

LES FIBRES OPTIQUES

La fibre optique la plus simple exploite le phénomène de réflexion totale pour guider la lumière. On distingue ainsi deux milieux : le cœur, dans lequel l'énergie lumineuse se trouve confinée, grâce à un second milieu, la gaine, dont l'indice de réfraction est plus faible. Les recherches menées dans les années 1970 ont conclu que la silice était un bon support pour des longueurs d'onde prises dans le proche infrarouge (850 nm - 1300 nm - 1500 nm).

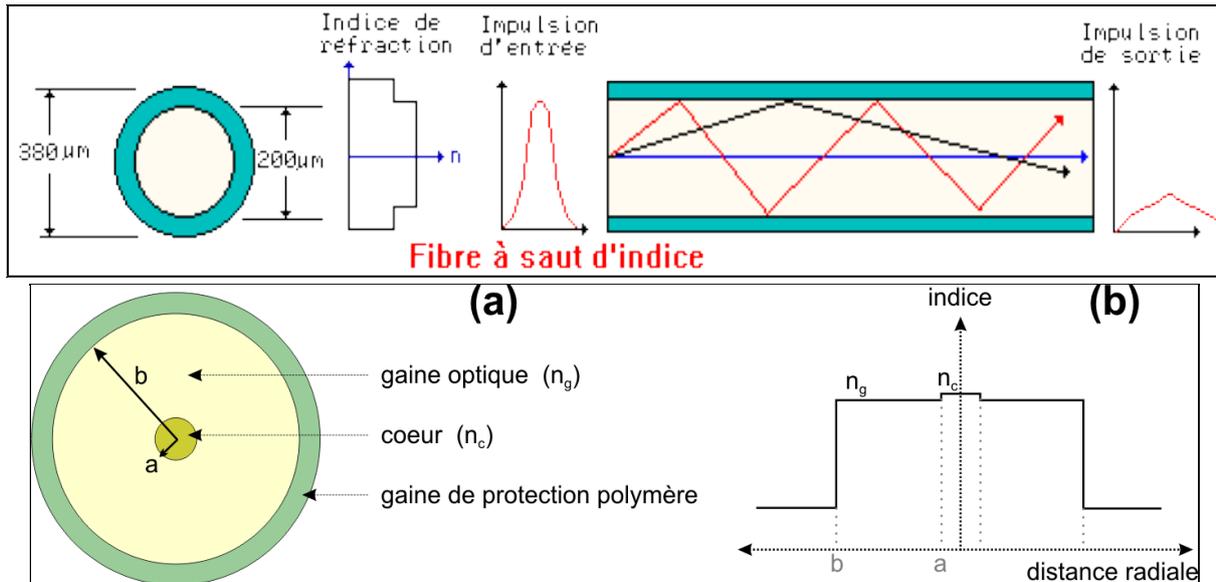
La fabrication en série de lasers à semi-conducteurs (diodes lasers) dans ces longueurs d'onde est venue par la suite confirmer ce choix.

Il existe deux grands types de fibres optiques, dont nous allons présenter les principales propriétés ci-dessous.

LA FIBRE MULTIMODE

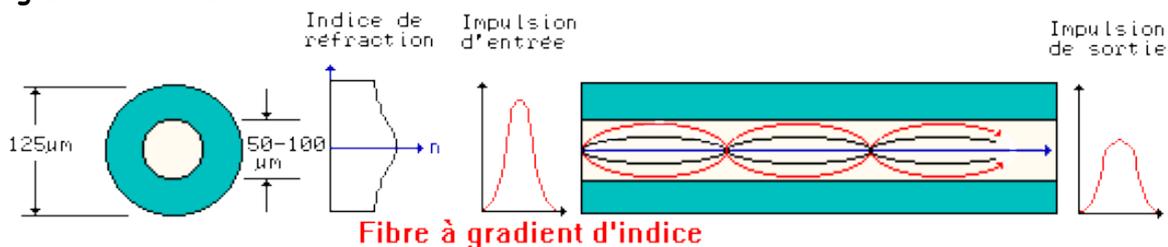
Dans cette famille, nous trouvons deux sous catégories :

La fibre à saut d'indice.



C'est la plus "ordinaire". Le cœur a un relatif gros diamètre, par rapport à la longueur d'onde de la lumière (de l'ordre du μm dans l'infrarouge). Tous les inconvénients vus plus haut se manifestent ici. Observez l'allure de l'impulsion de sortie, comparée à celle de l'impulsion d'entrée (ces informations sont non quantitatives).

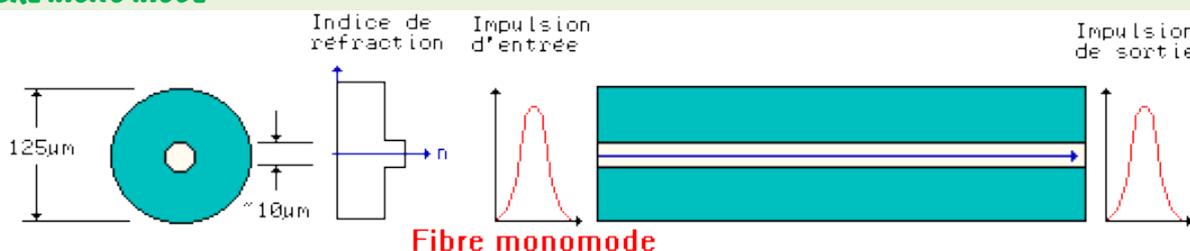
La fibre à gradient d'indice



Ici, deux améliorations sont apportées:

- Le diamètre du cœur est de deux à quatre fois plus petit.
- Le cœur est constitué de couches successives, à indice de réfraction de plus en plus grand. Ainsi, un rayon lumineux qui ne suit pas l'axe central de la fibre est ramené "en douceur" vers le centre.

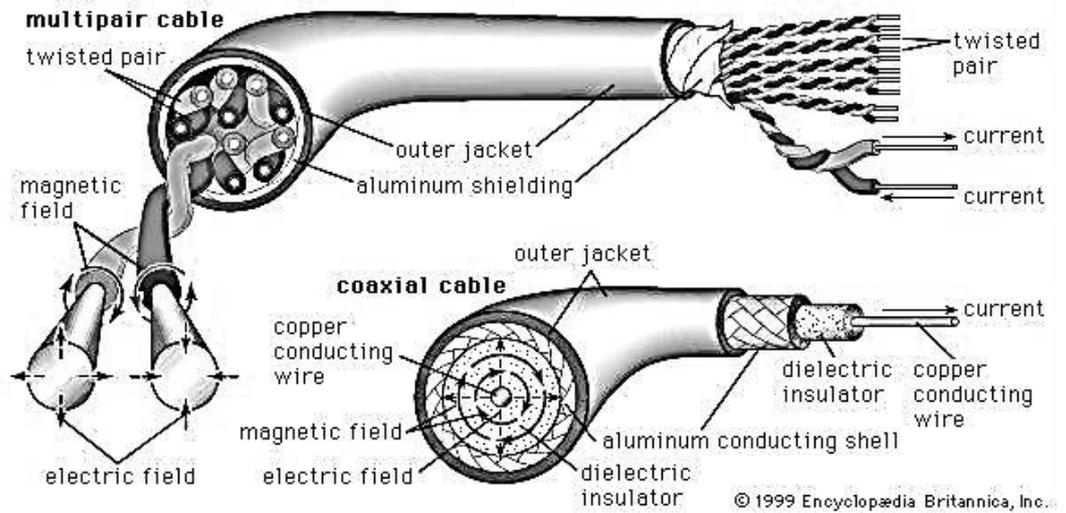
LA FIBRE MONO MODE



Le diamètre du cœur est très petit, les angles d'incidence le sont donc aussi. Les résultats sont excellents, mais, compte tenu de la faible section de cette fibre, seule la lumière laser est ici exploitable. Il n'y a pas de miracle, c'est la solution la meilleure, mais aussi la plus onéreuse.

LE CÂBLE DE COMMUNICATION (ENCYCLOPÉDIE BRITANNICA)

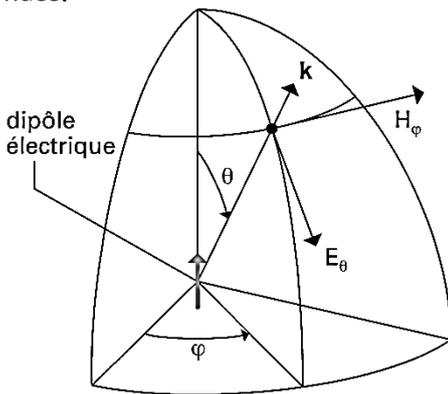
Electric cables used to transmit information are quite different from power cables, both in function and in design. Power cables are designed for high voltages and high current loads, whereas both voltage and current in a communication cable are small. Power cables operate on direct current or low-frequency alternating current, while communication cables operate at higher frequencies with low power.



LA VOIE HERTZIENNE (ENCYCLOPÉDIE UNIVERSALIS, 'ANTENNES, TECHNOLOGIE' PAR JEAN-CHARLES BOLOMEY)

Les possibilités offertes par la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux naturels sont exploitées à des fins multiples : radiodiffusion, télévision, radar, télécommunications, radionavigation...

Dans toutes ces applications, l'antenne désigne ce composant indispensable au rayonnement et à la captation des ondes.



Principe de fonctionnement : le mouvement accéléré des électrons (courant variable) s'accompagne de l'émission d'une onde électromagnétique - et inversement, une onde met en mouvement les électrons (production d'un courant variable).

C'est l'équipement électronique associé à une antenne qui en définit l'éventuelle spécificité. Dans certains cas (radars, notamment), la même antenne est utilisée indifféremment à l'émission et à la réception.

Ci-contre, le dipôle électrique constitue l'antenne vue à grande distance. **E** est le champ électrique et **H** le champ magnétique. On représente par **k** le vecteur donnant la direction de propagation de l'onde.

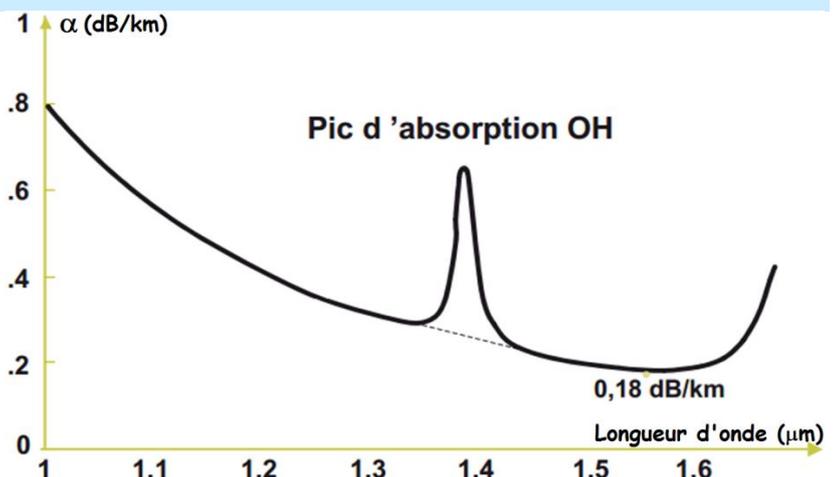
LE DÉBIT BINAIRE

C'est le nombre de bits transmis par seconde : $D = N/\Delta t$. Le débit **D** est le produit de la fréquence d'échantillonnage f_e par le nombre de bits sur lequel est codé le signal n_{bits} (8 bits par exemple) par le nombre de voies n ($n = 1$ si mono, 2 si stéréo, etc.). $D = n \cdot f_e \cdot n_{\text{bits}}$. Un débit binaire s'exprime en bit/s ou en multiple de cette unité : kbit/s, Mbit/s, Gbit/s.

L'ATTÉNUATION

L'**atténuation** d'un signal lors de sa transmission, c'est-à-dire la diminution de l'amplitude du signal, est mesurée par le coefficient d'atténuation, en décibels : $A_{dB} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_e}{P_r} \right)$, P_e étant la puissance émise et P_r la puissance reçue. En notant α l'atténuation linéique en dB/km, cette formule s'écrit aussi : $A_{dB} = L_{km} \cdot \alpha_{dB/km}$.

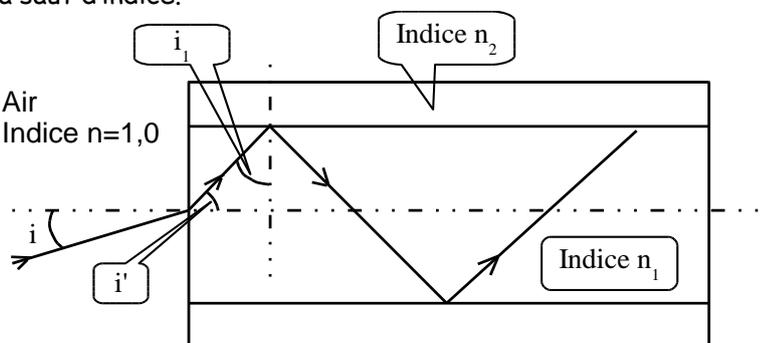
Ci-contre, l'atténuation linéique d'une fibre monomode à saut d'indice.



- 1) Quelles sont les trois catégories de moyens de télécommunication ? Quels sont les moyens de transmission que l'on peut qualifier de « propagation libre » et ceux que l'on qualifierait plutôt de « propagation guidée » ?
- 2) Quels sont les deux rôles des antennes ? Une antenne peut-elle jouer ces deux rôles ?
- 3) Le champ électrique émis par une antenne possède-t-il la même direction que la direction de propagation de l'onde électromagnétique ? Comment se situe-t-il par rapport au champ magnétique ?
- 4) Quel est le type de courant utilisé pour les câbles de communication ?
- 5) En vous appuyant sur les documents et en comparant les formes des impulsions d'entrée et de sortie pour chaque type de fibre optique, les classer de la plus performante à la moins performante. Justifier brièvement.
- 6) Sachant qu'une image est constituée de 3 Mbit, en quelle durée est-elle transmise par un dispositif opérant à 9 Mbit/s ?
- 7) De quels paramètres l'atténuation dépend-elle ?
- 8) Sachant que les amplificateurs des câbles transocéaniques sont disposés tous les 60 km environ et que l'on doit amplifier un signal lorsque la puissance restante vaut 5 % de la puissance émise, calculer l'atténuation linéique et en déduire la longueur d'onde de travail d'une fibre monomode à saut d'indice.

Complément sur le fonctionnement de la fibre optique à saut d'indice.

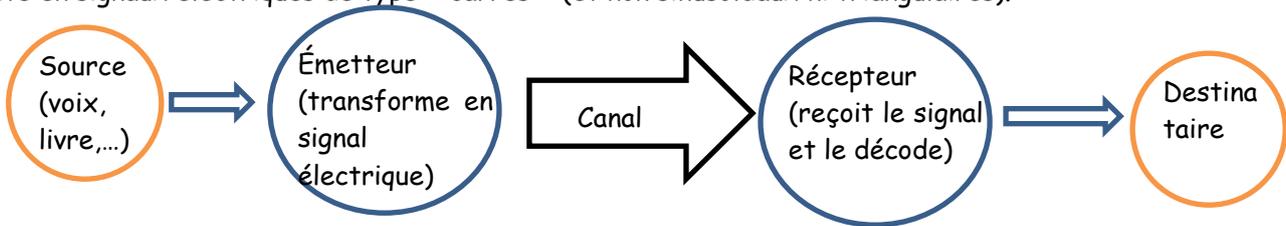
Une fibre optique est formée d'une âme en verre d'indice $n_1 = 1,66$ entourée d'une gaine en verre d'indice $n_2 = 1,52$.



- 9) Réflexion totale dans la fibre
 - a) En appliquant la loi de Descartes aux angles i et i' (passage de l'air au cœur de la fibre d'indice n_1), calculer la valeur de i' si $i = 25 \text{ deg}$.
 - b) Calculer la valeur de l'angle i_1 .
 - c) Lors du passage du milieu 1 au milieu 2, il doit y avoir réflexion totale du rayon lumineux. Montrer que cela se produit si $\sin i_1 > \frac{n_2}{n_1}$.
 - e) Calculer la valeur de l'angle i_1 satisfaisant à cette condition limite.
 - f) L'angle i_1 calculé à la question b permet-il la réflexion totale ?

COMMENT ÉTUDIER LES PERFORMANCES DES SYSTÈMES DE TRANSMISSION DE L'INFORMATION ?

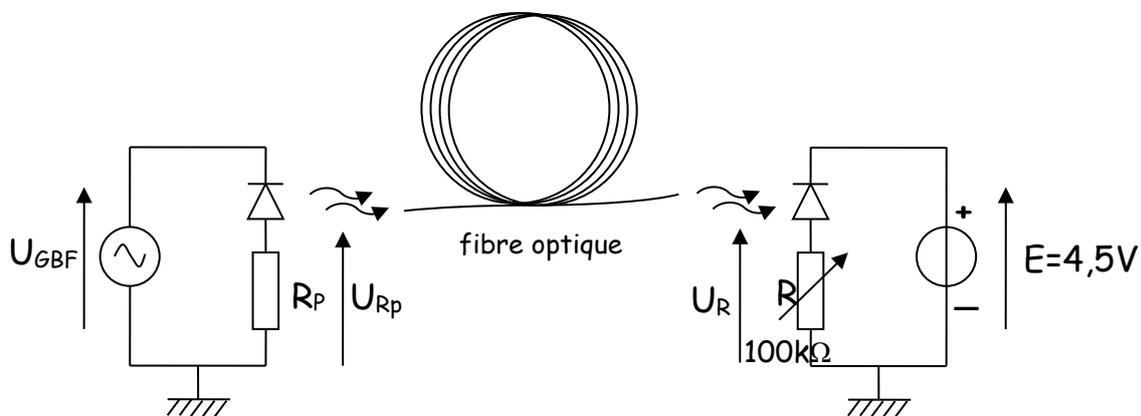
L'information se trouve transmise sous forme de signaux « carrés », dits TTL pour transistor-transistor-logic. Pour émettre de tels signaux, il faut un générateur qui peut être modulé selon ce que l'on veut transmettre. Tout signal est transformé en une suite de zéro et de un, selon un codage en langage binaire. Cette série de zéro et de un est traduite en signaux électriques de type « carrés » (et non sinusoidaux ni triangulaires).



Pour transmettre le signal, trois canaux sont possibles : on peut passer par une antenne (voie hertzienne), par un câble électrique ou par une fibre optique.

Nous allons nous intéresser plus précisément à cette dernière technologie.

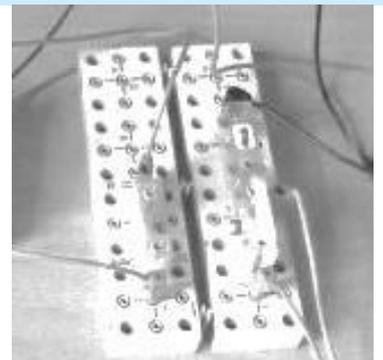
PRINCIPE



La DEL, qui émet de la lumière, est alimentée à l'aide d'un GBF (générateur basses fréquences). Le flux lumineux ϕ (proportionnel au courant qui traverse la DEL) est transmis à la photodiode soit directement, soit par l'intermédiaire de la fibre optique.

MANIPULATIONS PRÉLIMINAIRES

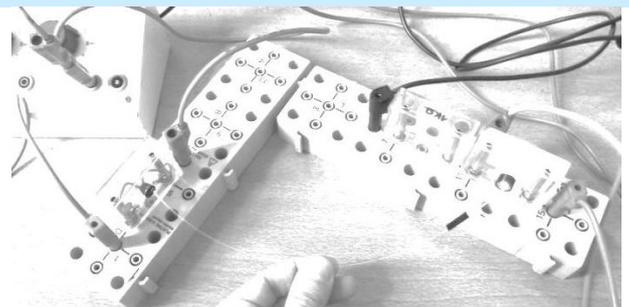
- Réglage du générateur basses fréquences (GBF) : signal sinusoïdal de fréquence 200 à 500 Hz, d'amplitude voisine de 2,5 V (5 V crête à crête ou pic à pic, V_{cc} ou V_{pp}). Sur l'oscilloscope, l'échelle des temps, « time » doit être comprise entre 1 et 5 ms.
- Pour quelle raison observez-vous une telle courbe sur l'oscilloscope ?
- Utiliser la fonction « offset » (décalage) et régler pour visualiser la totalité du signal.
- Une fois ce réglage effectué, on ne touchera plus à l'offset.



ÉTUDE DE LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE

- Détacher les plaques et les placer à 90°.
- Amener le signal à la photodiode.

Quelle est la différence entre les effets des deux fibres ?



ÉTUDE DE LA PERFORMANCE DU RÉCEPTEUR

Comment étudier l'influence de la fréquence sur le signal capté ? Proposer un protocole permettant d'étudier la qualité de la réception en fonction de la fréquence du signal transmis.