

Etat de l'art de la recherche dans le domaine des lampes à décharge et de leurs systèmes

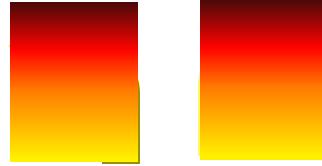


Association Arc Electrique
Paris
16 novembre 2005

G. Zisis
georges.zisis@cpat.ups-tlse.fr

Comment produire de la lumière sans électricité

CHAUD



FROID

Incandescence



- ✓ Feu
- ✓ Torches
- ✓ Chandelles
- ✓ Lampes à huile
- ✓ Lampes à gaz



Luminescence

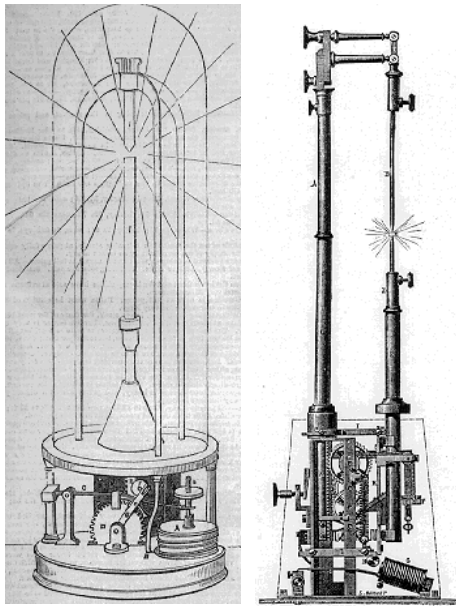


- ✓ Bioluminescence
- ✓ Phosphorescence
- ✓ Tribo & Pyro-luminescence
- ✓ Foudre

Comment produire de la lumière avec électricité

Arc Electrique

Arc au charbon



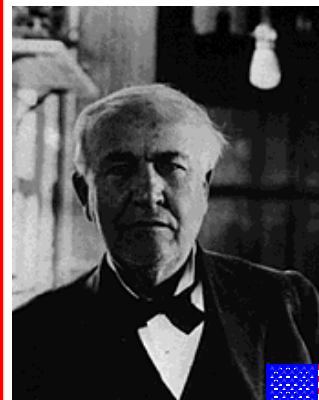
*Humphry Davy &
Michael Faraday*



1812-13



Filament au charbon

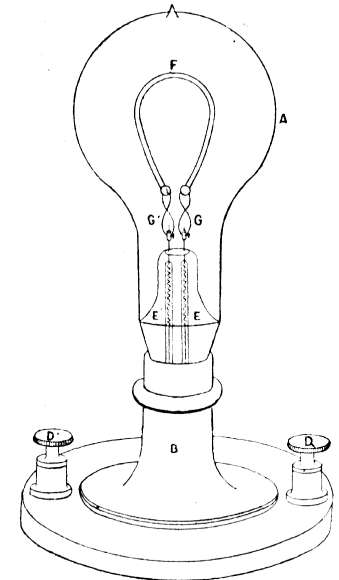


Thomas Edison

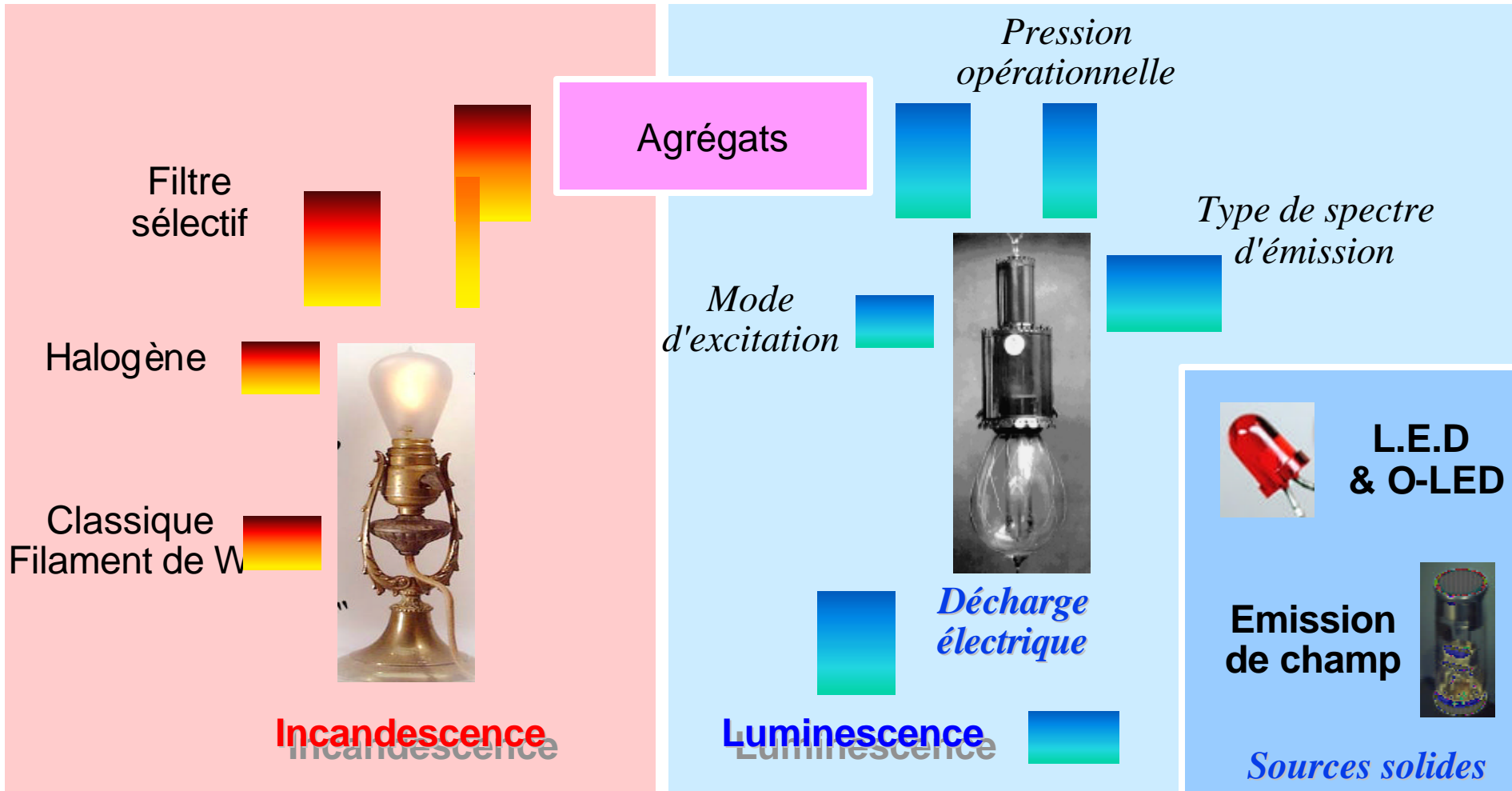
1878



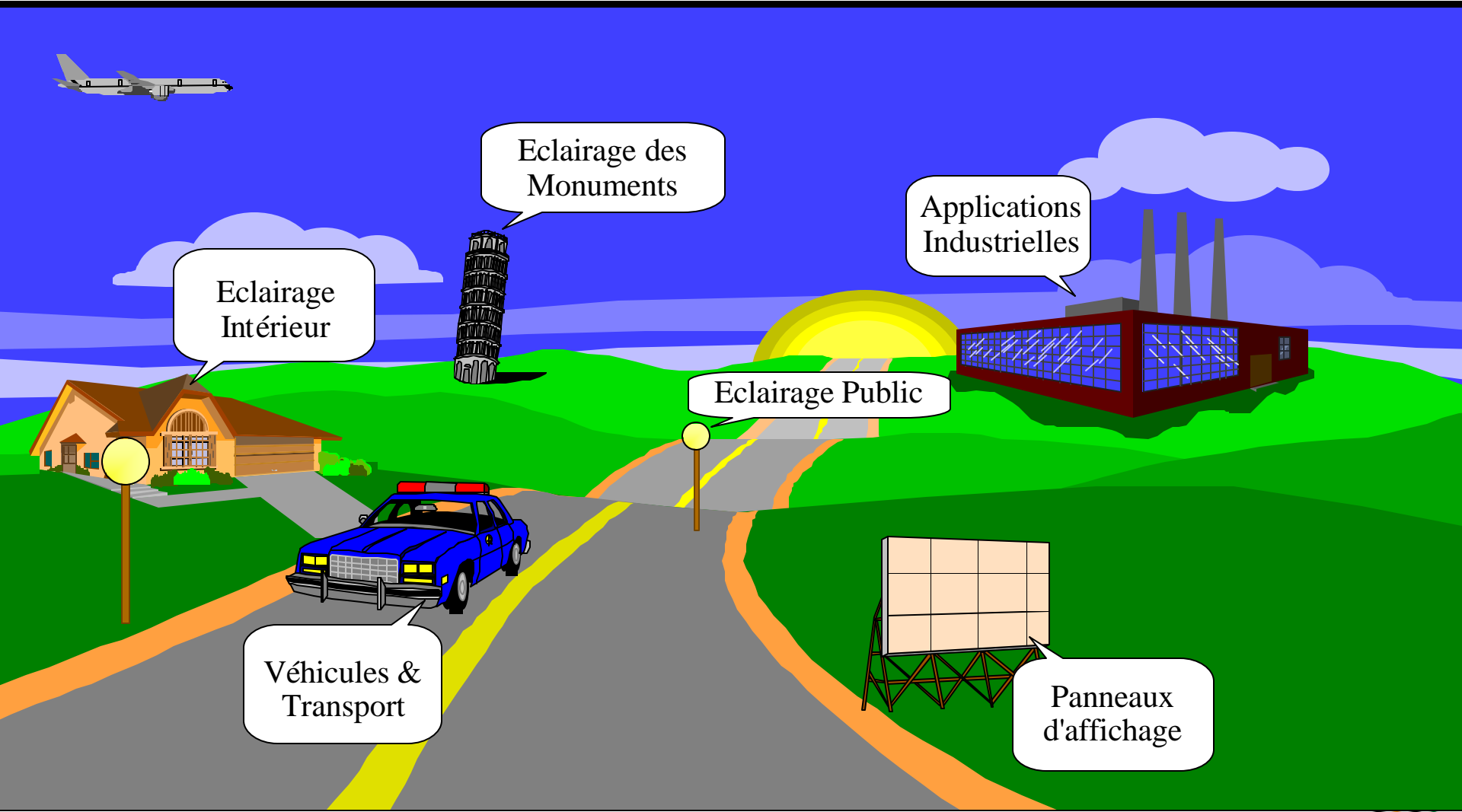
Incandescence



La famille des lampes électriques



Les lampes sont partout !



Eclairage Intérieur

Eclairage des Monuments

Applications Industrielles

Eclairage Public

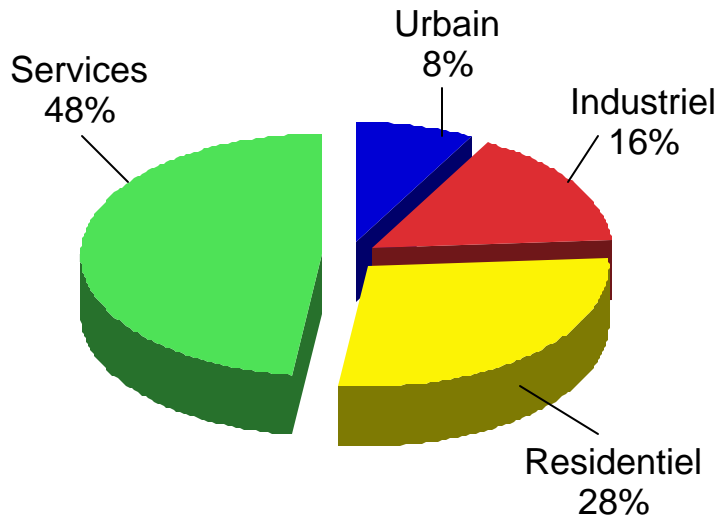
Véhicules & Transport

Panneaux d'affichage

Quelques chiffres

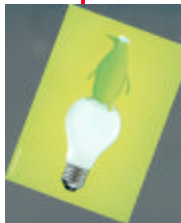
- 2 100 TWh Energie électrique consommée par an
- 15%-17% de la production mondiale d'électricité
- 200 milliards d'Euros par an (consommation électrique)

- ✓ 5% Luxembourg
- ✓ 12% France → *Plus de 50 TWh*
- ✓ 21% USA → *Production globale FR + IT*
- ✓ 34% Tunisie } *Eclairage, facteur de*
- ✓ 86% Tanzanie } *development durable*



- 33 milliards de lampes fonctionnent chaque jour
- 10 milliards de lampes nouvelles par an

- 1 800 millions de tonnes de CO₂ par an
- 80 tonnes de déchets contenant du Hg en France par an (lampes fluorescentes)
- Nuisances Lumineuses



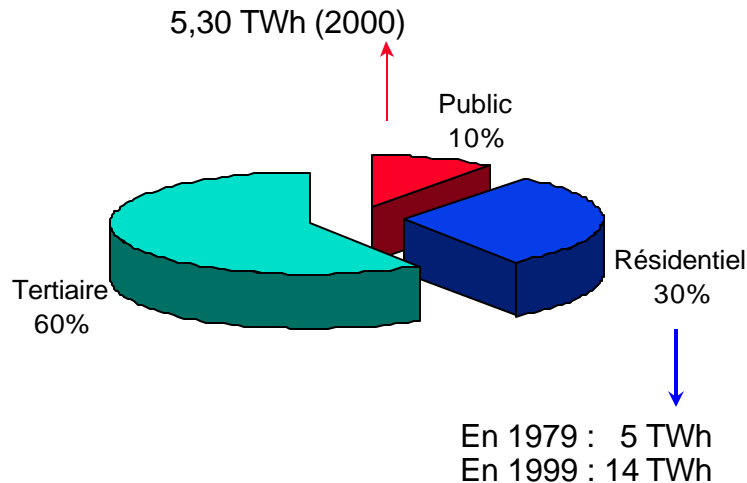
(Mils, RL-5, 2003)

Quelques chiffres

- 2 100 TWh Energie électrique consommée par an
- 15%-17% de la production mondiale d'électricité
- 200 milliards d'Euros par an (consommation électrique)

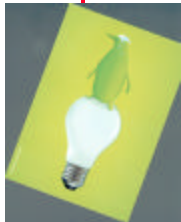
- ✓ 5% Luxembourg
- ✓ 12% France → Plus de 50 TWh
- ✓ 21% USA → Production globale FR + IT
- ✓ 34% Tunisie } Eclairage, facteur de
- ✓ 86% Tanzanie } développement durable

53 TWh pour la France en 2000



- 33 milliards de lampes fonctionnent chaque jour
- 10 milliards de lampes nouvelles par an

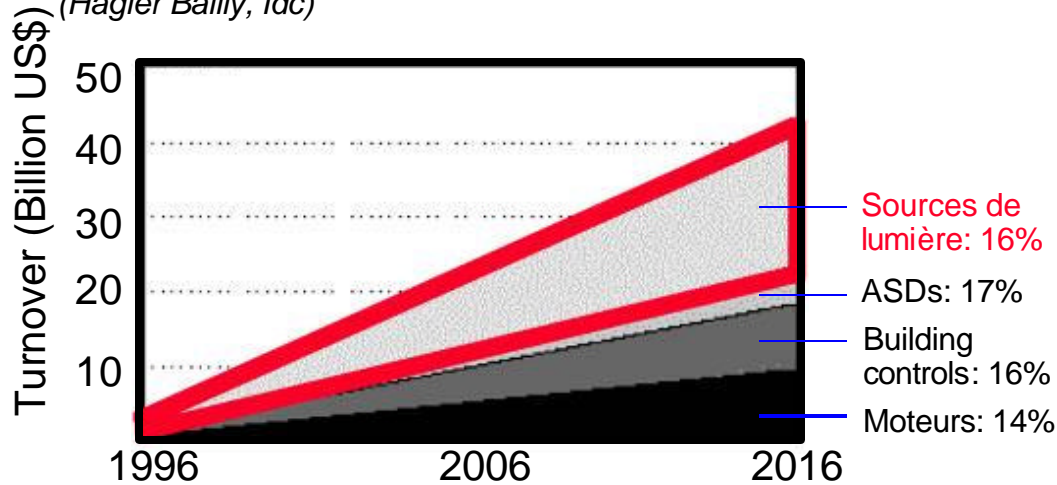
- 1 800 millions de tonnes de CO₂ par an
- 80 tonnes de déchets contenant du Hg en France par an (lampes fluorescentes)
- Nuisances Lumineuses



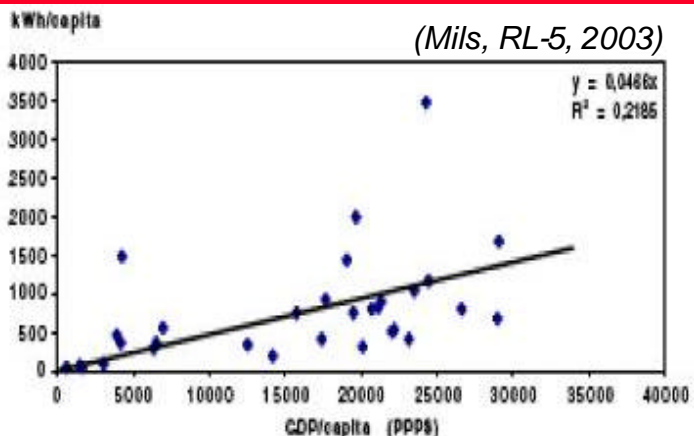
L'industrie de l'éclairage, un secteur à croissance rapide...

Les secteurs technologiques avec le plus de croissance

(Hagler Bailly, Idc)



Ceci n'inclut pas les industries associées et les autres applications des lampes

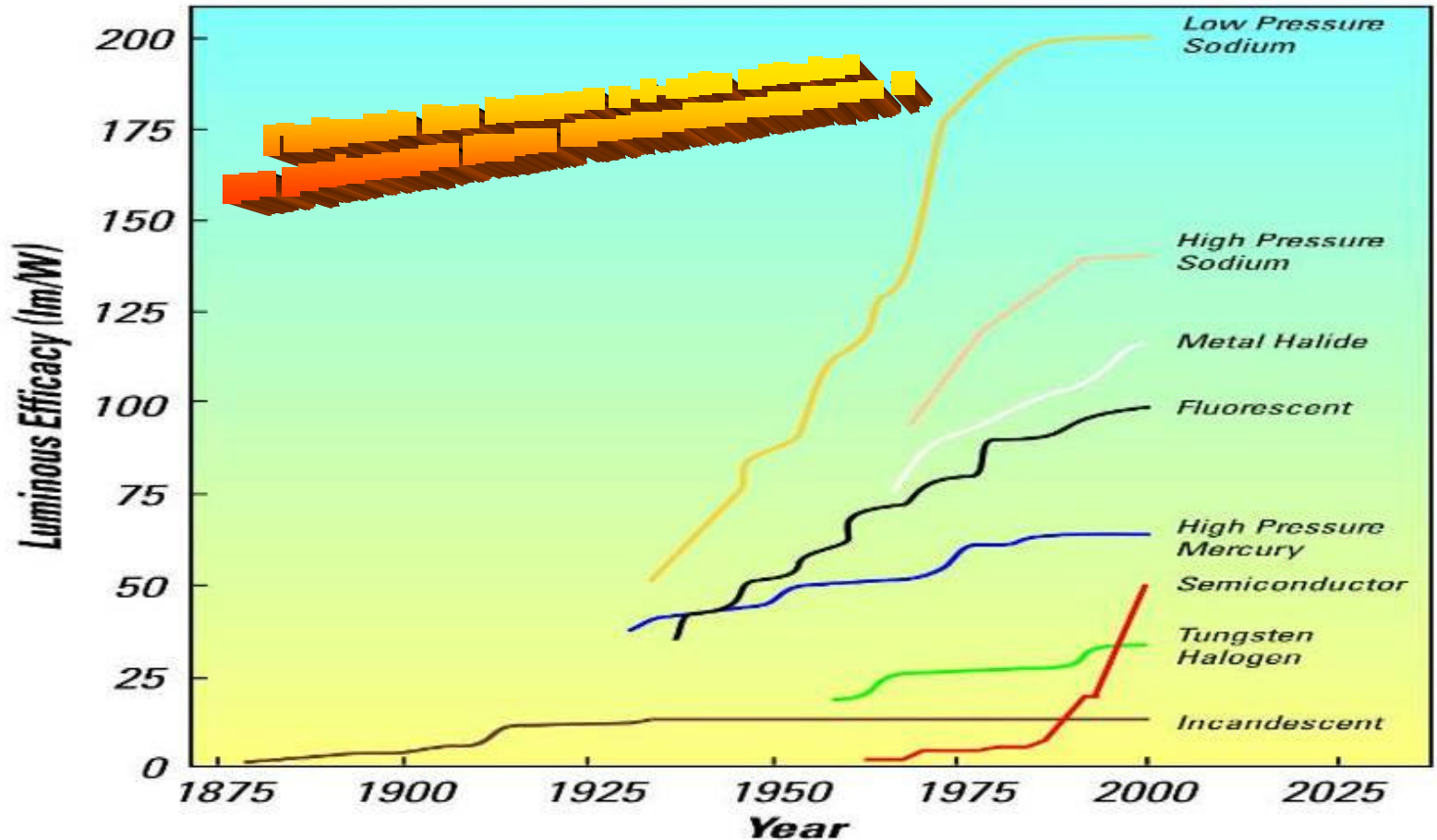


Les besoins augmentent:

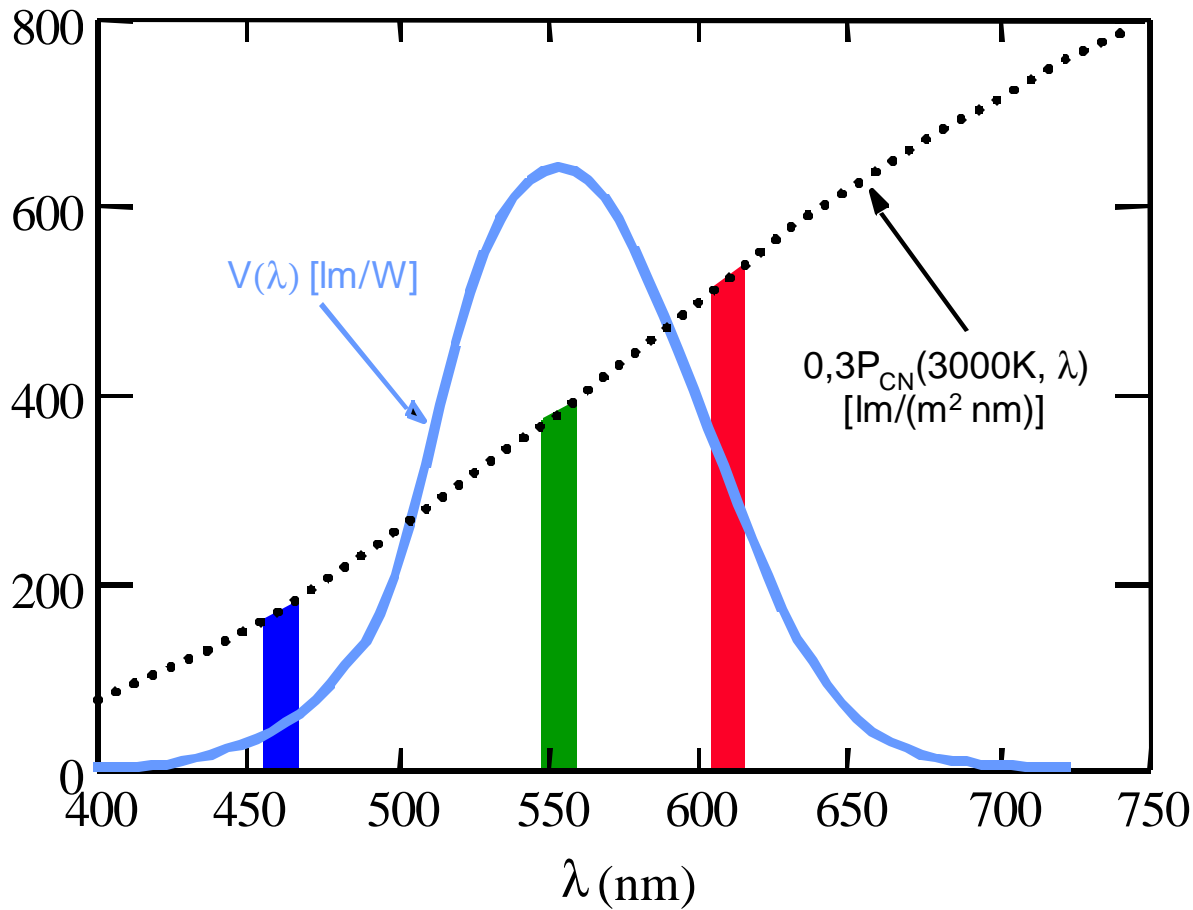


L'OECD prévoit une croissance de la demande
Par un facteur 2 dans les décennies à suivre...

Evolution de l'efficacité lumineuse des sources

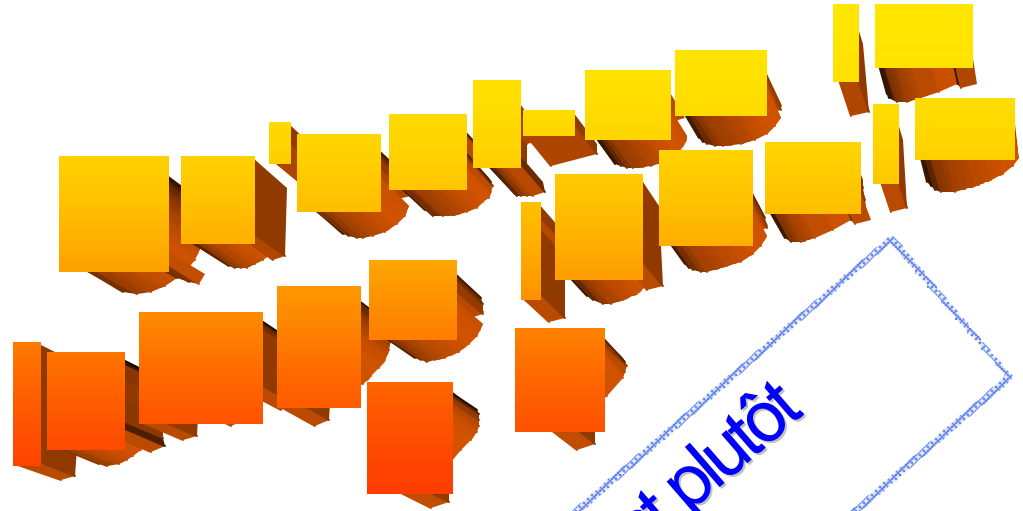
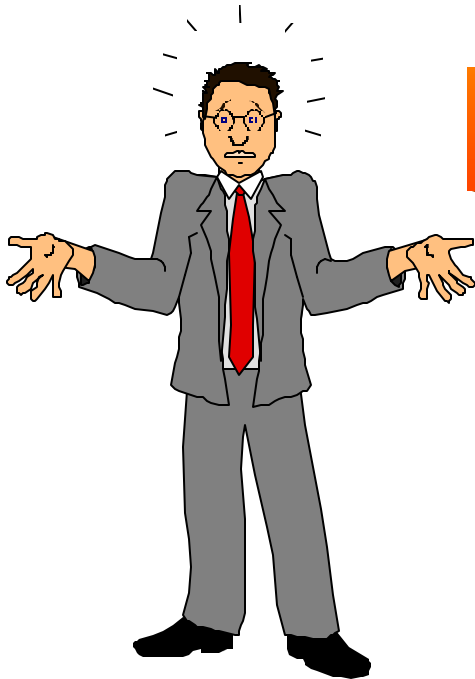


La limite théorique pour la lumière blanche



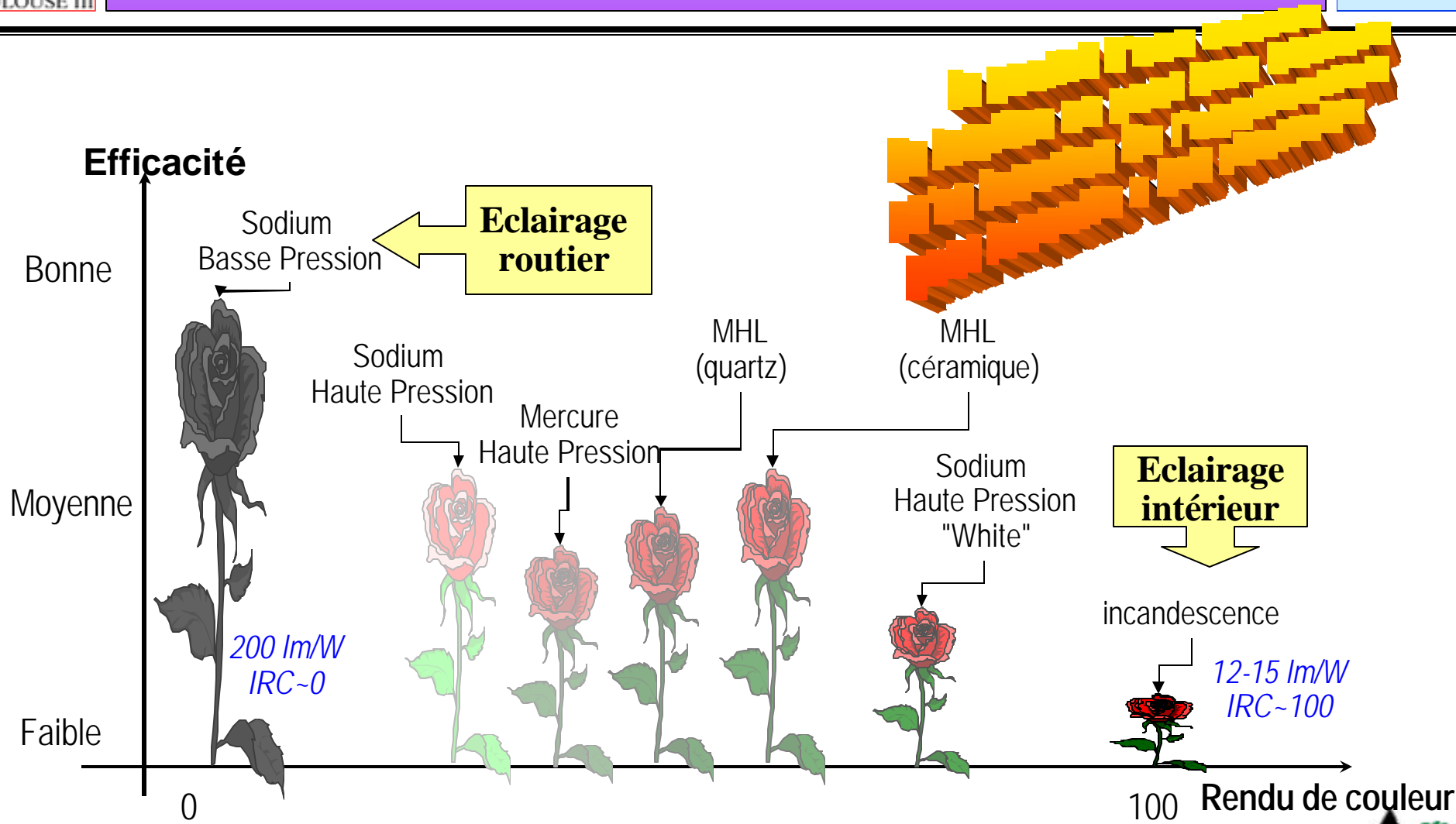
Efficacité
300 lm/W

Question:



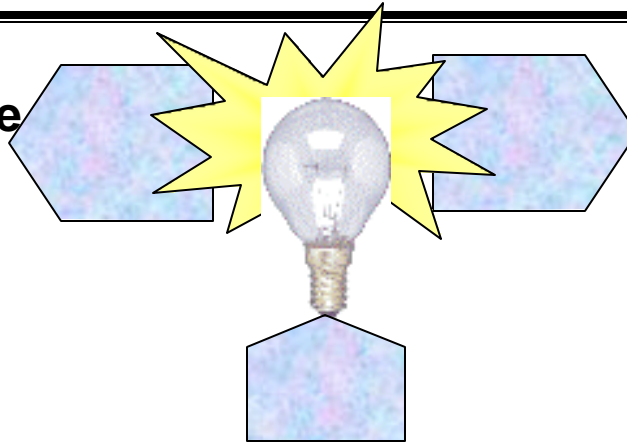
La réponse est plutôt
complexe !

Une première réponse partielle...



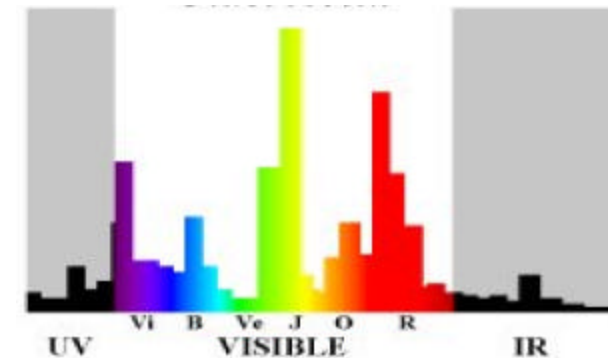
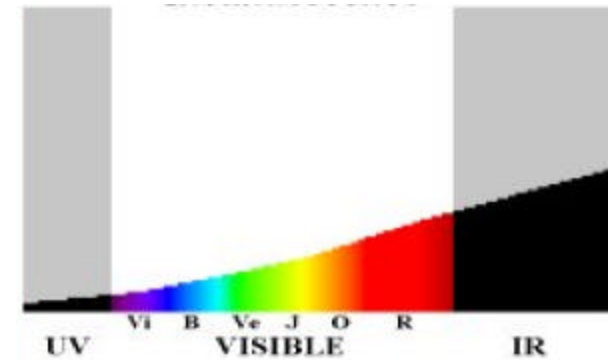
Que faut-il prendre en compte ?

Puissance émise
 $P_r(\lambda)$



Puissance électrique
 P_{in}

Spectre
 I_λ



✓ Efficacité électrique (%)

$$e = \frac{\int_0^{\infty} P_r(\lambda) d\lambda}{P_{in}}$$

✓ Efficacité lumineuse (lm/W)

$$h = k \frac{\int_{400}^{700} P_r(\lambda) V_{ph}(\lambda) d\lambda}{P_{in}}$$

✓ Indice de Qualité de vie

a_{cv}

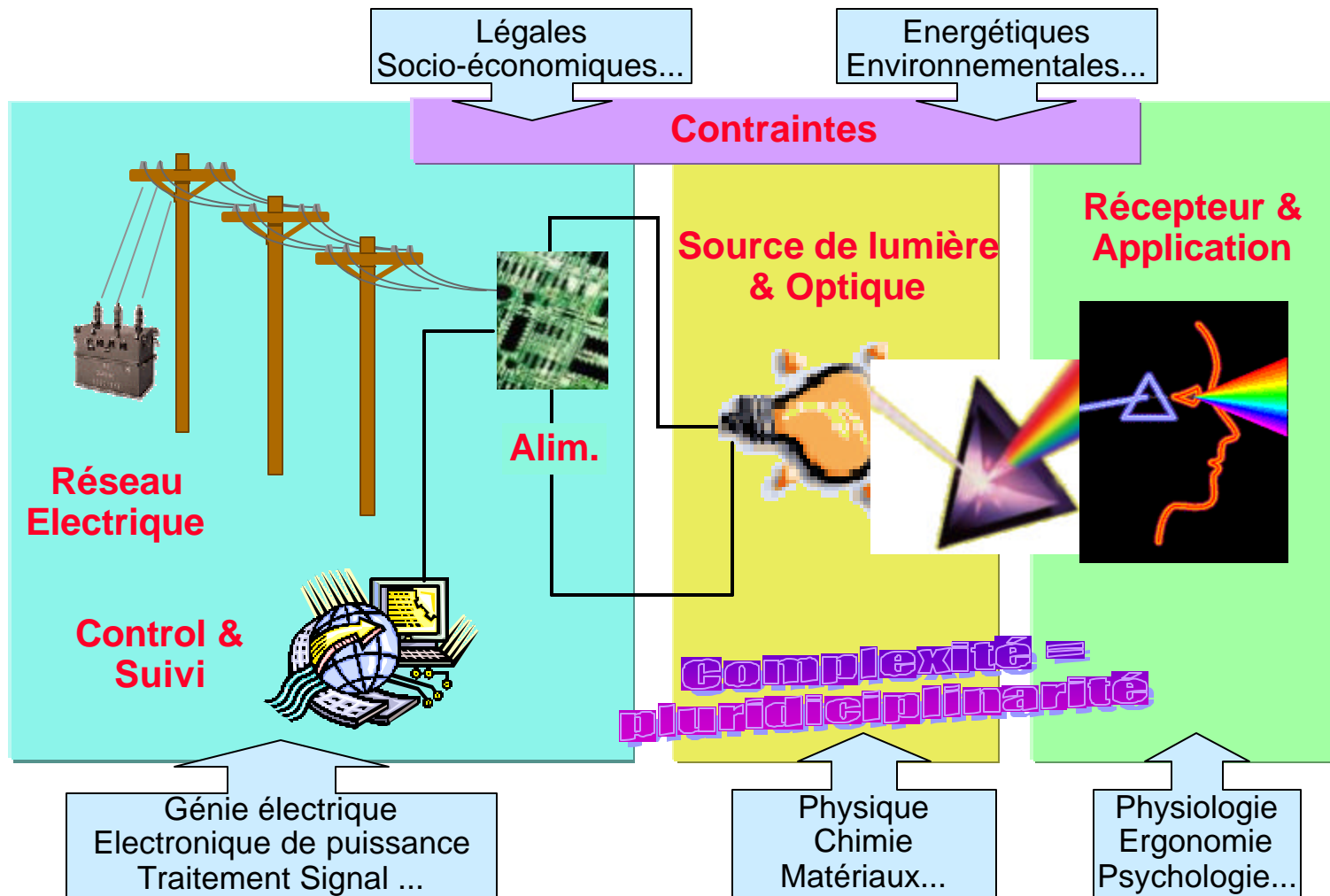
✓ Indice Rendu Couleurs

IRC

✓ Temp. de couleur

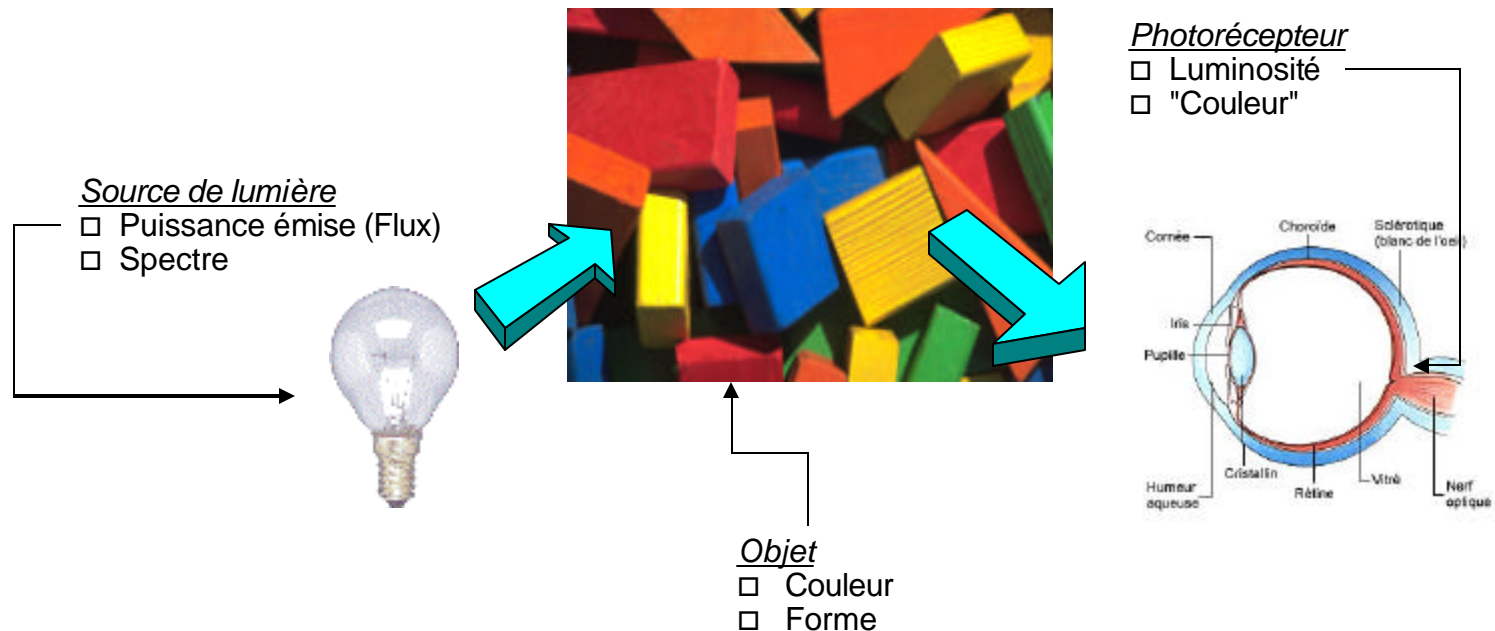
T_c

La lampe n'est qu'un élément d'un système complexe



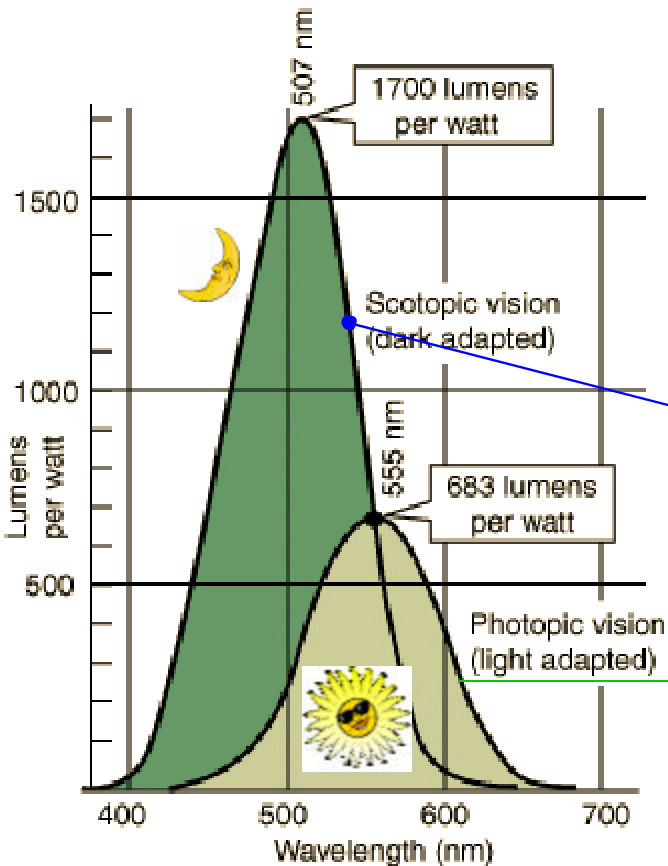
Que signifie "Voir" ?

Voir: Utiliser un photorécepteur afin de détecter, localiser et identifier un objet éclairé par une source de lumière

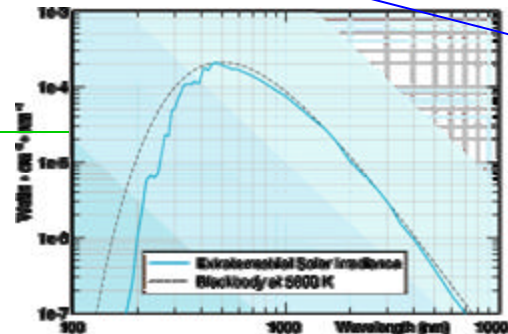


Le photorécepteur

Réponse à la luminosité



- L'œil répond différemment en fonction de la quantité de lumière qu'elle reçoit
- L'œil présente un maximum de sensibilité vers 555 nm dans les conditions de vision « photopique ». Autour de cette longueur d'onde la sensibilité décroît et s'annule vers 380nm et 760nm.



UV  IR



A titre d'exemple: Le projet Européen FP5-Energie "NumeLiTe"

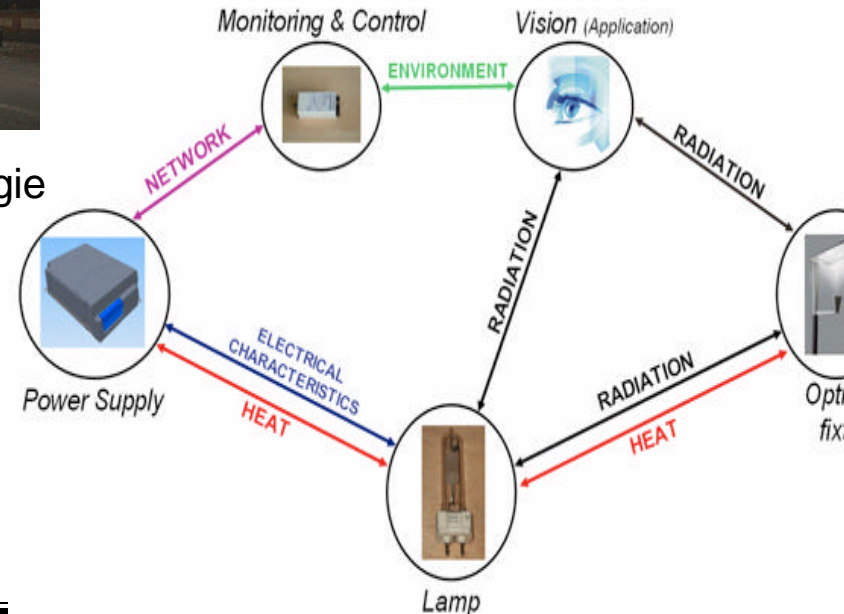


Objectif: Créer, étudier et valoriser un système d'éclairage urbain innovant

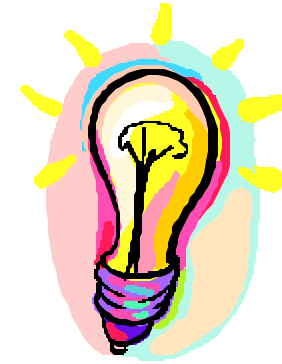
11 partenaires - 6 pays
3 ans - 6,6 M€



Europe: Economies d'énergie
estimées à 5 TWh/an



Quel sera le futur ?



© CartoonLink.com and Stu Heinecke, Inc.



Lampes basse pression

Phosphores (Challenge Majeur)

Comme éviter ~50% des pertes dues à la conversion?

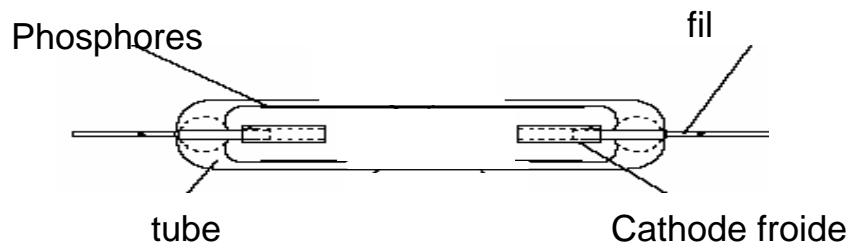
- Quantum splitting phosphors – 2 photons visibles pour chaque UV photon – Quelques progrès
- Produire directement de la lumière visible en utilisant des émetteurs moléculaires

Electronique de Puissance

- Améliorer les conditions de fonctionnement
- Gradation profonde
- Contrôl permanent de l'état

Eviter la Métrique

Lampes pour applications spéciales (backlighting)



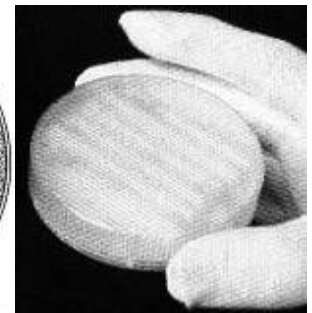
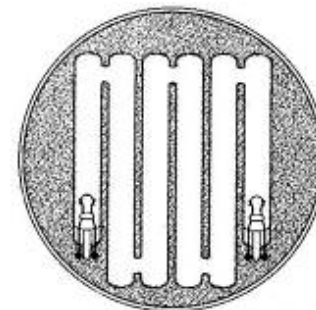
Forme et Qualité

Il reste encore des choses à faire...

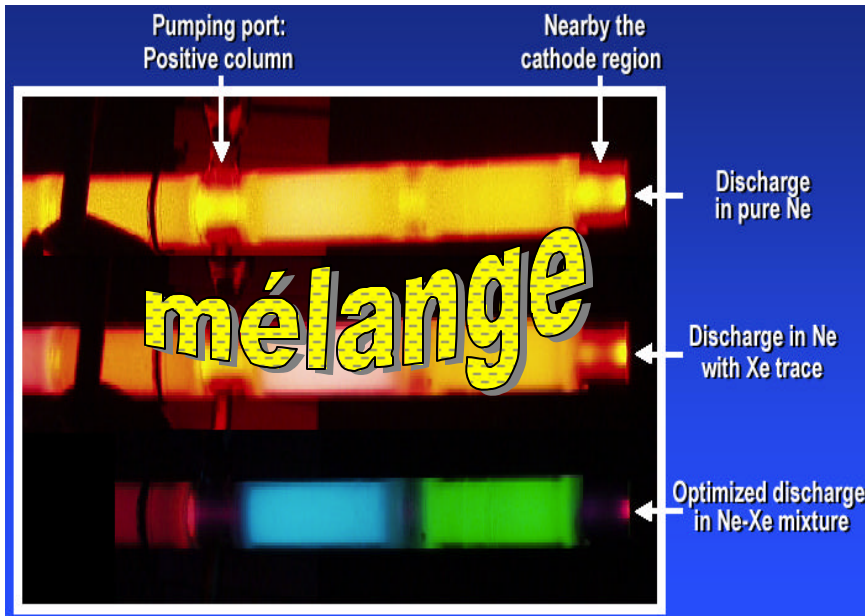
Heliax CFL (GE)



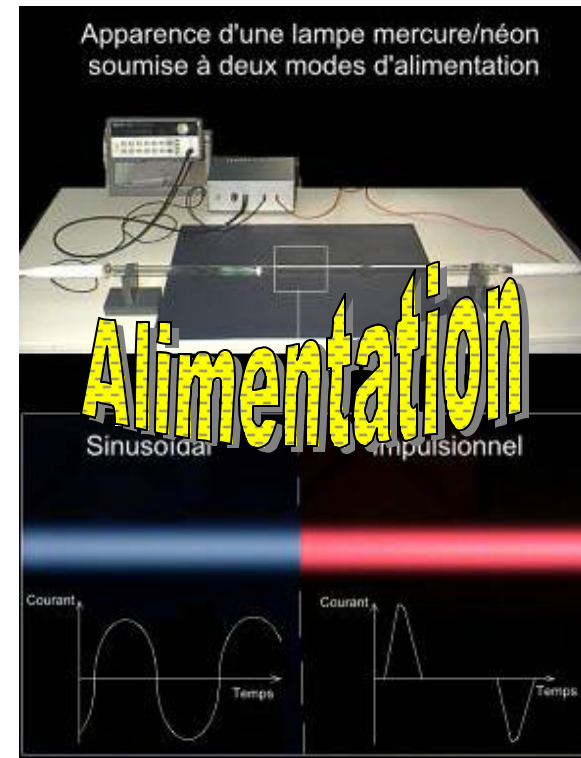
Self-ballasted MicroLynx (Sylvania)



Lampes basse pression: Contrôler la couleur



- ✓ Eclairage publicitaire
- ✓ Automobile



Mélange : Hg (qq μ bar) + Gaz-rare(s) (qq mbar)

Lampes Haute Pression

Produire de la
lumière blanche
sans mercure

MHLs Ceramiques

- Puissance: 20 - 400 W
- Efficacité: 70 -100 lm/W
- IRC: 86 - 95
- T_{cp} : 3000 - 4500 K
- Durée de vie: 7000-16000 h

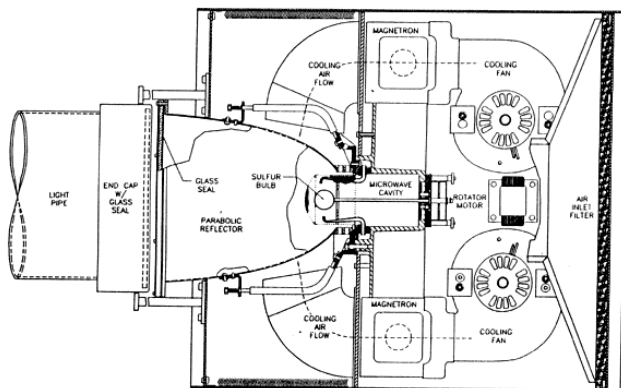
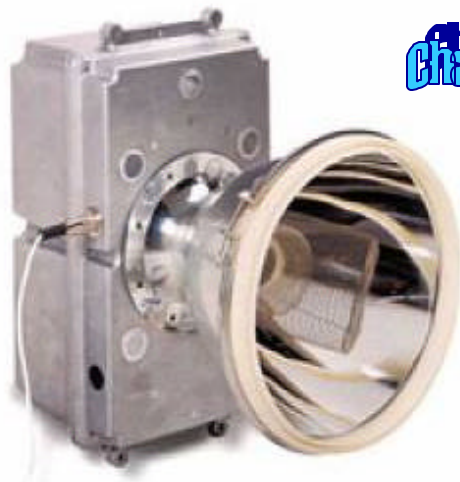


- Forme et volume
- Stabilité et contrôle de la couleur
- Meilleure durée de vie et stabilité
- Ballasts électroniques
- Gradation en fonction des besoins visuels
- Accélération de la mise en régime

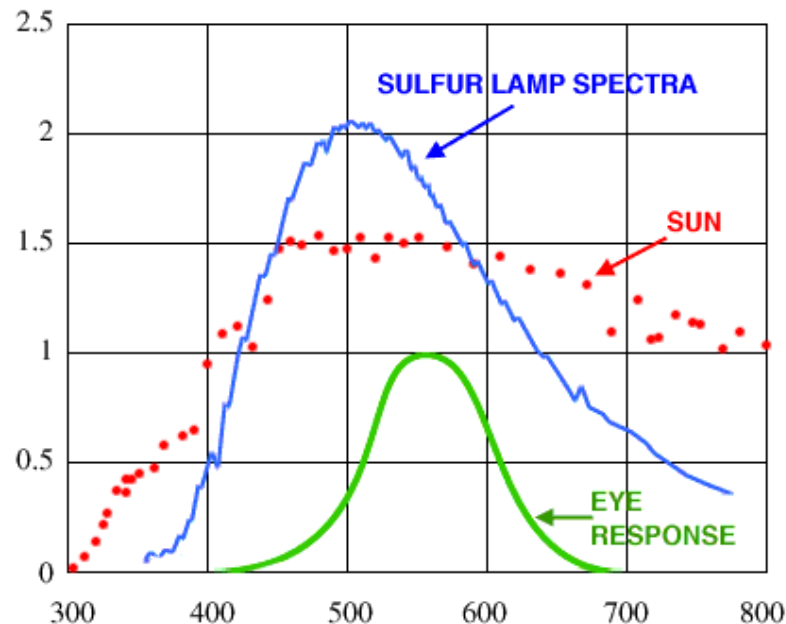
150-400 W : concurrence directe pour les SHP (éclairage urbain)
20W-70 W : concurrence directe pour les GLS (applications concrètes)

Lampe sans électrodes

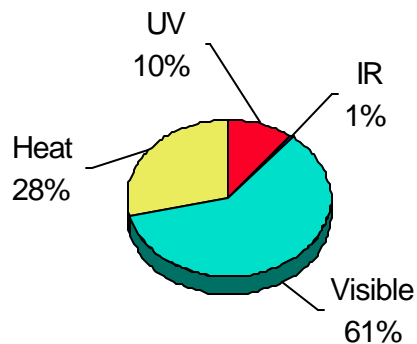
Il s'agit d'un
Challenge Majeur!



IRRADIANCE (watts per sq. meter per nm)



WAVELENGTH (nm)



Puissance (W)	1385	3400
Intensité (lm)	134000	410000
Efficacité (lm/W)	97	120
T_{cp} (K)	5400	6500
IRC	79	86

Lampes à excimère pour éclairage et signalisation

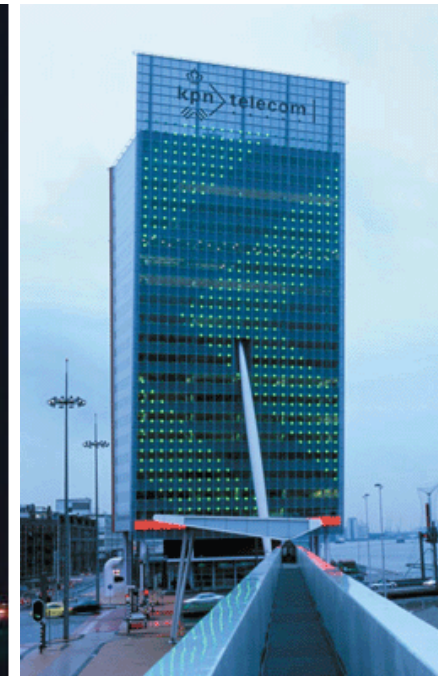
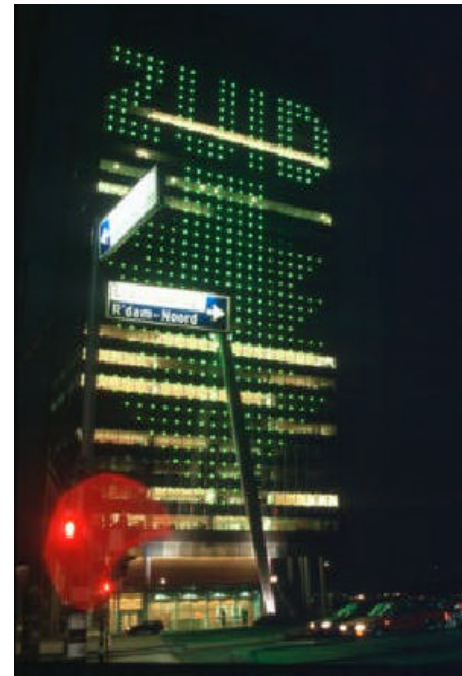
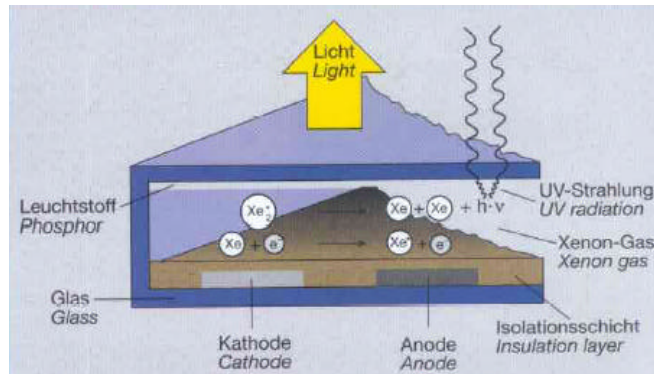
- ✓ Eclairage général
- ✓ Signalisation
- ✓ Retro-éclairage

*Le plus grand panneau d'affichage (3 000 m², 900 PLANON™)
Dutch telecommunications company, KPN, à Rotterdam.*



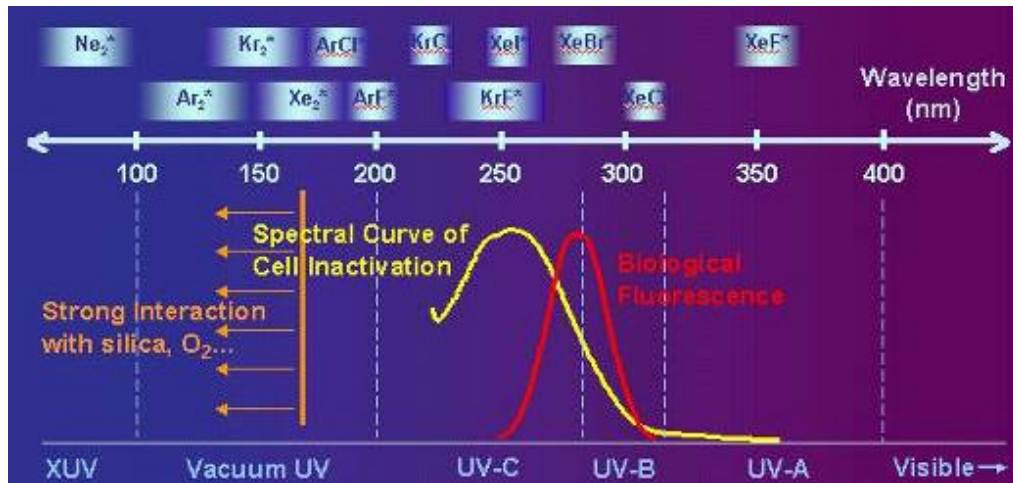
Planon™ DBD et son ballast

Gaz : Xe (pas de Hg)
Pression > 100 Torr
Epaisseur < 10mm
Durée de vie > 10 000 h



Lampes à Excimer pour applications industrielles

Longueurs d'onde adaptées à l'application

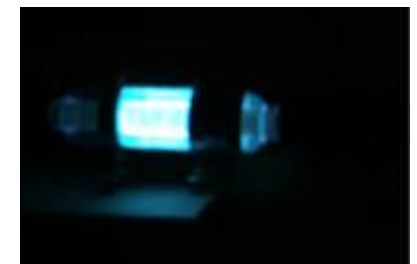
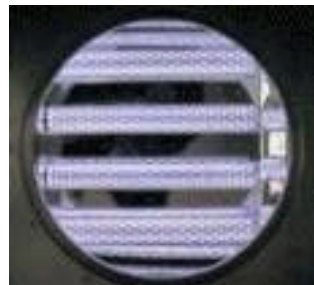
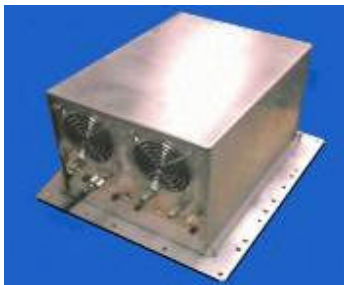


Applications industrielles

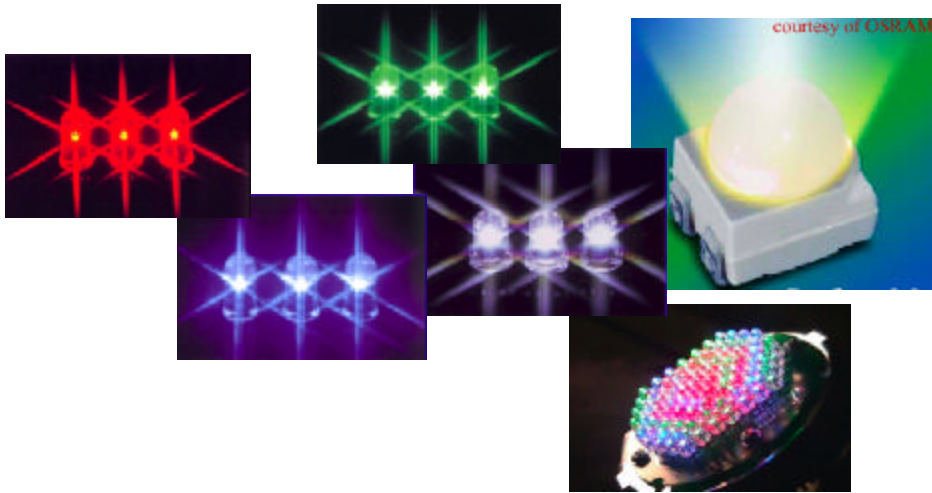
- ✓ Photochimie/Polymérisation
- ✓ Traitement de surface
- ✓ Purification
- ✓ Dermatologie
- ✓ Photo-catalyse
- ✓ Production d'O₃



Géométrie flexible adaptée à l'application



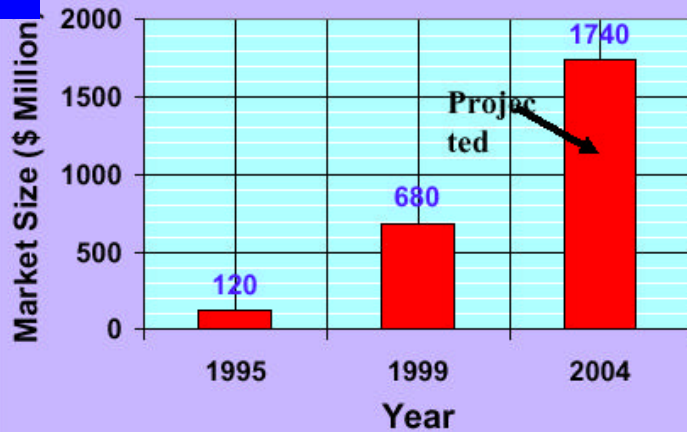
Diodes Electro-luminescentes



La source de lumière
du future...

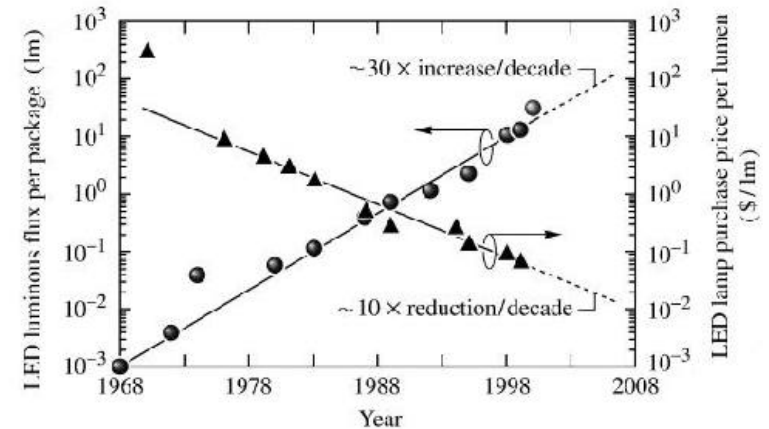
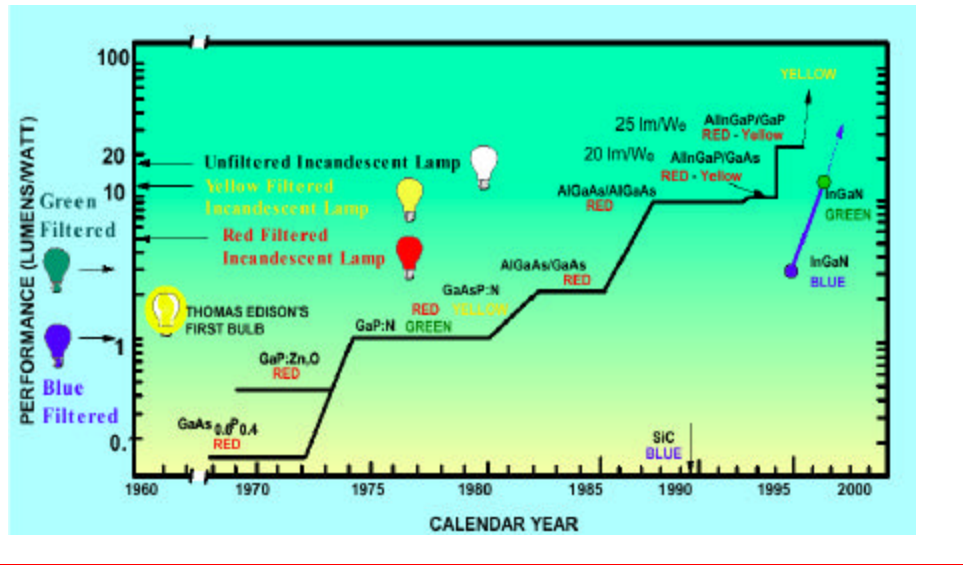


Marché



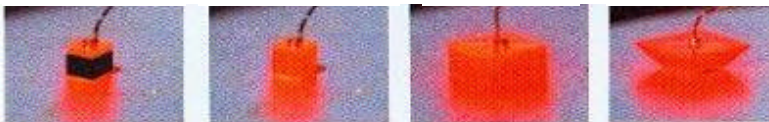
Quelques points positifs

Loi de Craford



Améliorations à l'extraction de la lumière

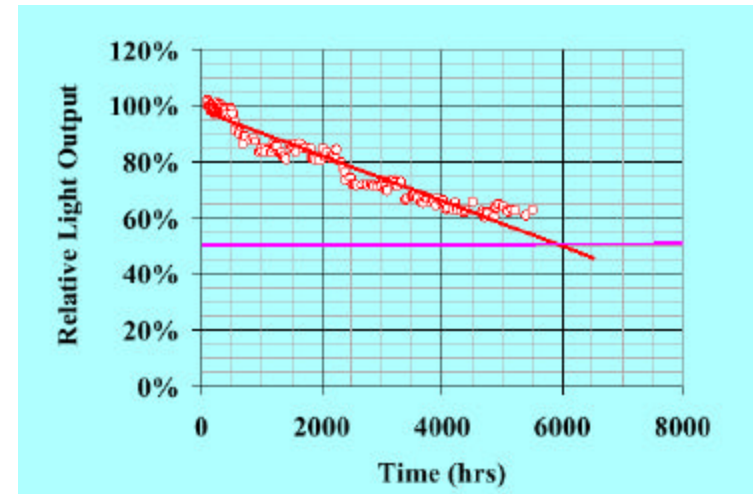
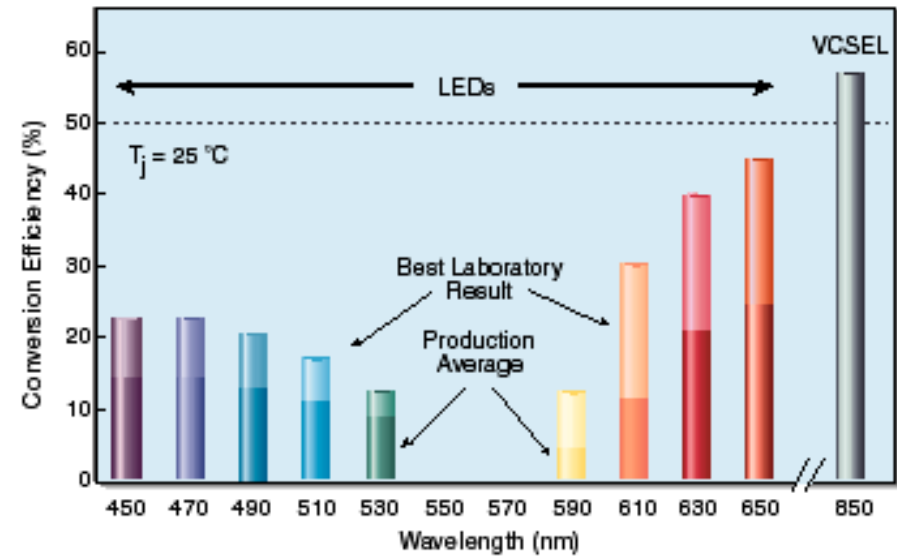
Substrat absorbant	Substrat transparent	Jonction large	Pyramide tronquée
1991	1994	1994	2000



Amélioration flux: ~3 x ~5 x ~1.5 x

- Forte luminosité
- Bons couleurs
- Bonne efficacité lumineuse
- Petites dimensions & faible poids
- Longue durée de vie (>25 000 h)

Problèmes & Challenges



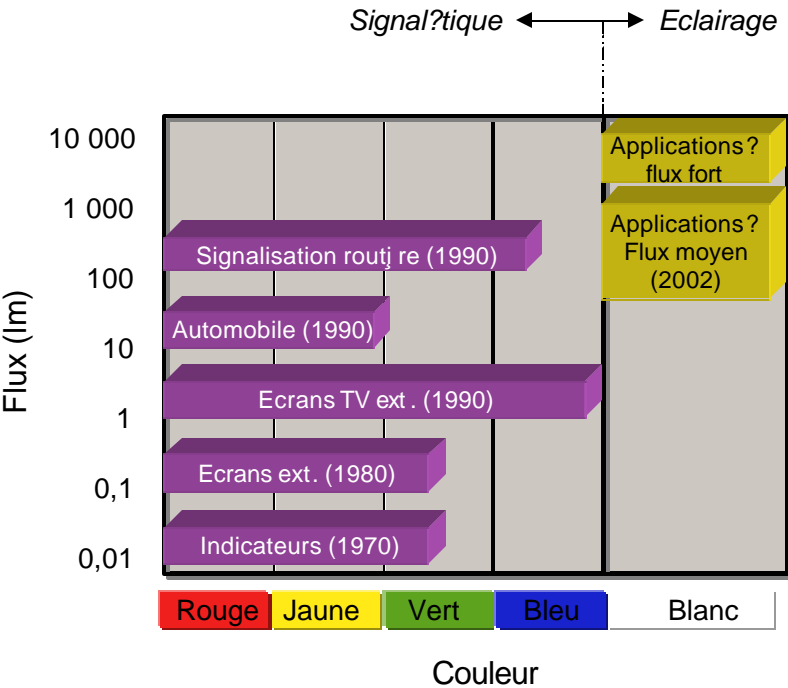
Maintenance du flux (LED blanche)

- ❌ Faible puissance (5 W max)
- ❌ Lumière directionnelle
- ❌ Coût élevé pour une installation
- ❌ La couleur change avec tension/courant
- ❌ Sensibles à la température/humidité
- ❌ Systèmes très complexes

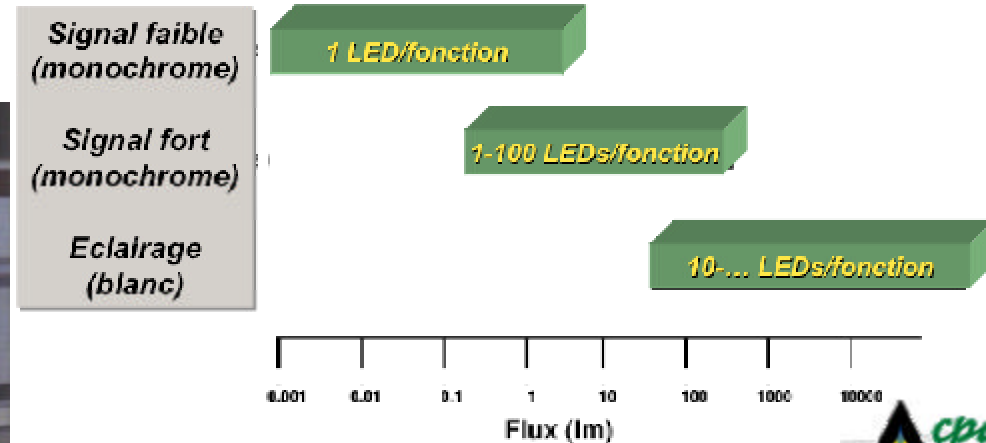
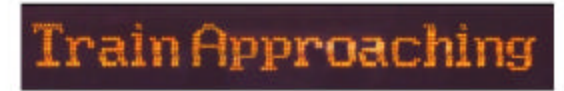
Challenges:

- 1: améliorer la maintenance du flux
- 2: Fermer le gap entre vert et jaune
- 3: Augmenter l'efficacité de 50% pour tout λ
- 4: Améliorer la qualité de production en série
- 5: Augmenter la surface émettrice

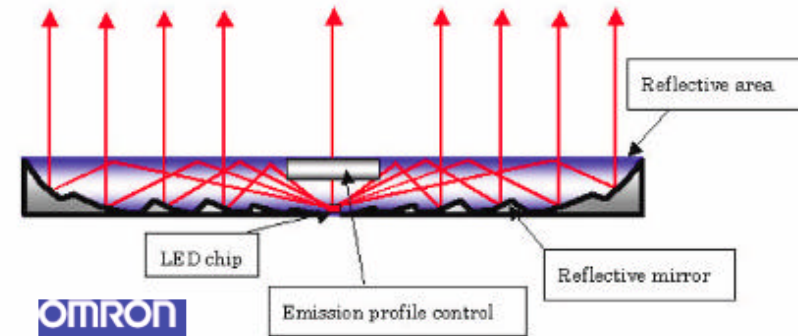
Les LEDs pourquoi faire ?



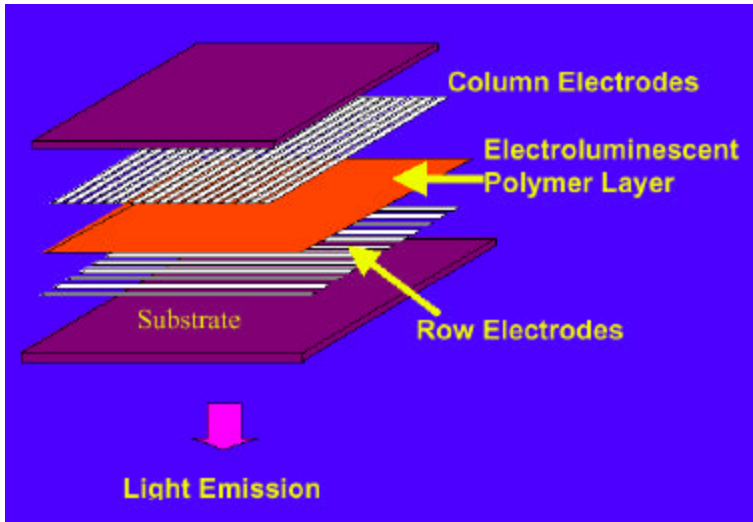
Eclairage Général
Eclairage Spécialisé



Lampes à LED



O-LEDs



- Haute Résolution
- Haute qualité de couleurs
- Flexible, Pliable...
- Propriétés mécaniques excellentes
- Faible poids
- Faibles dimensions



Les "10 commandements" d'une bonne lampe

➤ Produit le maximum de lumière avec le minimum de l'énergie électrique

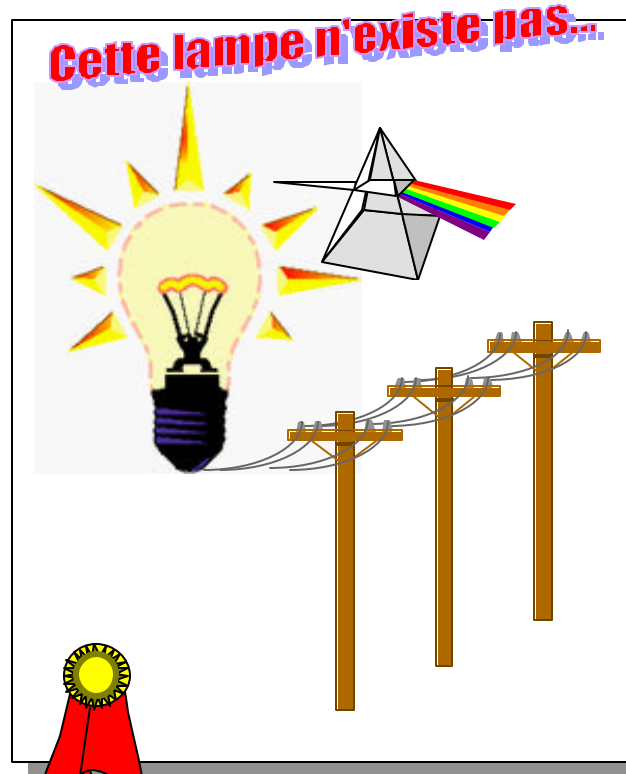
➤ Produit une "bonne" lumière

- ↳ Spectre
- ↳ IRC
- ↳ Température de couleur
- ↳ Rythmes biologiques

➤ Produit une lumière stable

- ↳ sans fluctuations
- ↳ constante sur toute sa vie

➤ Produit toute sa lumière instantanément



➤ Ne pollue pas

- ↳ Chaleur
- ↳ UV
- ↳ Interférences EM
- ↳ Matériaux toxiques

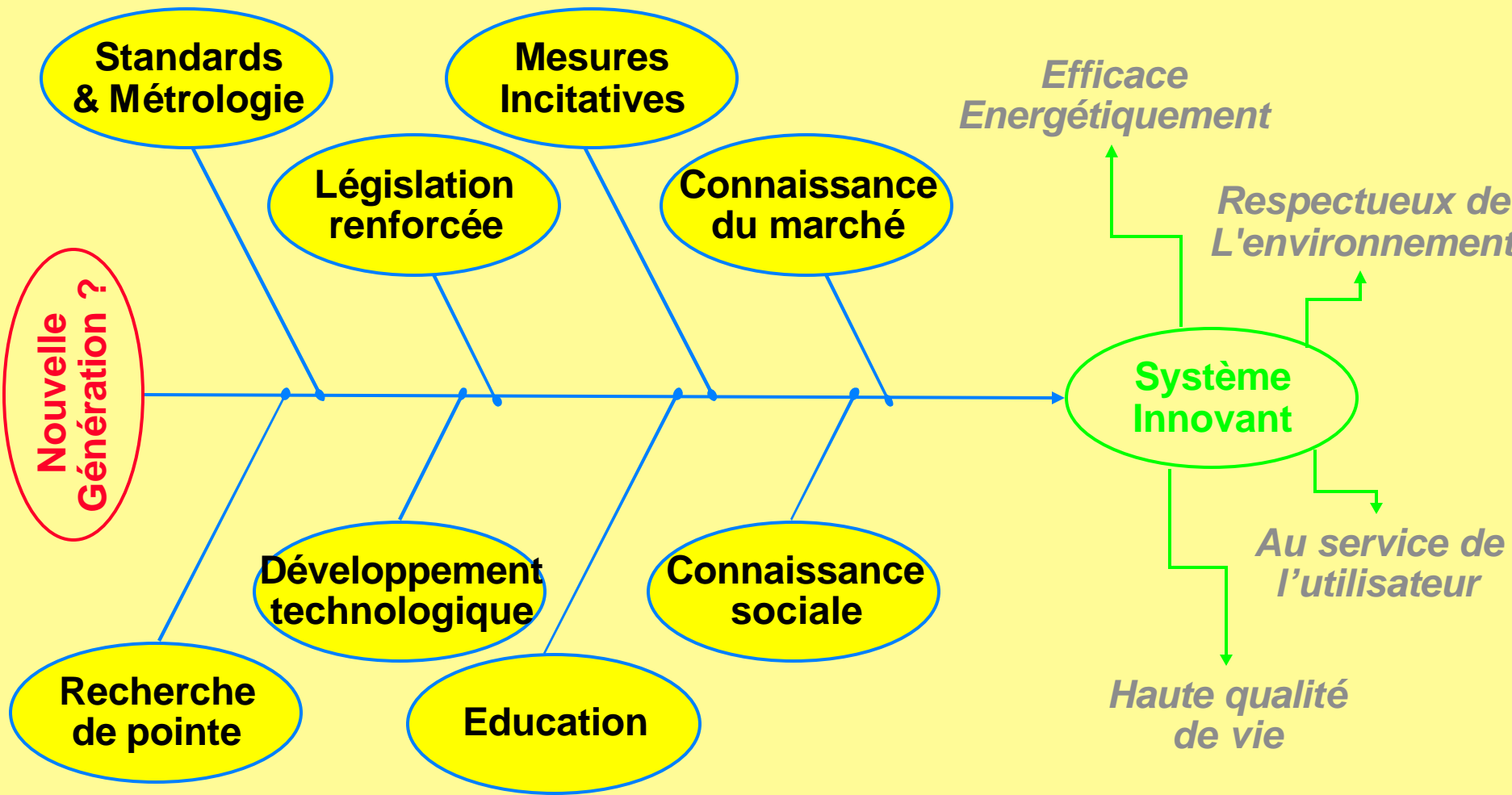
➤ Soit recyclable

➤ Soit légère et compacte

➤ Ait une longue vie

➤ Ne coûte pas cher

Comment accélérer le processus vers la lampe idéale ?



En conclusion...

La lumière et le plus
important produit de l'homme

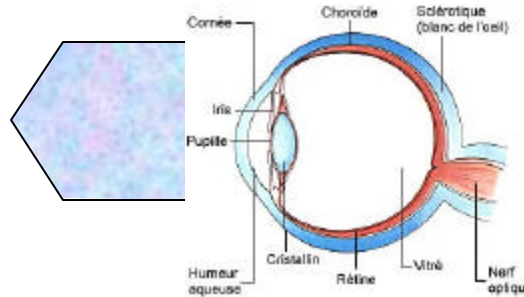
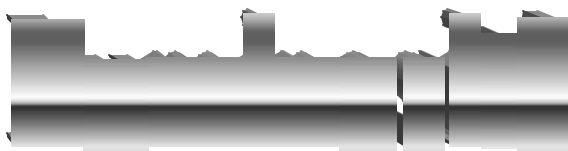
Le 20^e siècle était le
"Siècle de l'électron"

Le 21^e siècle sera probablement le
"Siècle du Photon"

La lumière et le plus
important produit de l'homme

Compléments

Quelques définitions (le photorécepteur)



● La luminance minimum susceptible d'impressionner l'œil est de l'ordre de 10^{-8} cd/m²

● La luminance maximale acceptable par l'œil est de l'ordre de 10^{11} cd/m².

On reconnaît une forme en 120 ms

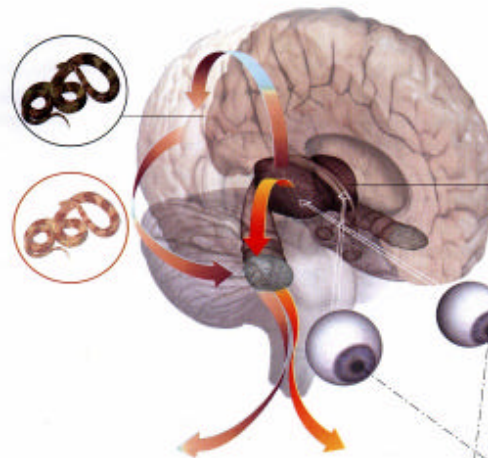
● L'œil reçoit des longueurs d'onde et le cerveau "voit" des couleurs

● En moyenne, notre œil est capable de discerner plus de 350 000 couleurs différentes

On reconnaît une couleur en 400 ms

La vision de l'objet à l'action

- 3 L'image du serpent est transmise pour traitement additionnel après que l'ordre de fuir à été donnée.



- 1 De thalamus le stimulus va directement à l' amygdale et au cortex visuel

- 2 L'amygdale enregistre le danger et ordonne de courir !



Le photorécepteur

Pourquoi nous avons besoin de la couleur ?



A chaque type de lampe son alimentation

L'alimentation doit être adaptée à la charge à chaque instant

- ✓ Elle doit assurer le fonctionnement nominal
- ✓ Elle doit assurer l'amorçage
- ✓ Elle doit assurer les fonctions de gradation
- ✓ Elle doit obéir aux contraintes de sécurité, aux normes...

● Lampe à incandescence:

Eléments linéaires, pas de contraintes d'amorçage

Elles peuvent être directement branchées au secteur

● Sources « Solides » (LEDs...):

Nécessitent une polarisation, faibles courants

Elles fonctionnent essentiellement en courant continu

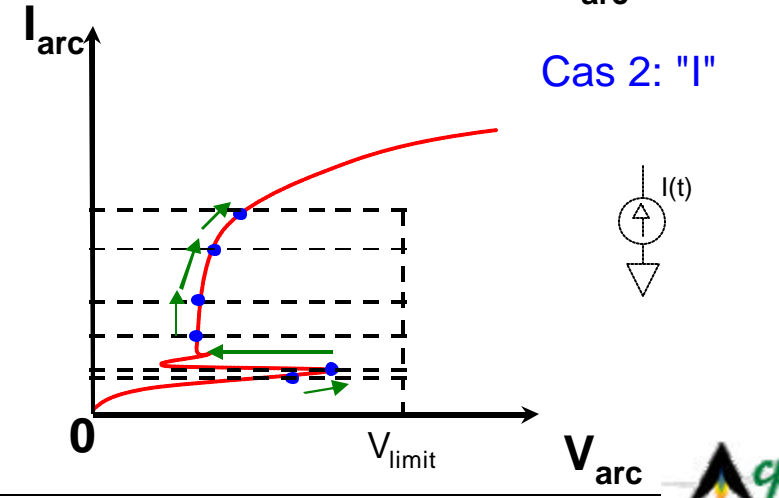
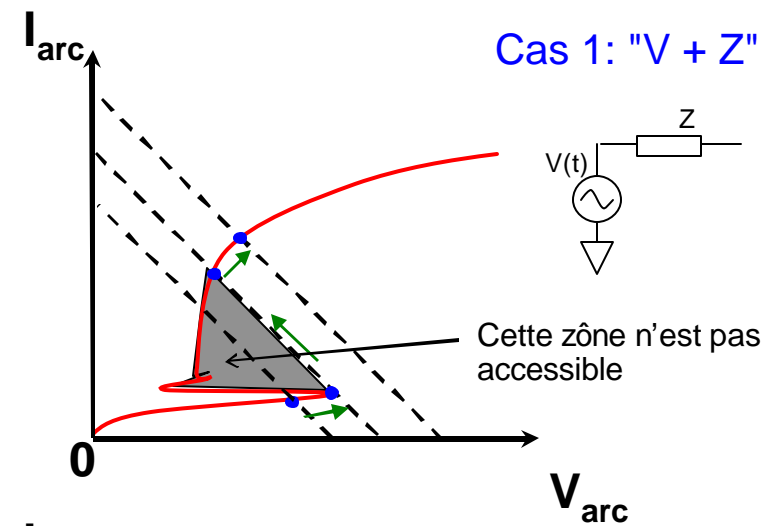
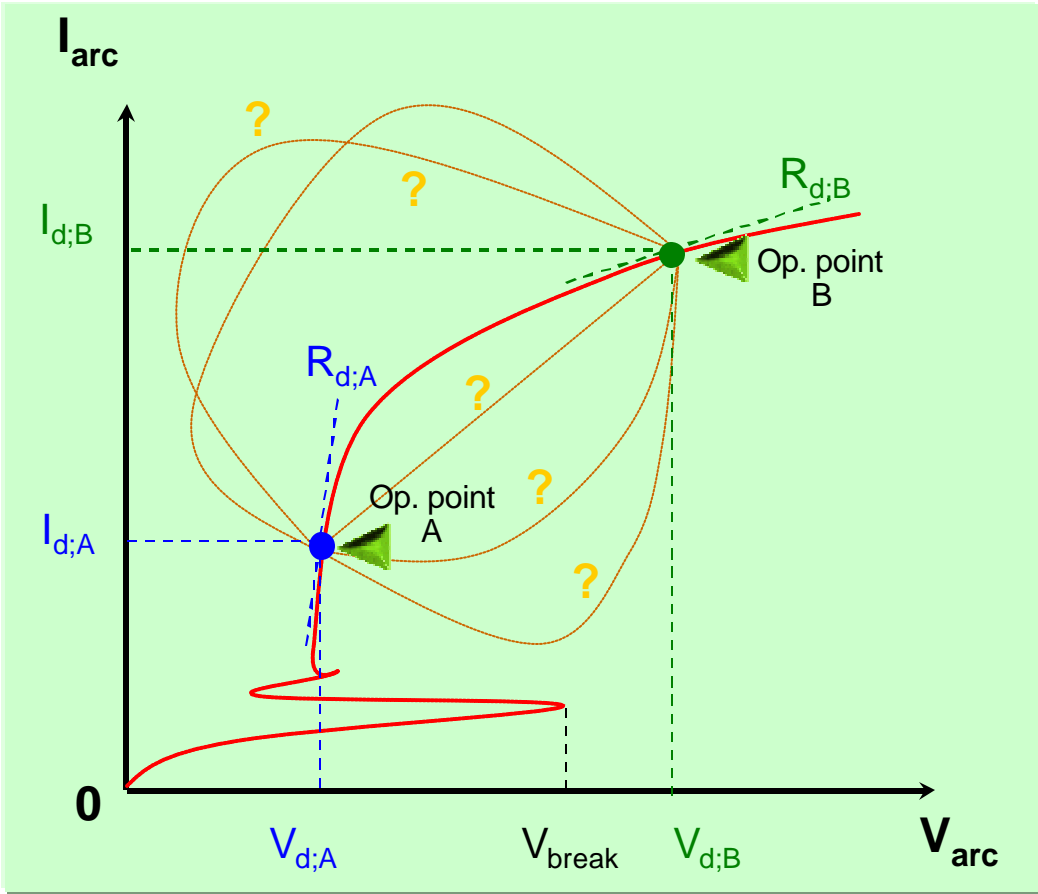
● Lampes à décharge avec ou sans électrodes :

Eléments non-linéaires, fortes contraintes d'amorçage, large gamme de puissance, sensibles à la fréquence...

Elles nécessitent un « ballast » ou une source de courant

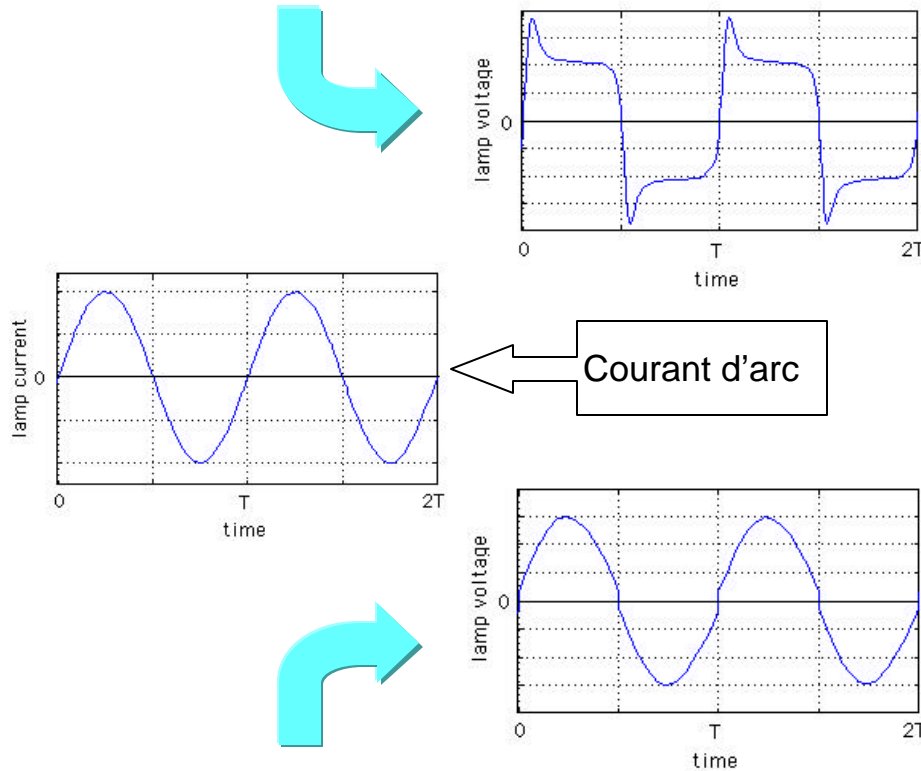
Le cas des lampes à décharge

D'un point à l'autre...



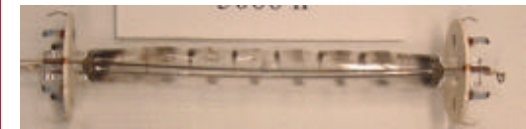
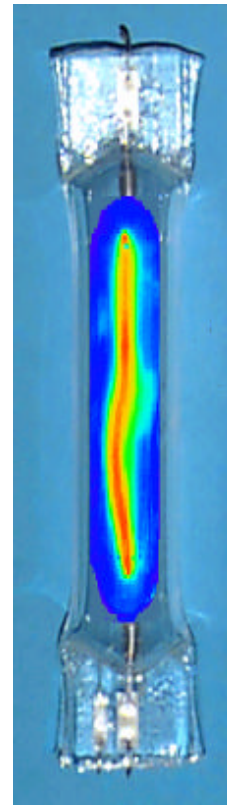
Le caractère non-linéaire de la charge

BF mode: peak de re-amorçage



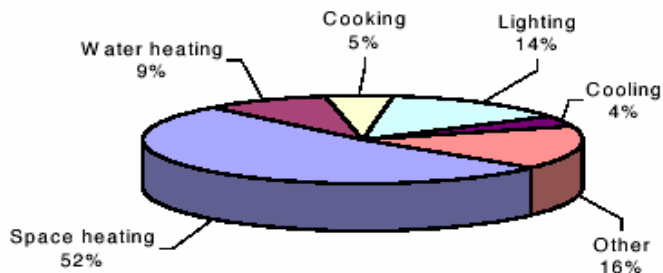
HF mode: pas de peak

Résonance Acoustique

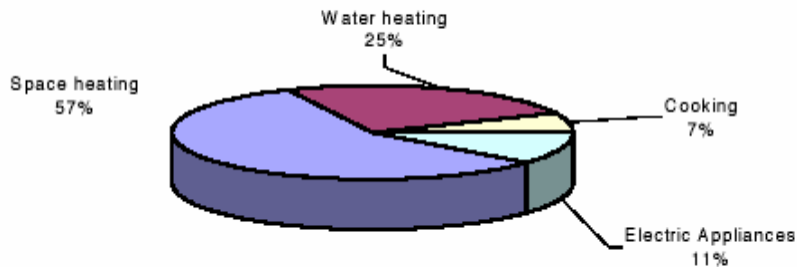


Une « équivalence » simple mais économique...

Energy consumption by end use in EU tertiary buildings



Energy consumption by end use in EU residential buildings



60 W GLS
~13 lm/W



13 W CFL
~60 lm/W

- Prix moyen CFL 8 €, GLS 0,70 €
- Durée de vie CFL 12 000 h, GLS 1 250 h
- 1 CFL de 13 W remplace une GLS de 60W
- Temps d'utilisation moyen: 2500 h/an
- 150 000 000 de maisons en Europe

Economies d'énergie en Europe (résidentiel):
 $(60-13)W \times 2500h \times 150000000 = 17,6 \text{ TWh}$
 ou 3,5 MTEP (millions de Tonnes eq. Pétrole)



Le rendu de couleur, un exemple

Original



Sodium
Basse pression



Mercur
Haute
Pression



Sodium
Haute
Pression



Lumière & qualité de vie

