



### Ampoule parfaite

- ❖ Produit de la lumière en consommant le moins d'énergie (Efficace)
- ❖ Produit une bonne lumière
- ❖ Produit une lumière stable
- ❖ Produit toute la lumière instantanément
- ❖ Ne pas polluer (recyclable ou ne pas de gaz tpxoq)
- ❖ Etre légère et compacte
- ❖ Avoir une longue durée de vie (ex: LED 100 000h)
- ❖ Etre recyclable
- ❖ Soit interchangeable avec d'autres lampes
- ❖ Ne pas coûter cher

N'existe pas: ampoule idéalisée

## Sources Lumineuses

**Sophie JOST**

Laboratoire Génie Civil et Bâtiment

Enseignant - Chercheur

Caractérisation des ambiances lumineuses

[sophie.jost@entpe.fr](mailto:sophie.jost@entpe.fr)

# Critères de choix d'une lampe

## ■ Optiques

- flux (lm), intensité lumineuse (cd) et angle d'émission (lampes directionnelles, omnidirectionnelles)
- Spectre de la lumière émise, température de couleur, indice de rendu de couleur

## ■ Electriques

- Tension et courant d'alimentation
- Puissance active en W et puissance apparente en V.A. (harmoniques, facteur de puissance)
- Compatibilité avec gradateur / variateur
- Technologie de ballast associée

## ■ Energétiques

- Efficacité lumineuse en lm/W

## ■ Economiques :

- Prix d'achat
- Coût de la main d'œuvre (installation/remplacement)
- Coût global sur la durée de vie

## ■ Mécaniques

- Taille, forme, position de fonctionnement
- Type de culot

## ■ Environnementaux

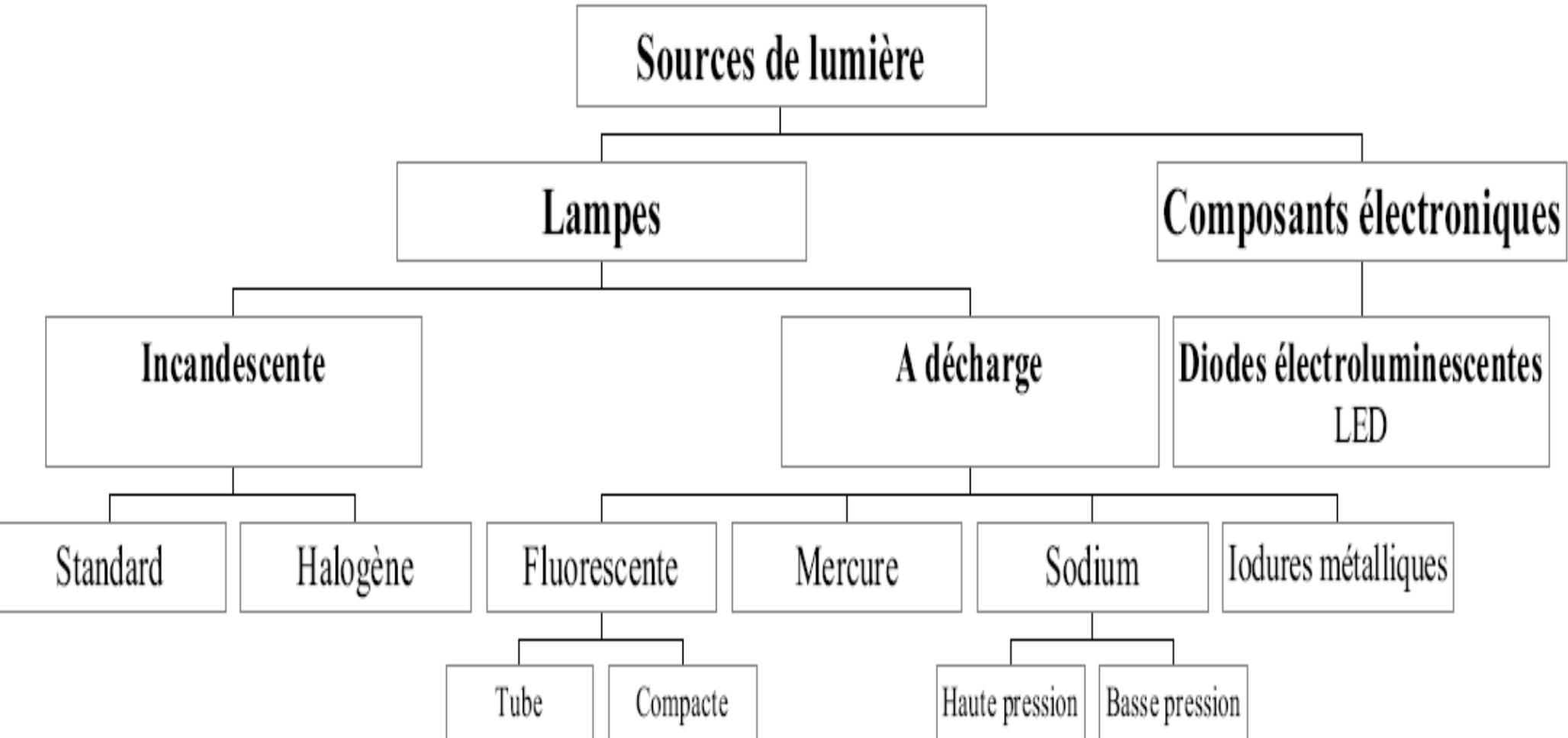
- Fonctionnement à haute ou basses températures
- Humidité, chocs, vibrations

## ■ Thermiques

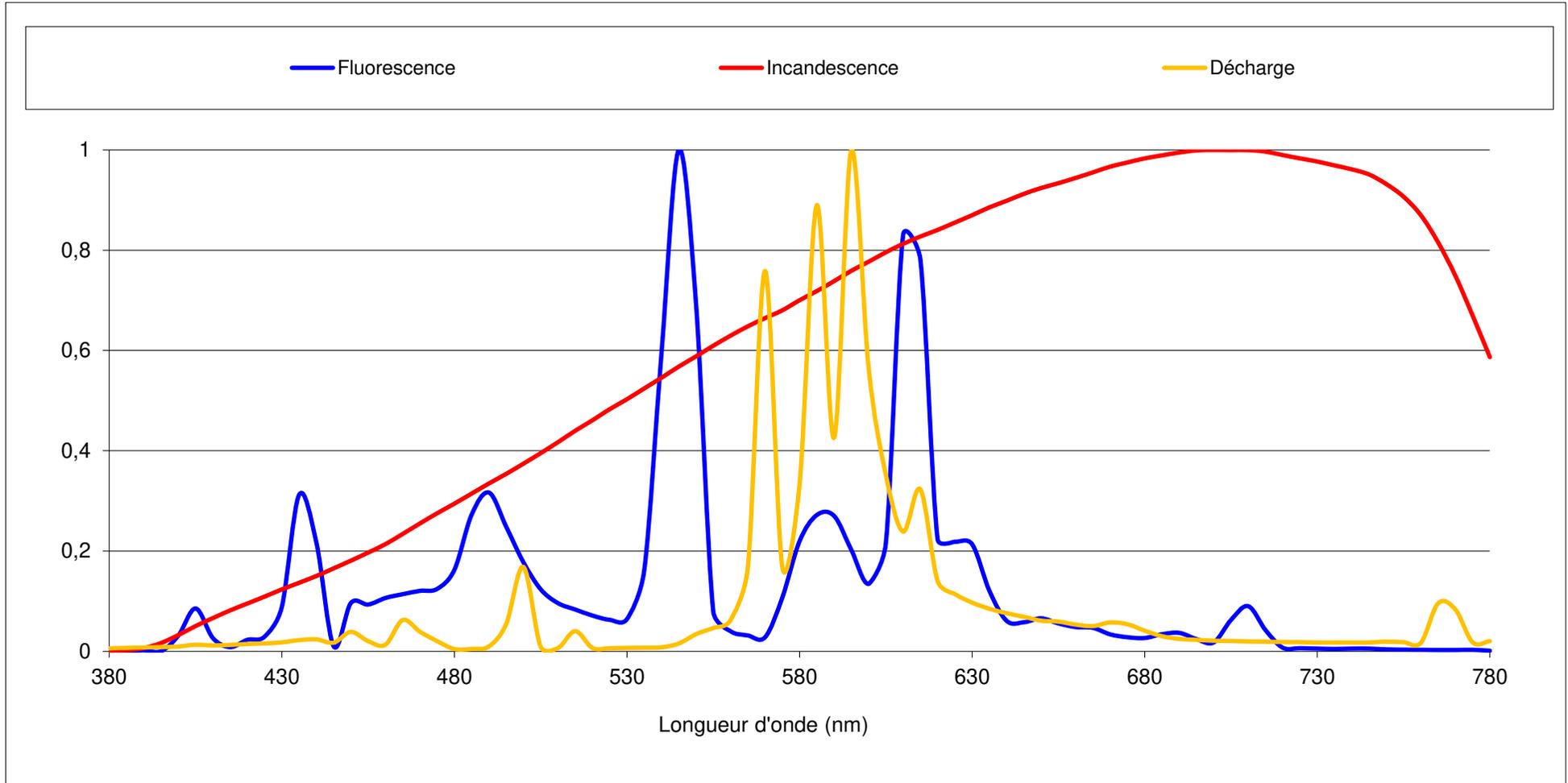
- Echauffements des surfaces

## ■ Paramètres temporels

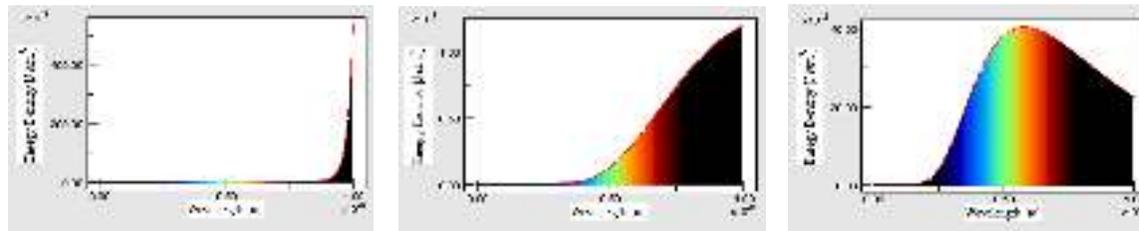
- Temps de démarrage
- Temps de montée (atteinte du régime permanent)
- Papillotement
- Durée de vie :
  - dépréciation du flux lumineux combiné avec défaillances des composants



# Spectres des sources de lumière



- **Echauffement par effet Joule**
- **Filament**
  - Fer-1400K (Edison-1878)
  - Tungstène-2700K (Coolidge-1906)
- **Rayonnement d'un corps noir**

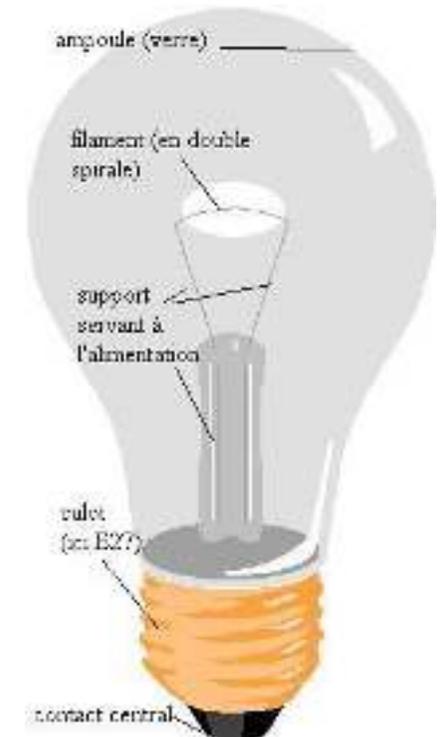


300 K

2500 K

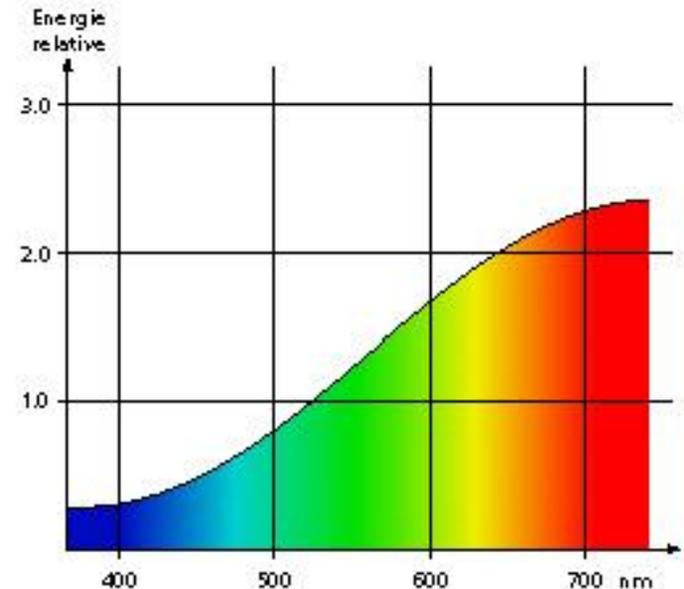
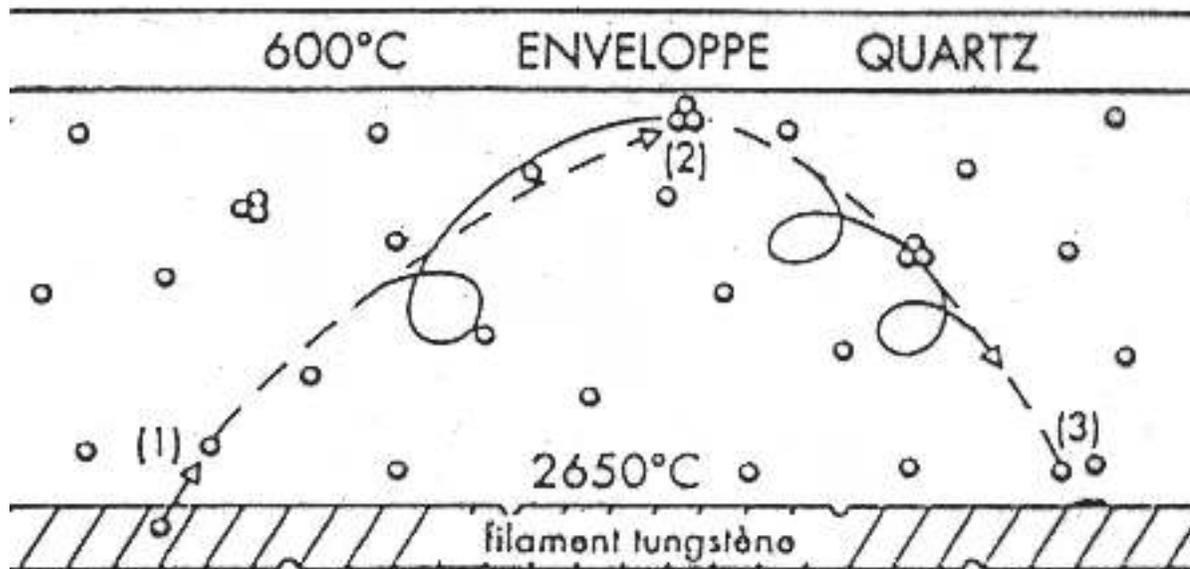
5000 K

- **Un gaz inerte le Krypton ou le Xénon évite l'oxydation du filament et ralentit son évaporation**



# Incandescence aux halogènes

- L'ajout d'un halogène (bromure de méthyle) crée un cycle régénérateur du tungstène
- Durée de vie plus longue et température du filament plus élevée (env. 3000K)



## ■ Qualité de lumière optimale

- Spectre lumineux continu (spectre « thermique » de corps noir)
- Rayonnement infrarouge important (chaleur)

## ■ Développement récent :

- Lampe halogène dit « basse consommation »
- Efficacité lumineuse : + 30% par rapport à l'incandescent classique

# Incandescence aux halogènes



12V sans réflecteur

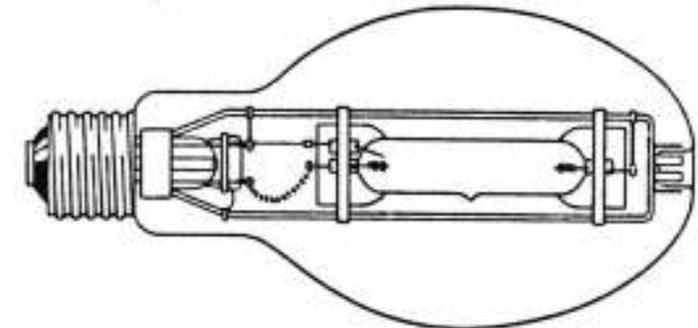
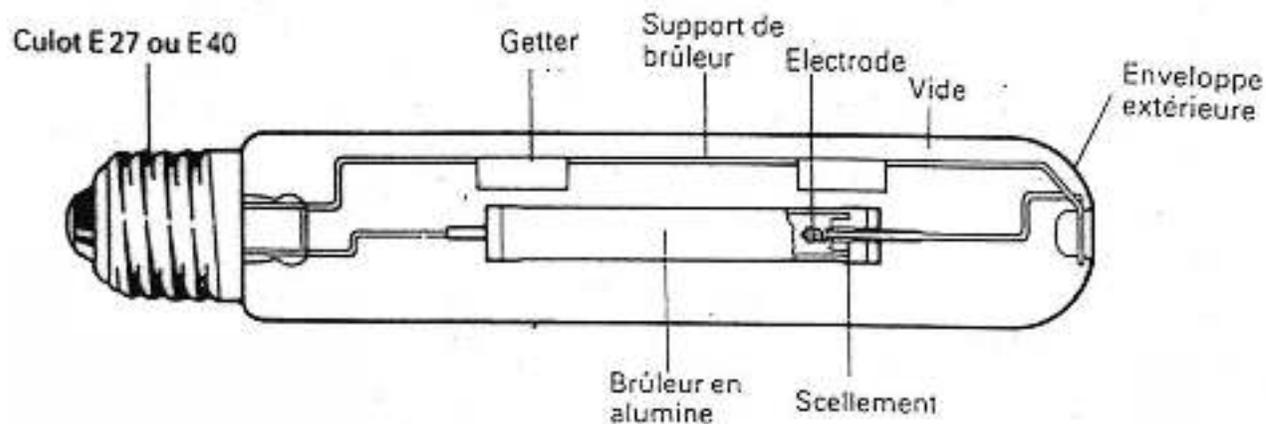


12V avec réflecteur:  
angle du faisceau ( $10^{\circ}$  à  $60^{\circ}$  )  
absorption de l'IR (dichroïque)



220V

- **Production par électro-rayonnement**
  - énergie sous forme de rayonnement lumineux
  - ou UV invisible absorbé par une poudre fluorescente présente sur la face interne de l'ampoule et converti en rayonnement visible
- **Décharge électrique entre 2 électrodes**
- **Ionisation de mercure ou de sodium (décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse de vapeur de mercure, de sodium ou d'iode métallique)**



## ■ 2 éléments nécessaires :

- Starter : pour atteindre pendant un court instant la tension élevée d'amorçage de la décharge électrique dans le gaz ionisé ou dans la vapeur de métal.

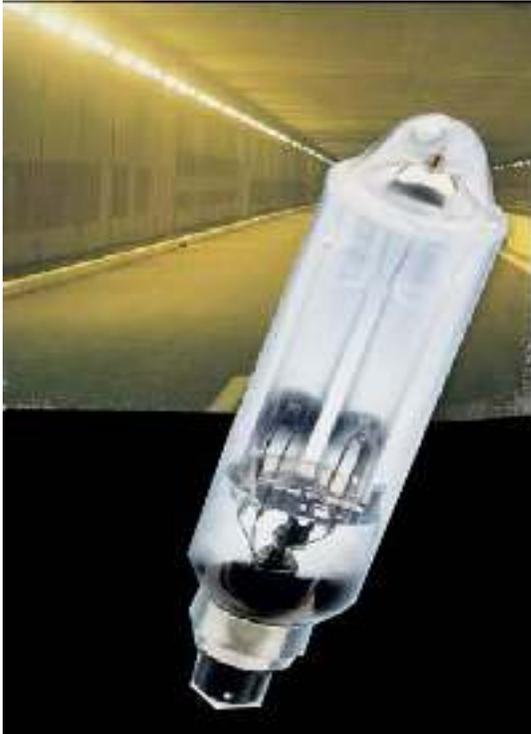
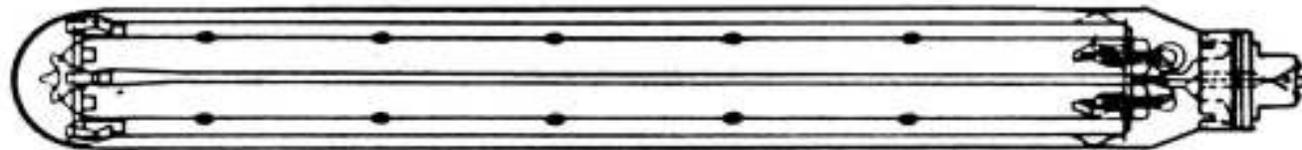
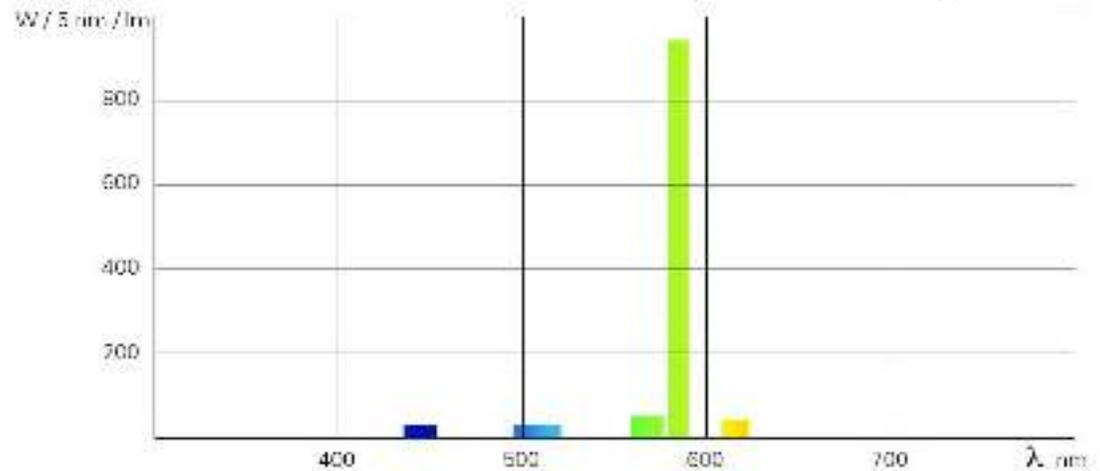


- Ballast : limiter le courant après l'amorçage pour empêcher la destruction de la lampe



# Sodium Basse Pression - 1932

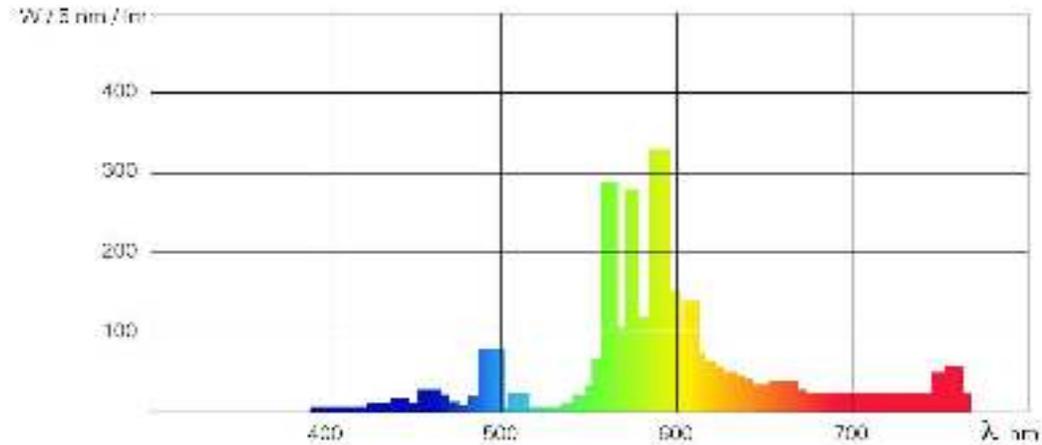
Tube en U – néon/argon  
Lumière couleur jaune vert orangé  
quasi monochromatique



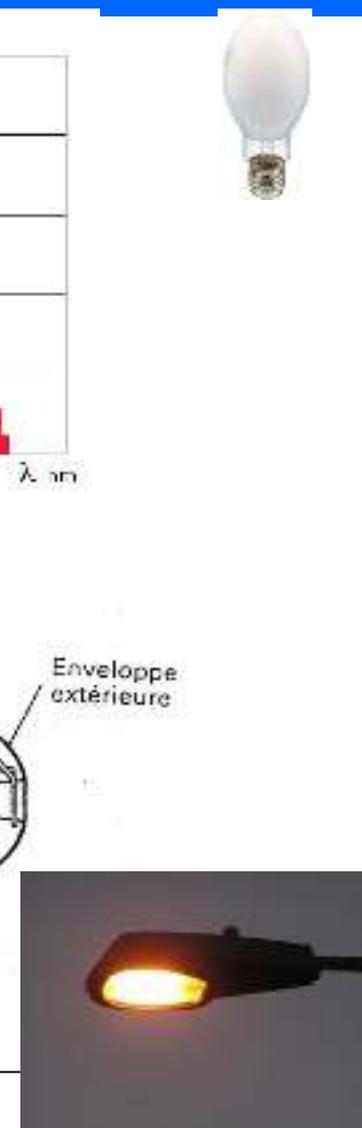
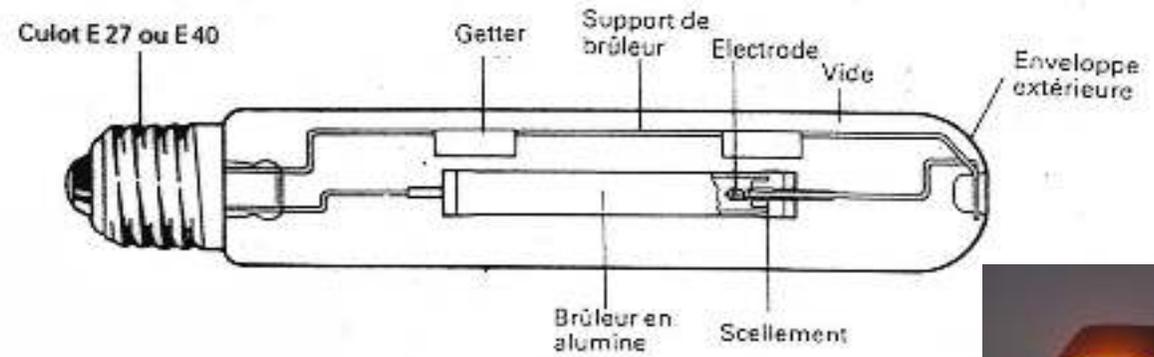
# Sodium Haute Pression - 1969



Routes, industrie, horticulture



Lumière blanche à reflets jaunes orangés

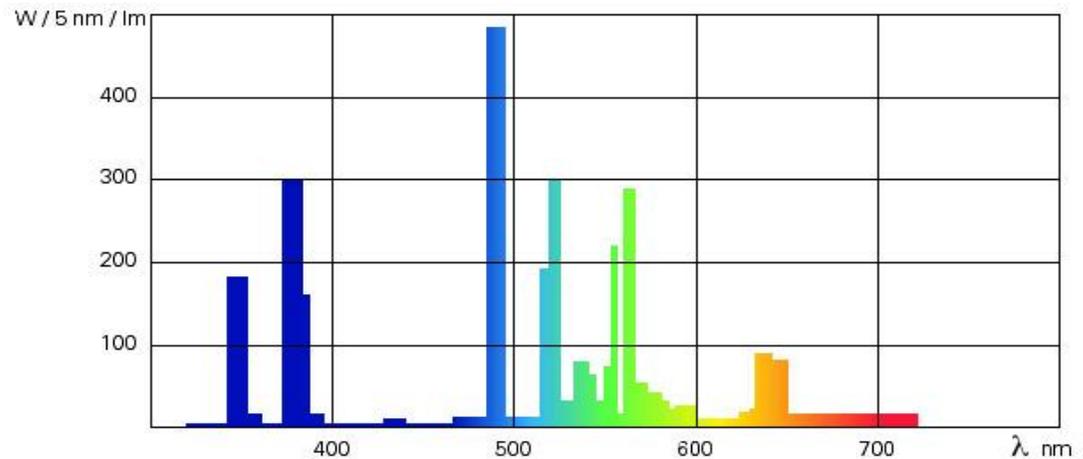


# Vapeur de mercure - 1932



EP, industrie

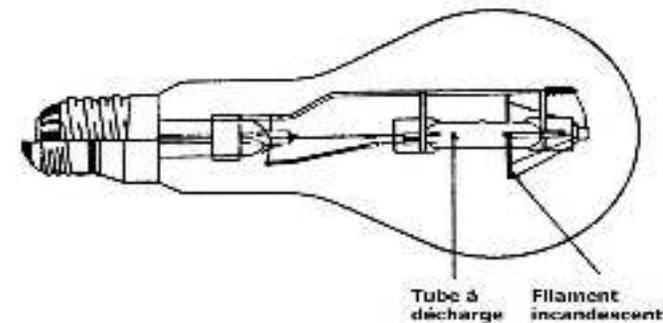
Tube à arc argon + 1 goutte de mercure  
Ampoule d'azote  
Revêtement fluorescent



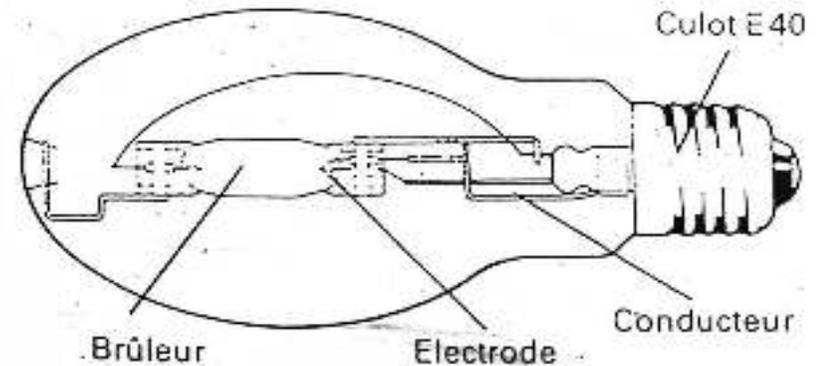
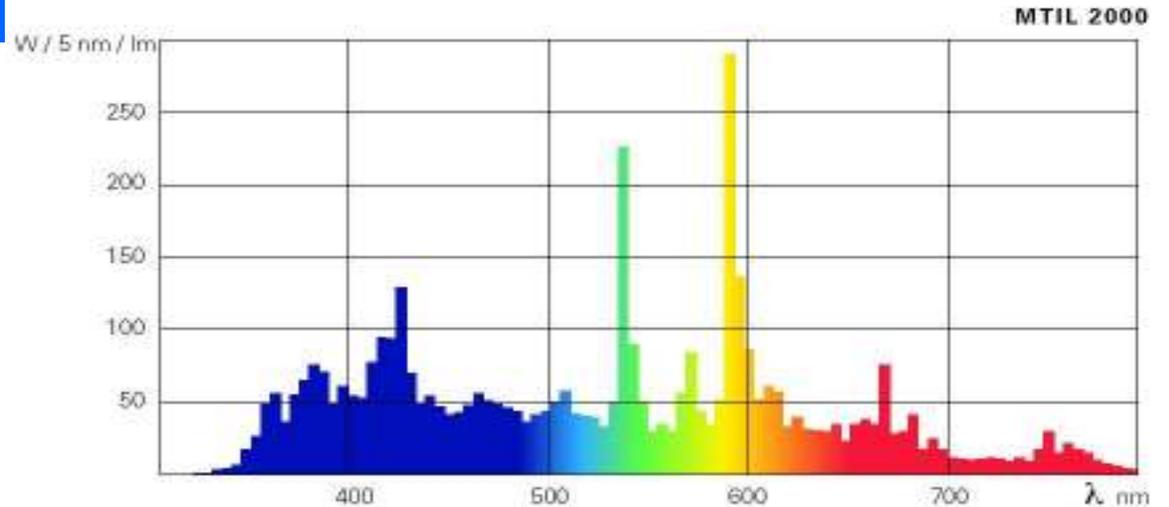
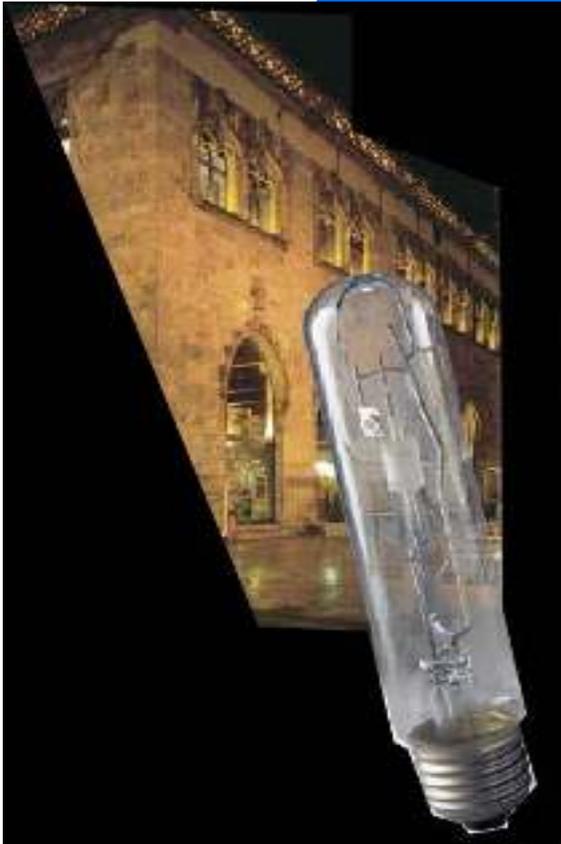
Lumière couleur blanche à reflets bleutés

Plusieurs types:

- standard, de luxe,
- lumière mixte
- lumière noire



# Iodures métalliques - 1961

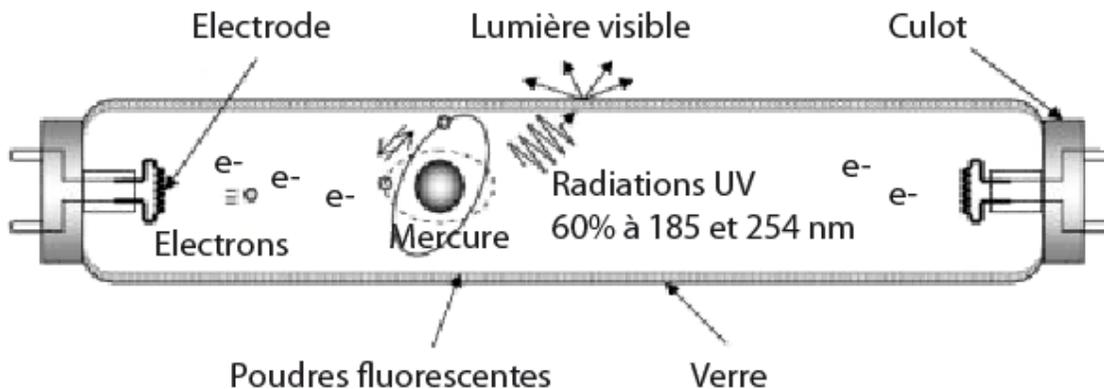


Vapeur de mercure + sels métalliques (iodures, zirconium, aluminium...)

Lumière couleur très blanche, reflets bleutés ou orangés  $2700^{\circ} \text{K} < T_c < 6500^{\circ} \text{K}$

Evolution permanente, avenir des lampes à décharge haute pression

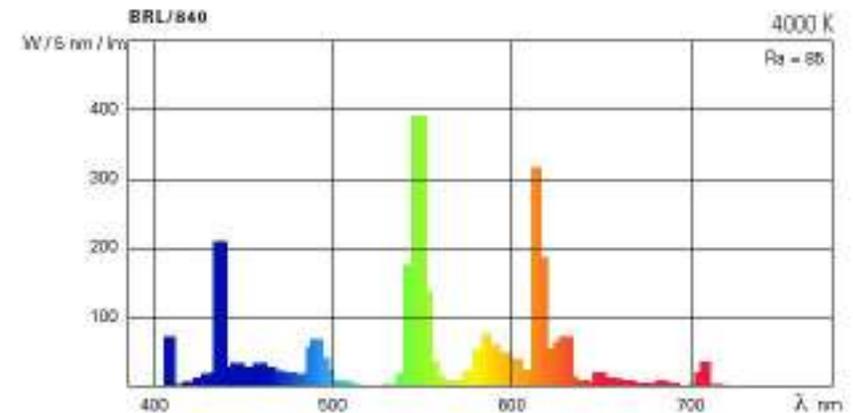
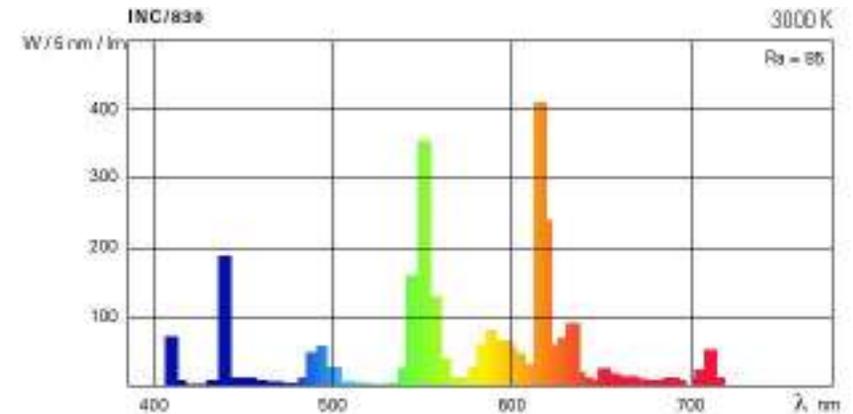
- Décharge mercure plus poudres fluorescentes
- Excitées par l'UV émettent dans le visible



## ■ (Très) bonne efficacité lumineuse

- Comprise entre 50 et 100 lm/W
- Indice rendu des couleurs compris entre 55 et 90
- Température de couleur variable
- Durée de vie : 10 000 h et plus selon différents paramètres dont la teneur en mercure...

## ■ Diamètres et longueurs variables



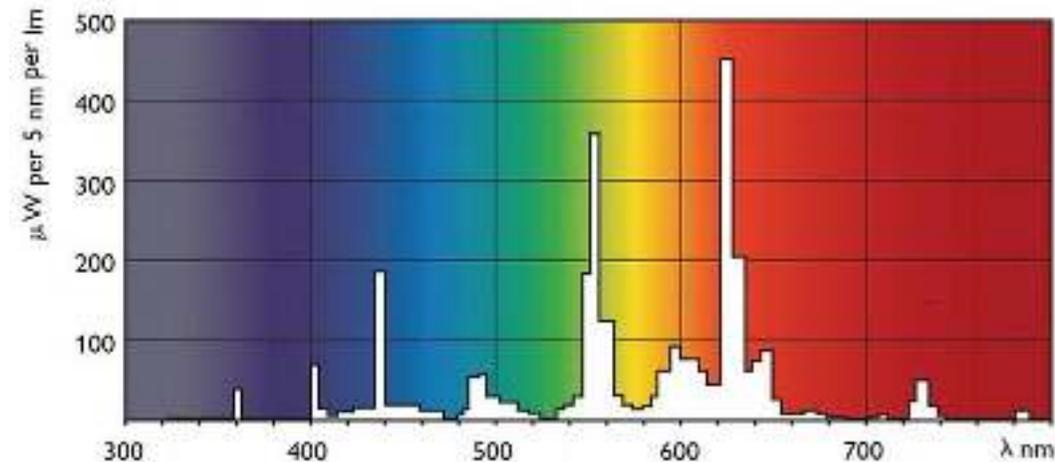
## ■ Informations données par le fabricant

- Code des tubes fluorescents: CFT/XYZ
- X premier chiffre rendu des couleurs : 8 (85)
- YZ deux premiers chiffres T couleur : 30 (3000)



### Light Technical Characteristics

Color Code	830 (CCT of 3000K)
Color Rendering Index	85 Ra8
Color Designation (text)	Warm White
Color Temperature	3000 K
Chromaticity Coordinate X	0.438
Chromaticity Coordinate Y	0.403
Luminous Flux Lamp EL 35°C	1200 Lm
Luminous Efficacy EL Top, 35°C	90 Lm/W
Luminous Flux Lamp EL 35°C	1200 Lm
Lum. Efficacy Rated HT 35°C	99 Lm/W
LLMF HF 20000h Rated	89 %
LLMF HF 15000h Rated	90 %
LLMF HF 12000h Rated	91 %
LLMF HF 8000h Rated	93 %
LLMF HF 6000h Rated	94 %
LLMF HF 4000h Rated	95 %
LLMF HF 2000h Rated	96 %
Design Temperature	35 °C



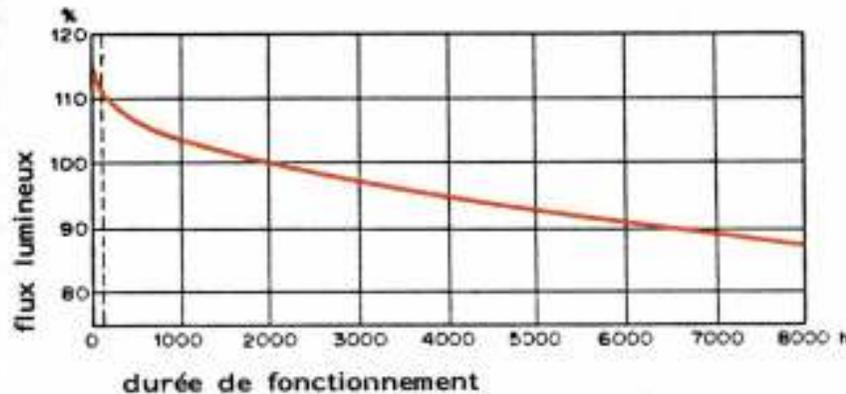
- Alimentation incorporée



- Alimentation séparée

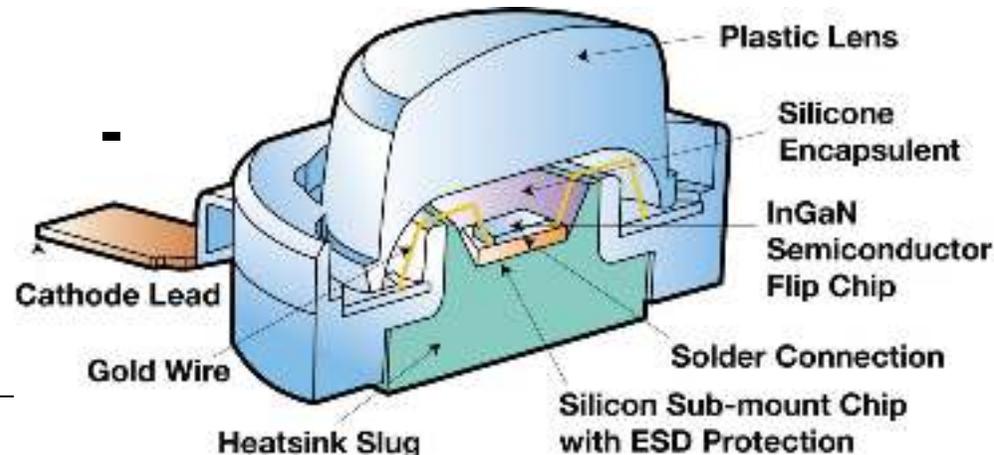
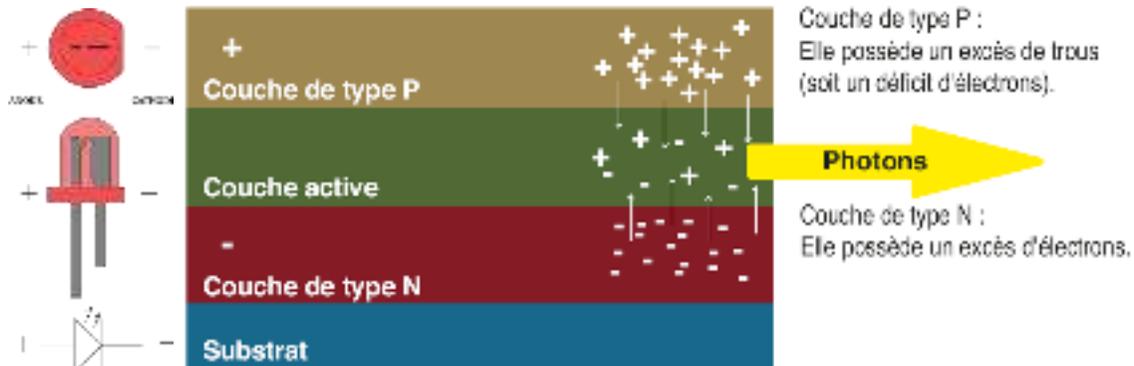


- Variations du flux dans le temps



Consomme 4 fois moins qu'une lampe à incandescence

## ■ Composants électroniques (Indium, Gallium, Nitride, Phosphide, Aluminum)



# Diodes électroluminescentes - 1962

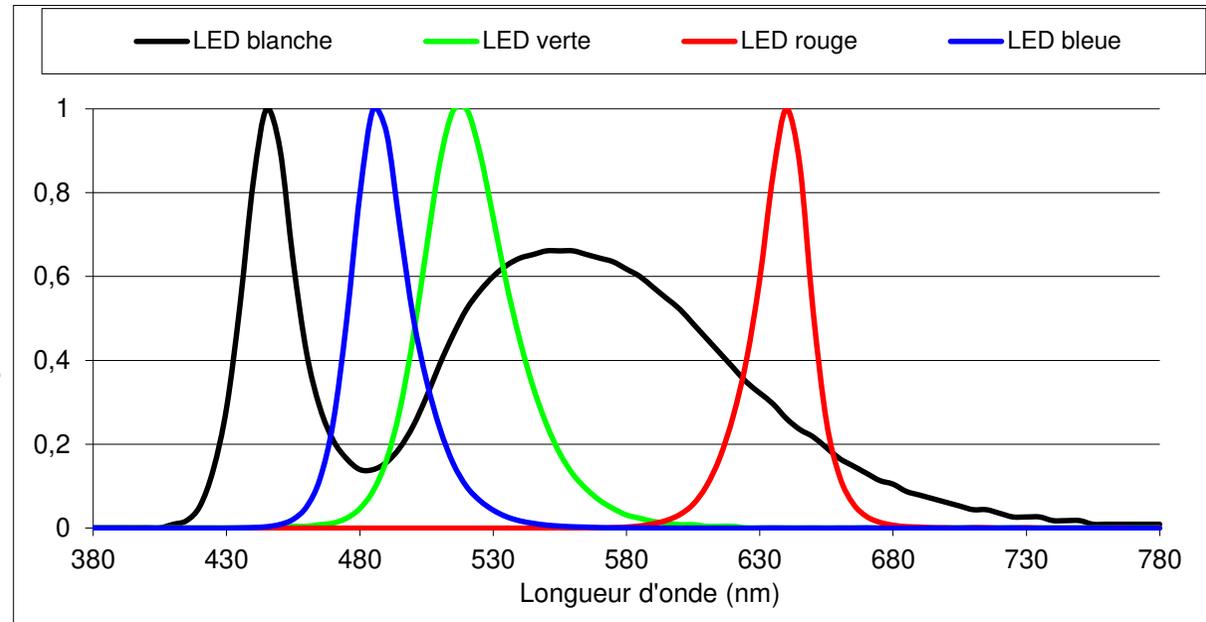
## ■ Sources monochromatiques dépend du matériaux

- Rouge
- Vert
- Bleu
- Ambre

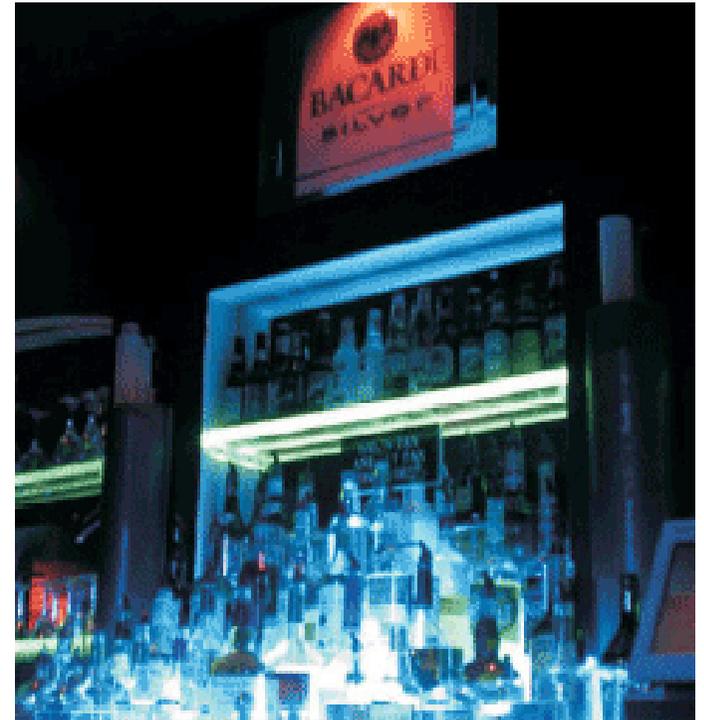


## ■ Lumière blanche

- Combinaison Leds RVB
- Led Bleue + Poudres fluorescentes



- En 2020 75% du marché de l'éclairage
  - Éclairage
  - Affichage
  - Voyant lumineux



# Diodes électroluminescentes - 1962



Radiateurs



Optique

## ■ Remplacement progressif des autres sources



Incandescentes à bulbe

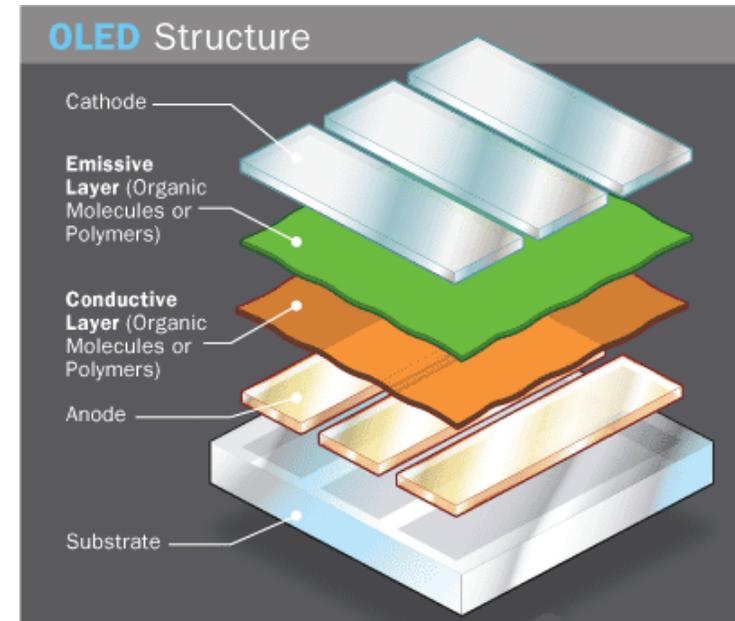


Spots



Tubes fluorescents

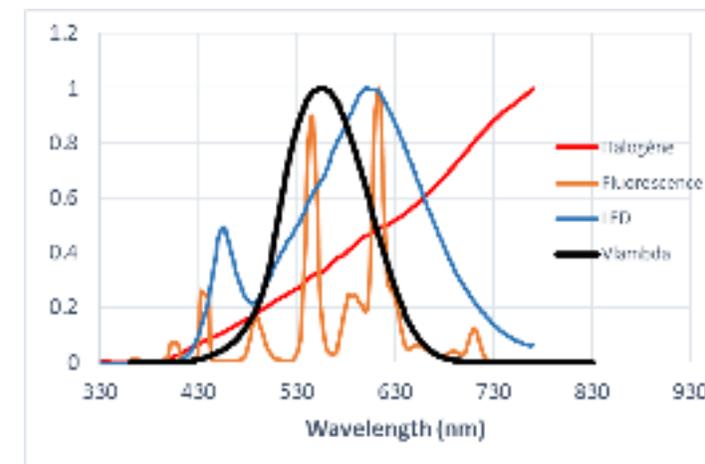
- **Organique = contient du carbone**
- **Structure :**
  - Barium ou Calcium
  - Polyfluorene
  - Polyaniline
  - Indium tin oxyde
  - Plastique ou verre
- **Sources surfaciques**
- **Flexibles selon support**
- **Pas de dégagement de chaleur**

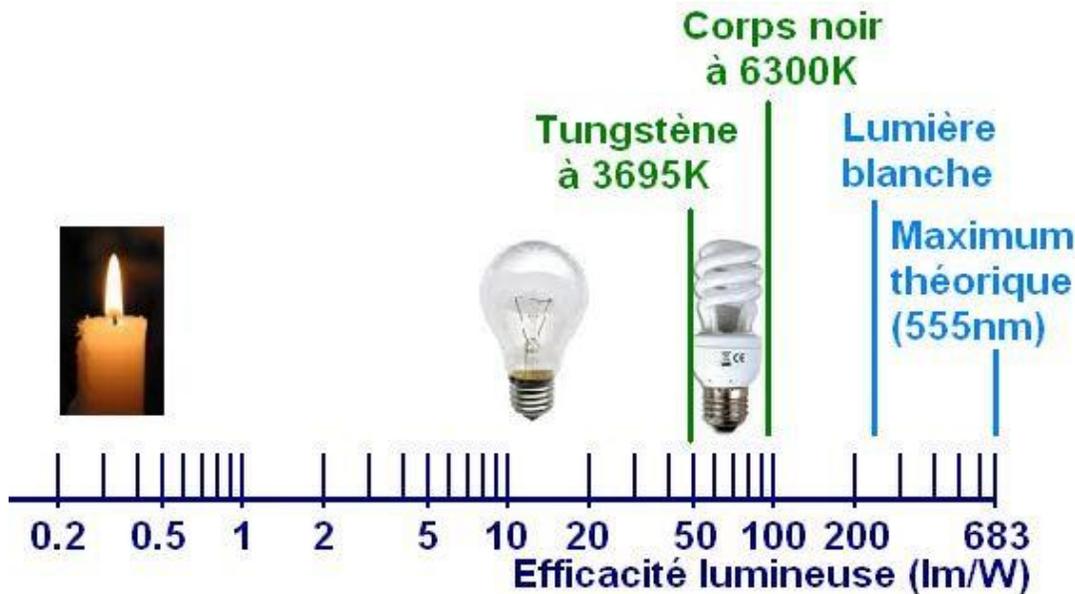


- **Puissance (W)**
- **Efficacité lumineuse (lm/W)**  
Quantité de lumière émise = flux lumineux (lumen) par unité de puissance électrique (watt)
- **Durée de vie (x1000 heures) ou durée de fonctionnement**
- **Température de couleur (K)**  
*Température à laquelle un corps noir devrait être porté pour produire une « lumière blanche » de même couleur*
- **Indice de rendu de couleurs (0-100)**  
*Capacité d'une source de lumière à restituer les différentes couleurs du spectre visible en comparaison avec une source de référence*
- **Temps de chauffe ou mise en régime**

- Quantité de lumière émise (lumen) par unité de puissance électrique (watt)
- Flux lumineux divisé par la puissance consommée
  - Efficacité lumineuse de la lampe  $\eta_{lampe}$ 
    - $\eta_{ray}$  x rendement énergétique de la lampe
  - Efficacité lumineuse du rayonnement  $\eta_{ray}$ 
    - Ne dépend que du spectre de la lumière et de  $V(\lambda)$

$$LER = 683 \frac{lm}{W} \frac{\int_{\lambda} P_{utilisé}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} P_{utilisé}(\lambda) d\lambda}$$





EFFICACITÉS LUMINEUSES TYPES	
Type de lampe	Efficacité lumineuse [lm/W]
à incandescence classique	8 - 12
halogène	12 - 24
fluocompacte	50 - 85
fluorescente classique (tubulaire)	65 - 100
sodium haute pression	65 - 140
LED	70 plus
sodium basse pression	100 - 190

## ■ Efficacité lumineuse SYSTEME



×



×



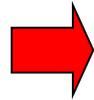
Rendement ballast  
(%)

Efficacité lumineuse  
de la lampe (lm/W)

Rendement photométrique  
du luminaire  
(%)

# Efficacité lumineuse

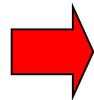
**T8 (Ø 26 mm)**



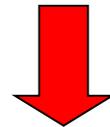
**T8: 75 à 88 lm/W**



**T5 (Ø 16 mm)**



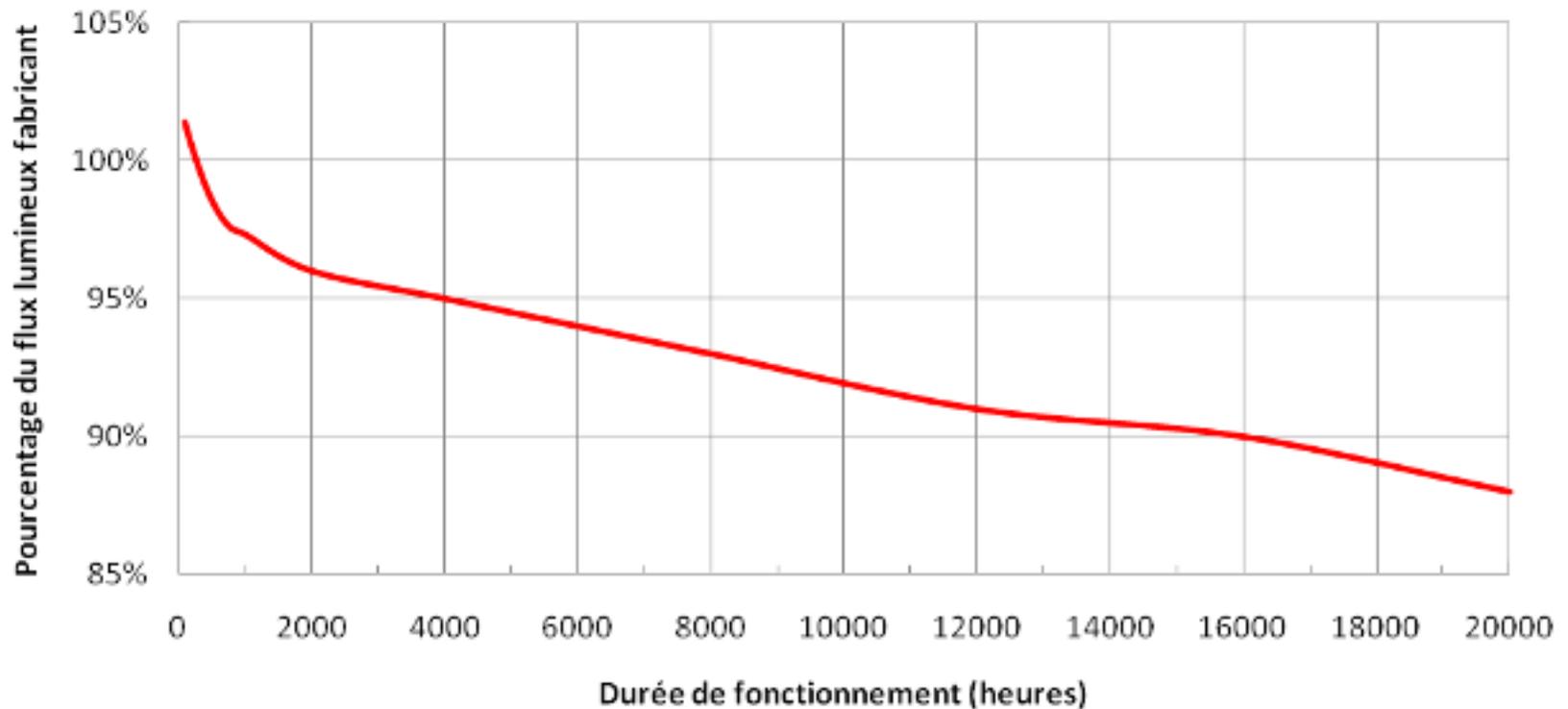
**T5: 85 à 114 lm/W**



**Jusqu'à 38 % d'efficacité en plus**



# Variations du flux lumineux dans le temps



# Comparaison des températures de couleur

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Fluo. 5000 K

Fluo. 6300 K

Fluo. Industrie



# Temps de chauffe des lampes à décharge

t = 0 mn

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

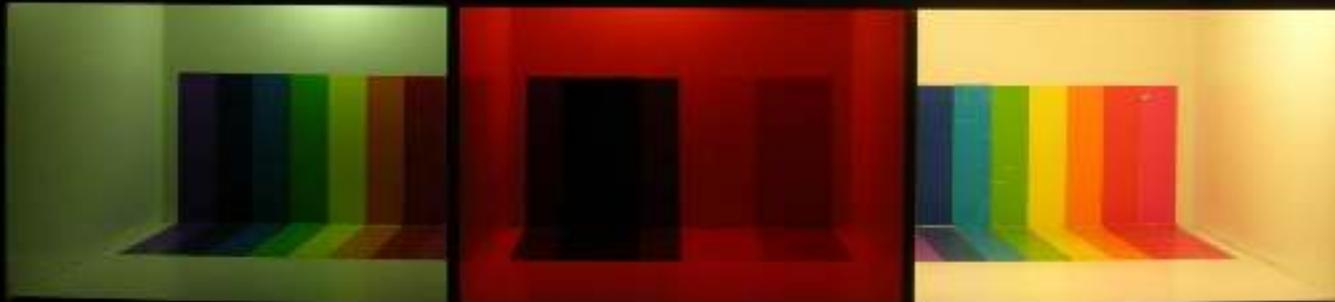
# Temps de chauffe des lampes à décharge

t = 0 mn 30 s

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

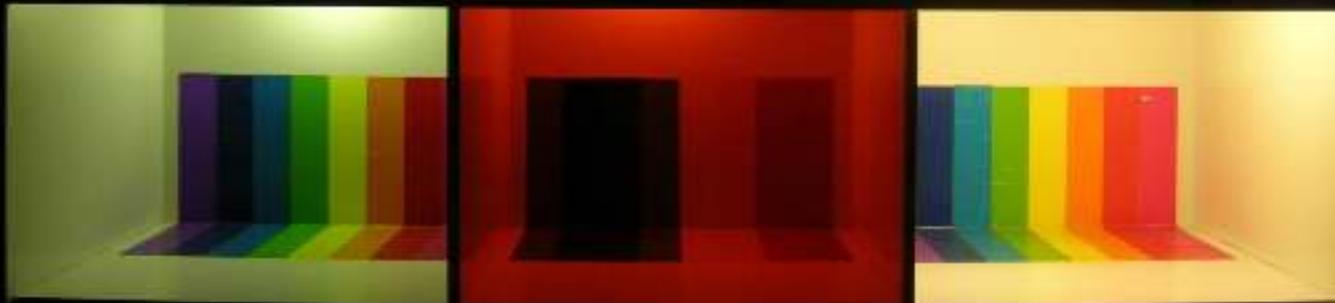
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 1 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

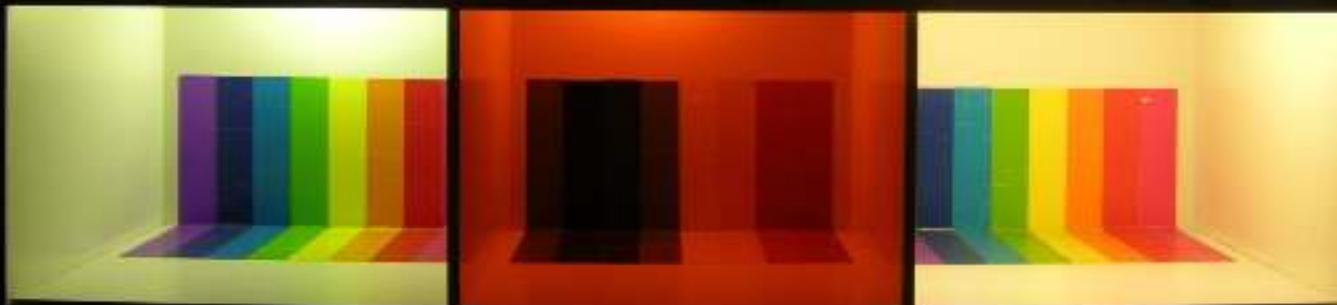
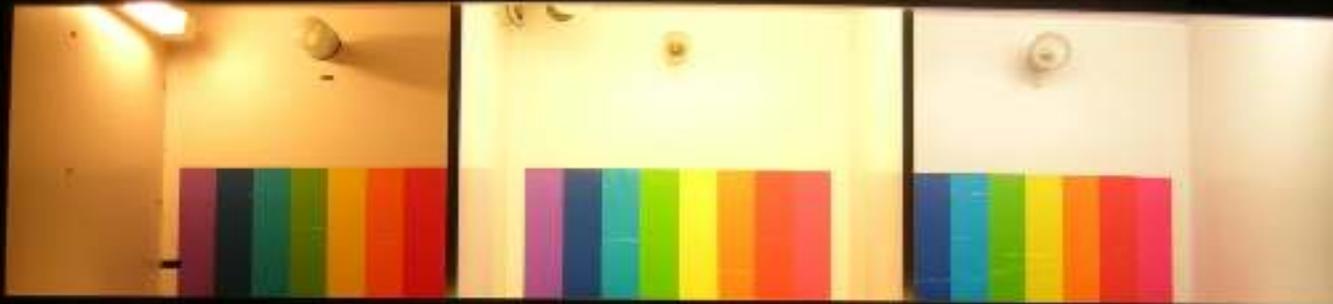
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 1 \text{ mn } 30 \text{ s}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

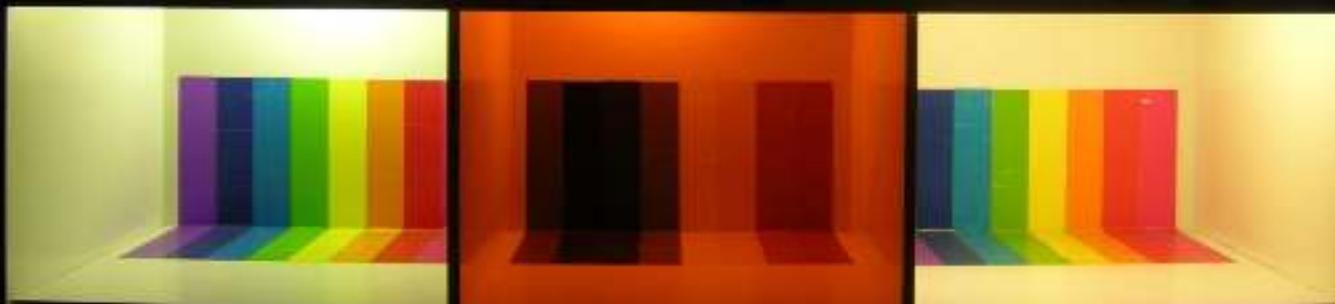
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 2 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

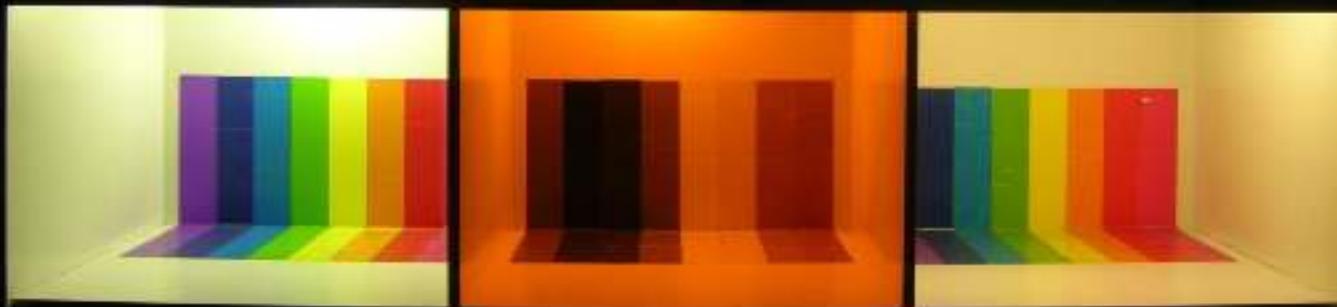
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 2 \text{ mn } 30 \text{ s}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

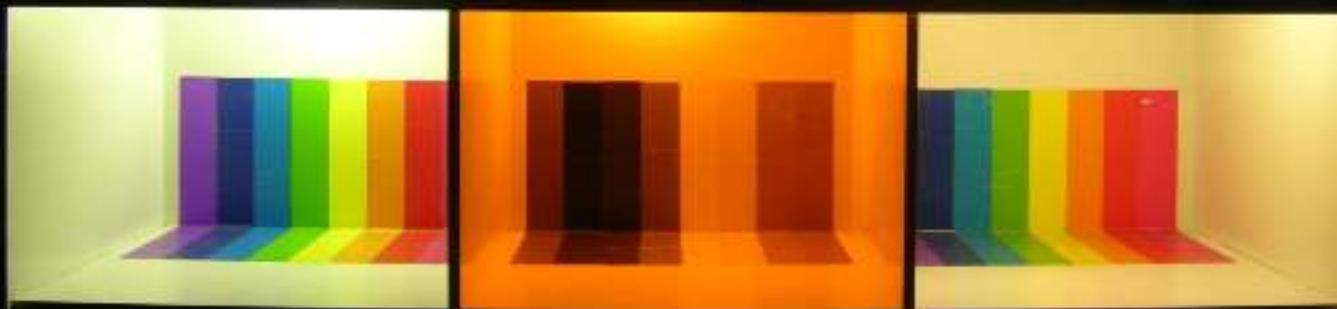
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 3 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

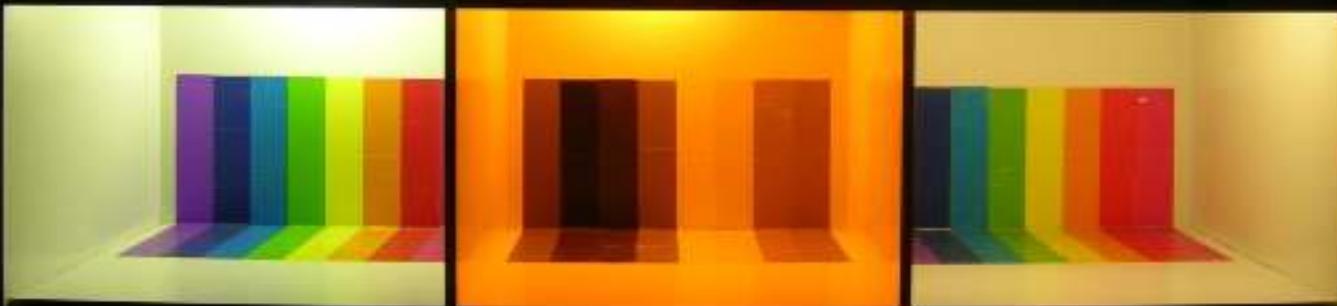
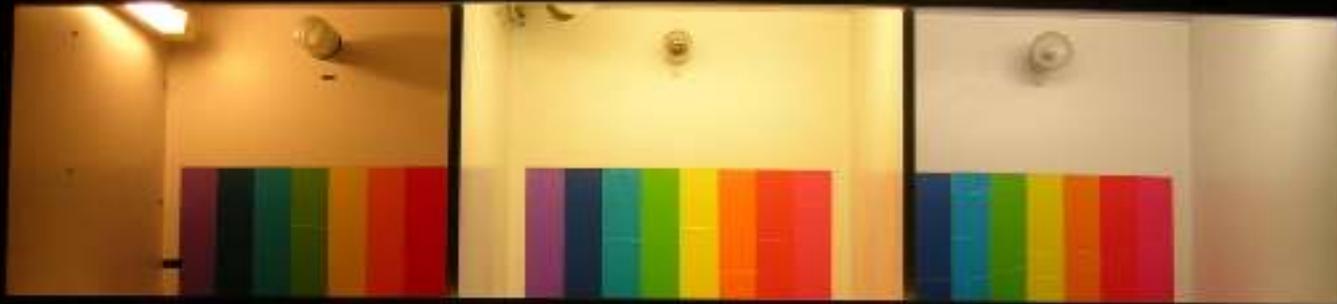
Lampe mixte

# Comparaison indice de rendu des couleurs

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K

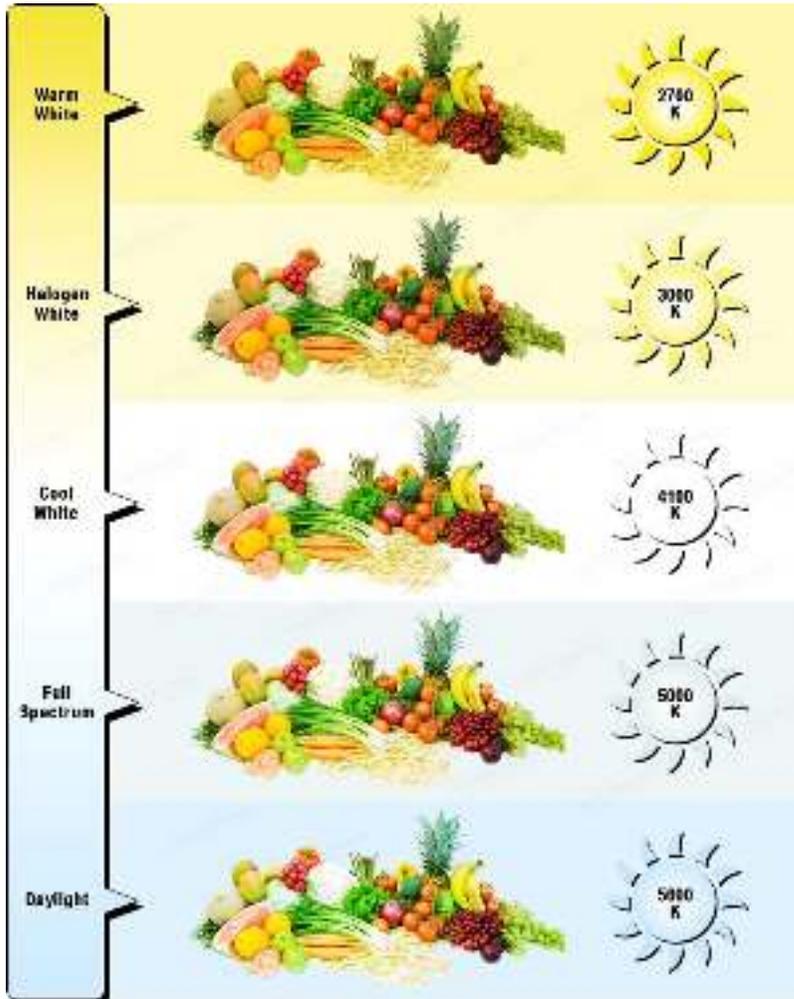


Vapeur Mercure

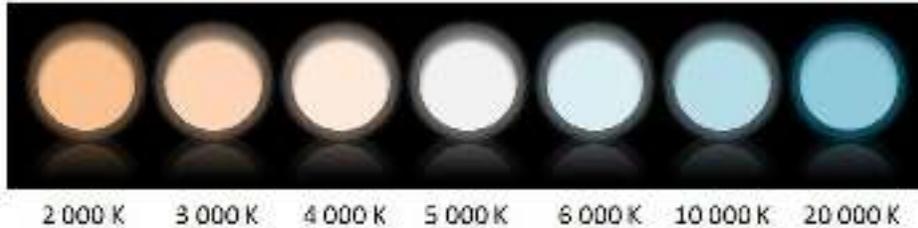
Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

# Température de couleur

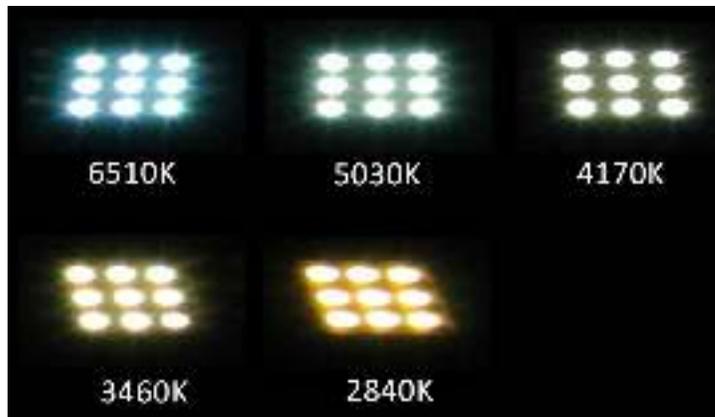


# Température de couleur



**Tableau 5 – Température de couleur des sources artificielles**

Type de source	Température de couleur (K)
Incandescence	2 500 à 3 000
Incandescence aux halogènes	2 900 à 3 000
Fluorescence linéaire	2 700 à 6 500
Fluorescence compacte	2 700 à 4 000
Vapeur de mercure	3 300 à 4 300
Vapeur de sodium haute pression	1 950 à 2 150
Iodures métalliques	3 000 à 4 900
Lampe à induction	2 700 à 4 000



# Température de couleur

Ambiance  
chaude

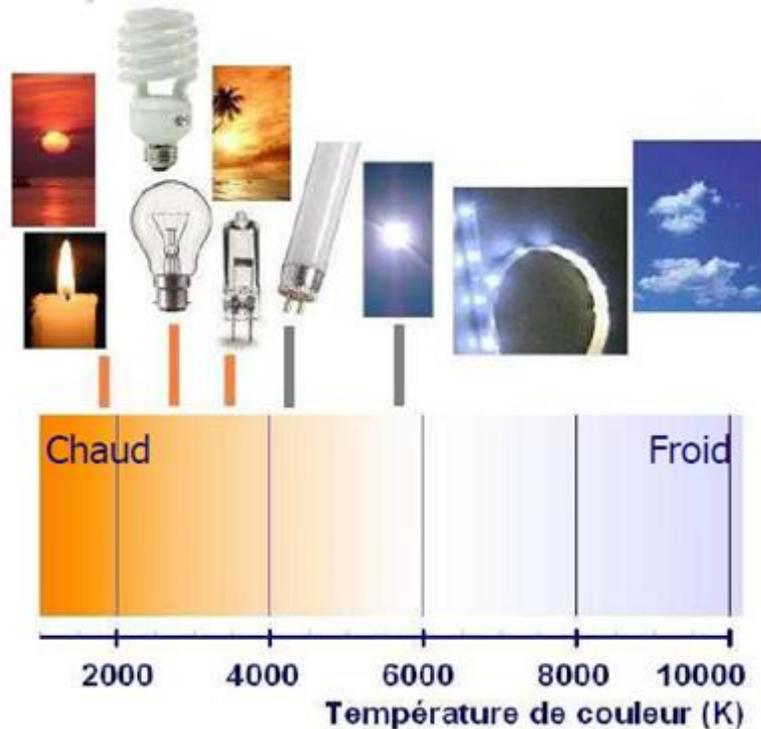
Température de  
couleur basse



Ambiance  
froide

Température de  
couleur élevée

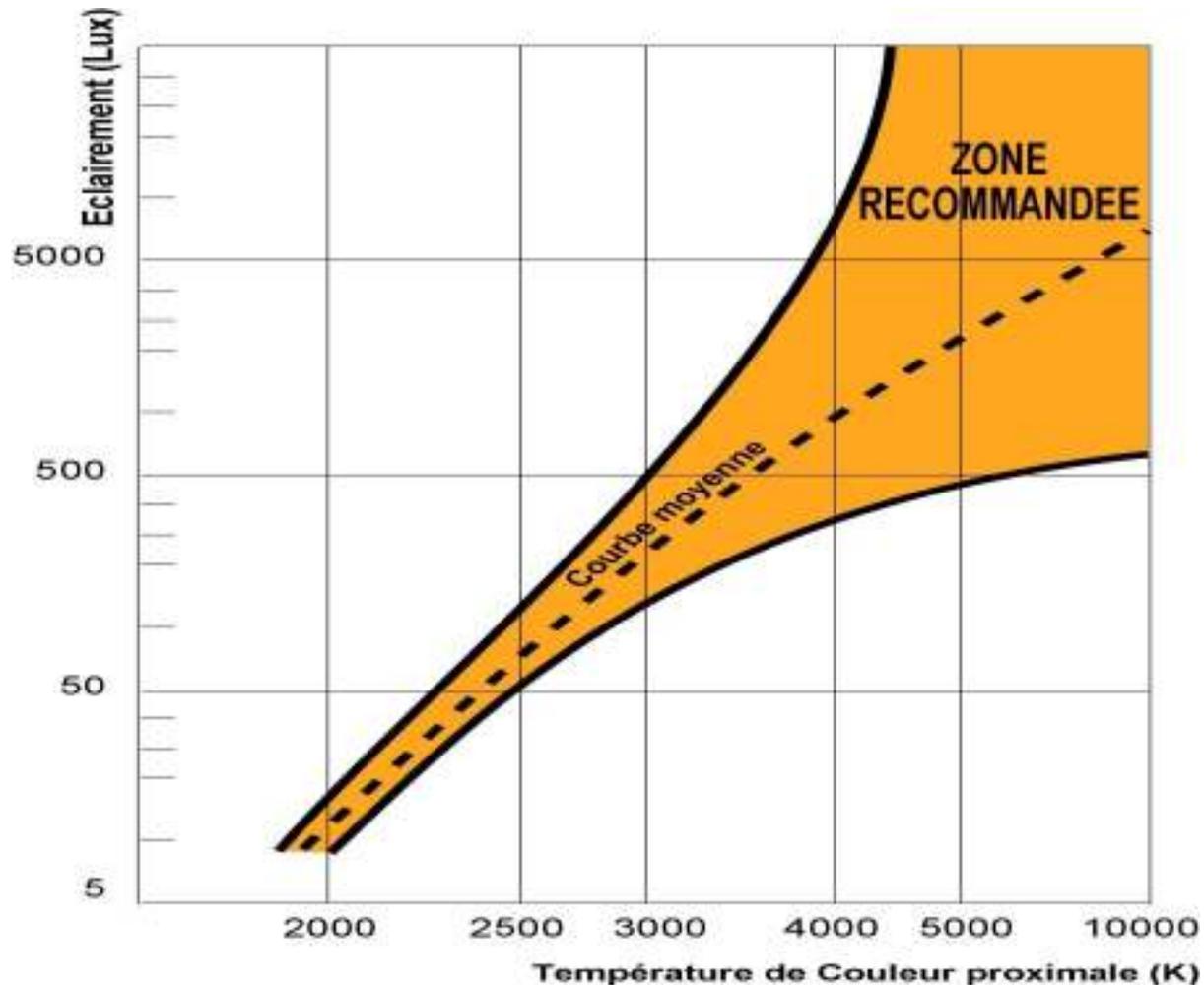
# Température de couleur



- 1000K - 2000K : soleil rougeoyant à l'horizon
- 1800K - 1900K : Bougie
- 2700K : Ampoules à incandescence
- 2800K - 3000K : Ampoules halogène 230V
- 2800K - 3400K : Ampoules halogène basse tension
- 4300K : tube fluo "blanc industriel"
- 5600K : soleil à midi
- 6000K - 10000K : LED blanc froid
- 10000K et plus : ciel bleu

**La température de couleur permet de caractériser différentes nuances de blanc (nuances chaudes ou froides) en faisant référence au rayonnement émis par un corps noir chauffé**

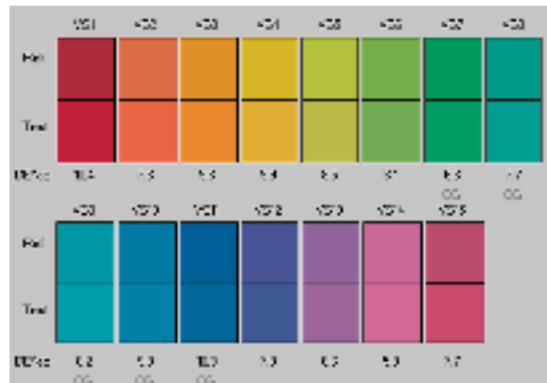
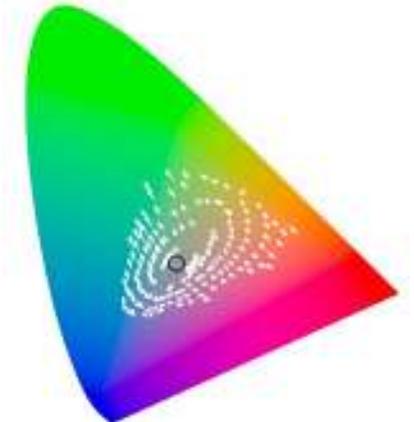
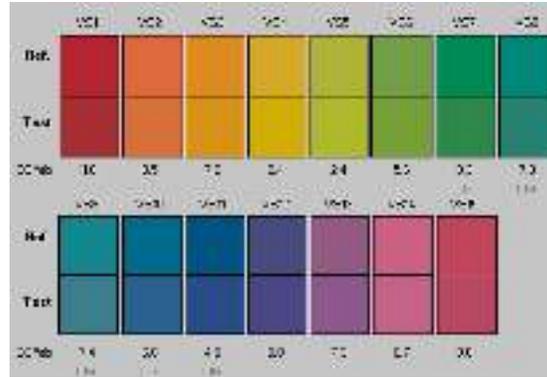
# Eclairage et température de couleur



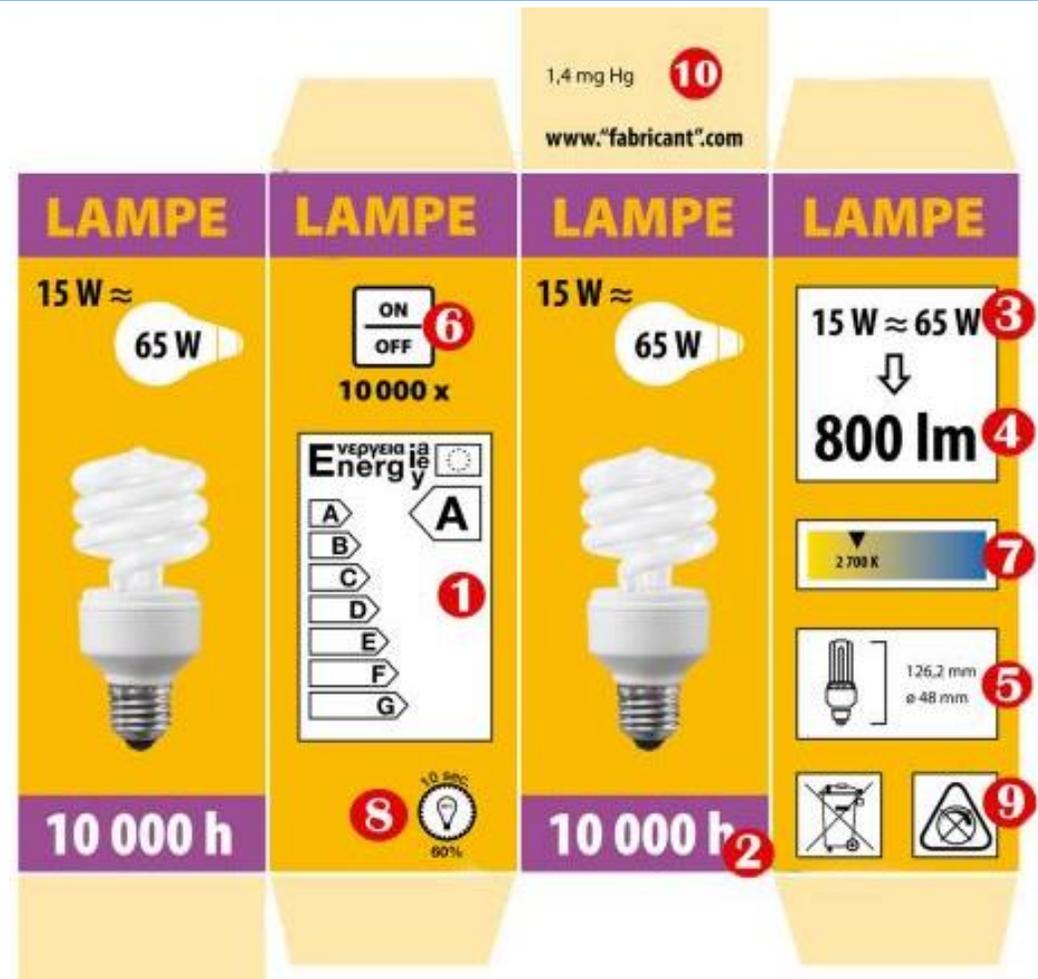
# Indice de rendu des couleurs



# Indice de rendu des couleurs



1. Classe énergie
2. Durée de vie
3. Equivalence avec l'incandescence
4. Flux lumineux
5. Dimensions
6. Nb. de cycles allumage/extinction
7. Température de couleur
8. Durée d'allumage
9. Gradation possible ?
10. Contenu en mercure



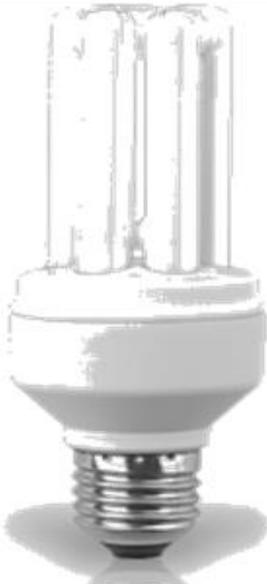
## Quelle équivalence des lampes ? (flux lumineux égaux)

Puissance - W		
Incandescent Classe E	Halogène - Classe C	Fluorescent Classe A
25	18	5
40	28	8
60	42	11
75	52	14
85	-	17
<b>100</b>	<b>70</b>	<b>21</b>
120	-	24
150	105	30





30% d'économie d'énergie comparé à l'incandescent



Jusqu'à 80% d'économie d'énergie comparé à l'incandescent

# Recyclage des sources lumineuses

- Sources lumineuses signalées (toutes, sauf ampoules à filament)
- Teneur en mercure : quelques mg par lampe
- Quantité inférieure à celle d'une pile de montre
- Recyclage obligatoire !
- Récyclum Collecte et recycle les lampes des particuliers et des professionnels



**recylum**  
régénère le luminaire

L'Éco-organisme agréé pour la collecte et le recyclage des lampes usagées

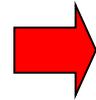
N°Azur 0910 001 777

Récyclum    La filière    Les lampes concernées    Que faire de vos lampes usagées ?    Contacts

Type de Lampe	Gamme de Puissances (W)	Efficacité Lumineuse (lm/W)	Durée de Vie (heures)	Température de Couleur (Kelvins)	Rendu de Couleurs	Temps de Mise en Régime (mn)	Raïonnage Immédiat après Extinction	Résistance aux Chocs et Intempéries	Appareillage d'Alimentation
Incandescence Ordinaire	15 à 500	10 à 20	1000	2600	Très bon 100	0	oui		
Incandescence aux Halogènes	40 à 2000	20 à 25	1500 à 5000	2900 à 3200	Très bon 100	0	oui		
Tubes Fluorescents	6 à 65	50 à 100	6000 à 10000	2700 à 6500	60 à 98	0 à 1	oui		oui
Lampes Fluorescentes Compactes	5 à 57	50 à 90	10000 à 15000	2700 à 6500	85	0 à 1	oui		oui
Vapeur de Sodium BP	35 à 180	130 à 200	12000 à 24000		Inexistant	10	non		oui
Vapeur de Sodium HP	50 à 1000	60 à 150	>12000	2000 à 2500	20 à 65	5	non	Bonne	oui
Vapeur de Mercure HP	50 à 1000	36 à 60	8000 à 12000	3300 à 4300	50 à 70	5	non	Bonne	oui
Ballon Fluorescent	50 à 1000	11 à 36	8000 à 12000	3500 à 4300	Mauvais 50	3 à 5	non	Bonne	oui
Lumière Mixte	100 à 500	11 à 36	6000	3500 à 3800	Moyen 60	0	oui	Bonne	
Halogénures Métalliques	35 à 250	50 à 100	4000 à 10000	3000 à 4200	80 à 93	2 à 5	non	Bonne	oui
Lampe à induction	35 à 165	70	60000	2700 à 4000	85	0 à 1	oui	Bonne	oui
Led	> 1	20 à 60	40000 à 100000	3100 à 4200	70 à 85	0	oui		

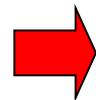


**Indirect**

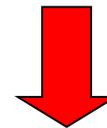


Rendement  $\leq 50 \%$

**Direct haut rendement**



Rendement  $> 90 \%$



**Rendement + 80 %**



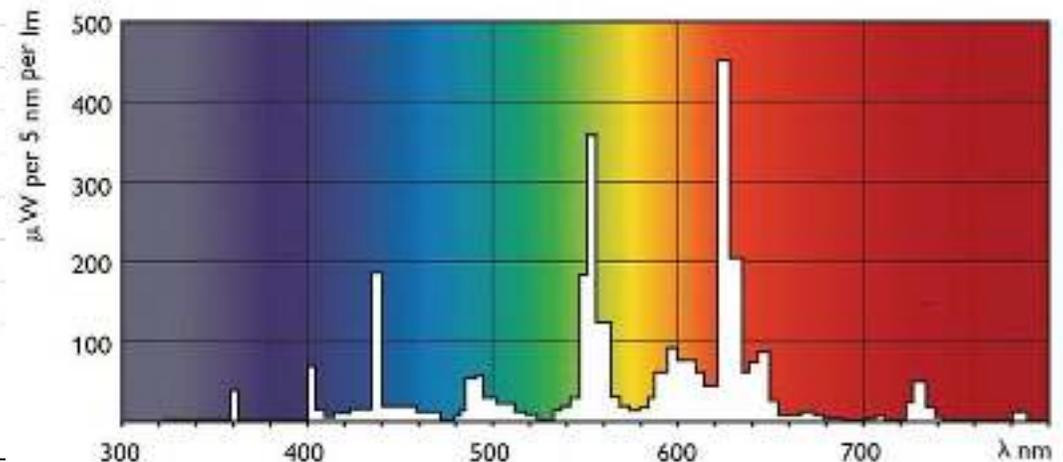
# Liens Fabricants Lampes/Luminaires

- [www.philips.fr](http://www.philips.fr)
- [www.thornlighting.fr](http://www.thornlighting.fr)
- [www.sylvania-lamps.com](http://www.sylvania-lamps.com)
- [www.osram.fr](http://www.osram.fr)
- [www.ereco.fr](http://www.ereco.fr)
- [www.disano.fr](http://www.disano.fr)
- [www.zumtobel.fr](http://www.zumtobel.fr)
- [www.artemide.com](http://www.artemide.com)
- [www.deltalight.com](http://www.deltalight.com)

## Light Technical Characteristics

Color Code	830 [CCT of 3000K]
Color Rendering Index	85 Ra8
Color Designation (text)	Warm White
Color Temperature	3000 K
Chromaticity Coordinate X'	438 -
Chromaticity Coordinate Y'	403 -
Luminous Flux Lamp EL 25°C	1200 Lm
Luminous Efficacy EL Top, 35°C	99 Lm/W
Luminous Flux Lamp EL 35°C	1350 Lm
Lum Efficacy Rated HF 35°C	99 Lm/W
LLMF HF 20000h Rated	88 %
LLMF HF 16000h Rated	90 %
LLMF HF 12000h Rated	91 %
LLMF HF 8000h Rated	93 %
LLMF HF 6000h Rated	94 %
LLMF HF 4000h Rated	95 %
LLMF HF 2000h Rated	96 %
Design Temperature	35 C

- Code couleur des tubes fluorescents: XYZ
- X premier chiffre rendu des couleurs : 8 (85)
- YZ deux premiers chiffres T couleur : 30 (3000)



## ■ Photomètres

- Mesure globale d'une grandeur photométrique
- Correction de la sensibilité spectrale du photodétecteur par ajout de filtres

- Luxmètre

- Mesure d'éclairement
- Mesure de l'intensité par loi de Bouguer



- Luminancemètre

- Mesure de la luminance (convient à l'étalonnage des écrans)
- Vidéoluminancemètre (photolux)

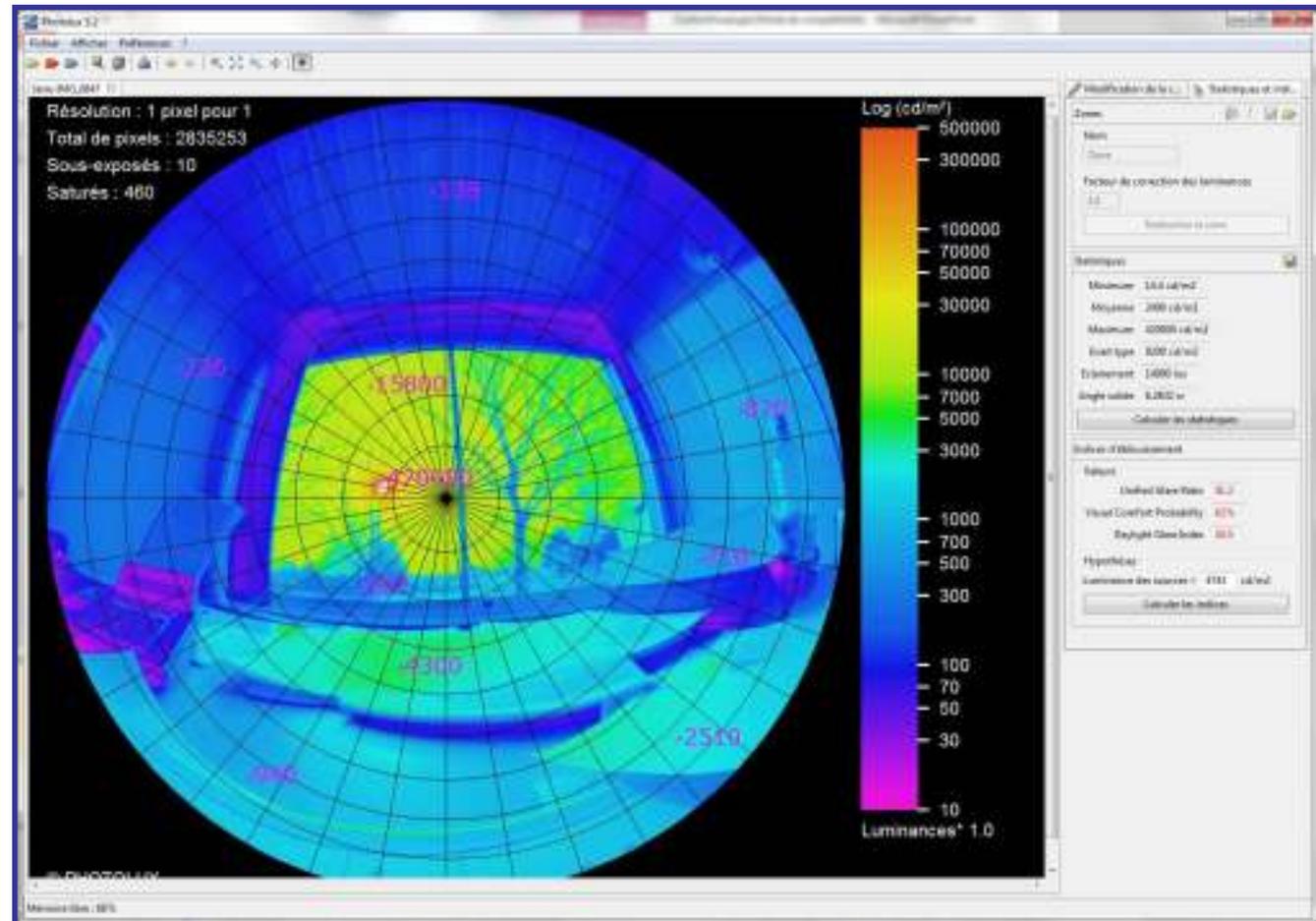
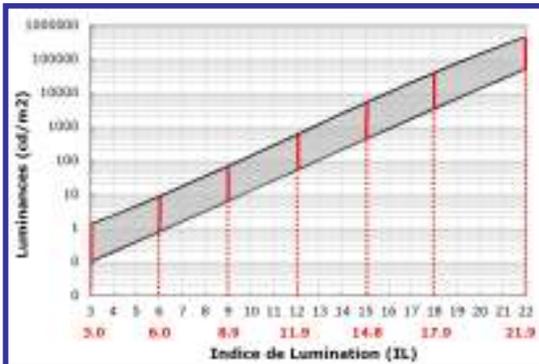
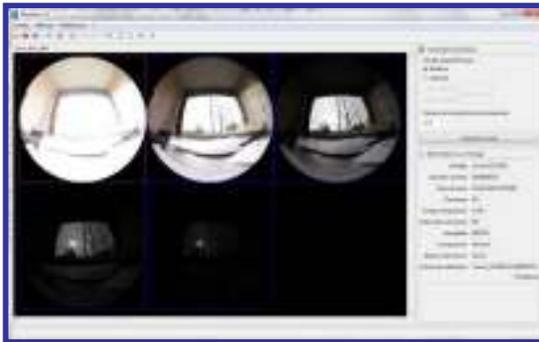


## ■ Spectrophotomètres

- Monochromateur + détecteur à réponse linéaire
- Densité spectrale d'une grandeur radiométrique
- Calibration à l'aide d'une source étalon
- Pour les matériaux: mesure en comparaison avec un matériau de référence
- Géométries utilisées:  $0^\circ$  / diffus, diffus /  $0^\circ$  ,  $0^\circ$  /  $45^\circ$  ,  $45^\circ$  /  $0^\circ$



## ■ Photolux



# Il y a aussi une App pour cela !

- Pour iOS (Apple) et Android (Google)

