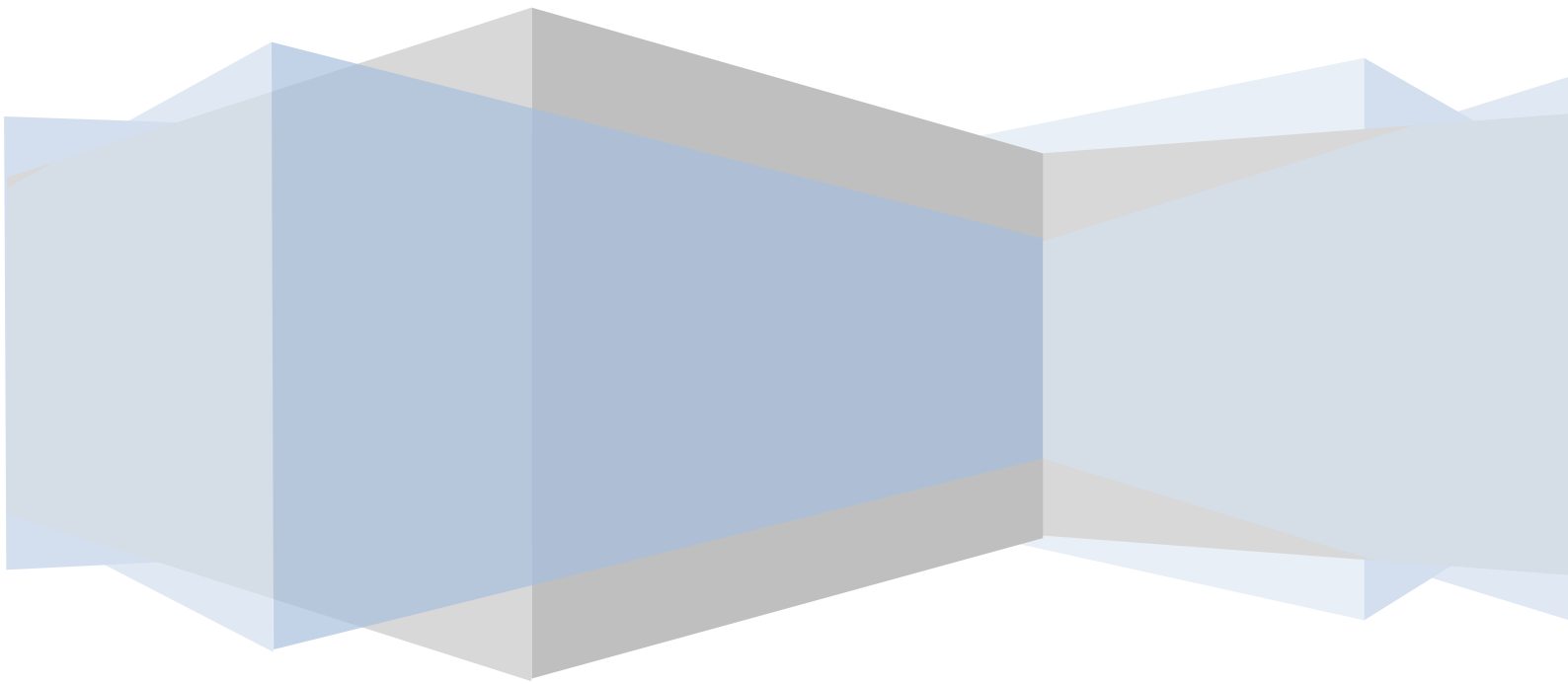


TAI de Physique

La fibre optique

Pellé-Boudon Grégory

Ravey Matthieu



Sommaire

Introduction.....	2
Quelques rappels sur la lumière.....	3
Fonctionnement de la fibre optique.....	4
Principe physique.....	4
Les différents types de fibres optiques.....	5
Les fibres multimodes.....	5
Les fibres monomodes.....	6
Les différents domaines d'utilisation de la fibre optique.....	6
Les télécommunications.....	6
La médecine.....	6
Conclusion.....	8
Bibliographie :.....	9

Introduction

Le principe de la réfraction interne totale de la lumière a été étudié depuis les années 1850 par *John Tyndall*, mais ce n'est qu'après la découverte du laser dans les années 1960, que l'idée qu'elle puisse être utilisée pour transmettre des informations sur une distance à travers des câbles est née, c'était les premières fibres optiques. Aujourd'hui la toile de fibres déployée à travers le monde a remplacé les câbles coaxiaux et mesure plus de 80 millions de kilomètres. Nous allons dans un premier temps décrire le fonctionnement de cette technologie, puis nous listerons des domaines majeurs où la fibre est utilisée.

Quelques rappels sur la lumière

La lumière peut être considérée comme une onde et elle se propage en ligne droite (dans le vide) à une vitesse de 300000km/s (3.18m/s). Le spectre de la lumière visible s'étend de 400nm à 750nm (du bleu au rouge).

Lorsque la lumière change de milieu, c'est-à-dire lorsqu'elle rencontre un obstacle, plusieurs phénomènes se produisent. Ceux-ci sont illustrés par ce dessin :

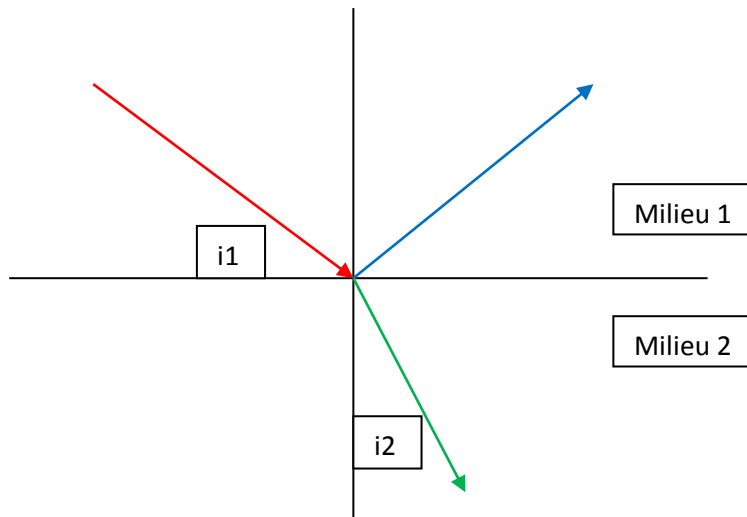


Fig1 : Changement de milieu de la lumière

Le rayon incident [en rouge] arrive sur l'obstacle et à partir de là, une partie du rayon est réfractée [en vert] (elle pénètre dans le deuxième matériau) et une autre partie est réfléchi [en bleu] (et une petite partie est perdue). Une propriété importante est la conservation de l'énergie : l'énergie transmise par le rayon incident est égale à l'énergie du rayon réfléchi plus celle du rayon réfracté (plus la partie perdue). Une autre loi importante qui sera très utile est la loi de Descartes :

$$n1 * \sin(i1) = n2 * \sin(i2)$$

Où $n1$ et $n2$ sont, respectivement, les indices des milieux 1 et 2.

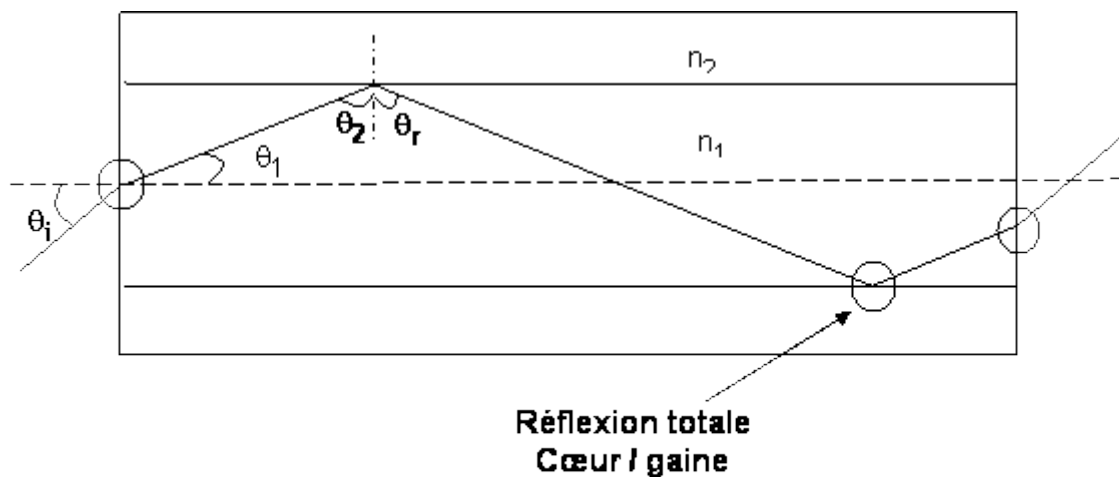
Fonctionnement de la fibre optique

Le but, en version simplifiée, de la fibre optique est de faire passer de la lumière dans un tuyau. En effet, comme on l'a vu précédemment la lumière ne se déplace qu'en ligne droite, ce qui n'est pas très pratique si on veut l'utiliser pour transporter des informations.

Principe physique

La fibre optique est composée d'un milieu de cœur en verre et d'un milieu enveloppe. Son principe de fonctionnement est basé sur la réflexion totale de la lumière, ce qui permet la propagation sur de longues distances. En effet, la lumière étant réfléchiée totalement, aucune partie n'est diffractée et ainsi il n'y a aucune perte de lumière. La lumière envoyée au départ est donc totalement reçue.

Fig2 : Schéma de la fibre optique :



L'ouverture numérique de la fibre, qui est le sinus de l'angle d'entrée (ici θ_i) doit être égal à : $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Cette équation doit être vérifiée pour que la lumière ne subisse aucune réfraction pendant le parcours du trajet, étant ainsi transportée de façon optimale.

Démonstration :

On a :

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_1$$

De plus on sait que $\theta_2 > \theta_1$ (où θ_1 est l'angle limite du faisceau incident qui conduit à un angle réfracté de $\frac{\pi}{2}$). Et $\theta_1 = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$.

Ce qui nous amène à :

$$\frac{\pi}{2} - \theta_1 > \theta_1 \Leftrightarrow \theta_1 < \frac{\pi}{2} - \theta_1$$

Si on applique la loi de Descartes à l'entrée de la fibre on obtient :

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

Ensuite la condition de réflexion totale donne :

$$\sin(\theta_1) < \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right)$$

Et l'on peut donc déterminer l'angle incident limite α_l tel que :

$$\sin(\alpha_l) = n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right) \text{ (on suppose } n_2 = 1, \text{ c'est-à-dire que le milieu 2 est l'air)}$$

Et finalement on retrouve l'équation de l'ouverture numérique :

$$\left. \begin{array}{l} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right) = \cos(\theta_2) \\ \cos^2(\theta_2) = 1 - \sin^2(\theta_2) \\ \text{et } \sin(\theta_2) = \frac{n_2}{n_1} \end{array} \right\} \cos^2(\theta_2) = 1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\Rightarrow \sin^2(\alpha_l) = n_1^2 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right) = n_1^2 \left[1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right]$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\sin(\alpha_l) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$$

Les différents types de fibres optiques

Les fibres multimodes

Ce type de fibre est utilisé pour une transmission de courte distance et de débit peu important (10/100Mbit/s), la taille de son cœur est 50 ou 62,5 μm . On utilise, pour ce type de fibre, une source lumineuse de type DEL, les ondes émises sont de 850 nm ou 1300 nm, et le rayon de l'onde est large.

Il est donc logique que ce type de fibre optique soit peu performant car, la source lumineuse perd de sa puissance à chaque fois qu'elle rencontre la gaine à cause de son rayon large. De plus, il existe des signaux lumineux de plus fortes puissances.

On trouve aussi sur le marché un autre type de fibre optiques multimodes, celles-ci sont optimisées pour les sources lumineuses de type laser, comme le VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) dont la longueur d'onde est identique à la LED. Mais le laser VCSEL et la LED ont une différence majeure : elles émettent deux lumières différentes. On a vu que le rayon de l'onde d'une diode était large. Le laser VCSEL, au contraire, émet une lumière qui a un rayon étroit, donc plus concentré en son centre. Ainsi, l'angle réfracté est beaucoup moins important aux abords de la gaine, et les pertes s'en trouvent réduites. Grâce à cette différence, le débit sur ce type de fibre multimode peut monter jusqu'à 1 ou 10Gbit/s.

Les fibres monomodes

Voici les trois différences entre la fibre monomode et la fibre précédente :

1. La taille de son cœur est unique : 9 μm .
2. On utilise des sources lumineuses plus puissantes : laser Fabry-Perot (FP) et laser DFB (Distributed Feedback).
3. La longueur d'onde est de 1 310 nm ou 1 550 nm pour ce type de laser.

La fibre monomode est plus performante pour le débit et pour la distance que la fibre multimode, car la taille de son cœur permet de limiter la dispersion et de minimiser la déformation du signal.

Ce type de fibre est utilisé pour relier des sites lointains, plus d'une centaine de kilomètres, et pour assurer un débit élevé, des centaines voir un Téra Octet de données par seconde. En revanche, on ne peut transmettre qu'une information à la fois et de manière unidirectionnelle. Les fibres multimodes, quant à elle, sont utilisées pour les réseaux privés entre bâtiments.

Les différents domaines d'utilisation de la fibre optique

Les télécommunications

C'est dans ce domaine que la fibre optique est aujourd'hui la plus utilisée, et cela pour deux raisons principales. Tout d'abord, on s'en est servi pour relier les continents grâce à des câbles sous-marins, la première fibre optique à été posée entre l'Europe et les Etats-Unis en 1988. Au commencement, les câbles étaient juste déposés dans le fond des océans, mais pour éviter leurs fréquentes coupures dues, aux navires ou aux phénomènes naturels, la pose « ensouillée » des câbles a été adoptée, qui permet d'enterrer les fibres.

Puis s'est développé depuis quelques années le raccordement d'un abonné à internet en fibre optique (via *FTTH*, pour *Fiber To The Home*), grâce aux fournisseurs d'accès. L'Europe est en retard sur les Etats-Unis qui ont avec 2 millions, le double de clients rattachés. Mais c'est le Japon qui surclasse tous les autres pays avec 13 millions d'abonnés. Cette innovation permet un débit théorique pour chaque utilisateur de 100 Mb/s, ce qui est nettement supérieur au 20Mb/s proposés via l'ADSL. Le dernier record de débit est détenu par Alcatel-Lucent, qui a transmis 25,6 Tb/s sur trois tronçons de 80 kilomètres, et le record sur la distance est de 3 Tb/s, sur 7 300 kilomètres.

La médecine

La médecine a tiré profit de la fibre optique dès les années 1950 dans le domaine de l'endoscopie avec l'invention du fibroscope par Van Heel et Hopkins. Cet outil est un « tube » introduit par le

médecin dans le corps du patient. Ce tube contient des fibres optiques qui vont permettre d'amener de la lumière à l'intérieur du corps, mais surtout de prendre des photos ou de retransmettre sur écran les images. Cet outil dispose aussi d'une arrivée d'eau et d'air, et d'un canal destiné aux outils chirurgicaux. Cette innovation a permis à la science d'accéder à des parties sensibles sans opérations lourdes, car le fibroscope s'introduit via une petite incision ou les voies naturelles.

La seconde application de la fibre optique relève du domaine chirurgical. En effet, les recherches effectuées sur les lasers ont permis de montrer qu'elle pouvait être utilisée dans certaines opérations dont l'accès est difficile et sensible, comme le cerveau, les yeux ... Le 30 août dernier, une opération qui avait pour but de détruire des tumeurs au cerveau a réussi à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière : les chirurgiens ont introduit une fibre optique, couplée d'un laser, dans une entaille de 3 millimètres, pour traiter les cellules cancéreuses.

Conclusion

Les avantages de la fibre optique sont nombreux, et c'est pour cela qu'elle est de plus en plus utilisée. Ses propriétés physiques intéressantes en font un matériel de choix dans le domaine des télécommunications. La médecine a, quant à elle, tiré partie de sa petite taille et de sa flexibilité. Aujourd'hui, contrairement à l'idée longtemps répandue, le coût global d'un système sur fibres optiques est, dans de nombreux cas, inférieur à celui d'un système sur câbles conducteurs et son installation est devenue plus facile. La fibre optique est donc une technologie d'avenir que l'on retrouvera partout.

Bibliographie :

<http://www.elwatan.com/Les-cables-d-internet-etendent>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Usage en t.C3.A9l.C3.A9communication](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Usage_en_t.C3.A9l.C3.A9communication)

<http://www.zonehd.net/dossier/la-fibre-optique-une-technologie-de-pointe/1/>

<http://www.infos-du-net.com/actualite/14323-fibre-optique-japon.html>

<http://www.cesyco-endoscopes.com/5-22947-Technologie.php>

<http://www.planet.fr/actualite/depeche-afp-une-08-08-30.newsmlmmd.feebac3a0cbd47ebbac84bdef825722.741.xml.html>