

3

Réfraction et Réflexion de la Lumière

1. Principe de Fermat

Énoncé : "La lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que la durée du parcours soit minimale."

Une conséquence au principe énoncé est : "Dans un milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite."

2. Lois de Snell - Descartes

Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface qui sépare deux milieux plus ou moins transparents, il se divise en deux : une partie est réfléchi tandis que l'autre est réfractée, c'est à dire transmise dans le second milieu en changeant de direction.

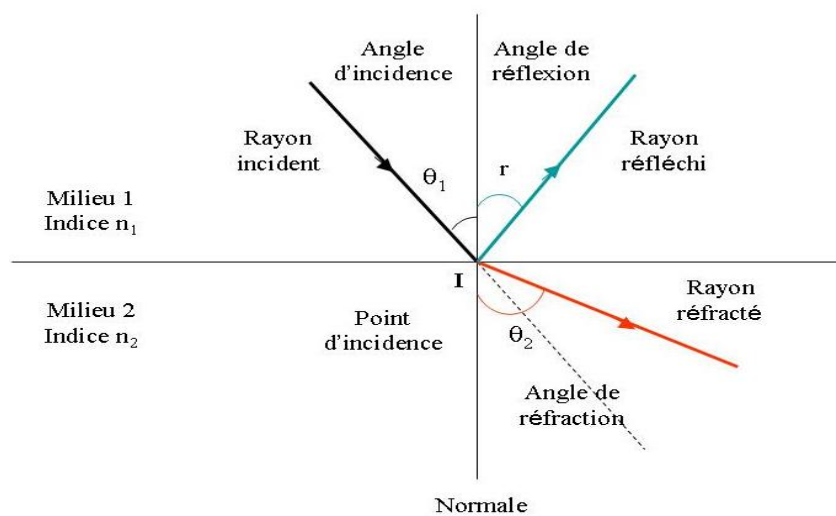
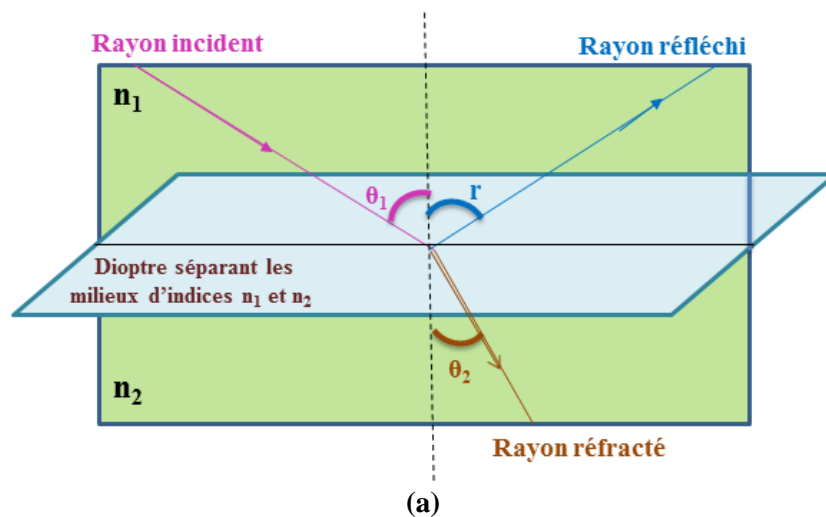


Fig.1 – Principe de réflexion et de réfraction de la lumière.

- **1^{ère} loi** : Le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence.
- **2^{ème} loi (loi de réflexion)** : L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.
- **3^{ème} loi (loi de réfraction)**:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.1)$$

L'indice de réfraction est une grandeur caractéristique des propriétés optiques d'un matériau.

3. Aspect Energétique de la Réflexion et de la Réfraction

La lumière transporte de l'énergie. On définit:

- **le coefficient de réflexion R** :

$$R = \frac{\text{Energie du faisceau réfléchi}}{\text{Energie du faisceau incident}} \quad (3.2)$$

- **le coefficient de transmission (réfraction) T** :

$$T = \frac{\text{Energie du faisceau réfracté}}{\text{Energie du faisceau incident}} \quad (3.3)$$

- Loi de conservation de l'énergie:

$$R + T = 1 \quad (3.4)$$

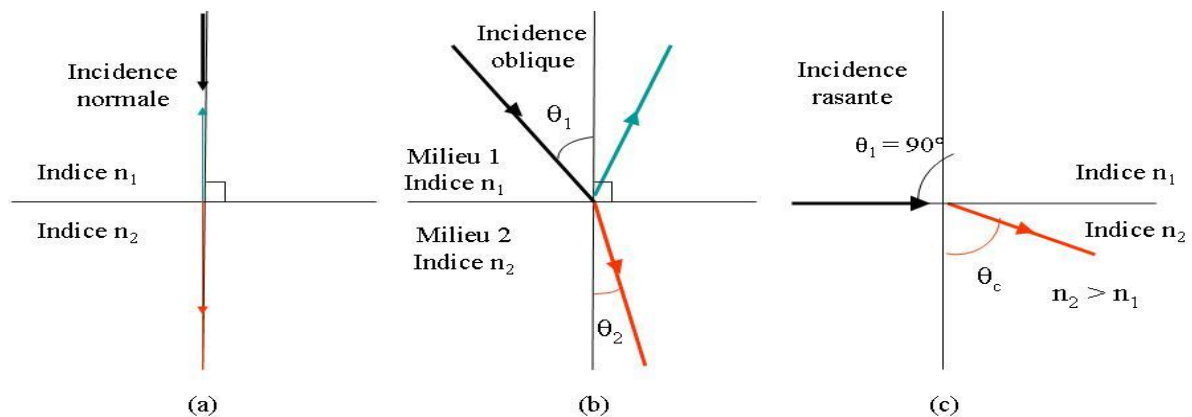
- Formule de Fresnel (sous incidence normale):

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (3.5)$$

4. Réfringence

Un milieu est d'autant plus réfringent que son indice de réfraction est important.

4.1. Passage de la Lumière dans un Milieu Plus Réfringent

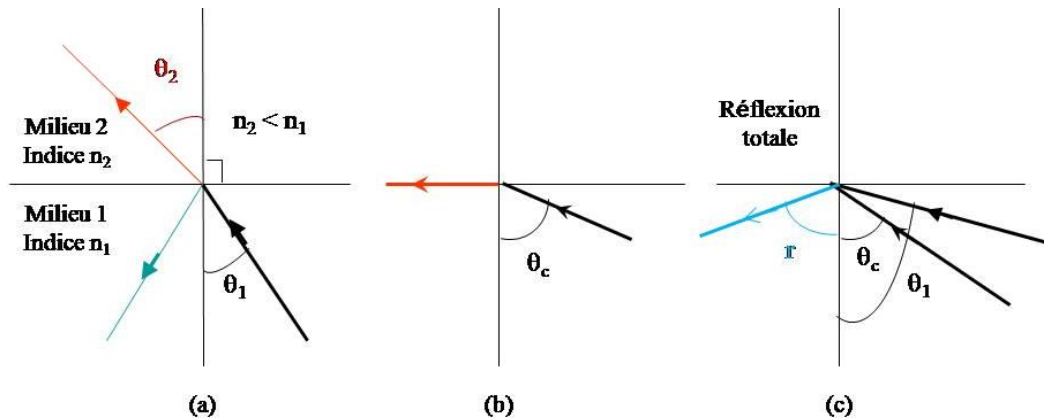


- Dans ce cas, le rayon réfracté se rapproche de la normale, $\theta_2 < \theta_1$, et $\theta_2 < \theta_c$ (cas (b)).

$$\theta_c \text{ est l'angle critique tel que : } \sin \theta_c = \frac{n_1}{n_2}$$

- Dans le cas d'une incidence normale (**cas (a)**), l'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont nuls.
- Dans le cas d'une incidence rasante (**cas (c)**), $\theta_1 = 90^\circ$, il n'y a pas de réflexion et l'angle de réfraction est égal à l'angle critique θ_c .
- **Exemple** : Passage de l'air ($n_1 \approx 1$) dans l'eau ($n_2 \approx 1.33$); donc $\theta_c \approx 49^\circ$.

4.2. Passage de la Lumière dans un Milieu Moins Réfringent



- Dans ce cas, le rayon réfracté s'éloigne de la normale, $\theta_1 < \theta_c$ et $\theta_2 > \theta_1$ (**cas (a)**).

$$\theta_c \text{ est l'angle critique tel que : } \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

- Si $\theta_1 > \theta_c$, il n'y a pas de rayon réfracté : on parle de réflexion totale (**cas (c)**).
- **Exemple** : Passage du diamant ($n_1 \approx 2.42$) dans l'air ($n_2 \approx 1$); donc $\theta_c \approx 24^\circ$.

5. Fibre optique

La fibre optique est un guide d'onde (guide de lumière) cylindrique composé d'au moins deux milieux de réfraction différents. Elle permet la transmission sans perturbation d'une information d'un point A à un point B. Les fibres optiques sont également utilisées en spectroscopie et en photométrie.

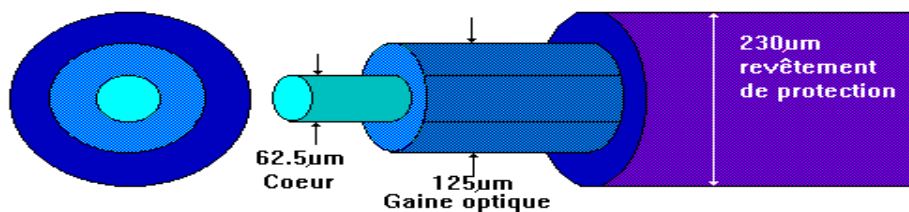


Fig.2 – Constitution d'une fibre optique multimodale.

5.1. Différents types de fibres optiques

Nous distinguerons deux grands types de fibres [1, 2]:

- **les fibres multimodes** : Généralement utilisées pour de courte distance (réseaux LAN et MAN), il y a deux principaux type de fibres multimodes: à **saut d'indice** (débit <50Mb/s) et à **gradient d'indice** (débit <1Gb/s). Les fibres multimodes ont un diamètre de cœur important (de 50 à 85 microns). Un rayon lumineux pénétrant dans le cœur de la fibre, à l'une de ses extrémités, se

propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de cœur et le verre de gaine.

- **les fibres monomodes** : utilisées pour des applications télécoms et donc sur de longues distances. Les fibres monomodes ont un diamètre de cœur (10 microns), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. L'onde se propage alors sans réflexion et il n'y a pas de dispersion nodale.

Tandis que les fibres monomodes et les fibres multimodes à saut d'indice ont des indices constants, les fibres à gradient d'indice ont un indice variable. Leur cœur n'est pas homogène comme dans le cas des autres fibres, leur indice de réfraction décroît de l'axe à l'interface.

5.2. Propagation de la lumière dans les trois types de fibres

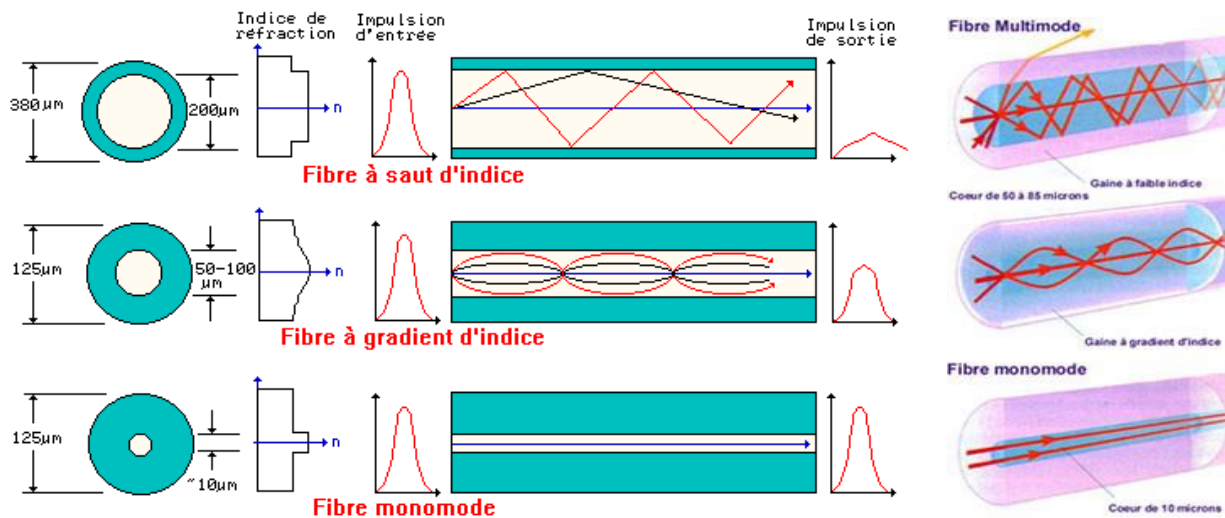
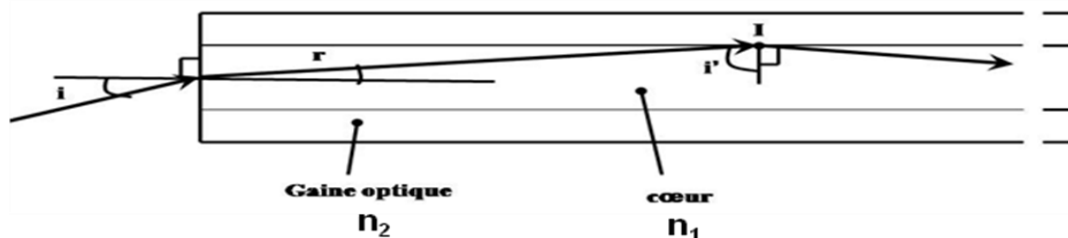


Fig.3 – Modes de transmission du signal optique.

5.3. Condition de guidage dans une fibre à saut d'indice

- Un rayon lumineux pénètre une fibre optique à saut d'indice sous un angle d'incidence i . L'indice de réfraction du cœur de la fibre a pour valeur n_1 , celui de la gaine a pour valeur n_2 .



- La valeur de l'expression $\sin i_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ représente l'angle d'acceptance de la fibre optique et est appelée **ouverture numérique** de la fibre.
- Pour permettre une réflexion totale à l'intérieur d'une fibre optique, l'angle d'incidence i du rayon lumineux pénétrant la fibre optique doit respecter la relation : $\sin i < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Il ya donc guidance si : $|i| \leq i_m$.