



# ENPC-GCC Ambiances lumineuses

Module 2

Céline Villa

IFSTTAR - LEPSIS



# Au sommaire du cours

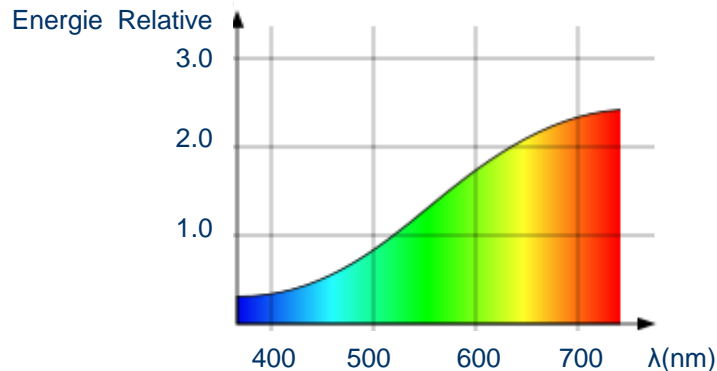
- I. Les sources de lumière
- II. Le confort visuel
- III. Dimensionnement éclairage artificiel
- IV. Lumière et rythmes biologiques

# I. Les sources de lumière

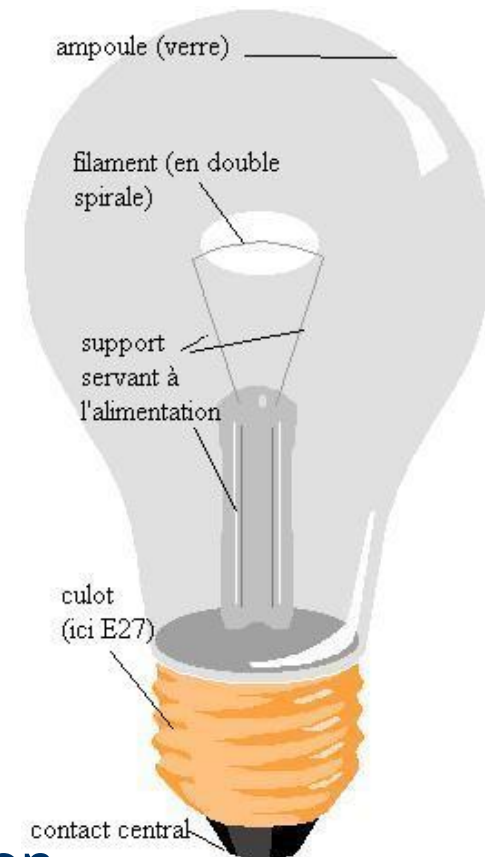
1. Lampes à incandescence
2. Lampes à décharge
3. Diodes électroluminescentes
4. Grandeurs caractéristiques

# I.1 Lampes à incandescence - 1881

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

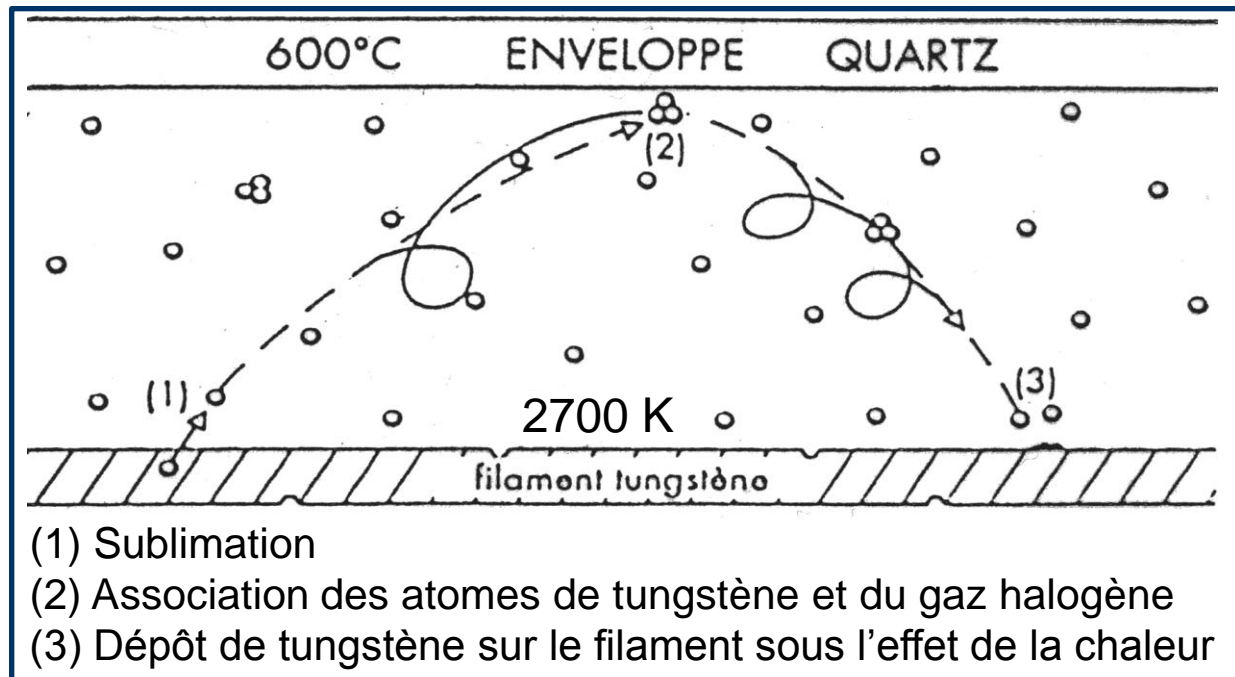


- Ampoule de verre
- Un gaz inerte le Krypton évite l'oxydation de l'air et ralentit la sublimation du filament



# 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)



# Incandescence aux halogènes



12V sans réflecteur



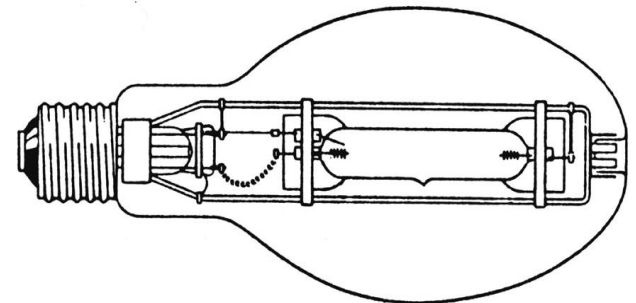
12V avec réflecteur:  
angle du faisceau (10° à 60°)



220V

## I.2 Lampes à décharge

- Ampoule remplie de gaz ou vapeur métallique
- Décharge électrique entre 2 électrodes  
=> déplacement d'électrons
- Collision avec les atomes de gaz ou vapeur
- Production par électro-rayonnement
  - Énergie sous forme de rayonnement lumineux
  - Ou UV invisible + couche fluorescente  
=> Rayonnement visible
- Temps de chauffe



# Appareillage électrique

- Le Starter déclenche la décharge
- Le Ballast la maintient:
  - Ballast ferromagnétique
    - Consommation énergétique  
15 à 20% de la puissance du tube
  - Ballast électronique
    - Consommation divisée par 2
    - Flux plus élevé et durée de vie + longue
    - Possibilité de gradation de 1% à 100% du flux

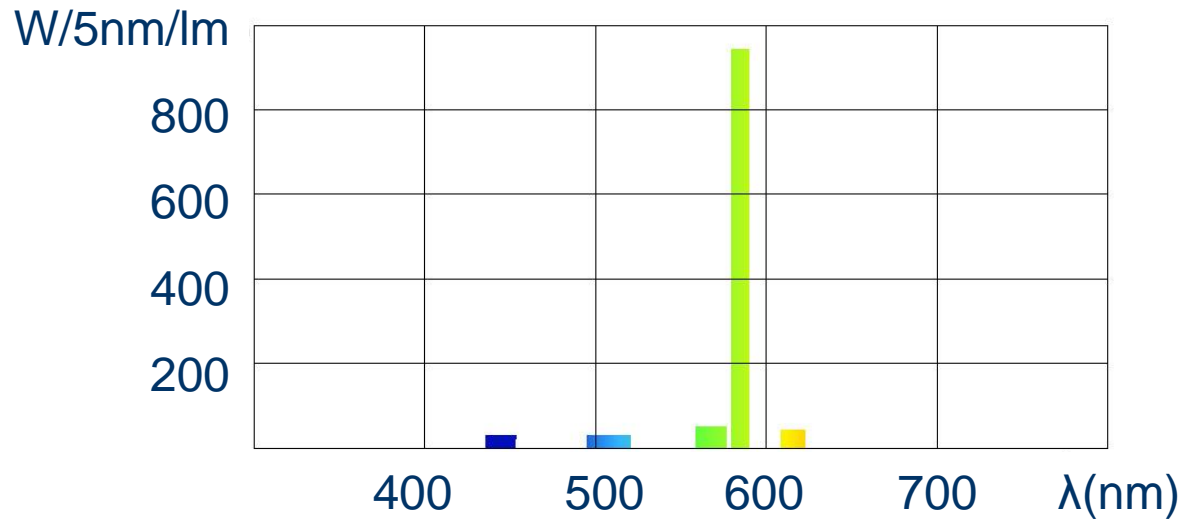




# Sodium Basse Pression - 1932



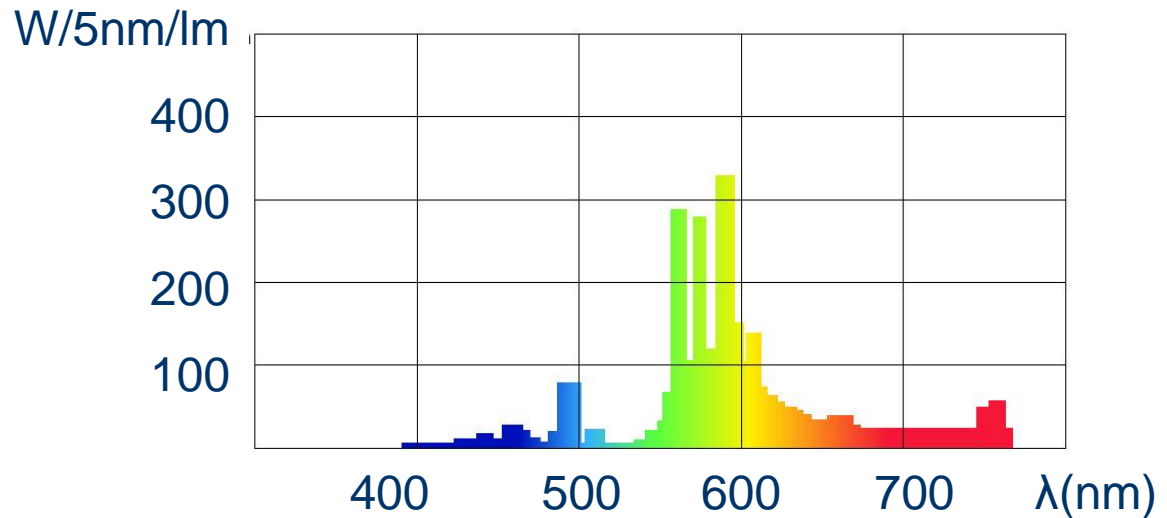
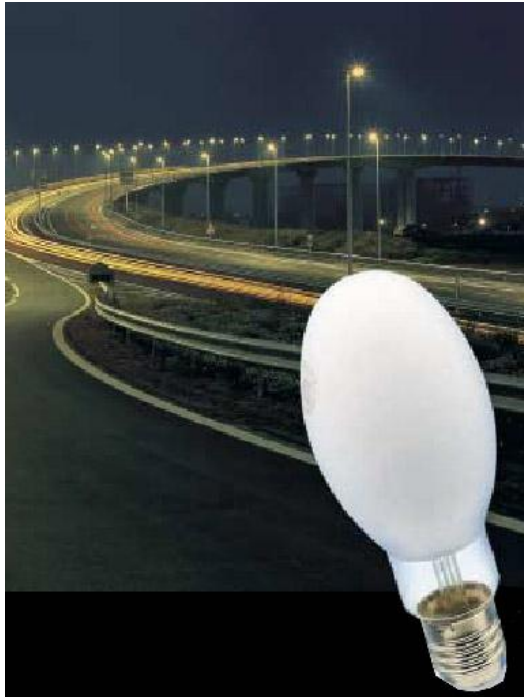
Emission en majorité visible  
Lumière couleur jaune vert orange



Tunnels  
Eclairage public  
IRC Inexistant

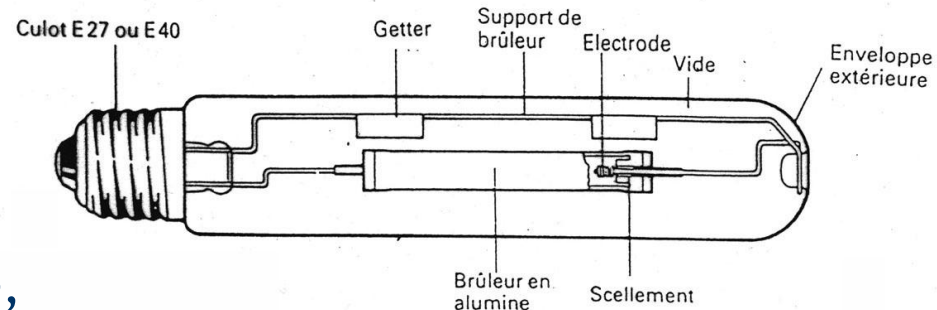


# Sodium Haute Pression - 1969



Lumière blanche à reflets jaunes orangés

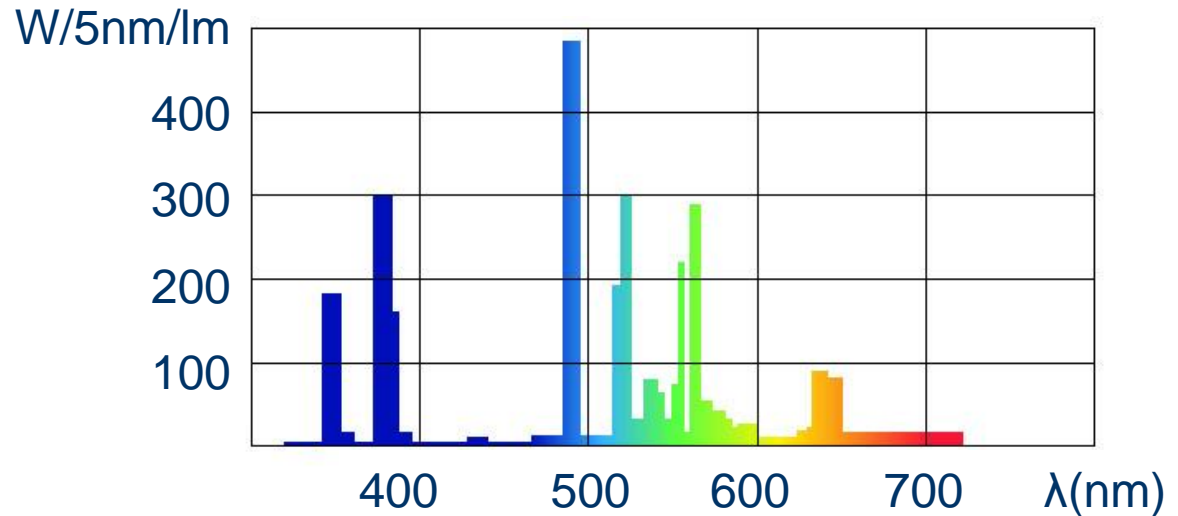
- Halls industriels, complexes sportifs, éclairage public, tunnels, zones portuaires
- > 12000h, Faible maintenance, IRC 80



# Vapeur de mercure - 1932



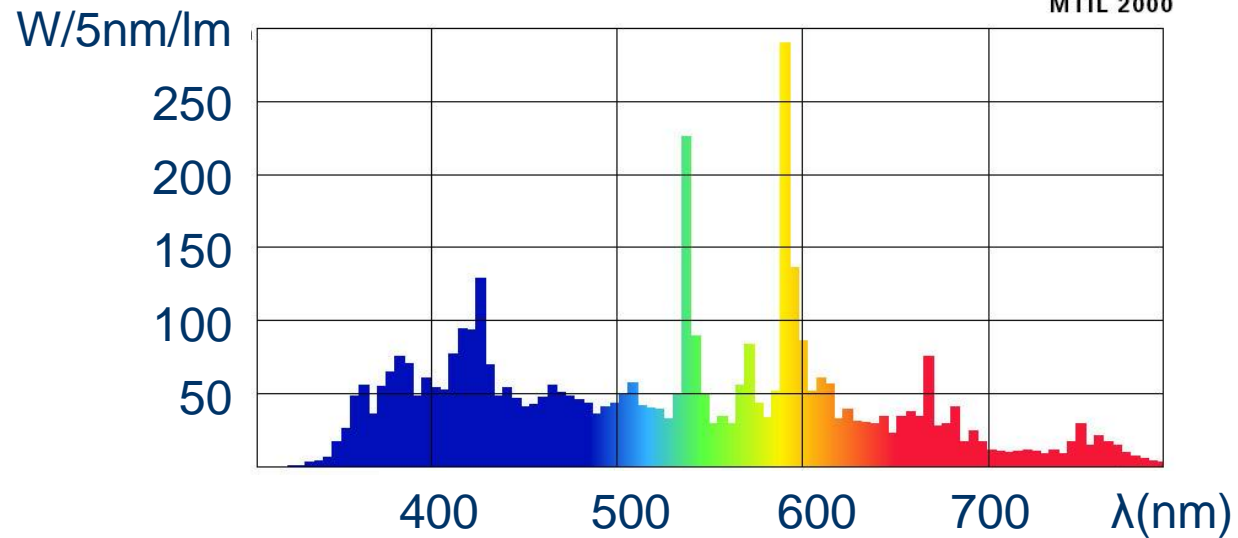
- Eclairage public
- 50 à 1000 W
- 8000 à 12000 h



Lumière couleur blanche à reflets bleutés  
UV + phosphore => Autres spectres visibles

Ballon fluorescent à vapeur de mercure

# Halogénures métalliques - 1961

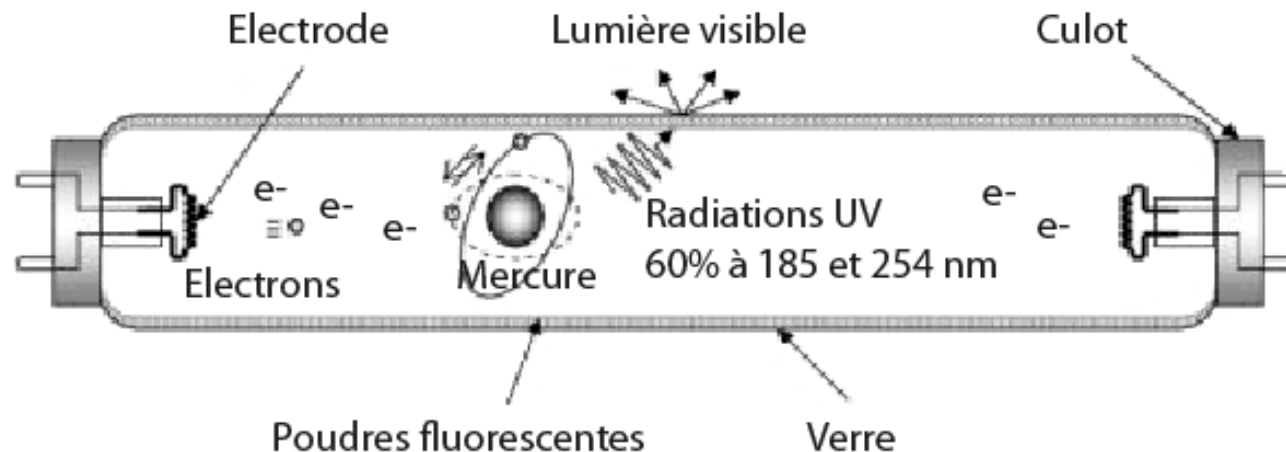


Lumière couleur blanche, reflets bleutés ou orangés  
(Iodures métalliques/Metal Halid lamp)

- Halls d'expositions, Stockage, Bâtiments tertiaires
- Stades, Eclairage public, Jardins
- Façades
- 95 lm/W, IRC 80-85, 10 000 h

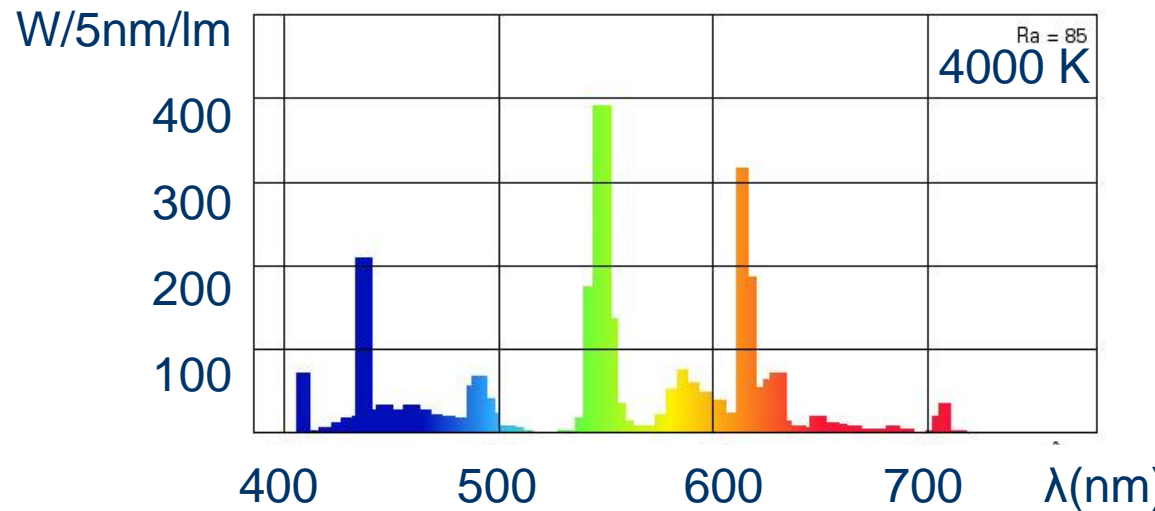
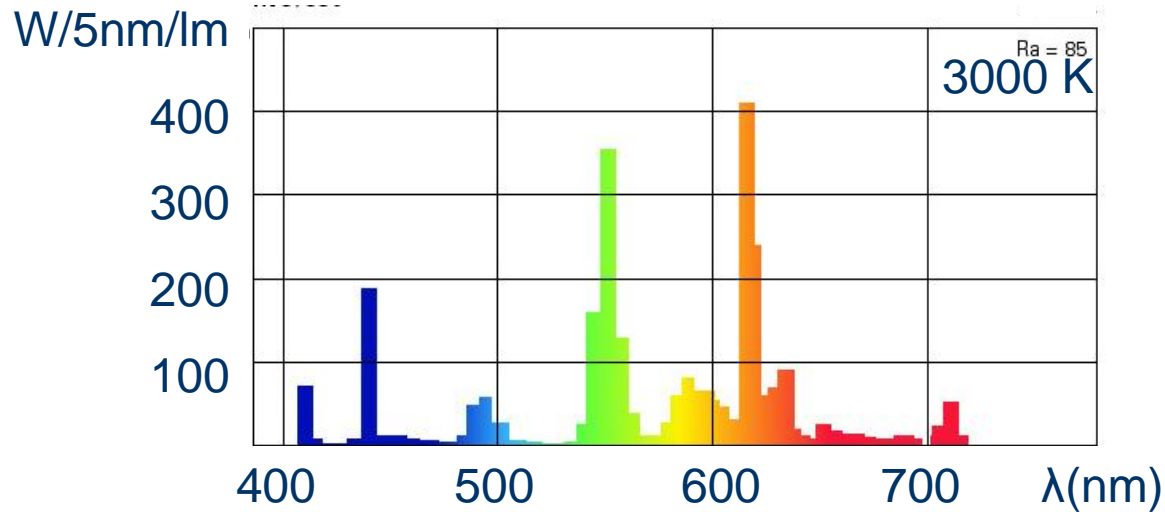
# Tubes Fluorescents - 1936

- Lampe à décharge BP
- Argon + vapeur de mercure BP
- Emission UV
- Poudres fluorescentes
- Excitées par l'UV, émettent dans le visible



# Tubes Fluorescents

- Diamètres
  - 38 mm (T12)
  - 26 mm (T8)
  - 16 mm (T5)
- Longueurs
  - 0m60 (18W)
  - 1m20 (36 W)
  - 1m50 (58 W)

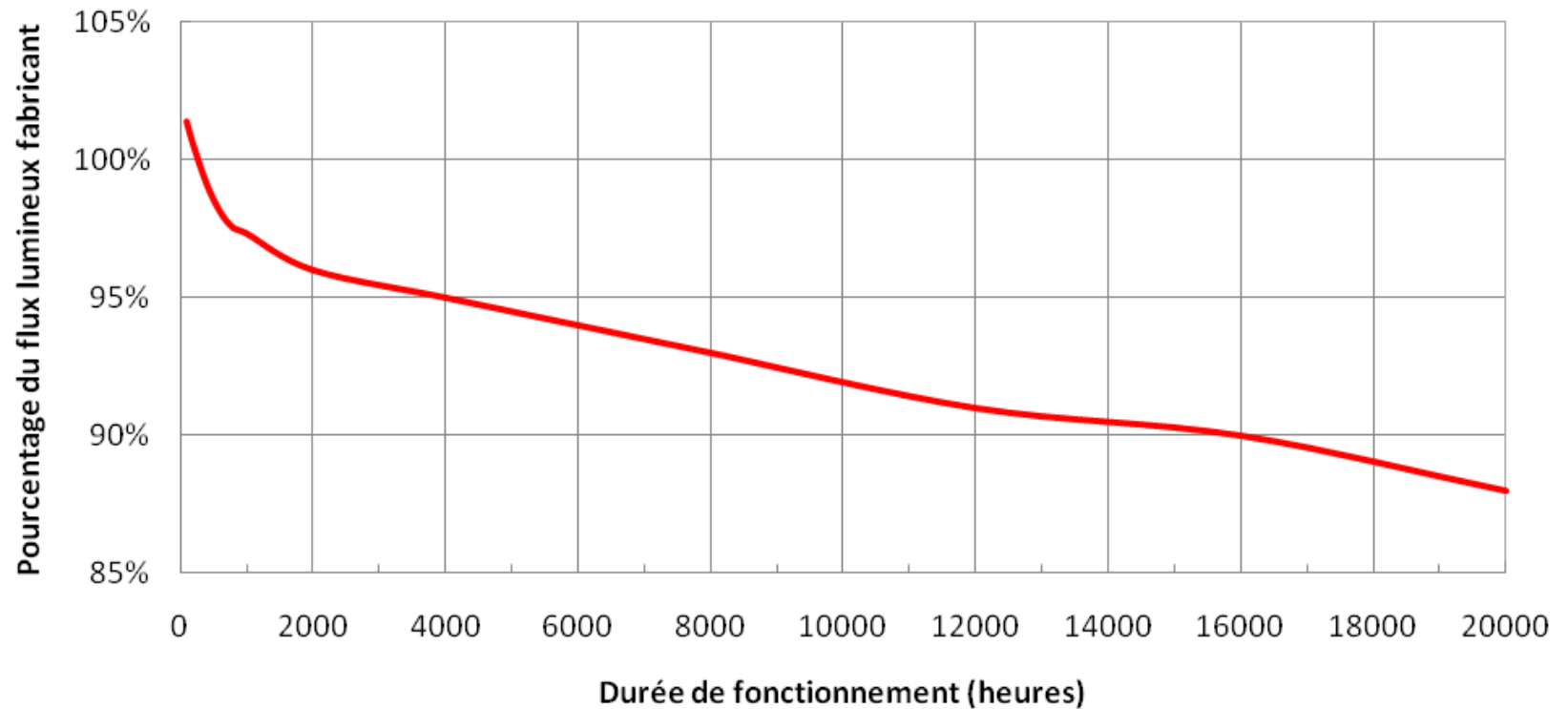


# Lampes fluorescentes compactes - 1980

- Alimentation incorporée
- Alimentation séparée



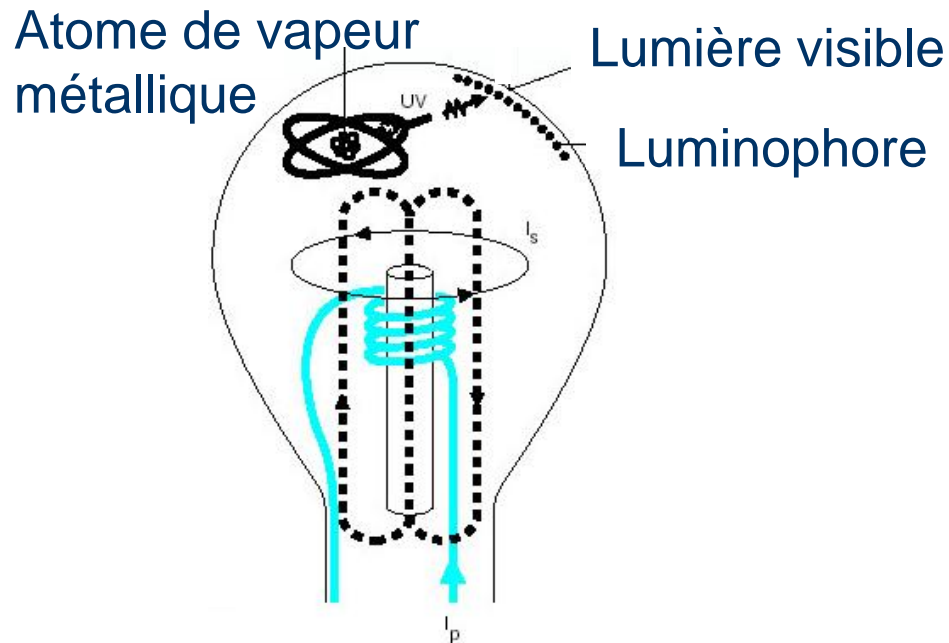
# Variations du flux lumineux dans le temps





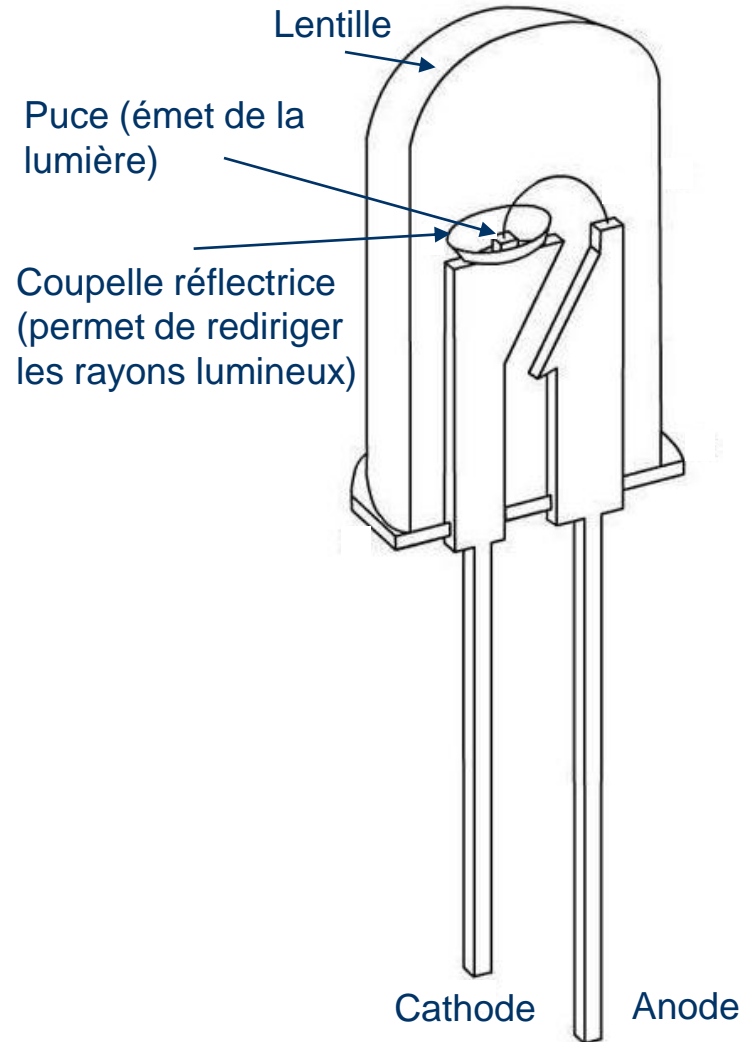
# Lampe à induction

- Lumière produite par ionisation des atomes de gaz présents dans l'ampoule.
- 60000 h, HF 60lm/W, BF 80 lm/W





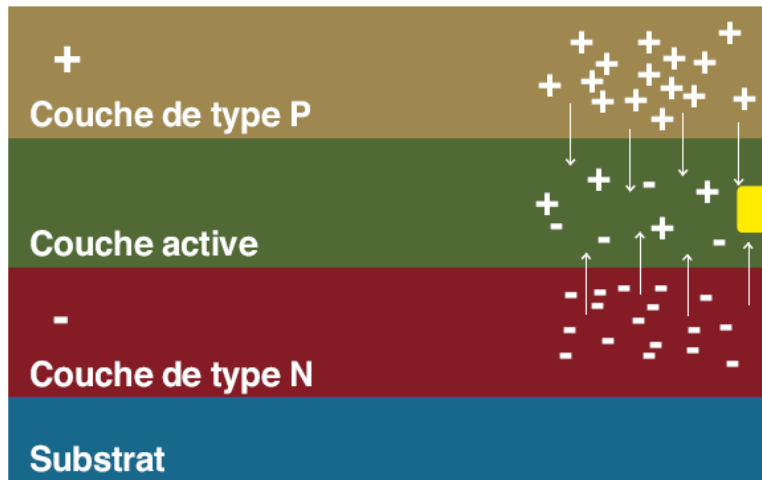
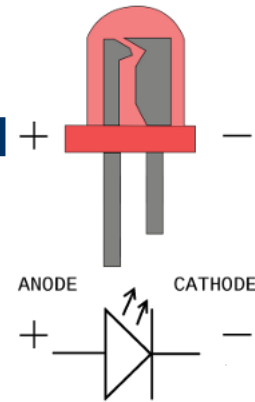
# 3. Diodes électroluminescentes - 1962





# 3. Diodes électroluminescentes - 1962

- Composants électroniques semi-conducteur (*Indium, Gallium, Nitride, Phosphide, Aluminum*)
- Emet de la lumière quand il est parcouru par un courant électrique
- Effet électroluminescent (Jonction PN)

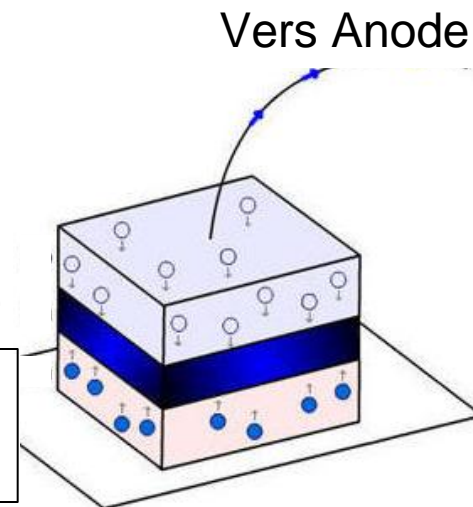


Couche de type P :  
Elle possède un excès de trous  
(soit un déficit d'électrons).

Photons

Couche de type N :  
Elle possède un excès d'électrons.

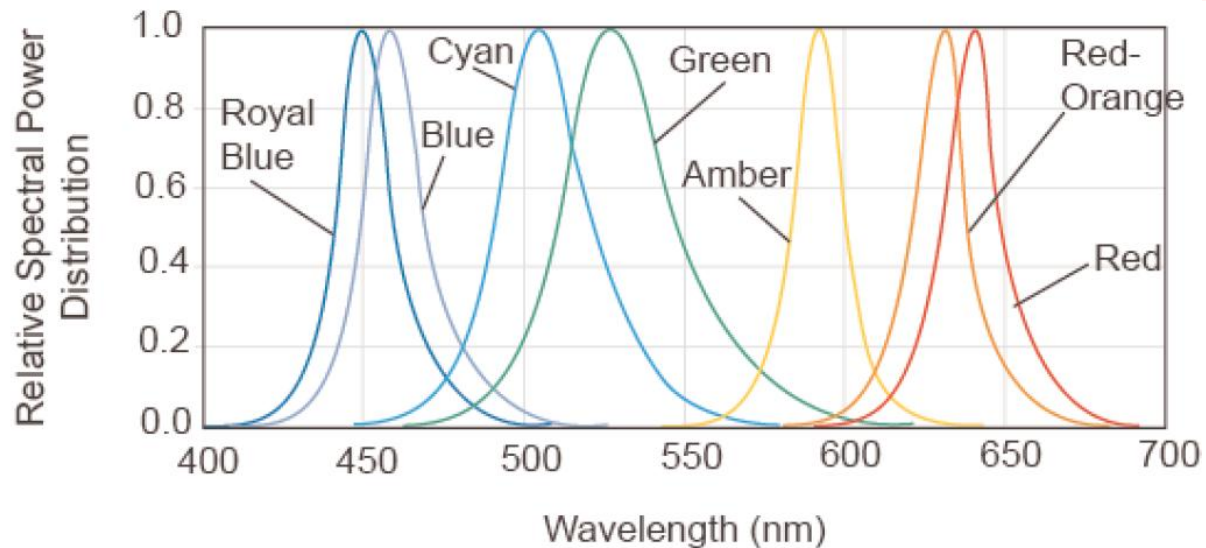
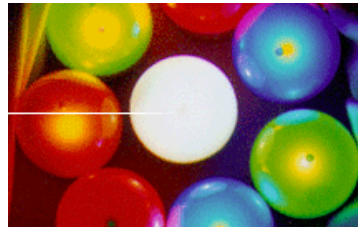
- Électrons
- Trous



# Diodes électroluminescentes

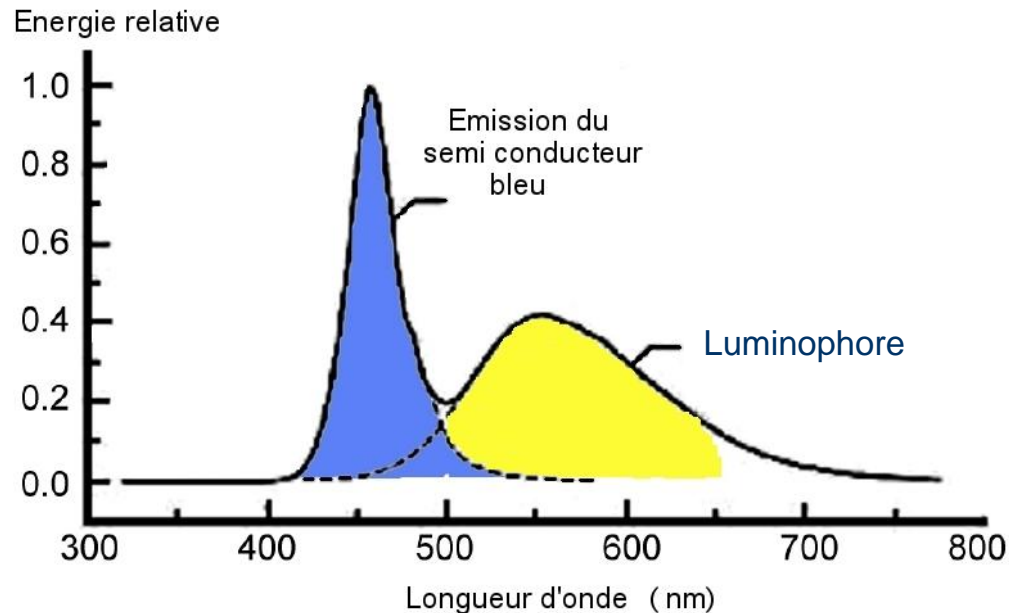
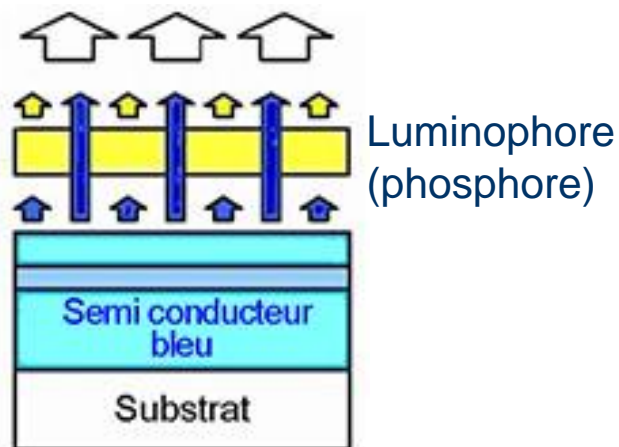
- Sources monochromatiques

- Rouge
- Ambre
- Vert
- Bleu...



# Diodes électroluminescentes

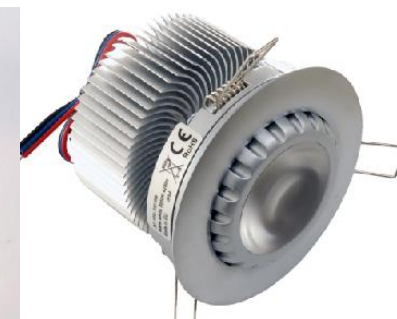
- Lumière blanche
  - Combinaison Leds RVB + autres
  - Led Royal Bleue + Poudres fluorescentes



# Composants d'un système à LED



LED(s) + électronique d'alimentation



Radiateurs

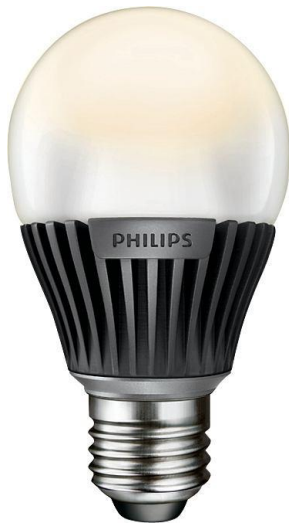


Optique



# Diodes électroluminescentes

- Remplacement progressif des autres sources



Incandescentes à bulbe



Spots



Tubes fluorescents

# Diodes électroluminescentes

- **Avantages:**

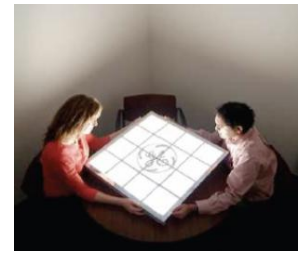
Forte luminance, Bonnes couleurs saturées, Petites dimensions et faible poids, Robustesse, Longue durée de vie, Faible tension d'alimentation, Faciles à piloter. Efficacité lumineuse d'une LED élevée (220lm/W), mais 40-80 lm/W pour une lampe à LEDs (chaleur)

- **Limites**

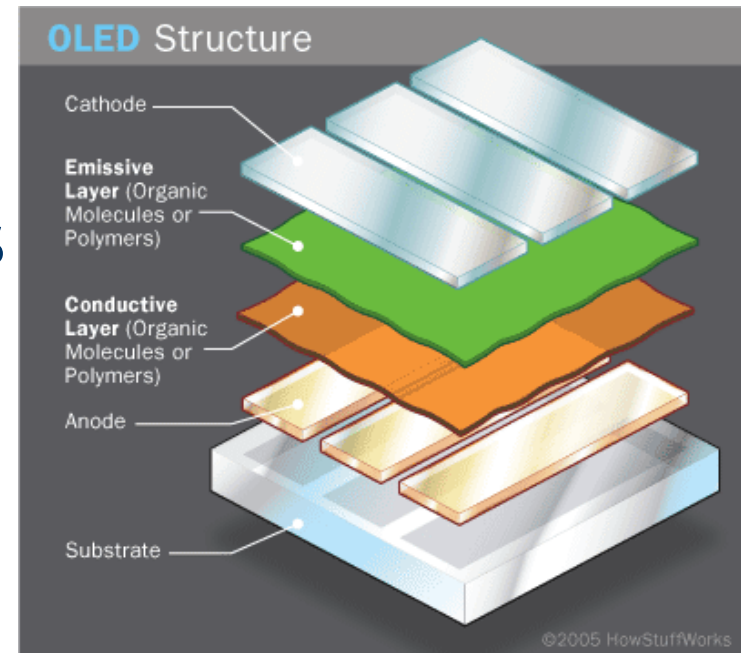
- Davantage adapté à l'éclairage intérieur (Surchauffe)
  - Qualité et efficacité inégales entre les fabricants de Leds
  - Flux lumineux limité (en 2010 ADEME Incandescence de 40W) et concentré
  - Manque de méthode (performances énergétiques et visuelles)
  - Forte luminance => Eblouissement
  - Impact sanitaire des LEDs (spectre bleu de forte intensité, danger pour la rétine)
- ⇒ Qualité et performances à améliorer
- ⇒ Connaissances à améliorer



# Diodes organiques OLEDs



- Organique = contient du carbone
- Electroluminescence avec Structure organique
  - Superposition de plusieurs couches semi-conductrices organiques entre deux électrodes dont l'une est transparente.
- Flexible, pliable
- Faible poids & dimensions
- Durée de vie limitée (14000 h)
- Sensible à l'humidité



## I.4 Grandeurs caractéristiques des lampes

- Puissance (W)
- Efficacité lumineuse (lm/W)  
*Flux lumineux divisé par la puissance consommée*
- Durée de vie (x1000 heures)
- 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 comparée à une source de référence*
- Temps de chauffe ou de mise en régime

# Comparaison des températures de couleur

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

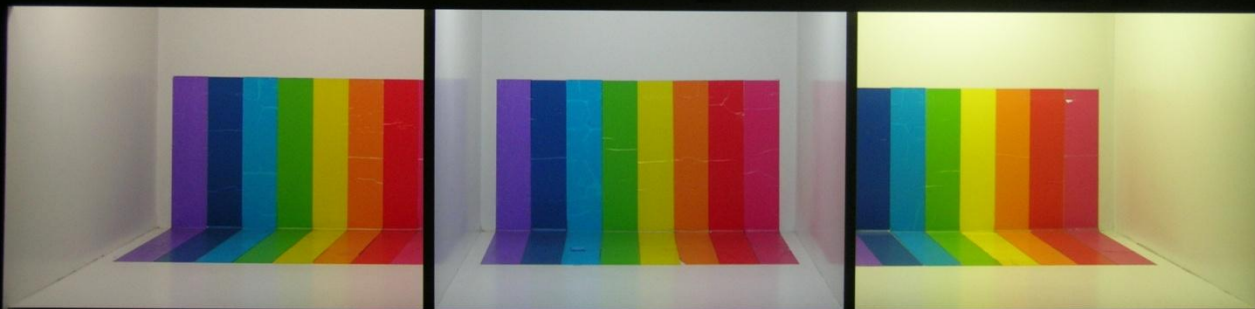
Fluo. 3800 K



Fluo. 5000 K

Fluo. 6300 K

Fluo. Industrie

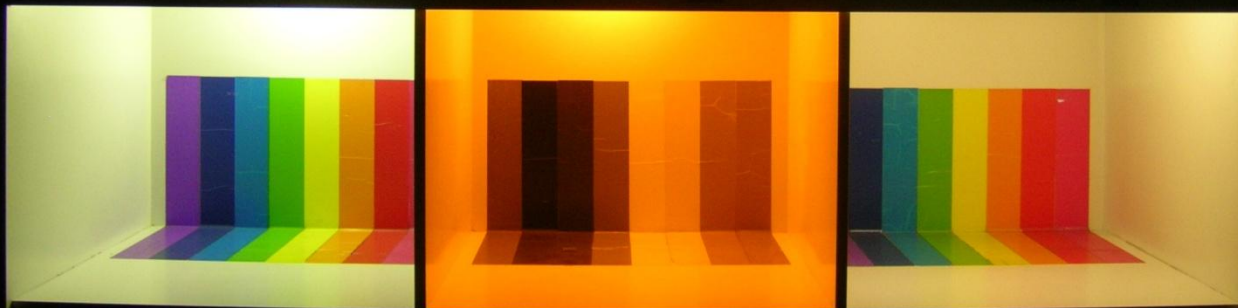


# Comparaison indice de rendu des couleurs

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

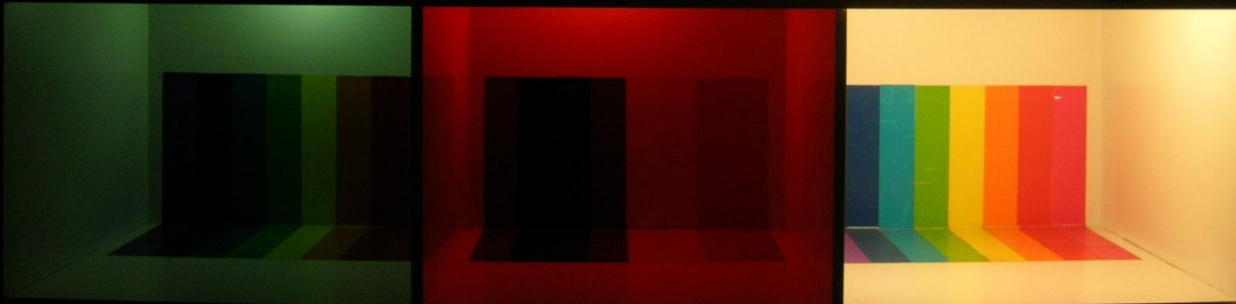
# Temps de chauffe des lampes à décharge

t = 0 mn

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

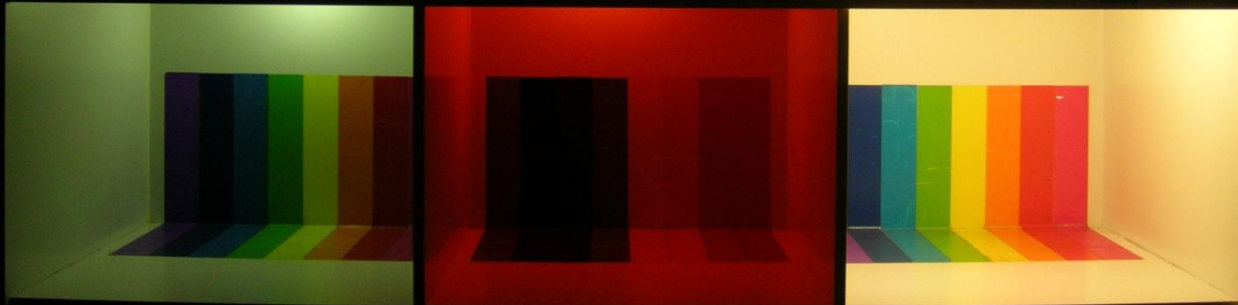
# Temps de chauffe des lampes à décharge

t = 0 mn 30 s

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte



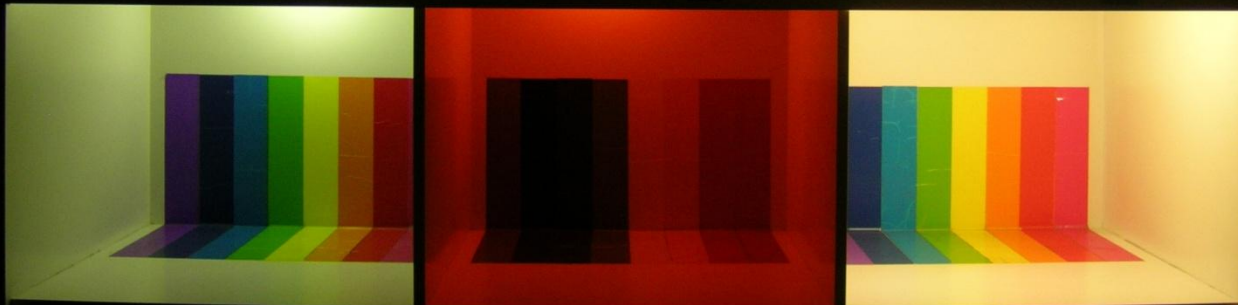
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 1 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

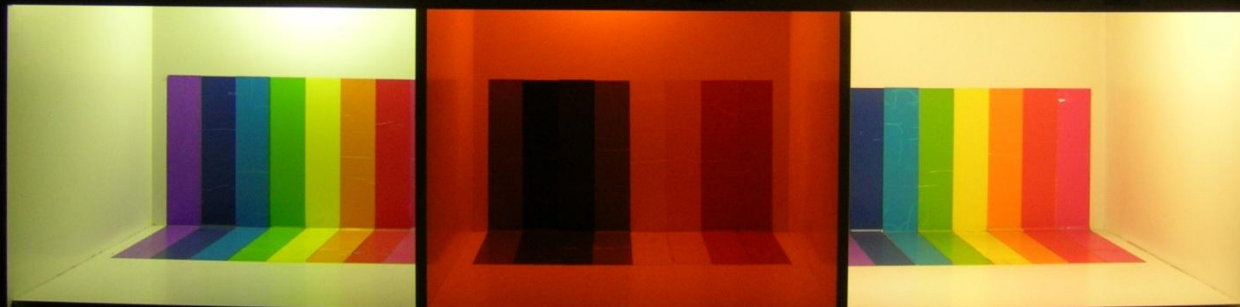
# Temps de chauffe des lampes à décharge

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

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte



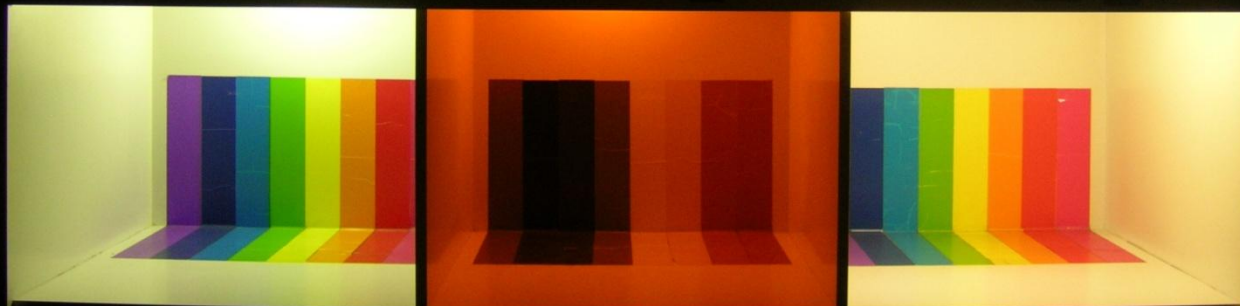
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 2 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

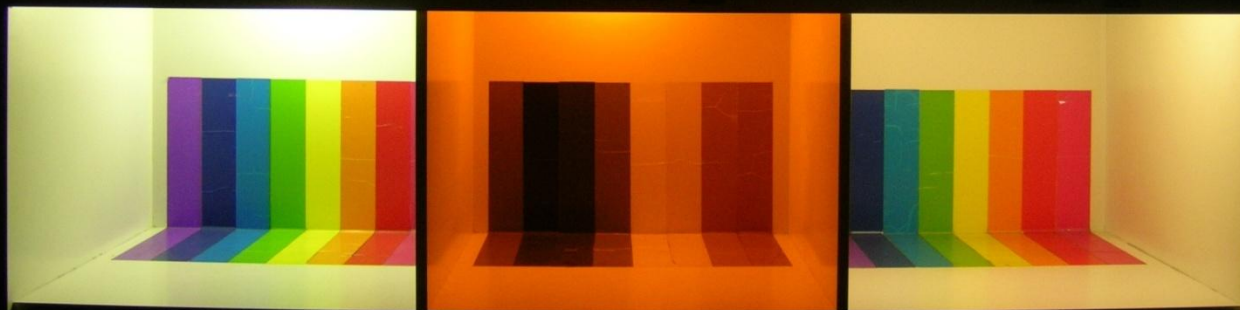
# Temps de chauffe des lampes à décharge

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

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

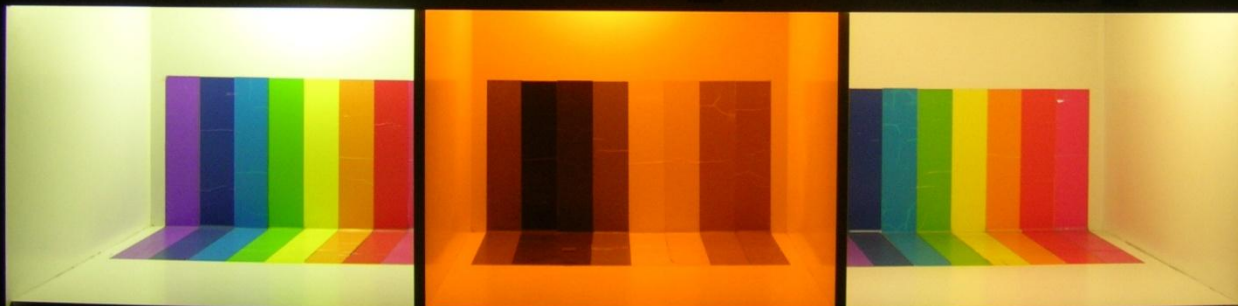
# Temps de chauffe des lampes à décharge

$t = 3 \text{ mn}$

Inc. 2500 K

Fluo. 3000 K

Fluo. 3800 K



Vapeur Mercure

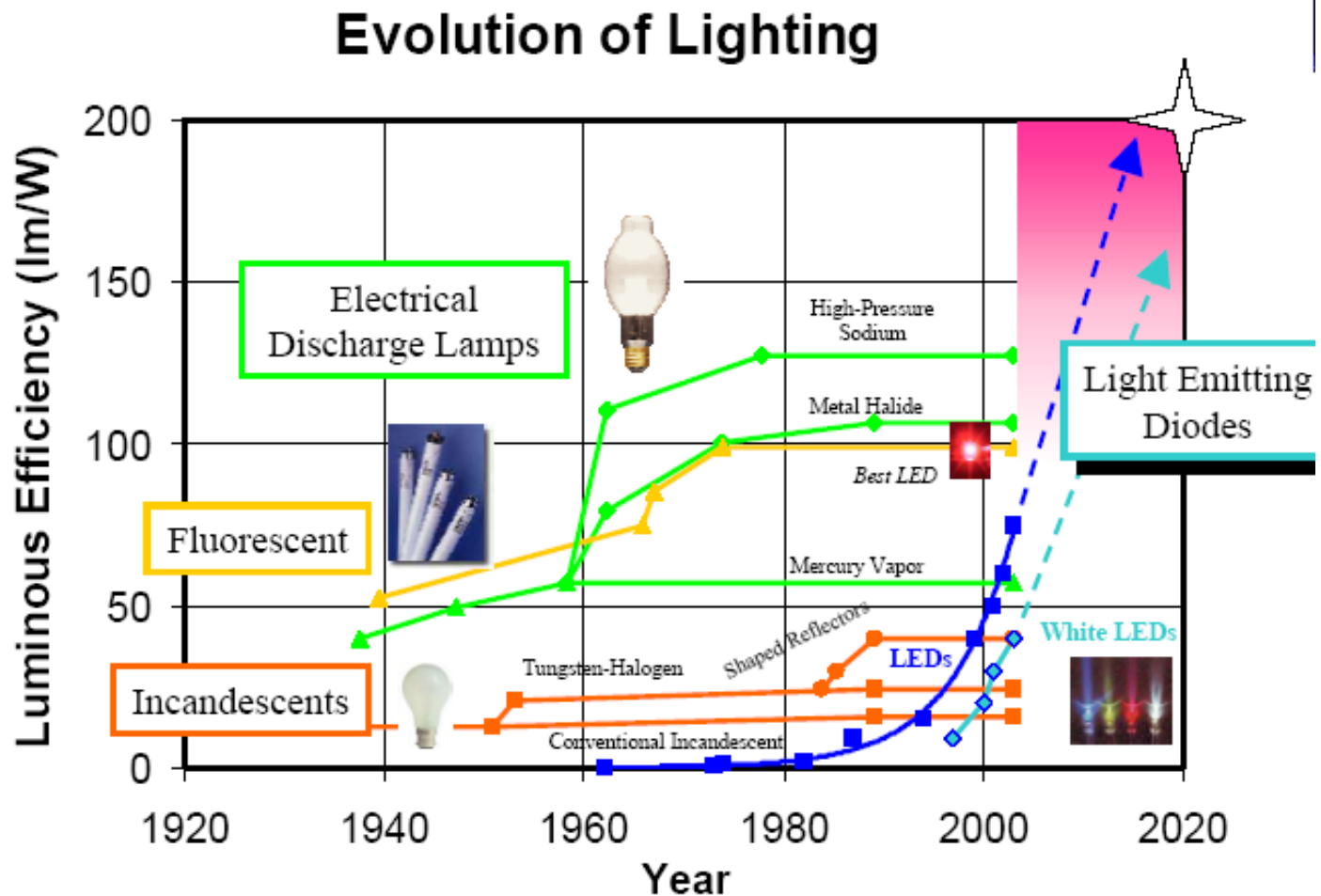
Vapeur Sodium BP

Lampe mixte

# Grandeurs caractéristiques des lampes

Type de source	Puissance (W)	Efficacité lumineuse (lm/W)	Durée de vie (heures)	Température de couleur (Kelvins)	Rendu des couleurs	Temps de mise en régime (mn)	Rallumage immédiat après extinction	Résistance aux chocs et intempéries
<b>Incandescence ordinaire</b>	15 à 500	10 à 20	1000	2700	Très bon 100	0	oui	
<b>Incandescence aux Halogènes</b>	40 à 2000	12 à 25	2000	2800 à 3000	Très bon 100	0	oui	
<b>Tubes fluorescents</b>	14 à 80	60 à 105	5000 à 19000	2700 à 6500	De 60 à 98	0 à 1	oui	
<b>Lampes Fluorescentes Compactes</b>	5 à 55	40 à 90	8000 à 15000	2700 à 6500	80 à 90	0 à 1	oui	
<b>Vapeur de Sodium BP</b>	35 à 180	130 à 180	12000 à 18000	1800	Inexistant	10	non	
<b>Vapeur de Sodium HP</b>	70 à 400 (35 à 100 blanc)	85 à 140 (35 à 50 blanc)	13000 à 16000	2000 à 2500	Moyen 65 (83 blanc)	5	non	Bonne
<b>Vapeur de Mercure HP</b>	50 à 1000	11 à 36	8000 à 12000	3500 à 4300	Mauvais 50	3 à 5	non	Bonne
<b>Halogénures Métalliques</b>	35 à 2000	80 à 105	6000 à 12000	3000 à 4600	80 à 85	2 à 5	non	Bonne
<b>Lampe à induction</b>	55 à 165	60 à 80 lm/W	60000	2700 à 4000	80	0 à 1	oui	Bonne
<b>LED</b>	<1 à 14.5	60(marché) à 220 (labo)	50000 à 100000	2700 à 6500	80-90	0	oui	Bonne

# Evolution des efficacités lumineuses



# Pas de lampes sans luminaires !

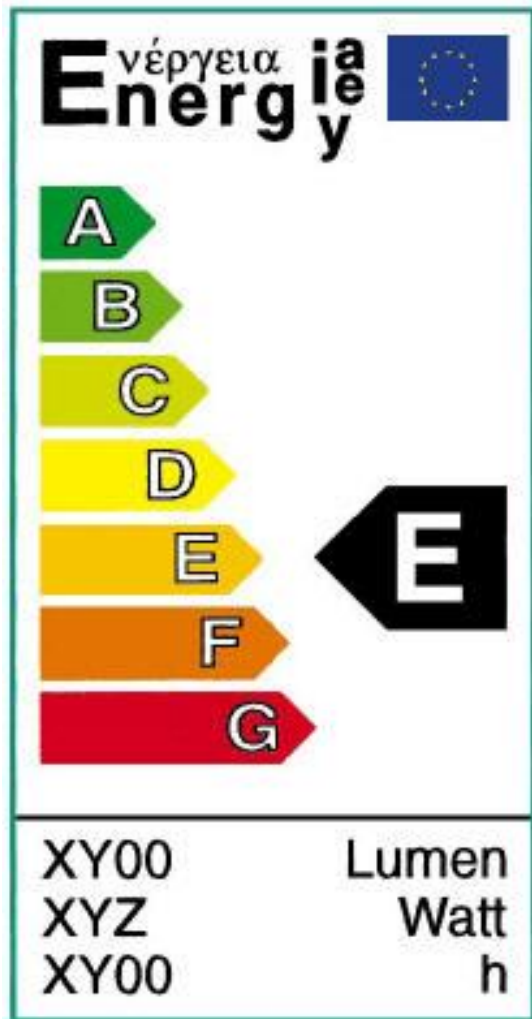
- Alimentation électrique des lampes
  - Douilles
  - Ballast et starter si nécessaire
- Protection des lampes
  - Contre les chocs, l'humidité, l'eau...
- Distribution du flux dans l'espace
  - Concentration ou dispersion
- Réduction de l'éblouissement

# 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.erco.fr](http://www.erco.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)



# Etiquette énergie d'une lampe



- Lampes > 4 W et < 6500 lm
- Tubes fluorescents : A ou B
- Lampes fluocompactes : A ou B
- Lampes à LED : A ou B
- Lampes aux halogènes : C ou D
- Lampes classiques : E ou F



# Informations données par les fabricants

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



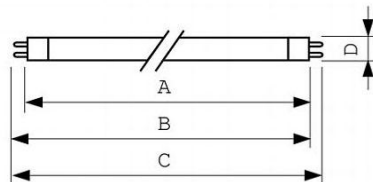
# Informations données par les fabricants

## Product Data

Code commercial	954749 55
Code produit EOC	871150095474955
<a href="#">+ Moins d'info</a>	

## General Characteristics

System Description	High Efficiency
Cap-Base	G5
Cap-Base Information	Green Plate
Bulb	T5 [16 mm]
Life to 50% fail Preheat EL,3h	24000 hr
Life to 10% fail Preheat EL,3h	19000 hr
LSF HF Preheat 20000h Rated,3h	85 %
LSF HF Preheat 12000h Rated,3h	95 %
LSF HF Preheat 8000h Rated,3h	97 %
LSF HF Preheat 6000h Rated,3h	98 %
LSF HF Preheat 4000h Rated,3h	98 %
LSF HF Preheat 2000h Rated,3h	99 %
LSF HF Preheat 16000h Rated,3h	94 %



## Electrical Characteristics

Lamp Wattage	14 W
Lamp Voltage EL 25°C	83 V
Lamp Current EL 25°C	0.170 A
Dimmable	Yes
Lamp Wattage EL 35°C	13.7 W
Lamp Current EL 35°C	0.170 A
Lamp Voltage EL 35°C	82 V
Lamp Wattage EL 25°C, Rated	14.1 W
Lamp Wattage EL 25°C, Nominal	14 W

## Environmental Characteristics

Energy Efficiency Label (EEL)	A
Mercury (Hg) Content	1.4 mg

## Product Dimensions

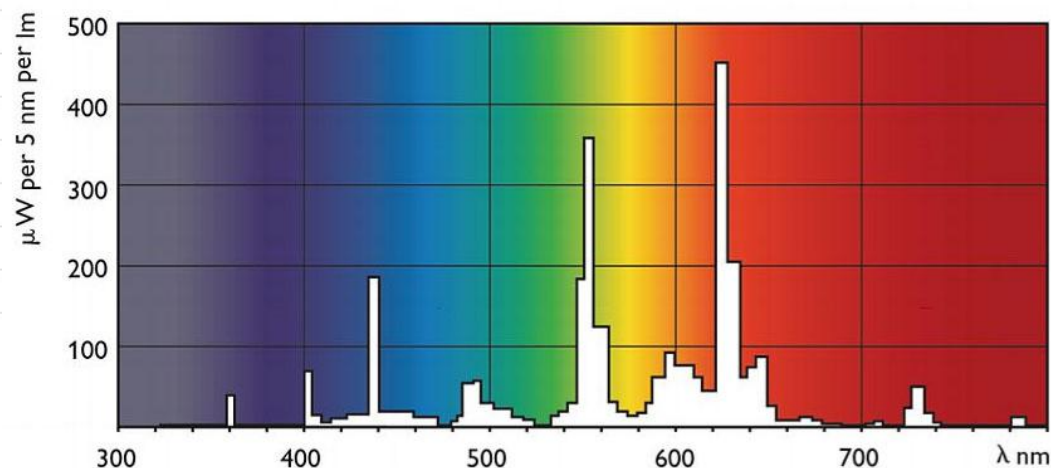
Base Face to Base Face A	549.0 mm
Insertion Length B	553.7 (min), 556.1 (max) mm
Overall Length C	563.2 mm
Diameter D	17 mm

# Informations données par les fabricants

## 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)



# Disparition des lampes énergivores

- Vote européen du 8 Décembre 2008
- 1<sup>er</sup> Sep 2009
  - Incandescentes non claires
  - Fluocompactes classe B
  - Lampes classes F et G
  - Incandescentes  $\geq 100$  W
  - Halogènes  $\geq 75$  W et de classes D et E
- 1<sup>er</sup> Sep 2010
  - Incandescentes de 75 W
  - Halogènes de 60 W et de classes D et E



# Disparition des lampes énergivores

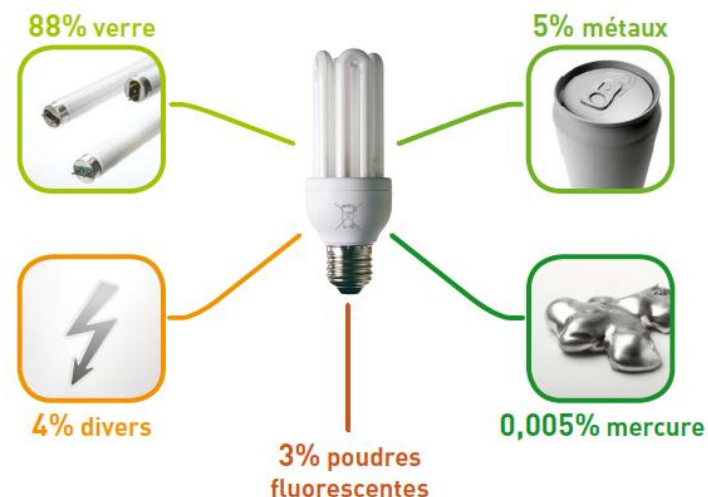
- 1<sup>er</sup> Sep 2011
  - Incandescentes de 60 W
  - Halogènes de 40 W et de classes D et E
- 1<sup>er</sup> Sep 2012
  - Incandescentes de 25 et 40 W
  - Halogènes de 25 W et de classes D et E
- 1<sup>er</sup> Sep 2013
  - Incandescentes dites « linolites »
- 1<sup>er</sup> Sep 2016
  - Lampes de classe énergétique C (dont Halogènes)

# Recyclage des lampes



The banner features the Recylum logo with a globe icon and the tagline 'régénérons la lumière'. Below it, the text reads 'L'Éco-organisme agréé pour la collecte et le recyclage des lampes usagées'. On the right, there is a 'N°Azur 0810 001 777' contact number and a recycling symbol. At the bottom, a navigation menu includes 'Recylum', 'La filière', 'Les lampes concernées', 'Que faire de vos lampes usagées ?', and 'Contacts'. The background shows a glowing compact fluorescent lamp (CFL) and a fluorescent tube.

- Collecte et recycle les lampes des particuliers et des professionnels
- Créé en 2005 par plusieurs fabricants, agréé par l'état 
- Sources lumineuses signalées (toutes, sauf ampoules à filament) 
- Contenu en mercure en baisse sur les CFL < 2.5 mg à partir de 01/13



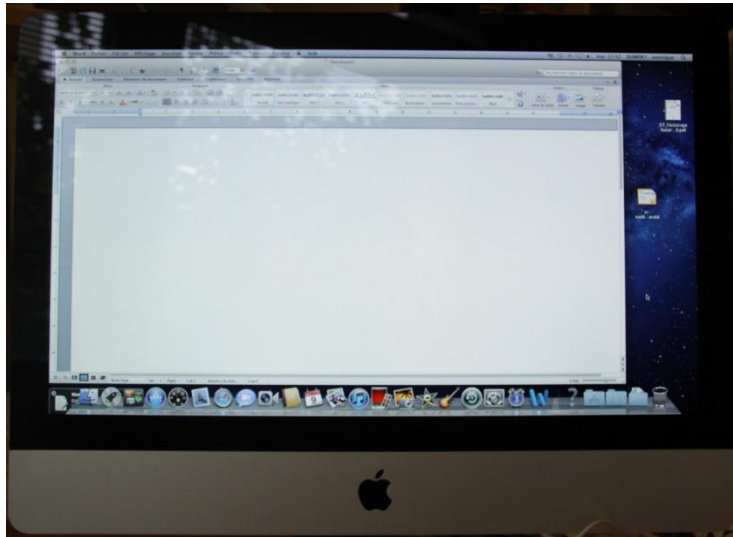
## II. Le confort visuel

- La fatigue visuelle
  - sollicitation excessive de la musculature de l'oeil
  - accommodation, diamètre pupillaire, mouvements...
- Eblouissement d'incapacité
  - réduction du contraste
  - baisse de performance visuelle
  - phénomène physiologique indolore mais fatigant
- Eblouissement d'inconfort
  - luminances excessives dans le champ visuel
  - perte de visibilité et fatigue visuelle
  - phénomène gênant puis douloureux



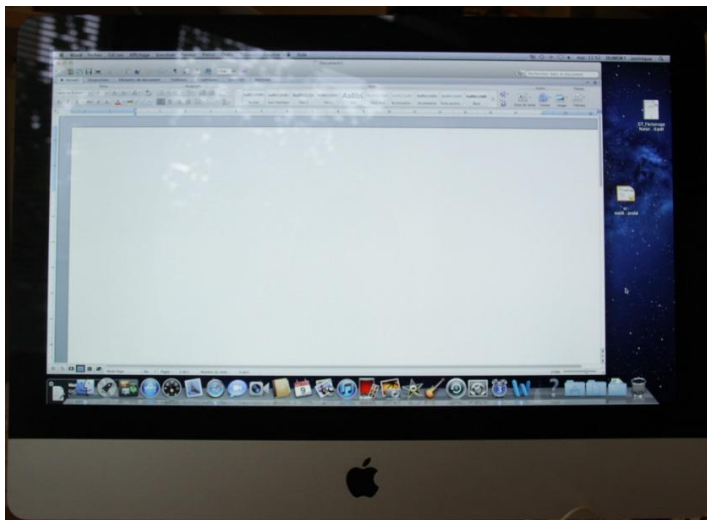
## II.1 Eblouissement d'incapacité

- Le globe oculaire n'est pas homogène
- La lumière des zones adjacentes à l'axe visuel peut être diffusée vers la zone centrale
- Le contraste est finalement réduit



## II.1 Eblouissement d'incapacité

- Phénomène physiologique
- Diminution de la visibilité sans sensation désagréable
- Luminances excessives dans le champ visuel
- Réduction des écarts de luminance



# Modélisation: la luminance de voile

- La réduction du contraste est due à une luminance supplémentaire parasite
- La luminance de voile:

$$C = \frac{(L_o + L_v) - (L_f + L_v)}{L_f + L_v} = \frac{L_o - L_f}{L_f + L_v}$$

$$L_v = k \frac{E_0}{f(\theta)}$$

avec :

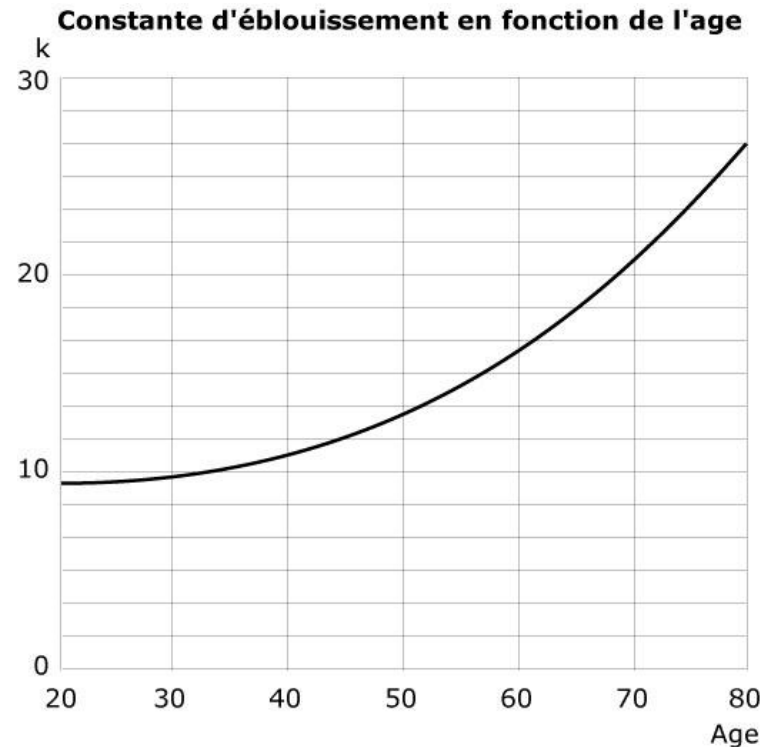
*k* cte d'éblouissement

$E_0$  éclairement sur l'oeil du reflet

$f(\theta) = \theta \cdot (\theta + 1.5^\circ)$

$\theta$  angle d'observation

par rapport à l'axe de vision



# Valeurs limites de la luminance de voile

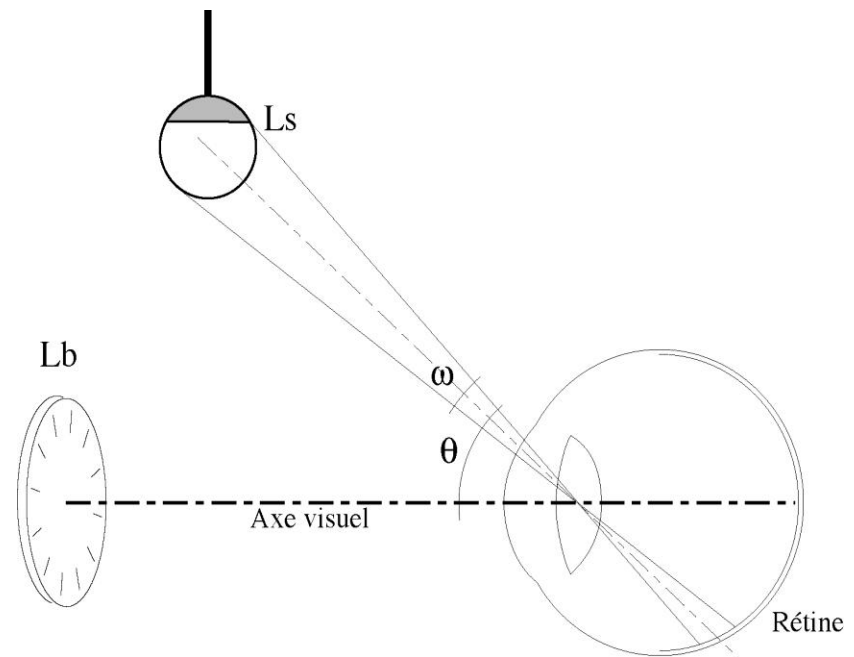
- Cas des écrans d'ordinateur

Luminance de l'écran dans le noir (cd/m <sup>2</sup> )	Luminance de voile maximale (cd/m <sup>2</sup> )
60	10
70	15
80	20
90	27
100	32

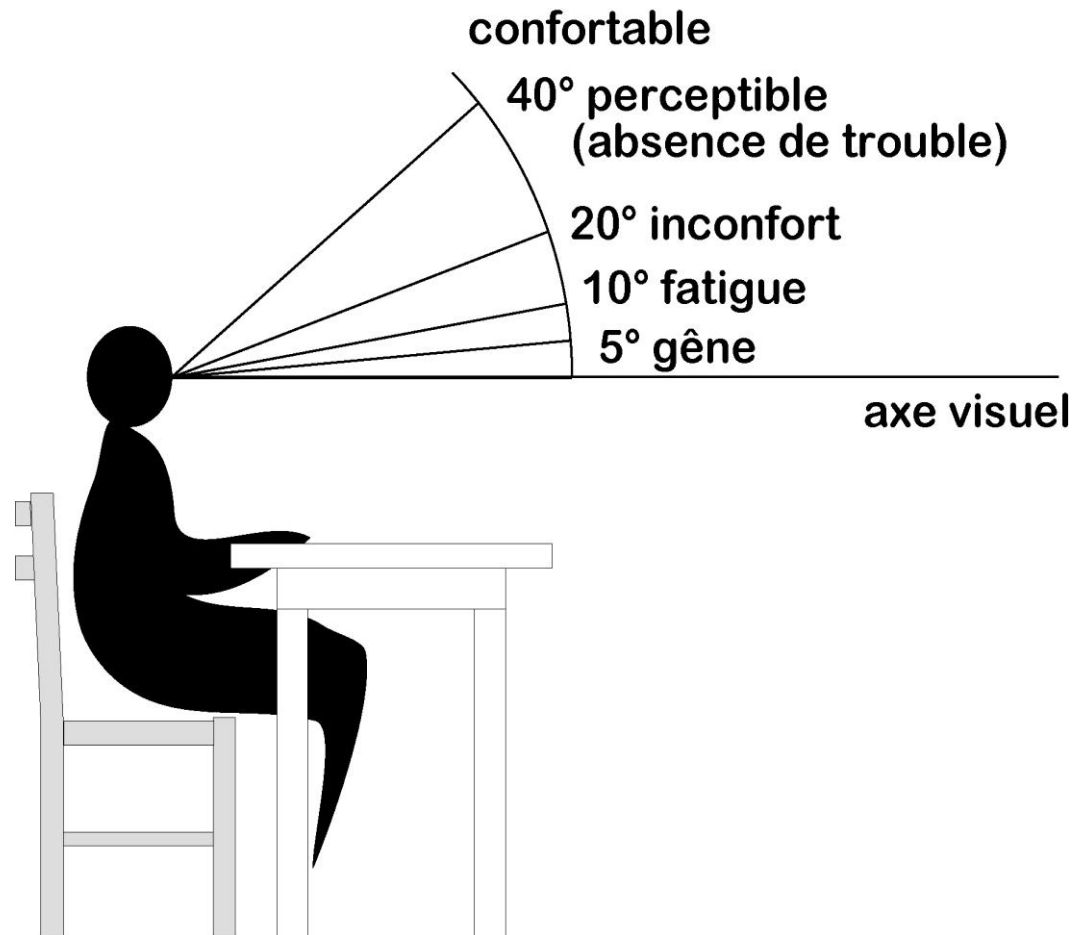
$$L_{V_{\max}} = L_{V_{\text{diffus}}} + L_{V_{\text{spéculaire}}} = \frac{\rho_{\text{diffus}} E_{\text{écran}}}{\pi} + \rho_{\text{spéculaire}} L_{\text{reflet}}$$

## II.2 L'éblouissement d'inconfort

- Une source de luminance élevée dans le champ visuel
- Une fatigue/gêne due à l'activité pupillaire
- Dépend de la source:
  - sa position
  - sa luminance
  - sa taille
  - la luminance de fond



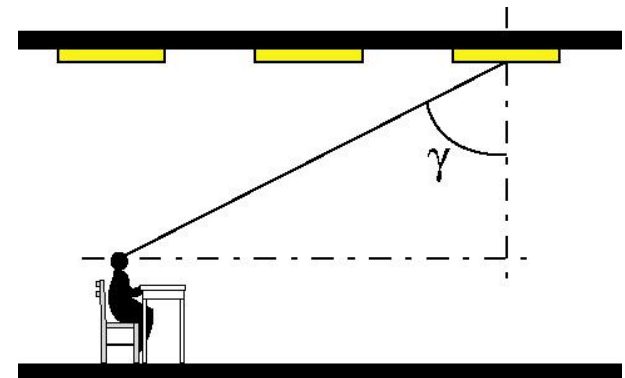
# Influence de la position de la source



# Luminances maximales du luminaire

- Luminaire vu sous l'angle  $\gamma$
- AFE-Association Française de l'Eclairage
- Label Promotelec-EDF

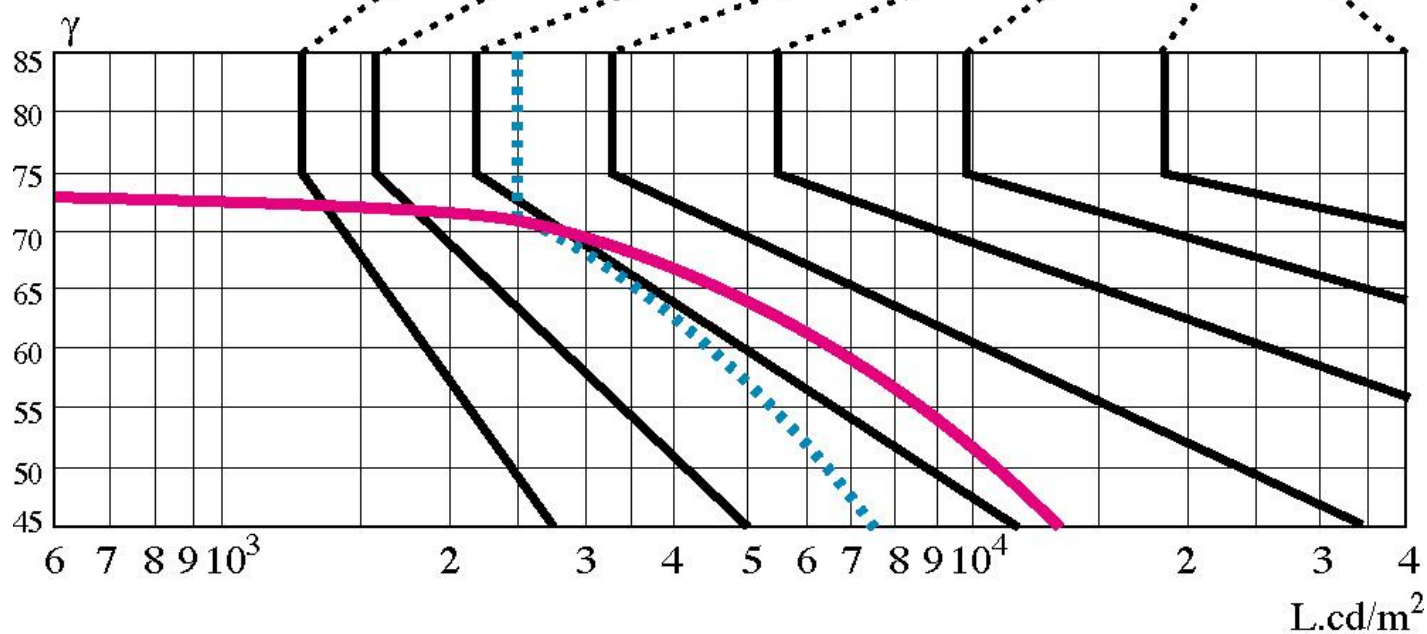
$\gamma$	Luminances maximales préconisations AFE	Luminances maximales préconisations Promotelec
75°	3000 cd.m <sup>-2</sup>	2000 cd.m <sup>-2</sup>
65°	5000 cd.m <sup>-2</sup>	4000 cd.m <sup>-2</sup>
55°	7000 cd.m <sup>-2</sup>	6500 cd.m <sup>-2</sup>
45°	12000 cd.m <sup>-2</sup>	11000 cd.m <sup>-2</sup>





# Abaque de Bodmann-Söllner

Classe de qualité	Eclairage moyen initial (lux)							
	2000	1000	500	250				
A(1,15)	2000	1000	500	250				
B(1,5)		2000	1000	500	250			
C(1,85)			2000	1000	500	250		
D(2,2)				2000	1000	500	250	
E(2,55)					2000	1000	500	250



Luminaire vu dans le plan transversal dans le plan longitudinal

# Classes de qualité Bodmann-Söllner

	Eblouissement(*)		Tâches ou Activités
	Appréciat.	Cotat. Qualité	
Inexistant	(0) (1)	A(1,15)	Exécution de tâches visuelles très exigeantes, par exemple assemblages électroniques minutieux.
Léger	(2)	B(1,5)	Exécution de tâches avec des exigences visuelles particulières, par exemple contrôle fin. Exécution de tâches avec des exigences visuelles modérées mais demandant une concentration importante et continue, par exemple travail de bureau, assemblage de composants de petite taille.
		C(1,85)	Exécution de tâches avec des exigences visuelles et une concentration modérée, par exemple travail normal en position assise, assemblage de pièces de taille moyenne pour un travailleur debout.
		D(2,20)	Exécution de tâches avec des exigences visuelles simples, exigeant une concentration normale pour des travailleurs qui se déplacent fréquemment dans une zone très limitée, montage de pièces de dimensions importantes.
Sévère	(3) (4) (5)	E(2,55)	Locaux dans lesquels les personnes n'ont pas de poste de travail fixe, elles se déplacent pour exécuter des tâches de très faibles exigences visuelles. Locaux qui ne sont pas utilisés de façon continue par les mêmes personnes.
Intolérable	(6)		

\* Echelle retenue pour les travaux originaux de Bodmann et Söllner

## L'Unified Glare Ratio: norme UE

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_f} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2}$$

$L_i$  luminance de la source  $i$

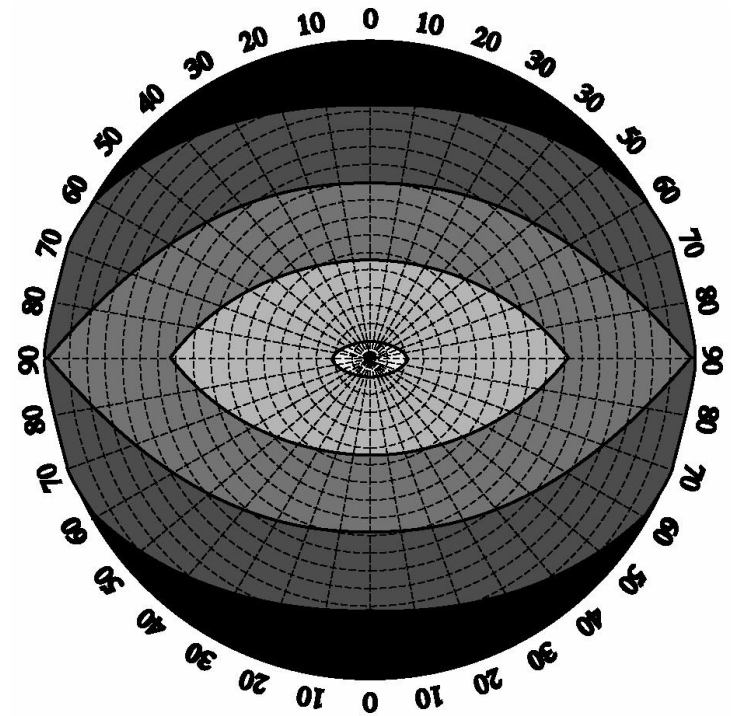
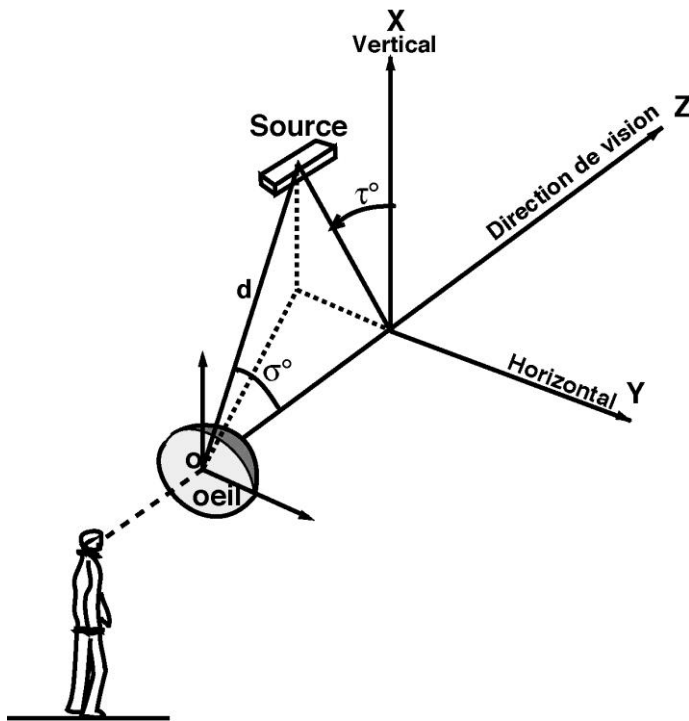
$\omega_i$  angle solide

$p_i$  indice de position de Guth

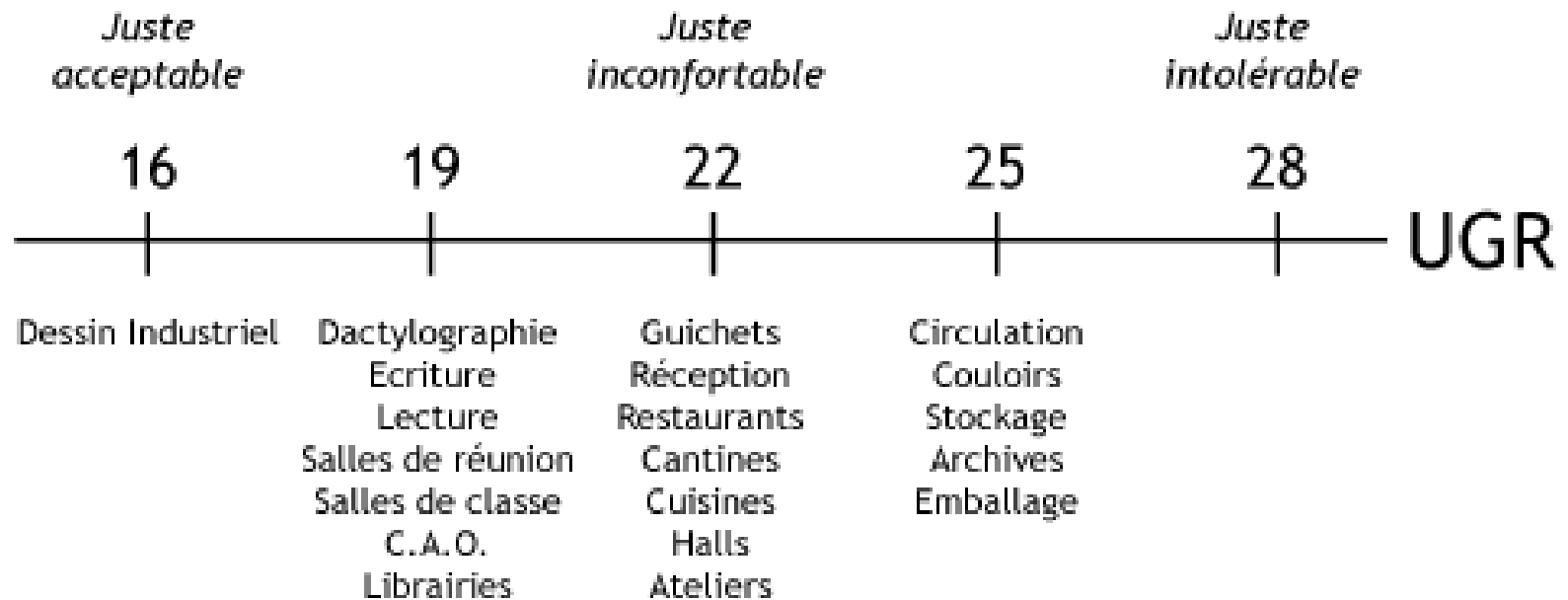
$L_f$  luminance de fond

# Indice de position de Guth

- Les sources éloignées de l'axe optique ont moins d'importance



# Valeurs de l'UGR

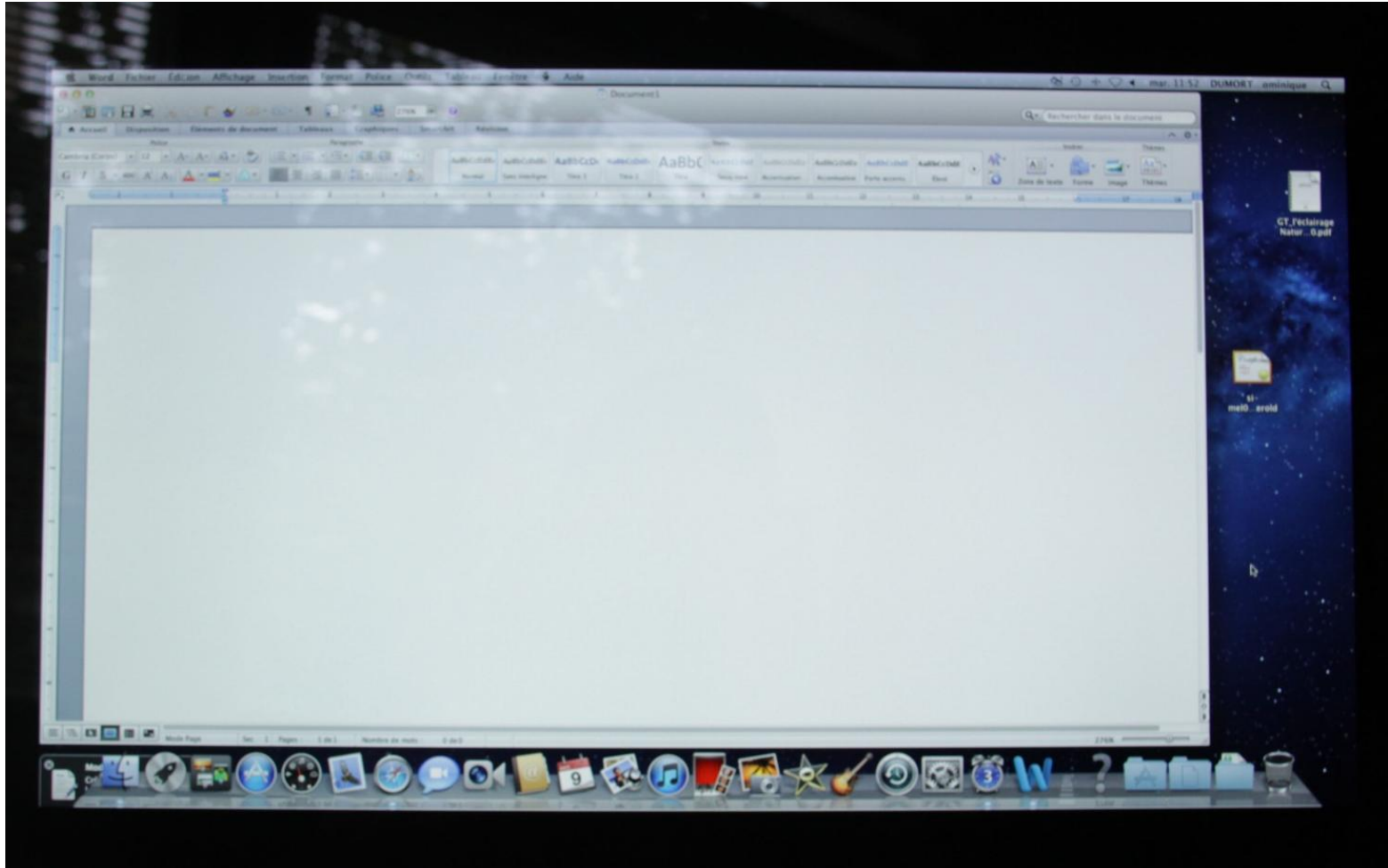


# Textes réglementaires

- Norme CIE S008:2001 / ISO 8995:2002 / NF12464
  - Tableau 5.3 Eclairage des bureaux

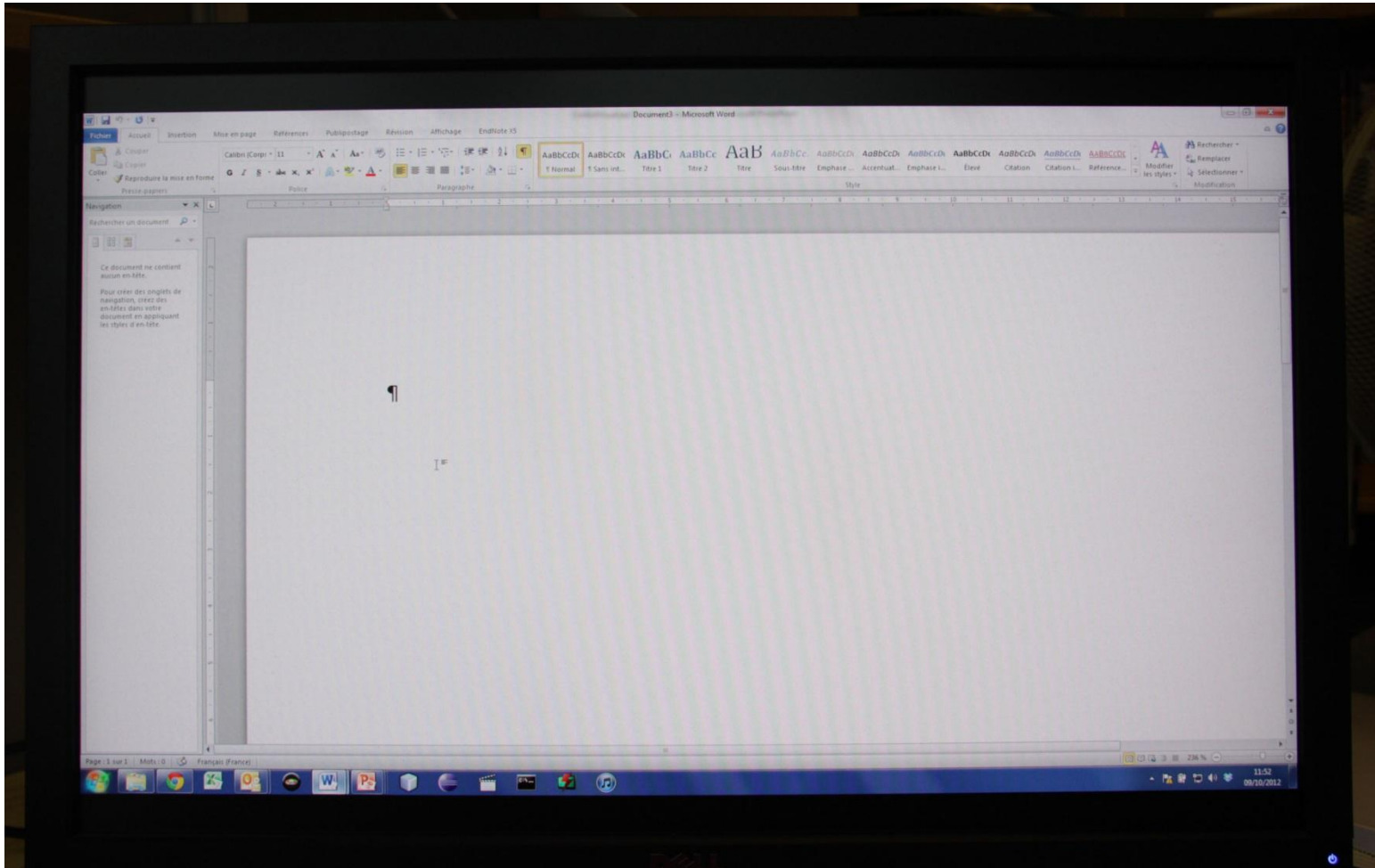
N° réf	Type d'intérieur, activité	$E_m$	UGR	Ra
3.1	Classement, transcription	300	19	80
3.2	Ecriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	19	80
3.3	Dessin industriel	750	16	80
3.4	Postes de travail sur ordinateur	500	19	80
3.5	Salles de conférence avec réunion	500	19	80
3.6	Réception	300	22	80
3.7	Archives	200	25	80

## II.3 Eviter les écrans brillants



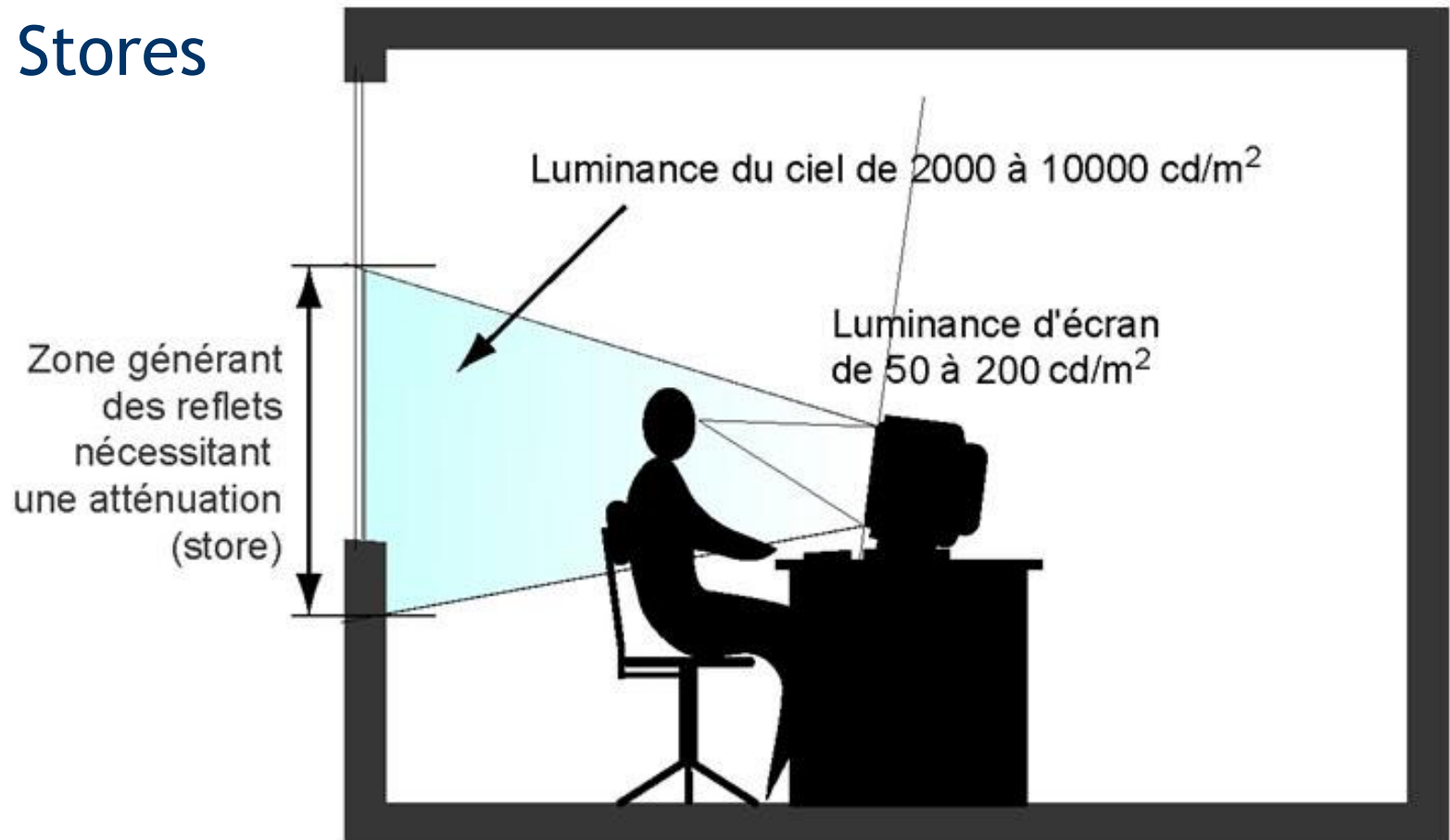


# Utiliser plutôt des écrans mats



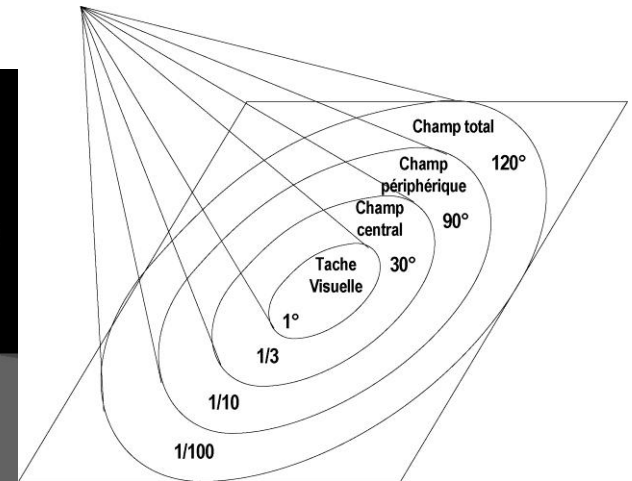
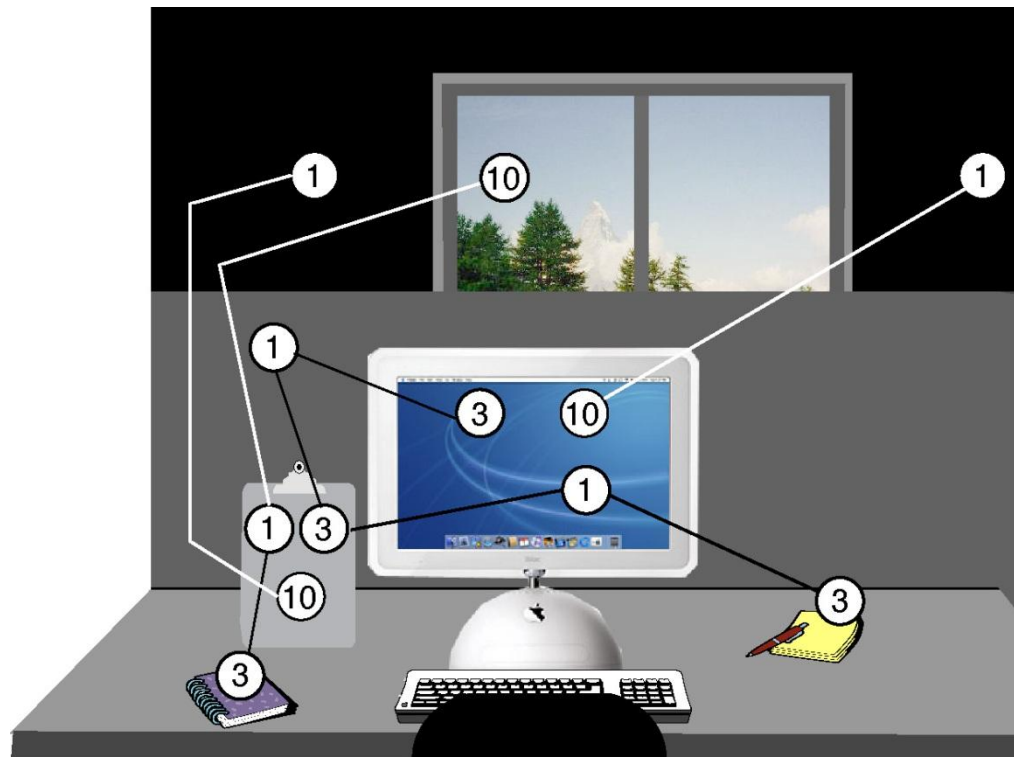
# Eviter les reflets de la fenêtre

- Position de l'écran
- Stores



# Equilibrer les luminances

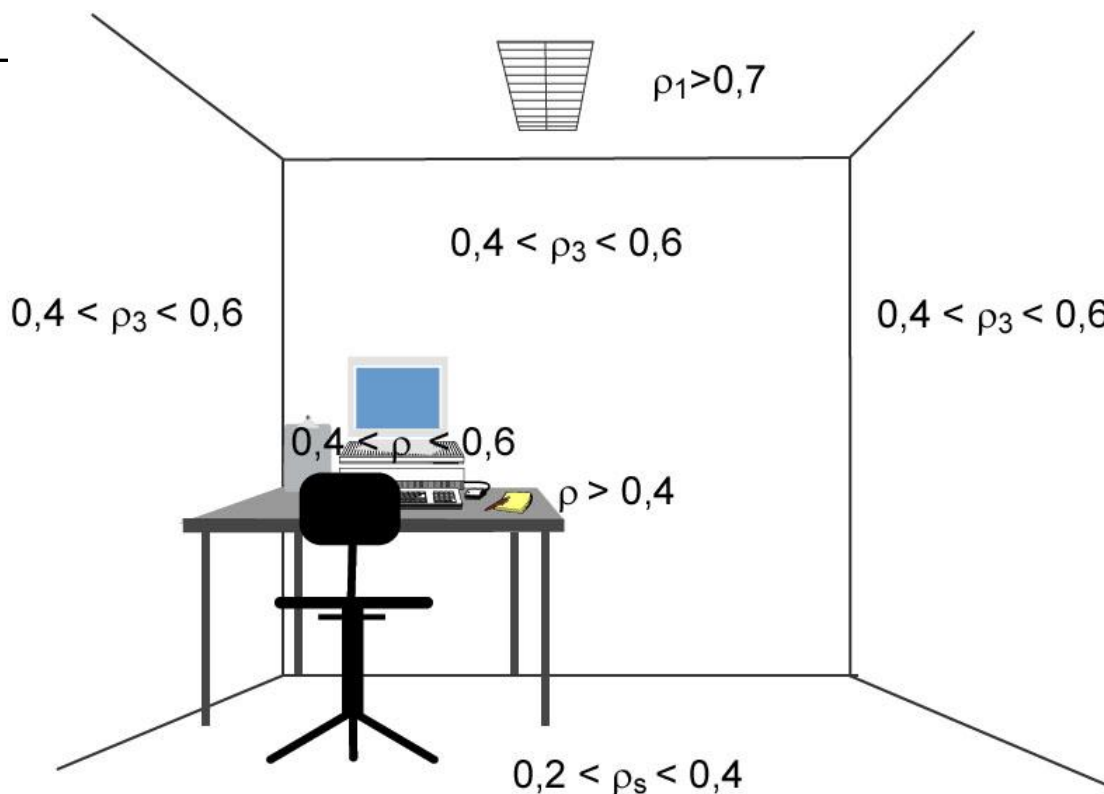
- Valeurs limites des rapports de luminance



# Choisir les bons revêtements

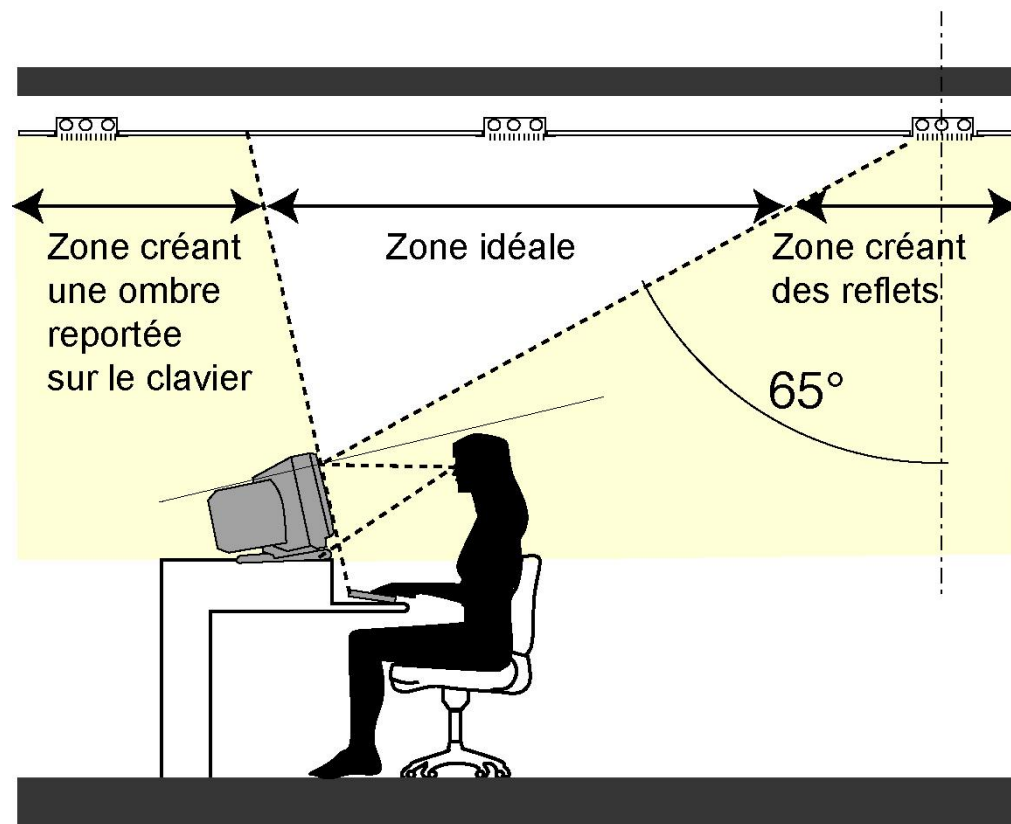
- La luminance d'une surface dépend de son éclairement mais aussi de son facteur de réflexion

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$



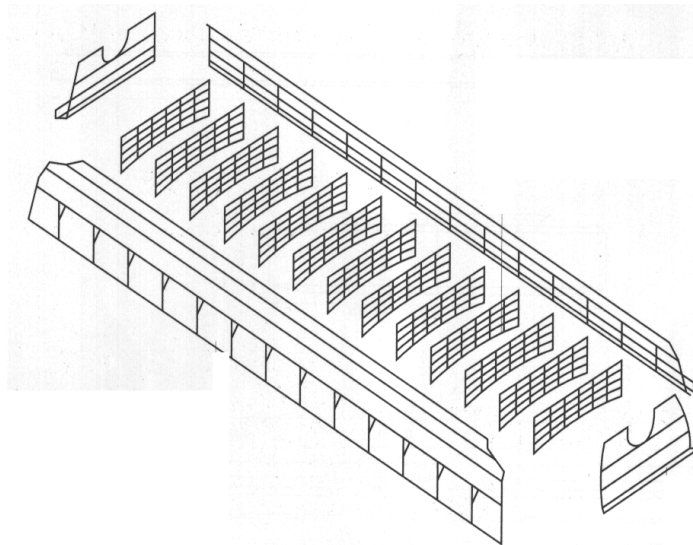
# Réduire les reflets des luminaires

- Position et inclinaison de l'écran
- Choix de luminaires à basse luminance



# Choisir le bon luminaire

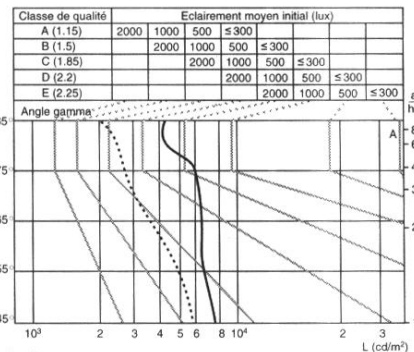
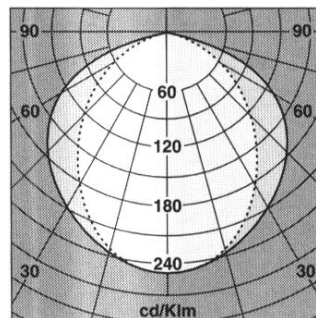
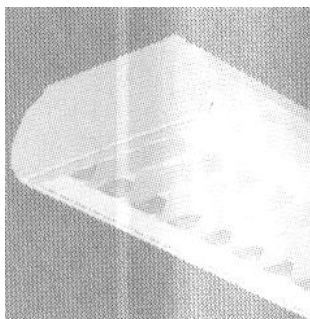
- Rôle des ventelles:
  - cacher la vue des tubes
  - répartir le flux
  - éviter les reflets
  - produire un bon rendement



# Choisir le bon luminaire

- Luminaire bas de gamme

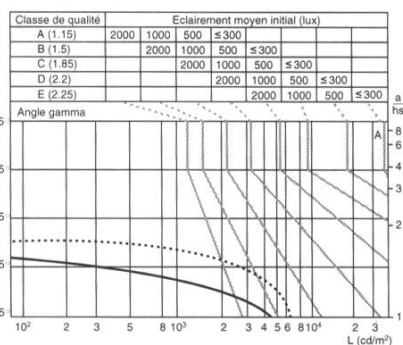
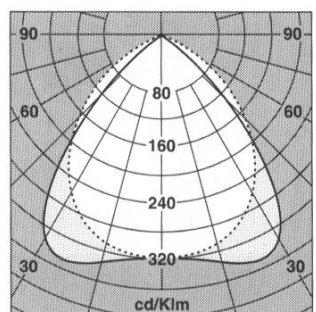
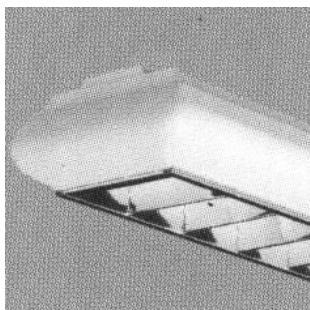
SYLFIT 2, 2 x 36 Paralume Laqué



Plan transversal ——— Plan longitudinal - - - - -

- Luminaire très basse luminance

SYL-LOUVER 2 x 36 W VISUAL 60

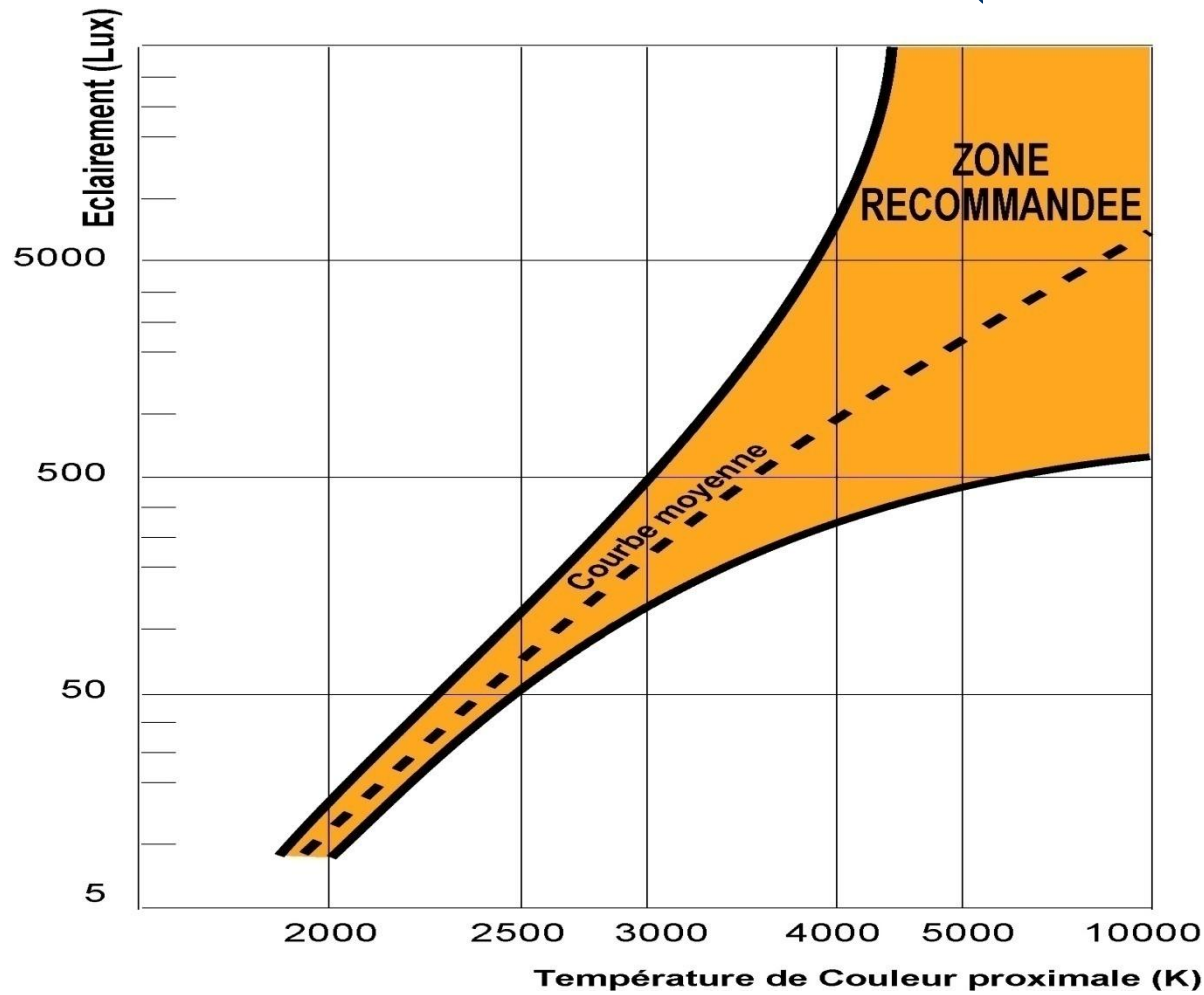


Plan transversal ——— Plan longitudinal - - - - -

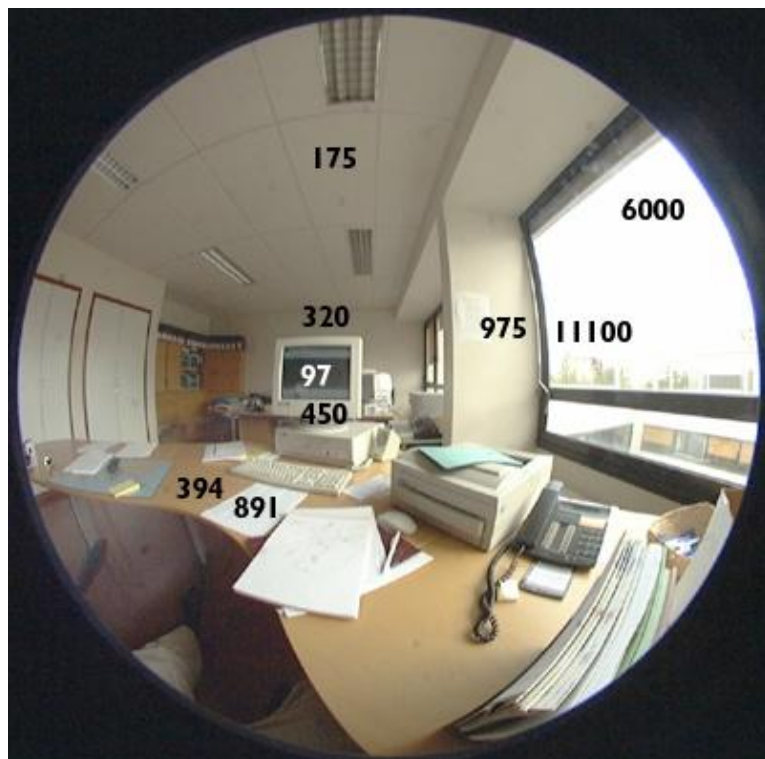


# Choisir la bonne lampe

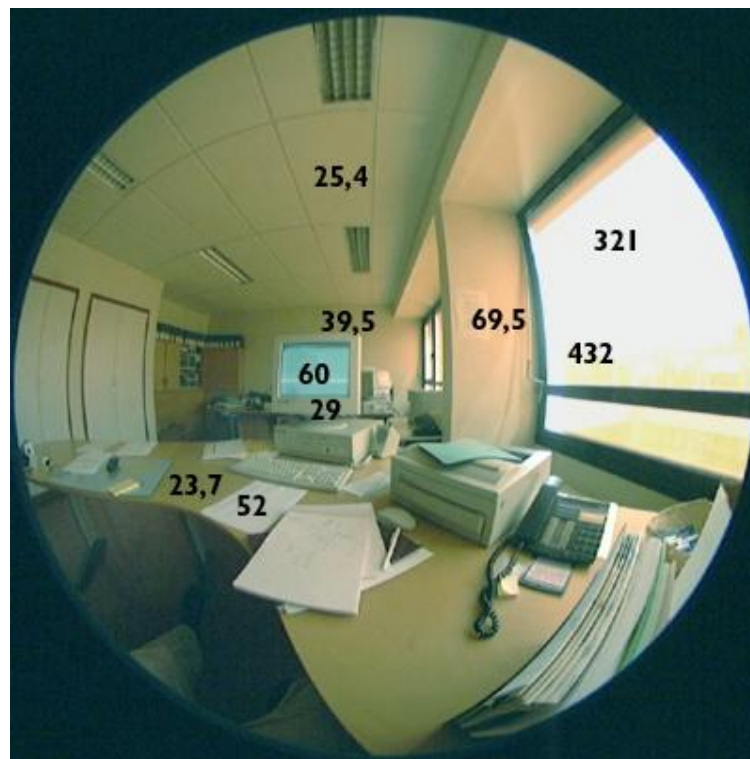
- Relation entre éclairage et couleur (Kruithoff, 1941)



# Ajuster l'éclairage naturel



Sans store



Avec store

# Ajuster l'éclairage artificiel



# Ajuster l'éclairage artificiel



# Ajuster l'éclairage artificiel





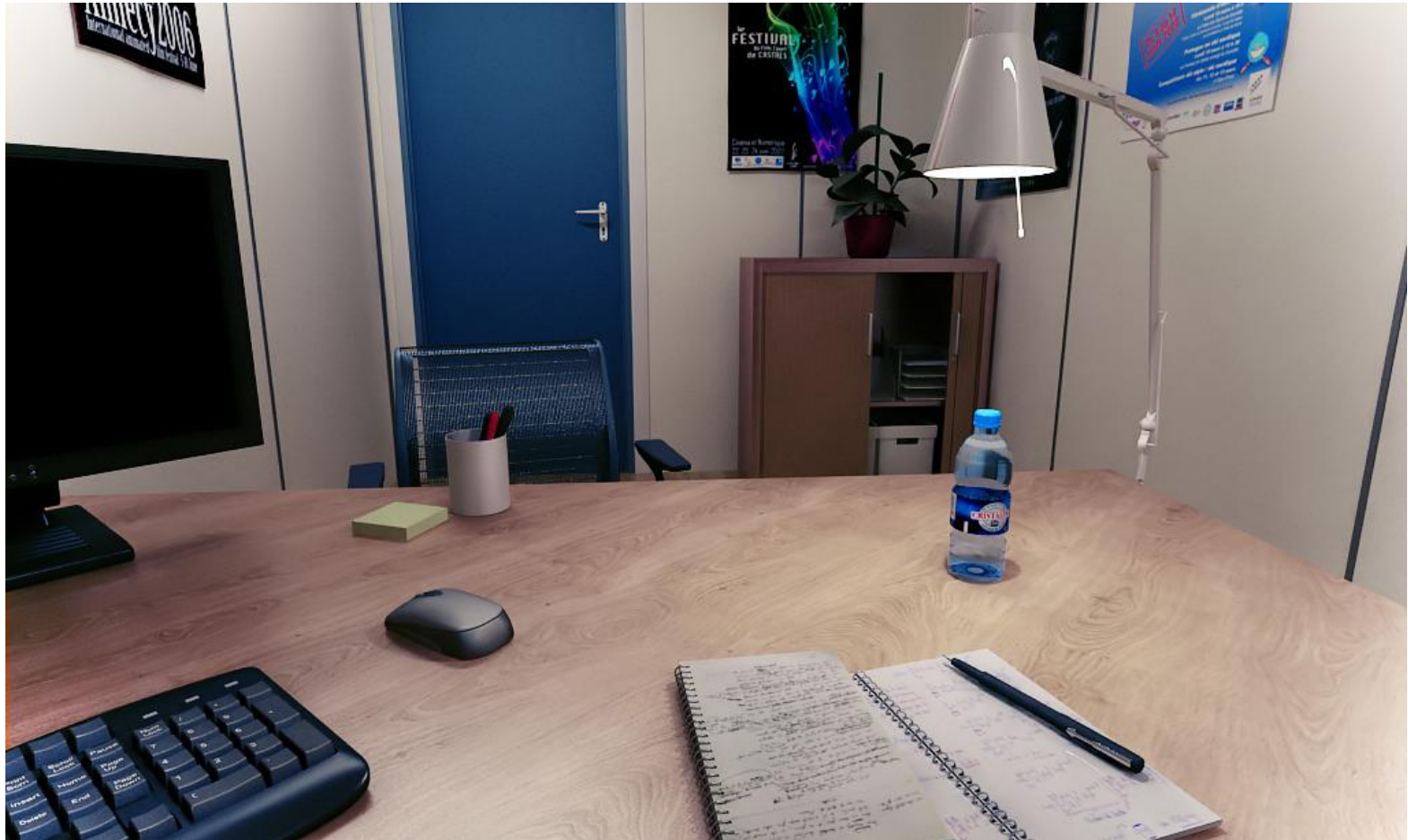
# Ajuster l'éclairage artificiel



# Ajuster l'éclairage artificiel

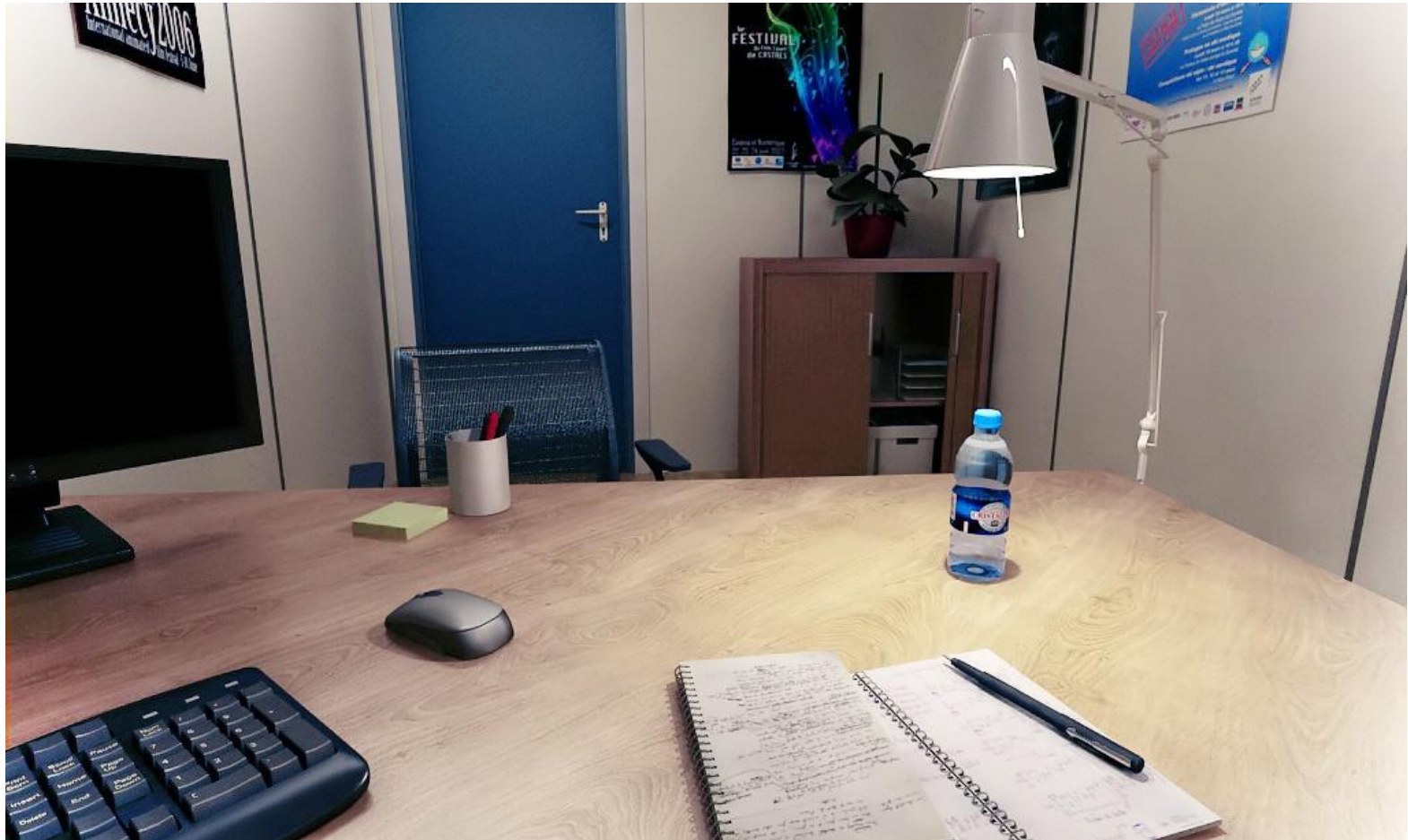


# Ajuster l'éclairage artificiel



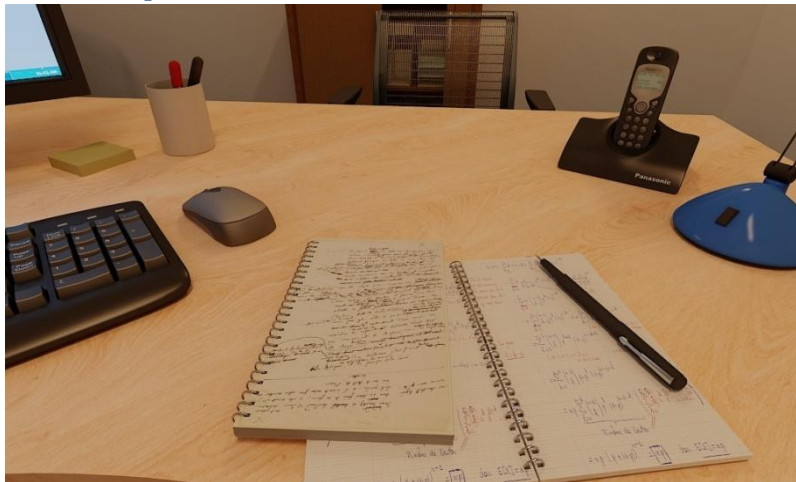


# Ajuster l'éclairage artificiel



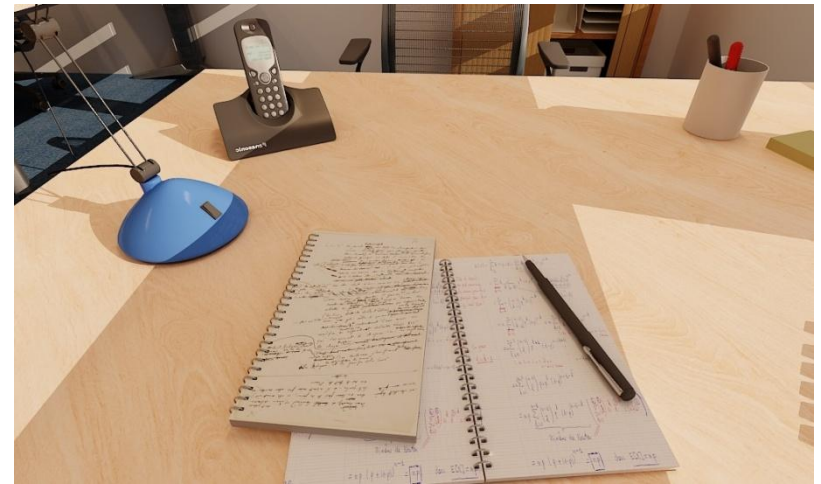
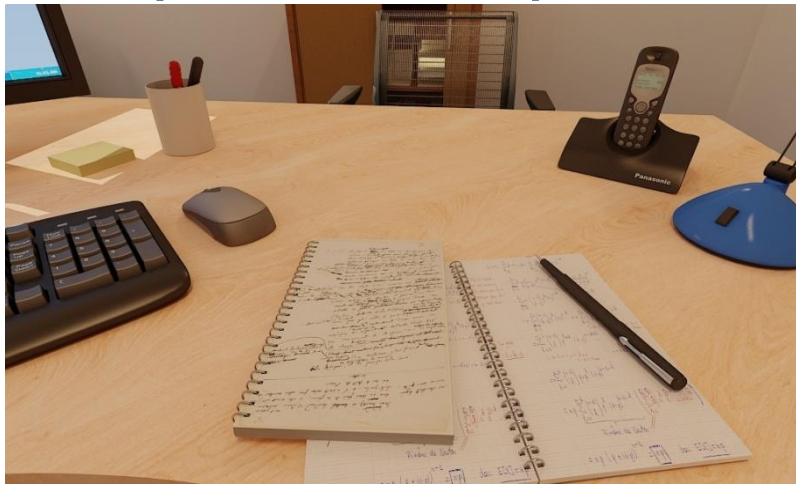
# Ajuster l'éclairage

- Dépend des activités



# Ajuster l'éclairage

- Dépend de la position /r la fenêtre



# Donc pour un bon confort visuel...

- **Eclairage naturel**
  - Une vue vers l'extérieur permet à l'œil de se reposer sur un point éloigné
  - Contrôle de l'éblouissement: stores...
  - Réduction du contraste en fond de pièce par apport d'éclairage artificiel
- **Eclairage artificiel**
  - Choix de luminaires basses luminances
  - Choix de ballasts haute fréquence
  - Implantation des luminaires (transversal ou longitudinal)
- **Espace**
  - Facteurs de réflexion des parois
  - Position des postes de travail



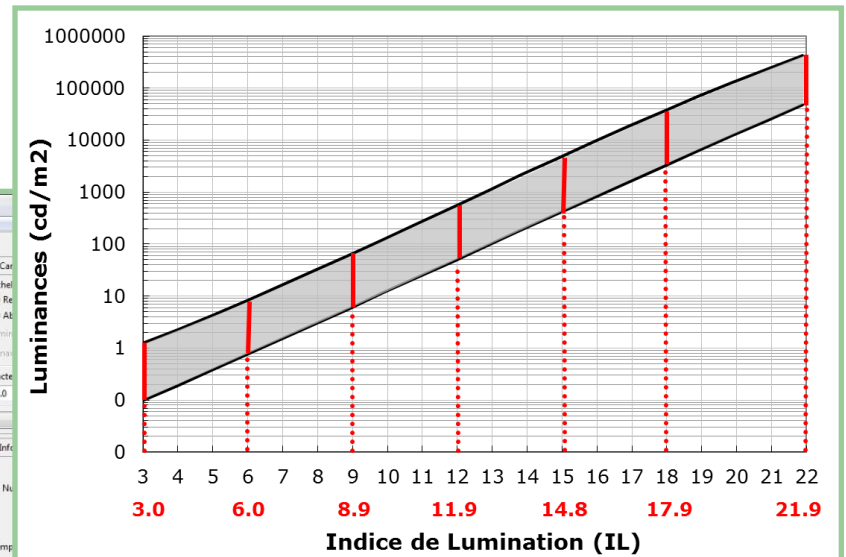
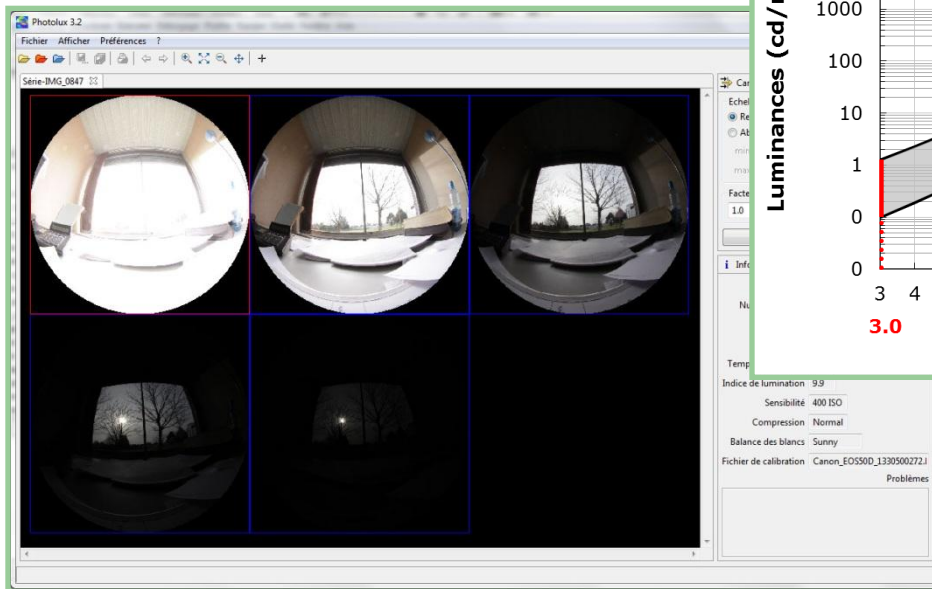
## II.4 Outils de mesure in situ

- Mesure du champ de luminances
- Calcul d'indices de confort visuel: UGR, DGI...
- Système PHOTOLUX développé à l'ENTPE
  - Un appareil photo étalonné en luminance
  - Un fish-eye pour couvrir tout le champ visuel
  - Un logiciel pour exploiter les images

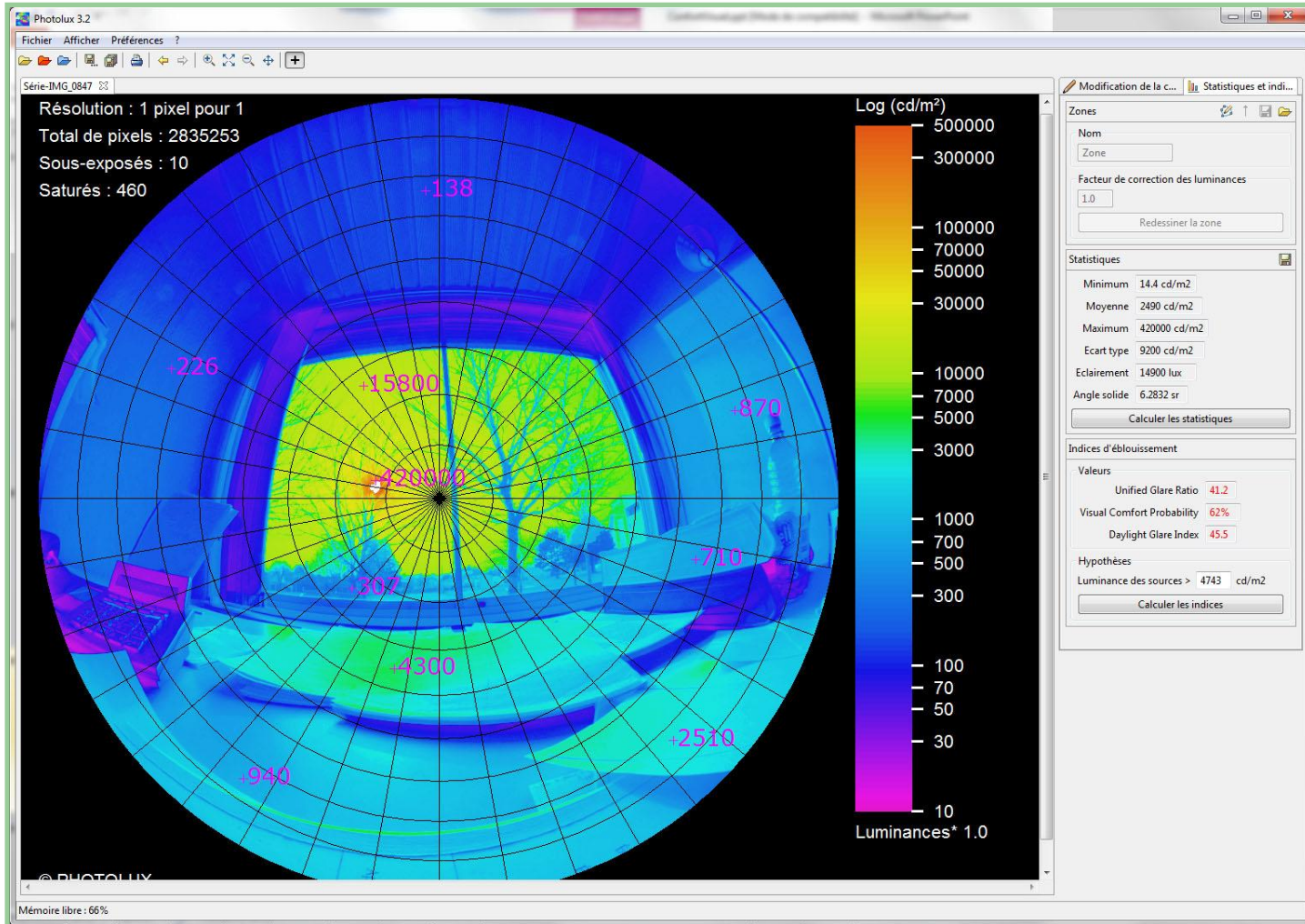


# Utilisation de PHOTOLUX

- L'étalonnage montre que plusieurs photos différemment exposées sont nécessaires

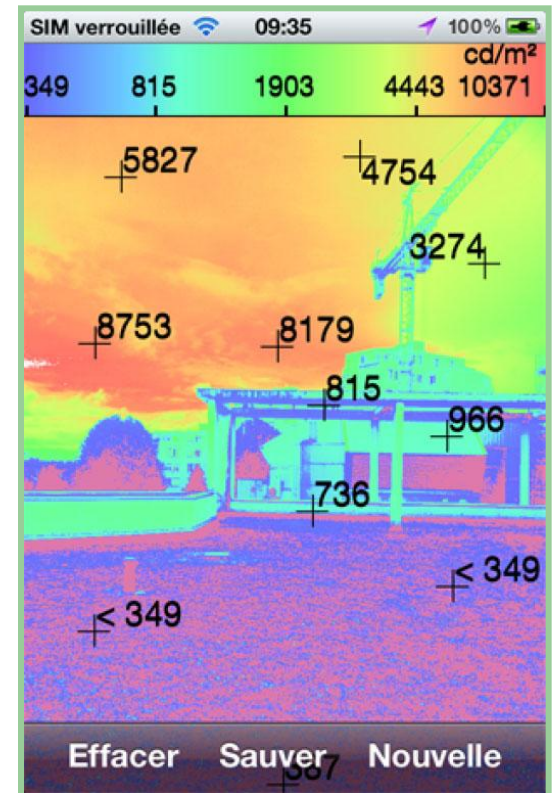
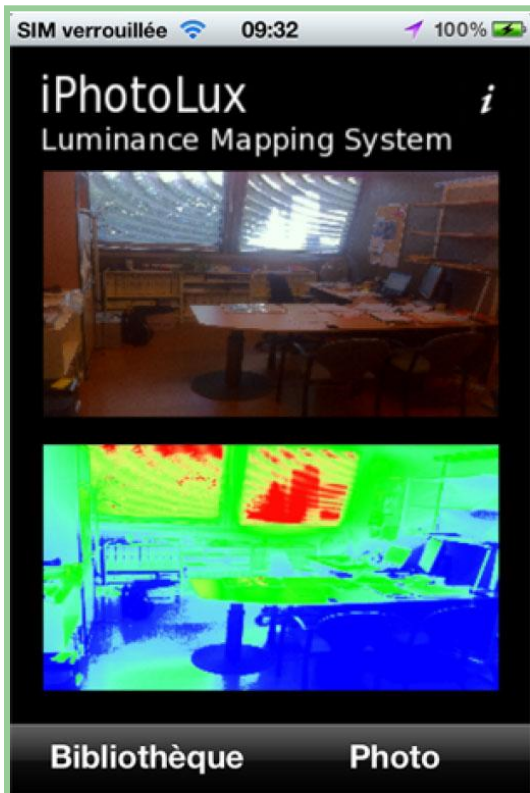


# Utilisation de PHOTOLUX



# Il y a aussi une App pour cela !

- Pour iOS (Apple) et Android (Google)





# III. Dimensionnement

1. Objectifs
2. Méthode simplifiée des utilances
3. Exercice de dimensionnement

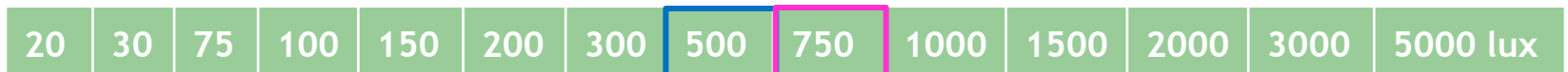
## III.1 Objectifs

- Fournir un éclairage suffisant
  - Eclairage recommandé pour l'activité
  - Méthode de l'utilance
  - Valeurs pré-calculées et tabulées
- Fournir un éclairage uniforme
  - Distances maximales entre luminaires

# Eclairements recommandés

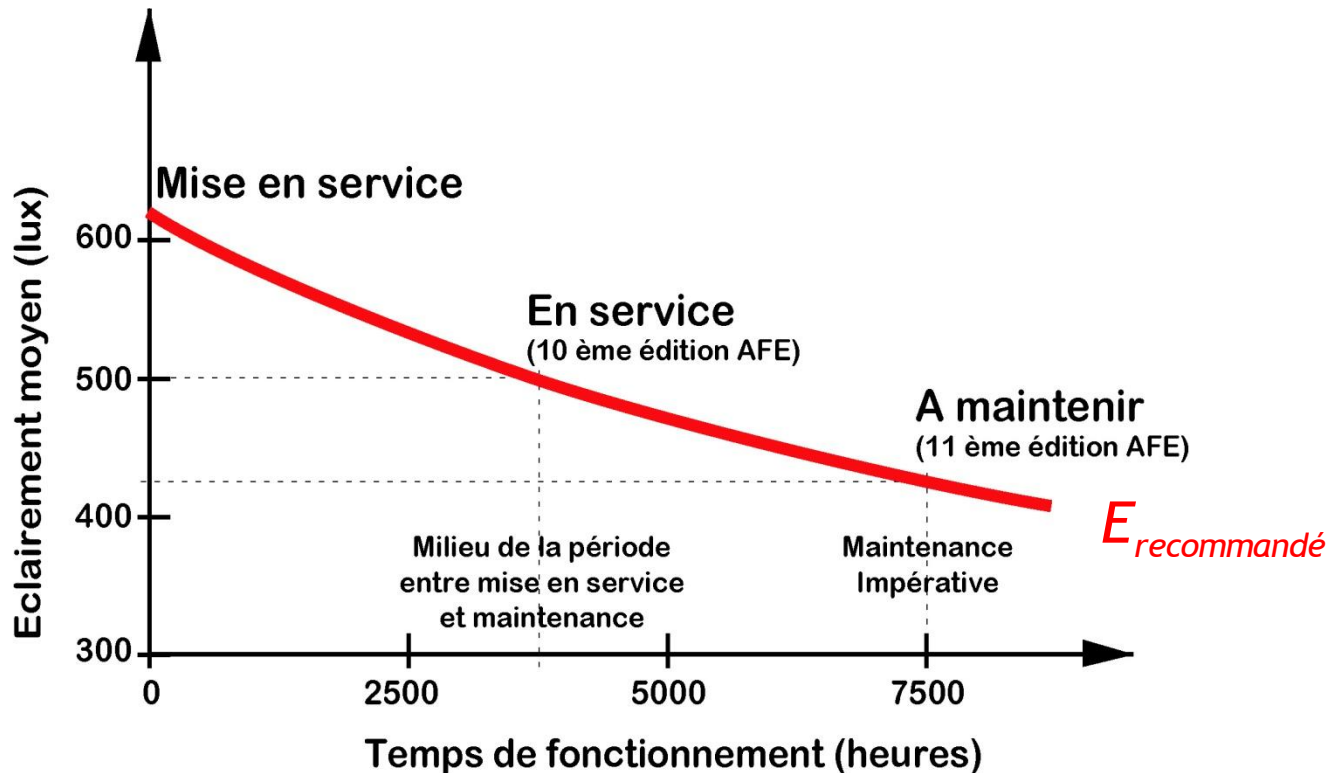
- Norme CIE S008:2001 / ISO 8995:2002 / NF12464

N° réf	Type d'intérieur, activité	$E_m$	UGR	Ra
3.1	Classement, transcription	300	19	80
3.2	Ecriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	19	80
3.3	Dessin industriel	750	16	80
3.4	Postes de travail sur ordinateur	500	19	80
3.5	Salles de conférence avec réunion	500	19	80
3.6	Réception	300	22	80
3.7	Archives	200	25	80



→  
> 50 ans

# Eclairements en fonction du temps



- Utilisation d'un facteur de dépréciation

# Valeurs du facteur de dépréciation

Nature de l'activité	Niveau d'empoussièrement	Facteur de maintenance (V)	Facteur compensateur de dépréciation (d)
Montages électroniques, locaux hospitaliers, bureaux, écoles, laboratoires	Faible	0.75*0.9	1.50
Boutiques, restaurants, entrepôts, magasins, ateliers d'assemblage	Moyen	0.65*0.9	1.70
Aciéries, industries chimiques, fonderies, polissages, menuiseries	Elevé	0.55*0.9	2.00

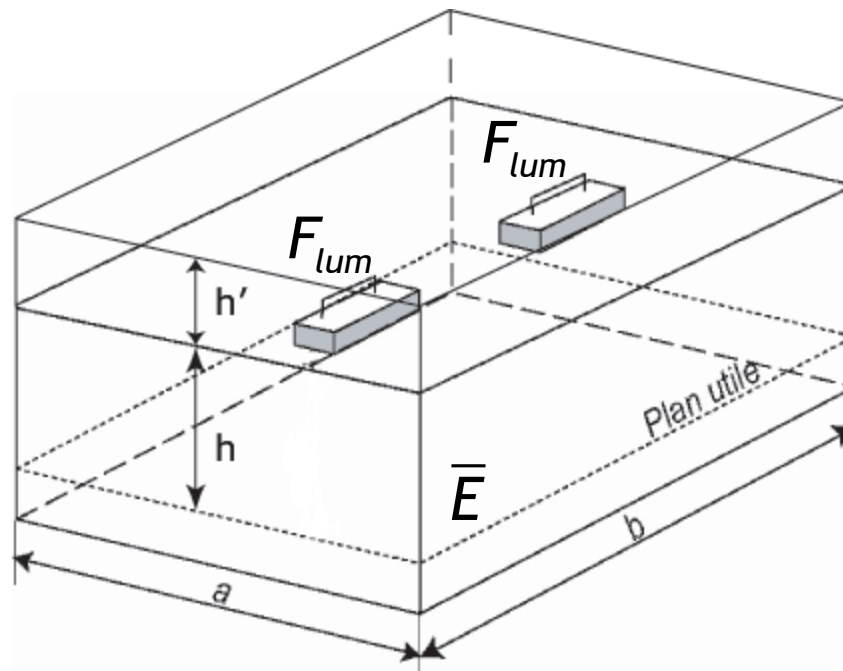
$$\text{Facteur de dépréciation } d = \frac{1}{V_{\text{empoussièrement}} V_{\text{lampe}}}$$

$$E_{\text{Conception}} = E_{\text{recommandé}} \times d$$

## III.2 Méthode simplifiée des utilances

- Définition de l'utilance

$$U = \frac{\text{flux total atteignant le plan utile}}{\text{flux total quittant les luminaires}} = \frac{\bar{E} a b}{N_{lum} F_{lum}}$$



# Détermination de l'utilance

- Position des luminaires: indice de suspension

$$J = \frac{h'}{h + h'}$$

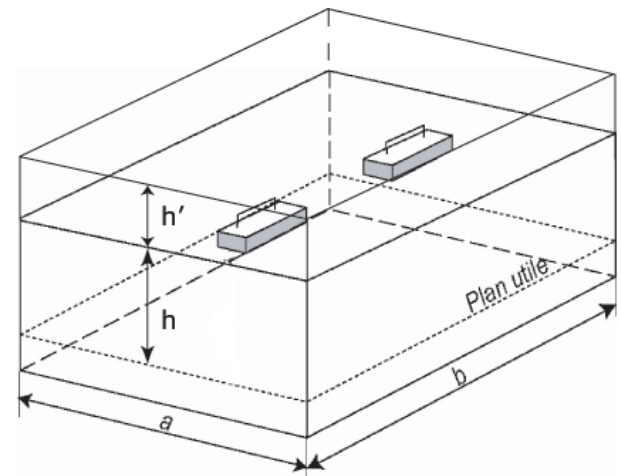
$J = 0$  si luminaires au plafond

- Géométrie de la cavité: indice du local

$$K = \frac{\text{surfaces horizontales}}{\text{surfaces verticales}} = \frac{ab}{h(a + b)}$$

0.5 puits de lumière

5.0 local ramassé





# Détermination de l'utilance

- Photométrie de la cavité

$$\rho_{\text{plafond}} \quad \rho_{\text{murs}} \quad \rho_{\text{planutile}}$$

$$5 \quad 3 \quad 1$$

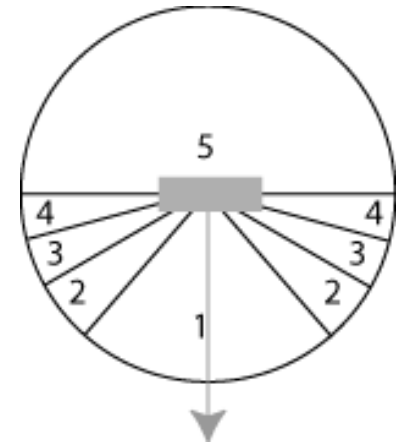
- Classe des luminaires

Répartition du flux du luminaire dans l'espace  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$

$$\eta_{\nabla} = \frac{A}{J} \downarrow + \eta_{\Delta} T \quad \text{rendement} \quad \eta_{\nabla} = \frac{\sum_{i=1}^4 F_i}{F_{\text{lampes}}}$$

$A$  luminaire très directif

$J$  luminaire diffusant







# Dimensionnement de l'installation

- Nombre de luminaires pour l'éclairage

$$\bar{E} \geq dE_{rec} \Rightarrow N_{lum} \geq \frac{dE_{rec} a b}{UF_{lum}}$$

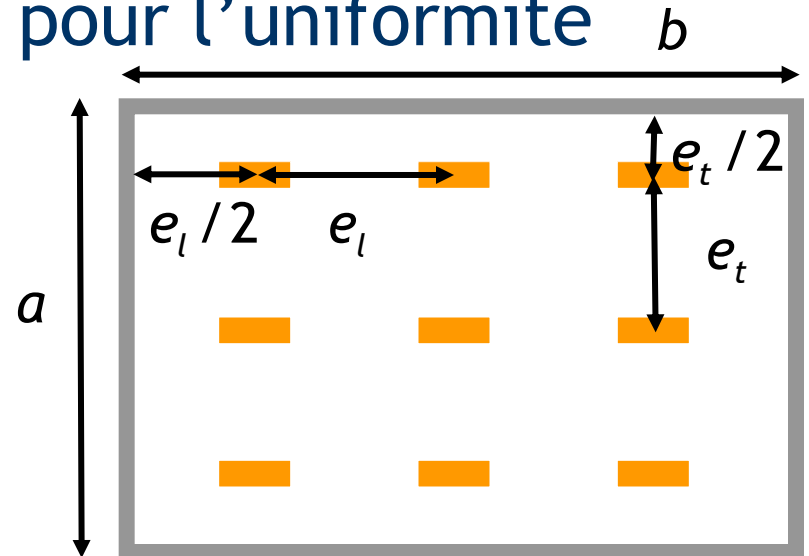
$$F_{lum} = \eta_{lum} n_{lampe} f_{lampe}$$

- Nombre de luminaires pour l'uniformité

$$e_l < \partial_l h \Rightarrow N_{luml} \geq \frac{b}{\partial_l h}$$

$$e_t < \partial_t h \Rightarrow N_{lumt} \geq \frac{a}{\partial_t h}$$

$\partial$  facteur d'espacement



# Le projet en résumé...

- Eclairage recommandé pour l'activité
  - Norme CIE S008:2001 / ISO 8995:2002 / NF12464
  - Recommandations AFE
- Choix du luminaire
  - Direct/indirect
  - Confort visuel
- Choix des sources
  - Température de couleur
  - Indice de rendu des couleurs
  - Conditions d'utilisation
- Grille minimale pour l'uniformité
- Nombre minimum pour un éclairage suffisant
- Puissance installée en  $W/m^2$

## III.3 Exercice de dimensionnement

- Salle de classe de 8m50 par 6m
- Hauteur sous plafond de 2m80
- Plan utile à 0m80
- Triplet de facteurs de réflexion 753
- Eclairage recommandé de 425 lux
- Luminaire Syldesign Paralume HR
- Facteur de dépréciation de 1.4
  
- Trouver quel type de Syldesign et combien ?

# Description du Syldesign Paralume HR

## SYLDESIGN PARALUME HR

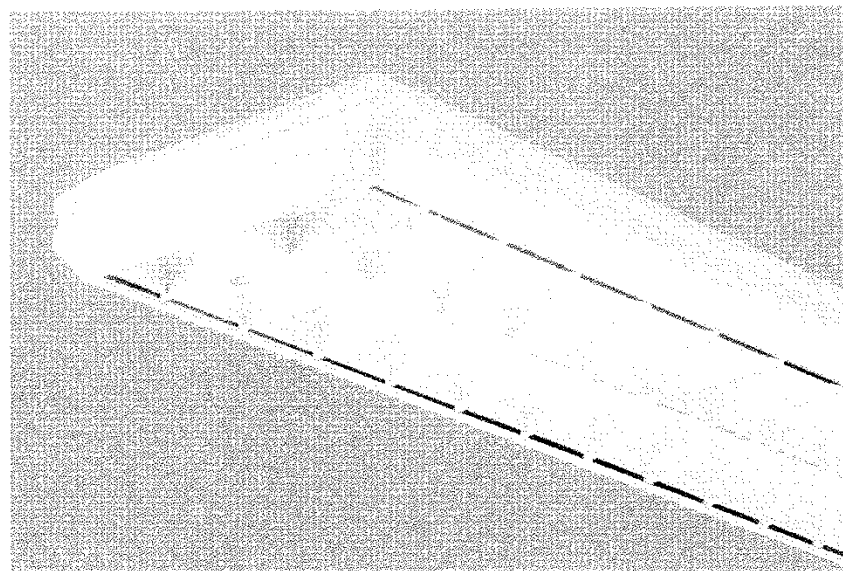
### Rendement élevé

#### Applications

Immeubles de grande hauteur, établissements recevant du public. Locaux de secteur tertiaire ou commercial nécessitant des niveaux d'éclairage élevés. Bureaux, salles de classe, commerces, circulations.

#### Description de l'optique

Optique avec miroirs longitudinaux en aluminium satiné et lames transversales tôlée laquée blanc.



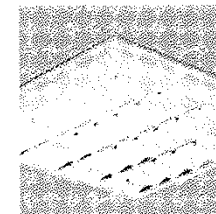
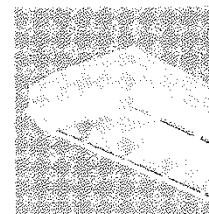


# Description du Syldesign Paralume HR



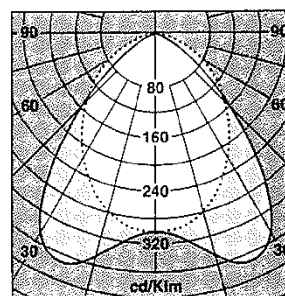
Classe	I
Degré de protection	IP 31*
Essai au fil incandescent	960°C
Energie de choc	2 J
Rendement 2 x 36 W	0,71C

\* en plafonnier sauf 418, IP 30

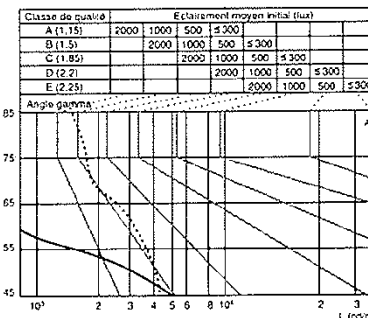


44358	1 lampe 36 W PC
44359	1 lampe 58 W PC
44360	2 lampes 36 W PC
44361	2 lampes 58 W PC
44362	4 lampes 18 W PC
<b>Avec ballast électronique</b>	
44604	1 lampe 36 W BE
44606	1 lampe 58 W BE
44605	2 lampes 36 W BE
44607	2 lampes 58 W BE
<b>Accessoires de suspension</b>	
44611	Suspension (2 caches et 4 câbles d'acier)
44612	Câble d'alimentation SYLDESIGN

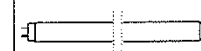
## SYLDESIGN 2 x 36 Paralume HR



Plan transversal ——— Plan longitudinal - - - - -



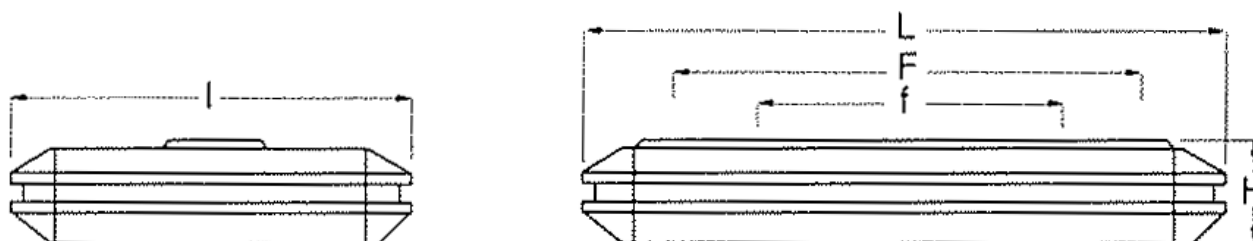
Luxline Plus Ø26  
18/36/58 W-G13



18 W = 1350 lm  
36 W = 3350 lm  
58 W = 5200 lm

PUISSANCE W	RENDMENT			ESPAC. MAX. UNIF. : 0.8	
	Total	Direct	Ind.	Longitudinal	Transversal
1 x 36	0,69	0,69 C		1,40 h <sub>U</sub>	1,60 h <sub>U</sub>
1 x 58	0,68	0,68 C		1,40 h <sub>U</sub>	1,60 h <sub>U</sub>
2 x 36	0,71	0,71 C		1,40 h <sub>U</sub>	1,70 h <sub>U</sub>
2 x 58	0,70	0,70 C		1,40 h <sub>U</sub>	1,70 h <sub>U</sub>
4 x 18	0,73	0,73 C		1,35 h <sub>U</sub>	1,85 h <sub>U</sub>

# Description du Syldesign Paralume HR



Dimensions (mm)

Lampe	L	I	H	F	f	Poids (kg)
1 x 36 W	1284	196	98	1000		3.7
1 x 58 W	1584	196	98	1000		4.7
2 x 36 W	1284	325	98	1000		5.7
2 x 58 W	1584	325	98	1000		7.1
4 x 18 W	652	652	98	290	290	8.4

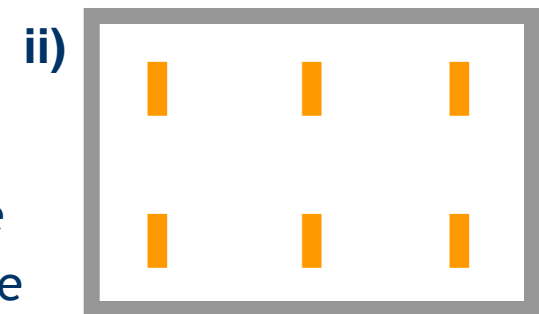
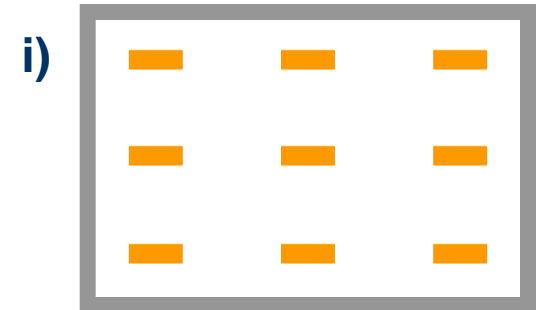
# Corrigé de l'exercice

- 5 types possibles pour ce luminaire

- 1x36 W
- 2x36 W
- 1x58 W
- 2x58 W
- 4x18 W

- Pour chaque type, deux placements

- i. Axe long. du luminaire || long. de la pièce
- ii. Axe trans. du luminaire || long. de la pièce



# Calcul de l'utilance

- L'indice de suspension est  $J=0$
- L'indice du local est:

$$K = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{8.5 \times 6}{2 \times (8.5 + 6)} = 1.76$$

- Le triplet de facteurs de réflexion est 753
- Le luminaire est de classe C
- L'utilance est calculée par interpolation linéaire entre la valeur à  $K=1.5$  (94%) et la valeur à  $K=2.0$  (101%) soit 97.6%

# Nombre min pour un éclairage suffisant

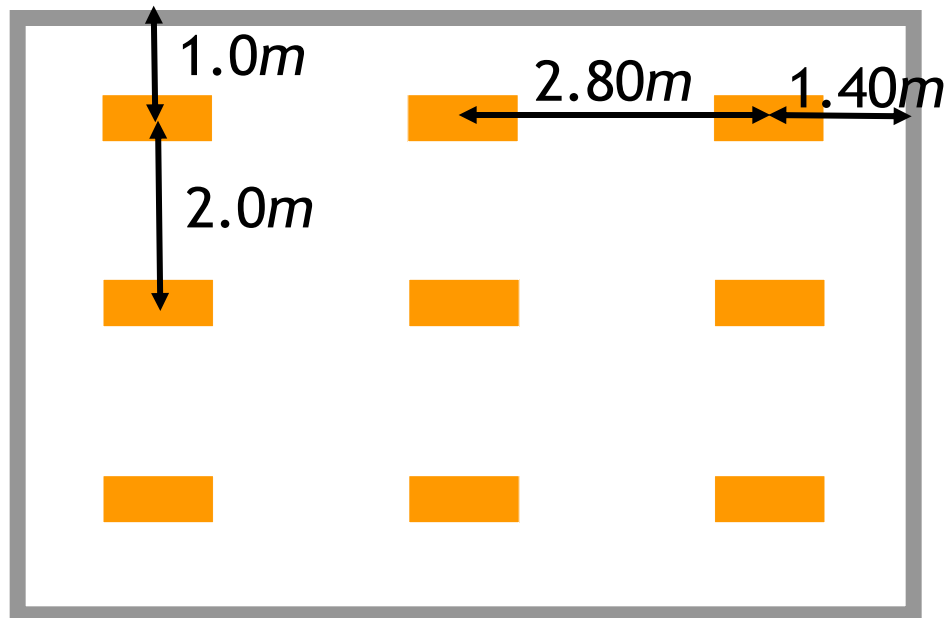
	1x36W	1x58W	2x36W	2x58W	4x18W
$n_{\text{lampe}}$	1	1	2	2	4
$F_{\text{lampe}}$ (lm)	3350	5200	3350	5200	1350
$\eta_{\text{lum}}$	0.69	0.68	0.71	0.70	0.73
$d$	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
$E_{\text{rec}}$ (lux)	425	425	425	425	425
$ab$ (m <sup>2</sup> )	51	51	51	51	51
$N_{\text{Erec}} >$	13.45	8.79	6.54	4.27	7.89

# Nombre min pour un éclairage uniforme

	1x36W	1x58W	2x36W	2x58W	4x18W
$\delta_{\text{long\_max}}$	2.8 (1.4x2)	2.8	2.8	2.8	2.7
$\delta_{\text{trans\_max}}$	3.2(1.6x2)	3.2	3.4	3.4	3.7
$N_{\text{placement i}^>}$	2 (6/3.2) x 3 (8.5/2.8)	2x3	2x3	2x3	2x4
$N_{\text{placement ii}^>}$	3 (6/2.8) x 3 (8.5/3.2)	3x3	3x3	3x3	3x3
$N_{\text{Erec}^>}$	13.45	8.80	6.50	4.27	7.88
$N_{\text{lum}}$	3x5	3x3	2x4	2x3	4x2
W/m <sup>2</sup>	10.6	10.2	11.3	13.6	11.3

- $N_{\text{Erec}}$  et  $N_{\text{placement}}$  voisins, et W/m<sup>2</sup> le plus bas
- Solution retenue: 3x3 luminaires de 1x58W

# Schéma d'implantation





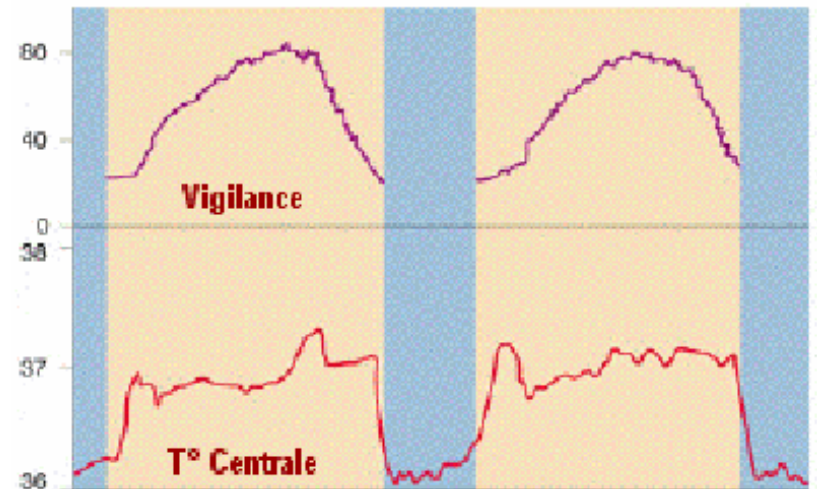
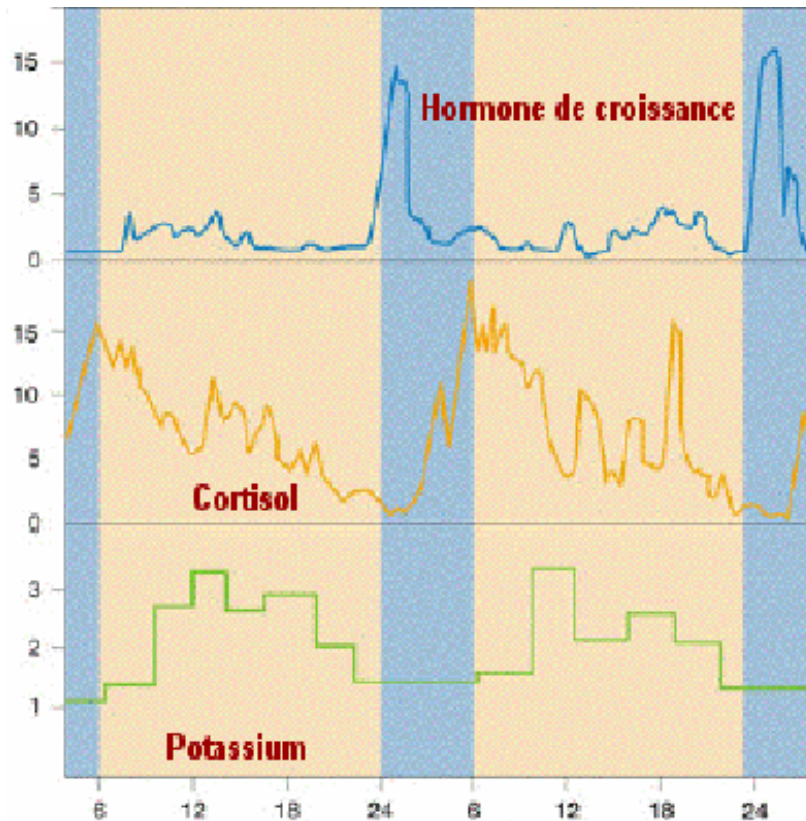
## IV. Lumière et rythmes biologiques

1. Les rythmes biologiques
2. Les mécanismes d'influence
3. La dépression saisonnière
4. Implications sur l'éclairage
5. Autres aspects liés à la santé

## IV.1 Les rythmes biologiques

- La rythmicité est une propriété du vivant
- Rythmes annuels
  - reproduction des mammifères printemps/été
  - dépression saisonnière (SAD)
  - lorsque la lumière du jour croît ou décroît
- Rythmes journaliers ou circadiens
  - circa (environ) et diem (jour)
  - sommeil/veille (1/3, 2/3, du matin ou du soir)
  - faim/soif
  - sécrétions hormonales

# Exemples de rythmes circadiens

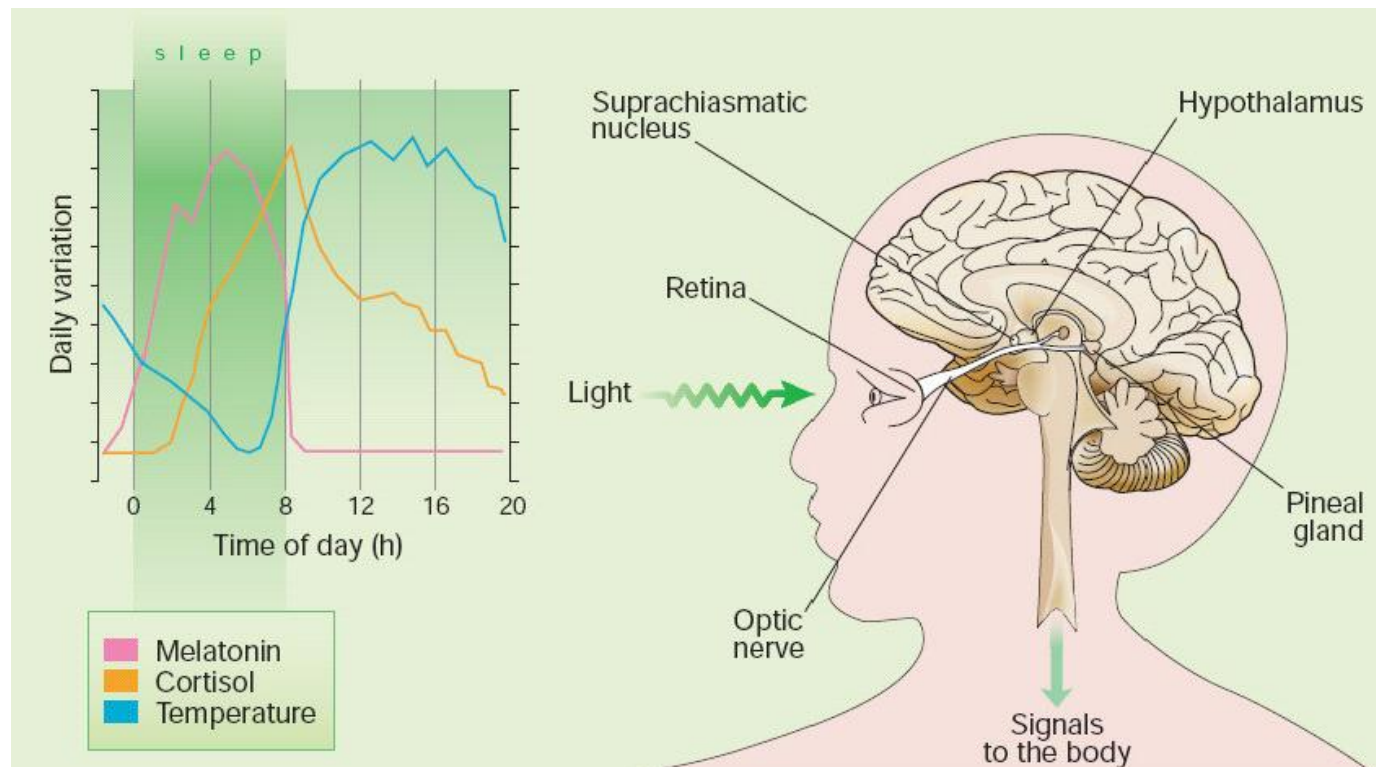


## IV.2 Les mécanismes d'influence

- Des photorécepteurs autres que ceux de la vision agissent sur notre horloge biologique: le Noyau Supra Chiasmatic (50000 neurones)
- Le NSC est le synchroniseur principal
- C'est une hormone: la mélatonine qui informe l'organisme de la période de sommeil

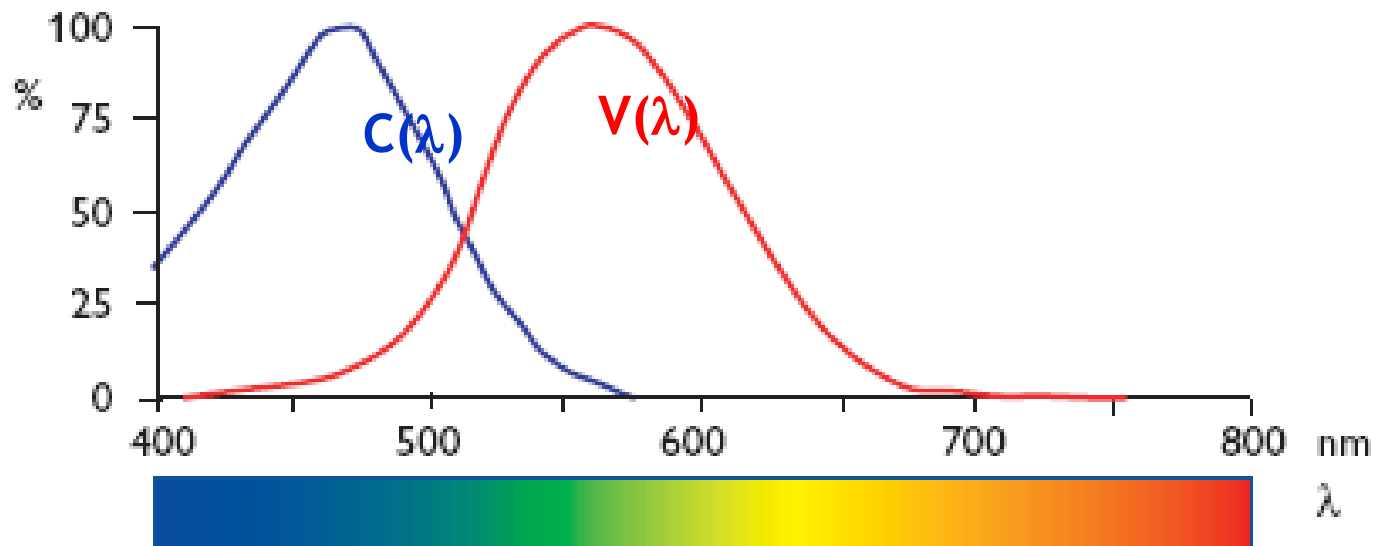
# La lumière: synchroniseur d'horloge

- L'horloge: le noyau suprachiasmatique
- L'hypothalamus contrôle les sécrétions hormonales
- La glande pinéale sécrète la mélatonine



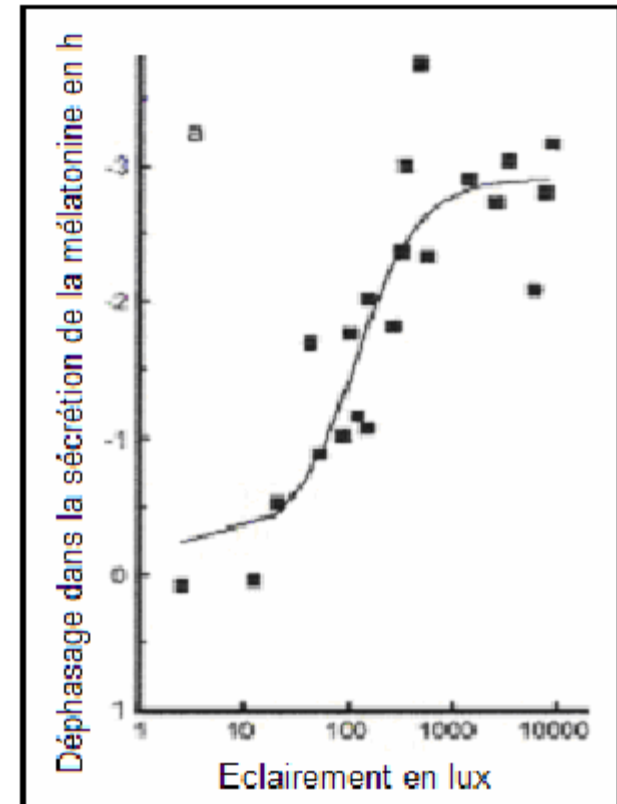
# Les photorécepteurs « circadiens »

- 1 à 3% des cellules rétiniennes ganglionnaires formant le nerf optique contiennent un photo pigment appelé la mélanopsine (Opn4)
- Sa sensibilité spectrale est différente du système visuel (max dans le bleu, celui du ciel, à 480 nm)



# La lumière : synchroniseur d'horloge

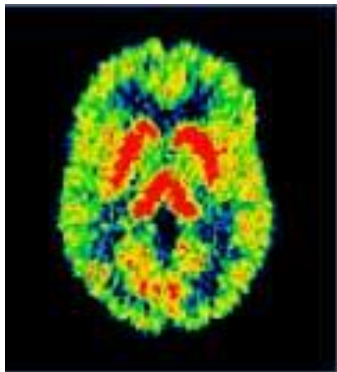
- La lumière reçue au niveau de l'œil provoque un déphasage de la production de mélatonine
- L'amplitude du déphasage dépend de l'éclairement
- Le sens du déphasage dépend de l'heure
  - matin avance de phase
  - soir retard de phase
- La nuit doit se faire dans l'obscurité !



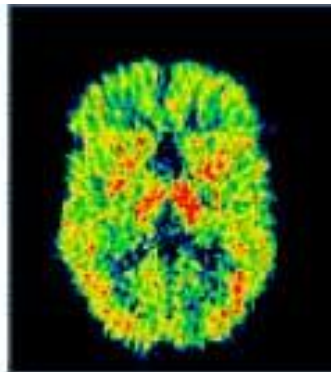


# La lumière : activateur du cerveau

- L'imagerie médicale montre qu'une exposition à la lumière augmente l'activité du cerveau
  - Zones concernées par l'éveil et la vigilance
  - Zones concernées par la connaissance, la mémoire
  - Zones concernées par l'humeur



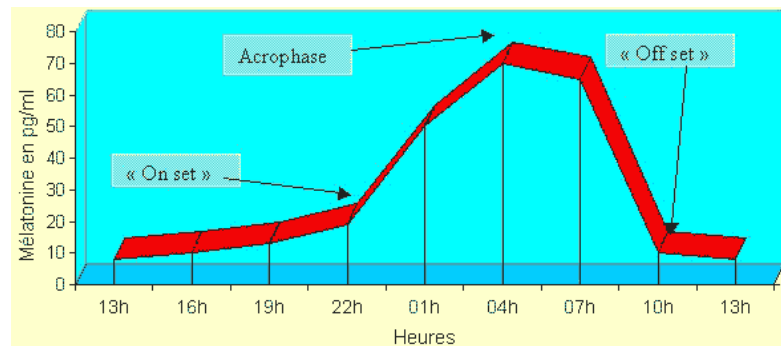
+ exposée



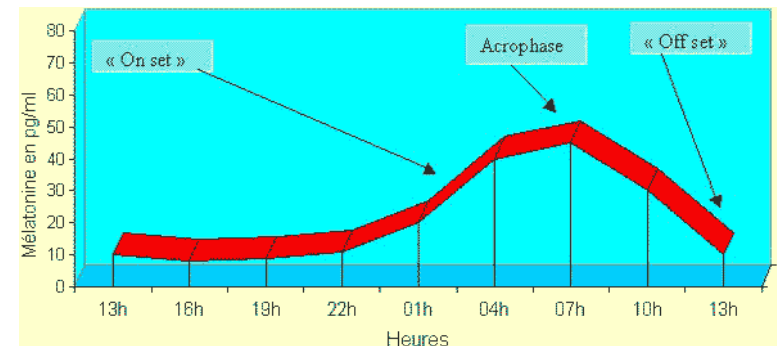
- exposée

## IV.3 La dépression saisonnière (SAD)

- Manque de moral, perte du plaisir, baisse de la créativité, difficulté à dormir
- Observée à partir de Septembre
- 4% « dépression » et 20% « mal être »
- Liée à un taux de mélatonine réduit et déphasé



Normal



SAD

# Soin de la dépression saisonnière

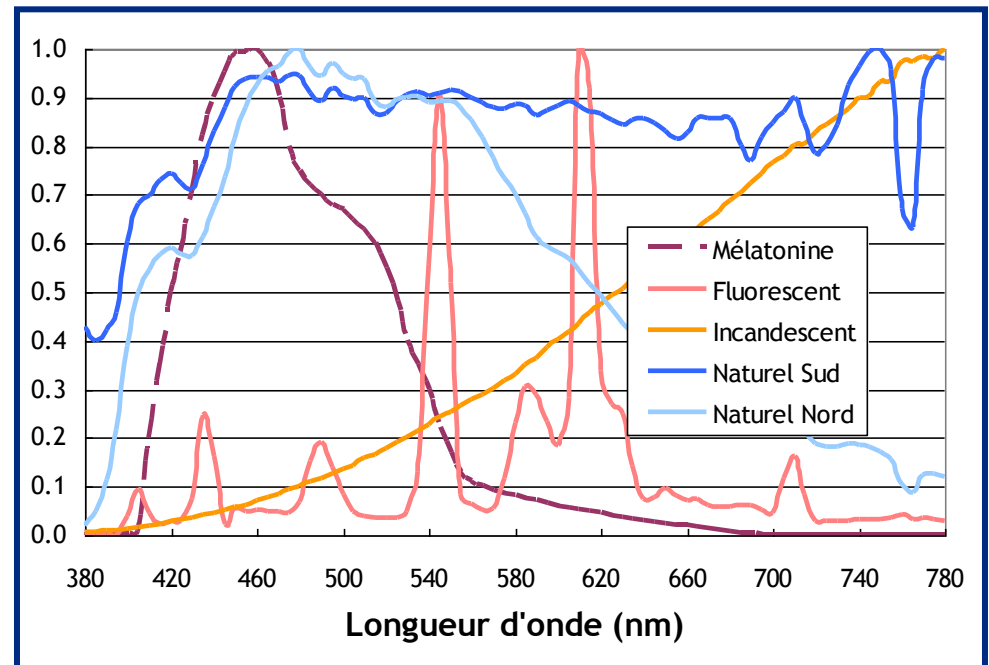
- Luminothérapie

- Se placer près d'une source de lumière
- éclairage de 2500 à 10000 lux
- le matin pendant 15 jours
- avance la production de mélatonine



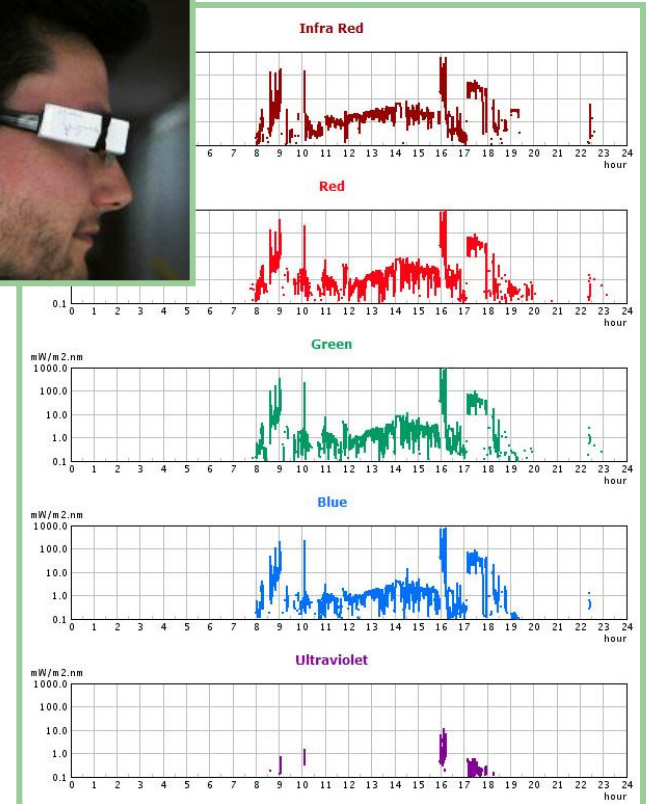
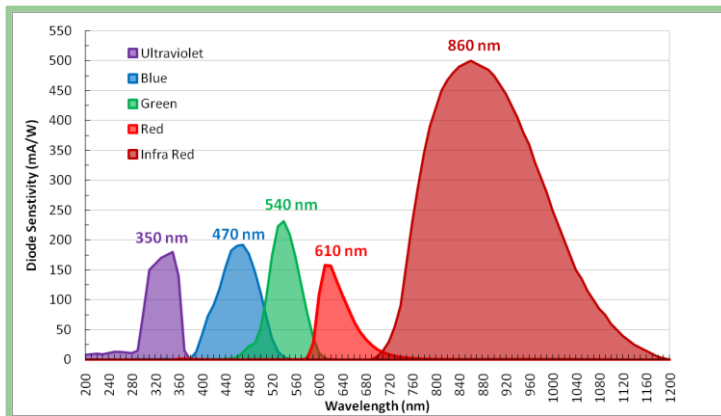
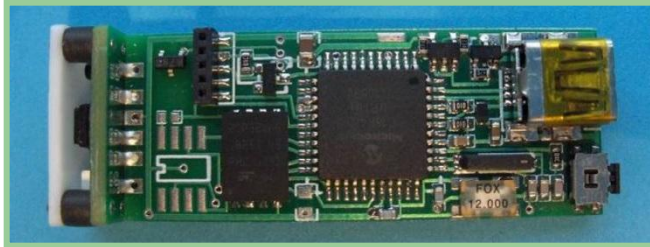
## IV.4 Implications sur l'éclairage

- Eclairement défini à partir de  $C(\lambda)$ , pas  $V(\lambda)$
- Eclairement sur la rétine, pas sur le bureau
- Dose de lumière reçue du lever au coucher (lux.h)
- Efficacité circadienne des sources



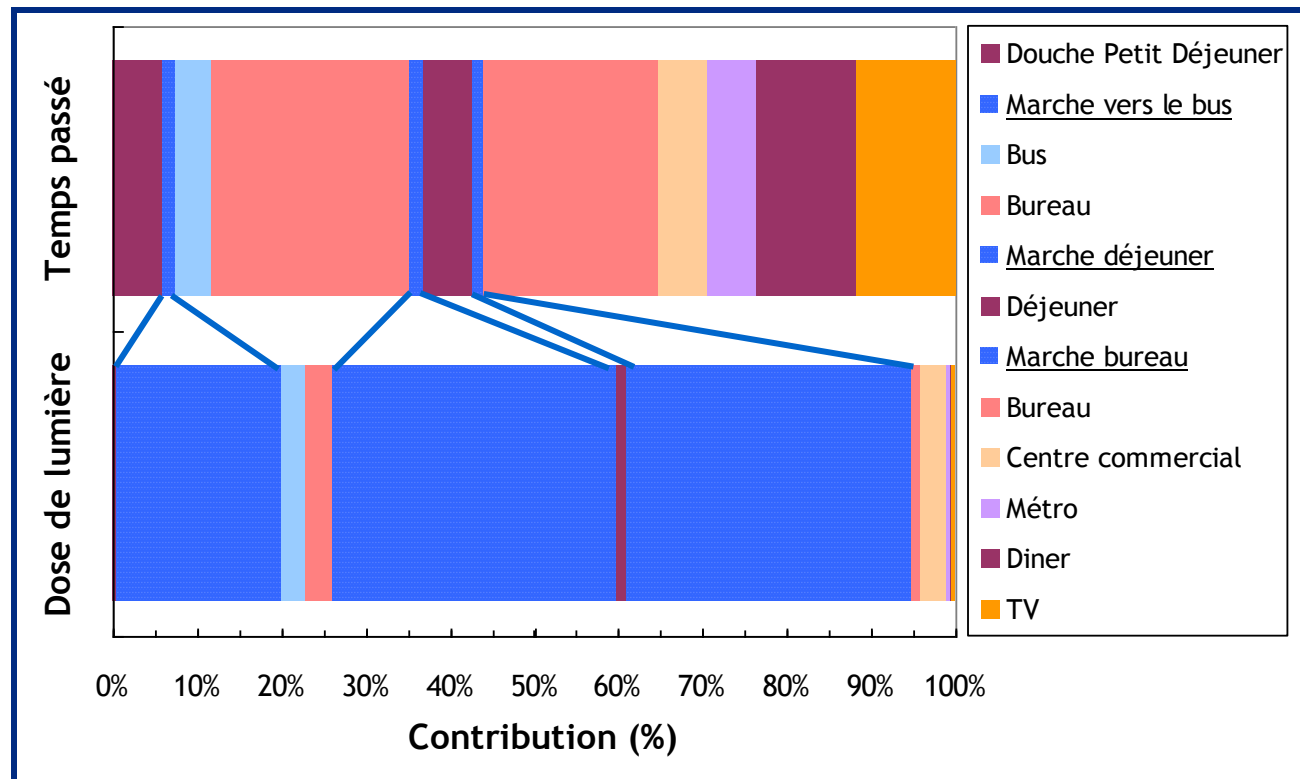
# Système de mesure des doses de lumière

- LightWatcher développé dans le projet EUClock/2009



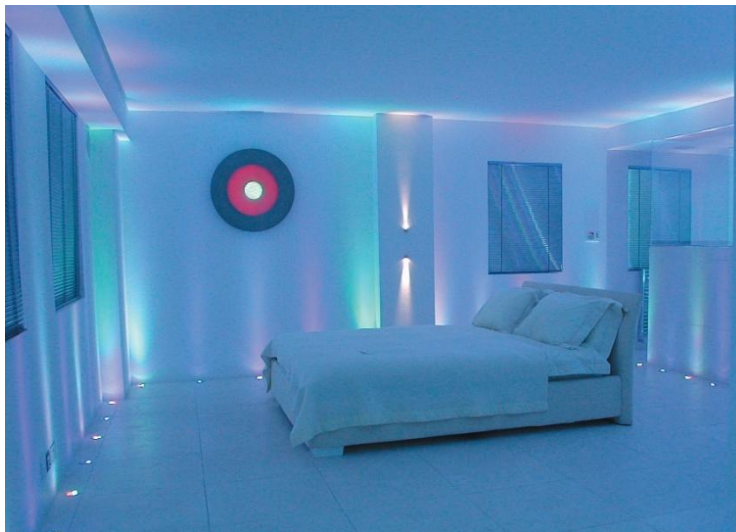
# Profitez de la lumière naturelle extérieure !

- Elle fournit de loin les doses les plus importantes
- On passe au moins 90% de notre temps à l'intérieur



# Implications sur l'éclairage

- Vers un éclairage intérieur dynamique ?
  - Éclairements élevés de lumière bleutée, le matin
  - Eclairements plus faibles, l'après-midi et le soir
  - Obscurité complète la nuit, lumière rouge si besoin



**Matin**



**Soir**



## IV.5 Autres aspects liés à la santé

- Rayonnement électromagnétique
  - Lié au système d'alimentation des lampes à décharge
  - Pas de danger, éviter de rester à moins de 30 cm
- Effets photochimiques de la lumière bleue
  - Lumière bleue présente dans les LEDs blanc froid
  - Lien avec la dégénérescence de la rétine (DMLA)
  - Personnes sans cristallin, enfants, installateurs éclairagistes
- Mercure contenu dans les lampes
  - Très petites quantités: < 3 mg
  - Les recycler : Récyllum



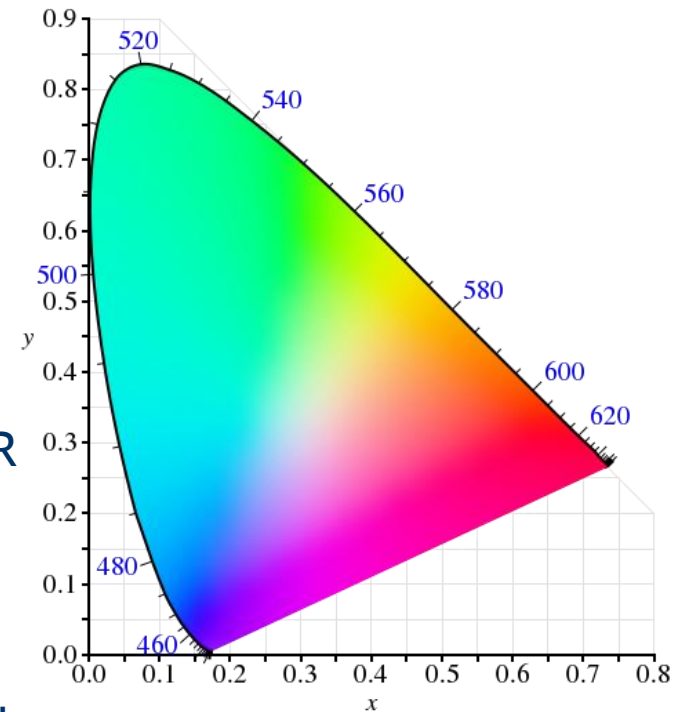
# Rayonnement solaire et vitamine D

- Essentiel pour la santé
  - lutte contre le rachitisme (défaut de calcification des os)
  - renforce les défenses immunitaires
  - lutte contre le cancer
- Par quel moyen ?
  - exposition au soleil UVB, 20 mn sur les avant-bras, le visage
  - huile de foie de morue
  - jus d'orange, lait
  - compléments vitaminés, attention aux surdoses !



# Colorimétrie

- Normalisation d'un système qui permet d'interpréter avec précision les sensations colorées
- « Observateur de référence » de la CIE. CIE 1931
  - Coordonnées chromatiques (x,y)
- La CIE a normalisé un jeu de trois couleurs primaires, monochromatiques
  - 700,0 nm pour le stimulus rouge appelé R
  - 546,1 nm pour le stimulus vert appelé V
  - 435,8 nm pour le stimulus bleu appelé B
- $r$  (*petit r*),  $v$  (*petit v*),  $b$  (*petit b*): quantité de chacune de ces primaires nécessaire pour égaliser l'ensemble des radiations monochromatiques du spectre visible



# Indice de rendu des couleurs

- Capacité d'une source de lumière à restituer les différentes couleurs du spectre visible sans en modifier les teintes.
- Rendu sous une lumière donnée, par comparaison à l'aspect chromatique sous un illuminant de référence (corps noir à 5000 K)
- $R_a$  = Moyenne des  $R_i$  calculés sur 8 échantillons de couleurs proposés par la CIE. (Ecart des coordonnées chromatiques de la lumière réfléchie)
- IRC entre 0 et 100
- Exemples
  - Lampes à incandescence : IRC = 100
  - Lampes fluorescentes blanc industrie : IRC = 50 à 70
  - Lampes fluorescentes selon qualité : IRC = 85, 90, 95
  - Ballons fluorescents : IRC = 50
  - Lampes aux iodures métalliques : IRC = 60
  - Lumière du jour : IRC = 100
  - Lumière du jour derrière des vitrages teintés : IRC = 90 à 100

