

B33 - Liaison par fibre optique. Émetteurs et récepteurs de lumière. Photocoupleur.

- **Spectre des ondes électromagnétiques** →
- **Intérêt des transmissions optiques :**
 - très grande bande passante (théoriquement 10^{14} à 10^{15} Hz) autorisant un débit d'information très élevé.
 - immunité aux perturbations électromagnétiques usuelles (10^2 à 10^{11} Hz)
 - isolation galvanique (pas de connexion électrique)
 - utilisable en milieu explosif

• **Émetteurs de lumière**

- Diode électroluminescente (DEL) 

Light Emitting Diode (LED)

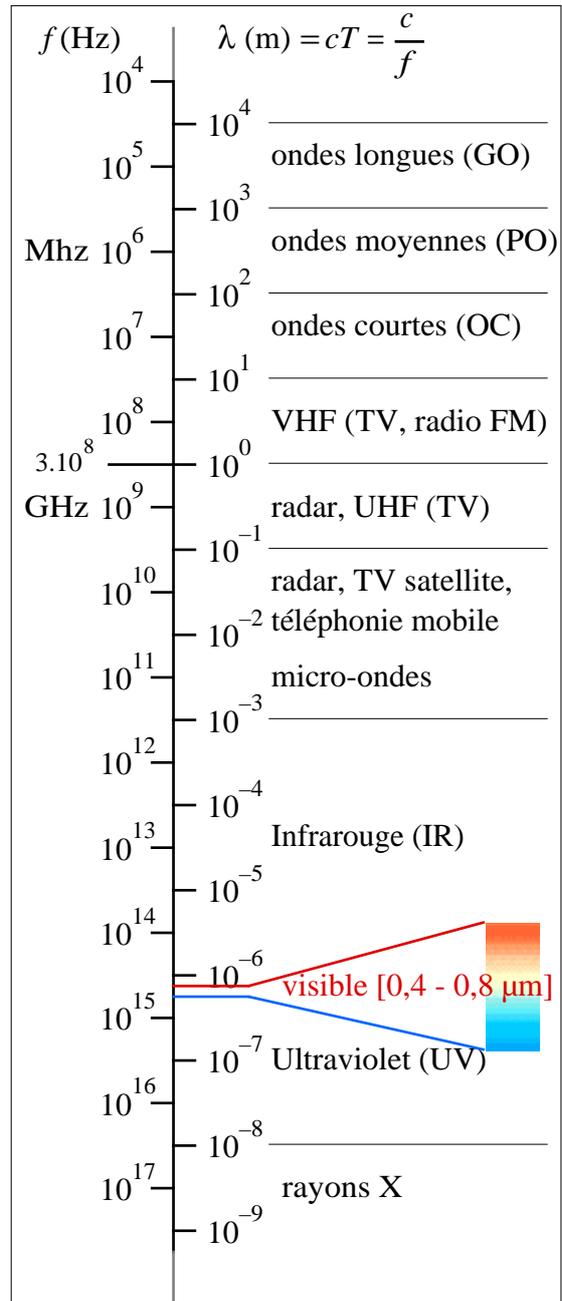
matériau		Vd (V)	couleur
Arséniure de gallium	GaAs	2	IR
Phosphore d'ars. de gal.	GaAsP	2	rouge-jaune
Phosphore de gallium	GaP	2	vert
Nitride de gallium	GaN	4	bleu
3 DEL (rouge+jaune+bleu)		5	blanc

V_D : tension directe

- Diode laser 

Sécurité :

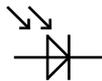
- diode laser émettant des radiations visibles (rayonnement rouge le plus souvent) : ne pas regarder directement le flux lumineux sortant de la diode (risque de lésion de la rétine).
- diode laser IR : ne pas regarder dans la direction du composant. **Port de lunettes de protection obligatoire.**



Les lasers sont étiquetés en 5 classes selon le niveau de risque qu'ils représentent :

- classe 1 : sans danger
- classe 2 (1 mW) : émet uniquement dans le visible, puissance suffisamment faible pour que le réflexe palpébral (fermeture des paupières) protège l'œil. Exemple : pointeur laser.
- classe 3A : lasers à rayonnement visible de puissance n'excédant pas 5 fois la puissance d'un laser de classe 2 (5 mW), de sorte que l'œil soit encore protégé par le réflexe palpébral. Exemple : mini-laser de spectacle. Ou lasers à rayonnement non visible de puissance n'excédant pas 5 fois la puissance d'un laser de classe 1.
- classe 3B (15 mW) : lasers dangereux pour la vue en rayonnement direct, mais non pour la peau et non en rayonnement indirect. Exemple : laser de spectacle.
- classe 4 : laser dangereux pour l'œil et pour la peau.

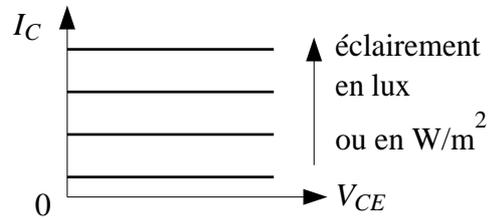
• Récepteurs de lumière

- Photodiodes 

- Matériau : Si, Ge ou InGaAs (Arséniure de gallium et d'indium)
- Spectre de sensibilité : Si : visible + proche IR (400 à 1200 nm). Maximum vers 850 nm
Ge et InGaAs : 800 à 1800 nm
(il existe également des photodiodes UV)
- Sensibilité : \approx mA/W à 100 mA/W pour une puissance lumineuse incidente mesurée à la longueur d'onde de sensibilité maximale
- Courant d'obscurité : \approx nA
- Vitesse de commutation (rapidité) : \approx ns \Rightarrow bande passante jusqu'au GHz
- Tension inverse maxi : \approx 10 V \Rightarrow protection nécessaire par une diode connectée en inverse en parallèle avec la photodiode
- Directivité (ou angle de détection ou réponse angulaire) : \approx 10° à plus de 120°

- Phototransistors 

Sensibilité très élevée, courant de sortie plusieurs centaines de fois supérieur à celui d'une photodiode, mais rapidité moindre.



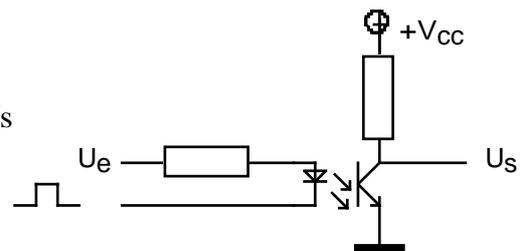
• Optocoupleurs

Il en existe de deux types : numérique ou analogique. Dans ce dernier cas, le courant de sortie du photorécepteur est proportionnel au courant d'entrée du photoémetteur.

- Optocoupleur à sortie transistor NPN : 

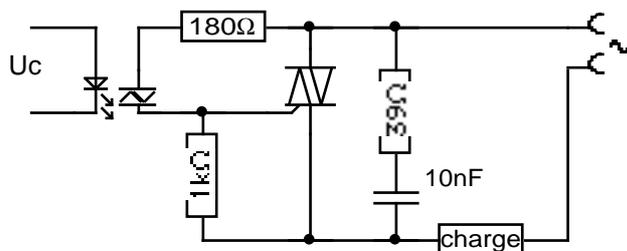
Caractéristiques :

- Tension d'isolement entrée/sortie : \geq 2,5 kV
- Gain en courant : \approx gain d'un transistor ordinaire
- Bande passante : \approx MHz (analogique) ou \approx Mbits/s (numérique)
- Application typique :



- Opto-triac : 

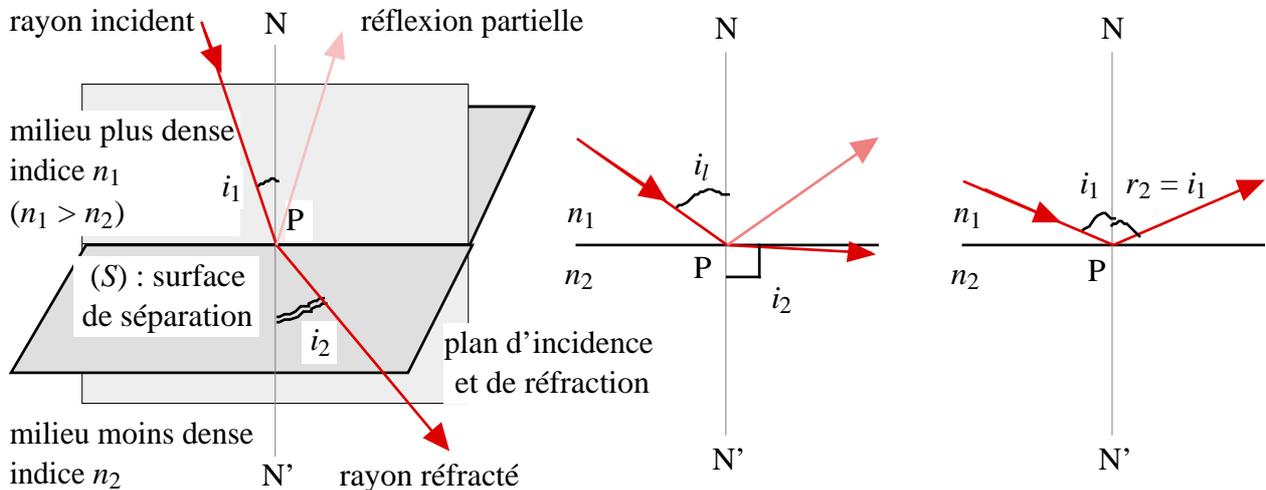
Exemple d'application, pour commande de chauffage par trains d'onde (doc. MOTOROLA circuit MOC 3040) :



• **Fibres optiques**

- loi de Descartes : réfraction et réflexion de la lumière à l'interface entre deux milieux.

Indice de réfraction d'un milieu diélectrique transparent : $n = \frac{c}{v}$ avec : $c = 3.10^8$ m/s, célérité de la lumière dans le vide ; v célérité de la lumière dans le milieu (n toujours > 1).



loi de la réfraction :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

réfraction limite

$$\sin i_l = \frac{n_2}{n_1}$$

réflexion totale

$$i_1 > i_l$$

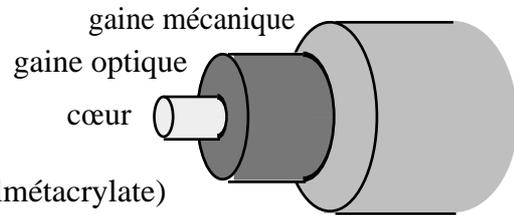
- profils d'indice et types de fibres

Matériaux :

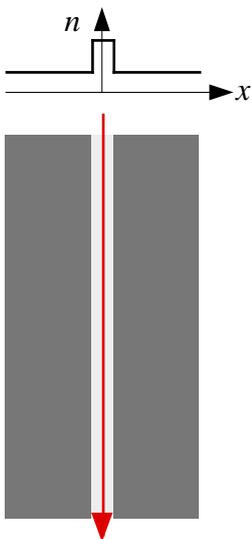
verre optique : > 1000 dB/km ! Inutilisable...

silice pure : 2 à 5 dB/km

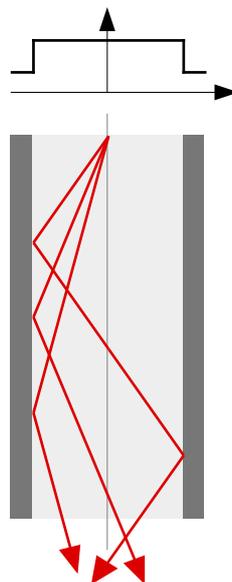
polymère : 150 à 200 dB/km (PMMA : polyméthylmétacrylate)



Types : fibre monomode à saut d'indice



fibre multimode à saut d'indice



fibre multimode à gradient d'indice



- *Fibre monomode (silice dopée)* : cœur $\approx \lambda \Rightarrow$ propagation rectiligne de la lumière, au centre.

Problème : raccord entre fibres ou entre fibre et connecteur difficile à réaliser (nécessite un alignement parfait).

Ø du cœur : 9 μm

Ø de la gaine optique : 125 μm

Bande passante : 10 GHz/km

Affaiblissement à 850 nm : 2 dB/km

Utilisation : liaisons très longues distances à haut débit

- *Fibre multimode (silice dopée)* : cœur plus large \Rightarrow propagation de la lumière selon des milliers de modes grâce à la réflexion totale sur la surface de séparation cœur-gaine.

Problème : aucun des modes n'arrive au même moment en bout de fibre \Rightarrow dispersion modale (donc élargissement des impulsions lumineuses émises). Solution : variation d'indice entre les deux milieux limitée à quelques pour mille \Rightarrow angle de réfraction limite proche de 90° ($\sin i_l = n_2/n_1$ voisin de 1).

Ø du cœur : qq 100 μm

Bande passante : 10 à 50 MHz/km

Affaiblissement à 850 nm : ≤ 5 dB/km

Utilisation : liaisons ≤ 2 km, débit ≤ 50 Mbit/s

- *Fibre à gradient d'indice (silice dopée)* : profil d'indice parabolique \Rightarrow trajectoires courbes parcourues par la lumière dans le même temps que la trajectoire rectiligne centrale (plus on s'éloigne du centre, plus l'indice diminue, donc plus la célérité augmente).

Ø du cœur : 50 ou 62,5 μm

Ø de la gaine optique : 125 μm

Bande passante : 100 à 1000 MHz/km

Affaiblissement à 850 nm : ≤ 5 dB/km

Utilisation : liaison longue ou à grand débit.

- *Fibre polymère à saut d'indice* :

Ø du cœur : 1 mm

Ø de la gaine optique : 2,2 mm

Bande passante : 25 MHz (par ex : 10 Mbits/s en NRZ sur une distance ≤ 100 m)

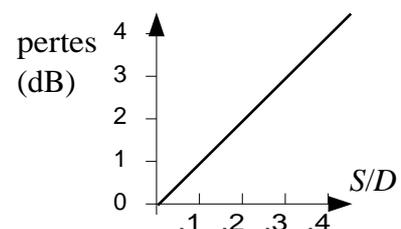
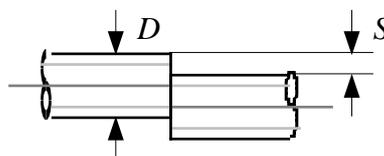
Affaiblissement à 600 nm : 150 à 200 dB/km

Utilisation : pour liaisons jusqu'à 150 m. Utiles dans les milieux perturbés électromagnétiquement ou explosifs, ou pour l'affichage. Coût réduit. Connectique aisée.

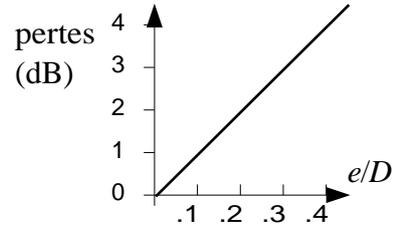
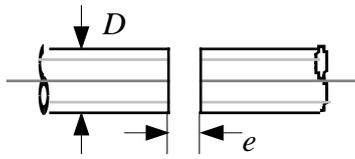
- *Défauts de connectique*

Il existe des connecteurs spéciaux pour raccorder les fibres entre elles ou aux éléments d'extrémité (diode laser / photodiode). Les principaux défauts de connexion sont les suivants :

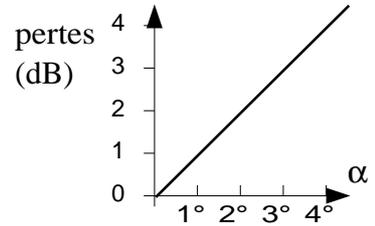
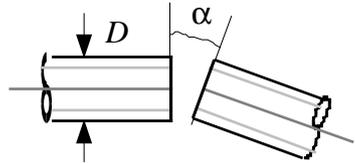
- déplacement axial :



- séparation des extrémités :

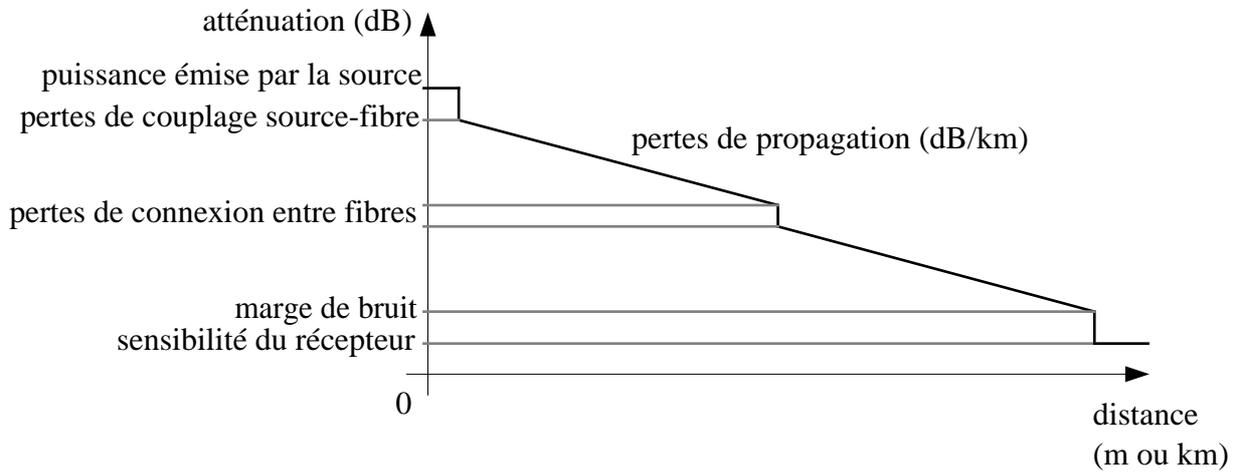


- défaut d'alignement



- Bilan énergétique d'une liaison à fibre optique

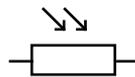
Le diagramme des pertes d'une liaison à fibre optique s'établit ainsi :



***** COMPLEMENTS *****

• Autres récepteurs de lumière

- Photorésistance (Light Dependant Resistor - LDR)



Applications : Alarme, commande d'éclairage, photographie

matériau		sensibilité max à	R obscurité	R à 1000 lux	temps de réponse
Sulfure de cadmium	CdS	575 nm (≈ œil)	100 MΩ	0,3 kΩ	10 à 30 ms
Séléniure de cadmium	CdSe	730 nm (rouge)	100 MΩ	0,3 kΩ	1 à 3 ms
Sulfoséléniure de cadmium	CdSSe	600 nm	100 MΩ	0,3 kΩ	10 à 20 ms
Sulfure de plomb	PbS	2000 nm (IR)	1 MΩ	0,8 kΩ	0,1 à 0,25 ms