

Chapitre 9

Dispositifs Optoélectroniques

Diode électroluminescente (LED)

Principe de fonctionnement

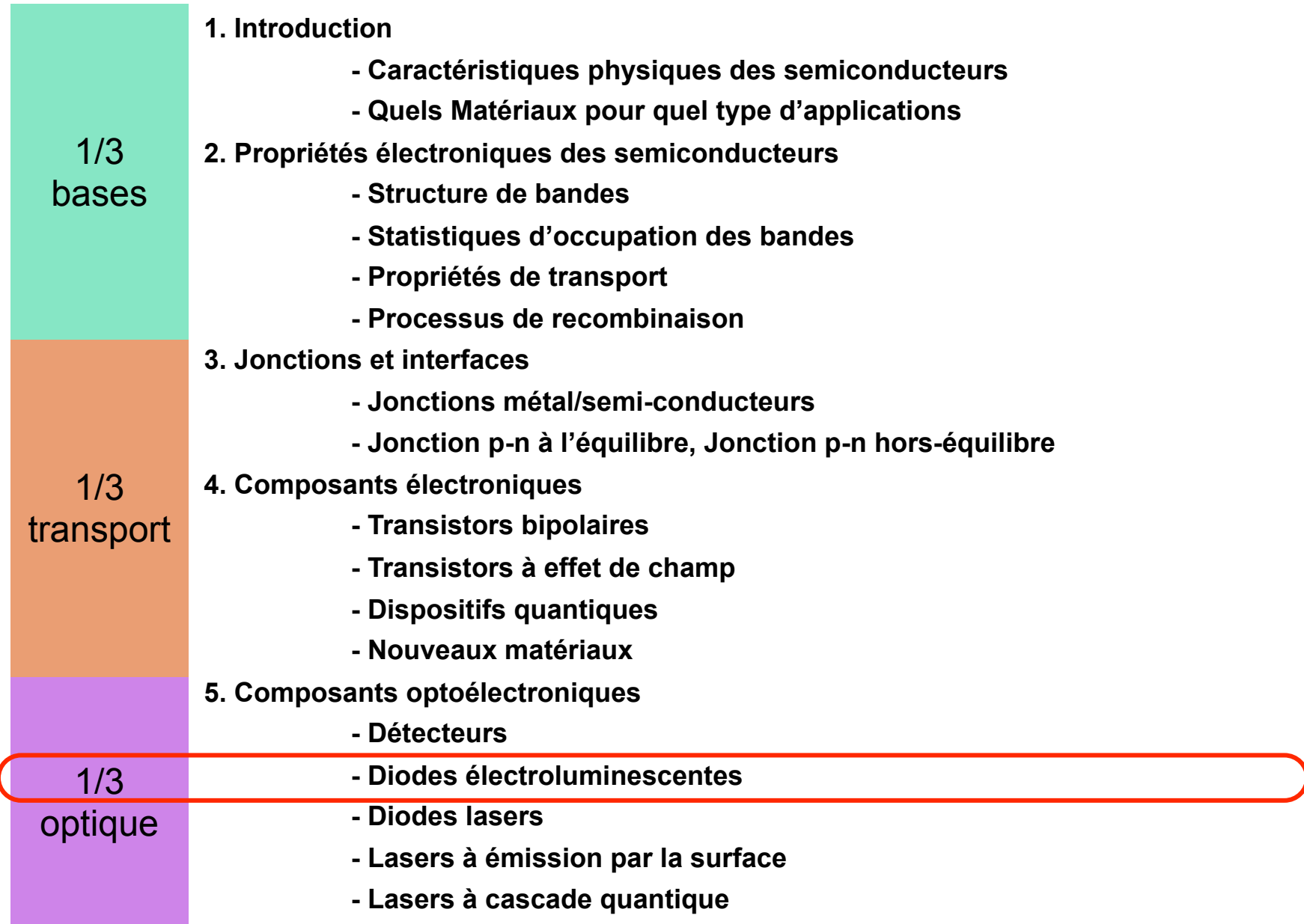
Rendement interne/externe

Extraction lumineuse

LED « blanches »

Applications

Plan du cours



Dispositifs Optoélectroniques

Fonction de base/définition:

Dispositif optoélectronique \Rightarrow **électron et photon**

Emission

\Rightarrow Produit de la lumière à partir d'un courant (électrons)

Détection

\Rightarrow Produit du courant (électrons) à partir de lumière

Modulation

\Rightarrow Module un signal optique *via* une commande externe (tension, courant)

Dispositifs Optoélectroniques

Emetteurs:

- Diode électroluminescente (Light emitting diodes)
- Diode laser (dispositif bipolaire)
- Laser à cascade quantique (dispositif unipolaire)

Détecteurs:

- Diode à avalanche
- Détecteur à puits quantiques (infra-rouge)
- Cellule photovoltaïque
- CCD

Modulateurs:

- modulation lumineuse haute fréquence (GHz)

Applications

Diodes électroluminescentes (LEDs):

- Affichage
- Eclairage
- Purification de l'eau (UV)

Diodes Lasers:

- CD-ROM, DVD
- Imprimante
- Projection
- Communication

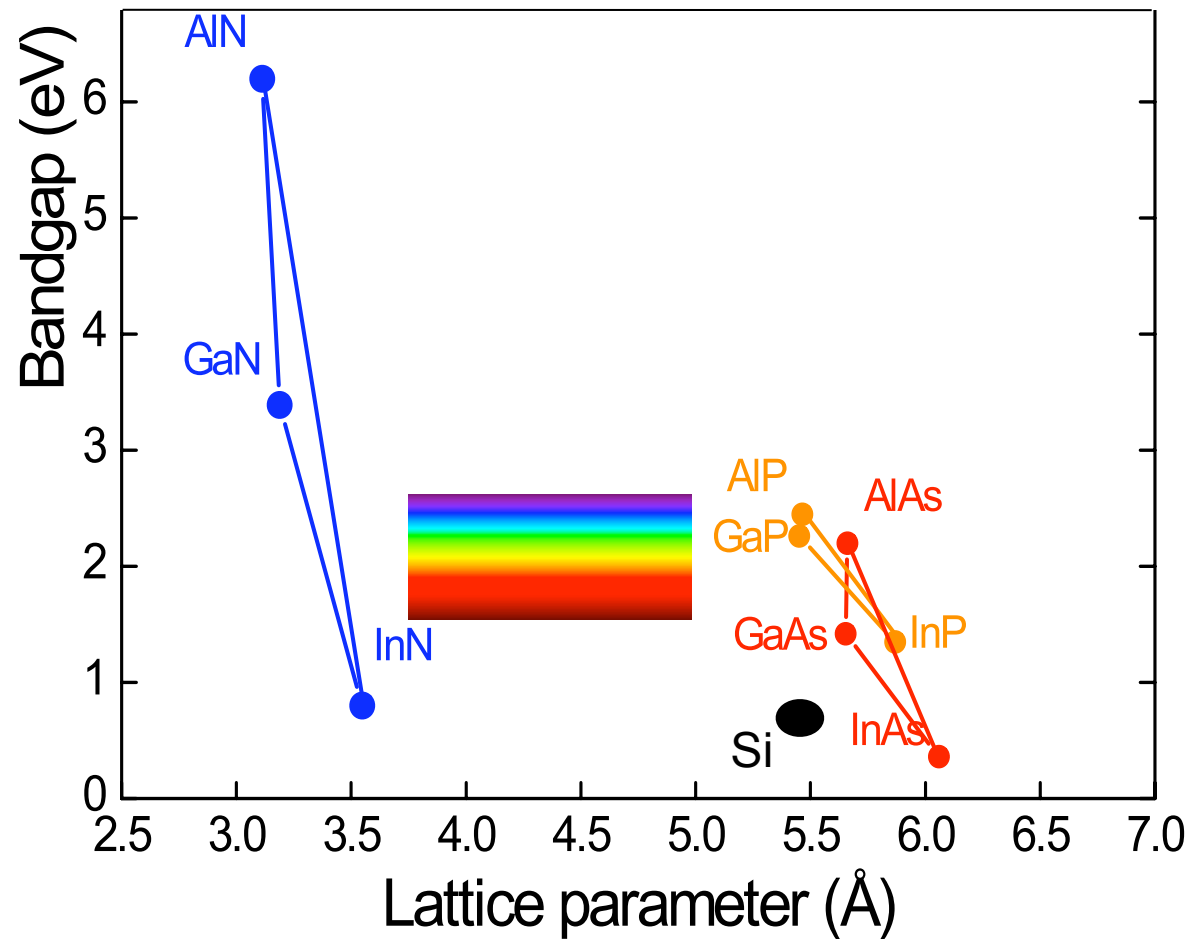
Cellules solaires

- Production d'énergie électrique

Détecteurs

- Infra-rouge (vision nocturne)
- Ultra-violet (détection "solar blind")

Matériaux pour l'optoélectronique

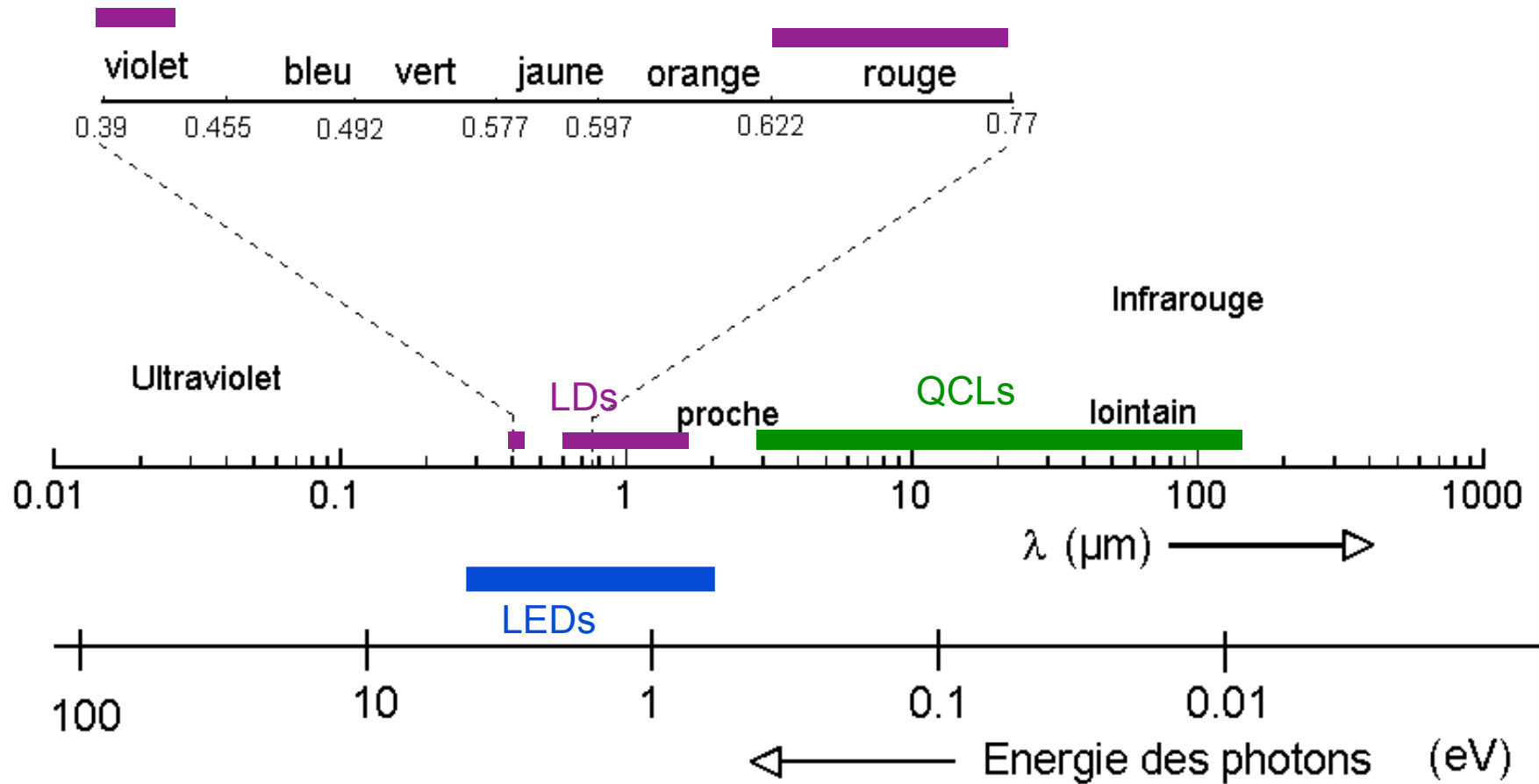


Arséniures: (Al,Ga,In)As

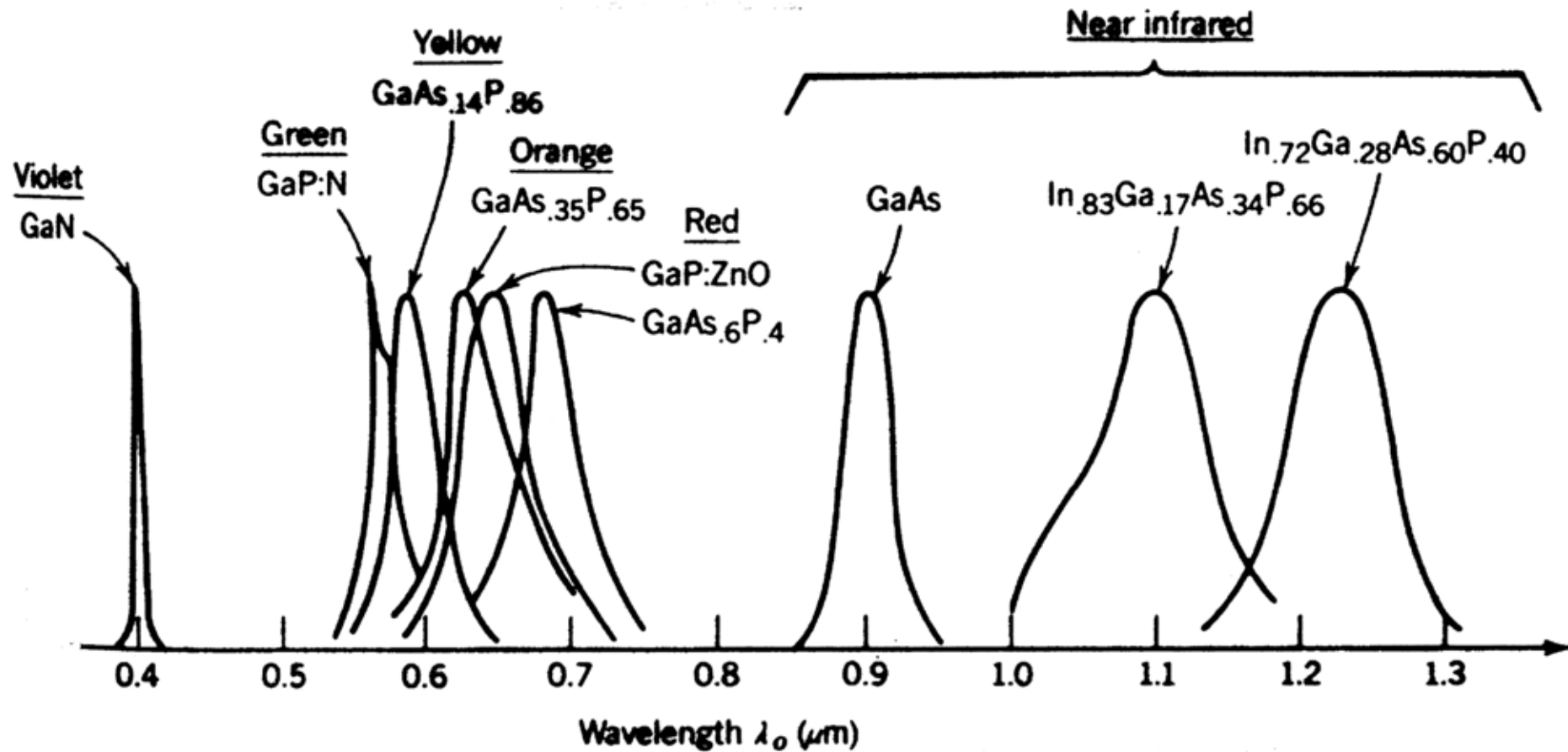
Phosphures: (Al,Ga,In)P

Nitrures: (Al,Ga,In)N

Domaine spectral

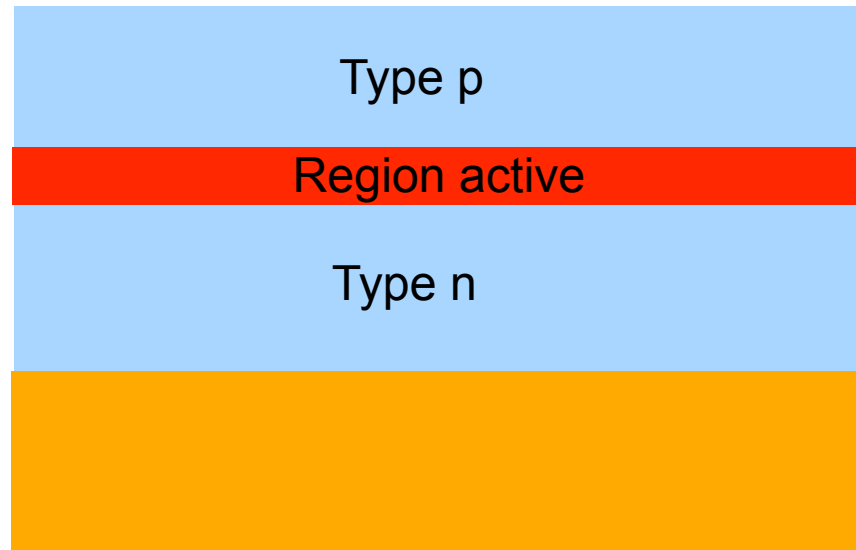


LEDs: émission



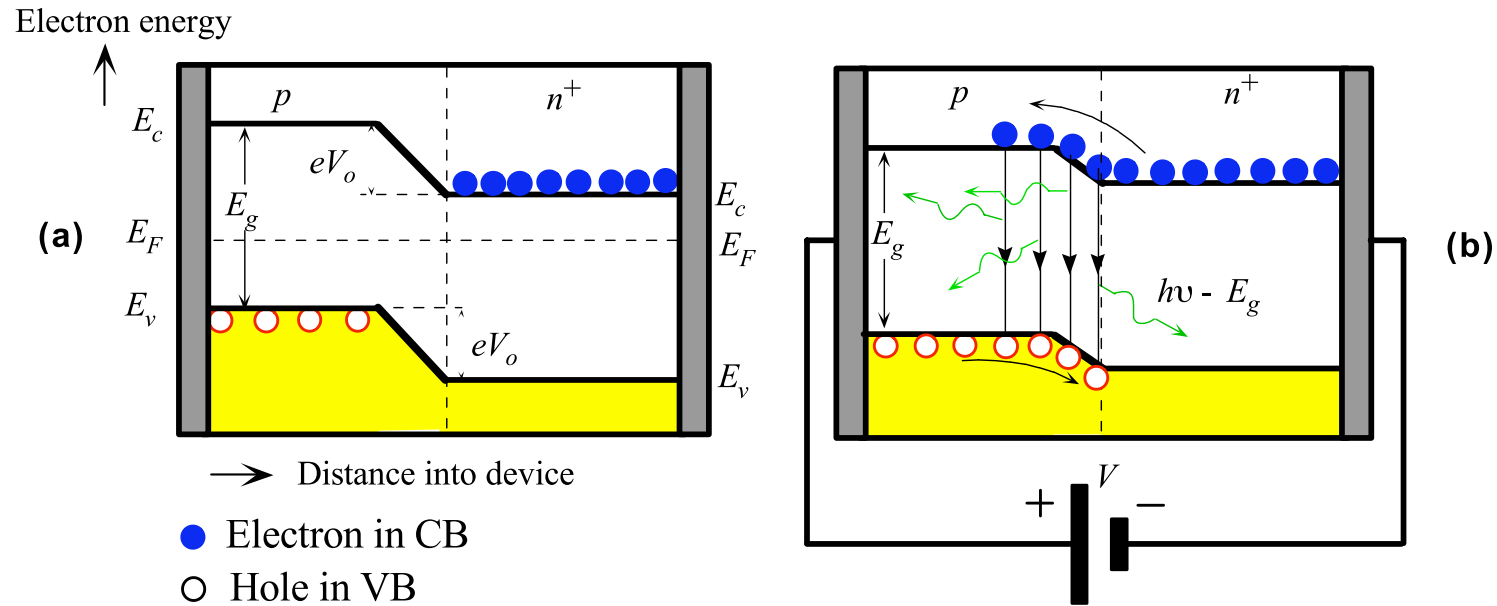
La lumière émise par une LED n'est pas monochromatique: élargissement spectrale

Diodes électroluminescentes (LEDs)



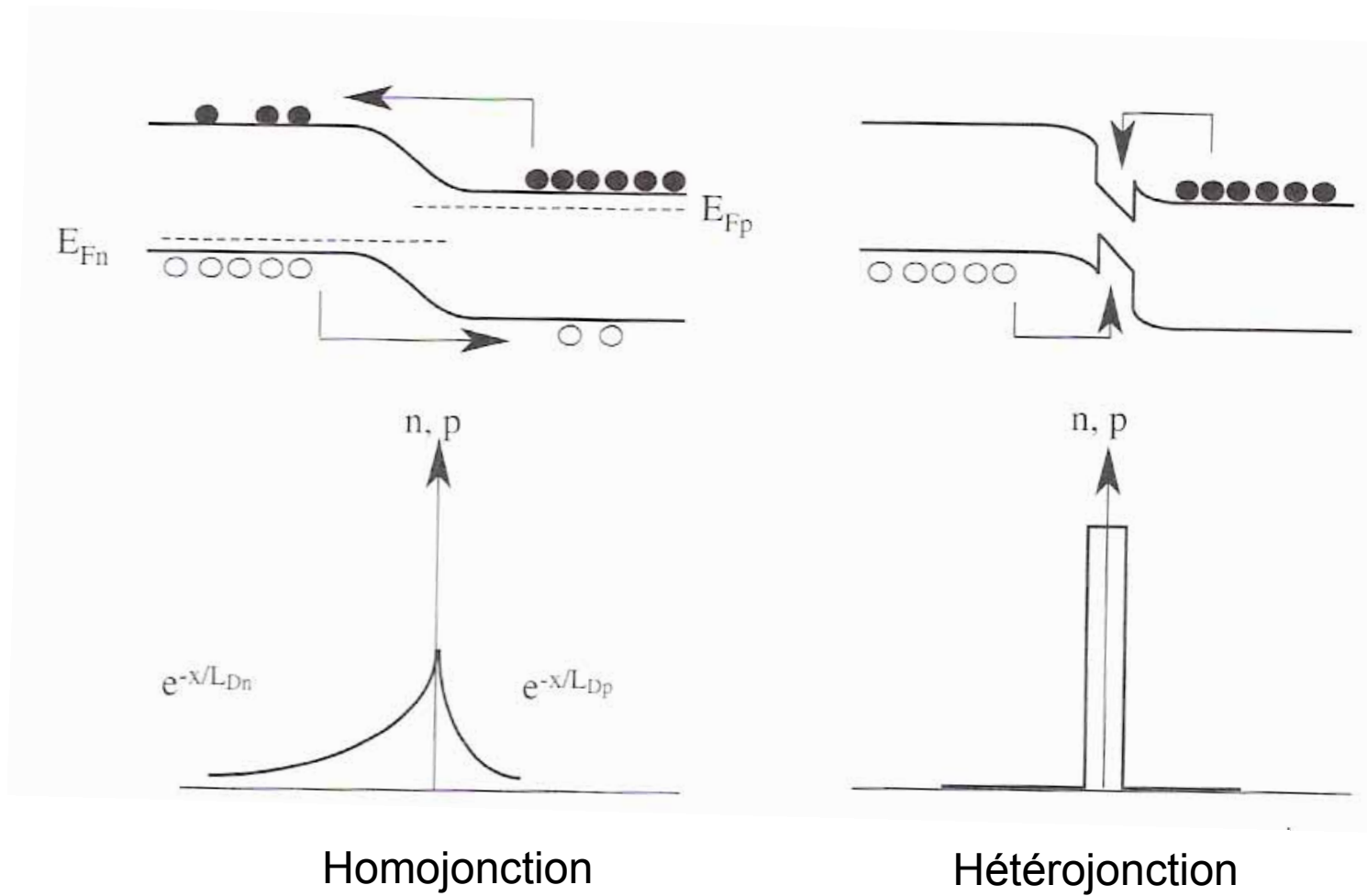
Une diode électroluminescente est constituée d'une jonction p-n et d'une zone active au cœur de celle-ci. C'est là que vont avoir lieu les recombinaisons électrons-trous.

Diodes électroluminescentes (LEDs)

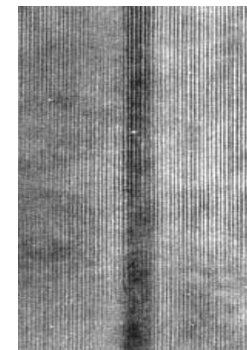
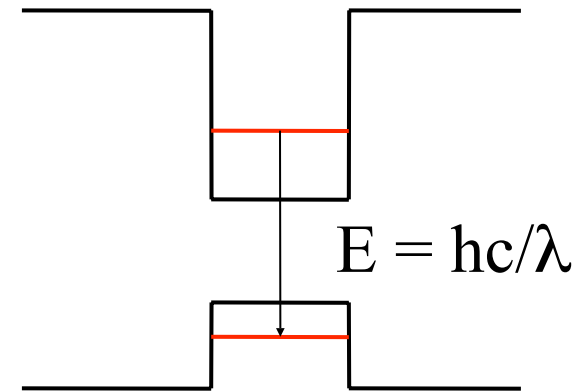
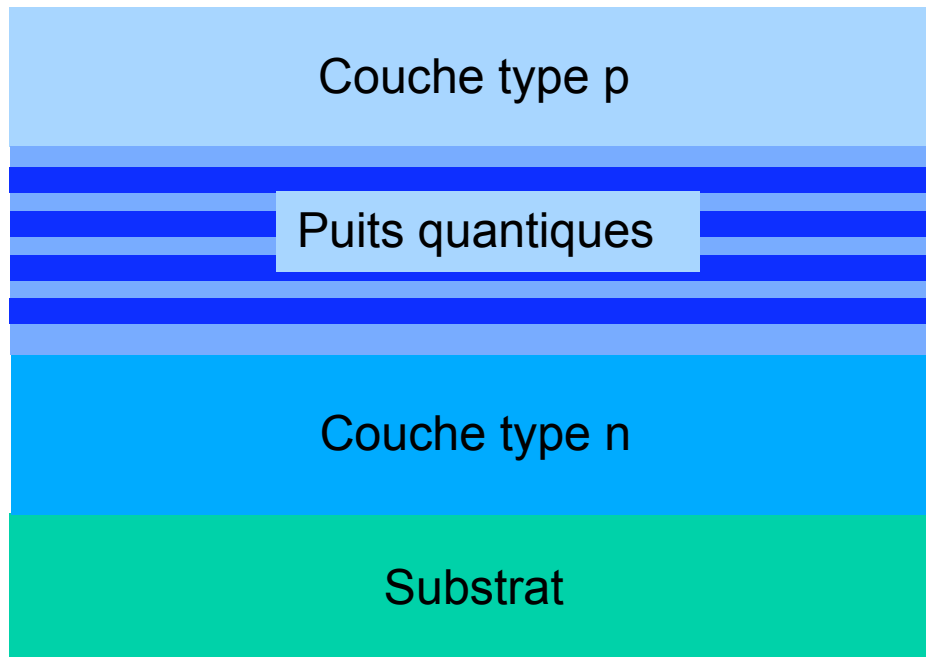


LED à homojonction

Diodes électroluminescentes (LEDs)



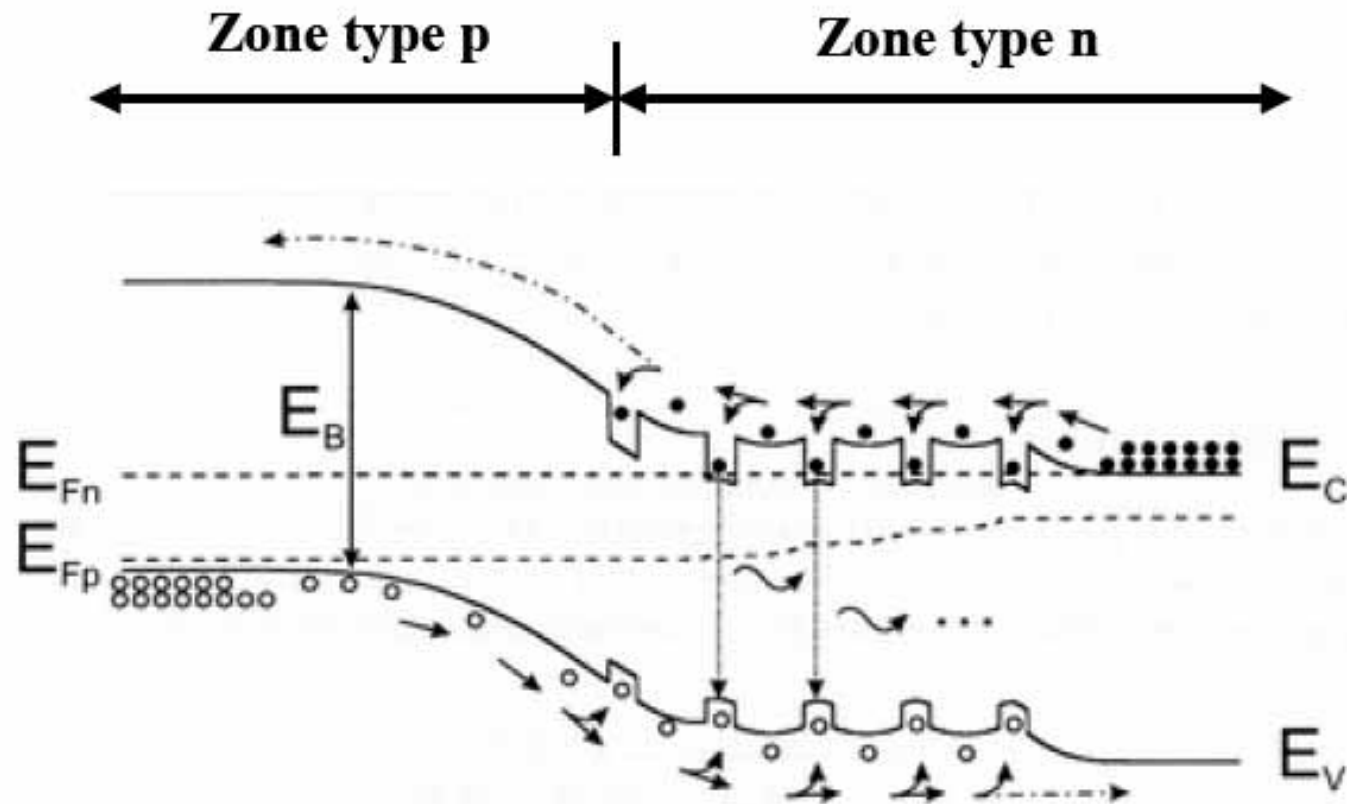
Diodes électroluminescentes (LEDs)



3 nm

Puits quantique
(les électrons et les trous sont confinés
et leur énergie est quantifiée)

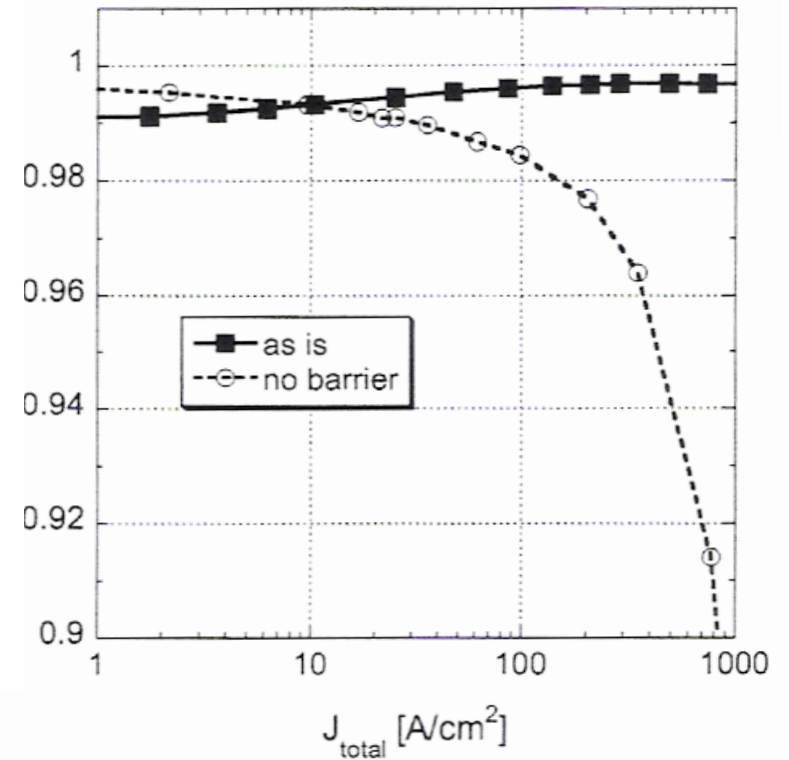
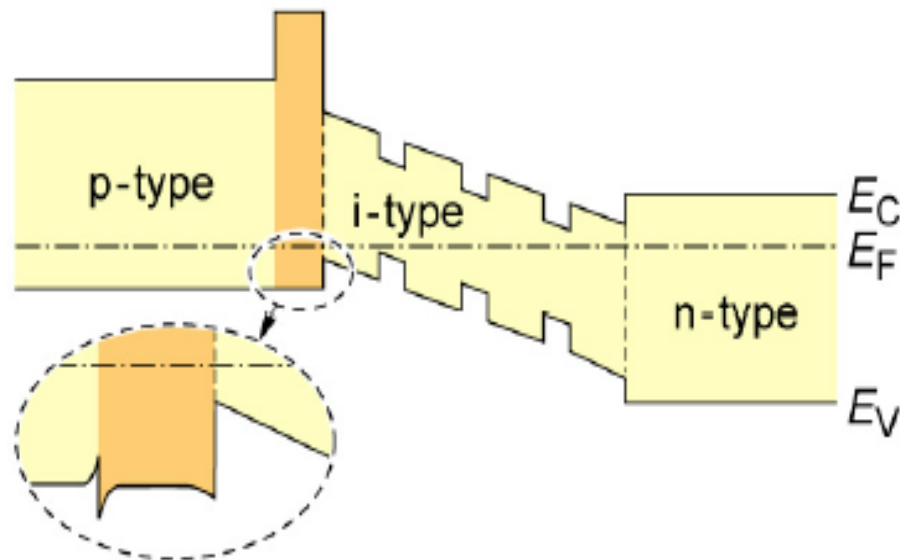
Diodes électroluminescentes (LEDs)



LED à **multi-puits quantiques**

Diodes électroluminescentes (LEDs)

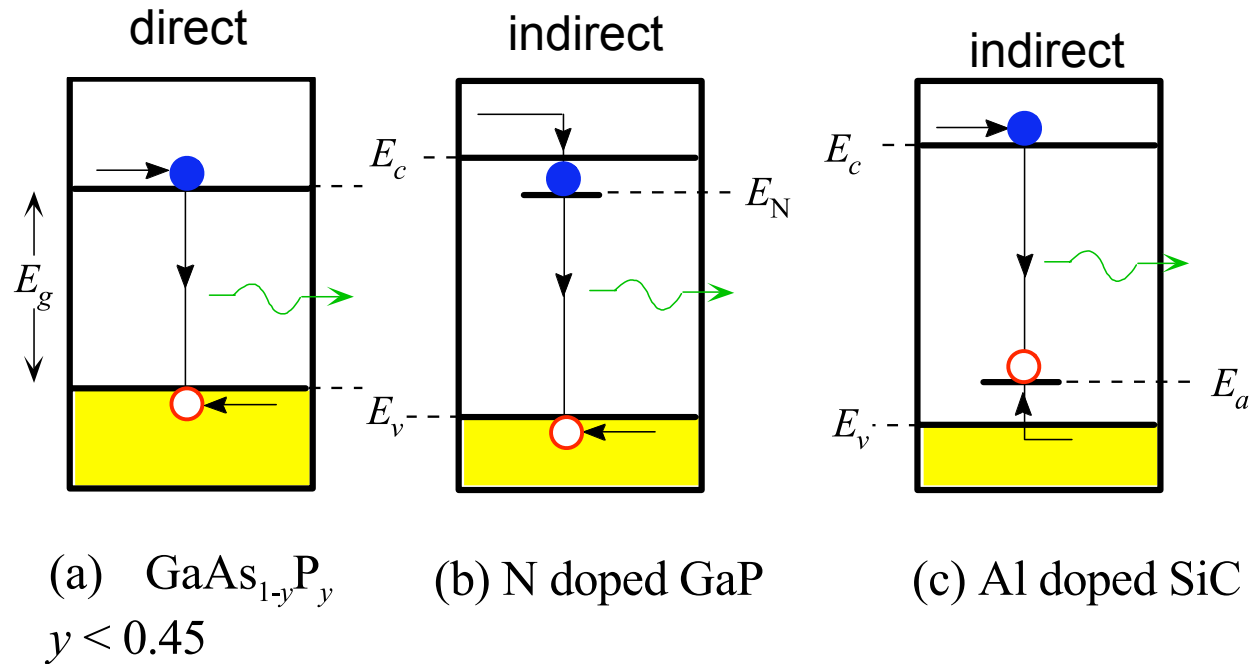
(b) Doped structure



LED à multi-puits quantiques et **barrière pour les électrons**

Diodes électroluminescentes (LEDs)

LED à gap indirect



Indirect \Rightarrow luminescence *via* un défaut localisé dans le gap

Diodes électroluminescentes (LEDs)

Rendement interne

Efficacité de conversion des électrons en photons

$$\eta_i = \tau_{NR} / (\tau_{NR} + \tau_R) \quad \text{rendement quantique interne}$$

avec τ_{NR} durée de vie non-radiative

τ_R durée de vie radiative

Le flux de photons émis est alors $\Phi = \eta_i J/q$

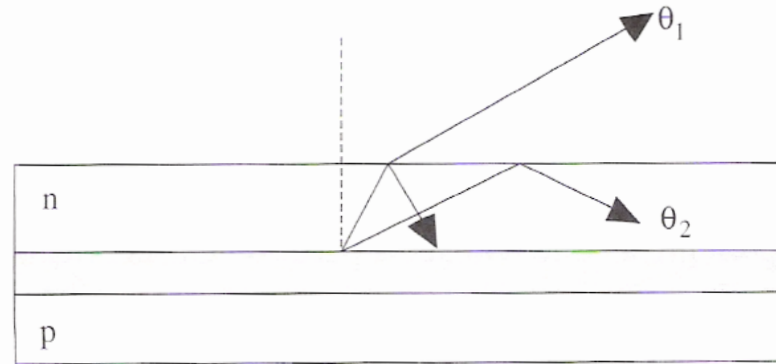
avec J le flux d'électrons

Le rendement interne peut atteindre 80 %

Diodes électroluminescentes (LEDs)

Rendement externe

Problème: les photons sont émis dans le semiconducteur et il faut donc qu'ils sortent!



$$\text{Transmission } \theta_1 \approx 0^\circ \quad T = 1 - [(n_{sc}-1)/(n_{sc}+1)]^2$$

$$\text{Angle critique: } \theta_c = \arcsin(1/n_{sc})$$

Typiquement pour GaAs, $n_{sc} = 3.6 \Rightarrow \theta_c = 16^\circ$ et $T = 0.7$ à 0°

Si on intègre sur l'angle solide, il n'y a que 4% de lumière extraite

le rendement externe η_t est très faible si l'on considère une géométrie simple

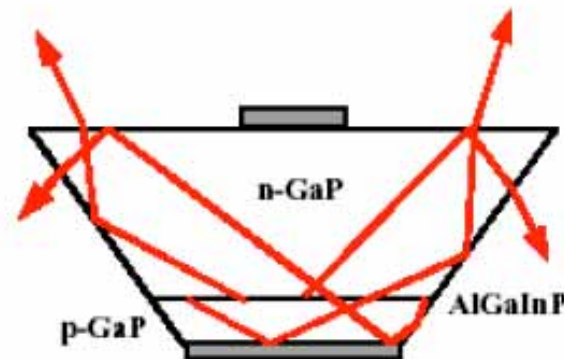
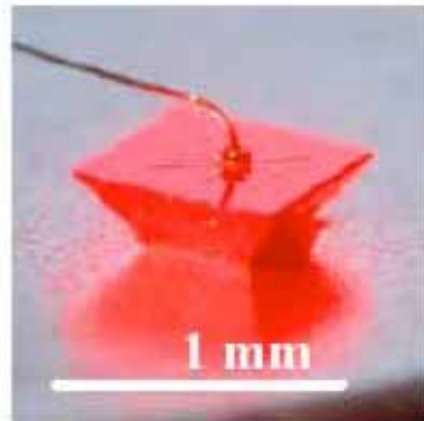
Diodes électroluminescentes (LEDs)

Rendement quantique externe:
(nb de photons émis/nb d'électrons)

$$\eta_{\text{ext}} = \eta_i \eta_t$$

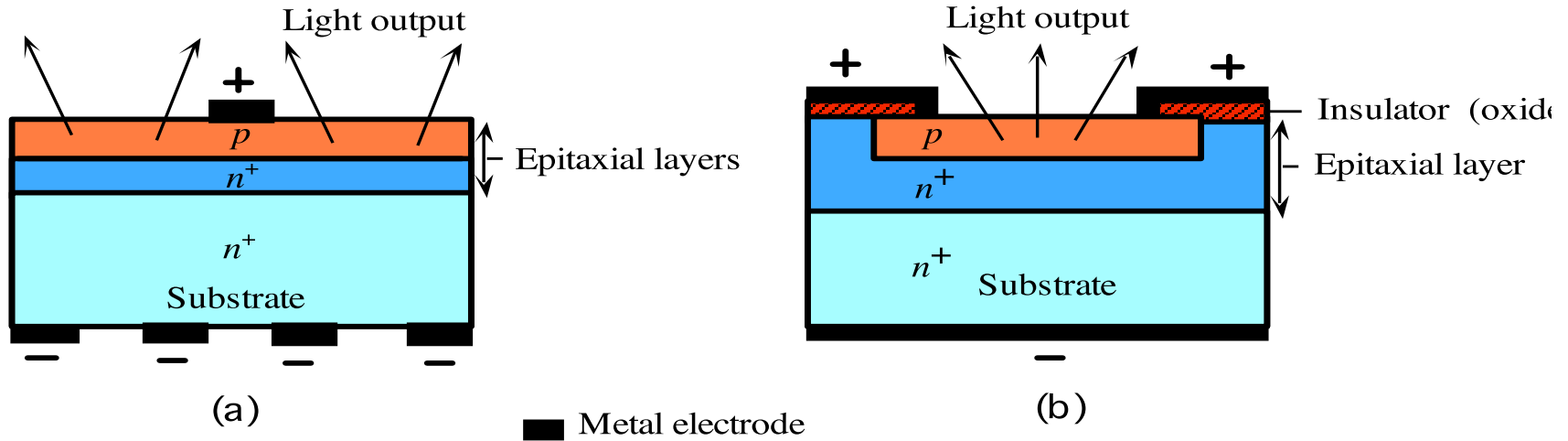
Il peut atteindre 40-50 % à condition de jouer sur l'extraction lumineuse

Exemple:

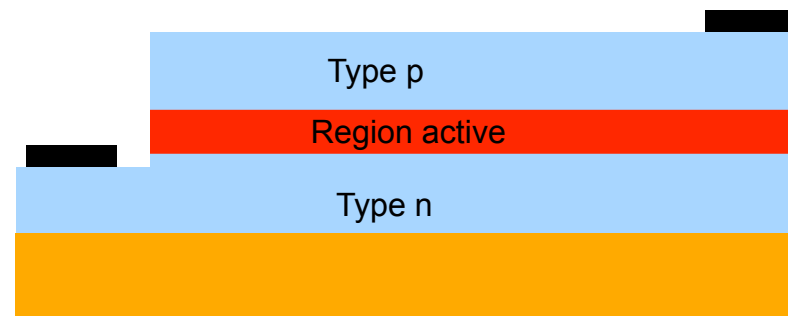


Diodes électroluminescentes (LEDs)

Fabrication



Substrat conducteur

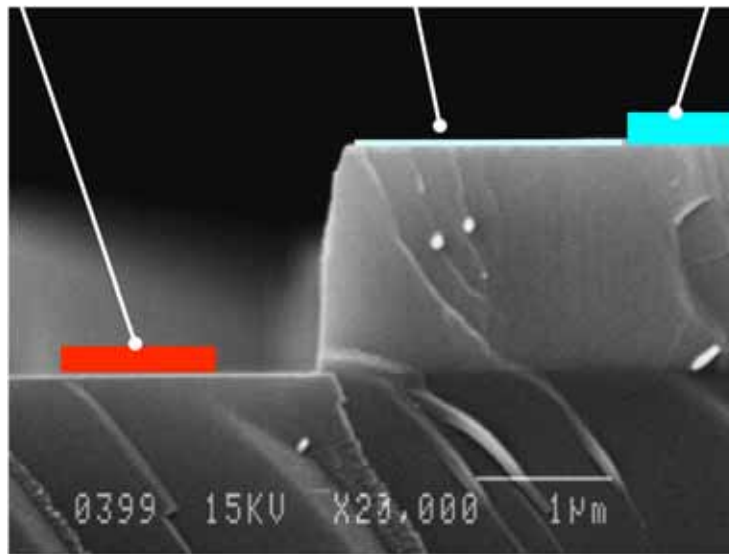


Substrat isolant (GaN/saphir)

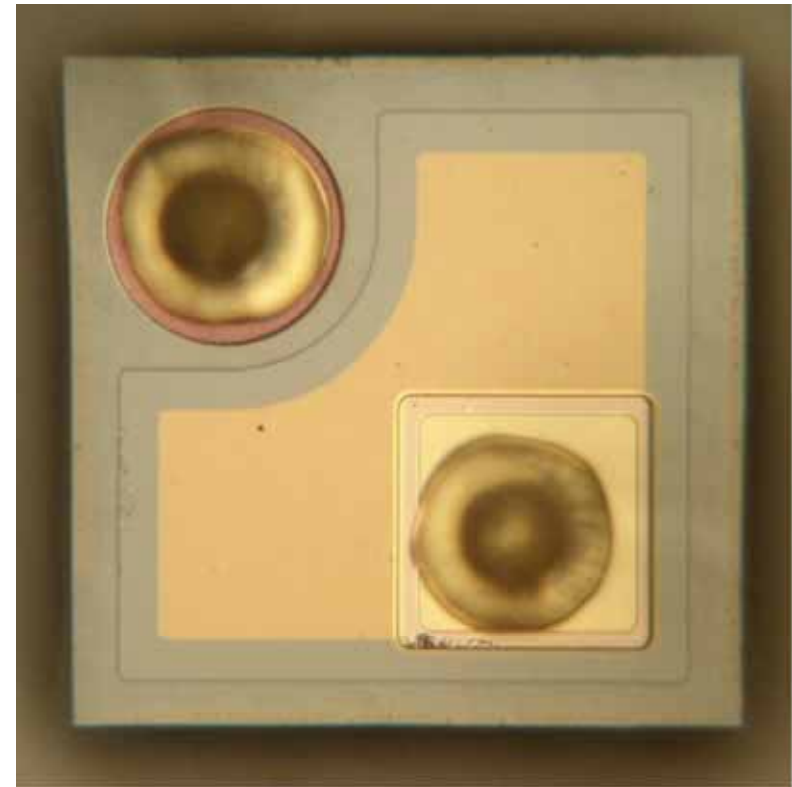
Diodes électroluminescentes (LEDs)

Fabrication

Contact n	Semi-transparent	Contact p
Ti/Al/Ni/Au	Ni/Au	Ni/Au

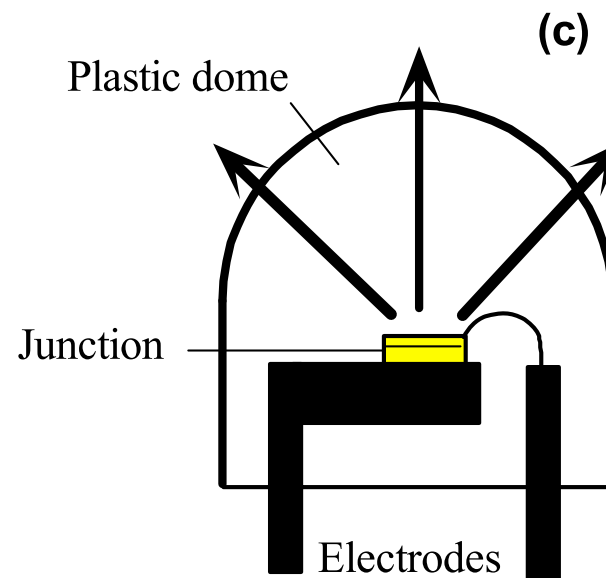
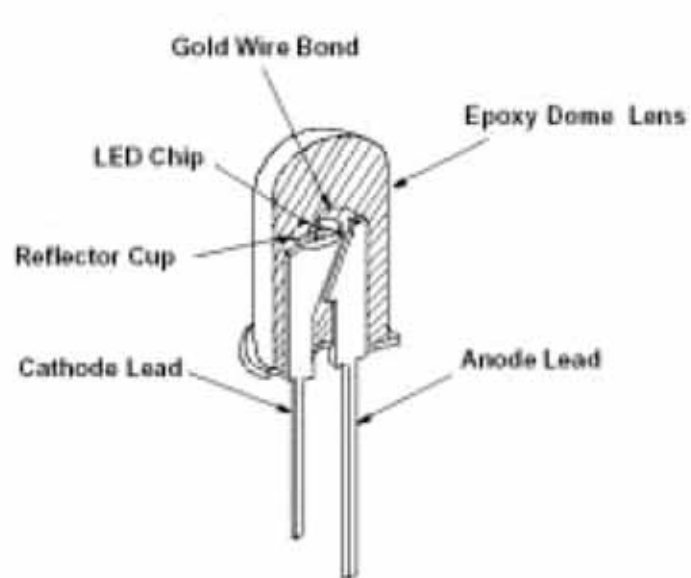


Gravure
plasma

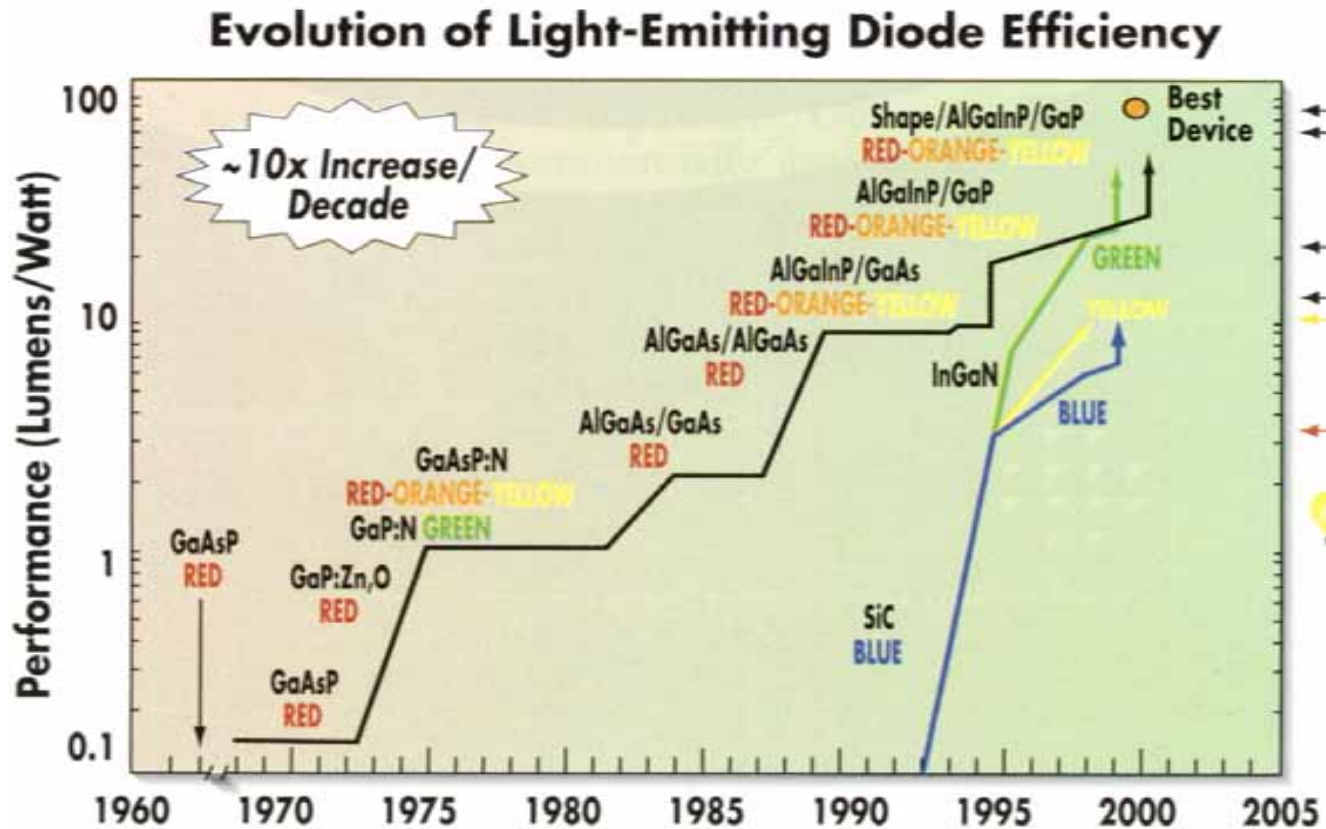


Diodes électroluminescentes (LEDs)

Fabrication



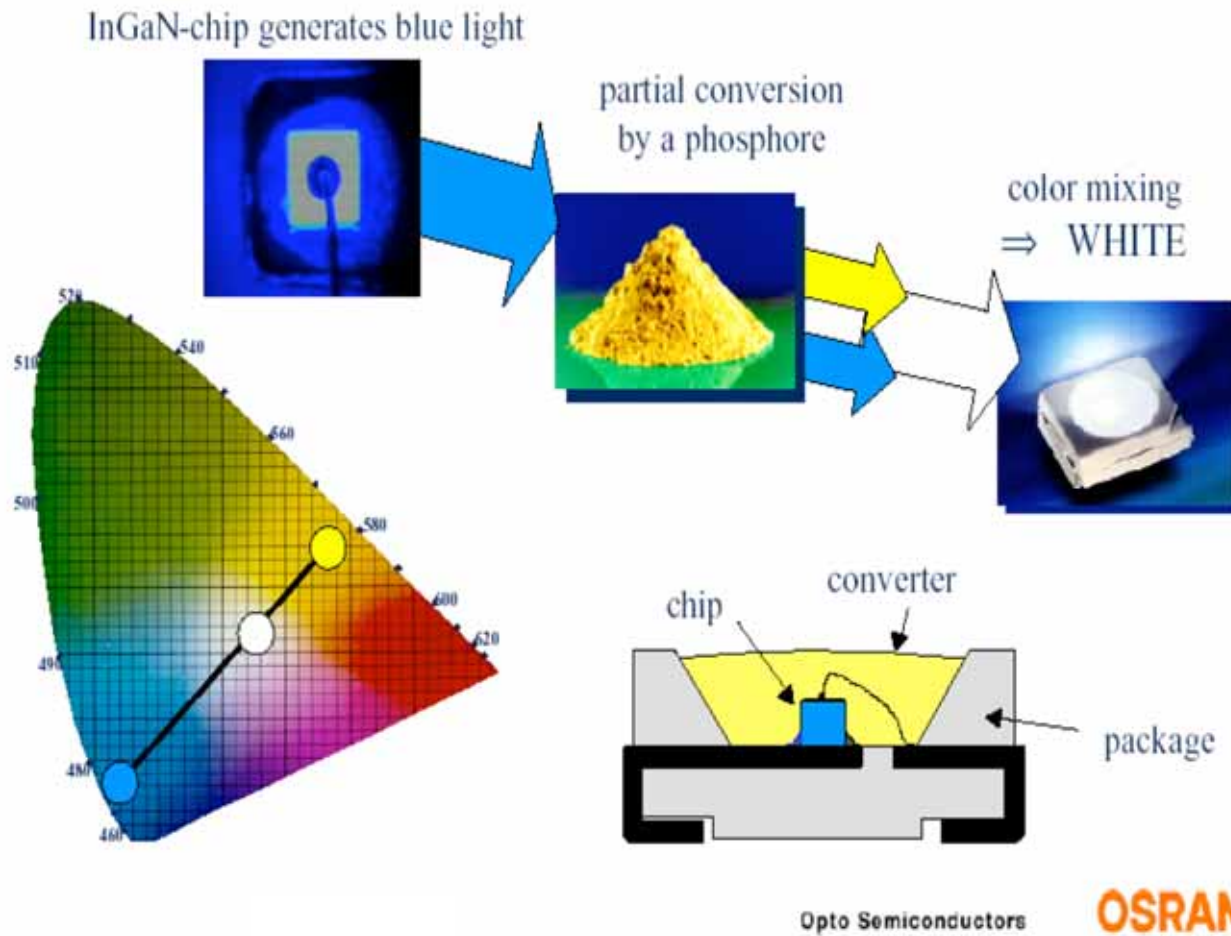
Diodes électroluminescentes (LEDs)



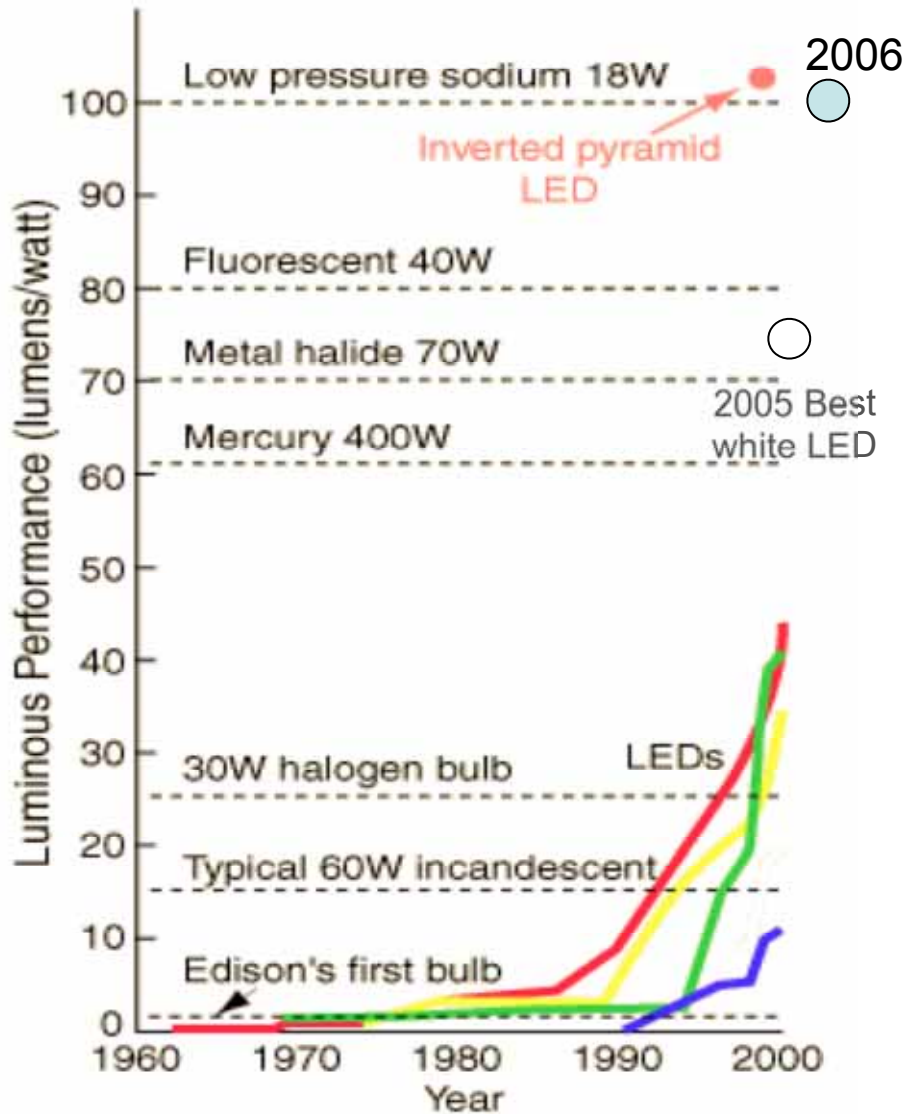
LEDs bleues GaN de puissance \Rightarrow LEDs blanches

LEDs blanches pour l'éclairage

Conversion du bleu par un phosphore jaune



LEDs blanches pour l'éclairage



2005: > 70 lm/W

5 x le rendement des lampes à incandescence

2020: > 150 lm/W

Energy consumption
Long lifetime (100 000 h)
Safety
Compacity

LEDs blanches pour l'éclairage

Warm white

- Typical flux : $>23 \text{ lm}$ (@350mA & $T_j 25^\circ\text{C}$)
- Maximum junction temperature: 135°C
- **CRI > 90**
- Thermal resistance: 13°C/W

CRI: color rendering index



Cool white

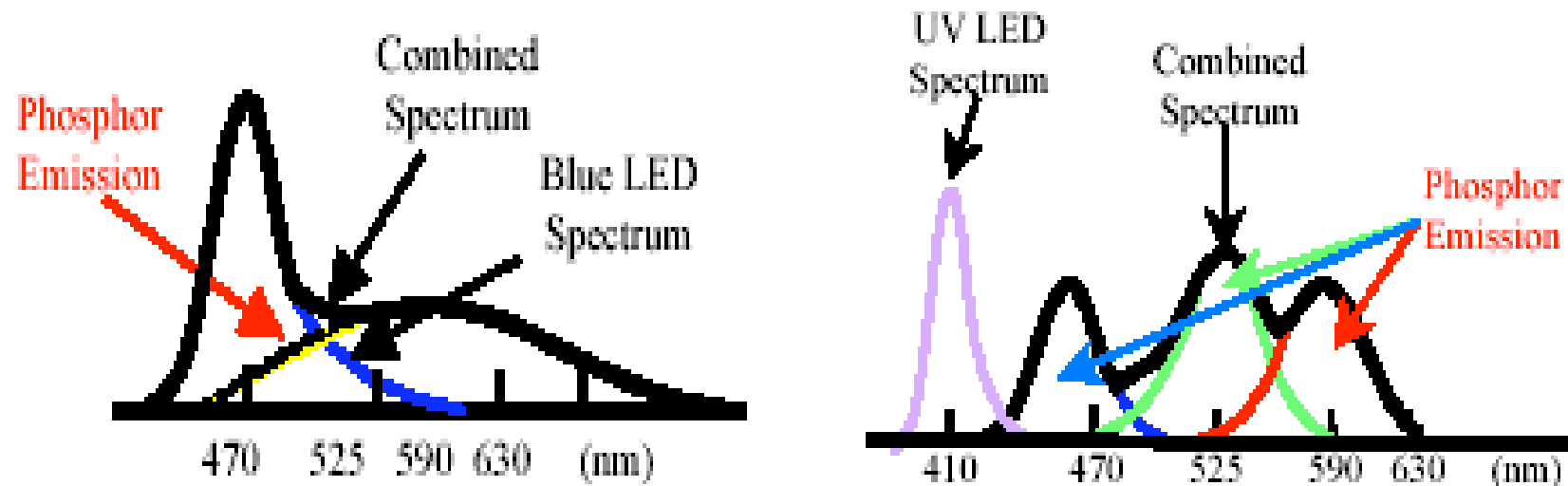
- Typical flux : $>40 \text{ lm}$ (@350mA & $T_j 25^\circ\text{C}$)
- Maximum junction temperature: 135°C
- CRI > 70
- Thermal resistance: 13°C/W
- **Conformal phosphor coating**



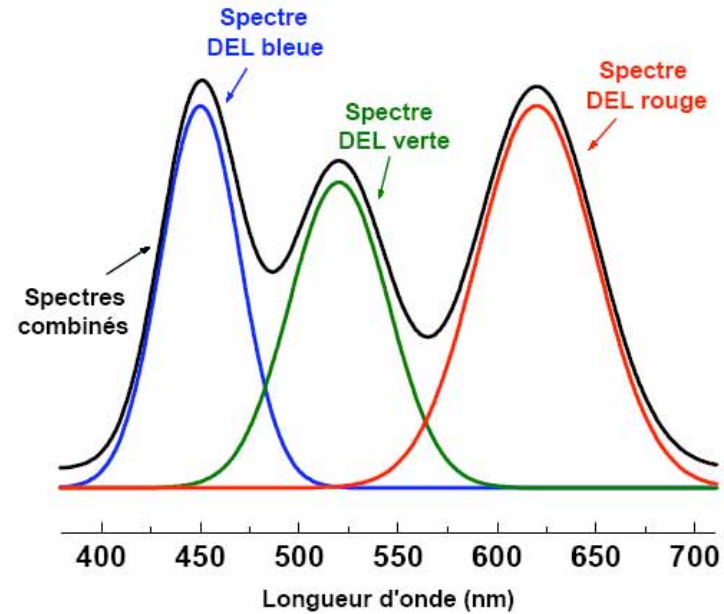
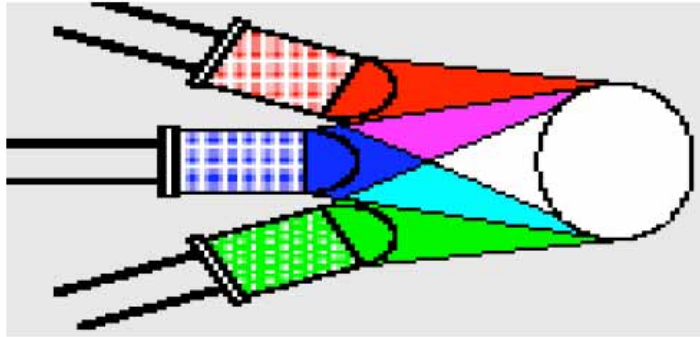
LEDs blanches pour l'éclairage

Points critiques:

- Coût
- Alimentation BT
- Rendu des couleurs \Rightarrow phosphores RVB

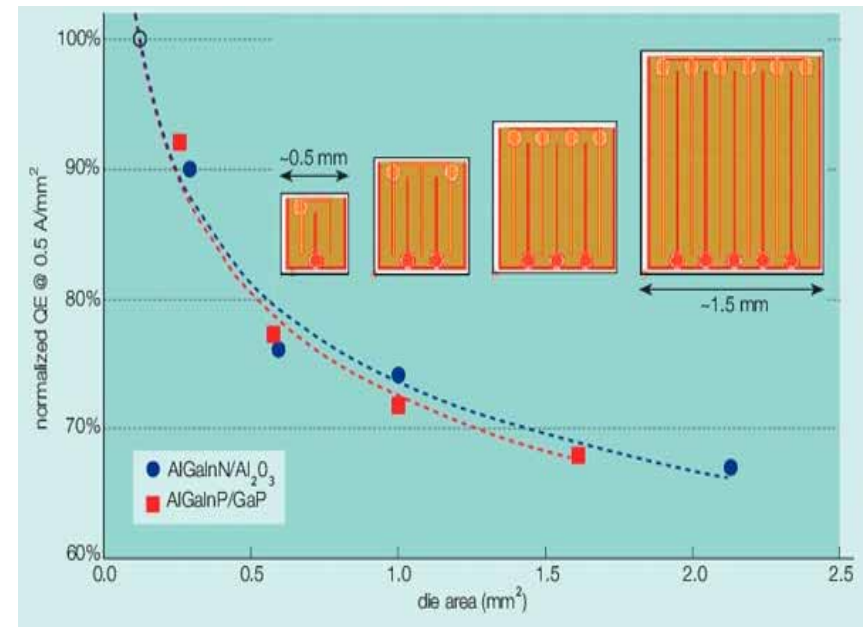
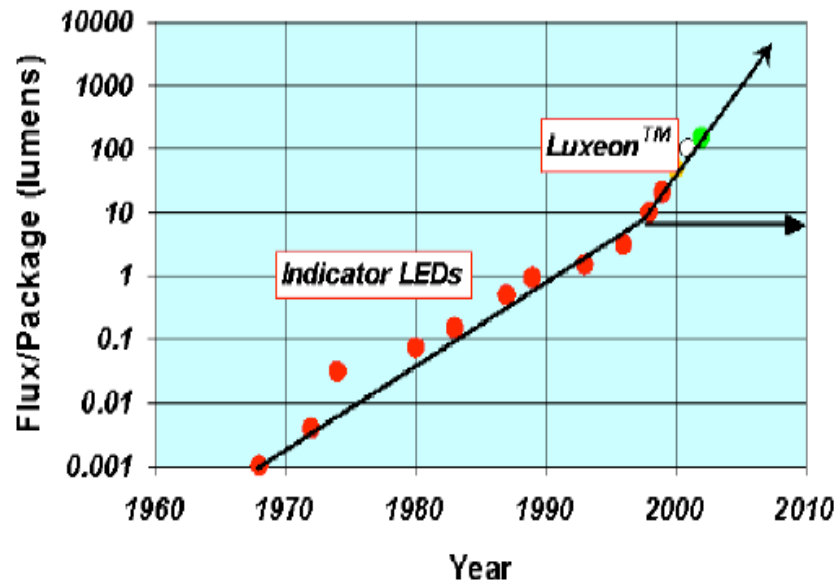


lumière blanche avec 3 LEDs RVB



Efficacité maximale mais coût important

LEDs blanches pour l'éclairage



Augmentation de la taille ⇒ extraction diminuée

Diodes électroluminescentes (LEDs)



15 W
110 lm/bulb
7 lm/W
Incandescent



4 W
145 lm/bulb
36 lm/W
Fluorescent



500 lm

30 lm/W
2x2 mm² chip

2020: LEDs devraient remplacer les lampes incandescentes à bulbes

LEDs blanches: autres applications



Application LEDs

Applications for LED Modules

Signal Lights



Full Color Displays



Illuminated Signs



Dominik Eisert
21.10.02 Seite 7

Opto Semiconductors

OSRAM