

# Fibres optiques

## I - Introduction

La fibre optique est utilisée pour réaliser des lignes de transmission sur de très longues distances et à très haut débit.



## II - Quelques notions d'optique

### 1) Indice optique d'un milieu

Dans un **milieu transparent et homogène**, la lumière se propage en **ligne droite** avec une **vitesse** :

$$c = \frac{c_0}{n} \quad \text{avec} \quad c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

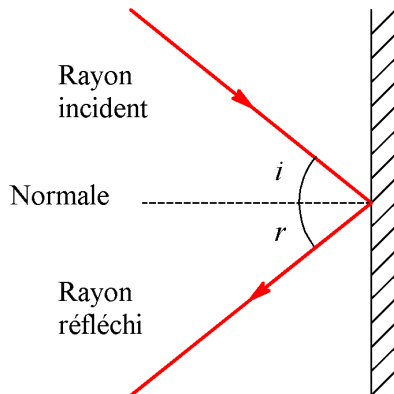
La constante  $n$  est l'**indice du milieu** tel que  $n \geq 1$ .

**Exemples :** pour quelques milieux.

Milieu	Air	Eau	Plexiglas	Verre
$n$	$1,0003 \approx 1$	1,333	1,50	1,9

## 2) Loi de la réflexion

Un faisceau lumineux arrivant sur une surface réfléchissante (miroir) est **dévié**.

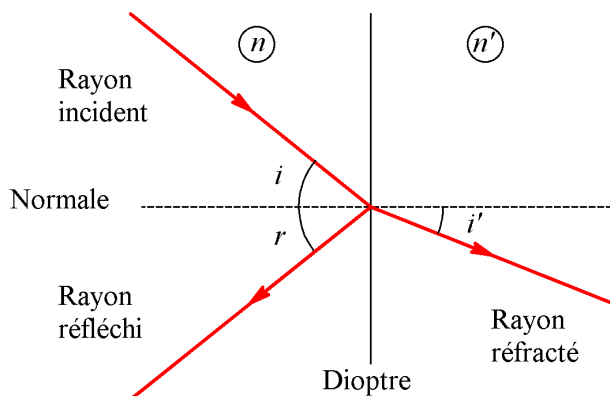


Le **rayon incident** et le **rayon réfléchi** sont contenus dans le **même plan** (plan d'incidence) tels que les angles :

$$i = r$$

## 3) Loi de la réfraction

Un rayon incident arrivant sur une surface de séparation (dioptre) entre deux milieux d'indice différent est dévié en deux rayons distincts.



**Loi de Snell-Descartes :**

- Le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont contenus dans le même plan (plan d'incidence).
- Les angles et les indices sont liés par les relations :

$$i = r$$

et

$$n \sin(i) = n' \sin(i')$$

**Remarque :** il n'y a **pas de rayon réfracté** (réflexion totale) si

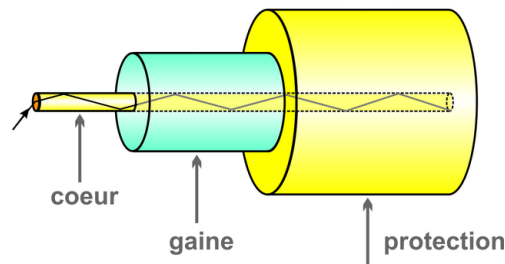
$$\sin(i) > \frac{n'}{n}$$

### III - Les fibres optiques

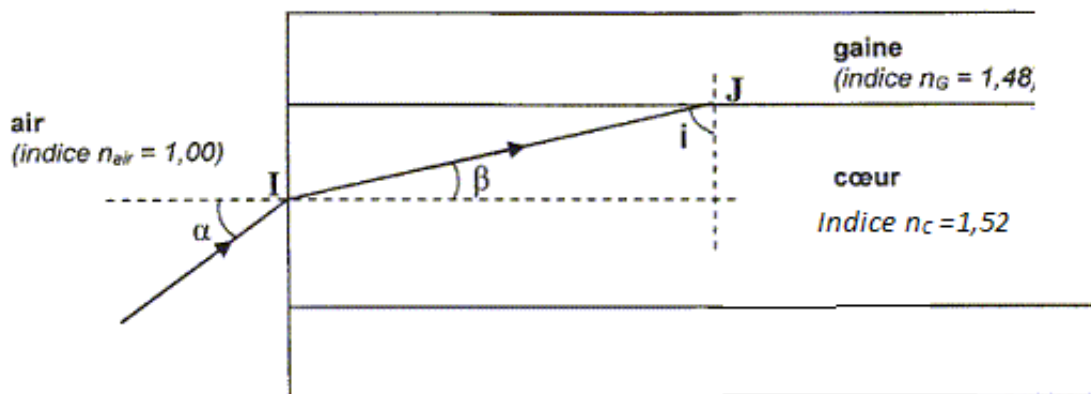
#### 1) Constitution

Une fibre optique est un cylindre en silice (ou en plastique) composée :

- D'une partie centrale, le cœur.
- D'une partie périphérique, la gaine.
- D'une enveloppe protectrice, le revêtement primaire.



#### 2) Principe de fonctionnement



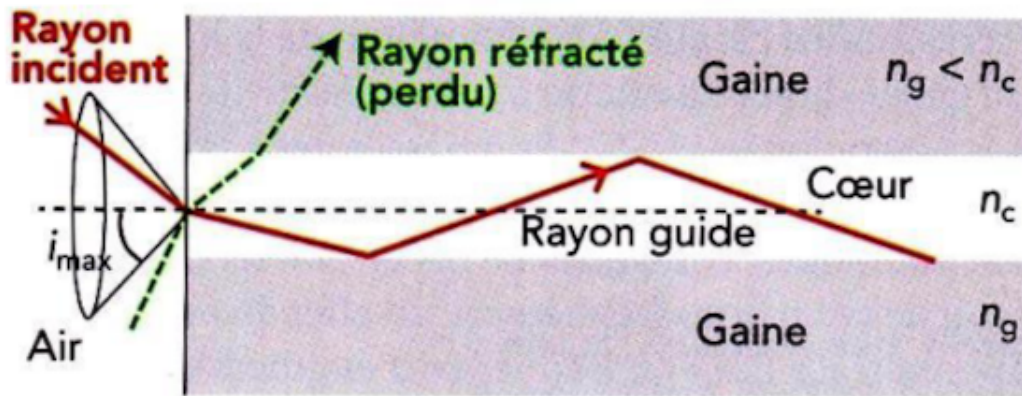
De cette manière, l'onde optique est toujours réfléchie vers le cœur si la condition suivante est toujours respectée :

$$n_c > n_g$$

De plus, pour éviter la réfraction dans la gaine, il faut que :

$$i > \arcsin\left(\frac{n_g}{n_c}\right)$$

### 3) Cône d'acceptance et ouverture numérique



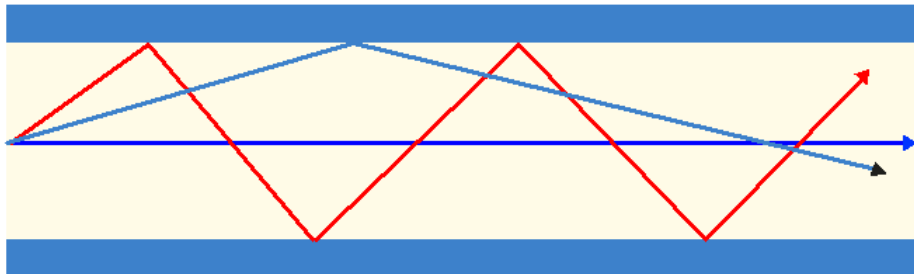
Pour que la propagation soit possible, il faut que le rayon incident soit dans le **cône d'acceptance** tel que :

$$\theta_{max} = \arcsin(\sqrt{n_c^2 - n_g^2})$$

On définit ainsi l'**ouverture numérique** par :

$$ON = \sin(\theta_{max}) = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

### 4) Allongement optique ou dispersion modale



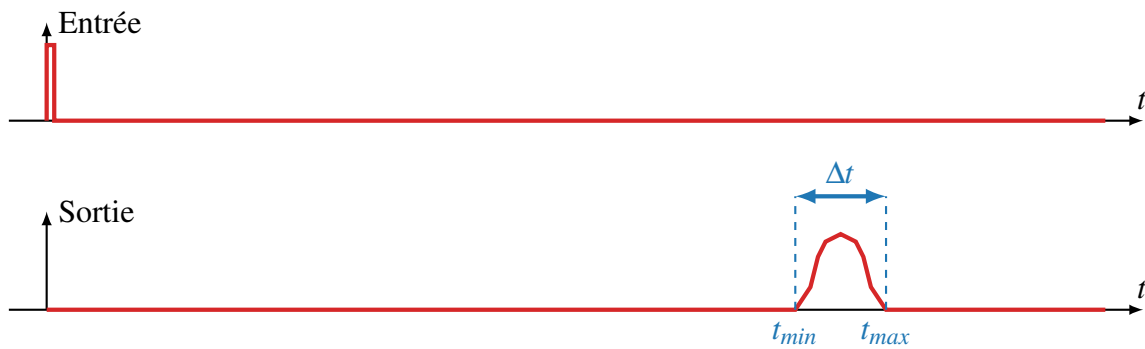
L'allongement ou **dispersion modale** est la durée :

$$\Delta t = t_{max} - t_{min}$$

- $t_{min}$  est le temps de trajet minimal (ex. ligne droite en bleu).
- $t_{max}$  est le temps de trajet maximal (ex. en rouge).

En conséquence, un faisceau lumineux à l'entrée d'une fibre génère une multitude de rayons (appelés modes) qui n'arrivent pas en même temps à la sortie à l'origine d'un phénomène de dispersion.

Ainsi une **impulsion** émise en entrée de la fibre se retrouve **étalée** à la sortie sur la durée  $\Delta t$ .



La dispersion modale  $\Delta t$  est proportionnelle à la longueur de la fibre !

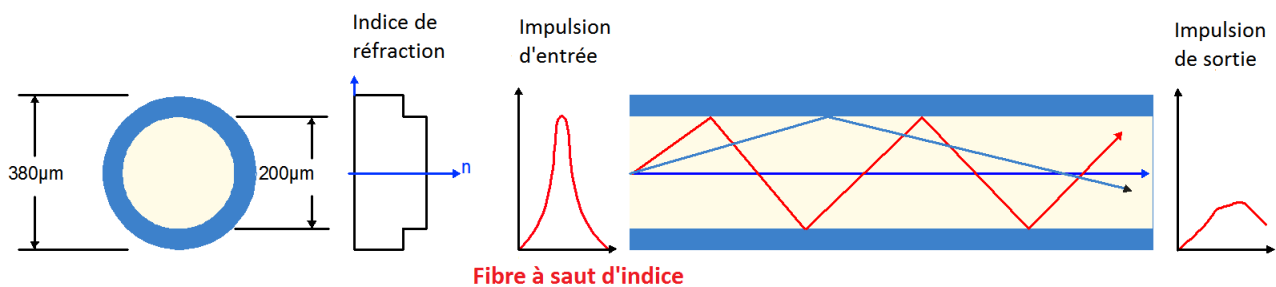
## 5) Mode d'une fibre optique

Un mode est une **direction possible** de l'onde électromagnétique dans la fibre optique.

Fibre **multimode** dans laquelle il existe **différents modes de propagation** de la lumière au sein du coeur de la fibre.

Fibre **monomode** dans laquelle il existe **un seul mode de propagation** de la lumière, le mode en ligne droite.

## 6) Fibre multimode à saut d'indice



Avantages :

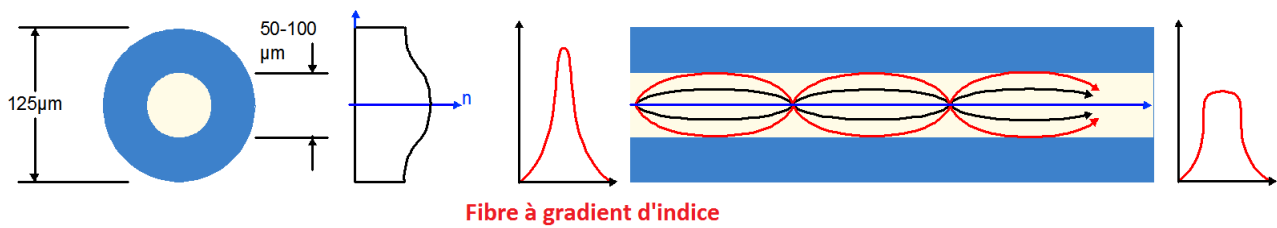
- **Indice du cœur est constant** donc plus facile à réaliser.
- Faible prix.

Inconvénients :

- **Dispersion des ondes électromagnétiques** car  $\Delta t$  trop grand (impossible de dissocier des impulsions trop rapprochées à l'entrée de la fibre).

## 7) Fibre multimode à gradient d'indice

Cœur constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé



Avantages :

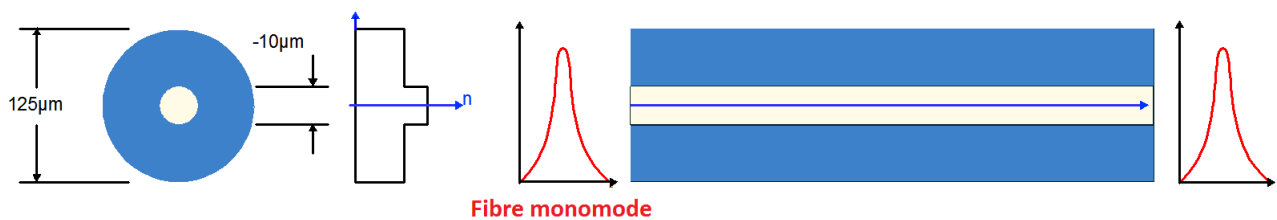
- Minimisation la dispersion du temps de propagation entre les rayons.

Inconvénients :

- Plus compliqué à mettre en oeuvre.

## 8) Fibre monomode

Le transport de l'onde électromagnétique admet qu'une seule direction possible.



Avantages :

- Faible dispersion.
- Faible atténuation.
- Transmission de l'information sur de longue distance.

Inconvénients :

- Très chère !
- Rayon du coeur très faible (quelques microns) = difficile à réaliser !
- ON faible (quelques centièmes)

## 9) Bande passante

La bande passante de la fibre optique est liée à la dispersion :

$$BP = \frac{0,35}{\Delta t}$$

La bande passante est inversement proportionnelle à la longueur de la fibre.

En pratique, une fibre optique est caractérisée par le produit :

$$BP \cdot L = C^{ste} \quad (\text{MHz} \cdot \text{km})$$

## 10) Atténuation linéique

En pratique, une fibre optique n'est pas parfaite et absorbe une partie de la puissance lumineuse transmise (pertes).

L'**atténuation linéique** est définie par la relation :

$$A_{tl} = \frac{10}{L} \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right) \quad (\text{dB} \cdot \text{m}^{-1})$$

- $L$  est la longueur de la fibre optique (m)
- $P_e$  est la puissance à l'entrée de la fibre (W)
- $P_s$  est la puissance à la sortie de la fibre (W)