE a New-York puis par Philips (1938) et GEC (UK).
La structure de la lampe n'a pas vraiment changé depuis les premières années.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides, les tubes fluorescents

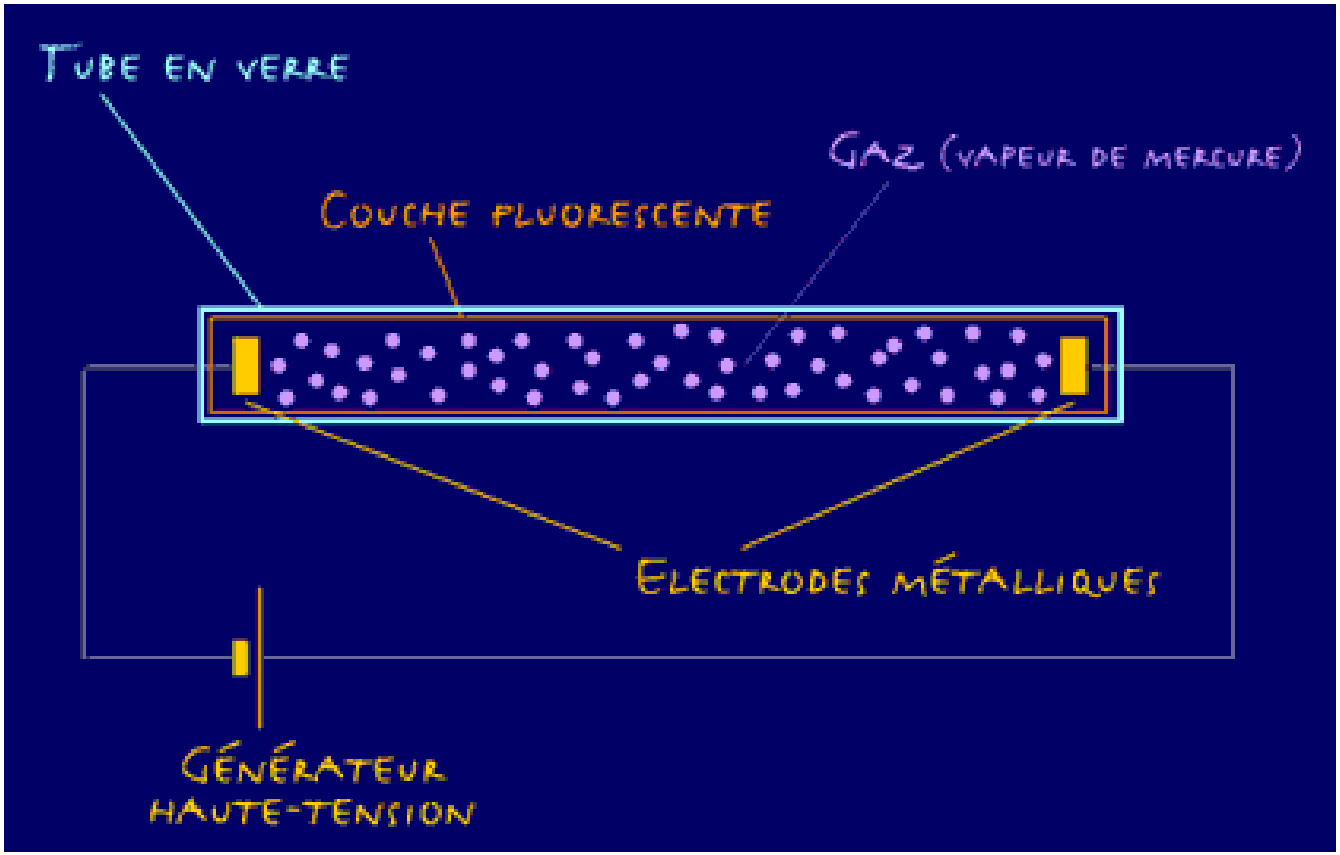
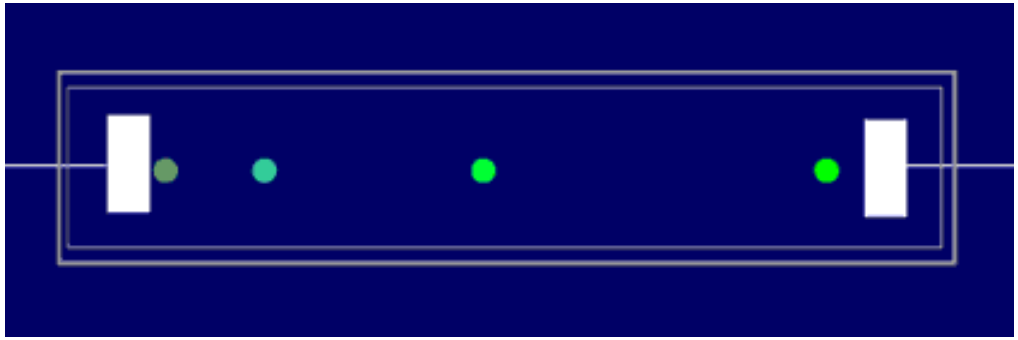


Schéma général d'un tube fluorescent

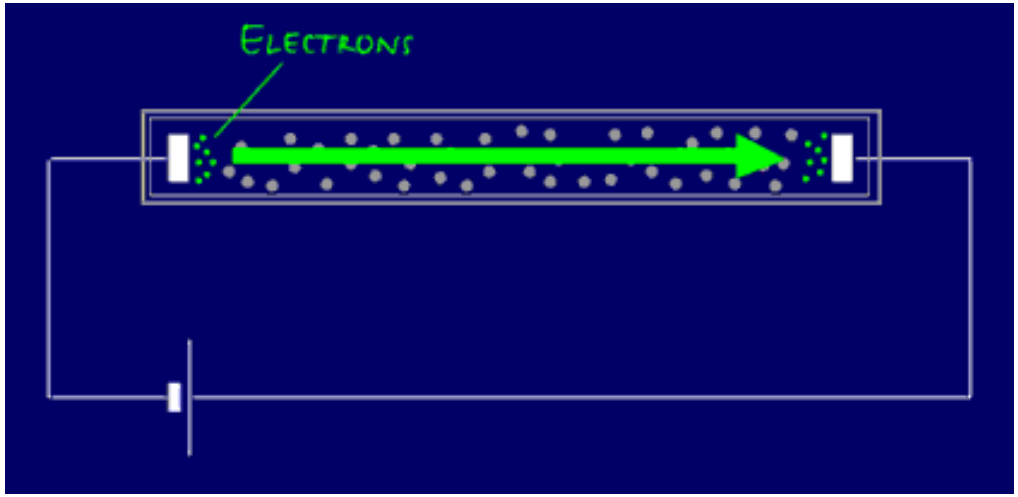
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides, les tubes fluorescents



1) L'application d'une tension électrique aux bornes du tube provoque la circulation d'un flux d'électrons libres entre les deux électrodes métalliques.



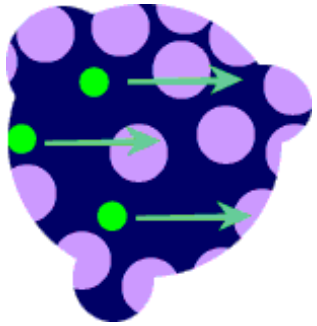
2) Entre les électrodes, les électrons subissent une accélération et acquièrent de l'énergie.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

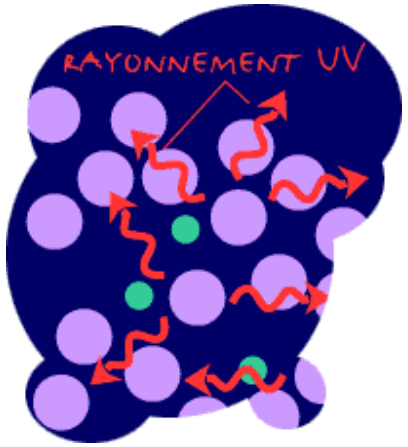
Les lumières froides, les tubes fluorescents

3) Au cours de leur déplacement, les électrons heurtent les atomes de gaz enfermés dans le tube.



4) Lors du choc, les électrons cèdent aux atomes de gaz l'énergie acquise pendant leur déplacement.

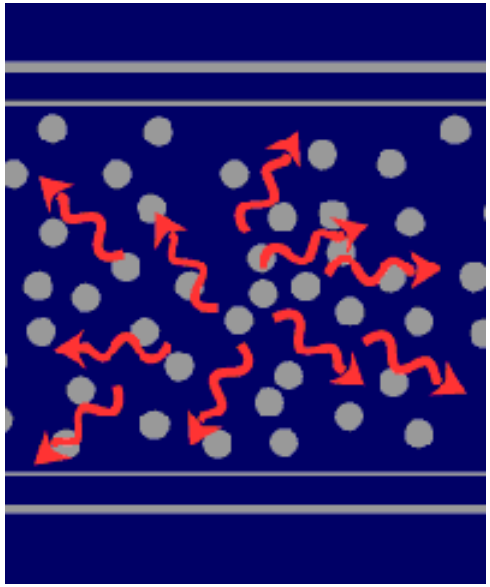
5) Les atomes de gaz ont alors un surplus d'énergie et deviennent instables.
Ils ne peuvent garder cette énergie et la réémettent sous la forme de rayonnement ultraviolet, invisible à l'oeil nu.



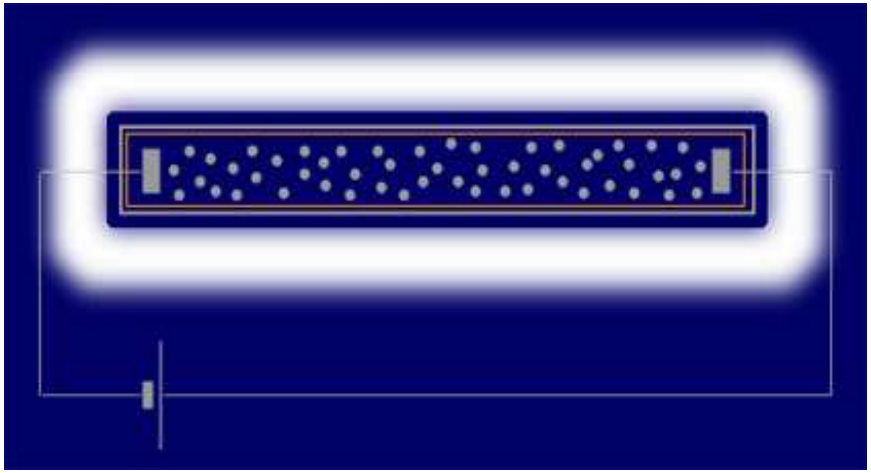
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides, les tubes fluorescents



6) Pourquoi choisir un émission ultraviolette ?
Parce que cette radiation à la longueur d'onde très courte possède une grande énergie qui sera utile pour déclencher la fluorescence.
Les ultraviolets se propagent jusqu'aux parois du tube.



7) La surface interne du tube est enduite d'un revêtement fluorescent.

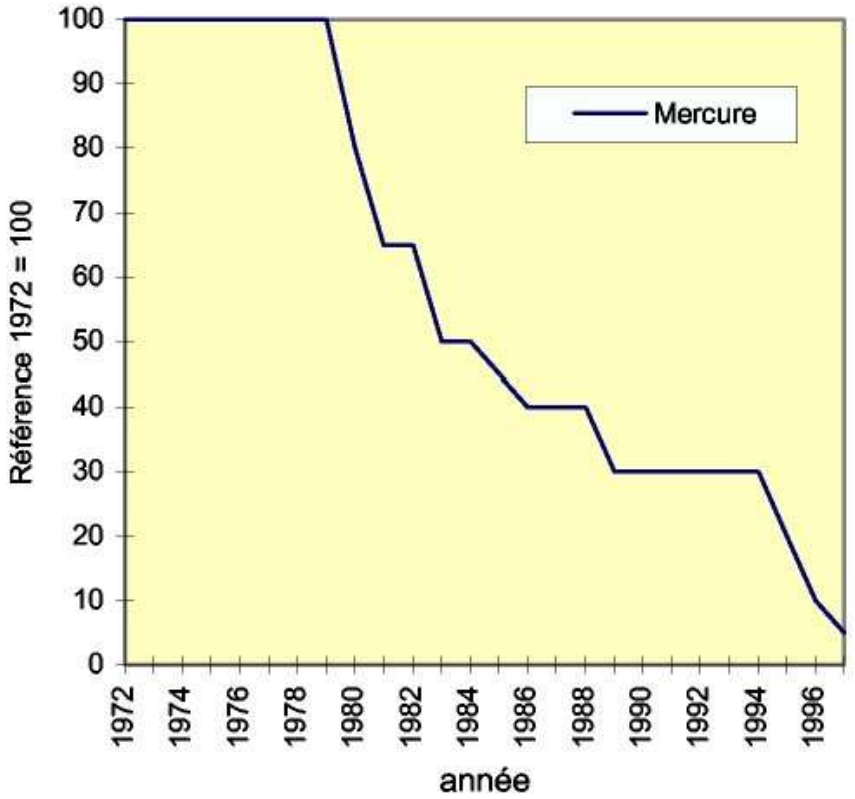
Celui-ci absorbe les ultraviolets et réémet à la place de la lumière visible.

Il n'y a pas échauffement, les parois restent froides d'où l'expression lumière froide pour ce type de lampe.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Lampes à décharge

Les lumières froides, les tubes fluorescents



Actuellement seul le mercure permet le fonctionnement des lampes à décharge en leur donnant une efficacité lumineuse et une qualité de lumière acceptables.

Dans les 20 dernières années le contenu en mercure des lampes fluorescentes a été réduit d'environ 80%. Les fabrications actuelles contiennent moins de 0,020 g de mercure par lampe.

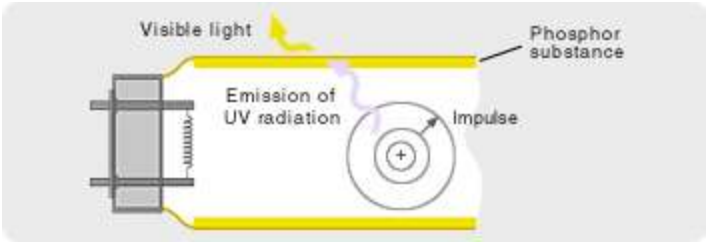
Des nouvelles lampes fluorescentes contenant seulement 0,003 g (3 mg) de mercure sont couramment fabriquées en France. Cela contribue à la protection de l'environnement lors de leur élimination en fin de vie.

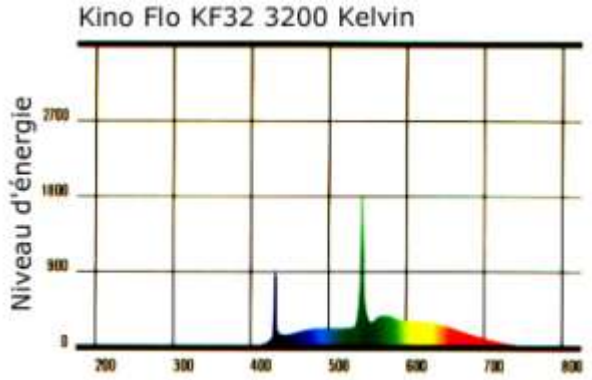
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

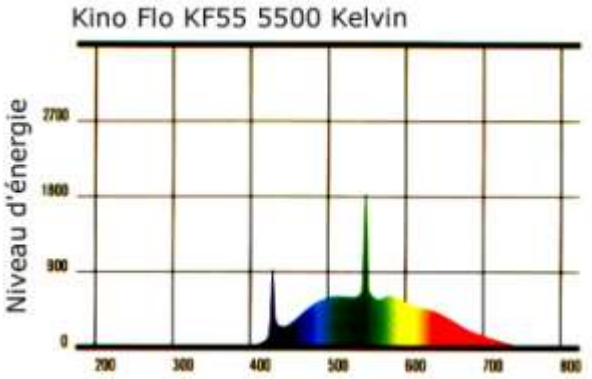
Lampes à décharge

Les lumières froides

Les tubes fluorescents

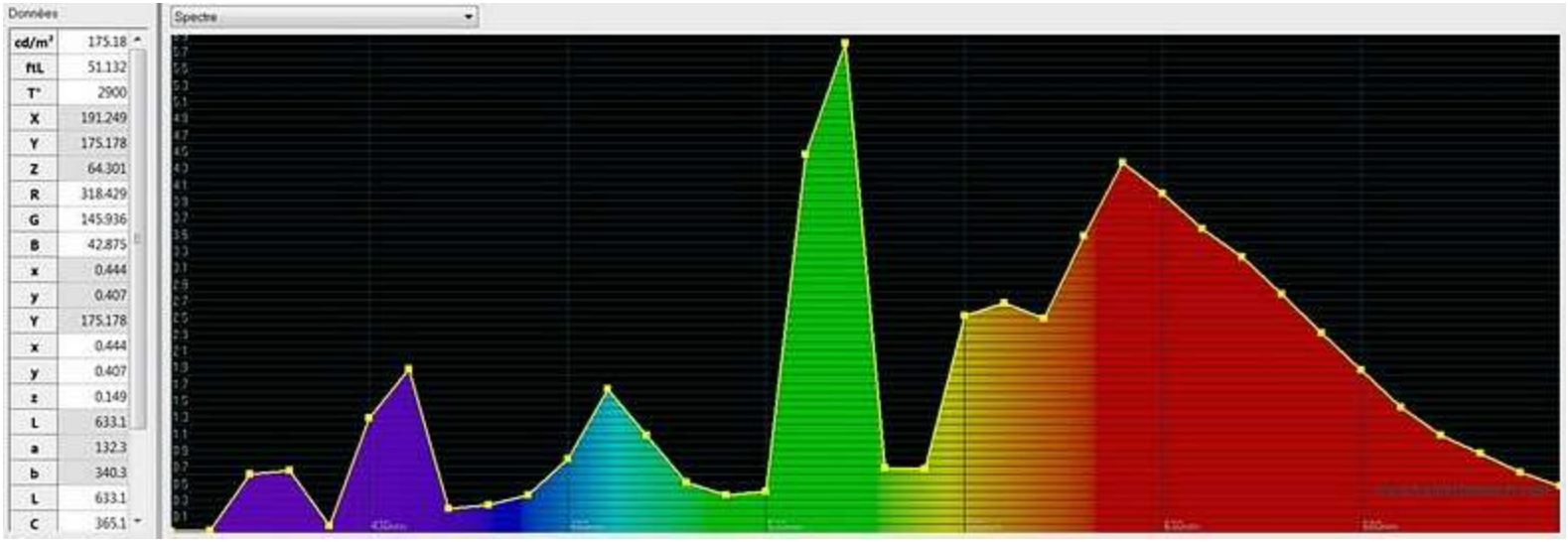






Tubes Fluorescents

Spectre FLUO Barfly Kinoflo



Source : INA (décembre 2011)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

Les lumières froides, les tubes fluorescents chez Kino Flo (kinoflo.com)

Description	KF29 2900K	KF32 3200K	KF55 5500K	Bleu incrustation	Vert incrustation	Lumière noire
100mm Micro-Flo		X	X		X	
150mm Micro-Flo		X	X		X	
6" Kamio (circulaire)		X	X			
9" Mini-Flo	X	X	X			X
12" Mini-Flo	X		X			
15" F14T12	X	X	X			
2ft F20T12	X	X	X	X	X	X
3ft F30T12	X	X	X			
4ft F40T12	X	X	X	X	X	X
6ft F72T12/(1Pin)		X	X			
6ft F96T12/HO	X	X	X			
8ft F96T12/(1Pin)		X	X			
8ft F96T12/HO	X	X	X		X	
55W Compact	X		X			

Toutes les lampes sont livrées avec une enveloppe de protection.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

En résumé

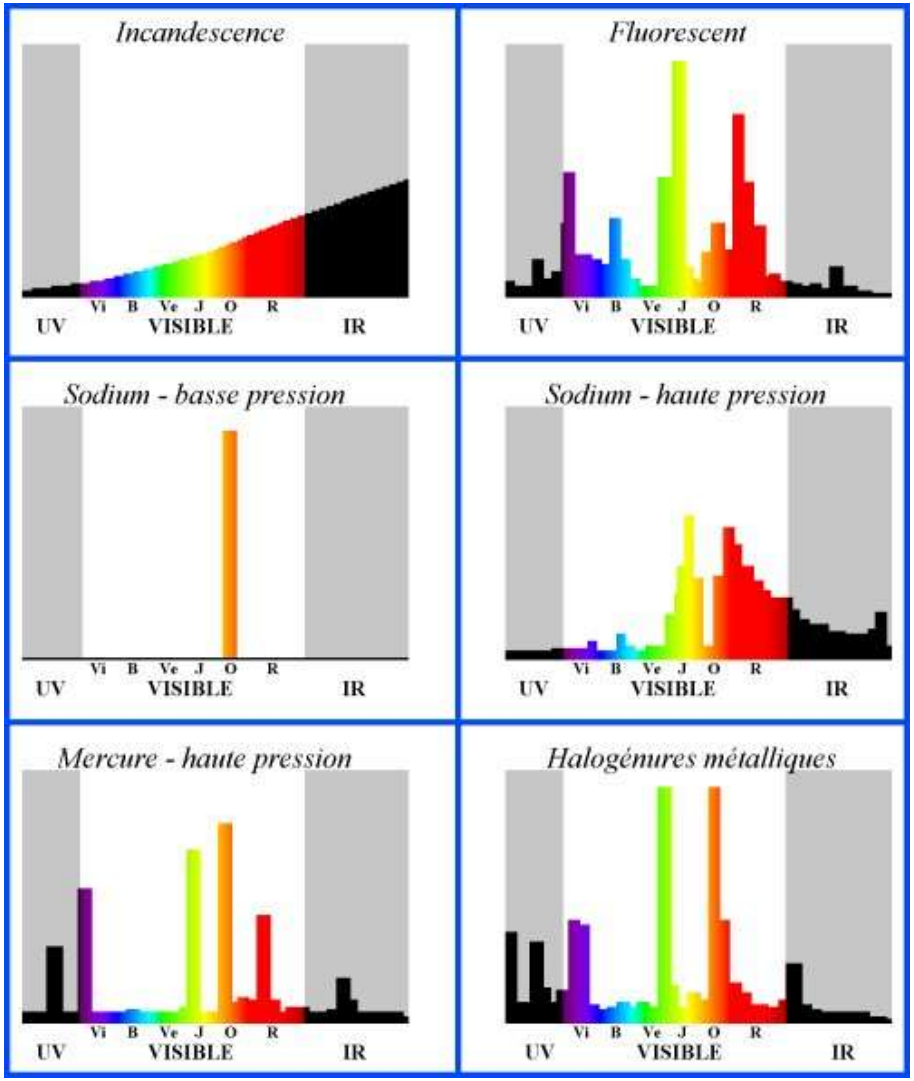
Caractéristiques des types les plus courants d'ampoule électrique :

Type d'ampoule	Efficacité lumineuse (lumens par watt)	Durée de vie moyenne (heures)	IRC *Rendu des couleurs*
incandescence	12 à 20	~1000	excellent
halogène	15 à 33	2000-4000	excellent
fluorescence	50 à 80	10000-20000	mauvais à bon
mercure	de 50 à 70	16000-20000	mauvais à bon
halogénure métallique (CDM)	de 70 à 90	6000-10000	excellent
sodium à haute pression	de 100 à 130	12000-22000	20 à 39 Mauvais
sodium à basse pression	de 140 à 180	~16000	<20 très mauvais

Tableau comparatif des domaines d'émission de différents types de lampes :

Chaque genre de source lumineuse a sa propre *répartition en longueurs d'onde*.

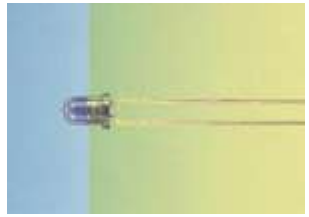
Les lumières incandescentes couvrent toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, alors que les lumières à décharge gazeuse ne couvrent qu'une partie du spectre, provoquant ainsi parfois de la distorsion dans les couleurs, p. ex. la couleur rouge peut sembler brune sous un éclairage au sodium à basse pression.



LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

LED : Light Emitting Diode «Diode électroluminescente »

Les propriétés électriques des semi-conducteurs sont particulièrement sensibles à l'éclairement. Cela est mis à profit pour réaliser des capteurs photoélectriques : cellules photovoltaïques (générateurs), capteurs « CCD » pour les caméras vidéo. Inversement les semi-conducteurs parcourus par un courant peuvent produire de la lumière : photodiodes ou LED utilisées pour l'affichage.



Une LED est un semi-conducteur qui émet un rayonnement monochrome lorsqu'elle est alimentée.

La lumière n'est pas générée par un filament (comme dans les lampes à filament) ou par la décharge de gaz (comme dans les lampes fluorescentes), mais par le comportement du matériau semi-conducteur même.

Ceci fait que la LED est une source lumineuse solide.

L'émission de lumière est générée dès la mise sous tension, il n'y a donc **ni allumage, ni préchauffage, ni temps de démarrage.**

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

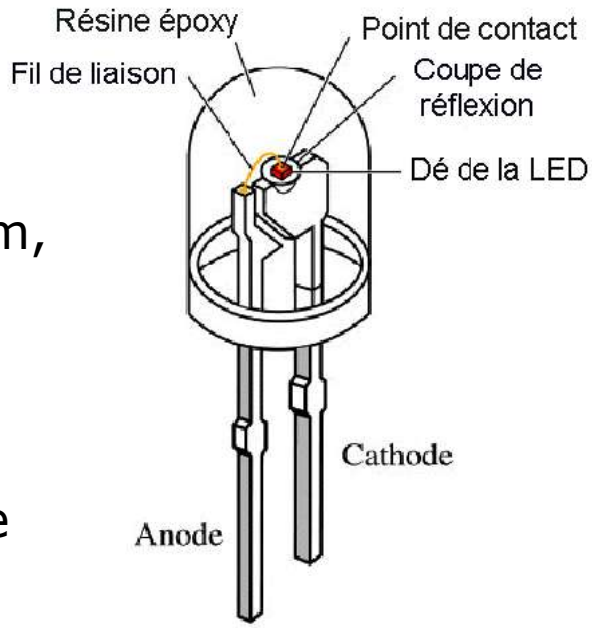
LED : Light Emitting Diode

Principe de fonctionnement

Dans une LED (Diode Electroluminescente) l'émission de lumière est due à un déplacement d'électrons dans le semi-conducteur.

Les caractéristiques de la lumière émise (couleur, rendement) dépendent uniquement du semi-conducteur utilisé (l'arséniure de gallium-aluminium, le phosphure d'indium ou le nitrure de gallium-indium).

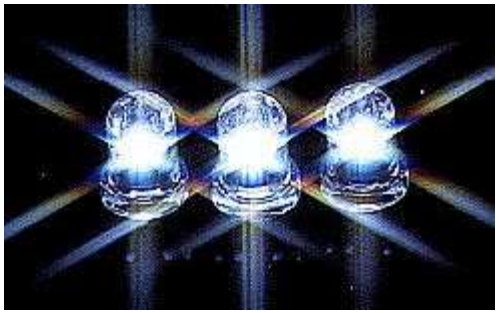
Le semi-conducteur est déposé sur un réflecteur, connecté par un fil en or puis noyé dans une résine qui forme la bulle.



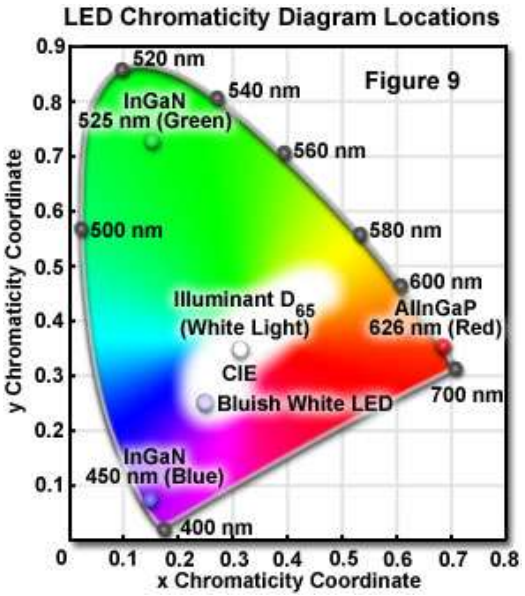
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

LED : Light Emitting Diode

La couleur de la lumière émise (1 seule couleur – spectre étroit) est déterminée par le matériel semi-conducteur et est presque monochrome.
Plusieurs méthodes ont été développées pour obtenir l'émission de lumière blanche d'une LED :



- Trois puces semi-conductrices (rouge, verte et bleue) sont combinées dans un boîtier LED, un mélange qui résulte en une lumière blanche.



- Un développement plus récent **est une LED bleue avec puce simple à laquelle une substance (phosphorescente) jaune** luminescente est rajoutée. Cette substance transforme la lumière à longueur d'onde bleue en jaune. Les 2 couleurs se fondent et sont perçues comme du blanc par l'observateur.

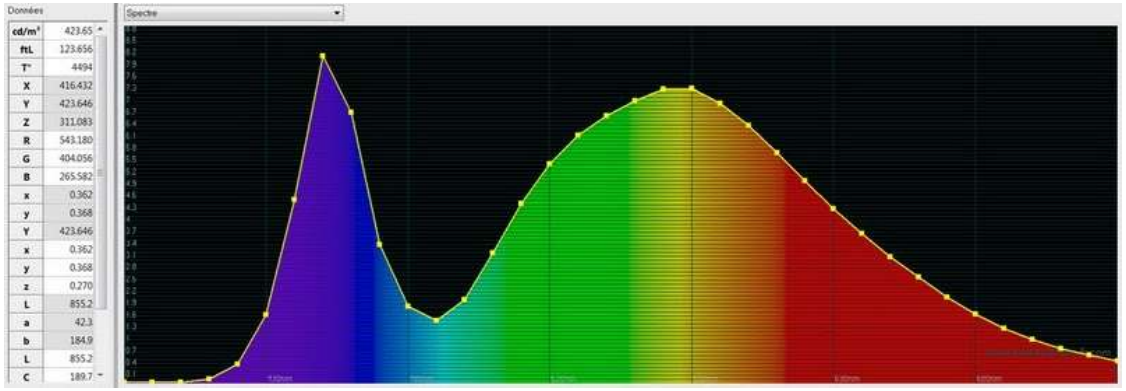
- **Les LEDS à UV.** Cette méthode utilise le rayonnement d'une **LED à UV.** L'IRC est alors similaire à celui des lampes fluorescentes (bon) mais le rendement lumineux moindre.

Remarque : Le coût de la lumière blanche est prohibitif, plusieurs dizaines d'euros pour une LED blanche d'une puissance équivalente à une ampoule classique de 100W.

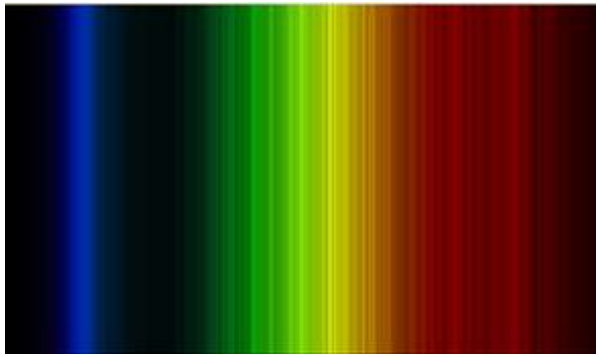
LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

LED : Light Emitting Diode

SPECTRE D'UN LIGHT PANEL

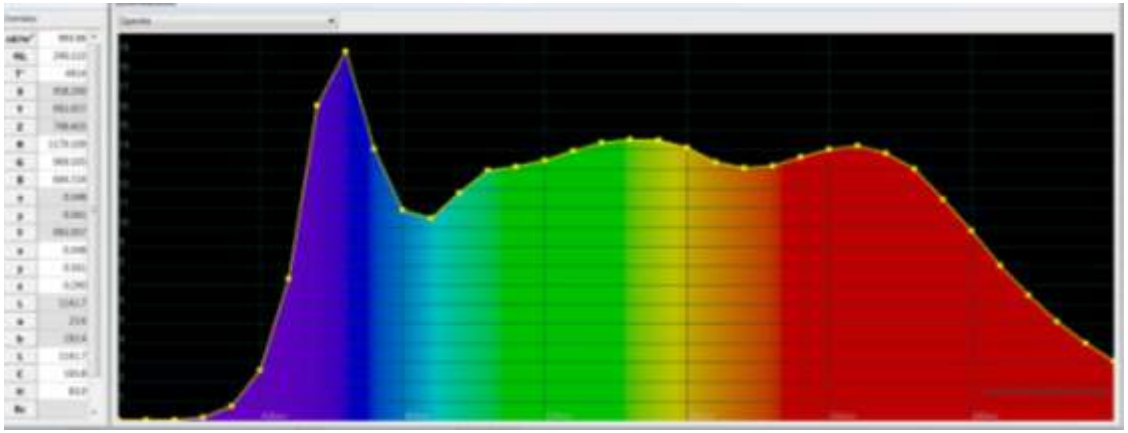


Source : INA (décembre 2011)



Spectre discontinu d'une LED

SPECTRE D'UN Trucolor HS daylight (Cineo lighting)



Source : CST (décembre 2012)

LED : Light Emitting Diode

QUELLES SONT LES FORCES ET FAIBLESSES DES LEDS BLANCHES POUR L'ECLAIRAGE ?

Les LEDs sont-elles plus efficaces que les autres sources lumineuses blanches?
D'un point de vue purement technique la réponse est "Non, pas encore ", comme le montre le tableau ci-dessous.

	INCANDESCENTE	HALOGENE	LAMPE BASSECONSOMMATION (fluo-compacte)	TUBEFLUORESCENT	SODIUM HAUTEPRESSION	LED BLANCHES
Efficacité lumineuse des ampoules seules (Lm/W)	5-15	10-26	50-70	70-120	75-150	15-25
Durée de vie (Heures)	1.000	4.000	12.000	10.000 20.000	16.000	100.00 150.000
Indice de Rendu des Couleurs (IRC)	100	100	85	85	65	65 (bleue) 85 (UV)

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

LED : Light Emitting Diode

Les LEDs durent 100.000 heures

Oui et non. Une LED voit son flux lumineux décroitre avec le temps sur une période qui peut excéder 100.000 heures. Généralement, on considère que la durée de vie d'un système à base de LED est le temps qu'il faut pour que le luminaire n'émette plus que 70% de son flux initial. Typiquement, une LED de puissance a, dans ces conditions, une durée de vie de plusieurs dizaines de milliers d'heures.
Un produit mal conçu, par exemple qui chauffe trop, aura une durée de vie réduite, bien en deçà des 100.000 heures. Il suffit quelques minutes à trop haute température pour détériorer une LED de manière irréversible.

Les LEDs ne chauffent pas

Oui et Non. Une LED n'émet pas d'infra rouges, en outre l'efficacité de la conversion électricité>lumière vaut typiquement 20%. Il en résulte que 80% de l'électricité est convertie en chaleur dite « thermique ». Cette chaleur est extraite à l'arrière de la LED et doit être évacuée hors du luminaire. On peut néanmoins affirmer que la LED possède une lumière froide car dépourvue d'infra rouges

LED : Light Emitting Diode

Un luminaire à LEDs consomme très peu

Oui et Non. La transformation de l'électricité en lumière est relativement efficace avec une LED, bien plus que pour les lampes incandescentes. Néanmoins l'efficacité des luminaires à LEDs est généralement inférieure ou égale à ceux équipés de lampes à décharges. Il convient donc de comparer les performances et de les ramener à la consommation. Car même si consommer moins est potentiellement intéressant, il faut que la quantité de lumière suive.

Un luminaire à LED coûte cher

Oui et Non. Un luminaire à LED est typiquement plus cher que son équivalent basé autour d'une source classique. Néanmoins, il faut raisonner « système » et voir l'investissement sur toute la durée de l'exploitation.
Ceci mène à calculer le coût total, appelé « total cost of ownership ».

LED : Light Emitting Diode

L'indice de rendu des couleurs avec les luminaires à LEDs

En 2006, la commission internationale de l'éclairage a créé un comité technique dont la mission était de définir un nouvel indice de rendu des couleurs. A ce jour, aucun résultat n'a été publié.

Pour le moment, pour se faire une idée de la capacité des luminaires à rendre fidèlement les couleurs les plus délicates, il existe l'IRC_8, l'IRC_{15}, le CQS, le TLCI-2012 .

En 2014, une étude de la CST permet de dire que tous ces indices se valent dès lors qu'il s'agit de hiérarchiser les projecteurs existant. Il ne faut pas se fier uniquement à la valeur absolue donnée par les indices. Les indices servent à comparer les projecteurs. Par contre, on peut affirmer qu'un $IRC_8 > 95$ convient pour la plupart des applications dans l'audiovisuel. Un indice égal à 100 est requis pour la reproduction d'œuvres d'art ou pour la fidélité des couleurs dans un pack-shot.

LED : Light Emitting Diode IRC ou CQS

Le NIST (National Institute of Standards and Technology) a développé le Color Quality Scale (CQS). Ce nouvel indicateur est présenté par Yoshi Ohno et Wendy Davis dans une publication parue le 08 juin 2010.
Ce nouvel indicateur permet de corriger l'IRC sur différents points, sans perturber les industriels:

- La fidélité des couleurs n'est qu'un aspect de la qualité des couleurs.
- Un éclairage peut avoir un IRC élevé, alors qu'il ne fait pas ressortir certaines couleurs, en particulier le rouge.
- L'IRC pénalise les éclairages qui réhaussent la saturation des couleurs
- Le CQS pénalise les sources lumineuses dont le blanc tire vers le vert ou le rose
- Le CQS ne perturbe pas les industriels en utilisant des valeurs proches de celles calculées par l'IRC

Le CQS utilise un panel de 15 échantillons de couleurs ayant une saturation chromatique élevée, rencontrées
davantage dans le commerce:

LED : Light Emitting Diode IRC ou CQS

(a) Color-desaturating light (R_a=82, Q_a=74)

(b) Color-enhancing light (R_a=71, Q_a=83)

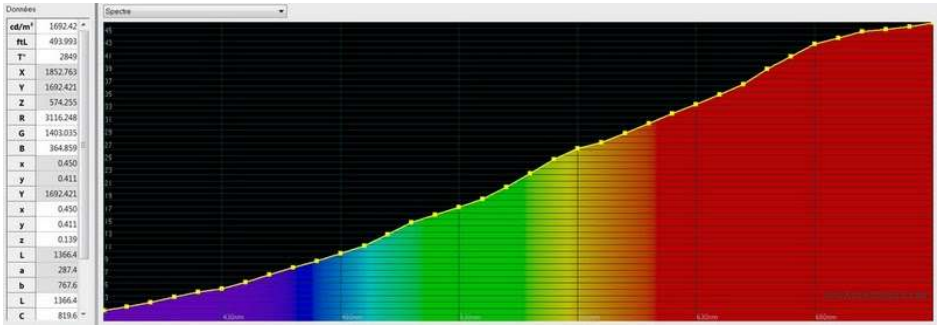
Le rendu des couleurs calculé avec la méthode CQS (Color Quality Scale), proposée par Ohno and Davis du NIST, semble être plus fidèle aux observations que le vieil indice IRC. Le CQS se positionne comme l'indice soutenu par les USA. Parallèlement, les Européens devraient proposer leur propre indice.
L'industrie a absolument besoin d'un nouvel indice de rendu des couleurs. Gageons qu'Européens et Américains sauront s'accorder sur un nouvel indice et que ce dernier sera rapidement utilisable.

LES SOURCES DE LUMIERE ARTIFICIELLE

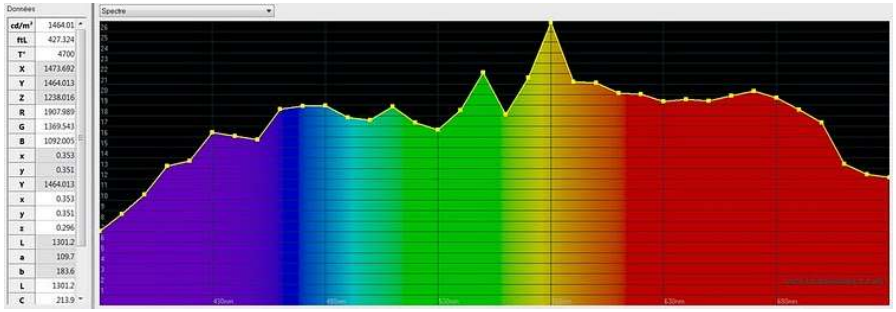
Courbes spectrales

(comparaison des différentes sources couramment utilisées)

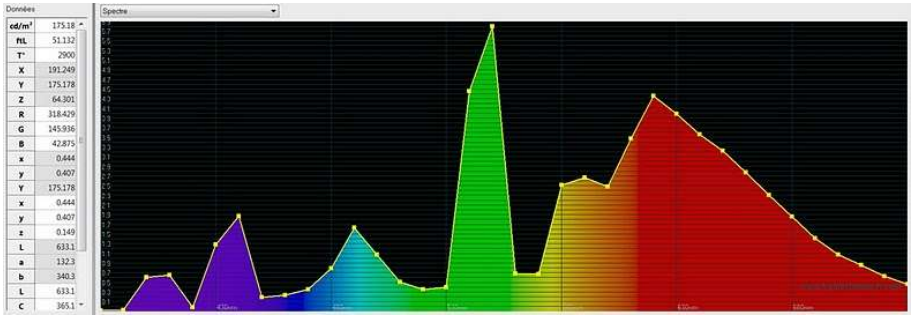
Spectre Fresnel TH



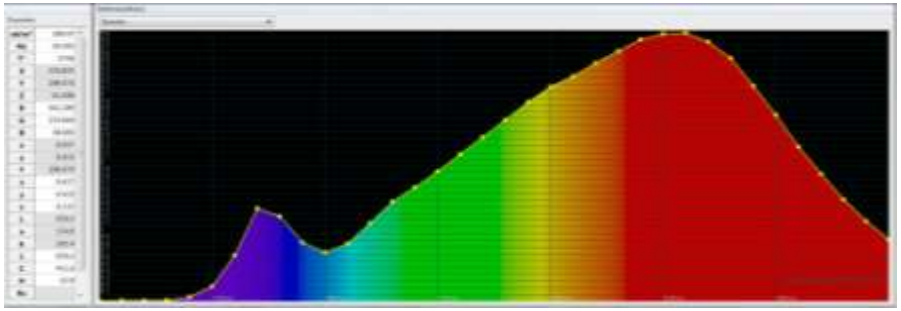
Spectre HMI Black Jack K5600



Spectre FLUO Barfly Kinoflo 3200K

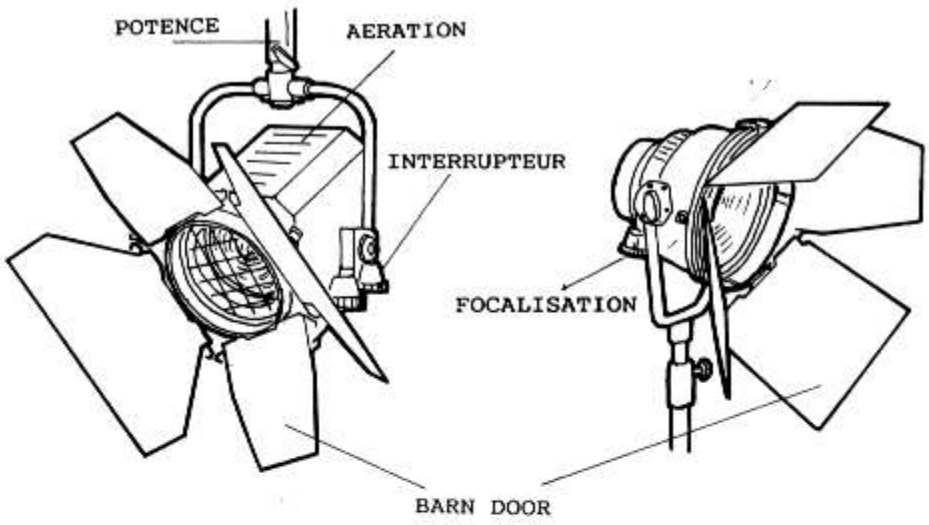


Spectre TruColor 3200K (LED)

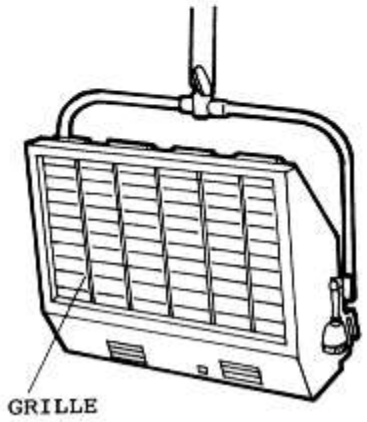


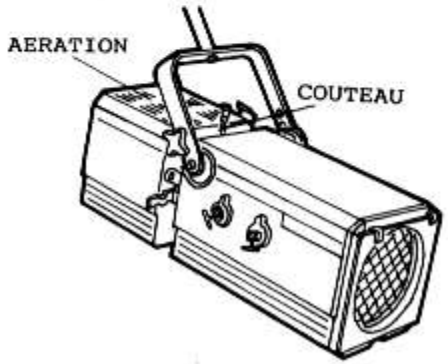
Source : INA

LES PROJECTEURS



Projecteur à Fresnel. *Projecteur ouvert (quartz).*





Ambiance. *Découpe (poursuite).*

On utilise rarement les sources lumineuses seules. On les place dans des projecteurs qui ont pour but de modifier la répartition de la lumière qu'elles émettent.

La forme des projecteurs doit répondre à des impératifs optiques variables en raison de l'utilisation (par exemple, concentration du flux lumineux ou diffusion de la lumière.

Le choix d'un projecteur nécessite la connaissance des propriétés optiques des surfaces (réflexion, transmission).

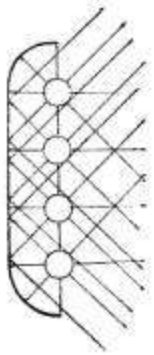
LES PROJECTEURS

Maîtriser le faisceau lumineux

Extrait du DVD EDF « Que la lumière fuse »

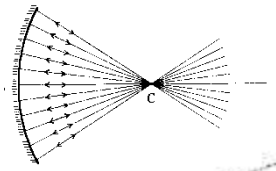
LES PROJECTEURS

Principales propriétés optiques des surfaces :

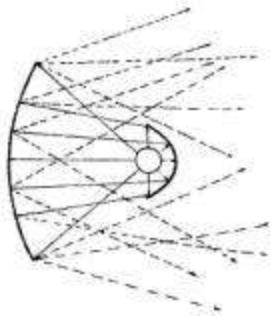


- **Surface plane** :
  - ➢ polie : les rayons réfléchis font un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

  - ➢ mate : répartition de la lumière réfléchie dans toutes les directions.

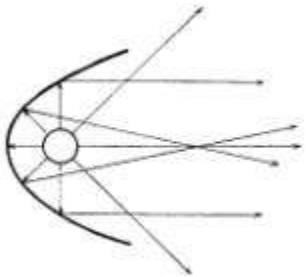


- **Surface sphérique polie** :
  - ➢ Si la source est placée à ½ rayon, la lumière réfléchie est sensiblement parallèle à l'axe.



- **Surface elliptique et parabolique**
  - ➢ Si on place une source ponctuelle au foyer F_1 d'un volume en forme d'ellipse (ellipsoïde) dont la surface est polie, les rayons réfléchis passent tous par le 2e foyer F_2.

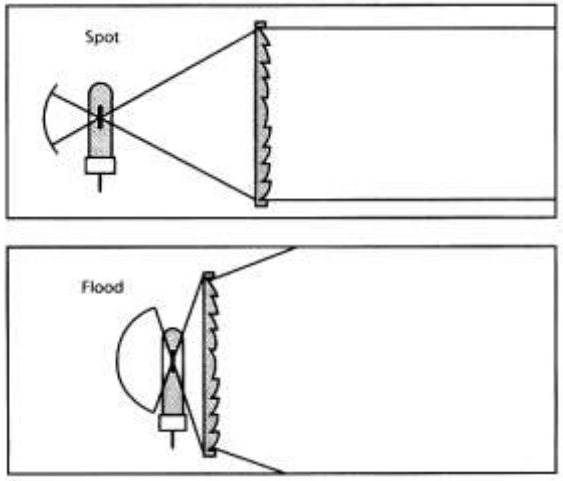
  - ➢ Avec une parabole, les rayons lumineux placés au foyer sont réfléchis parallèlement à l'axe.



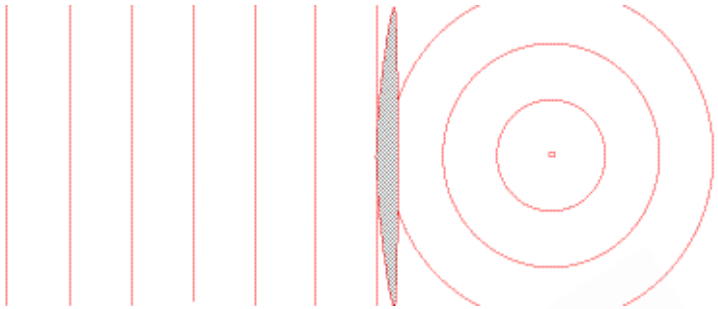
Les surfaces peuvent être polies, dépolies et plus ou moins fortement colorées.

LES PROJECTEURS

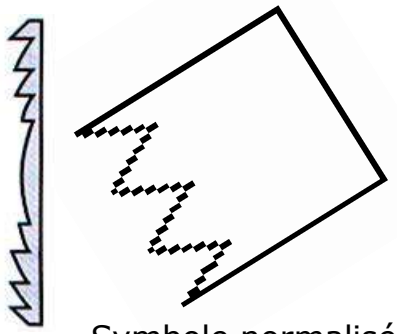
Luxarc 18 Kw



Projecteurs à lentille de Fresnel



Les lentilles de Fresnel sont *claires, martelées ou satinées*. La martelée évite l'image du filament, la satinée assure un meilleur étalement de la lumière.

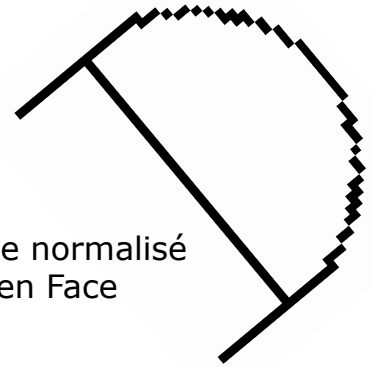


Symbole normalisé Fresnel

LES PROJECTEURS

Projecteurs « Open Face »

Shaula



Symbole normalisé
Open Face

Mandarine

Goya

Blonde

LES PROJECTEURS

Les ambiances

Softarc

Symbole normalisé
« Ambiance »

Cycliode

Symbole normalisé
« Cycliode »

AREA 48 SOFT (Led)
BB&S (Danemark)

TruColor HS (Led)

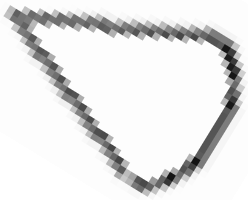
LES PROJECTEURS

Le PAR

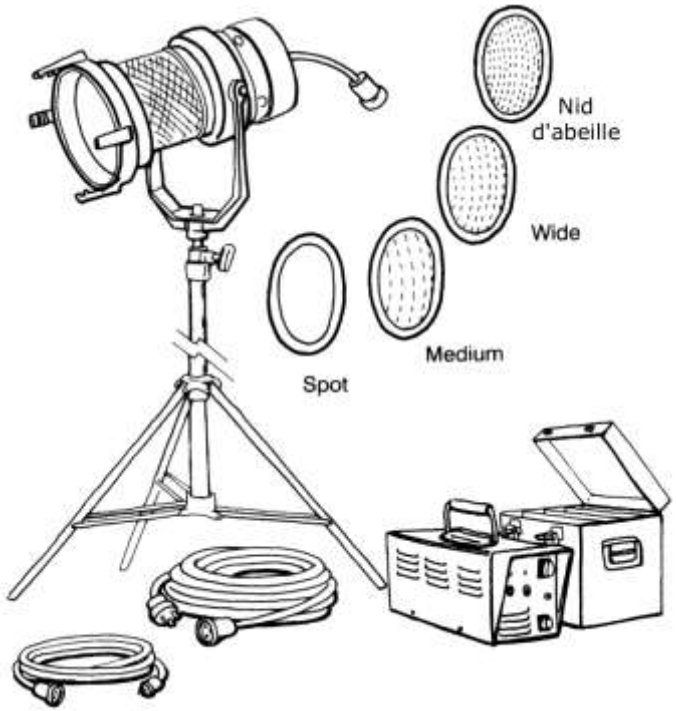
« Parabolic Aluminized Reflector »

12 Kw Cinepar

Pocket Par (125 W)



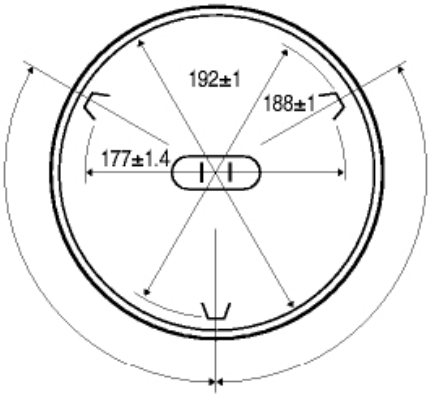
Symbole normalisé
« Par »

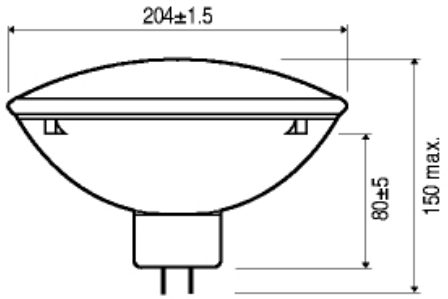


LES PROJECTEURS

Le PAR

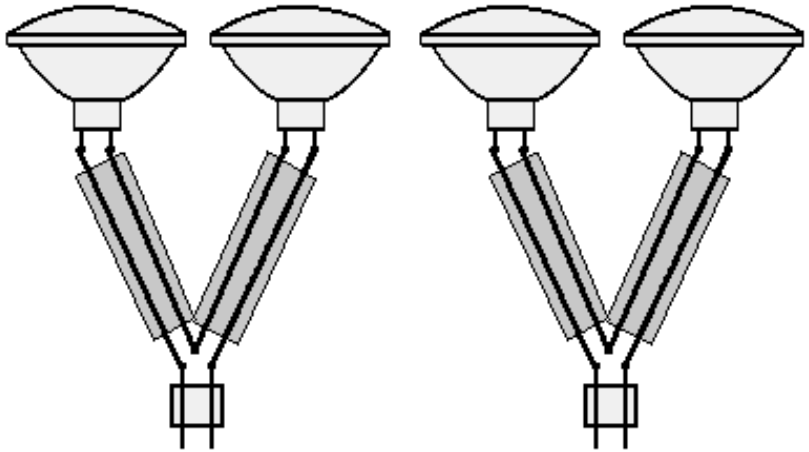
Lampe de 850W ou 1Kw





Minibrut (6 lampes)
Dinolight (24 lampes)

Par 64 with GX16d Base (EM EP)



LES PROJECTEURS

Les projecteurs à incandescence

Cycliode
1250 W TH

Leonardo
20 Kw TH

Fresnel
2 Kw TH
sur grill

Ambiance

Mandarine
800W TH

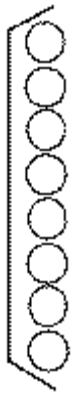
Pince bol
(flood)

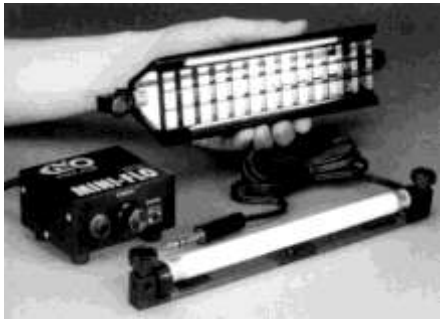
Blonde
2 Kw TH

LES PROJECTEURS

Les tubes fluo

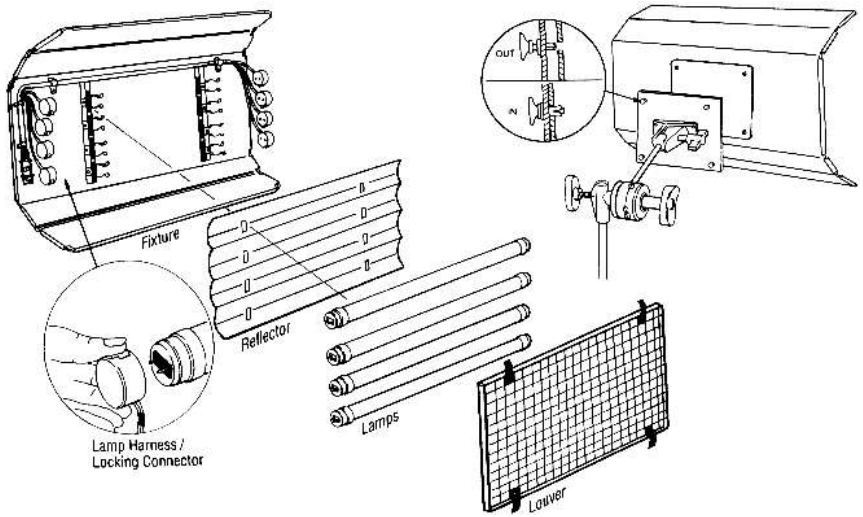
Symboles Fluo

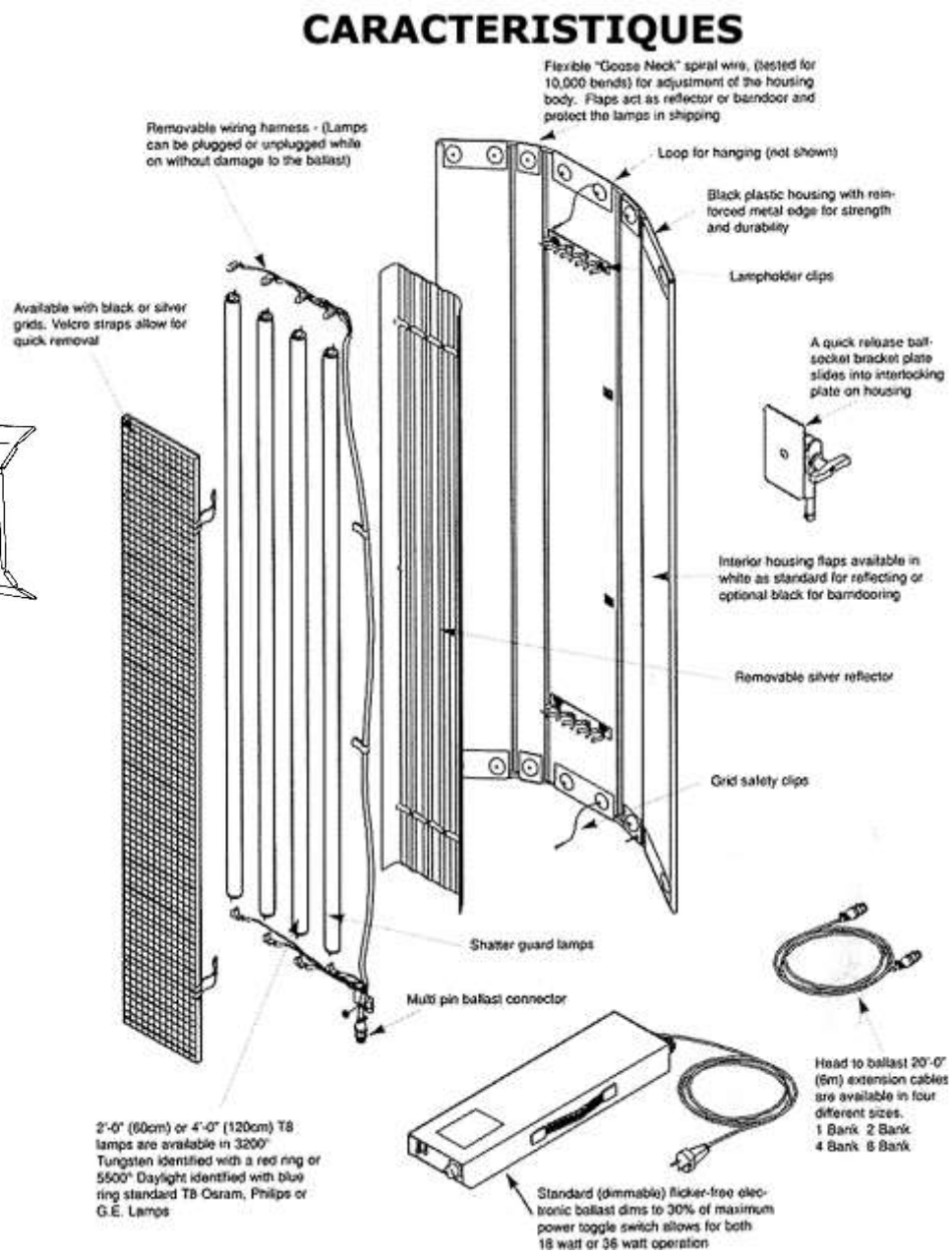




LES PROJECTEURS

Les tubes fluo



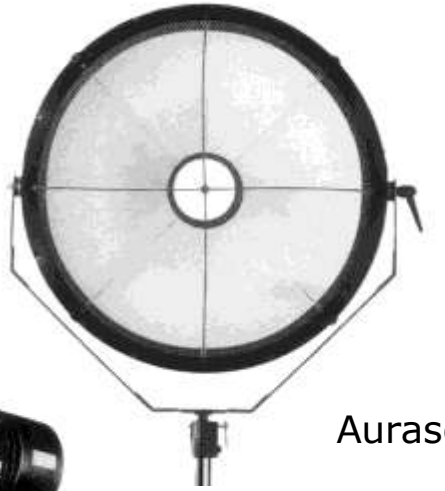


LES PROJECTEURS

Les projecteurs munis de lampes HMI

Goya

Cinepar



Aurasoft

Ambiance

Alpha

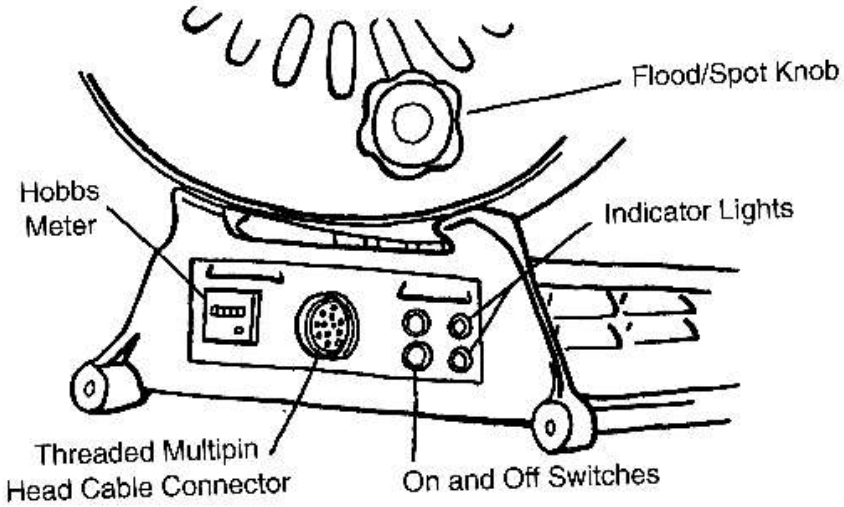
Shaula

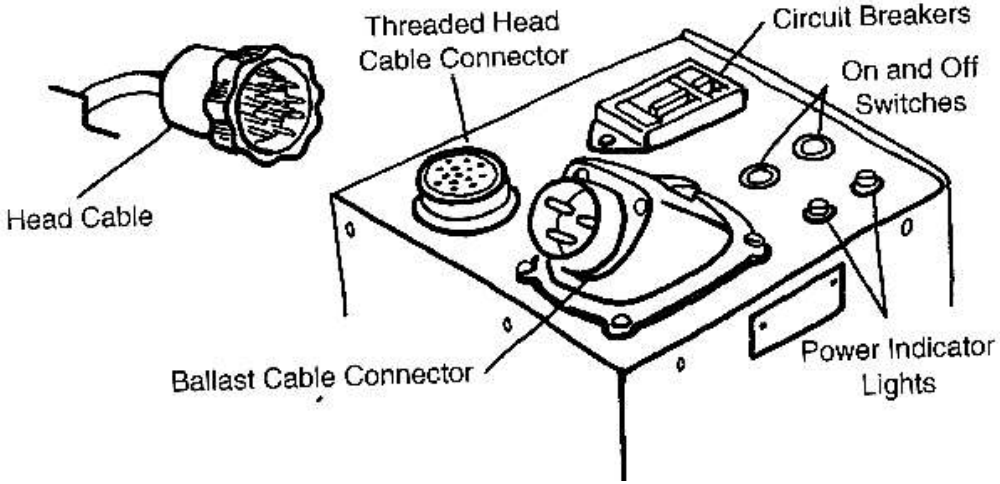
Prolight

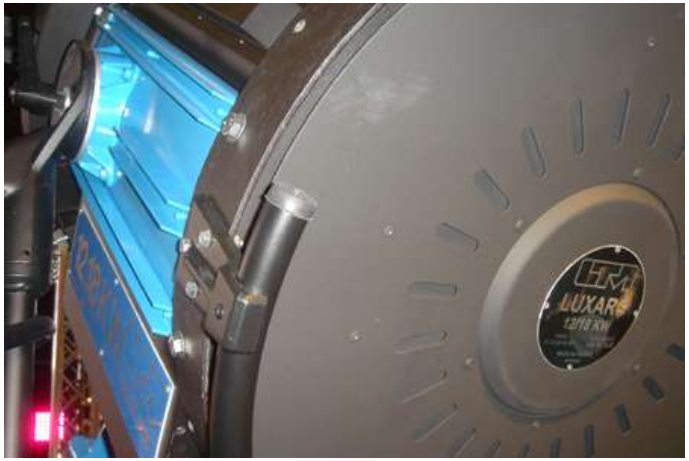
wash

LES PROJECTEURS

Les HMI







LES PROJECTEURS

Les HMI

L'Alpha 4 est à la base un projecteur sans lentille offrant une plage large de près de 170° remarquablement uniforme et ne projetant qu'une seule ombre.

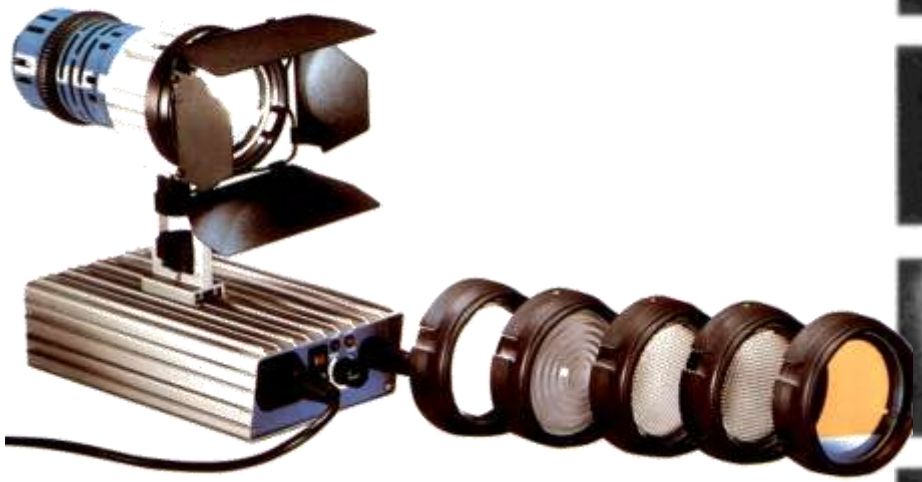
Un jeu de deux Fresnel est disponible afin d'obtenir une plage plus concentrée et plus puissante, offrant un angle de 70° Flood à Spot. Ce projecteur à un très faible encombrement.

LES PROJECTEURS

Les HMI

Alpha 18K
loué chez
K5600 Lighting

LES PROJECTEURS
Les HMI
Les projecteurs compactes, le Pocket Par



Existe en 125W, 200W et 400W

Sans lentille

Lentille « medium »

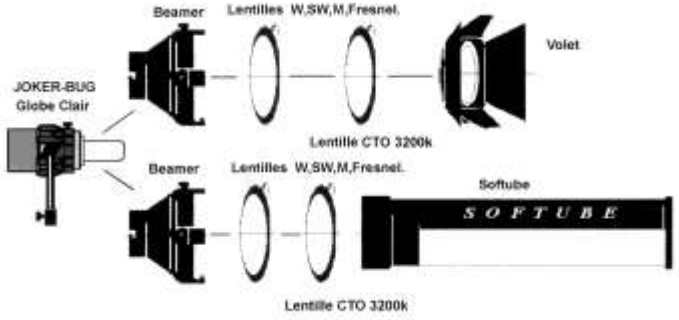
Lentille « wide »

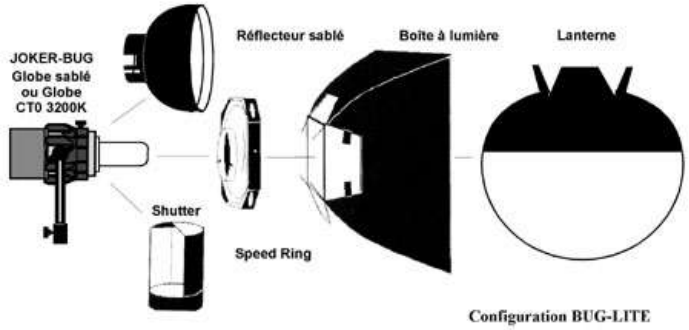
Lentille « super wide »

Lentille « Fresnel satinée »

LES PROJECTEURS
Les HMI

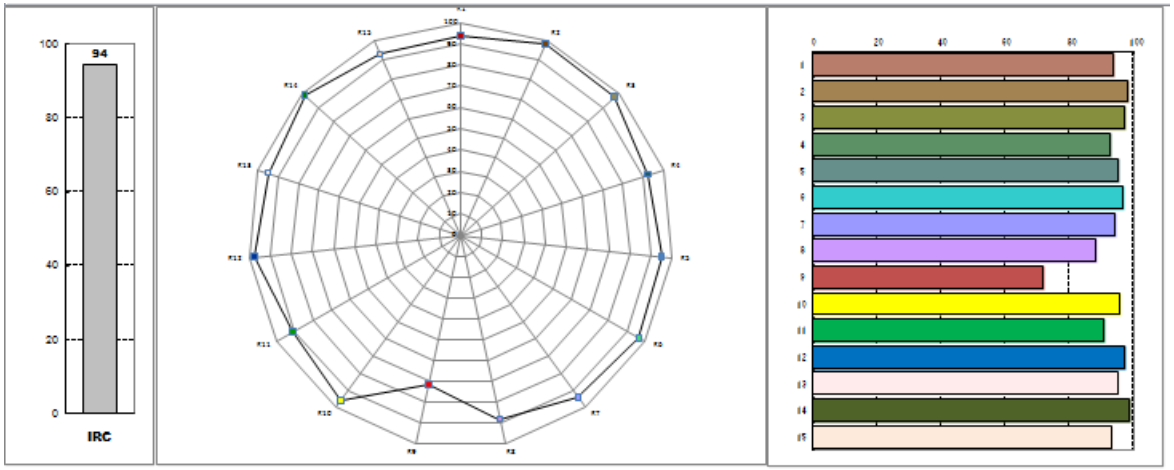
Le projecteur modulable, le Joker
200W, 400W, 800W HMI

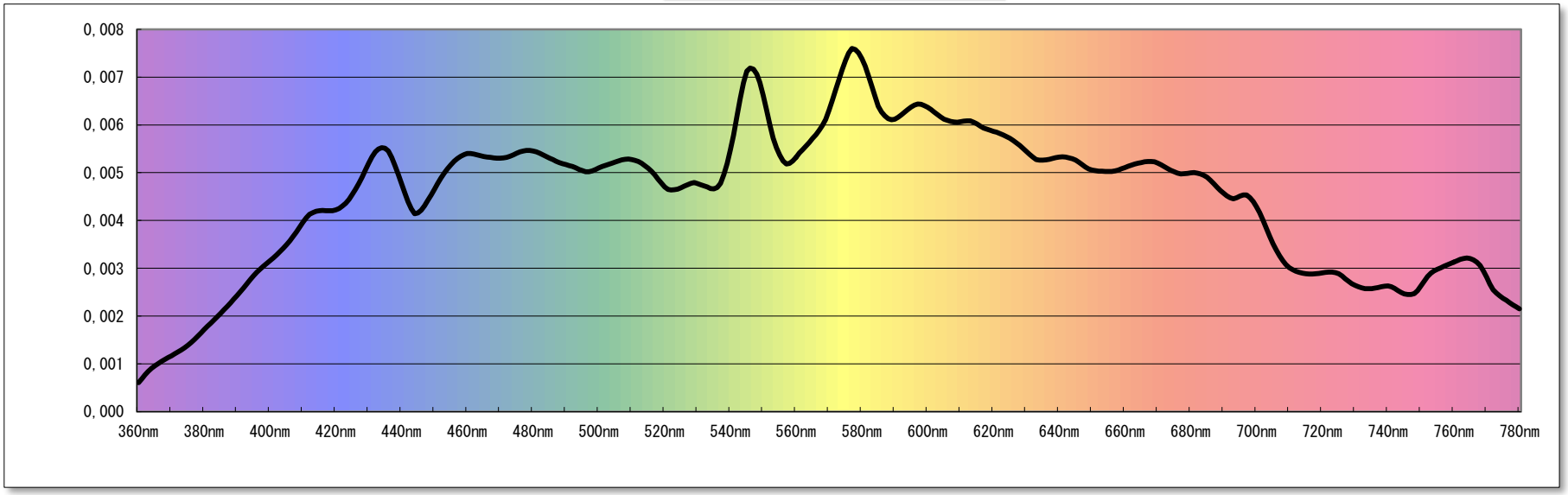




LES PROJECTEURS
Les HMI

Le projecteur modulable, le Joker 200W HMI IRC 94





LES PROJECTEURS

Les HMI

Le projecteur modulable, le Joker 200W, 400W, 800W HMI

LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

AREA 48 Soft

Led Flo
3200K
ou
5500K

Ring Light

F8 de Zylight

TRUColor HS

OXO-ColorBeam

Litepad
Rosco

TRUColor Foton

LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

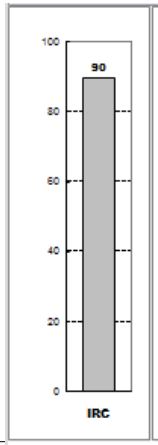
F8 de Zylight

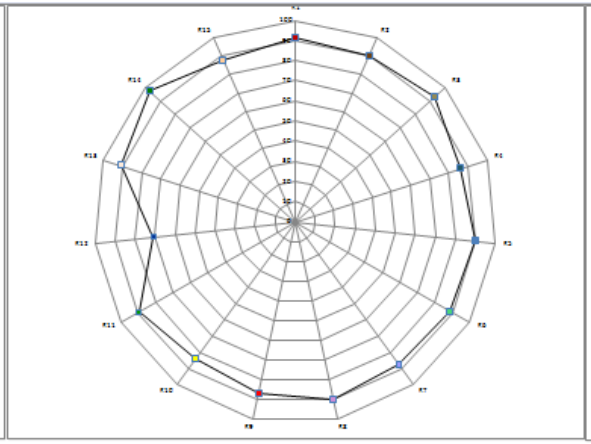
DISTANCE:	1M	2M	5M
F8-D FLOOD	3980 lux	1020 lux	183 lux
F8-D SPOT	45200 lux	12900 lux	2150 lux
F8-T FLOOD	3440 lux	926 lux	161 lux
F8-T SPOT	40900 lux	10800 lux	1880 lux

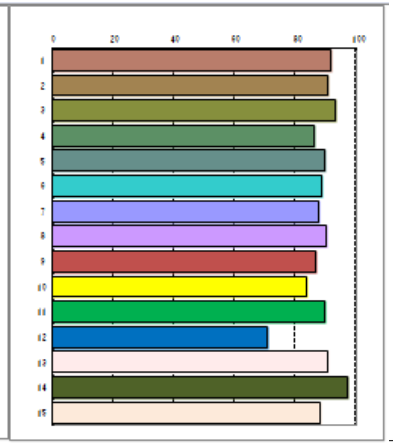
LES PROJECTEURS

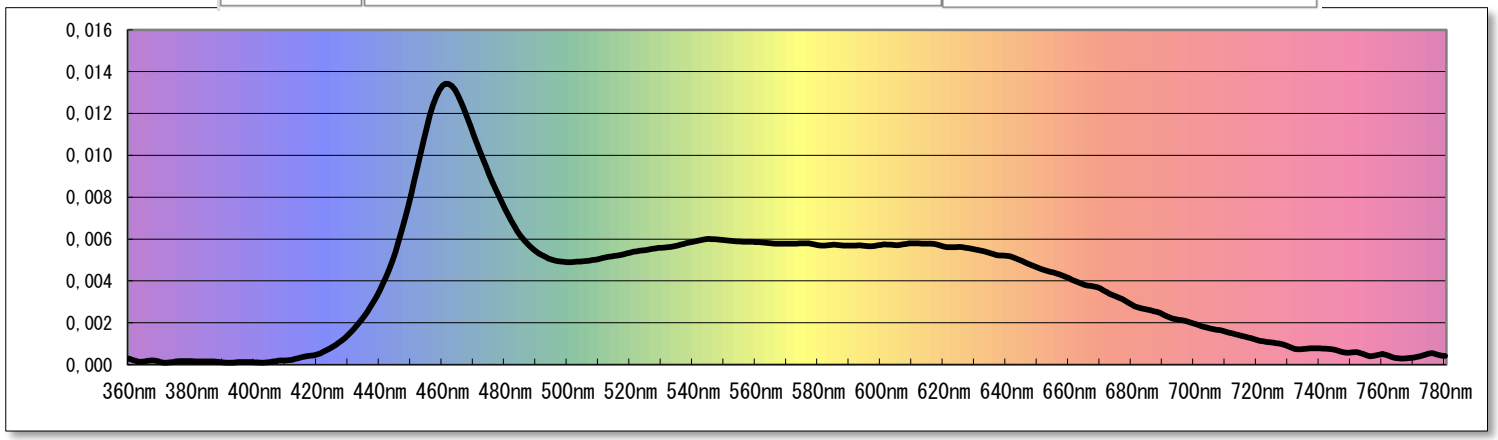
Les projecteurs à base de LED

ZYLIGHT	**IRC abs**	**89,7**
F8 (Fresnel)	**TC app.**	**6400 K**





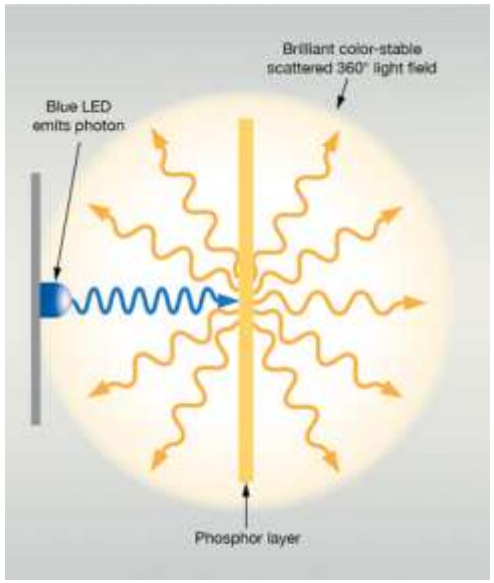


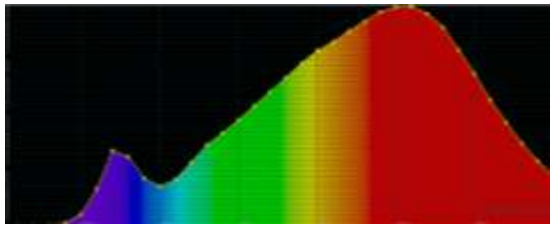


LES PROJECTEURS

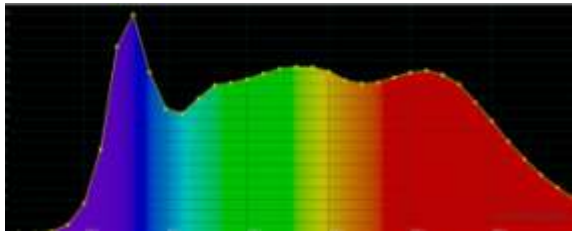
Les projecteurs à base de LED

TRUColor HS de CINEO



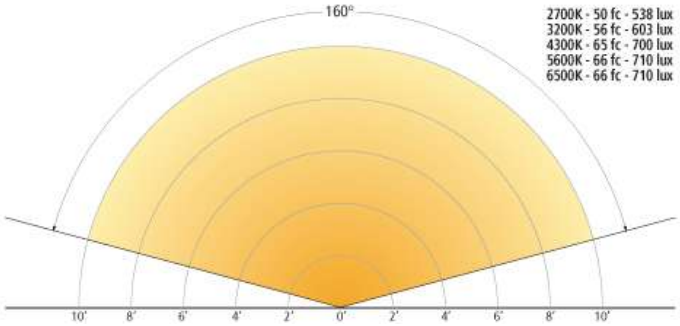


Distribution spectrale à 3200K



Distribution spectrale à 5600K

Mesures effectuées à la CST en 2012



Ambiance 500W à base de lampes LED

IRC >98 à 3200K, IRC > 94 à 5600K

600 lux à 3m

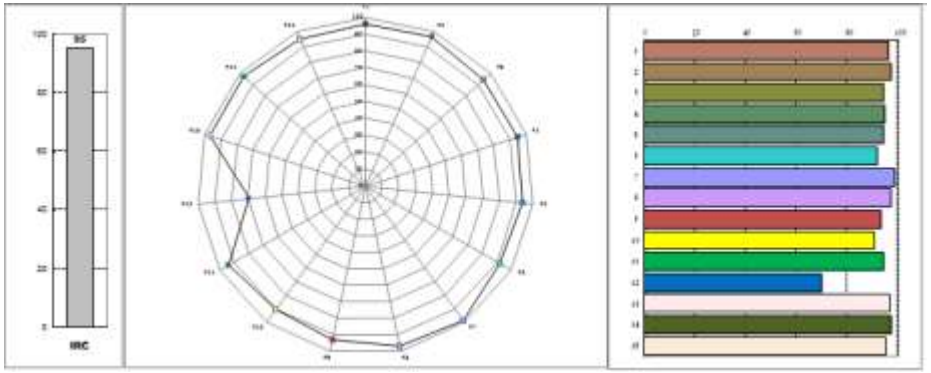
(données constructeur)

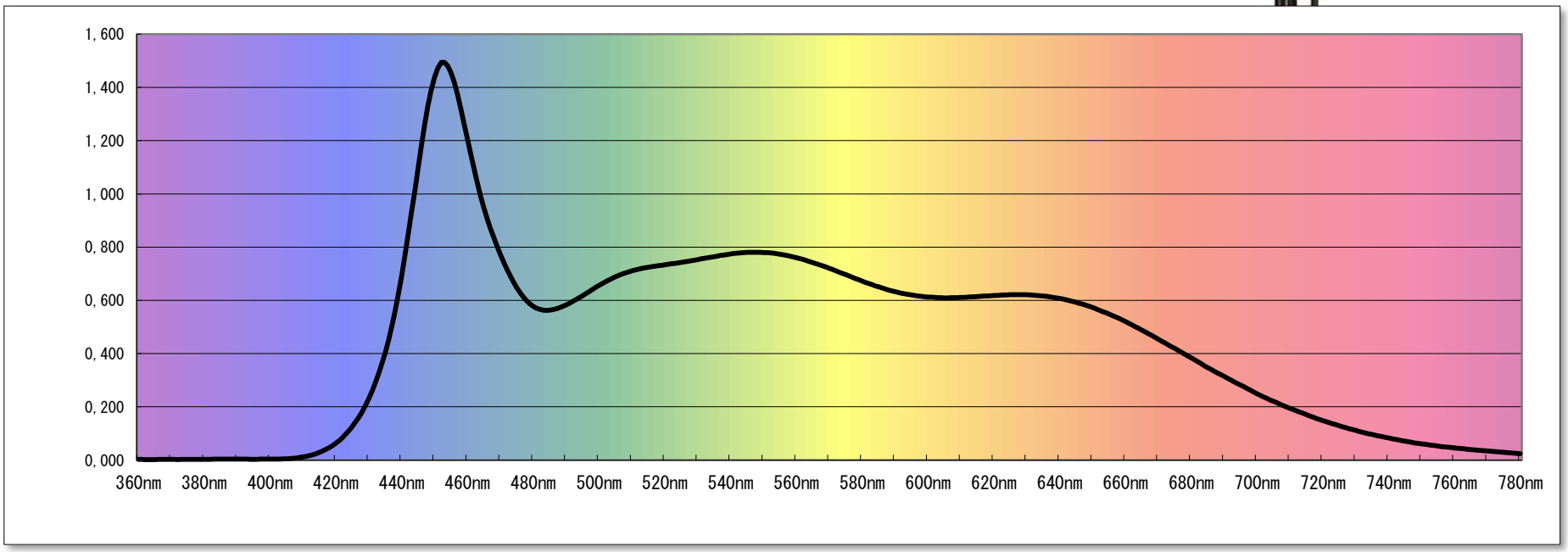
Prix en 2013 3700$

LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

TRUColor HS de CINEO 5600K IRC 95

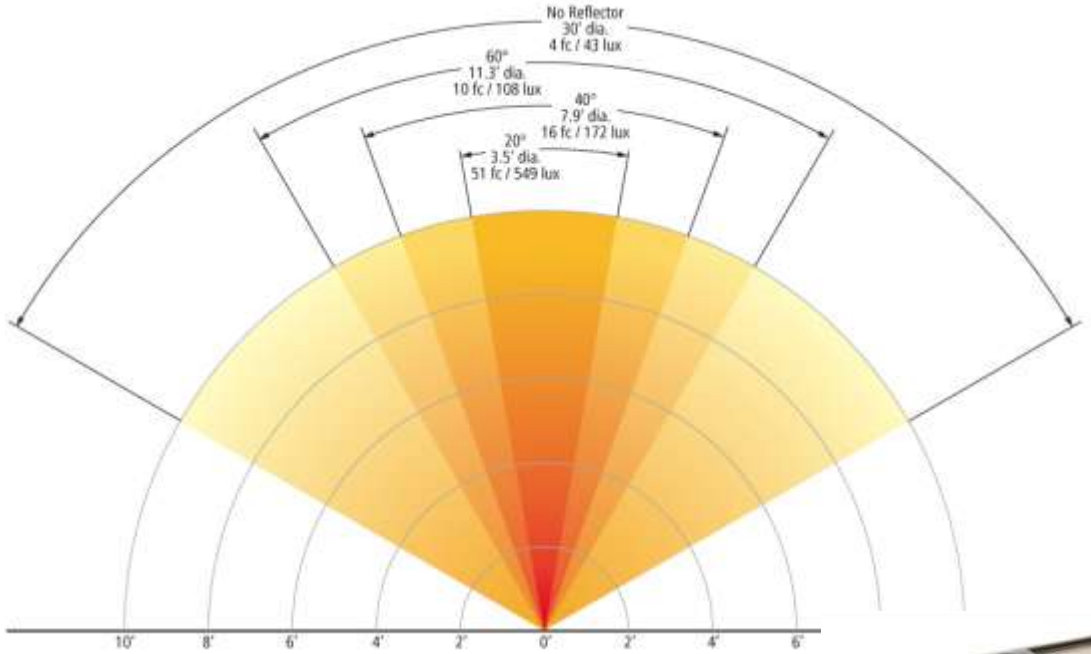




LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

TRUColor FOTON de CINEO



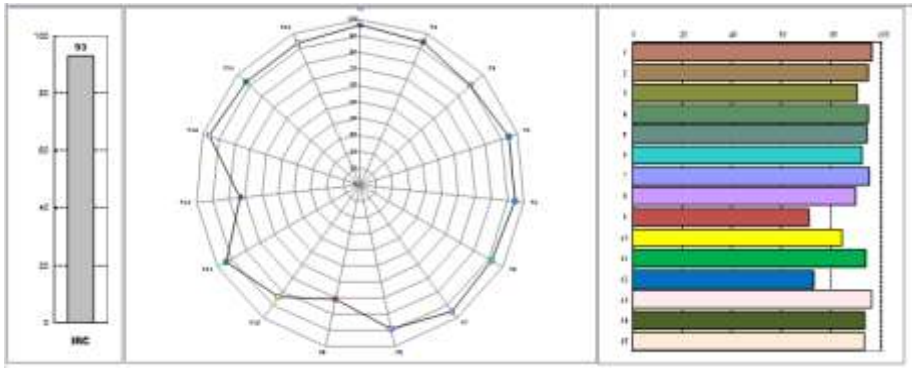
Trois réflecteurs
20° 40° 60°

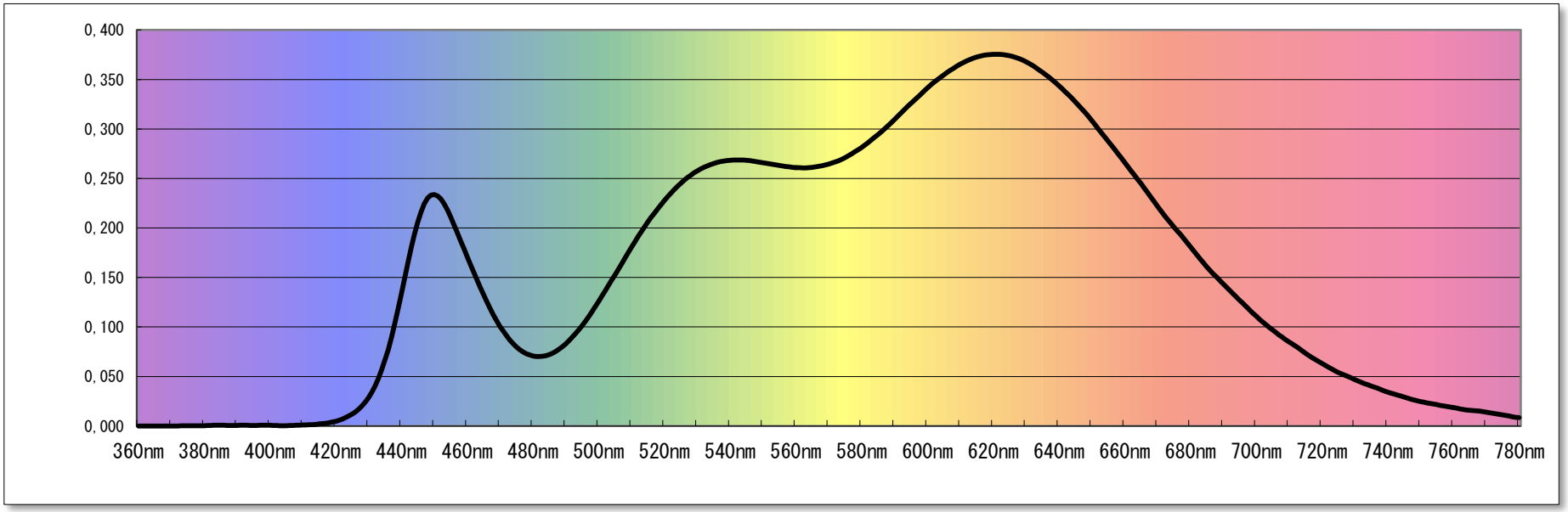
Diamètre : 9cm, L 17 cm
IRC >96, 30W, 50 000 heures
Pas de ventilateur, pas de battement
2000 $ en 2013

LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

Led Flo 3200K IRC 93



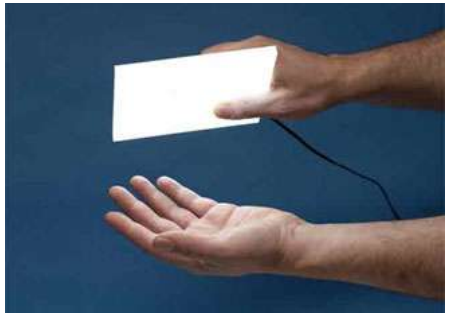


LES PROJECTEURS

Les projecteurs à base de LED

LITEPAD (Rosco)

LED : Light Emitting Diode

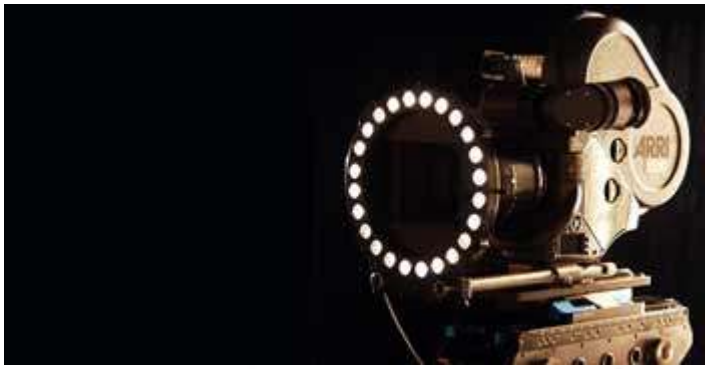


Un luminaire au profil mince qui crée une source de lumière douce et uniforme en consommant très peu d'énergie et sans émission de chaleur.

LES PROJECTEURS

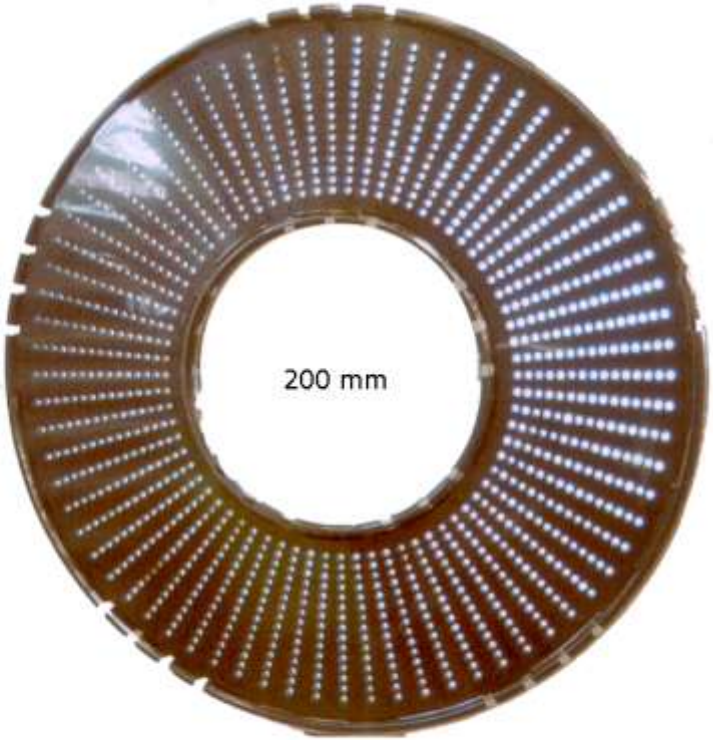
Les projecteurs à base de LED

Ring Light Led



LED : Light Emitting Diode

40 mm



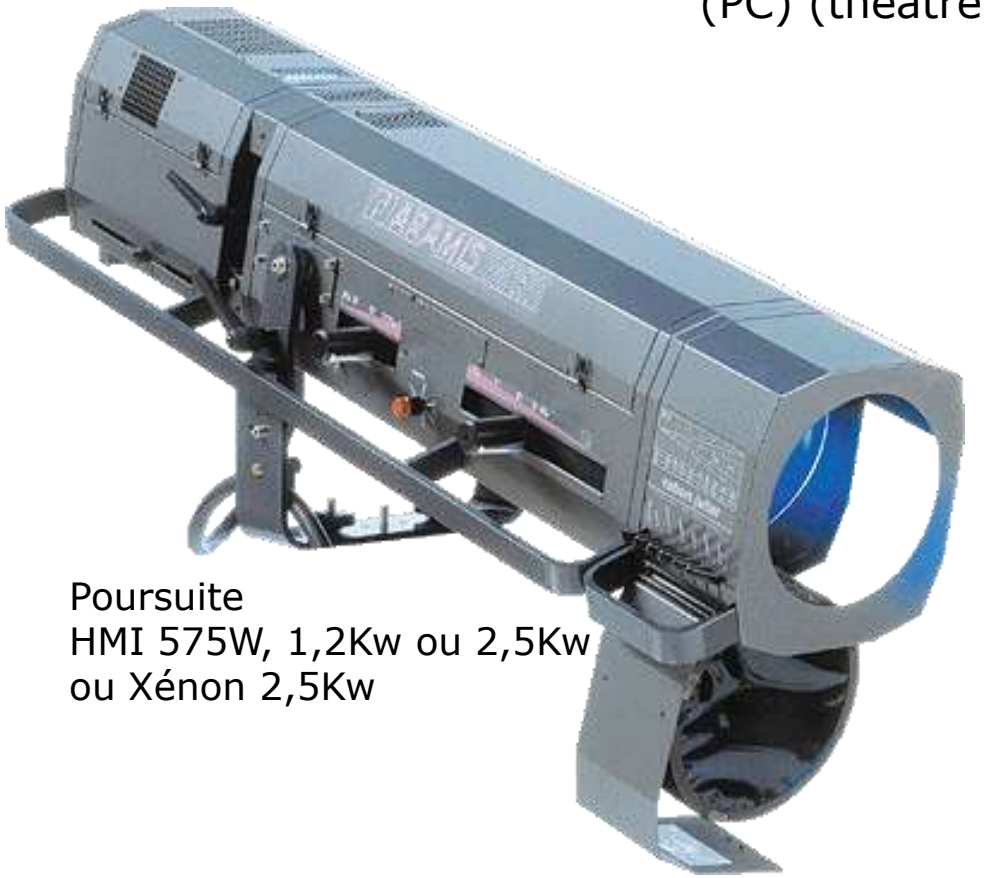
500 mm

LES PROJECTEURS

Les projecteurs spectacle et évènementiel

Découpe
1KW ou 2Kw
tungstène

Plan convexe
(PC) (théâtre)

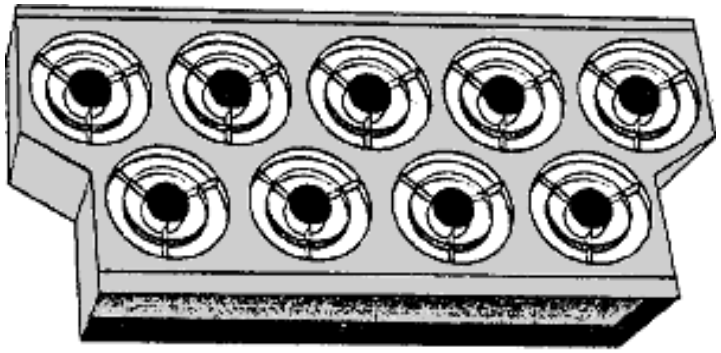


Poursuite
HMI 575W, 1,2Kw ou 2,5Kw
ou Xénon 2,5Kw

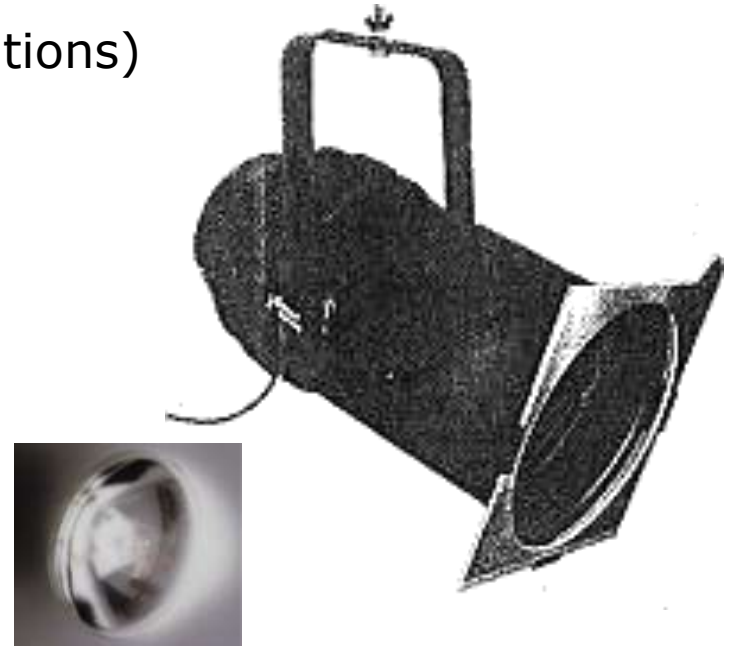
Bain de pied

LES PROJECTEURS

Les projecteurs événementiel (conventions)



Projecteur SVOBODA ADB
(9 lampes de 250W basse tension)
Plusieurs svobodas mis bout à bout créent un mur de lumière que le regard ne peut traverser.



Projecteur PAR64 1000W/220V solo
Barre de 6 PAR64 1000W/220V
[*acronyme de Parabolic Aluminized Reflector*] projecteur très simple et très léger (de 3 à 4 kg), juste une boite en tôle (en acier ou en aluminium), sans lentille car c'est la lampe PAR qui intègre le réflecteur et la lentille non focalisable

LES PROJECTEURS

Les projecteurs studio télévision

Projecteurs « asservis »

Miroirs

Téléscan

Les miroirs font à quelques différences près le même travail que les lyres à effet mais avec une rapidité d exécution bien plus rapide au mouvement du fait qu'il n y aura aucune inertie propre à leur volume contrairement aux lyres.

Lyres

Projecteurs wash (n'ayant que la trichromie à gérer).

Projecteurs à effet (gobos et trichromie)

Il y a aussi des projecteurs automatiques que l'on nommera projecteur d'architecture (il ne bouge pas mais possède la trichromie)

fixes

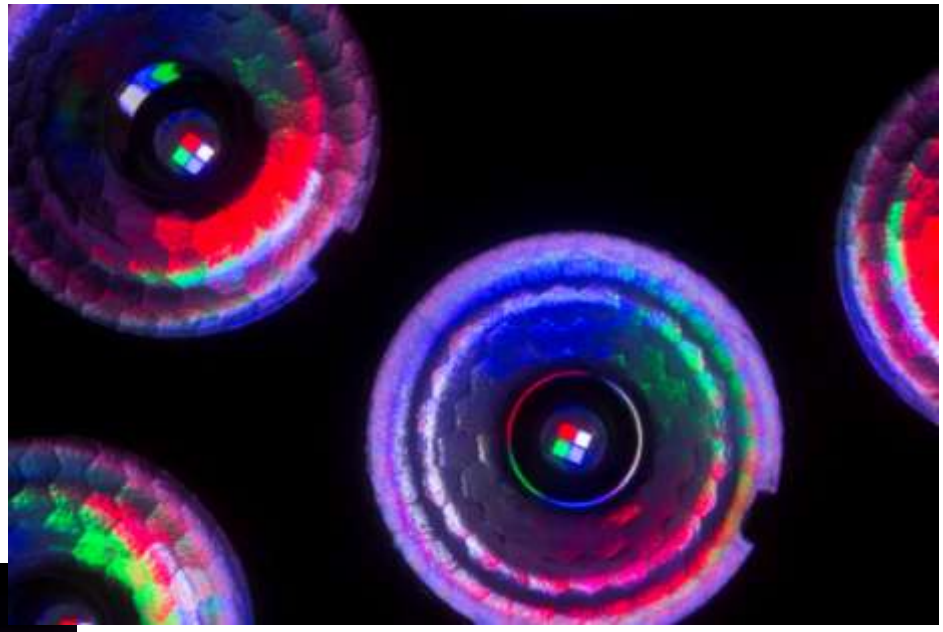
Note : Ces projecteurs sont équipés de lampes à décharge équilibrées pour la lumière du jour.

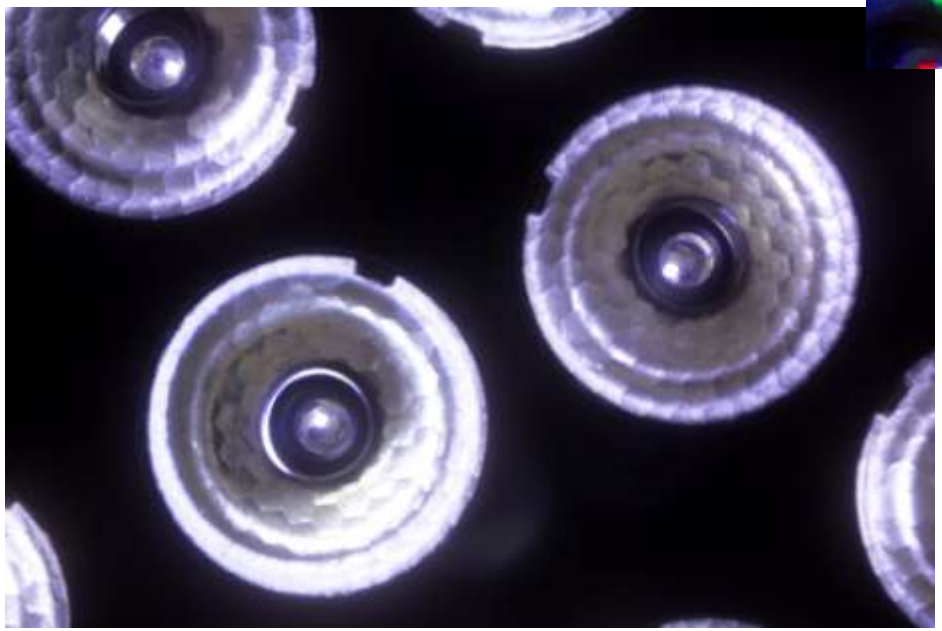
LES PROJECTEURS

Les projecteurs spéciaux

Les projecteurs à base de LED

Projecteur de scène à Led
14 LEDs quadricolores RGBW
(rouge + vert + bleu +blanc)

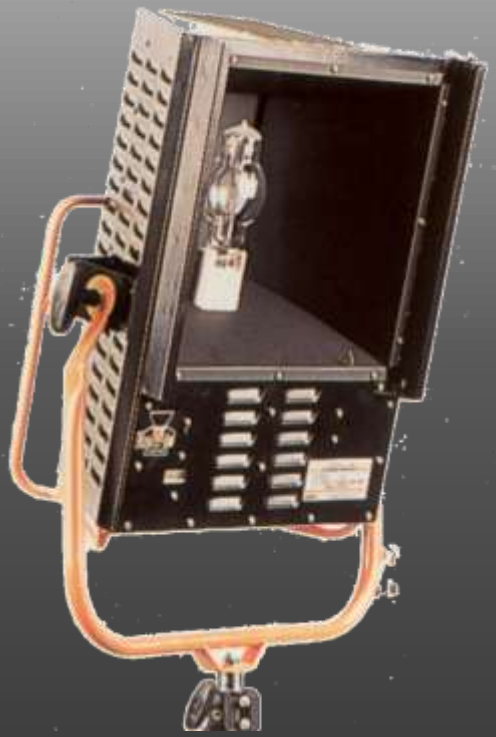




OXO - Projecteur à Led 14x5w RGBW ColorBeam 14

LES PROJECTEURS

Les projecteurs spéciaux

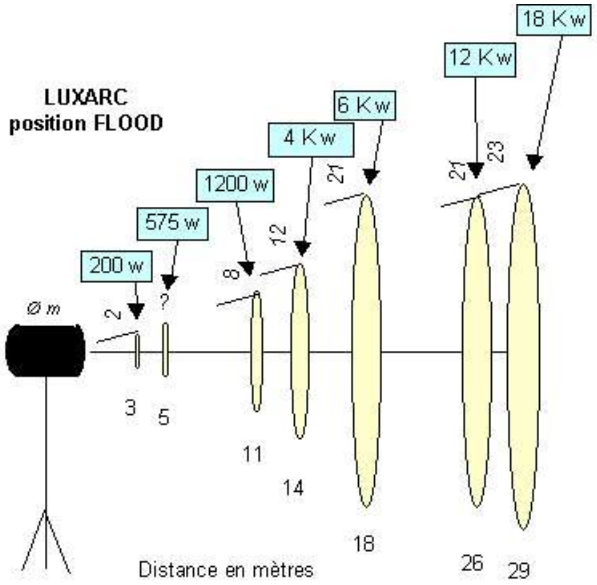


Fond noir pour Goya 4kW

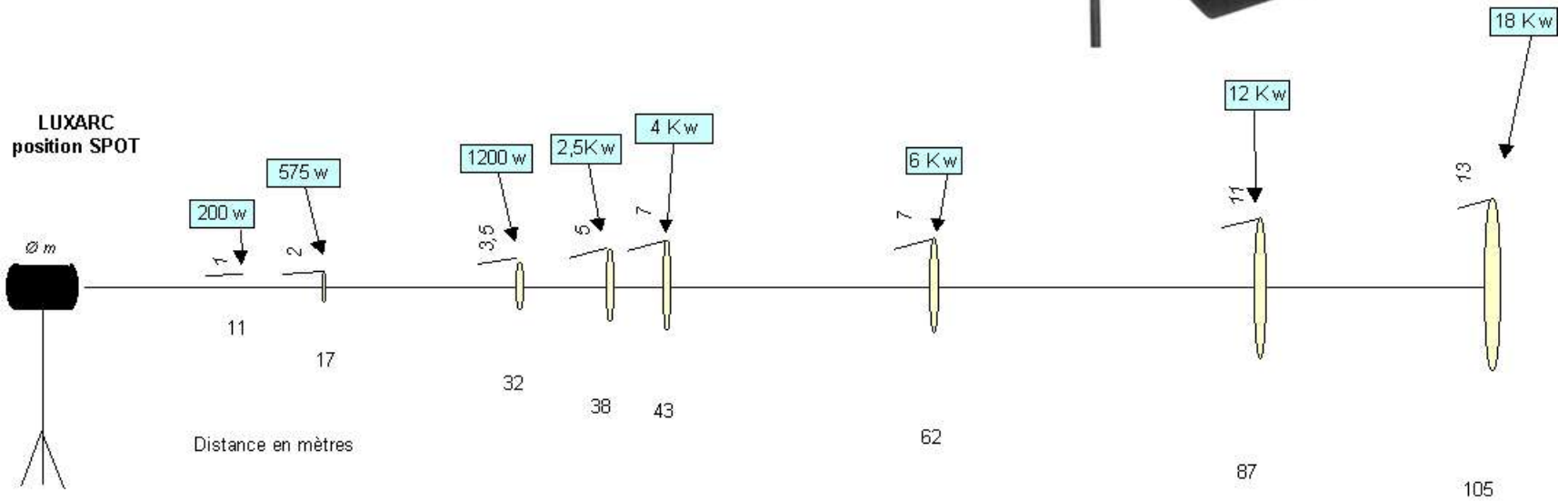
Le Shadow Light

« ***Les choristes*** »
Réal. Christophe Barratier, DP : Carlo Varini AFC et Dominique Gentil AFC

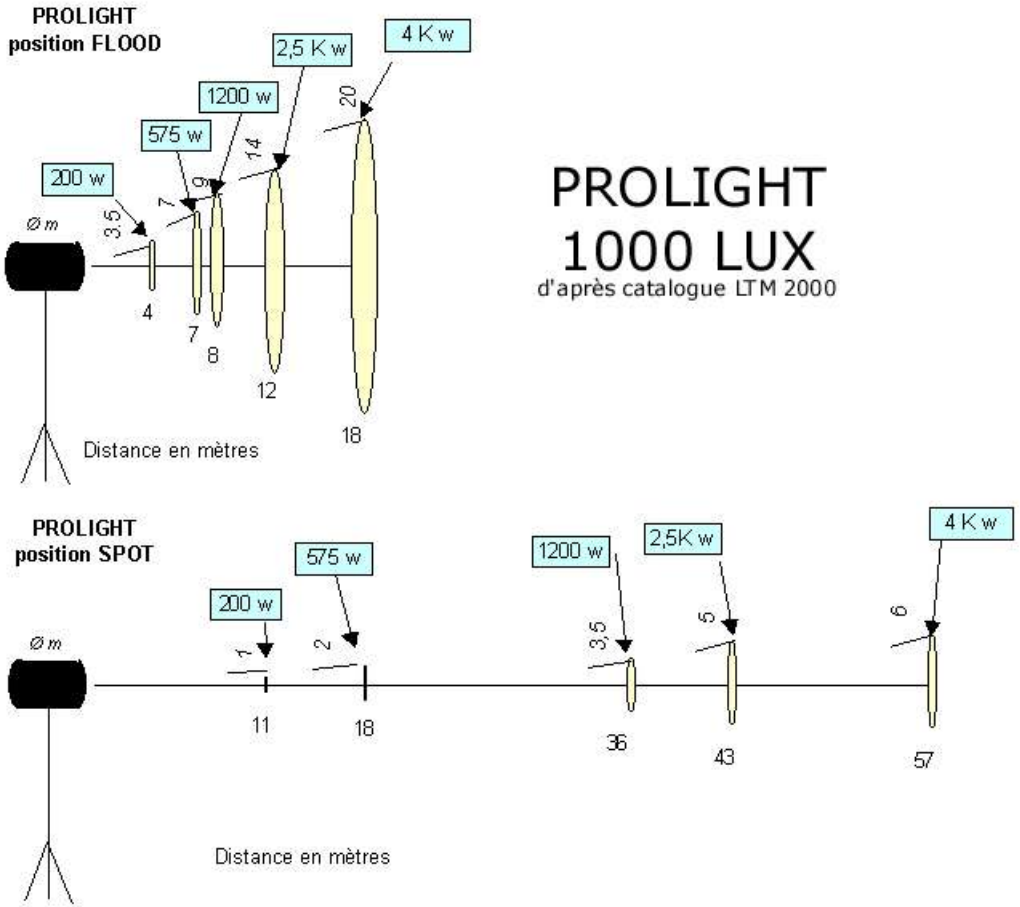
Caractéristiques photométriques des projecteurs



LUXARC
1 000 LUX
d'après catalogue LTM 2000



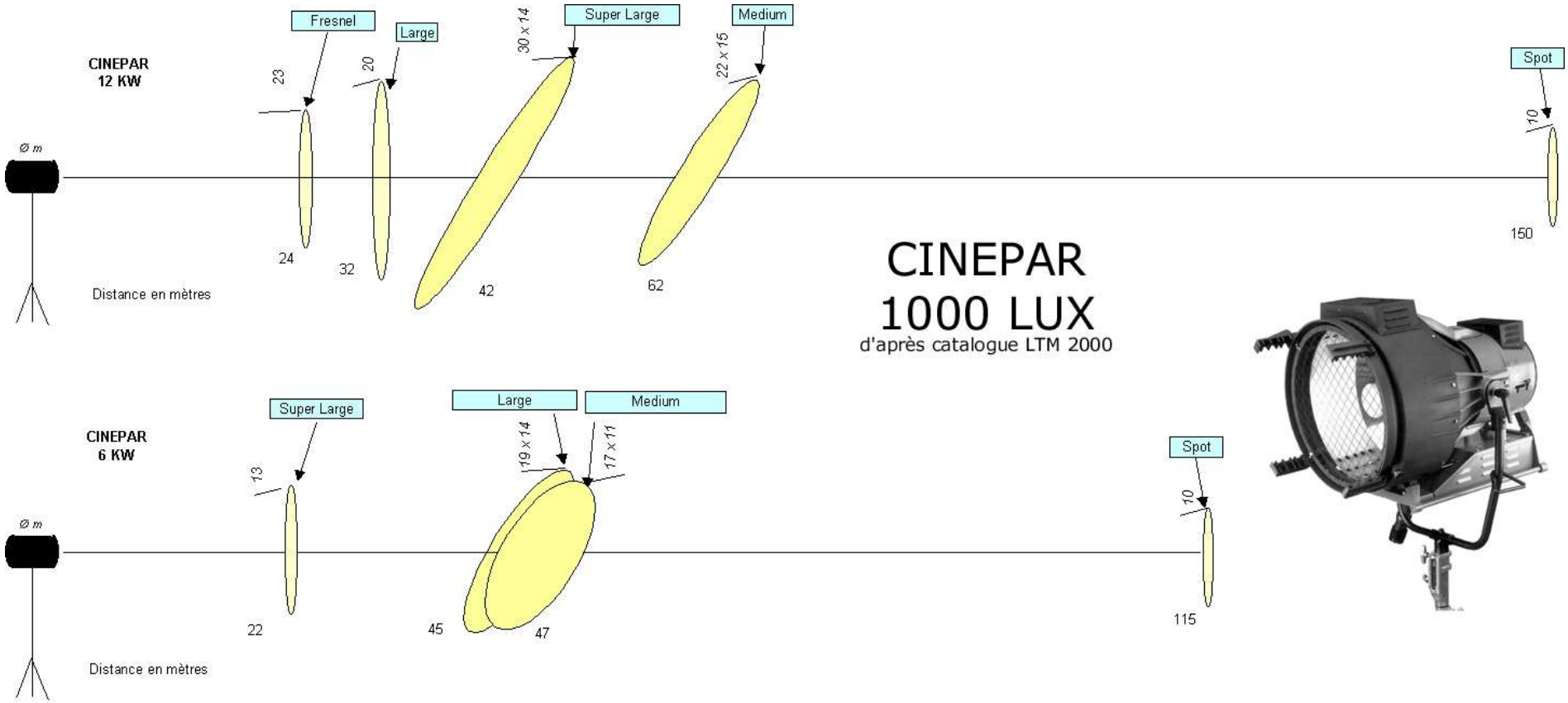
Caractéristiques photométriques des projecteurs



PROLIGHT
1000 LUX
d'après catalogue LTM 2000

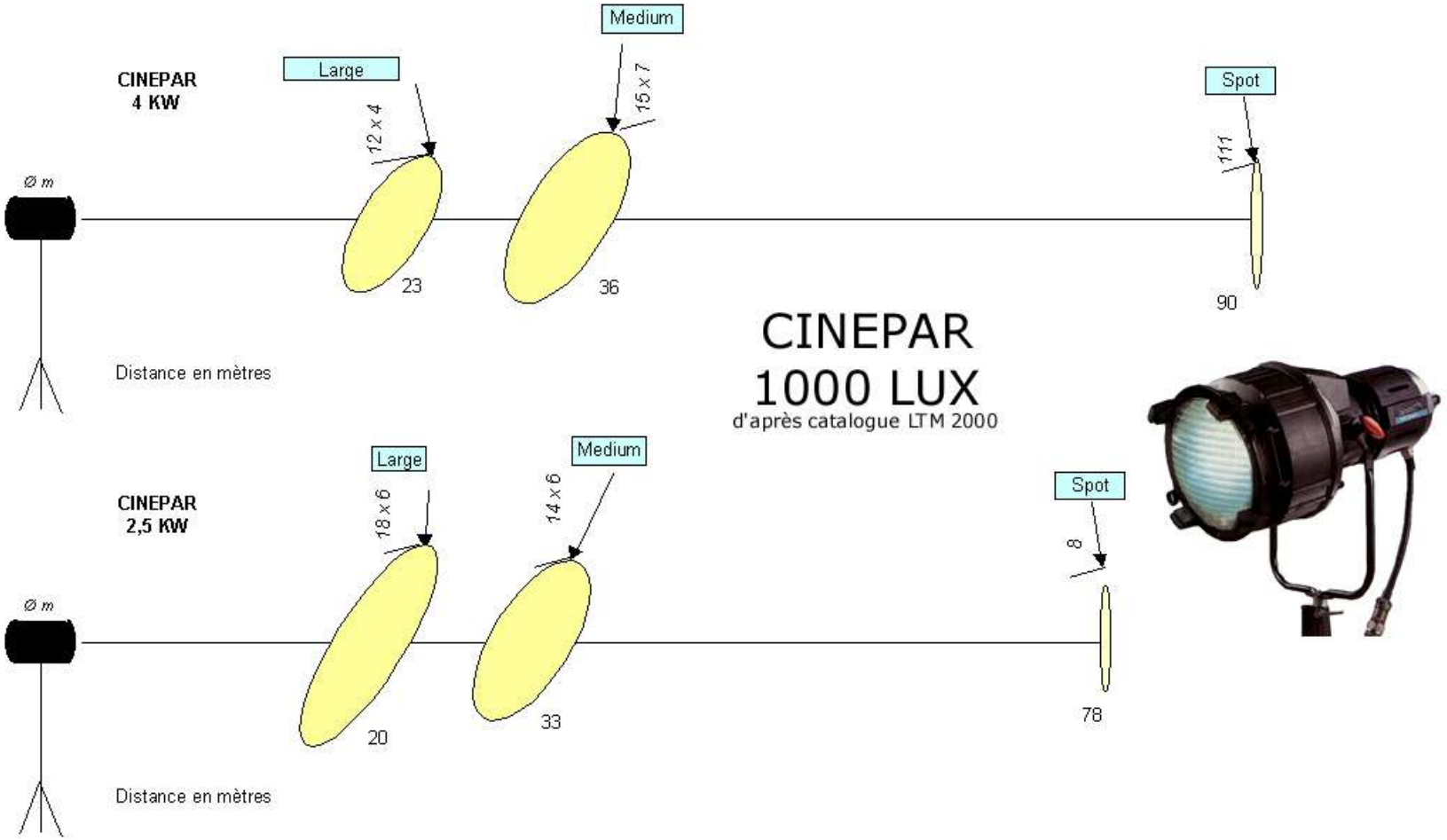
Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les Cinepars 6 et 12 KW



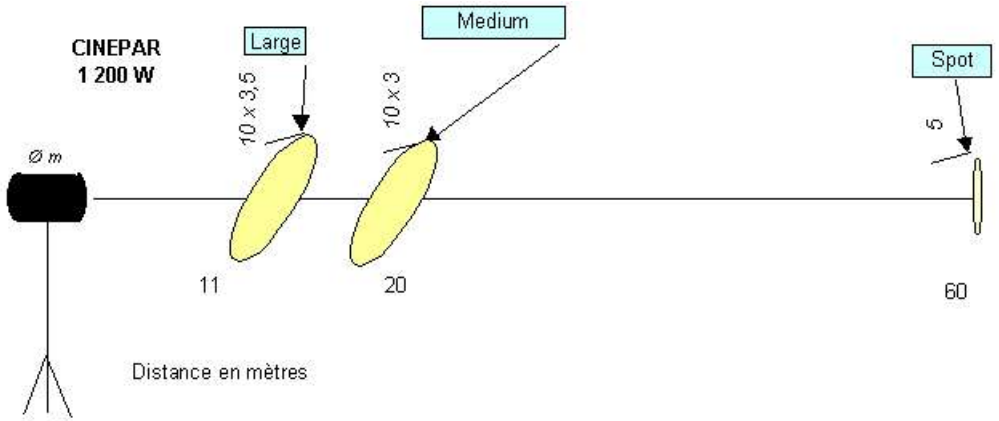
Caractéristiques photométriques des projecteurs

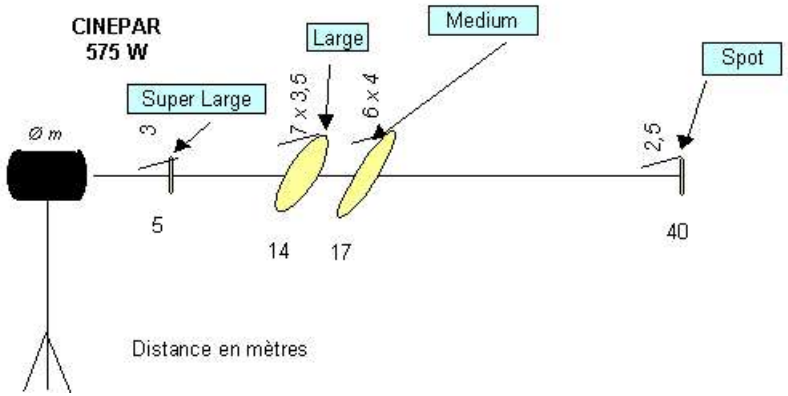
Les Cinepars 2,5 et 4 KW



Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les Cinepars 575 et 1 200 W

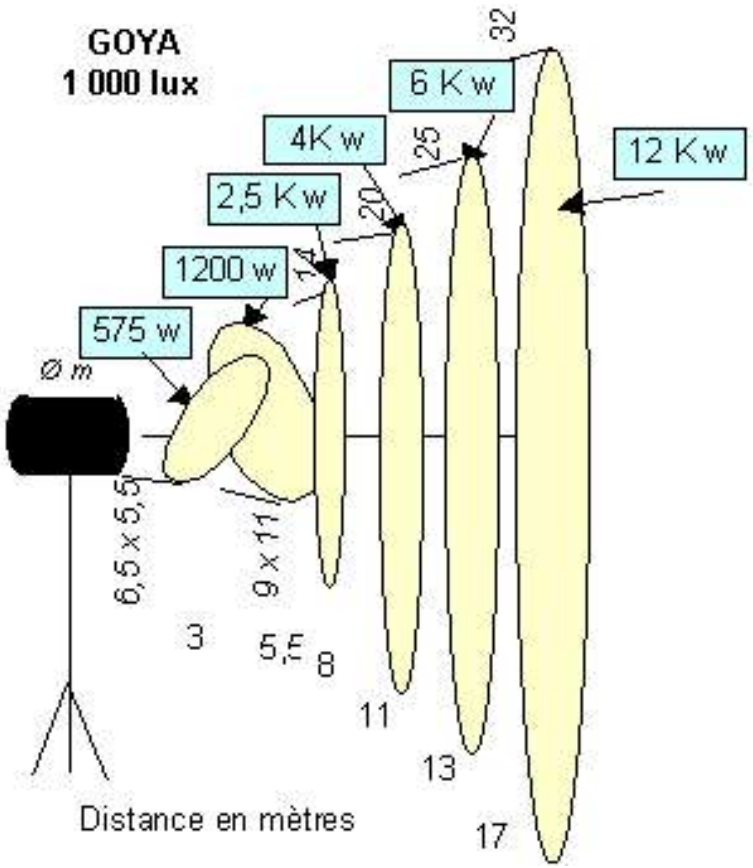




CINEPAR
1000 LUX
d'après catalogue LTM 200

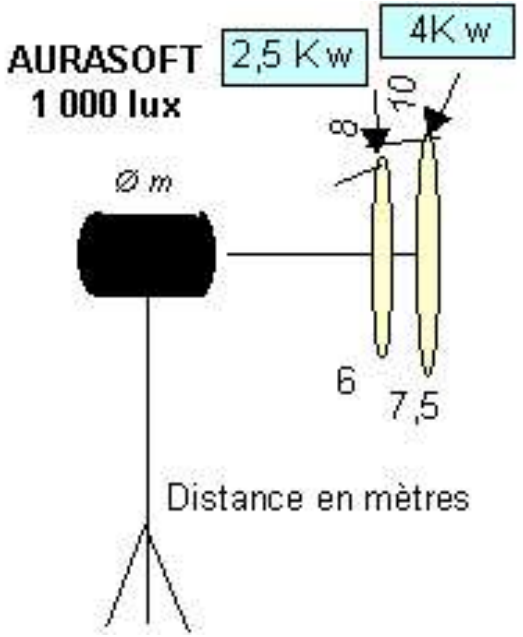
Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les
Goyas



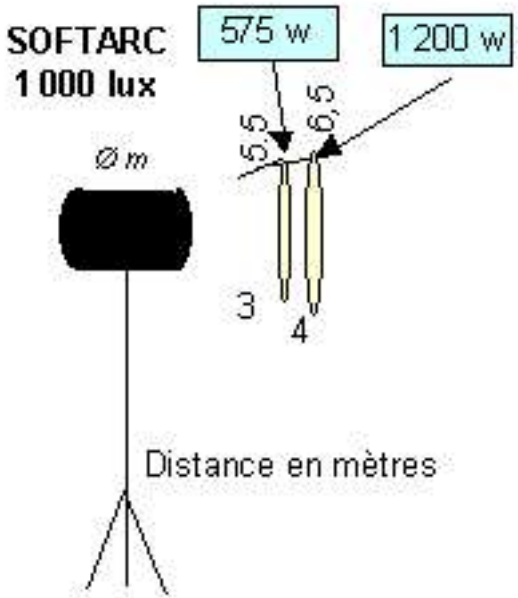
Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les Aurasofts



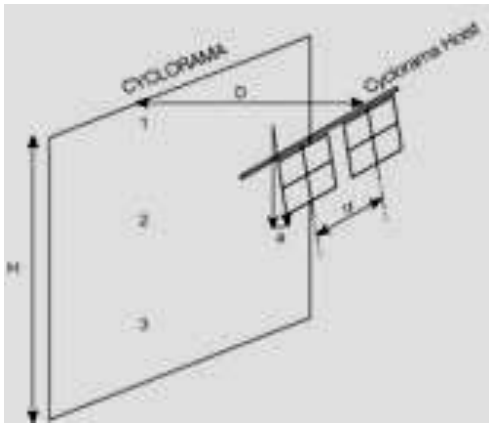
Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les Softarcs



Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les cycliodes



H : hauteur du cyclo : 7,5 m
D : Distance proj / cyclo : 2,9 m
d : Interdistance entre proj. : 2,5 m
a : angle d'inclinaison : 15°

Pour simplifier, vous placez ce projecteur à une distance du cyclo équivalente à la moitié de la hauteur du cyclo.

Suggestion pour fixation des cycliodes		
H : Hauteur du cyclo	D : Distance du cyclo	d : Interdistance entre les projecteurs
9,5	3,6	2,5
8,5	3,3	2,5
7,5	2,9	2,5
6,5	2,5	2,5
5,5	2,2	2,2
4,5	1,8	1,8
3,5	1,5	1,5

Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les KINO FLO 4, 8 et 10 tubes

Wall-O-Lite Fixture x2 (20 lampes)

mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	6 750	3 618	2 160	1 458	1 080

Wall-O-Lite Fixture (10 lampes)

mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	3 780	1 944	1 188	810	680

Flathead 80 x2 (16 lampes)

Mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux	5 580	2 808	1 836	1 296	972

Flathead 80 (8 lampes)

mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux	3 402	1 674	994	648	475

Image 80

Mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux	3 402	1 674	994	648	475

Image 40

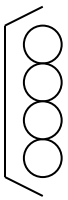
mètres	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	1 836	864	486	378	270

Image 20

mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3
lux	3 402	961	454	260	184

Caractéristiques photométriques des projecteurs

Les KINO FLO 1 à 4 tubes

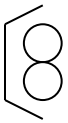


4 Bank System **Tubes 4ft**

mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	5 400	1 836	864	486	378	270

4 Bank System **Tubes 2ft**

mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	3 510	972	486	320	194	140

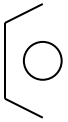


Double System **Tubes 4ft**

Mètres		1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux		1 195	689	431	291	215

Double System **Tubes 2ft**

mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux	1 077	538	334	226	172	



Single System **Tube 4ft**

Mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6
Lux	1 663	551	270	151	108	86

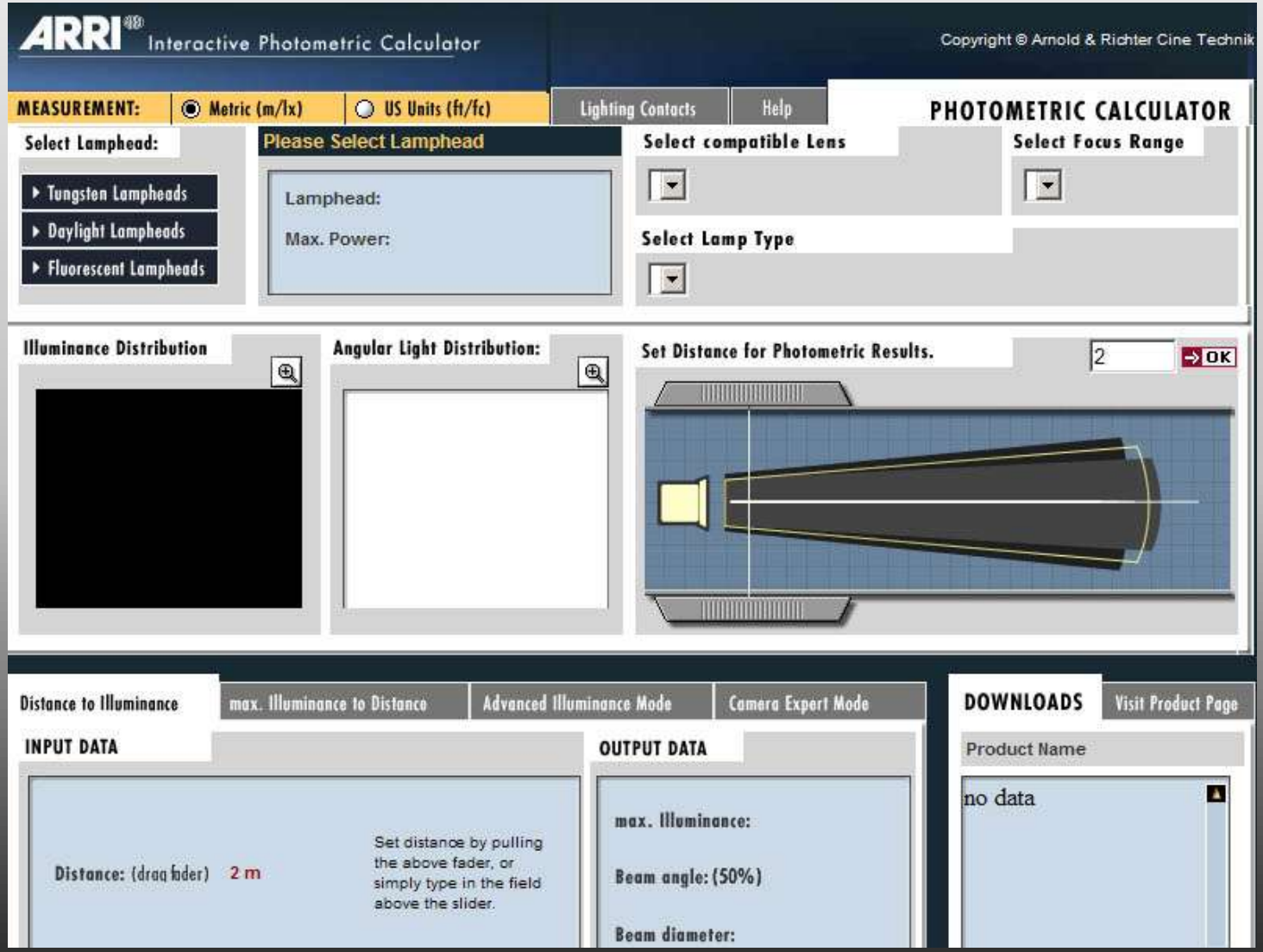
Single System **Tube 2ft**

mètres	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6
lux	886	248	108	60	43	32

Mini Flo

mètres	0,3	0,6	0,9	1,2
lux	755	225	110	65

Caractéristiques photométriques des projecteurs



http://www.arri.de/prod/lighting/calculator/calc_fmain_clients_1024.php?swid

Les accessoires, la grue

La grue LUMEX

- **Projecteurs** : 6 LTM prolight 12kW MSR
- **Rotation verticale** : 95°
- **Rotation horizontale** : 270°
- **Changeurs de gélatines**
- **Gélatines par changeur** :
- **Puissance** : 160 kVA
- **Niveau sonore** : 65 dB
- **Par radio intégrale**
- Système DMX 512
- **Poids total** : 32 tonnes
- **Hauteur roulante** : 4.15 m
- **Longueur en fonctionnement** : 7m
- **Largeur en fonctionnement** : 9m

Les accessoires, les ballons éclairants

Le Solarc est équipé de lampes HMI, équilibrée à 5 600K, le Lunix de lampes halogène (3 200K).

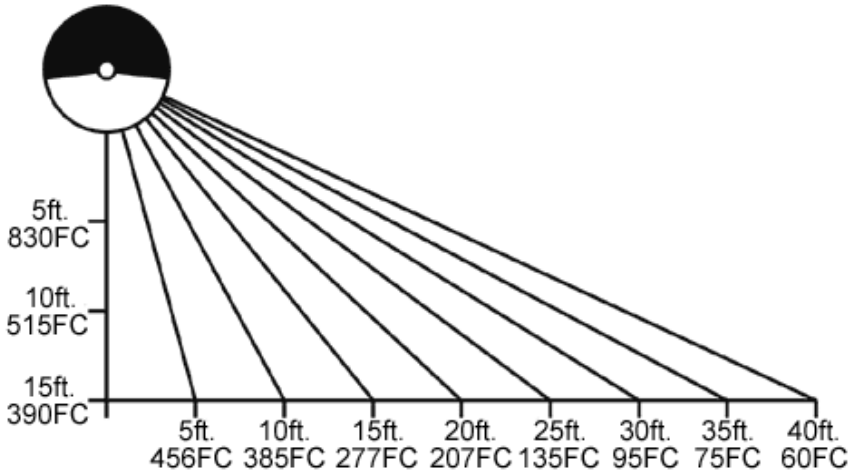
Tarif / jour H.T. (Lumex 2008)

2 KW TUNGSTENE	70 €
2.4 KW HMI	160 €
4 KW TUNGSTENE	120 €
+ hélium	

	LUNIX 160	LUNIX 200	LUNIX 370	SOLARC 370	SOLARC 500
Diamètre	1,6 m	2 m	3,7 m	3,7 m	5 m
Gaz	Hélium	Hélium	Hélium	Hélium	Hélium
Volume	2,1 m^3	4,18 m^3	26 m^3	26,45 m^3	65,30 m^3
Hauteur d'utilisation	3 - 8 m	5 - 15 m	10 - 30 m	5 - 30 m	10 - 50 m
Surface éclairée	1000 m^2	3000 m^2	5000 m^2	7 000 m^2	20 000 m^2
Puissance	2000 W	4000 W	8000 W	4 800 W	16 000 W
Ampoules	Halogène	Halogène	Halogène	**HMI**	**HMI**

Les accessoires, les ballons éclairants

Caractéristiques photométriques des ballons hélium 10K HMI 9x22 ft :



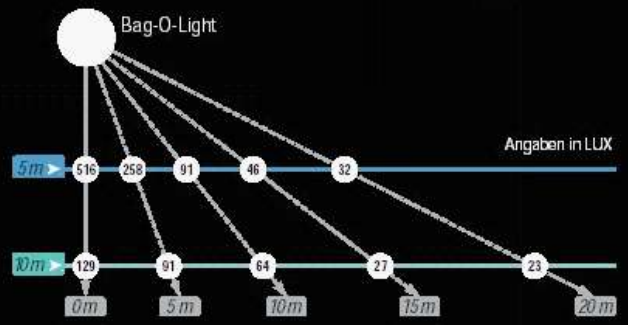
Les accessoires, les ballons éclairants bag o Light

BAG-O-LIGHT 2000 AIR

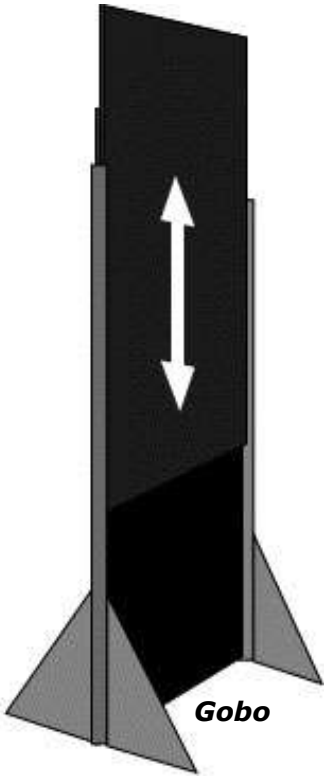
FÜR FILM, TV, FOTO & SHOW

- Softlight; 3, 6, und 12 m
- Sonderlängen möglich
- O-Ton-tauglich (geräuschlos)
- Keine zusätzliche Aufhängung erforderlich bis 6 m
- Für verschiedene Scheinwerfer-typen verwendbar
- Optimiert für 4 KW PAR
- Shutter und Farbwechsler (optional)
- Black Cover, diverse Längen
- CTO 25%, 50%, 100%
- Patentgeschützt in Europa, USA, Kanada, Japan

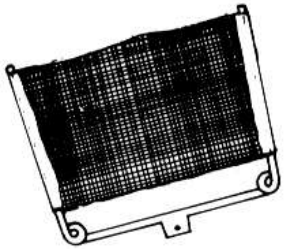
- *Soft light; 3, 6 and 12 m*
- *Special length possible*
- *Sound recording possible (noiseless)*
- *No extra stand necessary up to 6 m*
- *Usable for many different lamps*
- *Optimized for 4 K PAR*
- *Shutter and colour changer available (option)*
- *Black cover, different sizes*
- *CTO 25%, 50%, 100%*
- *Patented in Europe, USA, Canada, Japan*



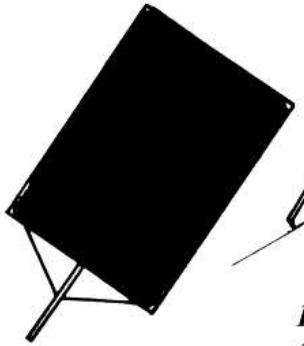
Les accessoires



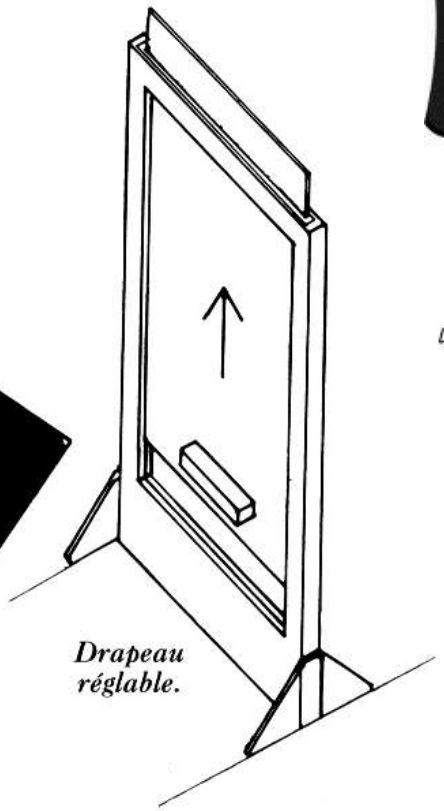
Gobo



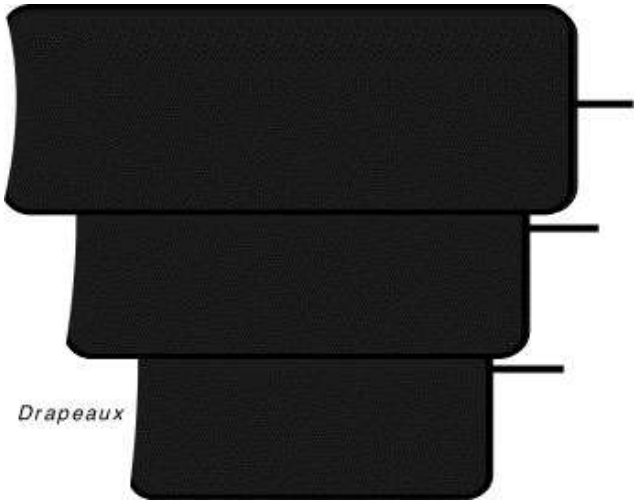
Mama.



Drapeau



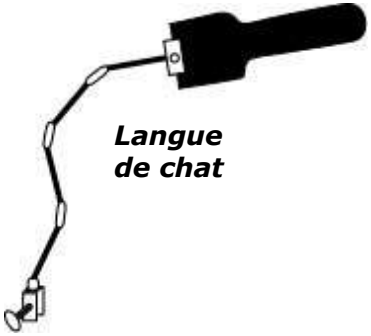
Drapeau réglable.



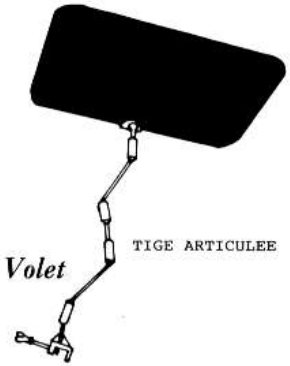
Drapeaux

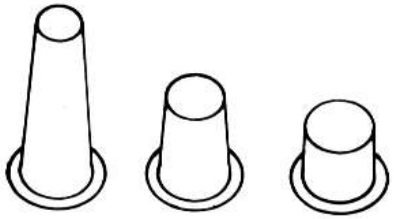
Cucoloris

Scrim



Langue de chat



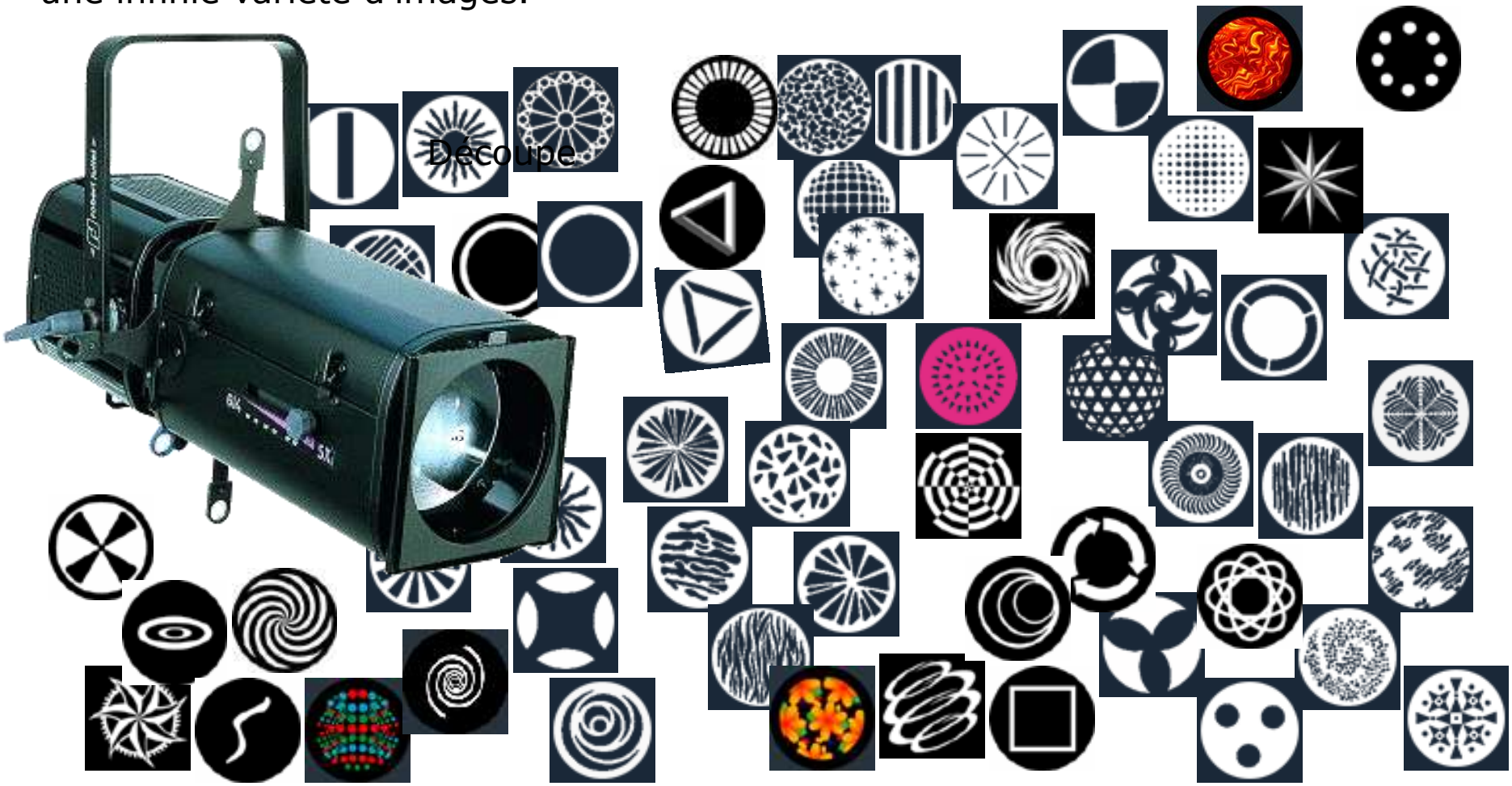


Série de cônes.

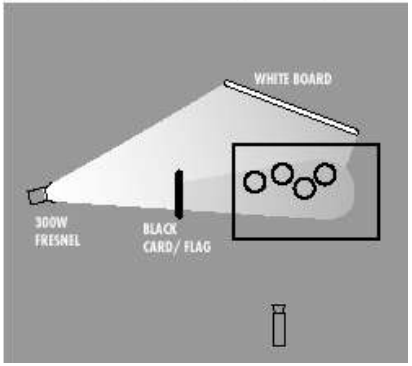
Mama

GOBOS

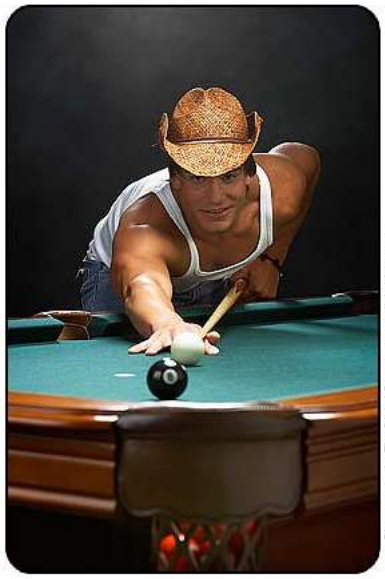
Les Gobos sont des masques fins placés dans le chemin optique d'un **projecteur à découpe** afin de mettre en forme le faisceau, permettant ainsi une infinie variété d'images.



Les accessoires, les plaques de poly, les cadres toile de spi



Les accessoires, les boîtes à lumière



Chimera

Les accessoires, les boîtes à lumière

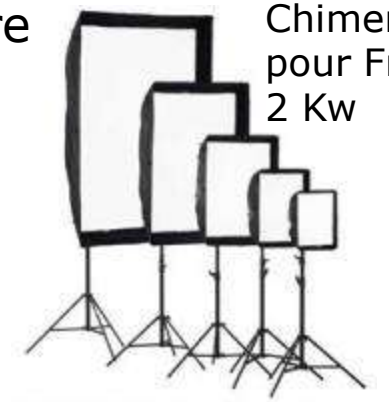
Spacelight

Boule chinoise

Boules 200W

Les accessoires, les boîtes à lumière

Chimeras pour HMI



Chimeras pour Fresnel 2 Kw

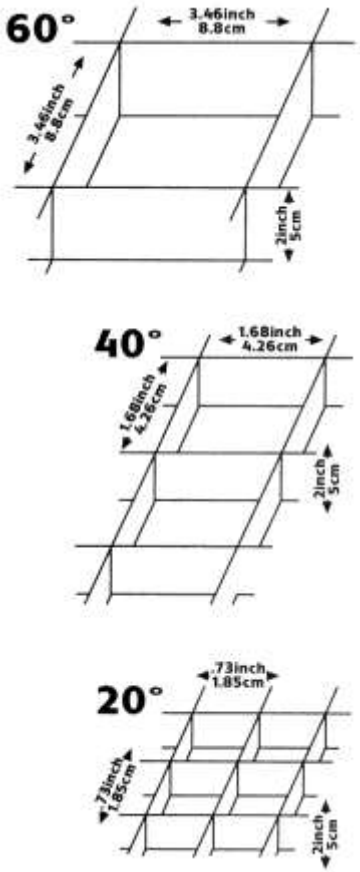
Chimeras pour mandarines ou bondes

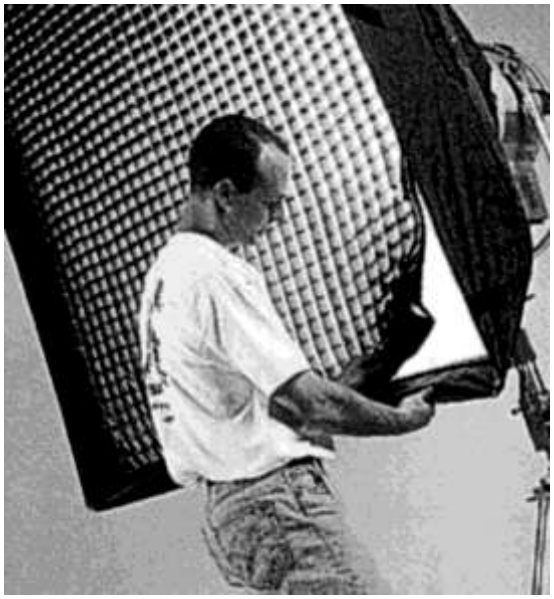
Boite à lumière

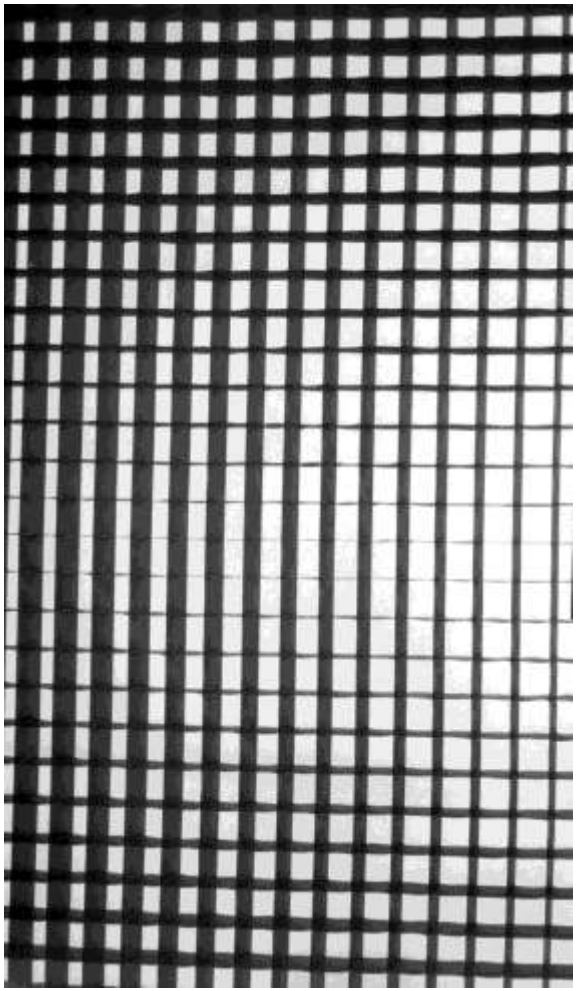
Lanternes Pan-Cake

Softtube

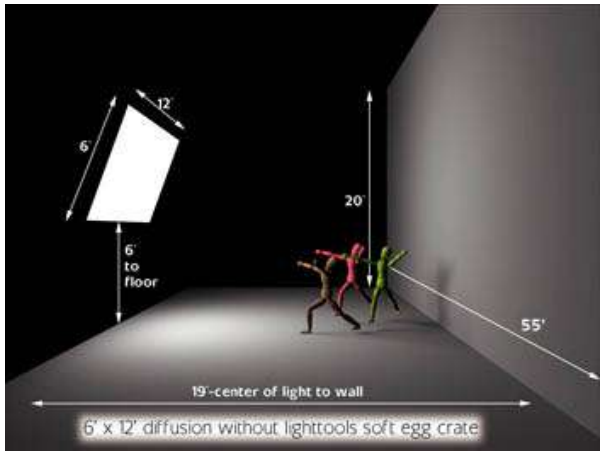
Les accessoires, les boîtes à lumière munie de **louvers**



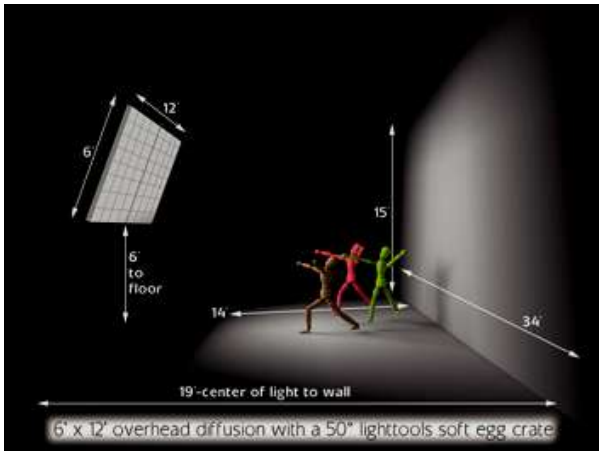




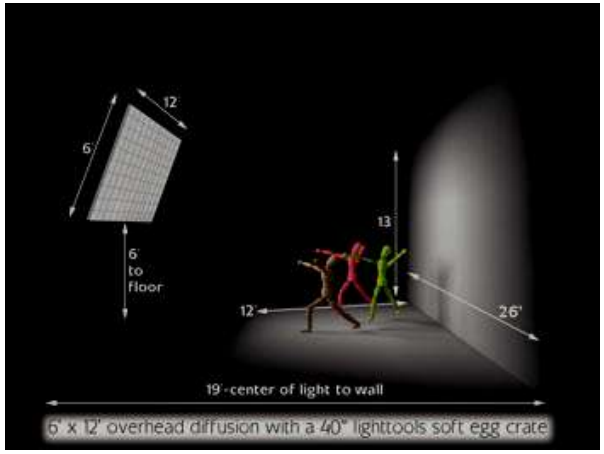
Les accessoires, les boîtes à lumière munie de louvers



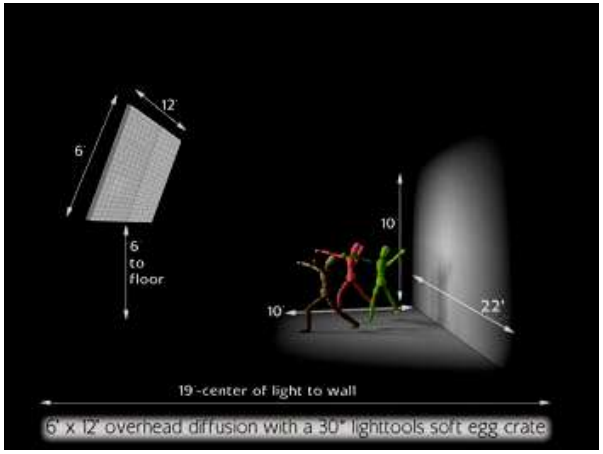
Sans louvers



Avec louvers soft 50°



Avec louvers 40°



Avec louvers 30°

Les accessoires, les cadres diffusants et réflecteurs

Les accessoires, les cadres diffusants et réflecteurs

Tournage BTS Audiovisuel Cannes

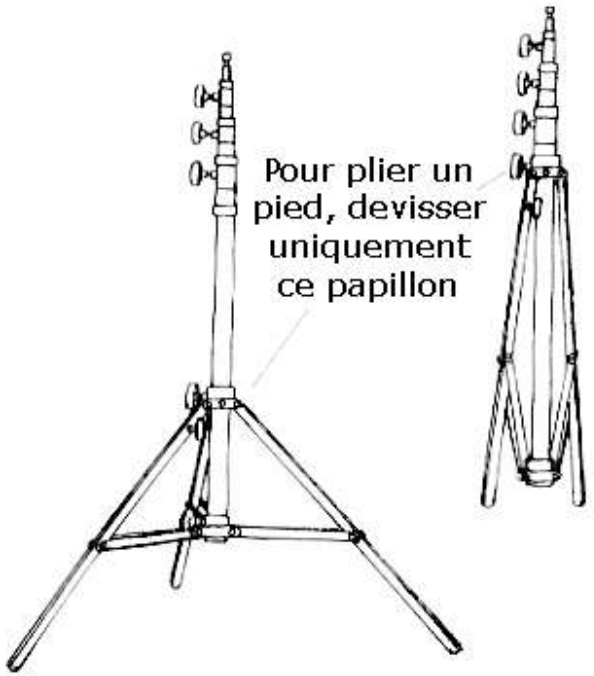
Les pieds de projecteur

Le choix d'un pied se fait en fonction de l'encombrement et surtout du poids du projecteur qu'il doit supporter, avec si possible une bonne marge de sécurité.
On place systématiquement les accessoires dans le prolongement d'une des trois jambes du pied.

Déport, girafe
« boom » en anglais

Désignation (Manfrotto)	Hauteur Min./Max.	Poids du pied	Poids max. supporté
Nano	49/190 cm	0,9 kg	1,5 kg
Small	67 / 240 cm	1,0 kg	1,5 kg
Mini Compact spécial	69 / 240 cm	1,3 kg	4,0 kg
Compact Spécial	88 / 250 cm	1,3 kg	5,0 kg
Giant	100 / 520 cm	1,9 kg	1 kg (à 5m)
Master	109 / 385 cm	2,1 kg	9 kg
Ranker	103 / 290 cm	2,0 kg	10 kg
Alu-Ciné	124 / 315 cm	3,0 kg	12 kg
Ciné	118 / 220 cm	7,5 kg	30 kg
Wind-Up 3 sections	167 / 380 cm (crémaillère)	21,3 kg	40 kg
Studio 3 sections	150 / 340 cm	54 kg	120 kg

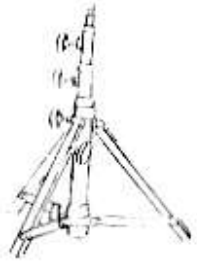
Les pieds de projecteur

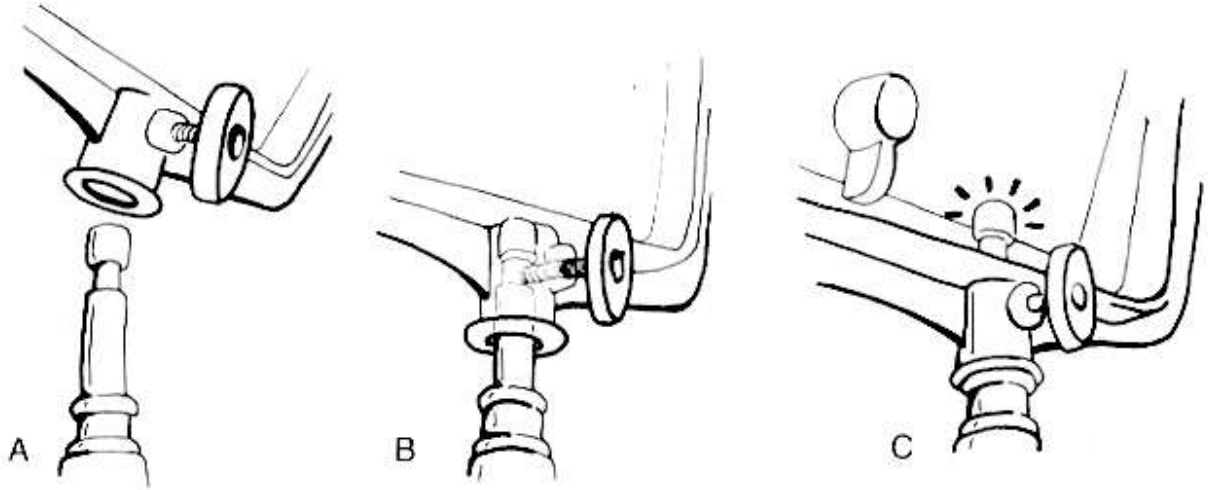


Les pieds d'éclairage doivent toujours être utilisés sur un sol ferme capable de supporter le poids du pied et de sa charge.

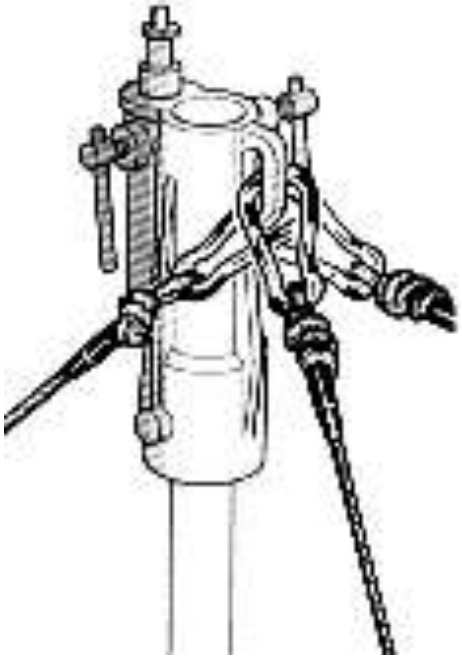
Le sol doit être plat.

Pour éviter une instabilité, la colonne centrale ne doit pas toucher le sol.



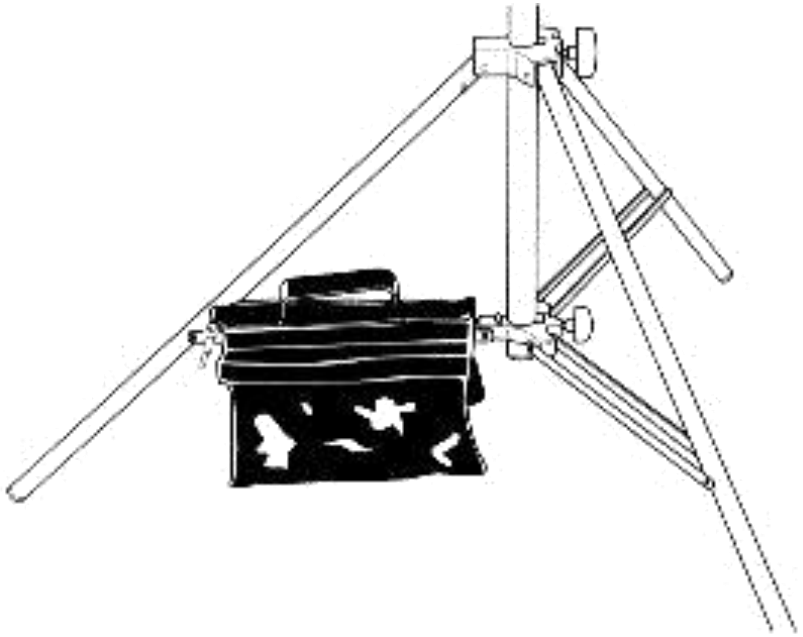


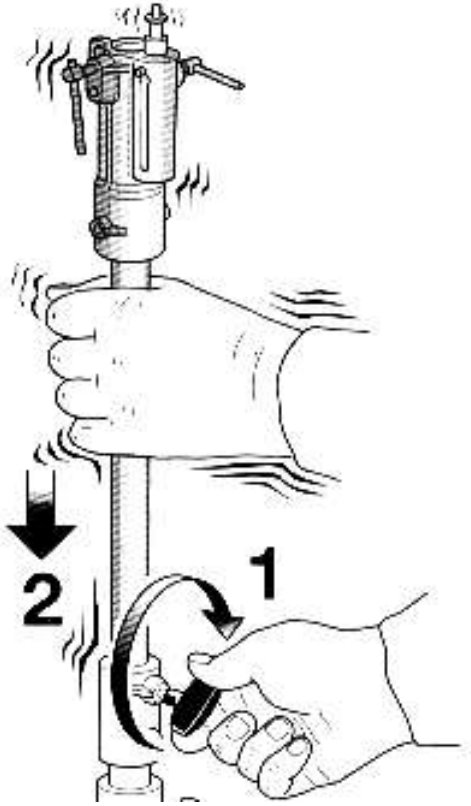
Les pieds de projecteur



HAUBANS
Dans des conditions de travail avec du vent ou avec des réflecteurs d'une grande surface, il est indispensable, pour des raisons de sécurité, de d'haubaner le pied.

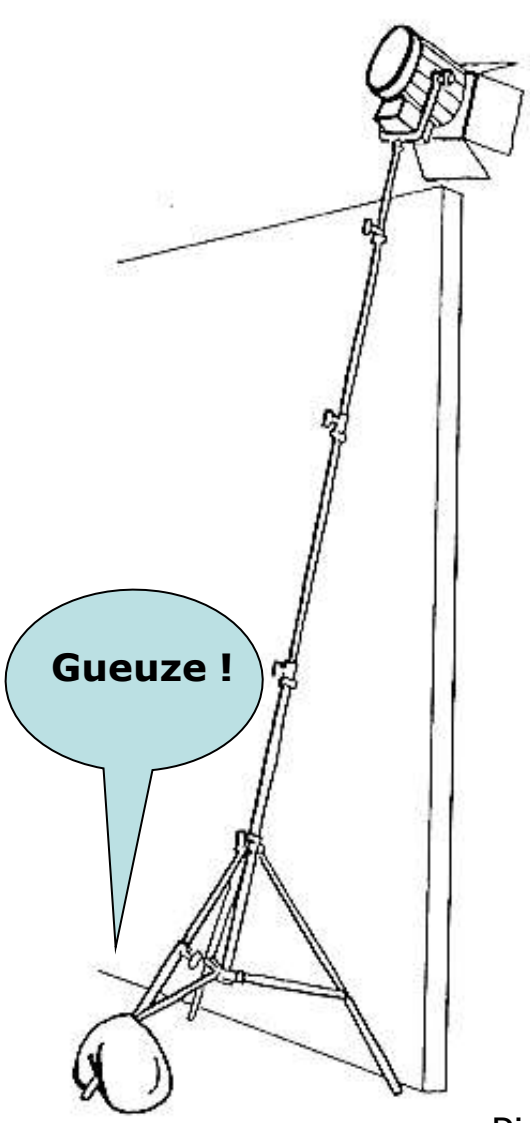
GUEUZES
Les gueuzes sont conçues pour donner plus de stabilité. Elles sont à remplir avec du sable ou un autre matériau et à positionner sur l'entretoise du pied.

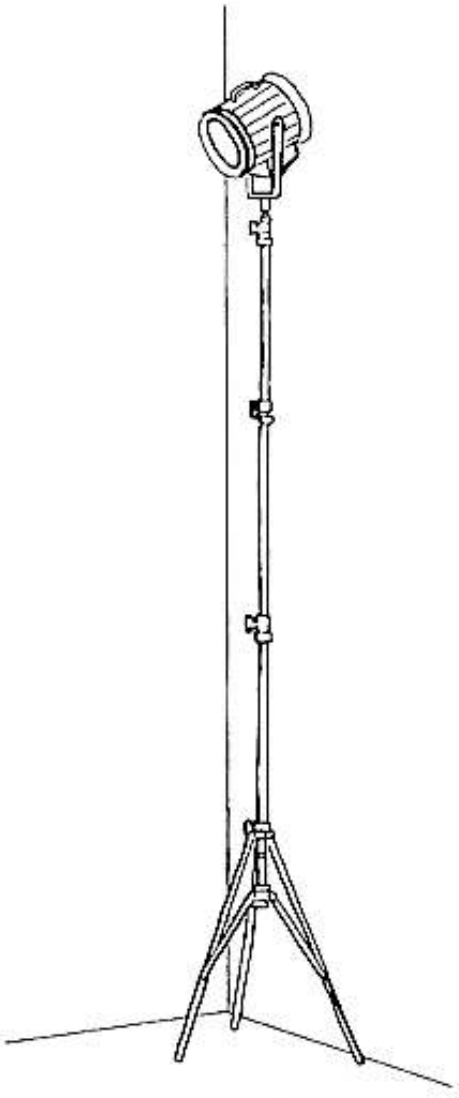




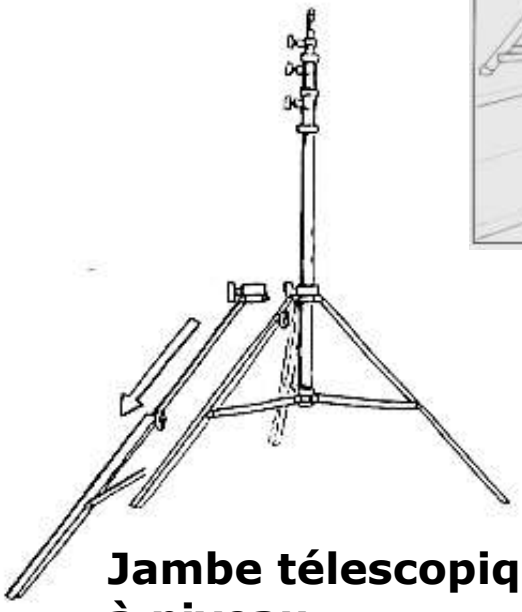
Vérifiez le blocage des sections en appliquant une force vers le bas avant de charger le pied. Ceci doit être régulièrement contrôlé.

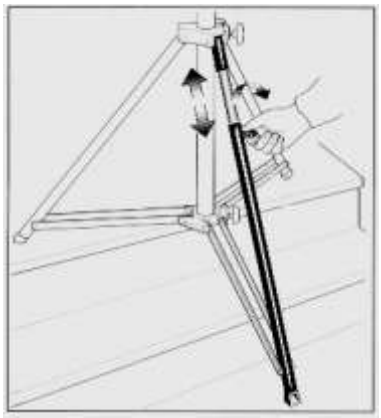
Les pieds de projecteur





Pied en position de parapluie…





Jambe télescopique pour mise à niveau.

Une des jambes est extensible pour stabiliser le pied dans un escalier, un caniveau ou pour passer au-dessus d'une feuille de décor. Il est essentiel que le pied soit de niveau ***AVANT*** *de le charger avec un équipement.*

Les pieds de projecteur

Accessoire facilitant
le déplacement en
terrain meuble.

Tubes et barres…

Barres Bouladoux

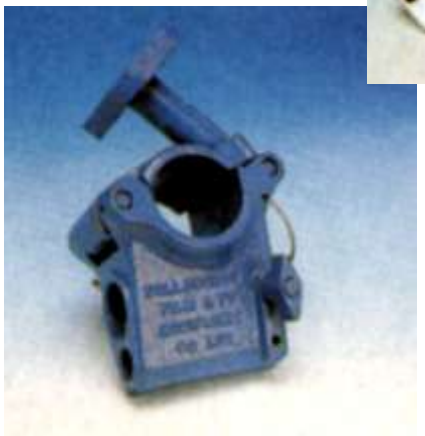
Polecat

Bras magic

Colliers

Collier standard
pour embout 29mm

Collier ajustable
pour décor

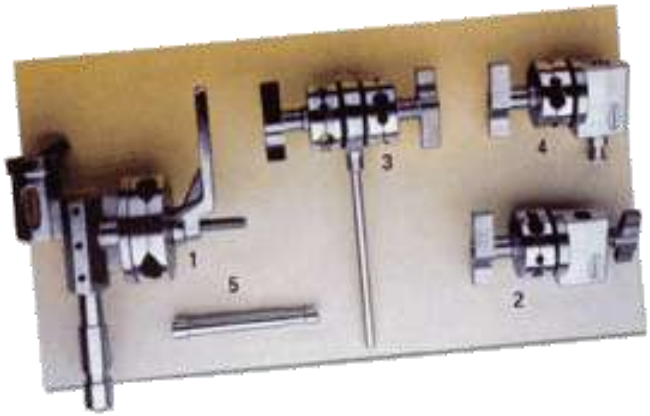


Collier 48mm embouts 16 et 29mm

Pinces, clamp, rotules…

Rotule

Support cadre



Super clamp

Pipe Clamp

Pince Croco

Pince pivot

L’alimentation de puissance

Coffrets, boîtes de jonctions et prises…

Toute l’énergie du réseau arrive au studio dans une armoire : généralement du 380 V triphasé.

Cette énergie est répartie sur un certain nombre de prises de puissance (en 220 V) que l’on place à proximité des projecteurs à alimenter.

P 17

La codification des couleurs des fiches P17 :

VIOLET	JAUNE	BLEU	ROUGE	NOIR
24 Volts	110 Volts	220 Volts	380 Volts	500 Volts

L’alimentation de puissance

Autodeconnexion des prises à partir de 32 A…

La norme européenne rend obligatoire le fait qu’une prise pouvant laisser passer un courant supérieur à 32 A (à savoir, dans la pratique 63 A), ne doit pas pouvoir être débranchée en charge. Il doit donc exister un système de coupure de l’alimentation de la prise agissant automatiquement avant la connexion ou la déconnection.

Deux systèmes cohabitent : les prises MARECHAL comme les fiches P17 « Hypra » doivent pivoter avant de pouvoir être débranchées. Ce pivotement provoque la coupure de l’alimentation de la prise.

Fonctionnement des décontacteurs MARECHAL :

Pour connecter la fiche : tourner un quart de tour à droite et pousser à fond dans le socle.
En tournant la fiche, on dévérouille et on fait tourner le disque de sécurité tout en découvrant les contacts du socle.
En poussant à fond, la connexion est effectuée et l’IP 55 est réalisé.

Pour couper le courant : appuyer sur le bouton du socle. L’appareil devient alors hors charge.
La fiche est en position de repos (l’IP n’est plus assuré).

Pour retirer la fiche : tourner un quart de tour à gauche et tirer.

Refermer le couvercle.
Le socle est alors IP 55.

L’alimentation de puissance

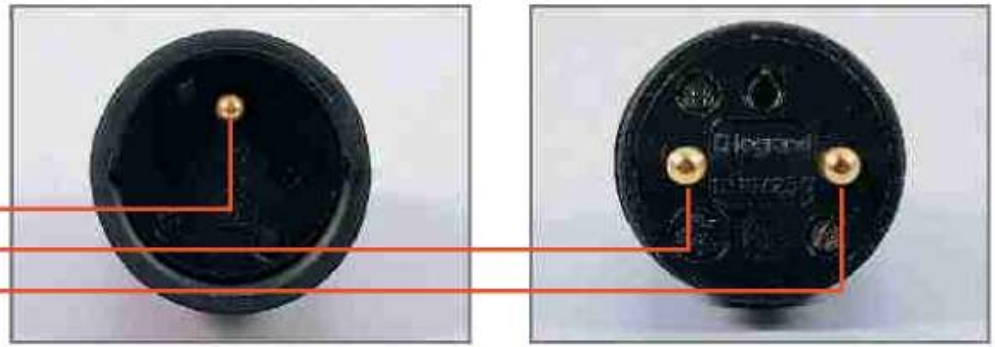
Les prolongateurs 10-16 A …

LE CABLAGE NORMALISE SUR LES PRISES FRANCAISES 10- 16A 2P+T (NF)

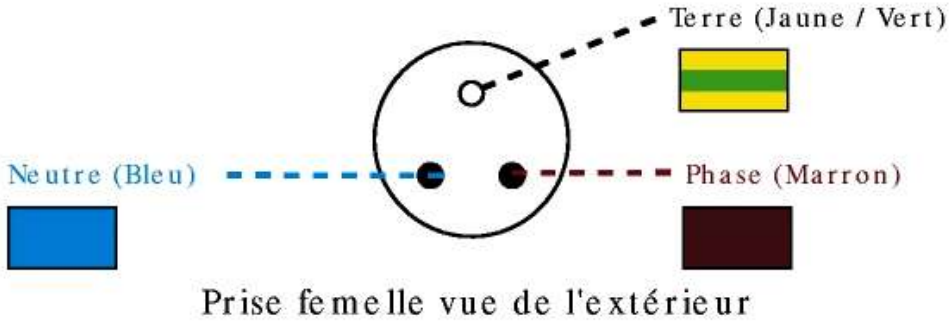
Il existe une norme pour raccorder une prise 10/16 A.

Lorsque l'on regarde une prise femelle vue de l'extérieur (la terre en haut).

Sur la prise mâle, la phase est à gauche et le neutre à droite



ATTENTION:
Les prises multiples sont interdites sur un plateau.



Les deux seules possibilités sont donc :
- Les socles, type caoutchouc
- les doubles prises caoutchouc équipant les prolongateurs.

L’alimentation de puissance

Les prolongateurs, déterminer une section de câble électrique …

Les fabricants de câbles donnent les intensités que peuvent transporter les câbles qu'ils fabriquent tout en conservant un échauffement compatible avec la nature du câble considéré.

Ces chiffres représentent un maximum, car ils ne tiennent pas compte des chutes de tension qui augmentent rapidement avec la longueur du câble.

Dans la pratique, les tableaux suivants seront d'une grande utilité lorsque les longueurs de câbles mises en jeu sont importantes.

Ces tableaux donnent les sections à utiliser en fonction des longueurs et des intensités à transporter.

SECTION DES CONDUCTEURS
Ces sections sont données pour des longueurs de 25 à 30 m.
Pour des longueurs plus grandes, vous devrez passer à la section supérieure tous les 25 à 30 m.

Section (en mm²)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
Intensité (en ampère)	10	16	20	32	63	125	150	200	250

L’alimentation de puissance

Les prolongateurs, déterminer une section de câble électrique …

Exemple >
Pour un courant électrique de 63 A et une longueur de 25 m, une section de 10 mm2 conviendra,mais pour une longueur de 45 m, il faudra prendre du 16 mm².
Pour un même courant, mais pour un câble de 110 m (30 + 30 + 30 + 20), il faudra utiliser une section minimale de 35 mm²

Tableau synthétique						
Puissance en KVA	Intensité en A	Longueur du câble maxi				
		30 m	60 m	90 m	120 m	150 m
2,3	10	1,5 mm²	2,5 mm²	4 mm²	6 mm²	10 mm²
3,6	16	2,5 mm²	4 mm²	6 mm²	10 mm²	16 mm²
4,6	20	4 mm²	6 mm²	10 mm²	16 mm²	25 mm²
7,3	32	6 mm²	10 mm²	16 mm²	25 mm²	35 mm²
14,4	63	10 mm²	16 mm²	25 mm²	35 mm²	50 mm²
28,7	125	16 mm²	25 mm²	35 mm²	50 mm²	
34,5	150	25 mm²	35 mm²	50 mm²		
46	200	35 mm²	50 mm²			
57,5	250	50 mm²				

L’alimentation de puissance

Les groupes électrogènes

GROUPES ELECTROGENES **MOBILES**	
	Tarif (Euros HT) Consommation (Euros) 2008
GROUPE 20 KVA	190
GROUPE 30 KVA	250
GROUPE 40 KVA	300
GROUPE 45 KVA	321
GROUPE 50 KVA	340
GROUPE 60 KVA	380
GROUPE 70 KVA	389
GROUPE 75 KVA	393
GROUPE 80 KVA	400
GROUPE 100 KVA	470
GROUPE 120 KVA	540
GROUPE 150 KVA	595

GROUPES ELECTROGENES **PORTABLES**	
	Tarif (Euros HT) Consommation (Euros/jour) 2008
GROUPE 10 KVA	206
GROUPE 5.5 KVA	84
GROUPE 3 KVA	46

Les convertisseurs + batteries

Les prises de vues en extérieur impliquent parfois l’emploi de batteries 12 ou 30 V DC. Les batteries délivrant à leurs bornes une tension continue, il est nécessaire d’avoir recours à un convertisseur de tension afin de restituer du 220 V AC alternatif.

Il existe deux types de convertisseurs de tension :
Les convertisseurs délivrant un signal « quasi-sinusoïdal ».
Les convertisseurs délivrant un signal « sinusoïdal ».

Les convertisseurs « quasi-sinusoïdal » sont les plus répandus. Néanmoins, ils ne permettent pas de faire fonctionner les tubes fluorescents ni les appareils à induction tels que les ballasts magnétiques. (*Les projecteurs à lampe incandescence et les projecteurs HMI avec ballasts électroniques peuvent toutefois fonctionner)*.

Les convertisseurs « sinusoïdal » sont sensiblement plus chers que les précédents. Avec ce type de convertisseurs, il est possible d’alimenter tous les appareils.

Les convertisseurs + batteries, autonomie :

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour assurer une autonomie correcte :
L’état de la batterie : Lors de l’utilisation de matériel d’éclairage, la batterie est considérablement sollicitée dans un laps de temps très court. Les décharges rapides et intensives infligées aux batteries engendrent un vieillissement prématuré des éléments.

La capacité de la batterie : Elle est exprimée en Ampère heure (Ah) et définit l’intensité du courant que la batterie peut délivrer pendant une durée donnée. Ainsi une batterie de 150 Ah est capable de fournir 150A pendant 1 heure ou 15A pendant 10 heures.

La température ambiante : Le froid est un facteur déterminant. On sous-estime trop souvent l’influence de la température sur l’autonomie. Une même batterie peut alimenter un appareil pendant 30 minutes à 20°C. A une température de 0 à 5°C, son autonomie ne sera plus que de 10 ou 15 minutes. En comparaison, la chaleur est de moindre influence puisque à 45°C, l’autonomie sera de 20 à 25 minutes. L’état des éléments de la batterie est extrêmement important dans le cas des basses températures.

La longueur des câbles reliant la batterie au convertisseur : Si les câbles sont trop longs, ils risquent d’engendrer des chutes de tension diminuant sensiblement l’autonomie. Si l’on veut compenser ces pertes, il faudra augmenter la section.

Les convertisseurs + batteries

Déterminer l’autonomie dans des conditions normales :
Prenons un projecteur HMI de 200W sur un convertisseur 30V DC avec une batterie 7 Ah à une température de 20°C.
Comme nous l’avons indiqué sous la rubrique ballast, la consommation d’un 200W est déterminée en fonction de son facteur de puissance F.

Dans notre exemple nous considérons F=0,7 : 200 / 0,7 = 285 W
La tension de fonctionnement est de 30 V DC, le courant consommé est donc de : 285 W / 30 V = 9,5 A.

Avec une batterie de 7 Ah nous aurons donc :
7 Ah / 9,5 A = 0,73 soit 73 % d’une heure : 60 x 0,73 = **environ 44 minutes**.
Ceci est vrai en fonctionnement continu. Les amorçages provoquent des appels de courant important qui influent de façon sensible sur cette durée.

L’alimentation de puissance

Les convertisseurs + batteries

Conseil sur la longueur des câbles:
En courant continu on respectera une longueur de câble maximum de 3 mètres et une section de câble de 1 mm² pour 5A.

Formule de calcul de la chute de tension dans un câble :
U=I x µ **x (L/S)**
U : Chute de tension (Volts V)
I : courant à fournir (Ampère A)
L : longueur du câble (mètre m)
S : section du câble (mètre carré m²)
µ : coefficient de résistivité du cuivre = 1,72 x 10-8 Ω/m

Les studios, équipements

Les plateaux sont classés en fonction de leur surface :
Surface comprise entre 200 et 400 m² : Petit plateau
Surface comprise entre 400 et 800 m² : Plateau moyen
Surface supérieure à 800 m² : Grand plateau

Surface utile (mur à mur) (1)	Hauteur optimale sous gril (2)	Dimensions optimales	Fosse (3) Dimensions optimales	Hauteur minimale sous gril (4)
200 m²	6 m	11 x 18 m		5 m
400 m²	7 m	16 x 25 m	10 x 5 m	6 m
600 m²	8 m	20 x 30 m	10 x 5 m	7 m
800 m²	9 m	23 x 35 m	10 x 14 m	8 m
1 000 m²	10 m	25 x 40 m	10 x 14 m	9 m
1 500 m²	12,5 m	30 x 50 m	10 x 14 m	10 m
2 000 m²	13,5 m	36 x 55 m	14 x 24 m	11m
2 400 m²	15 m	40 x 60 m	14 x 24 m (5)	12 m
3 000 m²	16 m	47 x 65 m	14 x 24 m (5)	13 m
3 500 m²	17 m	50 x 70 m	15 x 25 m (6)	14 m

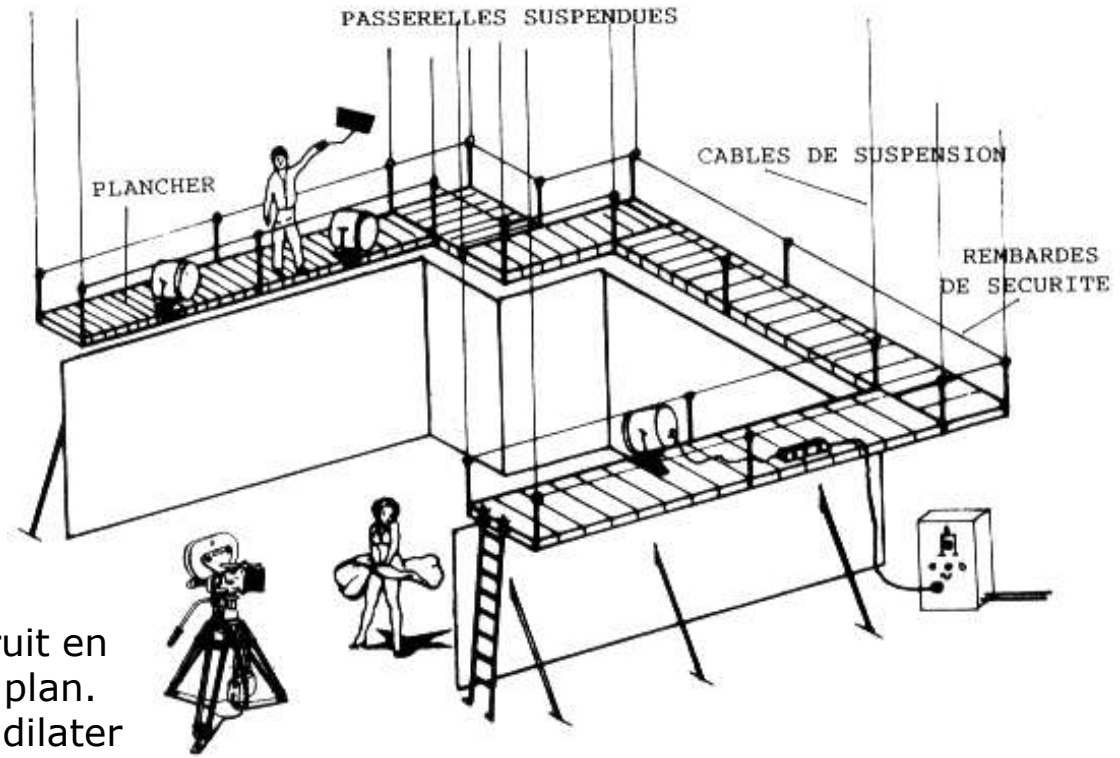
(1) La surface d'un plateau de prise de vues ne peut être inférieure à 200 m²
(2) La hauteur optimale est calculée pour des prise de vues au format 1,33 (4/3) avec un objectif de 35 mm de focale et un espace libre derrière la caméra de 2,2 m.
(3) La profondeur optimale des fosses est de 3 m. Elles ne sont pas obligatoires.
(4) Ces hauteurs ont été calculées sur la base de prises de vues cinéma au format 1,66 ou télévision au format 16/9e
(5) Il est également possible de prévoir deux fosses de 6 x 7 m
(6) Il est également possible de prévoir deux fosses de 7 x 12 m

Les studios, équipements

Hauteur libre au dessus du gril :
2 mètres pour laisser le libre passage aux techniciens.

Le cyclo : Sur deux ou trois côtés avec une hauteur maximale recommandée de 9 m.

Portes d'accès aux plateaux :
Il s'agit de portes pour les livraisons, en plus des portes normales d'accès.
Pour des plateaux de plus de 400 m² :
hauteur minimale : 4m,
largeur minimale : 3m.



Du livre « Initiation à l'image de film » Arthur Cloquet

Sol des plateaux : Il doit être construit en matériau supportant les chocs et être plan.
Les planchers bois doivent pouvoir se dilater ou se rétracter avec l'humidité ou la chaleur.
Il ne doivent pas prendre de poli à l'usage.
Les planchers bois et bitume doivent pouvoir supporter d'y clouer ou visser des éléments de décor sans qu'il en résulte de dégradation.

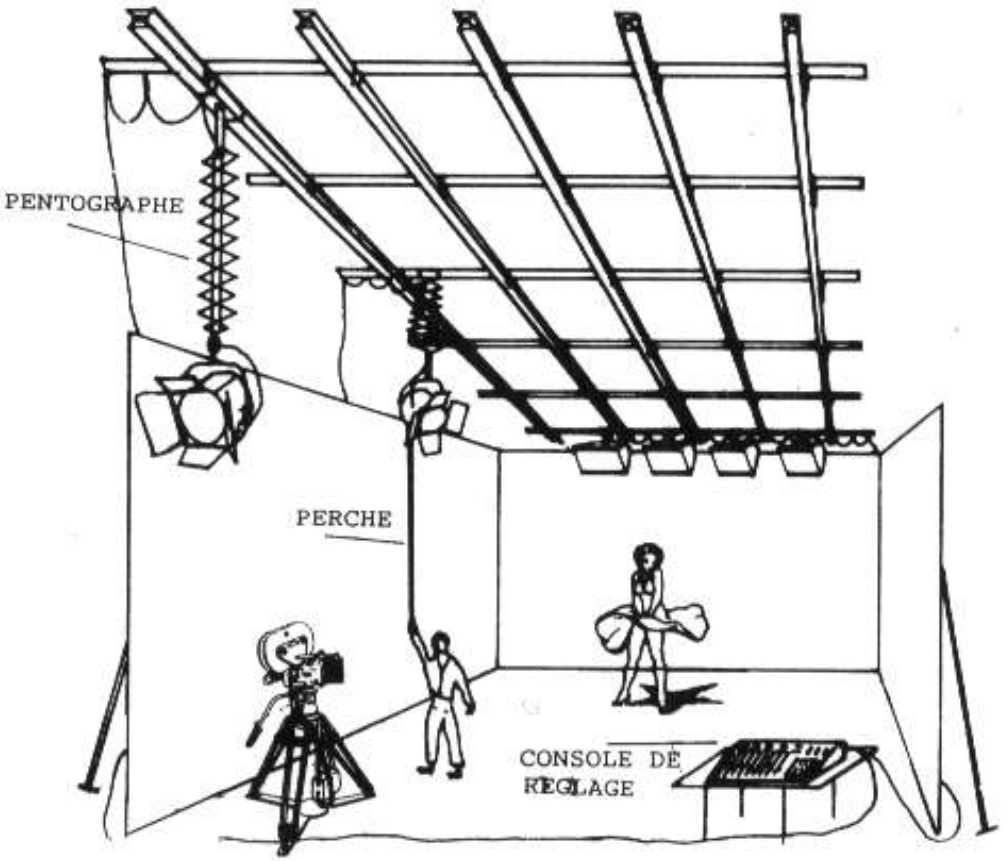
Aire de prémontage, atelier de construction : Les aires de prémontage, les ateliers ainsi que les stocks peuvent être communs à l'ensemble d'un site.

Les studios, équipements

Grils, ponts-roulants : Les grils doivent supporter une charge uniformément répartie de plus de 100 kg/m². La charge conseillée est de 100 à 200 kg/m².
Les points d'accrochage, régulièrement répartis, doivent supporter des charges de 500 à 1000 kg.

Puissance électrique disponible : Elle doit être en moyenne de **800 W/m²**.
Pour les petits plateaux, cette puissance doit être augmentée de 10 à 20%.
Pour les grands plateaux, la puissance minimale installée doit être de 300 W/m².

Sur un site donné, la puissance totale disponible peut être inférieure à la somme des puissances nécessaires pour chaque plateau. Un coefficient d'utilisation de 50% peut être appliqué en tenant compte du fait que tous les plateaux ne sont pas utilisés simultanément et que les projecteurs ne sont pas tous simultanément allumés.



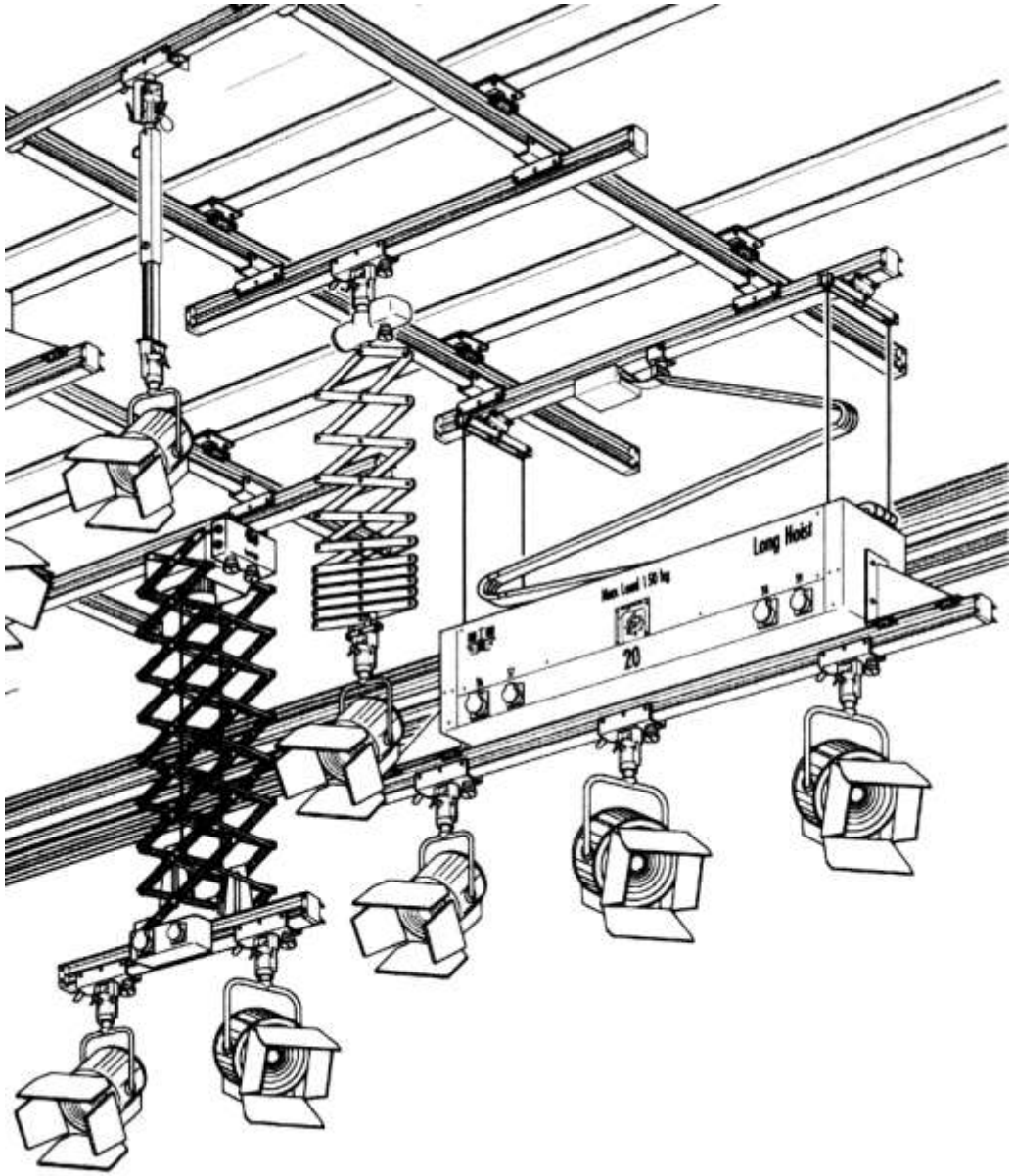
Du livre « Initiation à l'image de film » Arthur Cloquet

Les studios, équipements

Grils, ponts-roulants :

Grill et plateau
INA à Bry sur Marne

Les studios, équipements



Sur un plateau de télévision, pratiquement tous les projecteurs sont suspendus au plafond sur des rails ou un gril d'éclairage.

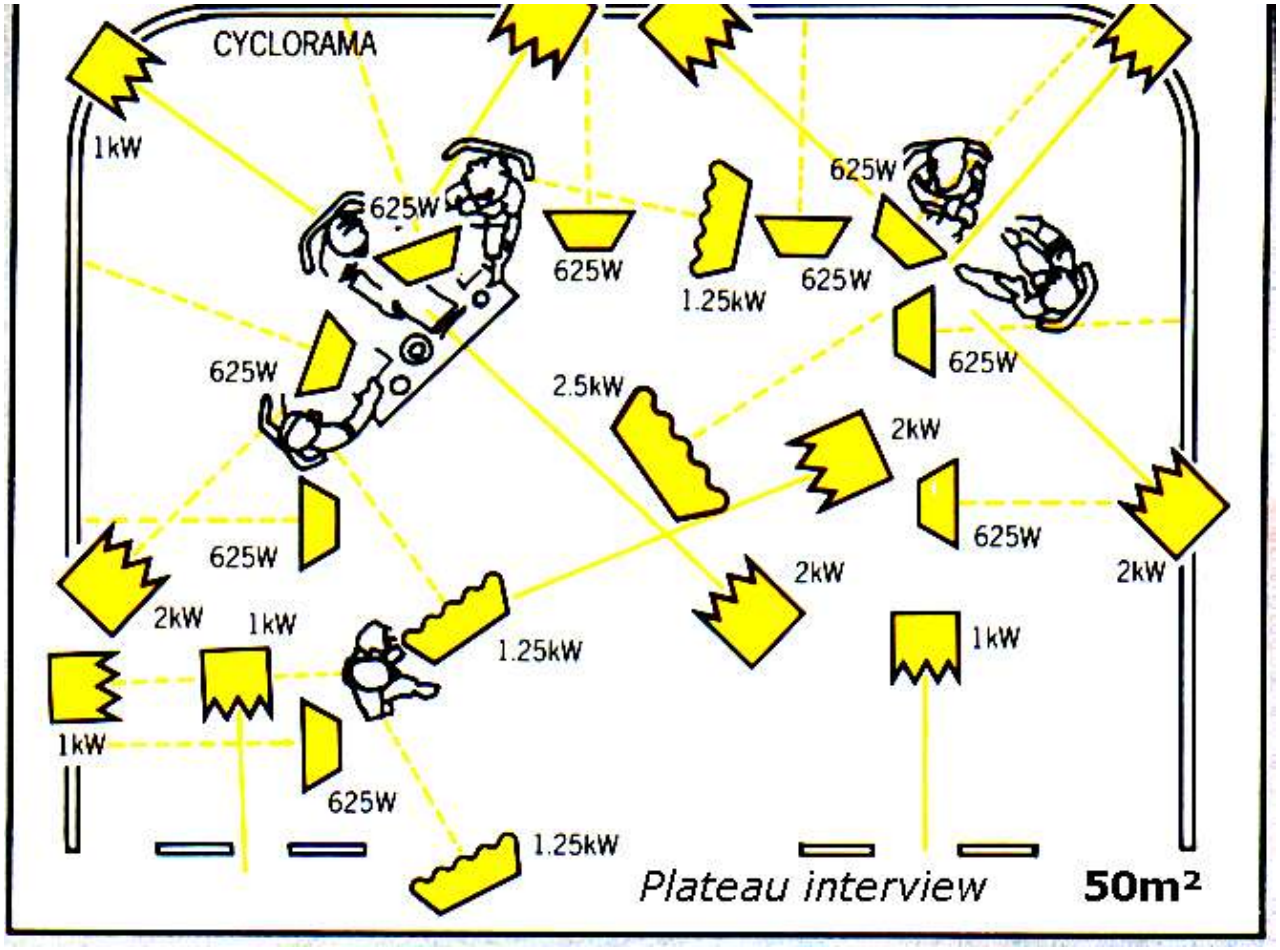
Sur les petits et plateaux moyens, le système de suspension consiste en une série de pantographes le plus souvent mobiles sur des rails.
Une ou plusieurs paires de rails sont fixés dans le sens de la profondeur du plateau. Des traverses mobiles portent les pantographes, lesquels peuvent également se déplacer latéralement sur leur chariot. Les projecteurs peuvent être positionnés à différentes hauteurs par la plus ou moins grande extension du pantographe.

Les petits studios sont équipés en prises de 5 KW puisque aucun projecteur ne dépasse cette puissance.

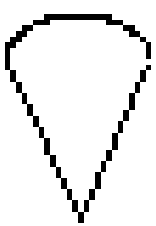
Les studios, équipements

Grill et plateau du studio télé
INA à Bry sur Marne
stage Multicam

Les studios, équipements



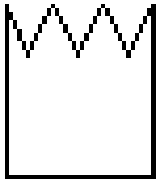
Exemple de plan lumière pour un petit plateau de 50 m²



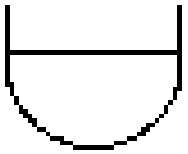
Par

Cycliode

Ambiance



Fresnel



Open face

Le niveau d'éclairement de 500 à 1000 lux est considéré comme adéquate dans la majorité des cas.
Les projecteurs sont situés en moyenne à 4 ou 5 mètres de hauteur à une distance horizontale de 3,5 à 4,5 mètres du sujet à éclairer.

Les studios, équipements

Pour les petits plateaux, la fluorescence offre de nombreux avantages : lumière agréablement répartie, qui n'éblouit pas, qui ne chauffe pas, associée à une très faible consommation en énergie. L'inconvénient est la faible portée de l'éclairage fourni et une lumière très diffuse donnant des images peu contrastées..

Studio de télévision équipé en fluorescence (lumière froide)

Le contrôle de l'intensité

Celle-ci varie selon de nombreux facteurs: la puissance de la source, le rendement du luminaire, sa focalisation, la distance etc…

La première chose est de **bien choisir la puissance de son projecteur**.

- Trop faible, vous êtes obligés de multiplier les sources ce qui n'est pas toujours bon pour la qualité de l'éclairage ou de travailler trop près des comédiens ce qui n'est pas non plus une solution.

- Trop fort, vous chauffez inutilement le plateau et vous êtes obligés d'équiper les projecteurs de gélatine neutres.

A choisir, **mieux vaut travailler de plus loin avec des sources plus puissantes** mais il faut de l'espace.

Le contrôle de l'intensité

La variation de la tension d'alimentation d'une lampe TH au moyen d'un gradateur électronique (« dimmer ») ne convient pas dans la majorité des cas : la lampe sous-voltée donne une lumière jaunâtre (de Tc plus basse).

La pire des solutions est de placer une diffusion sur le projecteur pour diminuer son intensité lumineuse. Vous modifiez alors la qualité de votre éclairage qui n'a plus le caractère directionnel souhaité…

Certains projecteurs sont équipés de plusieurs lampes ou d'une lampe à double filament ce qui permet de modifier, mais de façon brutale, la quantité globale de lumière émise.

Les gradateurs

Le contrôle à distance des gradateurs par la console peut s'effectuer selon trois grands principes :

• Système par signaux analogiques (basse tension entre 0 et 10 V), lequel demande un fil conducteur par gradateur,

• Système de commande par signaux numériques multipléxés DMX-512,

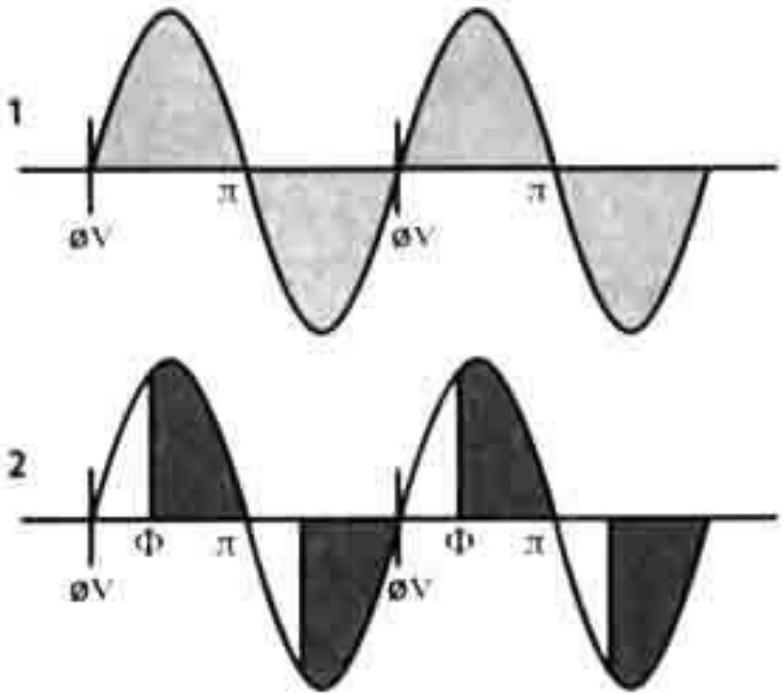
• Réseau Ethernet, fondé sur la gestion et le contrôle de l'ensemble des équipements et des fonctions par l'informatique.

Toutes ces liaisons ne transportent que des signaux de très faibles tensions, parfaitement inoffensifs, alors que les projecteurs qu'ils contrôlent sont directement alimentés par le réseau électrique.

A l'origine, le DMX ne servait qu'à régler la tension du courant à appliquer aux bornes de la lampe TH de chaque projecteur. Cet emploi justifie son nom de gradateur « dimmer » en anglais. Mais grâce à ce protocole de communication, toutes les fonctions du projecteurs peuvent être automatisées (pan, tilt, focus).

Fonctionnement d'un gradateur électronique

Le plus souvent, le gradateur fonctionne à partir d'un composant électronique, le triac. Le triac ne laisse passer le courant que pendant des fractions de temps plus ou moins longues, cela 100 fois par seconde.



Les zones grisées représentent les périodes de passage du courant.

1 – Courant alternatif : la polarité s'inverse chaque fois que l'alternance traverse la ligne horizontale (0 volt); la lampe est alimentée à 100 %.

2 – Gradateur à triac. La ligne verticale représente l'instant (la phase Φ) où le triac reçoit une impulsion et laisse passer le courant (jusqu'à la prochaine inversion de polarité). Lorsque l'on déplace le curseur de commande du gradateur de 10 vers 0, la ligne verticale se décale de gauche à droite et le courant passe de moins en moins longtemps dans la lampe dont l'intensité lumineuse diminue proportionnellement.

Les gradateurs, étalonnage du potentiomètre : la loi des carrés

Position du curseur	% du flux lumineux	Tc (K)	Tension (V) %		Intensité (A) (%)	Puissance (W) (%)
10	**100**	3 200	100	240	100	100
9	**81**	3 120	93	224	96	89
8	**64**	3 040	88	211	93	82
7	**49**	2 960	81	194	88	72
6	**36**	2 860	74	178	85	63
5	**25**	2 750	66	158	78	52
4	**16**	2 600	59	142	73	43
3	**9**	2 400	51	122	67	34
2	**4**	2 200	39	94	59	23
1	**1**	-	23	55	46	11
0	**0**	-	0	0	0	0

Sur tous les gradateurs et consoles du monde, le carré de la valeur de réglage du potentiomètre indique directement le pourcentage du rendement lumineux.
Cela correspond à la décroissance visuelle régulière de la pleine puissance lumineuse à l'extinction totale par le déplacement à vitesse constante de la commande du potentiomètre.

Les studios, équipements

Petit plateau du lycée Jean Rostand à Roubaix (BTS Audiovisuel)

L'installation des gradateurs numériques, du système de commande d'éclairage et de la machinerie scénique a été assurée par Eclalux.

Les studios, organisation et rangement…

Les studios, organisation et rangement…

Studio de l’école Louis Lumière

Les studios, organisation et rangement…

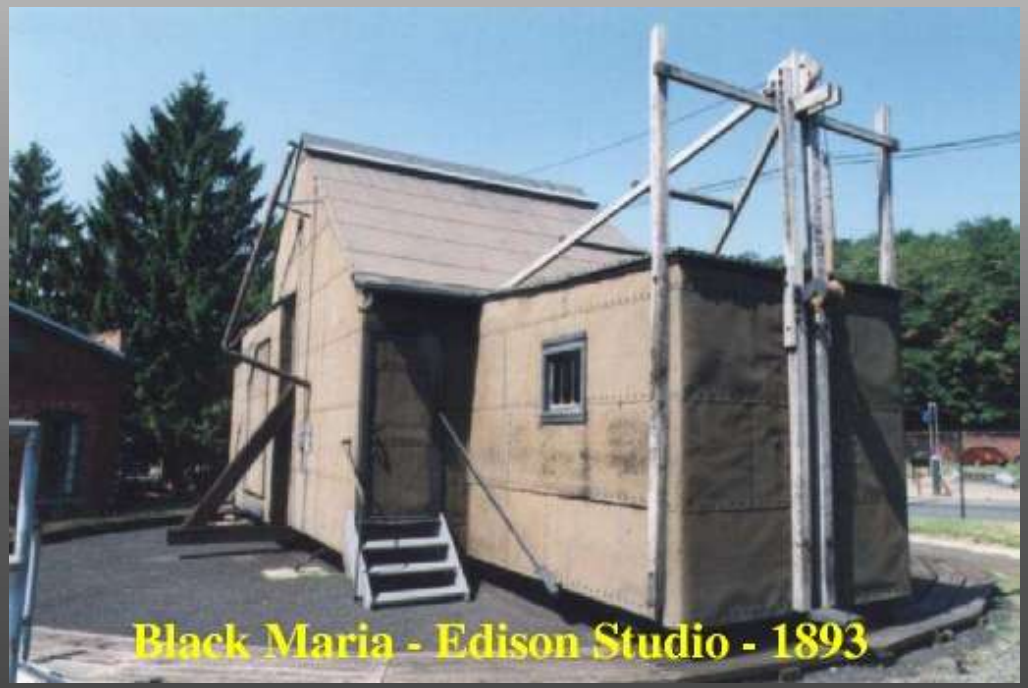
Studio de l’école Louis Lumière

Les studios, organisation et rangement…

Studio de l’école Louis Lumière

Les studios, équipements

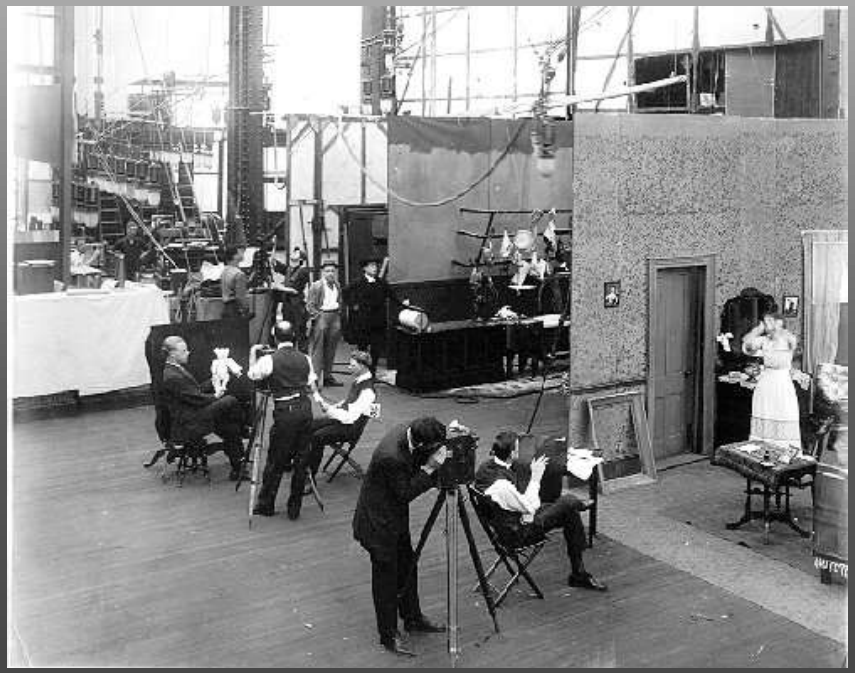
Un peu d'histoire



La **Black Maria** est l'un des studios de production cinématographique de Thomas Edison, situé à Orange (New Jersey). Ce studio de cinéma est considéré comme le premier d'Amérique.
Il était construit sur une base tournante pour pouvoir suivre le soleil.
Y furent entre autres tournés *Edison Kinetoscopic Record of a Sneeze* par William K.L. Dickson et Thomas Edison, *Boxing Cats* par William K.L. Dickson et la *Blacksmith Scene*.

Les studios, équipements

Un peu d'histoire

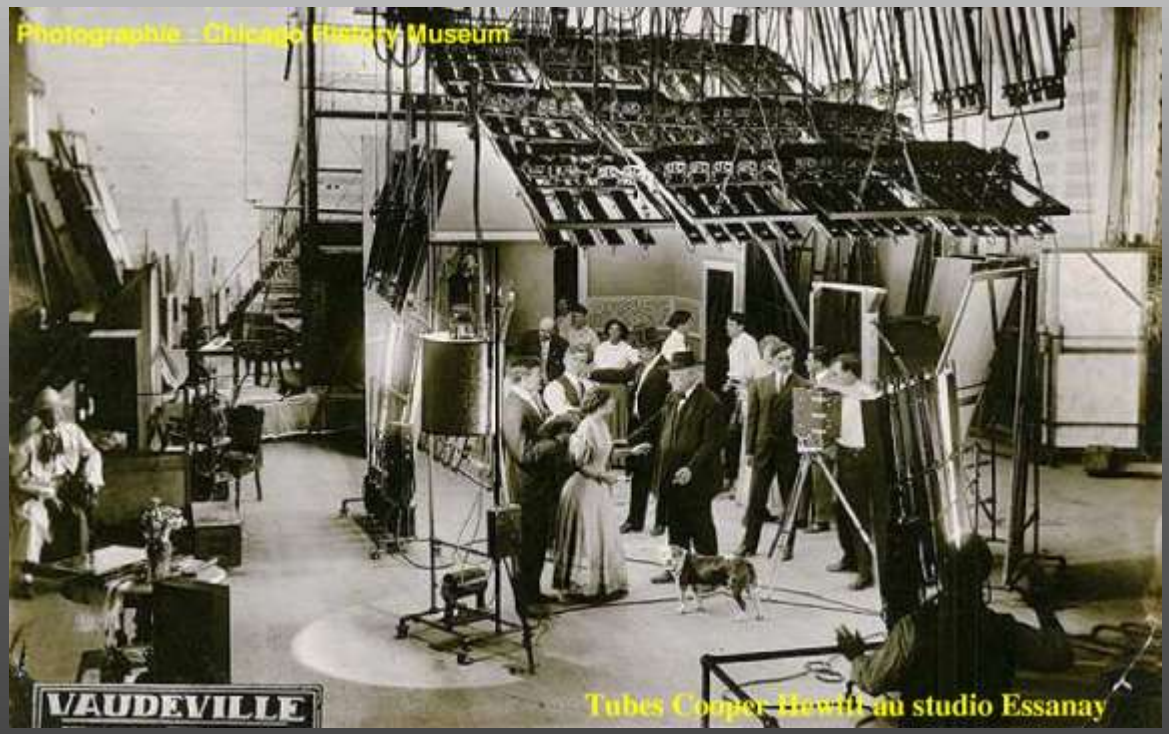


Le premier studio Français, fut celui de Georges Méliès à Montreuil en 1897. De nombreux essais ont été faits avec les éclairages artificiels de l'époque : bougie, gaz, pétrole, mais rien de concluant. Ces sources trop faibles n'impressionnaient pas la pellicule.

Scène de tournage de plusieurs productions cinématographiques, aux studios de l'Edison Motion Picture Studio, dans le Bronx à New York (États-Unis), vers 1907–1918

Les studios, équipements

Un peu d'histoire



Il faudra attendre l'invention du tube à vapeur de mercure par **Peter Cooper Hewitt en 1901, pour que les films commencent à se tourner en lumière artificielle.**
Ces tubes, lointains ancêtres de nos fluos actuels, donnaient une lumière assez bleuâtre riche en U.V. (adaptée à la pellicule N&B orthochromatique).
On les installait sur des grands panneaux pour "arroser" le maximum de surface. On ne cherchait pas encore à "jouer" des lumières pour donner des intentions à l'image. On cherchait simplement à recréer en studio la lumière extérieure et surtout avoir le niveau de lumière requis pour obtenir une image.

Les studios, équipements

Un peu d'histoire

Studio à ciel ouvert et lumière zénitale Vitagraph à New York en 1910
Sur la gauche, rampes à tubes de vapeur de mercure Cooper-Hewitt et, sur les portantes supérieures, éclairages urbains à arc (sensibilité des films N&B : 10 ISO, orthochromatique)
Orthochromatique : Qui est sensible à toutes les couleurs sauf au rouge, en parlant d'un film (c) Larousse.

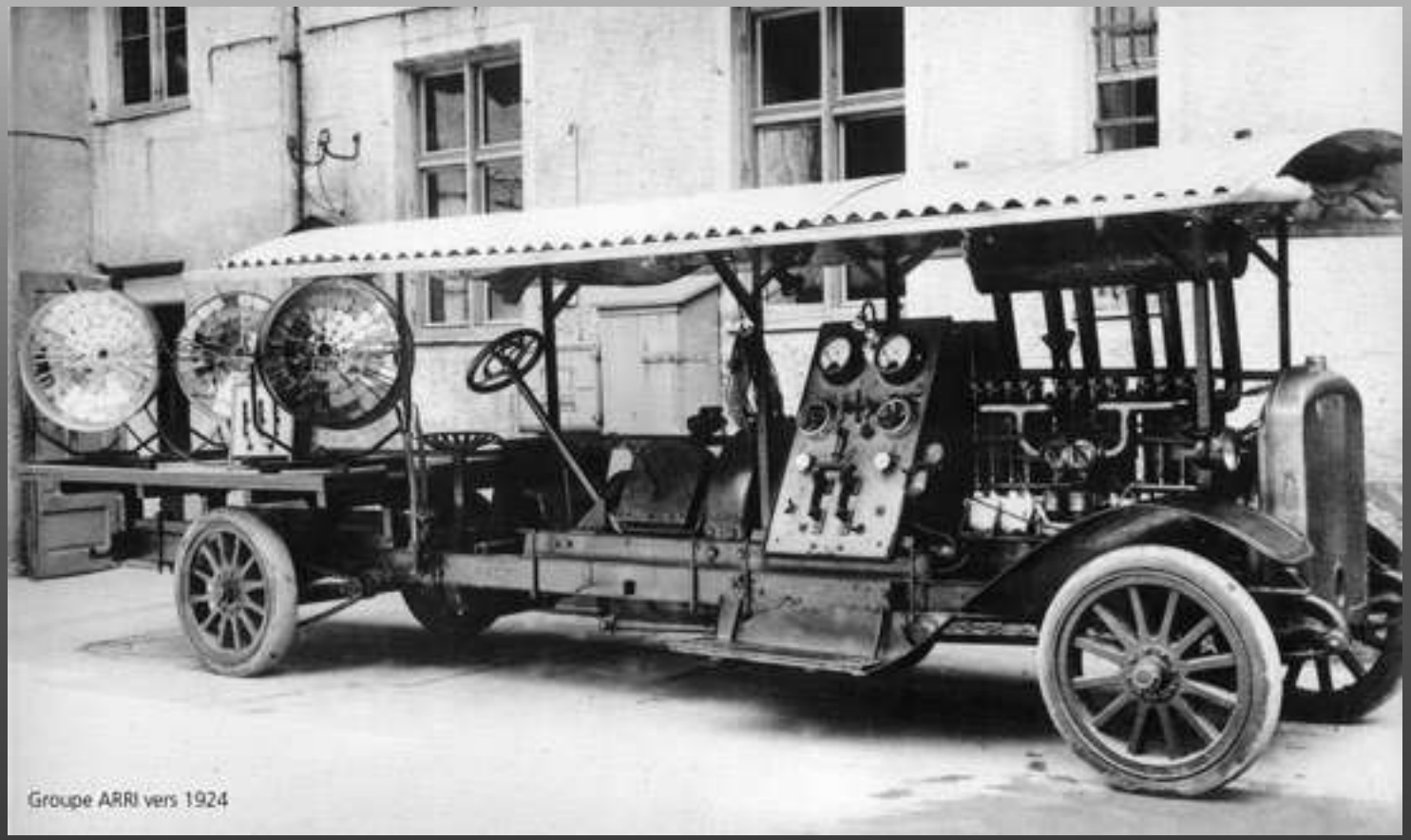
Les studios, équipements

Un peu d'histoire

Projecteurs et équipements électriques sur un plateau sous verrières des studios Eclair (début des années 1920)

Les studios, équipements

Un peu d'histoire



Groupe électrogène Arri (vers 1924) avec quelques « Rifles ». *Le rifle contient une seule lampe de 1.000 ou de 1.500 watts, placée dans un réflecteur profond, de chrome plaqué, en forme de bol.*

Les studios, équipements

Un peu d'histoire

Eclairages à rampes de tubes à vapeur de mercure Cooper-Hewitt sur un plateau des studios Cinéroman (fin des années 1920)
Collection Cinémathèque française

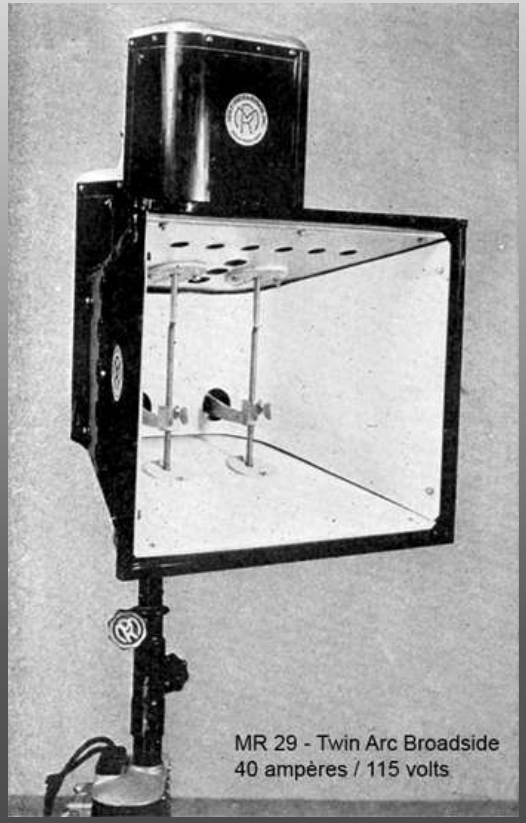
Les studios, équipements

Un peu d'histoire

Les premiers Fresnels : Projecteur 5 kW Bardwell & McAlister (début des années 1930)

Les studios, équipements

Un peu d'histoire



Projecteur à arcs jumeaux (Broadside) Mole-Richardson 40 A - 110 V (vers 1934)

Réclame pour les projecteurs et équipements électriques Mole-Richarson (début des années 1930)

Sécurité électrique

Précautions à observer :

• **Ne jamais toucher un conducteur** et débrancher physiquement le câble d'alimentation de la prise.

• Tous les équipements doivent être en permanence correctement mis à la terre. Si par exemple, un conducteur chargé mal isolé entre en contact avec le corps métallique d'un projecteur, le courant retourne à la terre (en provoquant un court-circuit qui fait sauter le disjoncteur), mais sans danger pour l'être humain dont le corps est plus résistant.
La mise à la terre est indispensable pour toutes les parties métalliques, même lorsqu'elles ne sont pas en principe chargées électriquement (passerelle, gril, etc).

• Les équipements électriques et électroniques contenant des **condensateurs restent dangereux**, même lorsqu'ils sont débranchés. Le premier geste d'un dépanneur sur un ballast HMI, un moniteur vidéo ou un flash électronique est de décharger les condensateurs à l'aide d'une sonde reliée à la terre.

• Éviter le **risque d'incendie** en veillant aux mauvais contacts dans les prises, en utilisant des prolongateurs de section suffisante, en déroulant les prolongateurs avant utilisation et en évitant de placer un matériau inflammable près d'une lampe.

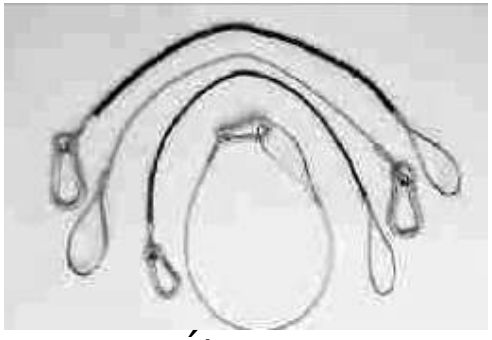
• Attention aux **brûlures** par contact (en touchant les lampes) et aux brûlures à distance provoquées par l'ultraviolet émis par une lampe HMI non protégée par un filtre.

Sécurité mécanique

Les trois principaux risques sont :

- **L'explosion**
  Elle est provoquée par la manipulation à main nue de l'ampoule, par l'usure, le choc, le choc thermique (pluie). La face éclairante du projecteur doit être protégée par un verre épais ou du grillage extérieur.

- **Chute d'un projecteur ou d'un accessoire**
  Dans ce domaine, les mesures de protection doivent être systématiques et sans aucune concession : chaque projecteur en suspension est indépendamment attaché, au plafond, au gril par une très solide boucle en câble d'acier. On en fait de même pour tous les objets lourds, les éléments de décor, les réflecteurs, etc… mais aussi pour les outils avec lesquels on peut avoir à travailler en hauteur.
  Les pieds de projecteurs au sol doivent être systématiquement gueusés.



Élingues

- **Les escaliers, échelles et escabeaux**
  Immobiliser et stabiliser un escabeau ou une échelle avant de grimper dessus au besoin en les accrochant par une chaîne provisoirement fixée au gril. Ne jamais se trouver en situation de porte-à-faux ou de mauvais équilibre lorsqu'on a à transporter ou à décrocher un équipement lourd.

Sécurité mécanique, le montage des élingues

1 > Le plus sûr est de passer la lyre du projecteur dans la boucle

2 > De cette façon, on ne peut pas l'oublier ou la perdre

3 > Une fois le projecteur en place, passer l'élingue par-dessus la porteuse sans faire plusieurs tours car cela fragiliserait le câble de l'élingue.

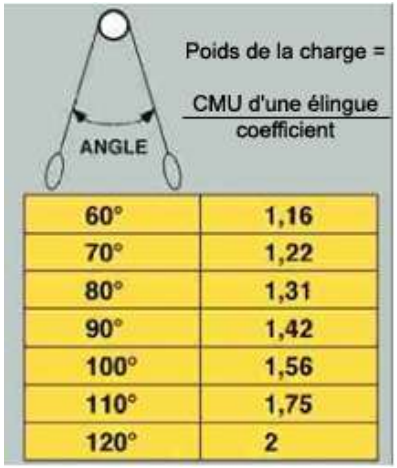
4 > Terminer en fixant le mousqueton sur l'élingue elle-même ou mieux sur la boucle qui passe dans la lyre.

Kg et daN (déca-Newton)
Un kilogramme est une unité de masse.
Un poids de 1 kg est une masse de 1 kg multipliée par l'accélération de la pesanteur soit 9,81m/s² en France.

Un newton est une unité de force. C'est égal à une masse de 1 kg soumis à une accélération de 1m/s². 1daN = 10 N
Donc : 1 kg = 0,981 daN
Dans la pratique, on peut considérer qu'il s'agit d'une égalité, soit 1 kg = 1 daN.

CMU : Charge Maximale d'Utilisation, valeur limite de charge applicable à tout matériel d'accroche et de levage.

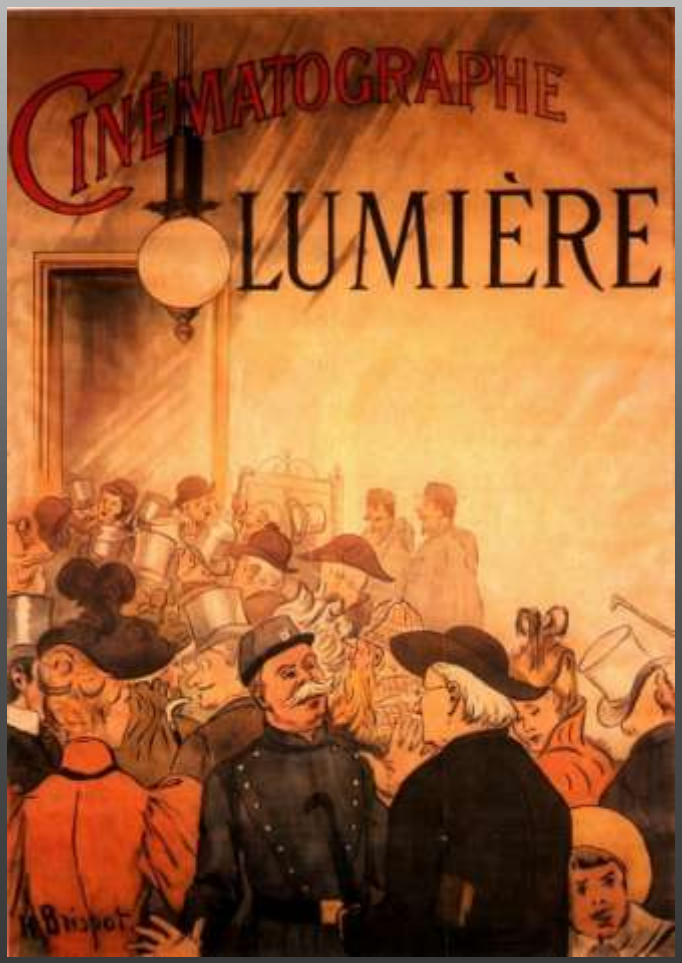
Calcul d'une charge maximale en fonction de l'angle.
Si vous prenez deux élingues, vous multipliez le résultat par deux.
En aucun cas l'angle formé par les élingues ne doit excéder 120°.



ANGLE	coefficient
60°	1,16
70°	1,22
80°	1,31
90°	1,42
100°	1,56
110°	1,75
120°	2

Une élingue de sécurité en acier de 3mm de diamètre : 284 daN maxi.

LA LUMIERE



Merci de votre attention

EXTRAITS DU COURS

« LA PRISE DE VUES CINEMATOGRAPHIQUE ET VIDEO MONOCAMERA »