

# Chap 0 ZERO : Photométrie

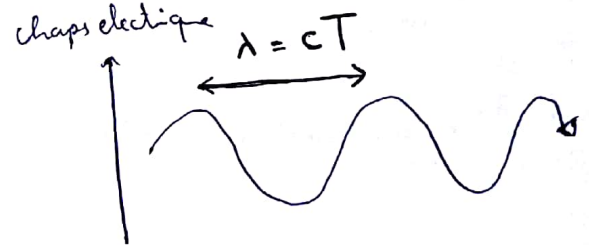
## La lumière

• perturbation du champs électromagnétique qui se propage.

•  $\lambda = \frac{c}{f} T$   $c$

•  $f$

Vitesse dans le milieu  
 $v = \frac{c}{n}$



## photométrie

Science → étudier Rayonnement 

↳ selon 



## Unité

énergétique  
(Radio-métrie)

visuelle  
(Photométrie)

flux lumineux  $\Phi$  : (puissance)  $\frac{\text{quantité énergie}}{\text{Temps}}$

**lumens**

**angle Solide  
Stéradian**

**éclairement  
lux**

flux / surface

• **Intensité lumineuse** : flux / angle solide

**Candéla**

• **LUMInance**  
**Candéla / m<sup>2</sup>**

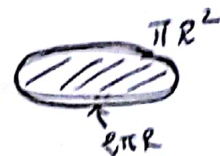
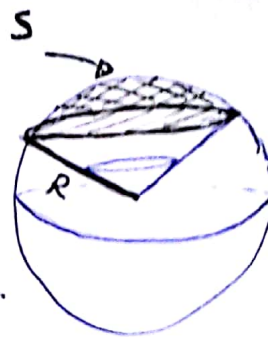
quantité



## • Angle Solide $\Omega$ :

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad [\text{sr}]$$

$\nearrow$   
4 $\pi$  pour espace entier



• Cas Surface orientée  $\Omega = \frac{S}{R^2} \cdot \cos \theta$

•  $\Omega$

• Sphere  
 $\Omega = 4\pi \text{ sr}$

Source ponctuelle

• demi sphère  
Source en plan  
 $\Omega = 2\pi \text{ sr}$

NON uniforme  
lambertienne  
 $\Omega = \pi \text{ sr}$

limite Staden  
 $\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha)$



## • flux lumineux $\Phi$ :

• flux énergétique ::  $\frac{\text{énergie émise}}{\text{Temps}}$   
Watt  
dans toutes direction

• flux lumineux  $\Phi_v$   
Stimulation visuelle de l'œil  
lumen

$\left. \begin{array}{l} \text{flux énergétique} \\ \text{flux lumineux} \end{array} \right\} 1 \text{ lm} = \frac{1}{683} \text{ Watt}$

## • Intensité lumineuse $I_v$ cd

• prend en compte Rayonnet Monochromatique  $\rightarrow \lambda \Rightarrow$  Max sensibilité  $\sim 550 \text{ nm}$   
considération

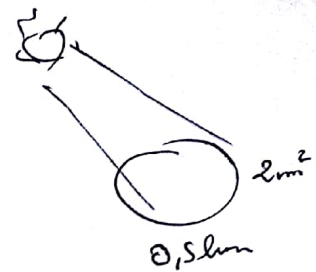
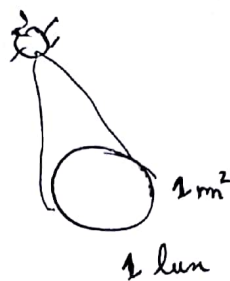
$1 \text{ cd} = \frac{\text{Puissance}}{\Omega} = \frac{1}{683} \text{ W/sr}$

représente  $\Phi$  dans direction donnée

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega}$$

## • Eclairement $E_v$

$$E_v = \frac{\Phi_v}{S} \quad (\text{lux})$$



## • luminance $L_v$

$$L_v = \frac{I_v}{S} \quad (\text{cd/m}^2)$$

## Propagation dans un milieu matériel :

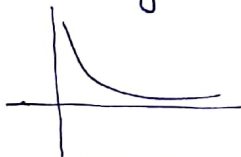
### Absorption

Milieu Matériel  $\rightarrow$  énergie pas conservée  
 $\uparrow$   
propag

$$\Phi(x) = \Phi(0) \cdot e^{-\alpha x}$$

$\alpha$  coef d'Absorb ( $1/m$ )

attenu e



### Traverse d'une surface

si pas absorption

$$T = \frac{\Phi_T}{\Phi_i}$$

$$R = \frac{\Phi_R}{\Phi_i}$$

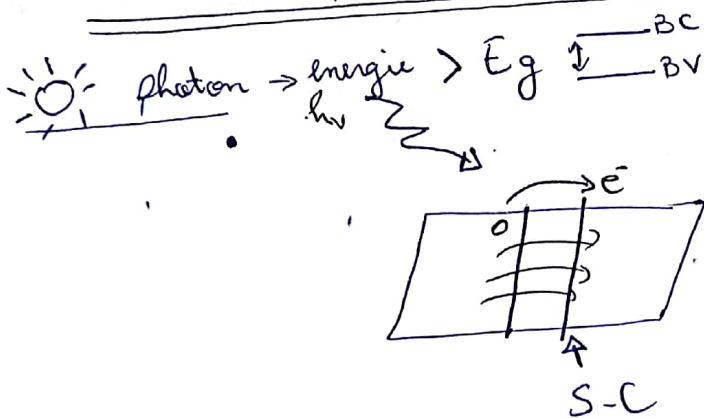
$$T + R = 1 \quad \text{si pas absorption.}$$

## Excitance : éclairement énergétique ( $W/m^2$ )

$$E_e = \frac{\Phi_e}{S}$$

# Chapitre I: Les Photodétecteurs.

## I/ Cellules photoconductrices



$\Rightarrow R \downarrow \Rightarrow$  (sun icon)

also:

$i_{ph}$  proportionnelle à faible  $\Phi$

$\Phi$  = puissance optique



$R_{obs} \gg (10^4 - 10^5)$  polycrist

$\Phi \uparrow \Rightarrow R \downarrow$

$R_{obs} \ll (10 - 10^3)$  Monocrist

$$R = a \Phi^{\gamma} \quad (\gamma \approx 1)$$

$P = V^2/R$  Vcste ;  $P = RI^2$  Icste

Temps de Réponse:

• rapidité  $R \sim$  lorsque



lié à durée de vie  $0 \rightarrow e^-$

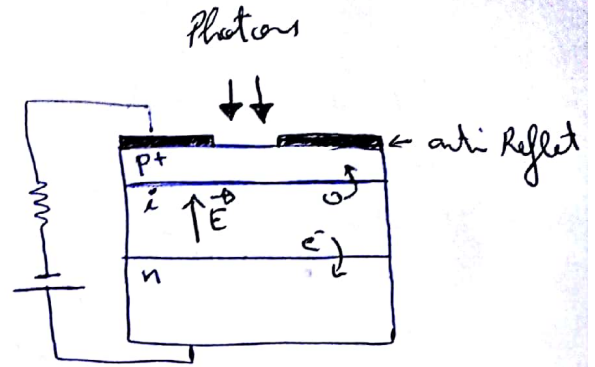
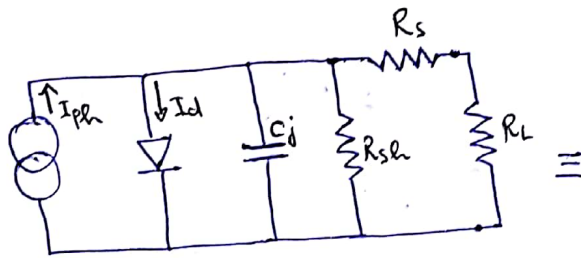
100 0,1 ms (polycrist)

0,1  $\mu$ s (Monocrist)

Mode photovoltaïque No polarisation ; Mode photoconducteur

## II - photodiode PIN

J-C PN Polarisé en inverse



$I_{ph}$  généré par  $\phi$

$C_j$  Capacité de Transition

$I_d$  dark polarisé component

$R_s$  R des contacts

•  $R_{sh}$   $R_{shunt}$   $\frac{R_{sh}}{V=0}$  ( $\propto I_{dark}$ )

$\alpha$  absorption du Matériau  
 ~~$\alpha$  absorb~~

• Rendement quantique  $\eta$

$$\eta = \frac{e^- \text{ collecté}}{ph \text{ Arrivant}}$$

$\eta$  depend de  $\alpha$

$\eta > 80\%$  Si ;  $\eta > 50\%$  Ge

• Sensibilité

$$S_d = \frac{I_{fournit}}{flux \text{ ph}} \quad A/W \quad \left( \frac{e^-}{ph} \right)$$

• Temps de Repose

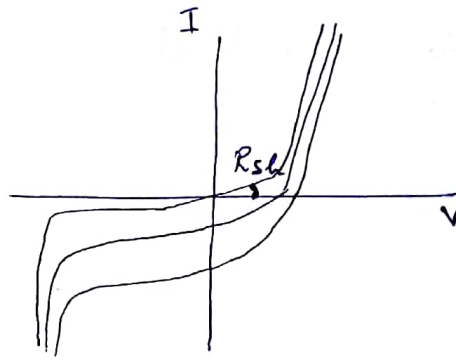
du à la capacité

$$\tau = C_j R_L$$

$$BP = \frac{1}{2} \tau \pi$$

du au temps de Transit

- courant d'obscurité  $I_d$



## • Puissance minimale détectable

NEP Noise Equivalent power

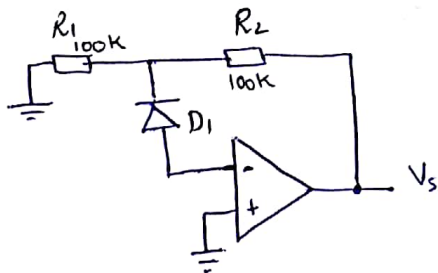
$$NEP = P_{min} \sqrt{B} \quad w / \sqrt{Hz}$$

NEP  $\rightarrow \phi \equiv$  bruit pour que  $\frac{Signal}{bruit} = 1$

## • Detectivité

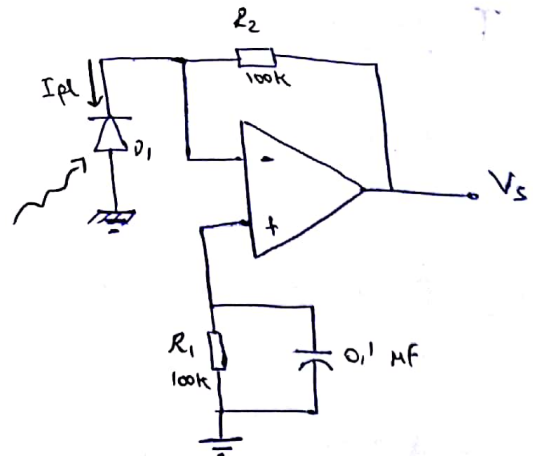
défectivité  $\nearrow \rightarrow$  bruit  $\searrow$   
 Condition sensibilité  $D^* = \left( \frac{S_{sc}}{m^2} \right)^{1/2} / NEP$

## • Conditionner



$V_s$  relié à  $I_{ph}$

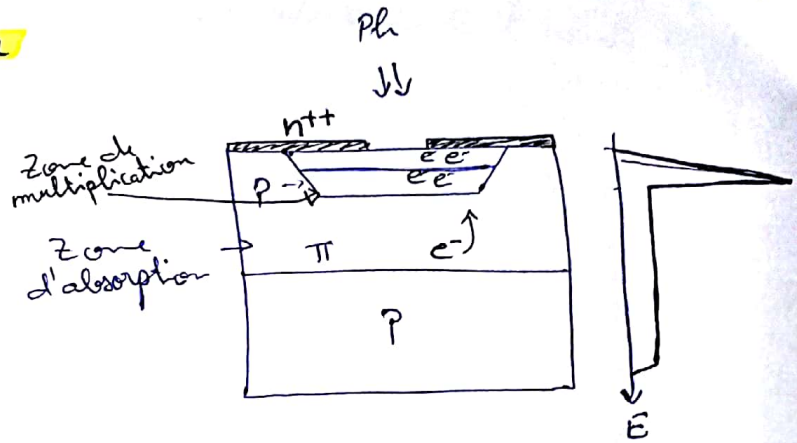
Reponse en Tension



Reponse en courant

### III - Photodiode a avalanche

APD  
 $1 \text{ ph} \rightarrow \text{libere } e^-$   
 $\rightarrow \text{PIN}$



• Caractéristique:

• facteur de multiplication M

facteur rapport  $\frac{I_{\text{avalanche}}}{I_{\text{NO avalanche}}} = \frac{1}{1 - \frac{V}{V_{\text{avalanche}}}}^n$

• I obscurité  $I_0$   
 $M \text{ fois} > I_{\text{PIN}}$

• Sensibilité  
 $M \text{ fois} > S_{\text{PIN}}$

### IV - Phototransistor

(Si)

$(-K + \frac{1}{\beta})$

T NPN

Base en l'air



•  $V_{CE} > 0$

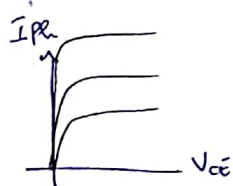
lorsque éclaire  $j_c$  Base collecteur

$I_R = I_C = \beta I_B$

$\leftarrow I_{ph}$

$\leftarrow \text{PD}$

Sensibilité:



$S(\lambda)$

Same as PD  $\rightarrow$  Indique detectable Rayonement (place)

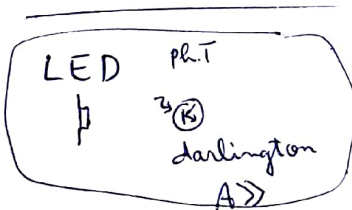
## V - Photocoupler

isolation galvanique  $\rightarrow$  entre  $\rightarrow$  Reception / emission des Rayon lumineux

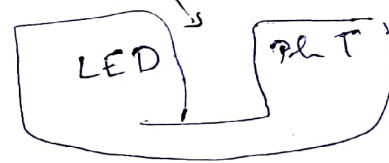
emission  
LED

Reception  
PD photo Transistor

- photocoupler  
light Ray  $\rightarrow$  inside Box  
Sans exposition



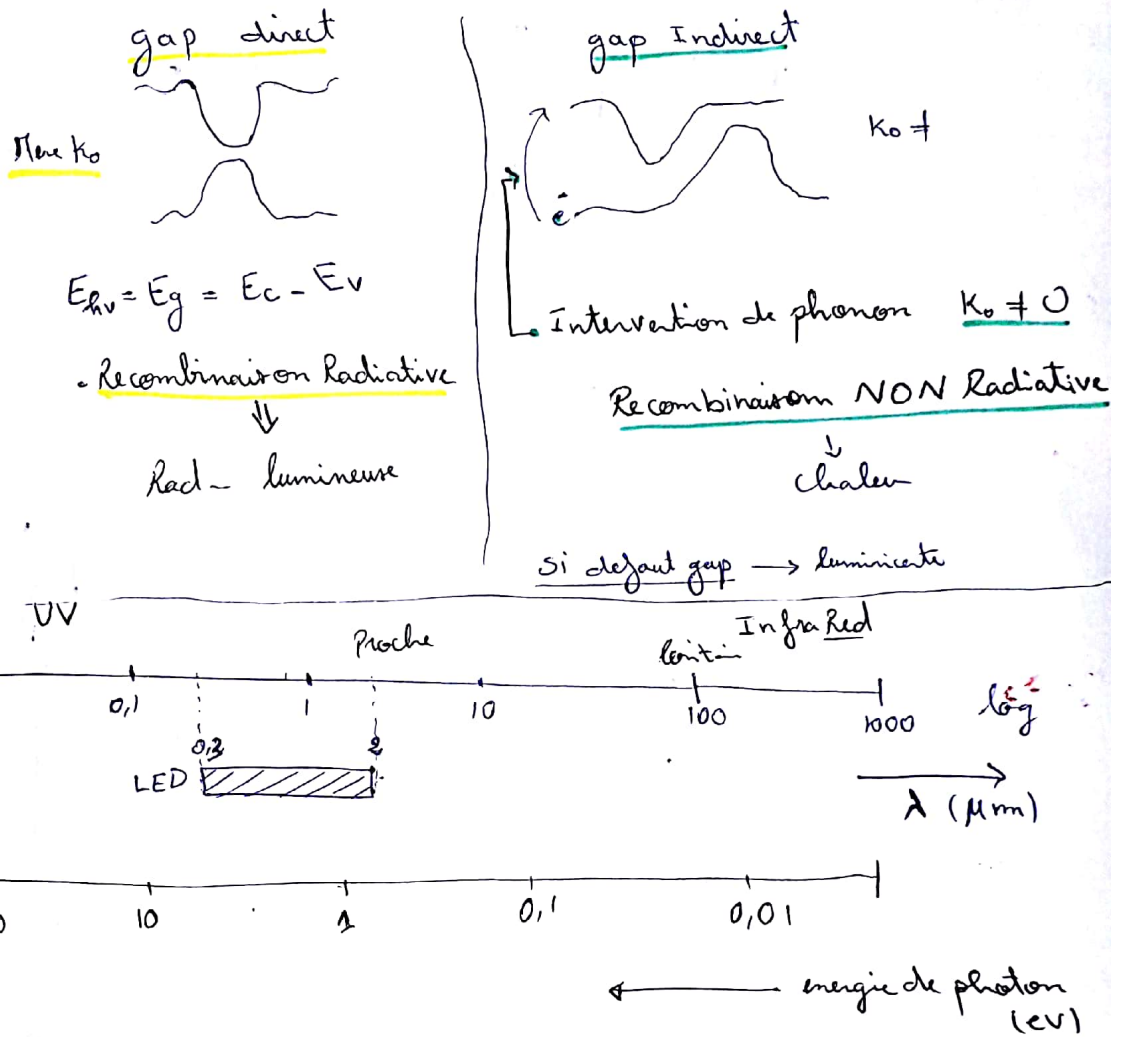
- Photo interrupter  
exposed outside  
objet



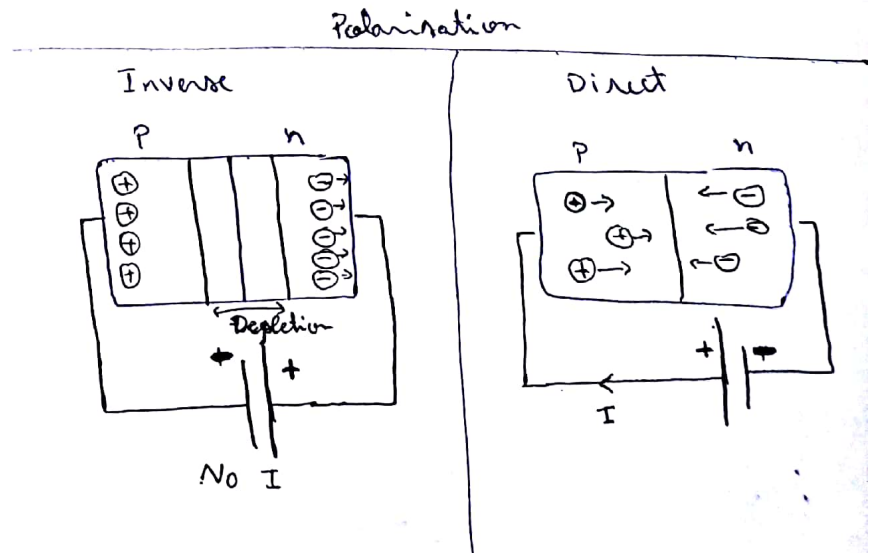
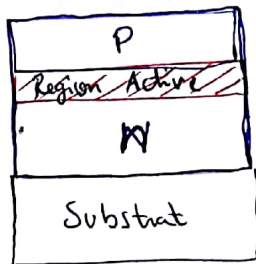
- Isolation  $\gg$   
 $10''$   $10^{13}$
- Transmission Unidirectionnel  
 $T_n >$
- Ali commun
- Simple  $\$ \gg$
- life  $\gg 10^4$  h

# Chapitre II: LED (Diodes électroluminescentes)

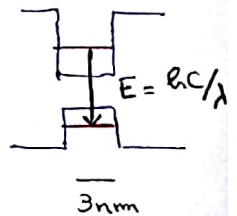
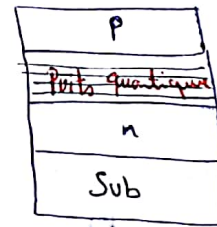
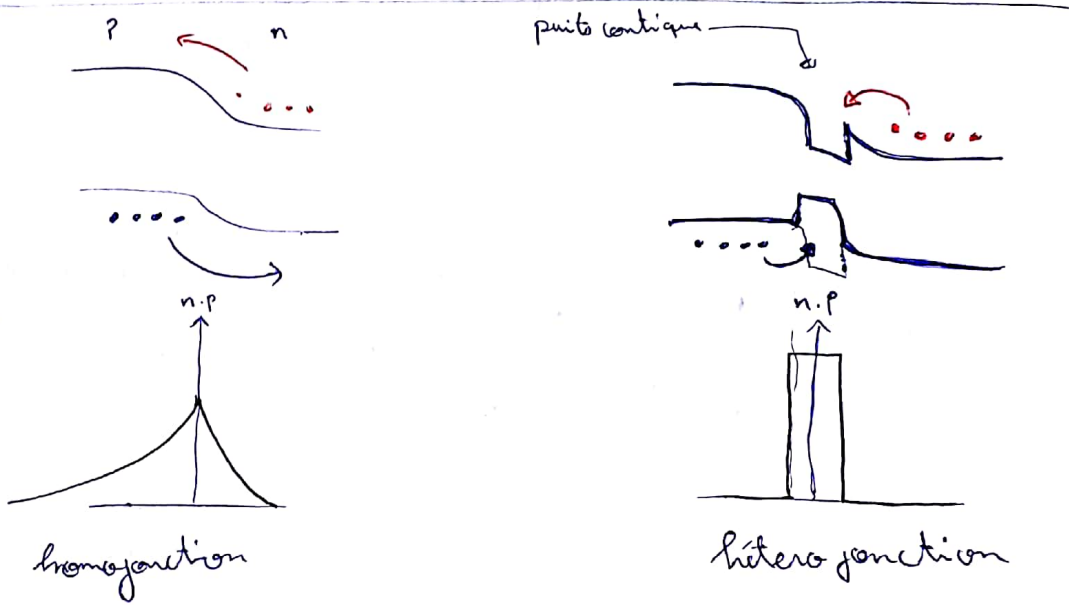
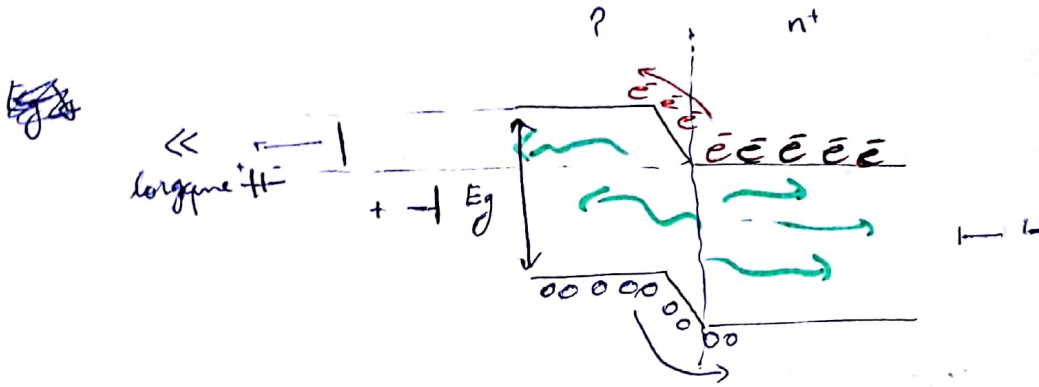
S-C



LED



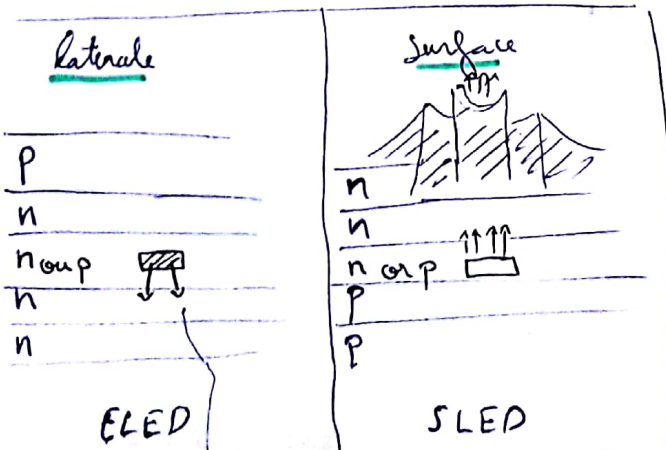
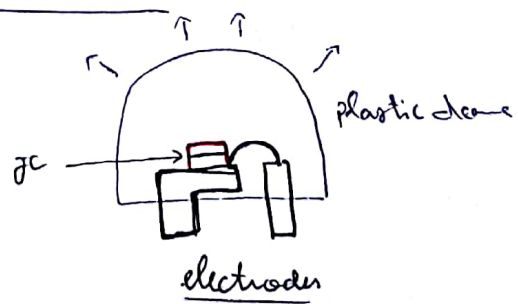
# • LED à homojunction



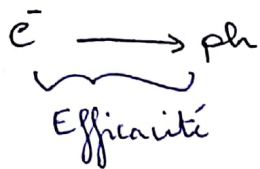
## • LED à Multi puits quantique



## Fabrication



## Rendement interne



$$\eta_i = \frac{\tau_R}{\tau_{NR} + \tau_R}$$

$\tau_R$ : durée de vie Radiative

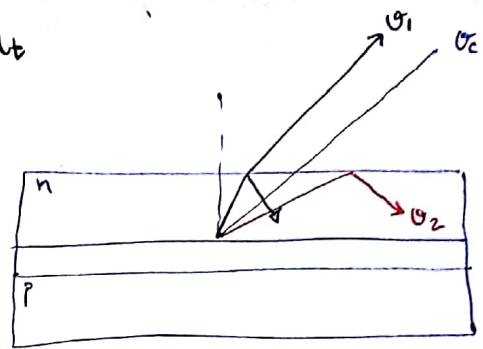
$\tau_{NR}$ : " " Non Rad

$$\Phi = \eta_i \cdot \frac{glum e^-}{q}$$

↑  
glumph  
eins

Max  $\eta_i = 80\%$

## Rendement externe $\eta_t$



$$\Phi_i = 1 - \left( \frac{(n_{sc}-1)^2}{(n_{sc}+1)^2} \right) \quad \text{et } \theta_1 \approx 0^\circ$$

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n_{sc}}\right)$$

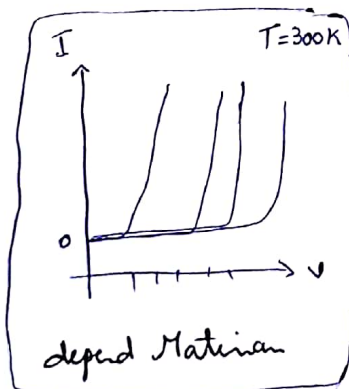
que 4% sort

$\eta_t \ll$  geometrie Simple

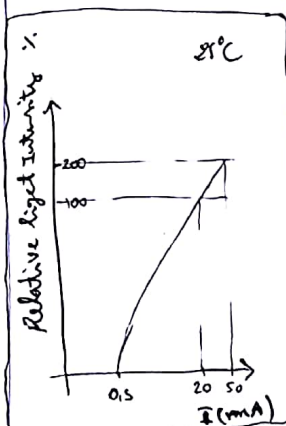
## Rendement quantique externe

$$\eta_{ext} = \eta_i \cdot \eta_t \quad (\text{nmbr } ph^+ / ne^-)$$

Max 40% à 50% → si joue sur extraction (geometrie).

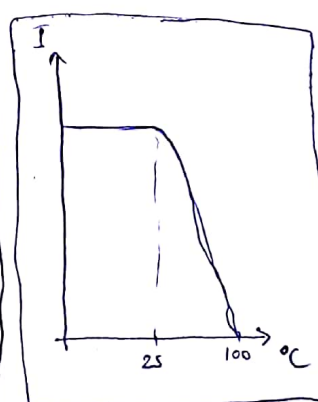


Caract I.V en direct

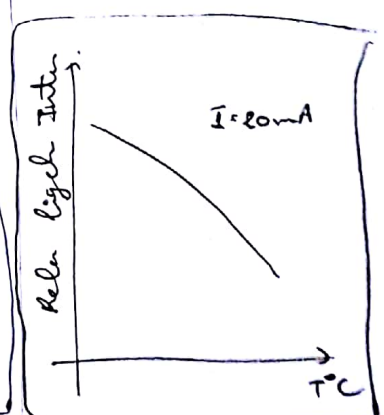


Caract  
Int lumineuse - I

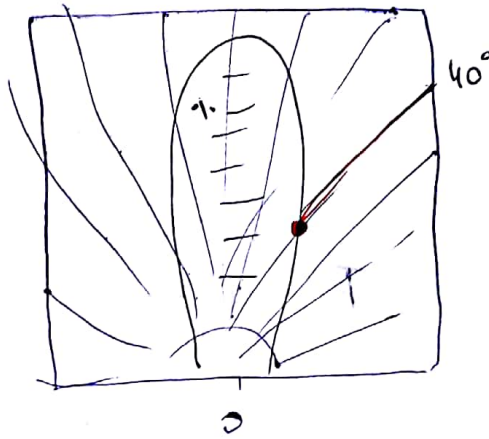
100% 20 mA  
200% 50 mA



Caract I - T°C



Caract  
Intensity lumineuse - T°C



$\approx 140^\circ \rightarrow \bullet$  % Int

# Chapitre 3 : Fibre optiques

Vitesse Propagation (Milieu Dielectrique)

$$\lambda = c/f$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{n}$$

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  permittivité électrique

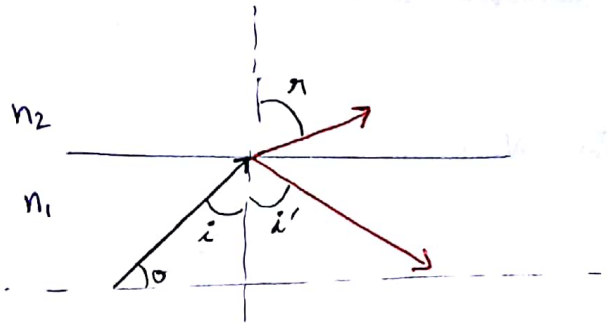
$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  perméabilité Magnétique.

• Indice optique Milieu

$$n = \sqrt{\mu \epsilon}$$

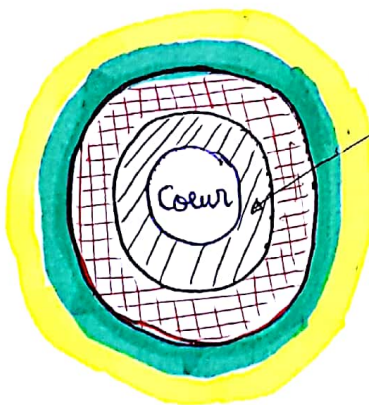
Dielectrique  $\mu_r \approx 1$

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$$



•  $n_1 > n_2$  angle d'incidence limite

tel que  $i = \frac{\pi}{2}$



Coeur

● gaine optique

⊗ Revêtement

● Armature en fibre

● gaine extérieure

⊗ Plastique - Renforce  
- Absorbe shock  
- courbure (lente)

● Centre écoulement ♡  
Protège tension mécanique

● Complète la protection ♡

## • Mode de propagation

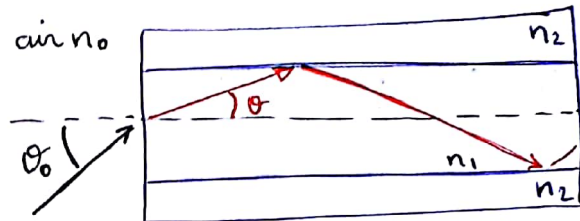
- Rayon lumineux a une inclinaison donné  
nbr fini de faisceaux

- Dans F.O  $\rightarrow \theta > \theta_c \rightarrow$  Rayon perdue (Refracté  $\rightarrow$  quelque Rebound  $\rightarrow 0$ )

## • Ouverture numerique d'une fibre optique O.N

Ouverture Numerique =  $\text{Max } \theta_0$

limite pour Assurer  
propagation



$$n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta)$$

$$O.N = \sin(\theta_{0L}) = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

O.N  $\gg \rightarrow$  plus de lumiere dans F.O

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \%$$

$$\Rightarrow O.N = n_1 \sqrt{2\Delta}$$

## Parametre de dispersion Intermodale

$\Delta t$  ecart  $t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$  L logem

$$\boxed{t_{\text{min}} = \frac{L}{V} ; V_{\text{max}} = C \cdot \frac{n_2}{n_1^2}}$$

$$\boxed{t_{\text{max}} = \frac{L}{V} ; V_{\text{min}} = C \cdot \frac{1}{n_1}}$$

$$\Delta t = \frac{L \cdot n_1 \cdot \Delta}{c}$$

$$B.P = \frac{1}{2 \cdot \Delta t}$$



# F.O Multimode

$$V = g_n$$

$$a = \pi \varphi$$

$$g_n = \frac{2\pi \pi \varphi}{\lambda_0} \cdot \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

Monomode

Multimode

2,405

$g_n$

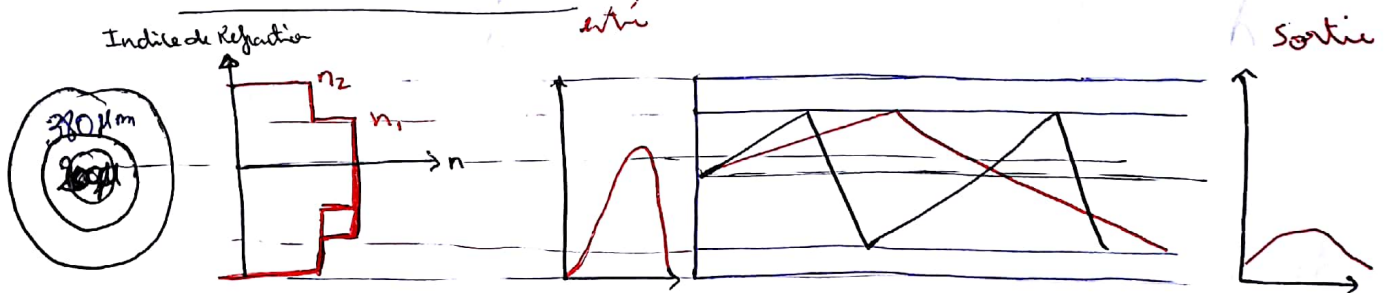
nb de Mode

$$M = \frac{g_n^2}{2}$$

approximation pour  $M \gg 1$

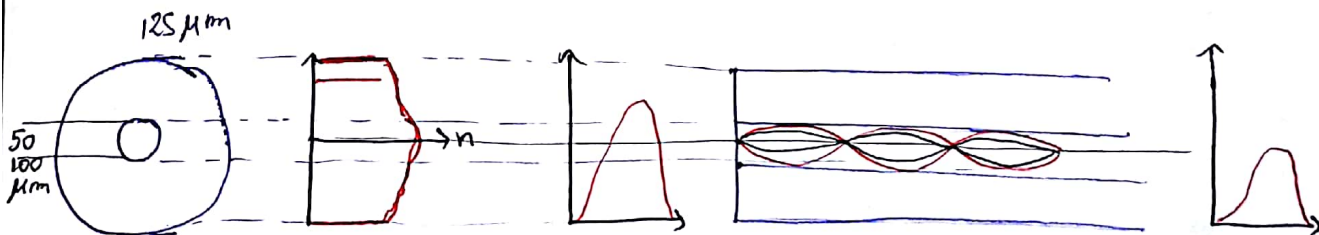
dans fibre à saut d'indice

## Fibre à saut d'indice



## Fibre à gradient d'indice

$\varphi \ll$



$\varphi$  Multicouche

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} \quad \alpha \approx 2$$

F. O

## Multimode

- 1st used
- facile ( & >> Tolérance >> )
- limite intrinsèque de B.P
- Courte distance (Resam Injce)

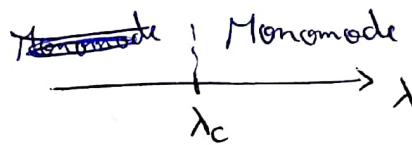
## Monomode

B.P Infinie

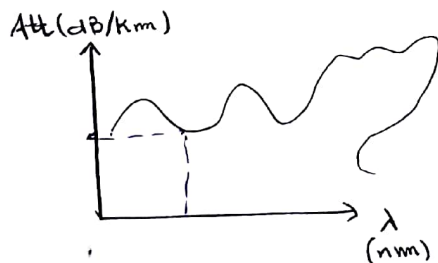
- Comparat chers et Tolérance faible.
- solution universelle des systé de Telecoms

## $\lambda$ de coupure

$$\lambda_c = \frac{2\pi}{2,404} n_{\text{co}} \cdot \text{ON}$$



## Atténuation / logen d'axe



1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	Section de transmission
800 - 900	1280 - 1330	1525 - 1625	
3 dB/km	0,33 dB/km	0,2 dB/km	
LED	LASER \$	LASER \$\$\$	
que Multimode	largement utilisé	Toute App Moderne	
	• Dispersion chromatique = 0	Systeme Très performant ✓	

# Dissipation et Atténuation en F.O

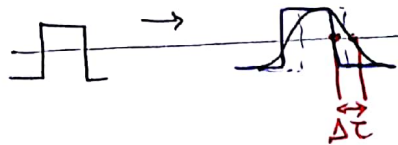
• limite la capacité de transmission.

Att

• pertes par frottement. 

Dispersion chromatique

• signal déformé

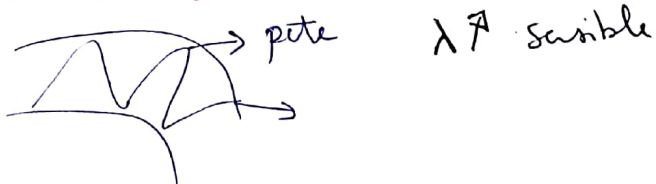


→  
Propagation  
⇒

$$P(z) = P_{initiale} e^{-\alpha z} \quad \alpha \text{ coef d'Att}$$

$$\text{Att} \rightarrow A = \frac{1}{L} \cdot 10 \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad \text{dB/Km}$$

• pertes par effet courbure



• pertes par microcourbures:

• Microdéformation de fibre (fabrication).

• Indépendante de  $\lambda$

• dépend de la fibre elle-même

» lorsque  $\eta \downarrow$

# Application

- Trans Num Haut débit (Téléphone, TV ---)
- Réseau Nat / Inter Nat de Télécom.
- Réseau local en environ bruite
- Vidéo

## AVantage (+)

- BP  $\nearrow$ , débit bin  $\nearrow$
- Affaiblissement & répétition  $\leftrightarrow$  60km.
- Immunité électromagnétique.
- facten est F.V
- faible poids

## (-)

- Difficile Adapter Transducteurs opto elec
- exigence mécanique importante (Alignement, connexion).
- \$\$\$\$  $\nearrow$  personnel spécialisé

## Transmission sur F.O

