

Les LED de haute brillance

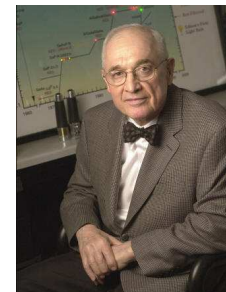
Patrick Mottier
CEA-LETI



Light **E**mitting **D**evice

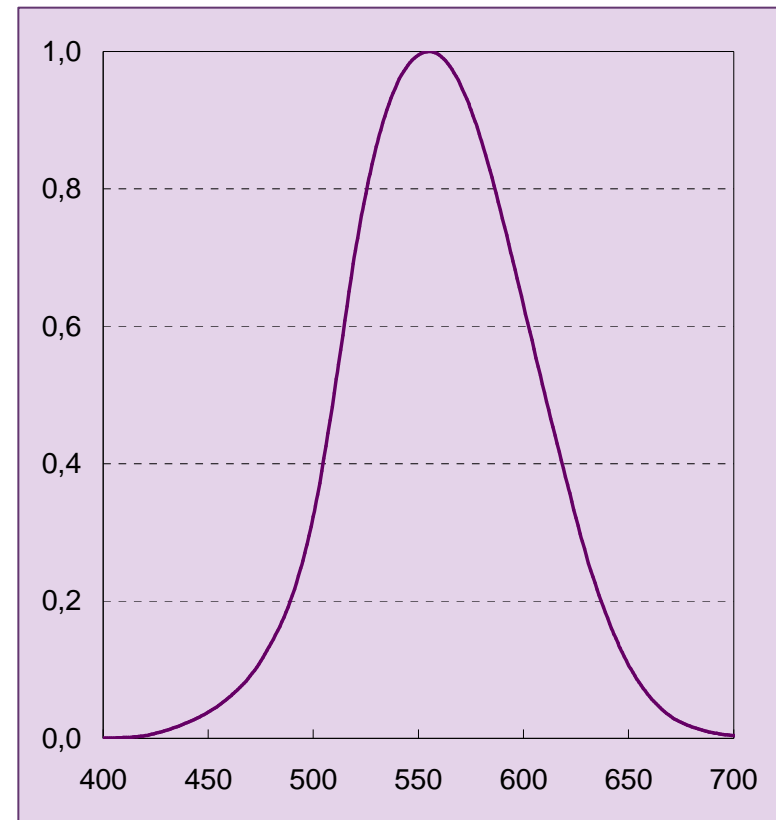
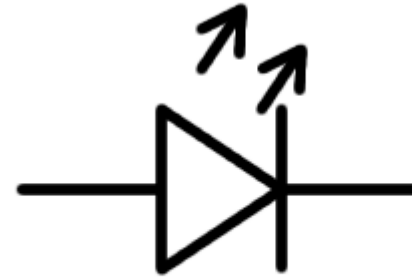
Un peu d'histoire

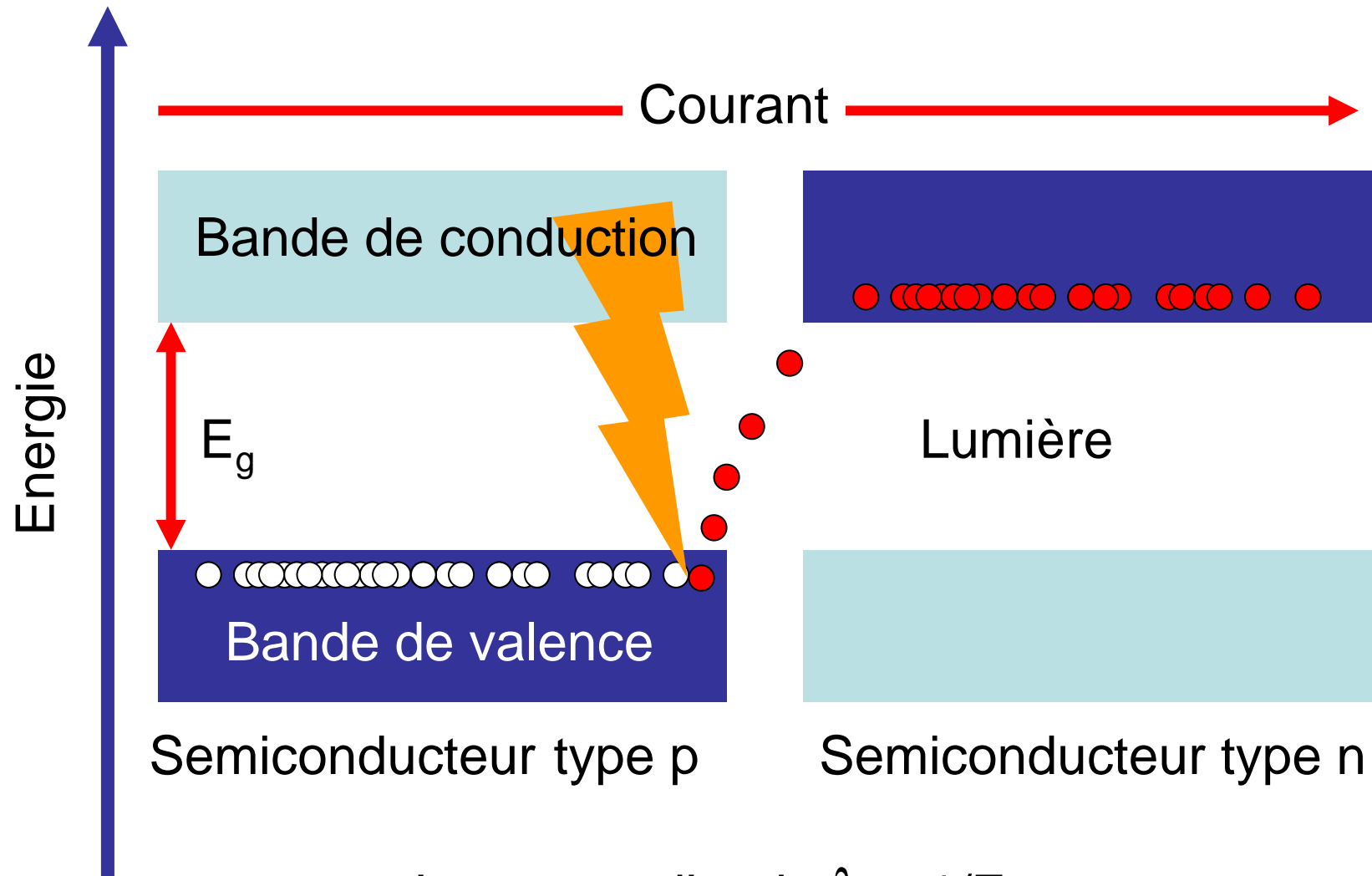
- Première observation en 1907 - H. J. Round - Marconi Co, UK - électroluminescence du carborundum
- Premier brevet en 1929 - Oleg Vladimirovich Losev
- Première LED émettant dans le rouge en 1962 - N. Holonyak (*Nat. Medal of Technology 2002*) & S.F. Bevacqua - General Electric
- Première commercialisation d'une LED rouge en 1968 - 0,001 lm
- Electroluminescence bleue du GaN en 1974
- Première LED bleue - rendement de 0,18% - Publication décembre 1991 - S.Nakamura (*2006 Millenium Technology Prize*) - Nichia Corp.
- Première LED bleue commerciale 1993



Les LED

- Les LED sont des diodes et se pilotent en courant (*)
- Elles convertissent directement les électrons en photons
- A contrario de l'émission thermique, leur rendement maximum théorique est de 100%
 - ⇔ 1 électron produit 1 photon
 - Mais la lumière produite éclaire plus ou moins

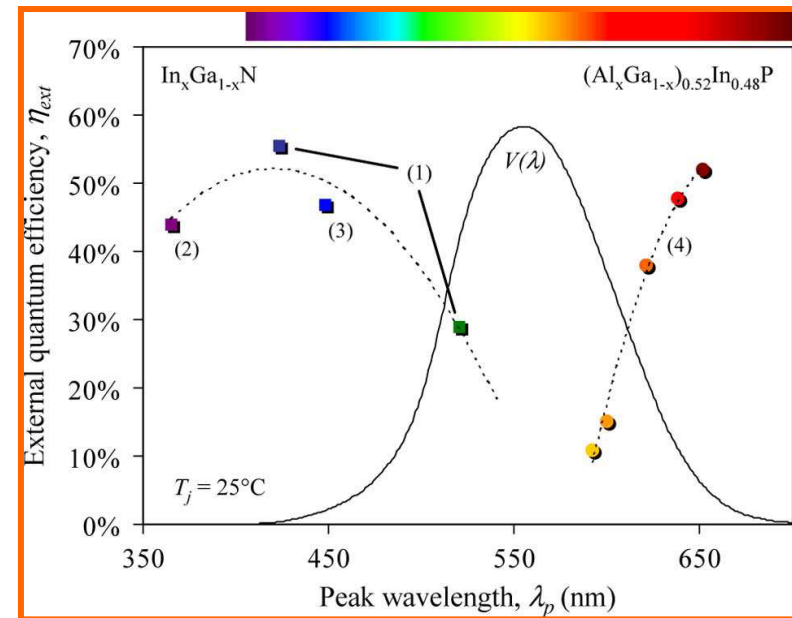
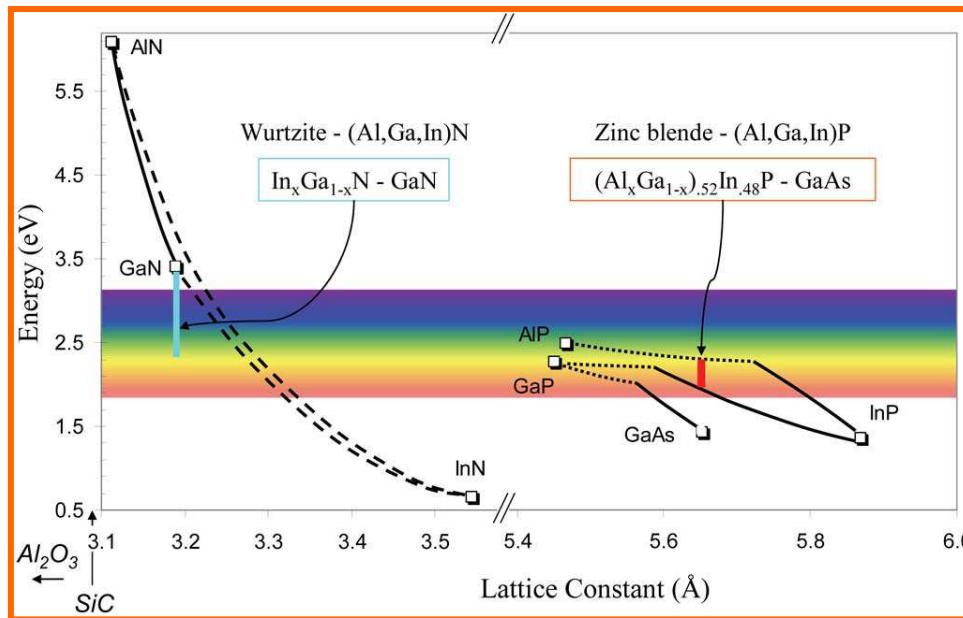
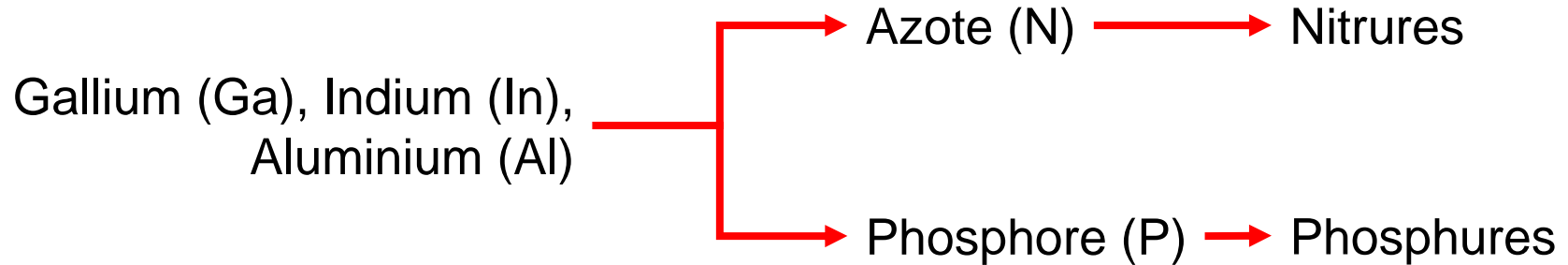




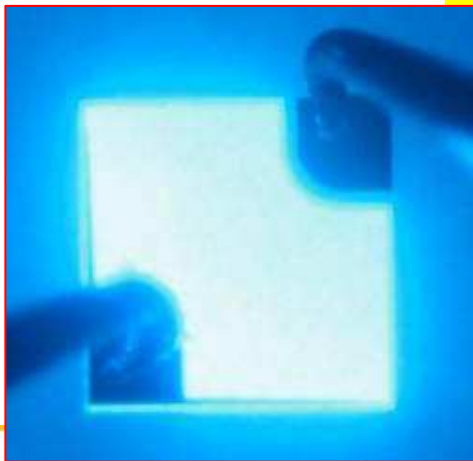
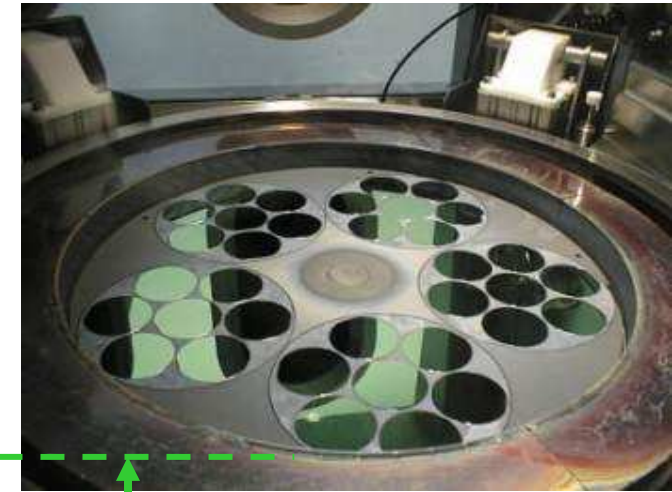
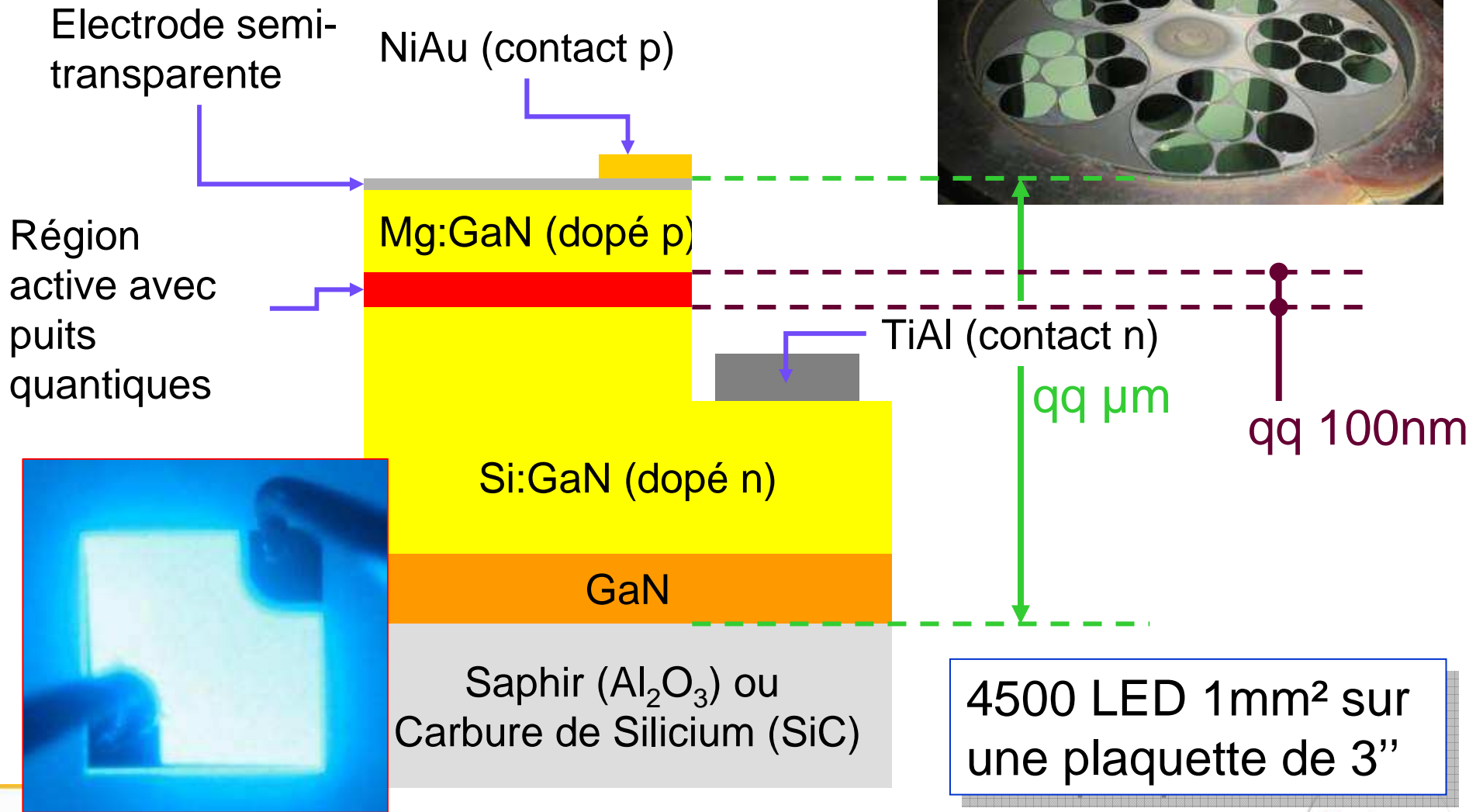
Longueur d'onde $\lambda = 1/E_g$

E_g dépend du matériau semiconducteur

Les semiconducteurs pour les LED visibles

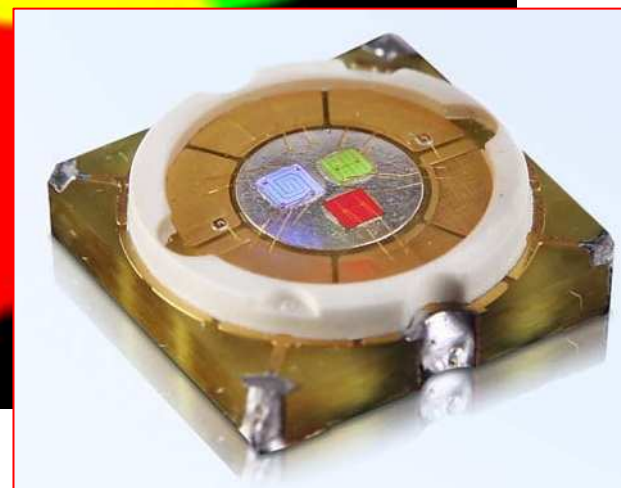
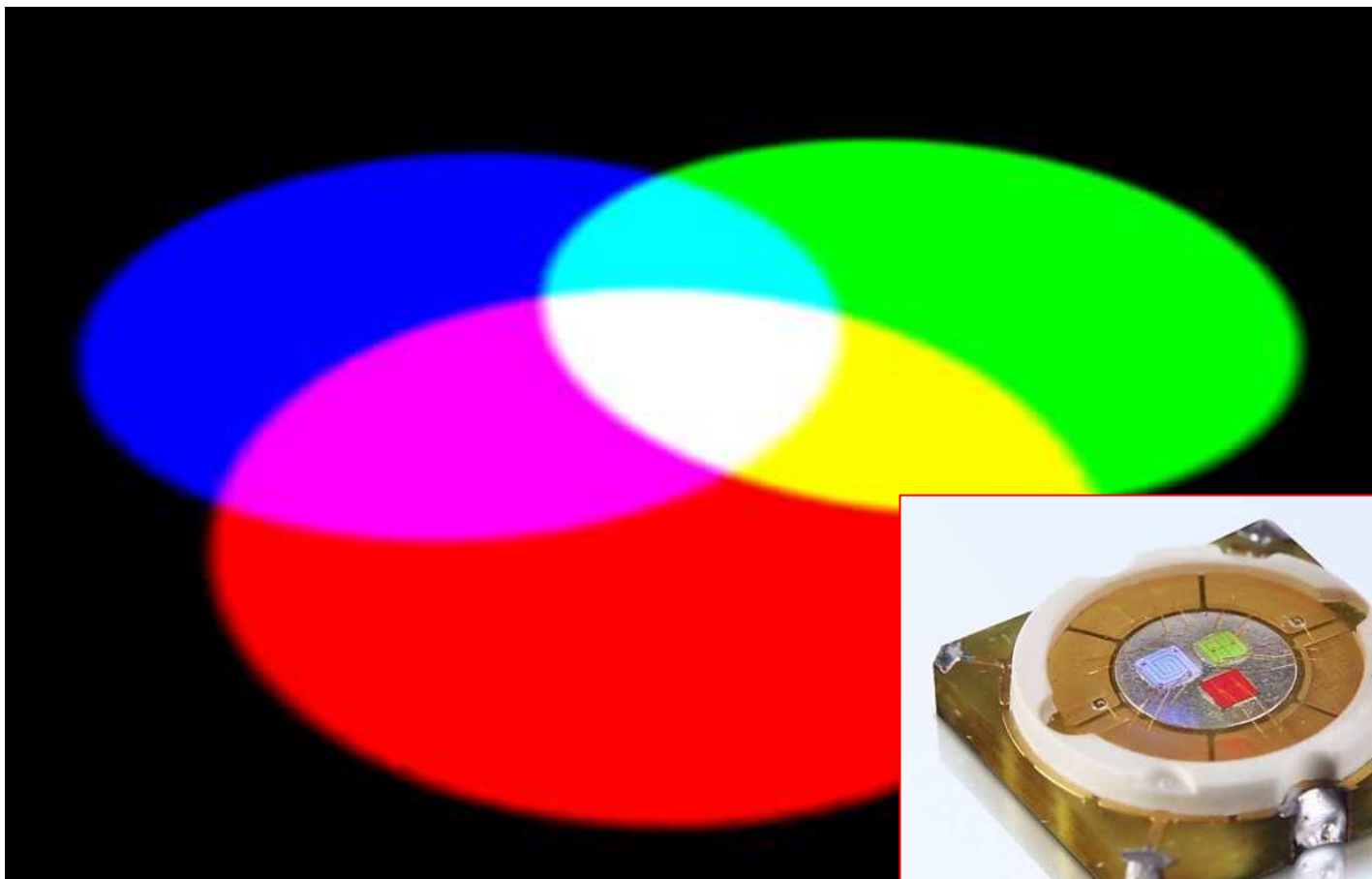


Hétéroépitaxie sur saphir



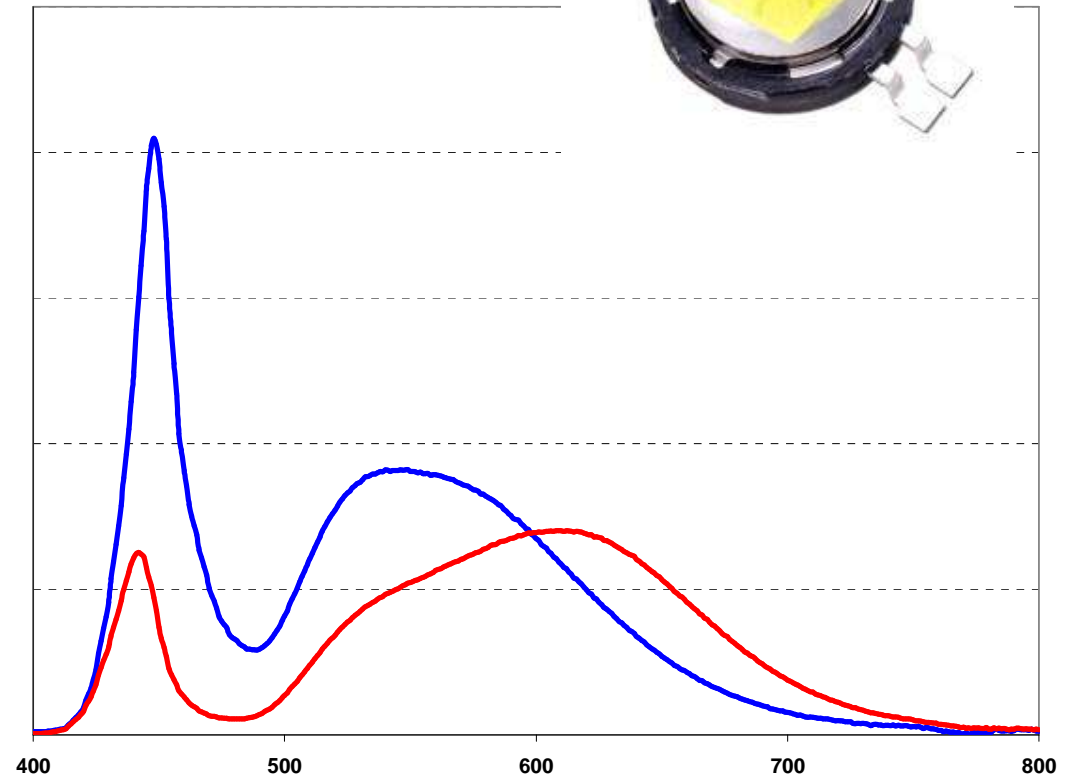
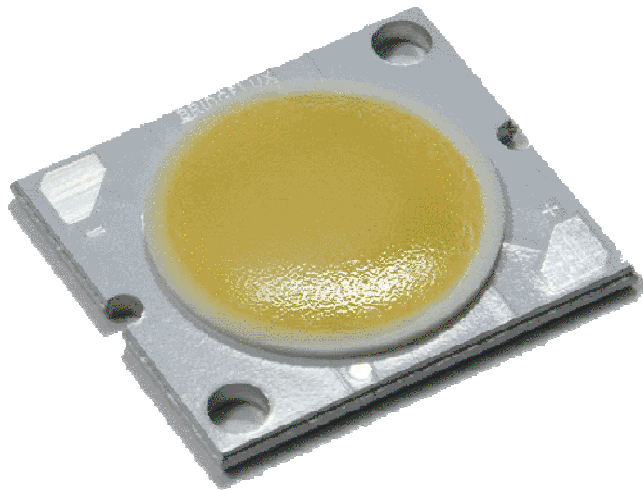
Grâce aux LED bleues, l'accès à la
lumière blanche...

Synthèse additive...



Photoconversion...

Plusieurs « emballages », mais toujours le même principe : une ou plusieurs LED bleues, et un (des) luminophore(s)...





Cree® XLamp® XP-G Q5

Blanc froid (5000 – 8300K)

IRC 75

30 000 heures à 70% du flux initial, soit environ **27ans** si utilisée 3 heures par jour!

Caractéristiques en flux (+/-7%)

Courant	350 mA (~1W)		1000 mA (~3W)	
	Efficacité	Flux	Efficacité	Flux
Temp. jonction 25°C	132 lm/W	139 lm	115 lm/W	347 lm
150°C	92 lm/W	97 lm	81 lm/W	243 lm

Pourquoi les LED ?

- ❁ Efficacité énergétique
- ❁ Longue durée de vie
- ❁ Temps de réponse court
- ❁ Composant électronique
- ❁ Accès à des couleurs saturées
- ❁ Bon fonctionnement à basse température
- ❁ Dimensions réduites
- ❁ Pas d'infrarouge
- ❁ Pas d'ultraviolet
- ❁ Pas de filament
- ❁ Pas d'ampoule
- ❁ Pas de risque électrique
- ❁ Pas de très haute température

Un concentré d'avantages qui ouvrent des champs d'innovation à explorer (*)

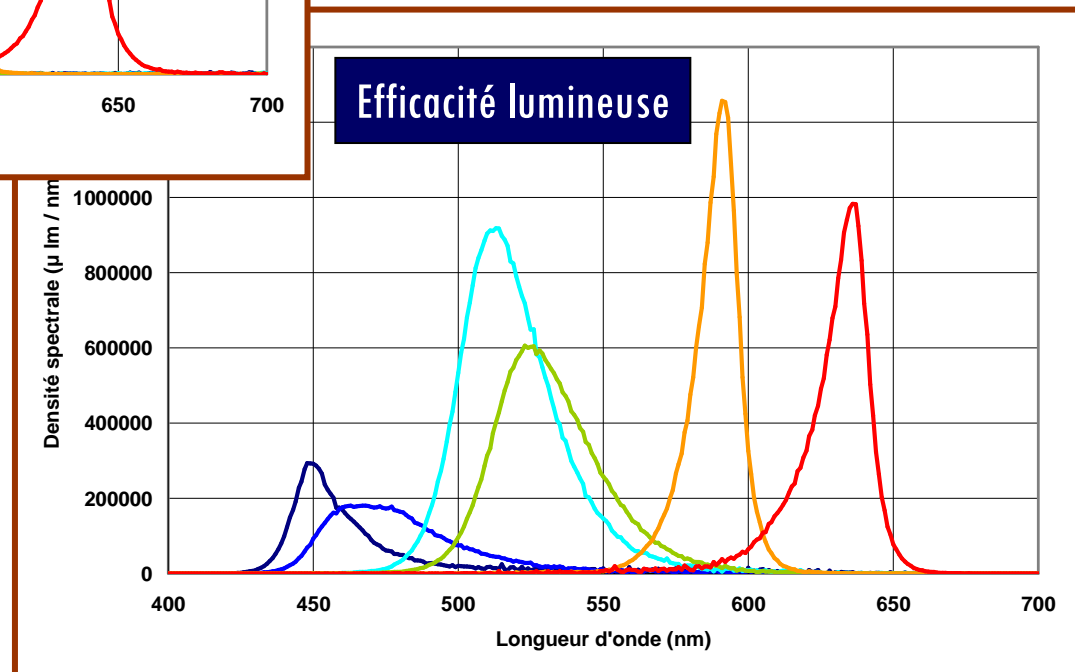
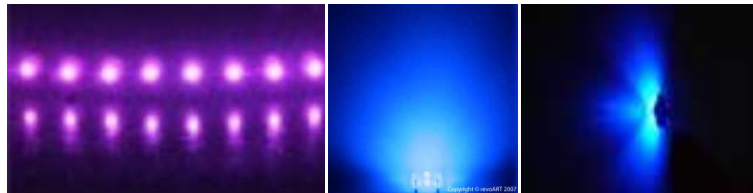
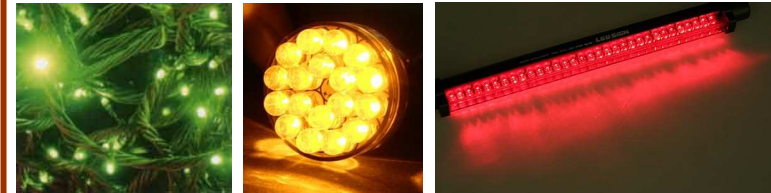
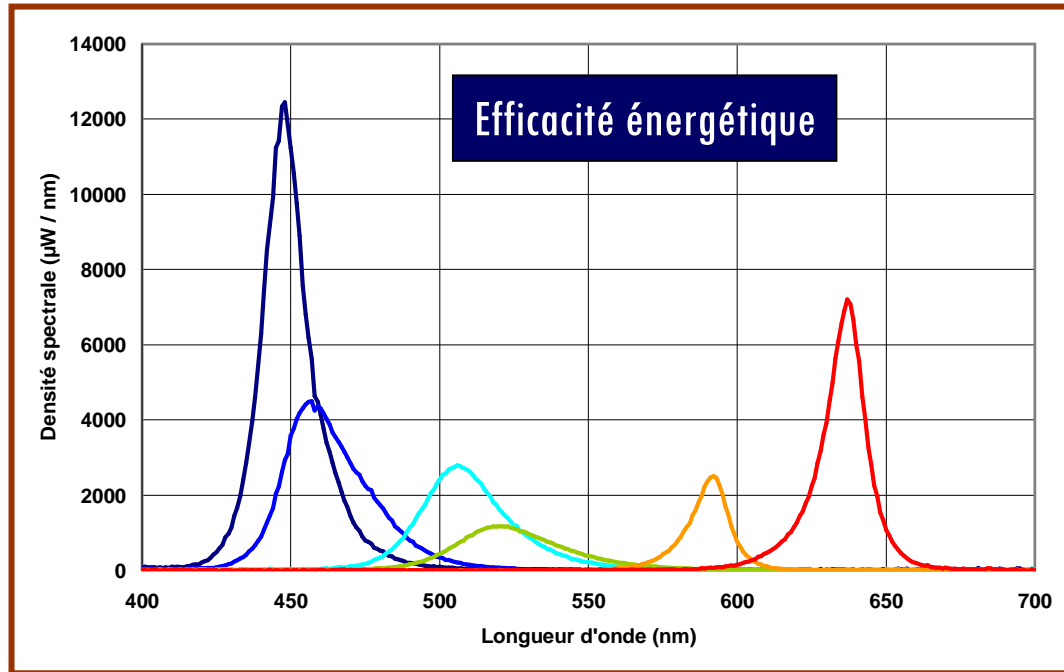
L'efficacité énergétique

- Au niveau composant, elle dépend
 - de la longueur d'onde ou de la température de couleur
 - du courant (pour les LED nitrures)
 - de la température de jonction
 - de son âge
 - du fabricant
- Au niveau du « système d'éclairage »
 - Prendre en compte le rendement de l'alimentation électrique
 - Les faibles dimensions permettent de développer des luminaires plus efficaces
 - On peut également économiser en jouant sur le taux d'utilisation :
 - composant électronique modulable de 0 à 100%,
 - mise en route instantanée,
 - allumage-extinction sans impact sur la durée de vie

L'efficacité énergétique

- Plusieurs façons de la mesurer (*)
 - Les lumens fournis par Watt électrique consommé (lm/W)
 - C'est bien, mais insuffisant, certains lumens sont plus faciles à produire que d'autres
 - Sensibilité chromatique de l'œil plus élevée dans le vert que pour les autres couleurs
 - Pour la lumière blanche, le nombre de lm/W doit être assorti du C.R.I.
- Si on s'intéresse à l'aspect énergétique, alors le rendement suffit :
 - Energie émise dans le spectre visible sur l'énergie fournie !

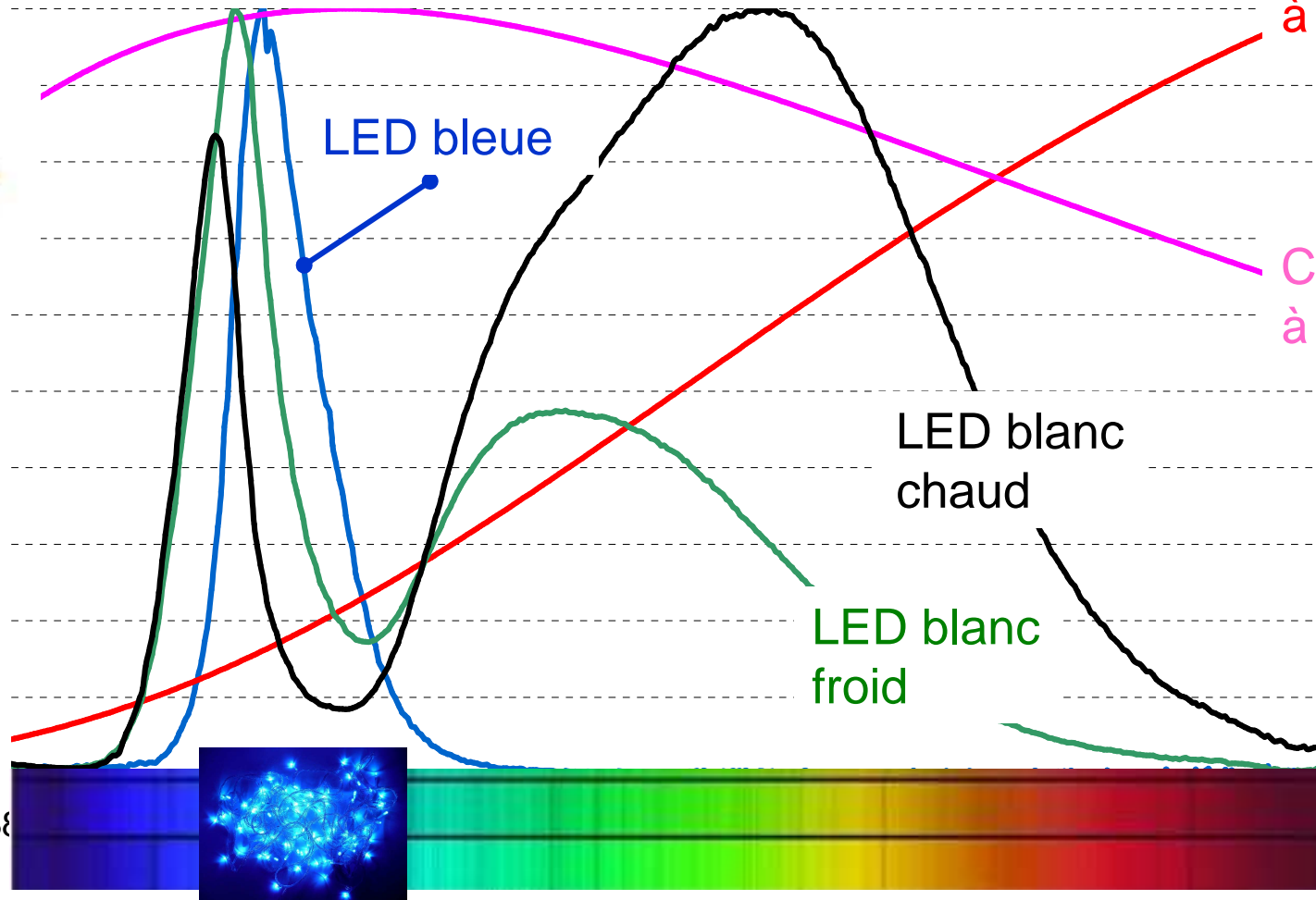
Efficacité lumineuse et efficacité énergétique



Il y a blanc et blanc !(*)

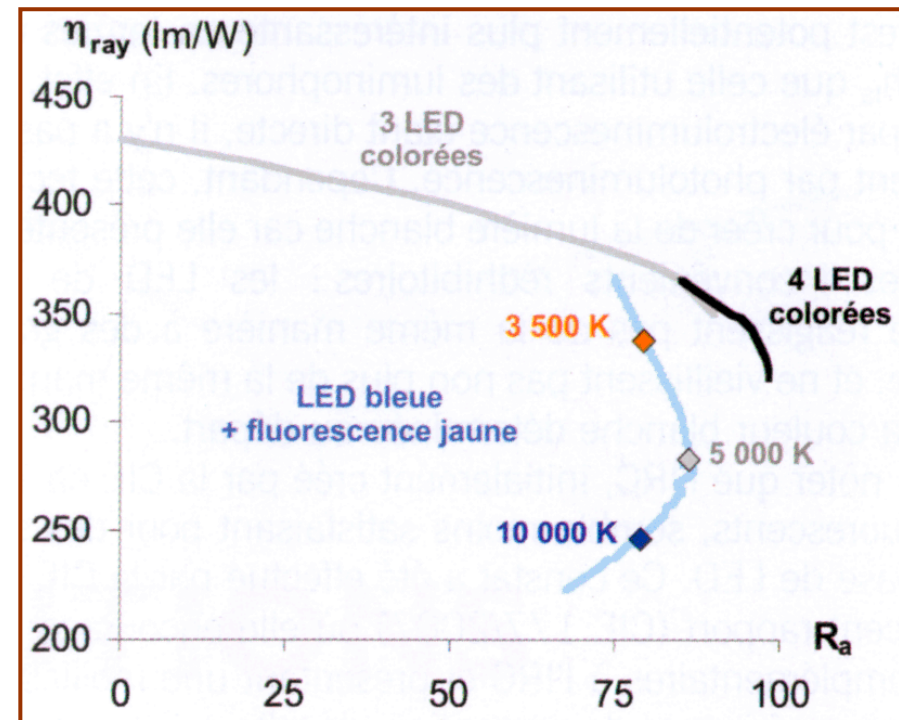


Corps noir à 2900K



Efficacité et rendu de couleur

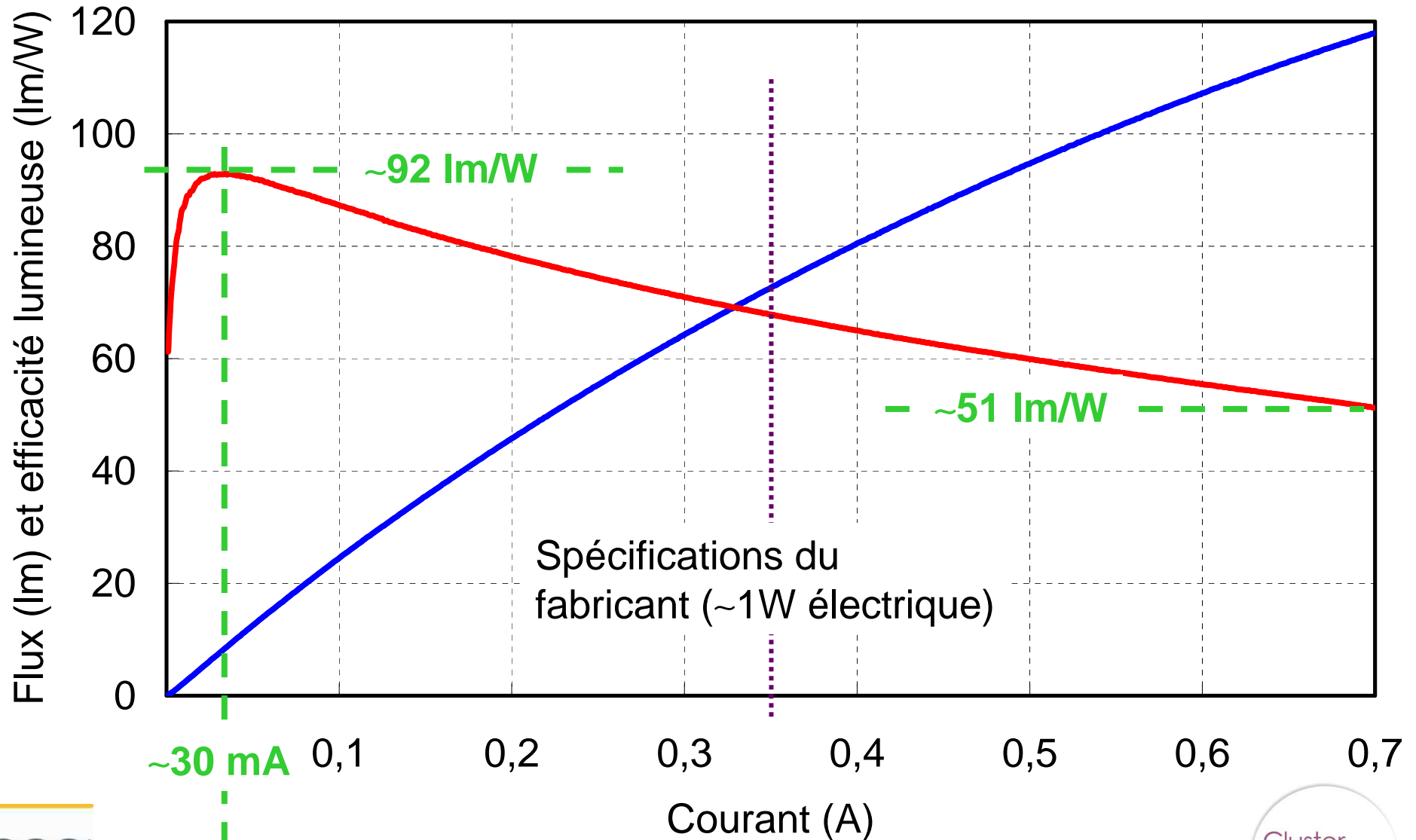
- Un compromis nécessaire
 - Les LED « blanc froid » (5000K) sont plus efficaces que les « blanc chaud » (3500K), mais de moins bon rendu de couleur.
 - Il faut 4 LED colorées (R, V, B, A) pour atteindre un CRI proche de 100



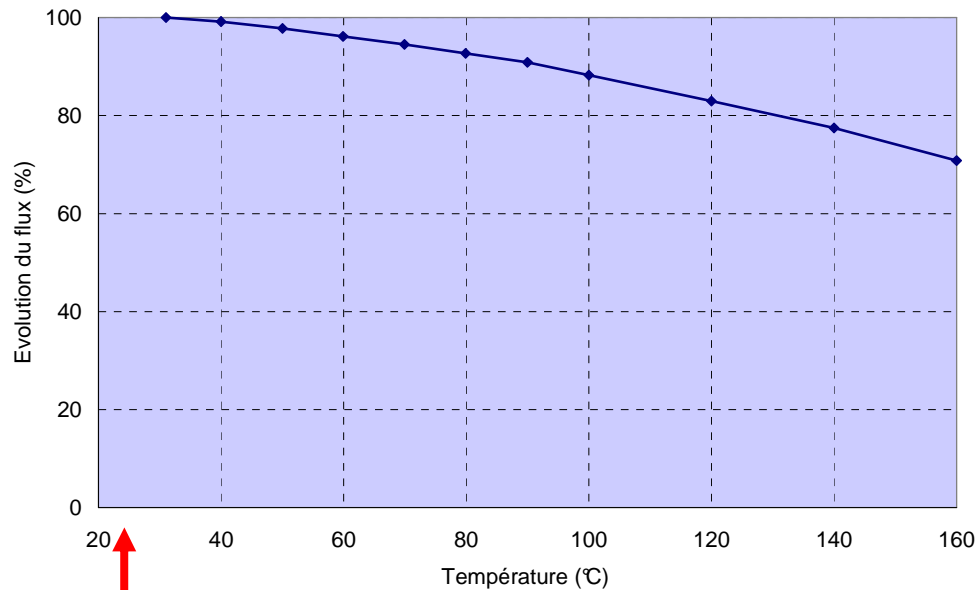
Limites théoriques des LED

Source : Revue LUX N°253 Page 52-58 - Mai/juin 2009

Efficacité & courant : l'« efficiency droop »

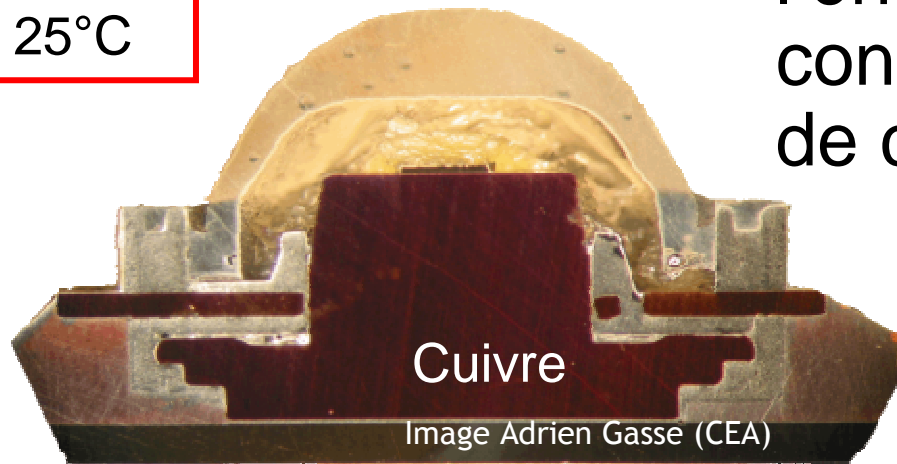


Efficacité & température de jonction



Spécifications du fabricant à 25°C

- L'efficacité des LED diminue lorsque la température de jonction augmente
- Les LED dissipent typiquement 80% de l'énergie électrique consommée sous forme de chaleur

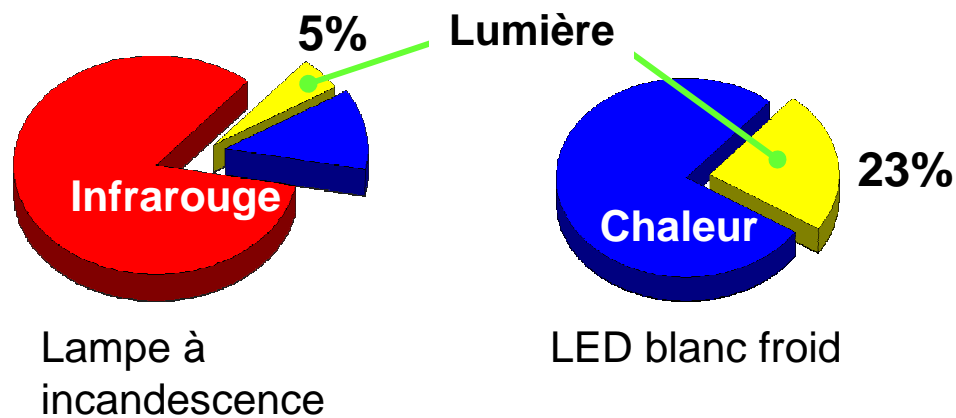


La température de la jonction p-n émettrice de lumière est à environ 150°C :

- ▲ Trop basse pour rayonner de l'énergie sous forme infrarouge
- ▲ L'évacuation de l'énergie résiduelle se fait par conduction, puis convection(*)



L'absence de rayonnement IR permet à la neige de subsister sur les feux tricolores !



L'efficacité énergétique globale

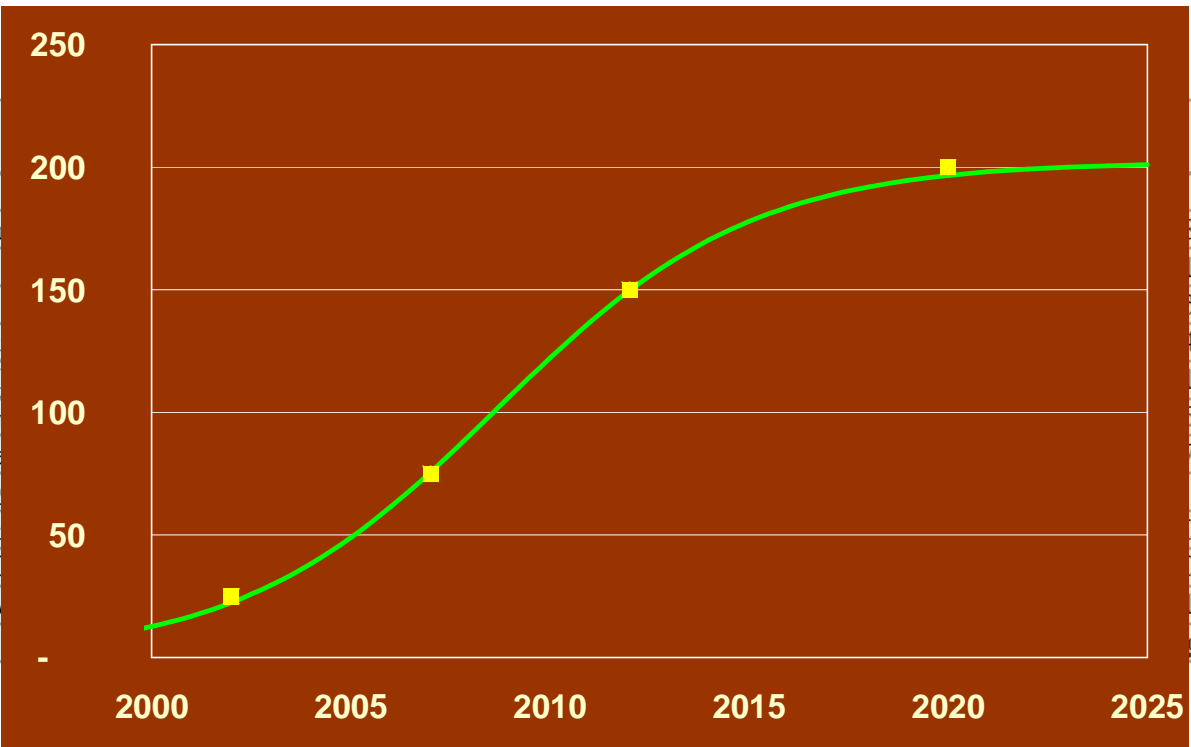
8 rendements qui se multiplient !

	Rendements élémentaires	2005	2008	Objectif 2015
Alimentation	Driver	85%	85%	92%
LED T _{jonction} : 25°C 4100K CRI : 80	Injection électrique	80%	90%	95%
	Quantique interne	60%	80%	90%
	Extraction	50%	80%	90%
	Conversion longueur d'onde	70%	65%	73%
	Diffusion	80%	80%	90%
Luminaire	Thermique	?	85%	95%
	Optique	70%	80%	92%
Global		8%	17%	41%

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2009_web.pdf

La roadmap de « l'Optoelectronics Industry Development Association »

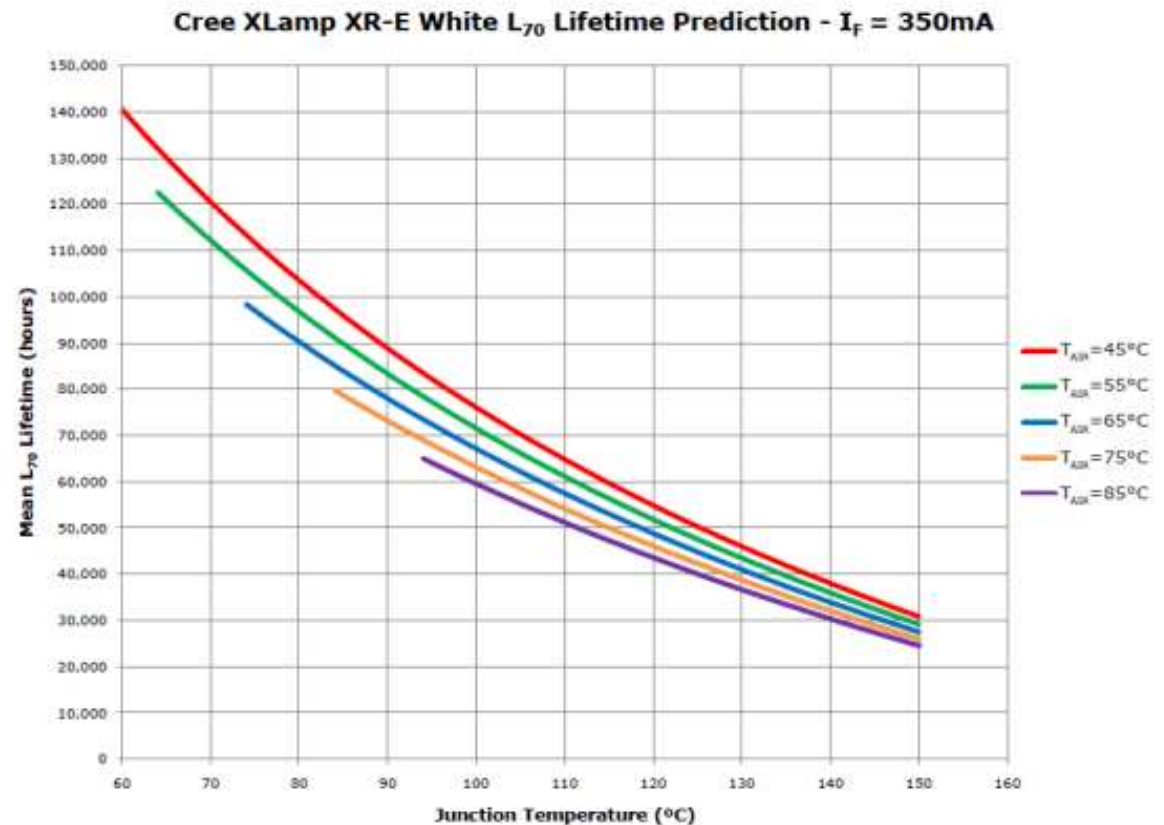
LAMP TARGETS
Luminous Efficacy (lm/W)
Lifetime (hr)
Flux (lm/lamp)
Input Power (W/lamp)
Lamp Cost (in \$/klm)
Lamp Cost (in \$/lamp)
Color Rendering Index
DERIVED LAMP
Capital Cost [\$ /Mlm)
Operating Cost [\$ /Mlm)
Ownership Cost [\$ /Mlm)



Fluorescent	HID
85	90
10,000	20,000
3,400	36,000
40.0	400.0
1.5	1.0
5.0	35.0
75	80
0.18	0.05
0.82	0.78
1.00	0.83

Durée de vie

- Plusieurs dizaines de milliers d'heures
 - 30 000 heures à 3 heures d'utilisation par jour \cong 30 années
- Pas de pannes subites
- Décroissance régulière du flux
 - Durée de vie définie à 70% du flux initial
 - Dépend
 - Température de jonction
 - Courant
 - Température ambiante
 - ... du fabricant



Secteurs de marché des LED

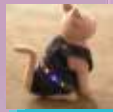
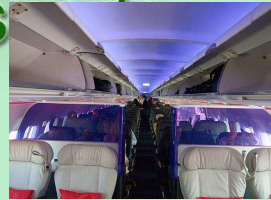
Signalisation



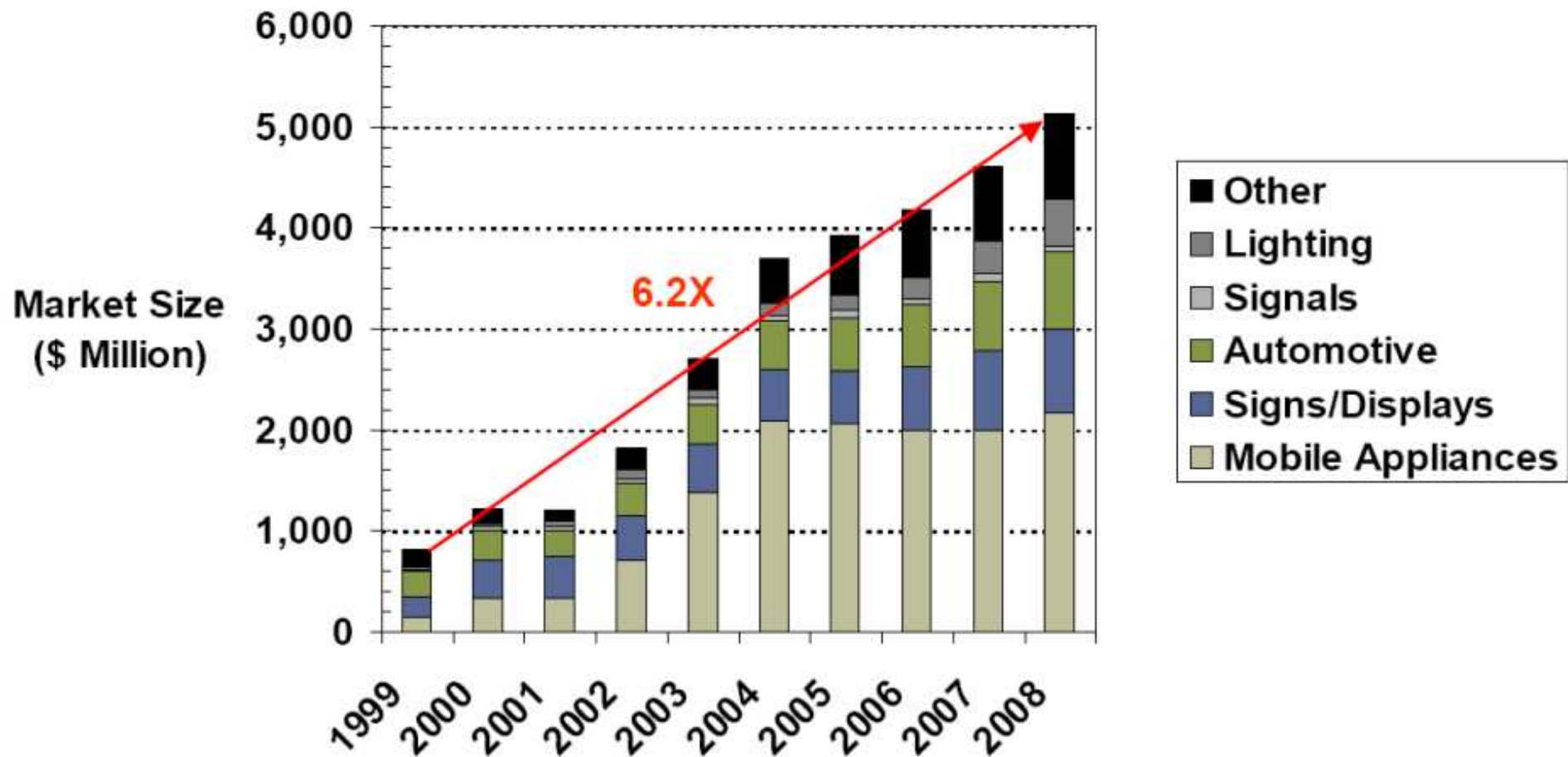
Affichage



Applications nomades



Développement récent du marché des HB-LED

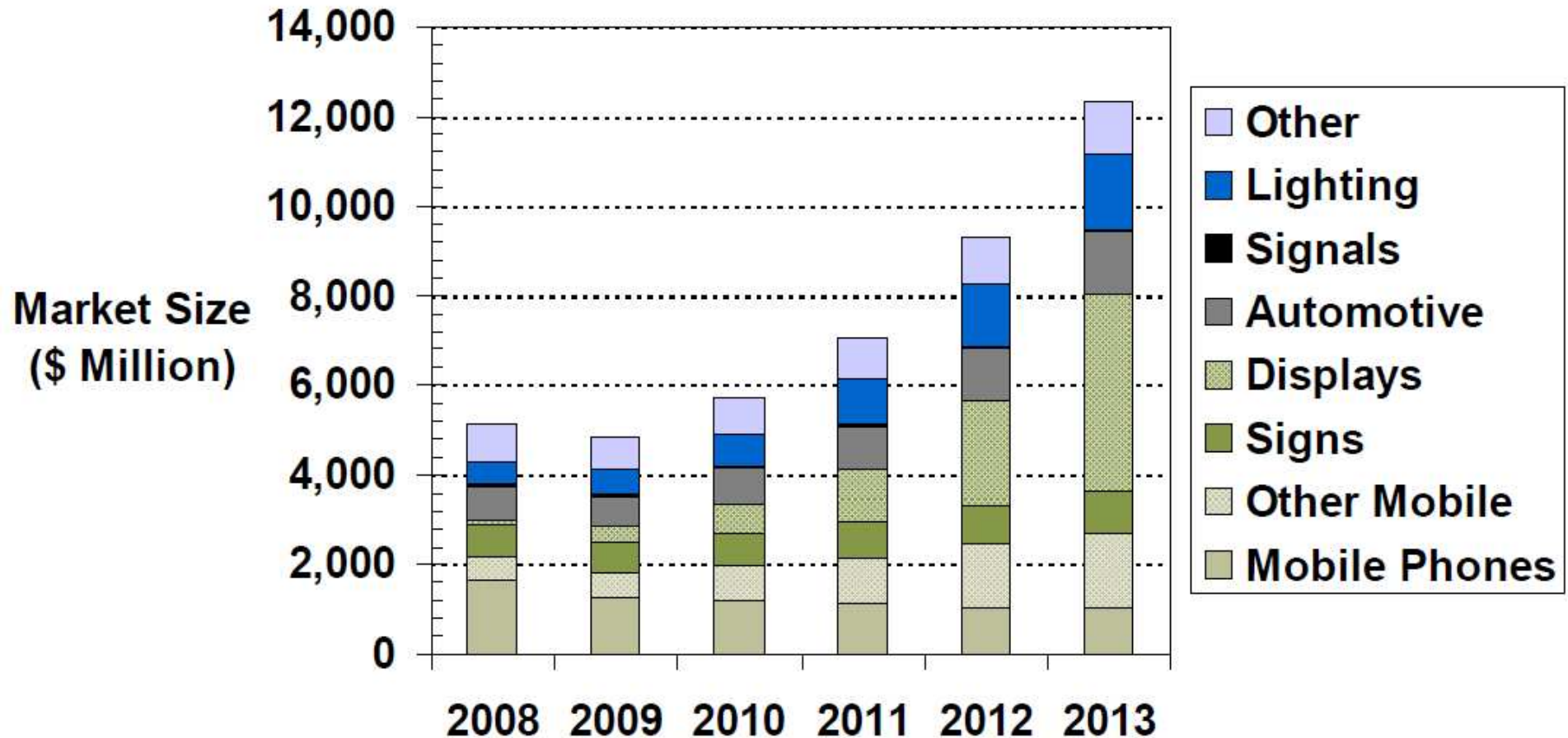


Strategies in Light

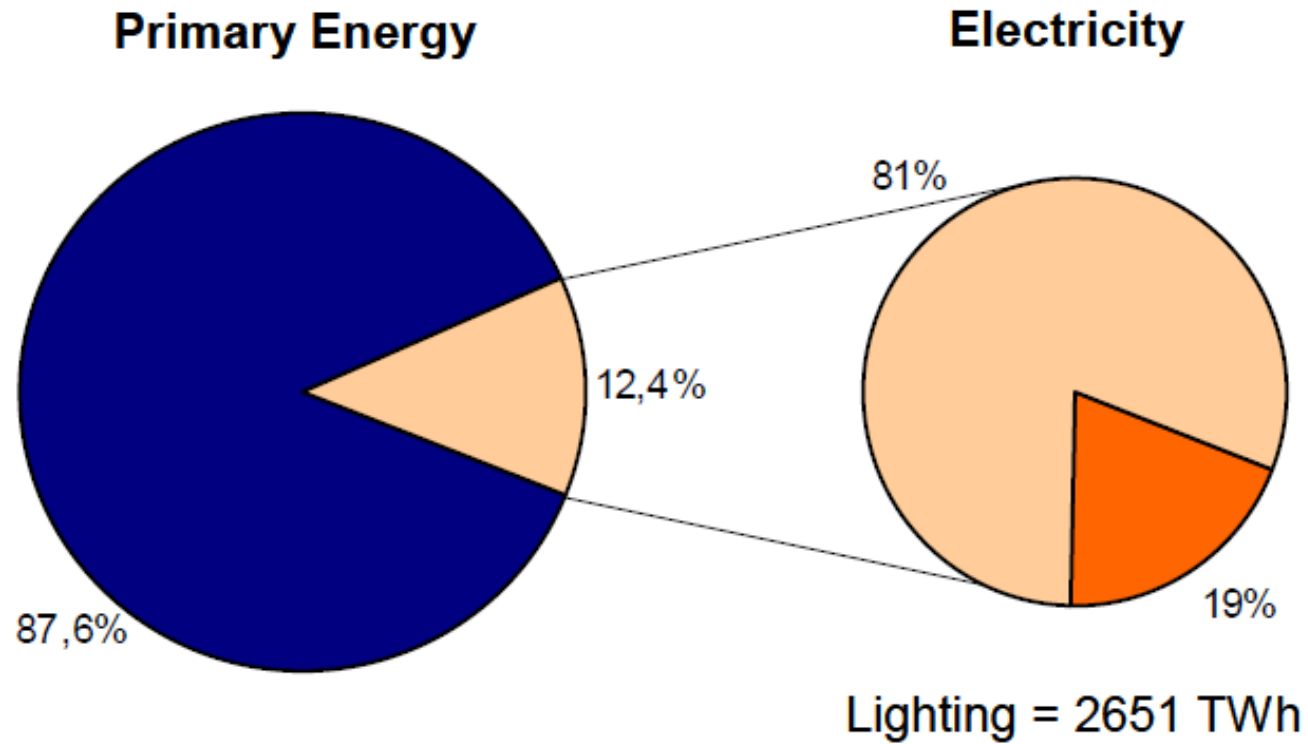
The Leading Event for the Global LED Industry

Prévisions de marché pour les HB-LED

Prévisions 2008



L'éclairage et la recherche d'efficacité énergétique



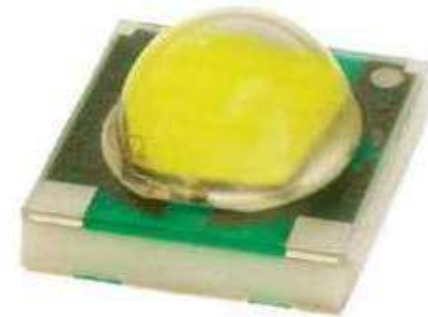
L'éclairage...



75 W
1000 lm
13 lm/W
IRC 100
1000 heures



23 W
1500 lm
65 lm/W
IRC 80
10000 heures



3W
240 lm
80 lm/W
IRC 75
30000 heures

La LED, un produit miracle ?

- Qu'est-ce-qui freine le déploiement ?
 - Leur coût actuel de fabrication
 - Les volumes de production faibles par rapport au marché potentiel
- Comment baisser les coûts ? 3 pistes
 - Augmenter encore le nombre de lumen par unité de surface (brillance)
 - Augmenter la surface des substrats pour diminuer le coût unitaire
 - Diminuer le coût du process global
- **Objectif 2020 : 2\$ le klm (équivalent à une lampe de 75W) à l'achat**
- Les leaders mondiaux
 - CREE
 - Philips Lumileds
 - Osram Semiconductors
 - Nichia
- Une cohorte de nouveaux acteurs en vue

Cluster Lumière

- Une association regroupant les acteurs de la lumière et de l'éclairage
- Fondée en mai 2008
- Bientôt 100 adhérents