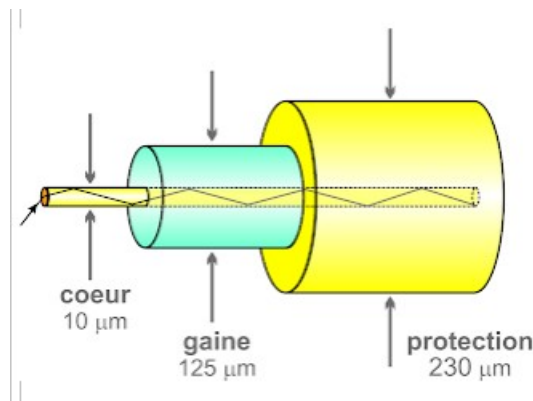


La fibre optique

1. Définition

La fibre optique est un tube mince, transparent et flexible qui sert à transmettre la lumière entre ses deux extrémités. Elle se base sur les différentes propriétés de la réfraction de la lumière.

La fibre optique est composée de trois éléments : un cœur, une gaine et un revêtement de protection.



Ainsi, au sein de la fibre optique, chaque constituant a sa propre fonction :

- Le cœur a pour rôle de transmettre la lumière. La fibre optique utilisée pour la transmission de l'information numérique possède un cœur de silice très pur, qui peut être "dopé" afin de modifier son indice de réfraction, nous verrons plus tard pour quelles raisons. La lumière est propagée à l'intérieur du cœur en respectant les lois de la réfraction.
- La gaine protège le cœur. Celle de la fibre optique destinée aux télécommunications est également composée de silice. Ce silice est de moins bonne qualité car la gaine est de moindre importance.
- Le revêtement de protection assure la résistance de la fibre optique. Il facilite la manipulation de la fibre et augmente sa flexibilité.

2. Les lois de la réfraction

La réfraction est un phénomène qui survient lorsque la lumière subit un changement brusque de direction lorsqu'elle traverse obliquement la surface de séparation de deux milieux transparents. En réalité, lorsqu'un rayon lumineux traverse la surface de séparation de deux milieux, par exemple celle de l'air et du verre, une partie du signal lumineux va se retrouver réfractée, tandis qu'une autre sera réfléchi.

Lorsqu'on parle de ce phénomène, il y a une notion clé : **l'indice de réfraction**.

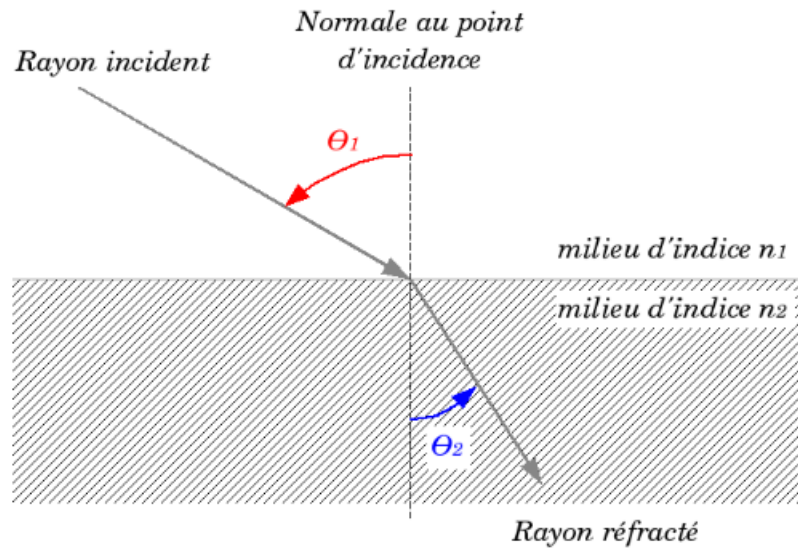
L'indice de réfraction d'un milieu mesure la densité optique de celui-ci. Cela signifie qu'il nous renseigne sur la capacité de la lumière à se propager dans ce milieu.

Il s'exprime comme le rapport entre les vitesses de propagation de la lumière dans le vide et dans le milieu concerné, qu'on note :

Avec "n" comme étant l'indice de réfraction, "c" la vitesse de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8$ mètres par seconde) et "v" la vitesse de la lumière dans le milieu en question.

$$n = \frac{c}{v}$$

Voici un schéma qui récapitule ce principe :



Il s'agit de Snell Descartes qui a mis en évidence ce principe. De plus, il a également établi la relation suivante :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Par exemple voici l'indice de réfraction de quelques milieux :

$$n_{\text{eau}} = 1.33 = 4/3$$

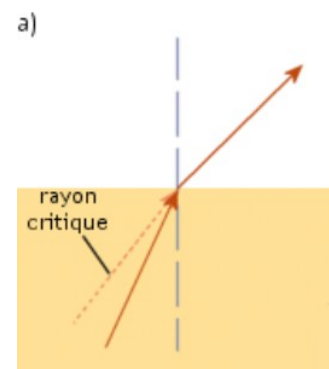
$$n_{\text{diamant}} = 2.42$$

$$n_{\text{plexiglas}} = 1.51$$

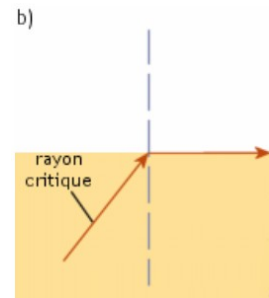
A partir de ces données on peut donc conclure que la lumière se propage environ 2,5 fois moins vite dans le diamant que dans le vide par exemple.

Suite à ce principe, on peut rencontrer différentes situations possibles :

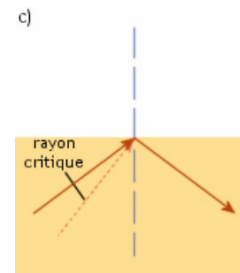
Dans la situation a), on assiste à un cas de réfraction basique, dans lequel on retrouve un rayon incident, puis un rayon réfracté.



Dans la situation b), cette fois-ci l'angle d'incidence est dit critique. Il s'agit de l'angle de réfraction maximal qui vaut 90° .



Dans la situation c), on retrouve un rayon dont l'angle d'incidence est supérieur à l'angle du rayon critique. Il s'agit d'un cas de **réflexion totale interne**.



2.1 Angle d'incidence limite

Prenons par exemple le passage d'un rayon lumineux de l'air dans l'eau étant donné que l'eau est un milieu plus réfringent que l'air, le rayon réfracté va donc se rapprocher de la normale.

Plus l'angle d'incidence est grand, plus la déviation du rayon lumineux est importante. Pour un angle d'incidence de 90° , c'est-à-dire lorsque le rayon incident rase la surface de l'eau, l'angle de réfraction atteint sa valeur maximum : **c'est l'angle limite de réfraction**.

Sachant que $\sin(90^\circ) = 1$, en remplaçant dans la formule, on peut déterminer la valeur de cet angle.

En considérant que l'indice de réfraction de l'air, n_1 vaut 1 et celui de l'eau, n_2 vaut $4/3$:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r ; 1 \sin 90^\circ = \frac{4}{3} \sin r ; r = \text{Arcsin}\left(\frac{3}{4}\right) = 48^\circ$$

Ainsi, lorsque la lumière entre dans l'eau, elle y délimite un cône dont l'angle au sommet vaut deux fois 48° , soit 96° . En dehors de ce cône, il n'y a pas de lumière.

"n" étant un rapport entre les indices de réfraction des milieux traversés, nous pouvons conclure que l'angle limite de réfraction dépend des deux milieux traversés par la lumière.

2.2 Réflexion totale

Dans une cuve d'eau contenant de la fluorescéine, on dispose d'une source lumineuse envoyant des rayons sous différents angles. On peut remarquer deux choses :

- des rayons sortent de l'eau et sont réfractés
- des rayons ne sortent pas de l'eau et semblent être réfléchis par la surface du liquide.

On peut donc dire, par ce qui précède (voir paragraphe sur l'angle limite de réfraction), que seuls les rayons qui forment un angle d'incidence compris entre 0° et 48° , sortiront de l'eau. Si l'incidence est plus importante que 48° , le rayon ne quitte plus le liquide et reste dans l'eau en étant réfléchi sur la surface de l'eau comme sur un miroir. C'est le phénomène de **réflexion totale**.

Deux conditions sont donc indispensables pour qu'il y ait réflexion totale :

Premièrement le rayon lumineux doit passer d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent, c'est-à-dire, passer d'un milieu avec un indice de réfraction plus élevé à un milieu d'indice de réfraction plus faible.

Deuxièmement l'angle d'incidence doit être plus élevé que l'angle limite de réfraction.



3. Les différents types de fibre optique

Il existe 2 grands types de fibres:

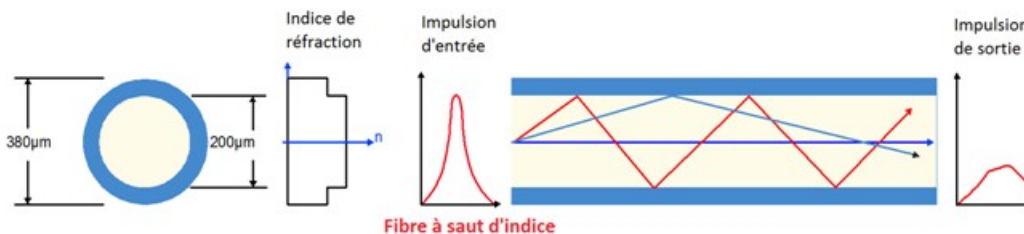
- Les fibres de type **multimode**, dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de la fibre.
- Les fibres du type **monomode**, dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière, en ligne droite.

Selon le type de fibre, les caractéristiques peuvent évoluer notamment la bande-passante, la portée et l'atténuation.

3.1 La fibre optique multimode à saut d'indices

La fibre optique multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice.

Ici, l'indice de réfraction du cœur et celui de la gaine optique sont très différents. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie".



La fibre à saut d'indice possède un cœur très large.

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie.

Quelques données:

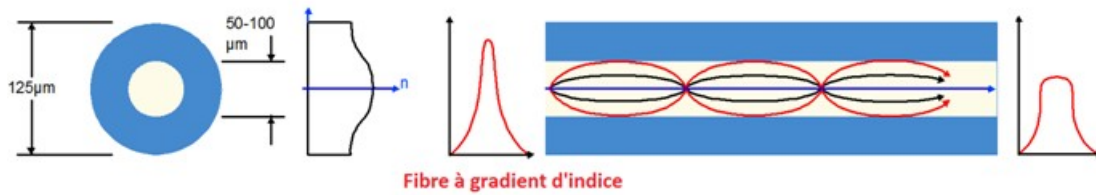
- Débit: environ 100 Mbit/s
- Portée maximale: environ 2 Km
- Affaiblissement: 10 dB/K

3.2 Fibre optique multimode à gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre le cœur et la gaine.

Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un

indice de réfraction de plus en plus élevé. Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique.



Fibre à gradient d'indice

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

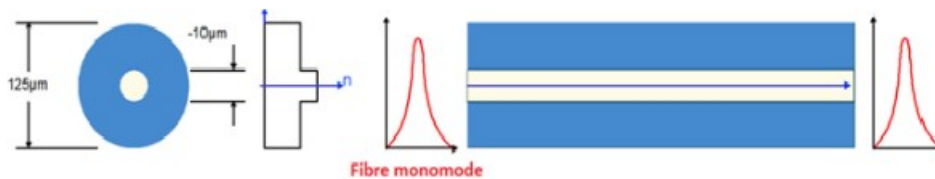
Quelques données :
Débit: environ 1 Gbit/s
Portée maximale: environ 2 Km
Affaiblissement: 10 dB/Km

3.3 La fibre optique monomode

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisée dans les cœurs de réseaux mondiaux.

Un seul mode de propagation de la lumière existe : le mode en ligne droite.

La fibre monomode possède un cœur très fin, de plus l'atténuation sur ce type de fibre est quasiment nulle, c'est pourquoi ce type de fibre est le plus efficace.

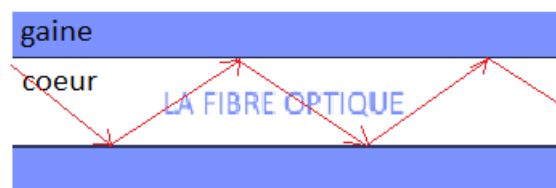


Fibre monomode

Quelques données :
Débit: environ 100 Gbit/s
Portée maximale: environ 100 Km
Affaiblissement: 0,5 dB/Km

4. Applications de la fibre optique

Soit n_1 l'indice de réfraction du cœur et n_2 l'indice de réfraction de la gaine.

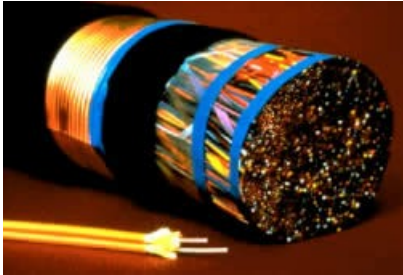


Ainsi, si on fait entrer un rayon lumineux dans le cœur il s'y propagera par réflexions totales successives, de ce fait l'information lumineuse est transmise quasiment sans perte d'un point A à un point B. C'est pourquoi afin d'empêcher le rayon lumineux de sortir du cœur, on dope le silice afin de faire varier son indice de réfraction et ainsi obtenir $n_1 > n_2$.

4.1 Les télécommunications

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. C'est probablement l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter

que quelques communications, contre 300000 pour la fibre optique. Les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde (câbles transatlantiques) avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s.



Une seule paire de fibre optiques transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

4.2 La médecine

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibres optiques qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie.



un endoscope

Pour un traitement, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine...

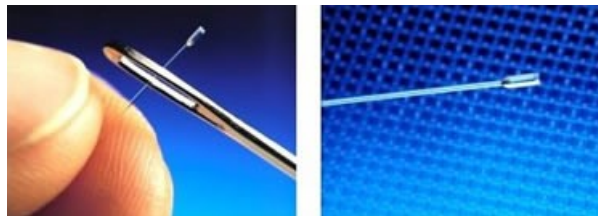


Chirurgie

La fibre optique facilite donc le travail des professionnels de la santé ainsi que la vie de leurs patients. Les interventions sont moins complexes, moins dangereuses et moins invasives que la chirurgie traditionnelle. De plus, puisqu'elles ne nécessitent le plus souvent qu'une anesthésie locale, le patient peut subir l'intervention et retourner chez lui la même journée. L'application de ces techniques de diagnostic et de traitement a donc eu une incidence importante sur le plan économique.

4.3 Les capteurs (température, pression, etc...)

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application plus récemment est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subie par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques.

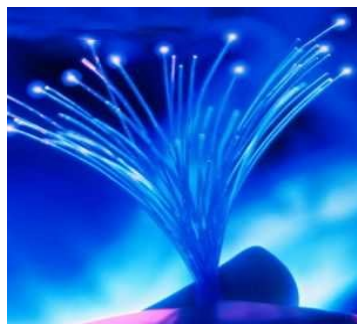


Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins

4.4 L'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.



5. Conclusion

Ainsi, la fibre optique est la principale technologie de télécommunication et a permis d'améliorer drastiquement ce domaine. Non seulement en terme de quantité d'informations transmises mais également en qualité. Nous nous demandons par quels moyens elle permet d'améliorer la transmission d'informations. C'est grâce aux différentes fibres qui au cours des années, offrent des débits de plus en plus élevés tel que nous l'avons vu lors de ces travaux personnels encadrés. Son hégémonie sur le reste des télécommunications est surtout due au fait qu'elle est responsable de la communication des réseaux mondiaux grâce à ses performances hors normes, une très large bande-passante ou encore une atténuation très faible. Elle offre ainsi, par rapport à l'ADSL une bien meilleure qualité, un débit d'informations plus élevé. C'est pour ces raisons que la fibre optique a surpassé les fils de cuivre de l'ADSL et se place en tête des télécommunications.

De plus, le fait qu'elle possède une grande durée de vie d'environ 20 ans et ne nécessite que très peu d'entretien, accentue d'autant plus cette domination et cette première place de télécommunication au monde.

Il s'agit d'une valeur durable et sûre économiquement parlant, pour les grandes entreprises. Son plus grand défi reste tout de même de s'implanter partout dans le monde et de desservir toute la population.



Sur cette carte on voit en jaune, les fameux câbles de la fibre optique qui se déploient sur plus d'un million de kilomètres sur la surface du globe. En bleu, le taux d'accès à Internet par pays, on compte aujourd'hui dans le monde plus de deux milliards d'internautes.

Cette représentation montre bien à quel point des pays tels que le Japon ou le Canada sont particulièrement bien connectés alors que le continent africain souffre lui d'un manque de points d'entrée flagrant. De ce fait, les habitants qui aspirent à se connecter depuis le réseau physique du net sont défavorisés. Ainsi la plus grande problématique de cette technologie est de se développer partout dans le monde et répondre aux besoins croissants de ses utilisateurs qui augmentent jour après jour. Cette technologie a tout à fait l'air d'être capable d'assumer ce poids et d'être durable sur le long terme afin de répondre à ces besoins croissants.