

LA FIBRE OPTIQUE : INTERNET GRÂCE A LA CHIMIE

Anthony Pichard, Andrée Harari, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *La fibre optique : Internet dans un grain de sable* de Sébastien Février publié dans l'ouvrage « Chimie et technologies de l'information », EDP Sciences, 2014, ISBN : 978-2-7598-1184-7

LE GUIDE D'ONDES

Le faisceau de lumière d'un phare de voiture s'élargit dans le brouillard à cause de la diffusion (figure 1). Pour qu'il se propage sans perte sur une très grande distance, il faudrait éviter cet élargissement. Il en va de même pour toutes les ondes électromagnétiques qui se propagent en ligne droite dans un milieu homogène (air, vide, verre...) : pour les transporter sur de longues distances sans pertes, on peut utiliser ce qu'on appelle un guide d'ondes.

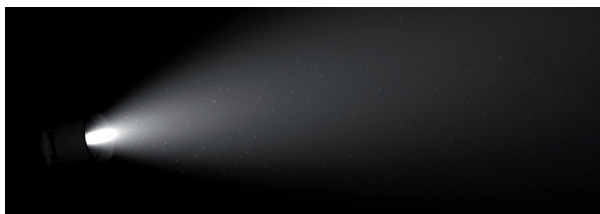


Figure 1 : Faisceau d'un phare de voiture.

La fibre optique est un exemple de guide d'ondes qui permet de transporter de l'information grâce à la lumière.

LA FIBRE OPTIQUE

Invention et développement

Le développement de la fibre optique résulte de la conjugaison des efforts dans plusieurs disciplines scientifiques : les mathématiques appliquées, la physique et la chimie, plus quelques autres facteurs économiques.

Quatre équations établies par Maxwell décrivent la propagation des ondes électromagnétiques. Ce sont les lois de l'électromagnétisme et elles ont permis

de mettre au point l'architecture interne des fibres optiques, de les dimensionner pour assurer une propagation guidée de la lumière et d'augmenter la bande passante de ces composants.

Le développement des fibres optiques n'aurait pu se faire sans les extraordinaires progrès de la chimie et de la synthèse chimique de matériaux ultra-purs (1). Pour se rendre compte des propriétés extraordinaires de ces matériaux il faut imaginer que si une fibre optique était suffisamment grosse pour regarder au travers, on pourrait voir à cent kilomètres ; alors qu'à travers une vitre ordinaire au-delà de 20 à 30 cm d'épaisseur, on ne voit déjà plus rien. Cette différence résulte des très hauts niveaux de pureté des matériaux utilisés dans ces fibres optiques.

La persévérance des chercheurs et leur confiance en la technologie révolutionnaire des fibres optiques ont été un facteur déterminant pour leur déploiement. Parallèlement, la demande des clients et le développement des procédés industriels ont permis le large déploiement de ces technologies.

Qu'est-ce qu'une fibre optique ?

Pour mieux comprendre ce qu'est une fibre optique, on peut étudier l'expérience de fontaine lumineuse réalisée la première fois par Jean-Daniel Colladon au milieu du XIX^e siècle (figure 2). De l'eau s'écoule d'une cuve percée d'un trou. La lumière d'une source lumineuse, dans notre exemple un laser, passe au travers de la cuve jusqu'à l'orifice. Si la lumière réussit à passer par le trou, elle suit l'écoulement et s'y propage. On observe des zigzags de la lumière rouge à l'intérieur de l'écoulement. La trajectoire du

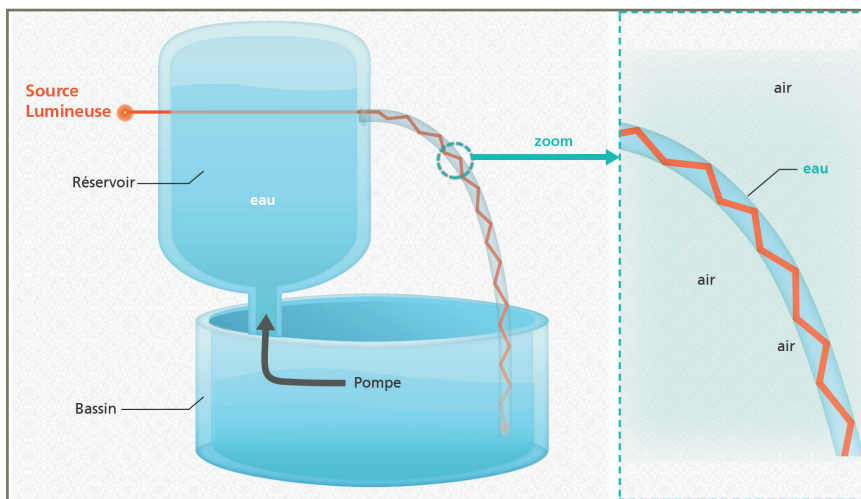


Figure 2 : Expérience de la fontaine lumineuse.

rayon lumineux s'explique par une succession de réflexions à l'interface entre l'eau et l'air. Puisque la lumière ne sort pas, même partiellement, de l'écoulement, on parle de « réflexion interne totale ».

Évidemment, on ne peut pas faire une fibre optique avec uniquement de l'eau entourée d'air. En revanche, on peut utiliser deux types de verres d'indice différent (2). Une fibre optique est donc un assemblage concentrique de ces deux verres. La zone centrale est appelée « cœur », tandis que la zone périphérique est appelée « gaine ». La lumière circule moins vite dans le cœur que dans la gaine.

Le diamètre total de la fibre optique mesure une centaine de micromètres, soit à peine plus qu'un cheveu. Un matériau de protection entoure la gaine et la protège de l'usure, du vieillissement, des chocs, des pressions.

FABRICATION DE LA FIBRE OPTIQUE

Le verre est obtenu à partir de silice (SiO_2) ultra-pure (3). Comme on l'a vu précédemment, la fibre optique est composée d'au moins deux types de verres :

ils possèdent des indices de réfraction différents. L'indice de réfraction est une grandeur qui décrit le comportement de la lumière à travers un milieu donné. On peut obtenir ces petites différences de valeurs en ajoutant des éléments à la silice, selon un procédé appelé « dopage » (4).

Les éléments dopants les plus utilisés actuellement sont le germanium (Ge), l'aluminium (Al), le phosphore (P) et le fluor (F) qui se combinent dans le réseau du verre et changent localement l'indice.

La fabrication se fait en deux étapes :

- ▶ la fabrication d'une préforme : à l'intérieur d'un tube creux en silice ultra-pure, on réalise le dépôt de verre de silice transparent dans lequel certains atomes de silice ont été remplacés par des atomes dopants (figure 3) ;
- ▶ l'étirage (ou fibrage) : le tube précédent, d'un mètre de longueur et de 3 cm de diamètre, est ramolli dans un four puis étiré sous forme d'un fil mince, de 60 km de longueur et de 125 micromètres de diamètre, qui formera la fibre optique (figure 4).

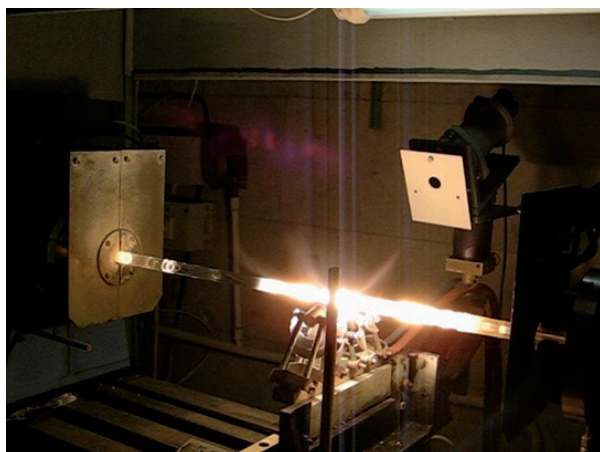
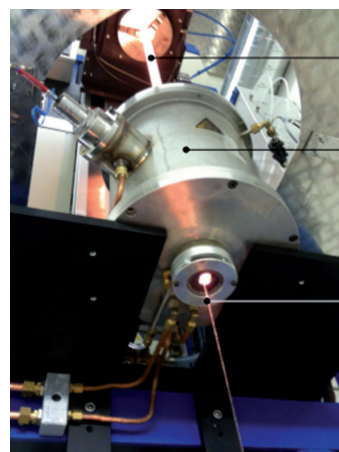


Figure 3 : Fabrication de la préforme.



Préforme
Four de fibrage
Fibre optique

Figure 4 : Fibrage. Source : photo XLIM.

LA TRANSMISSION DE L'INFORMATION PAR FIBRE OPTIQUE

La transmission de l'information par fibre optique repose sur le principe qui était utilisé par les indiens avec les signaux de fumée : au lieu d'avoir un nuage de fumée continu, on découpait le flux de fumée en petits nuages : leur taille, leur nombre, leur fréquence d'apparition formaient un signal qui avait un sens pour l'émetteur et le récepteur. Dans le cas des communications optiques modernes, le faisceau laser remplace le nuage continu de fumée ; des impulsions de lumière remplacent les petits nuages de fumée. Le code est toujours partagé entre émetteur (5) et récepteur (figure 5).

Malgré ses performances exceptionnelles en tant que support de propagation, la fibre optique présente quelques défauts comme les pertes de propagation. Elles sont certes faibles mais les liaisons doivent couvrir de grandes distances, par exemple les 6 000 km qui séparent le continent européen de la côte Est des États-Unis. Il a donc fallu trouver un moyen de « régénérer » les signaux, fortement atténués. Pour cela, on utilise un amplificateur de lumière : il s'agit d'une fibre optique particulière dont le cœur a été dopé avec des ions Er^{3+} lors d'une étape supplémentaire dans le processus de fabrication.

Les fibres de ligne et les fibres amplificatrices de lumière peuvent véhiculer ou amplifier simultanément plusieurs rayonnements lasers, à des longueurs d'onde différentes. C'est ce que l'on

appelle le multiplexage en longueur d'onde. Tout se passe comme si on injectait plusieurs couleurs dans la liaison optique. L'intérêt réside dans le fait que chaque couleur porte sa propre information et que ces couleurs ne se mélangent pas. On peut donc retrouver ces informations en sortie de la ligne et injecter simultanément plusieurs dizaines de couleurs, ce qui augmente d'autant la capacité de la liaison optique.

DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Pour répondre à la forte croissance du volume de données échangées grâce à la fibre optique (la demande en volume de données double tous les 18 mois), on envisage des solutions telles que de nouveaux câbles ou l'utilisation d'une autre forme de multiplexage lié au mode de propagation de la lumière dans la fibre.

De plus, le champ d'application est très vaste : sondage de puits, soudure de précision, micro-chirurgie de l'œil, imagerie du corps humain... on envisage même de pouvoir développer des lasers infrarouges (6) mille fois plus brillants que le Soleil grâce à la fibre optique !

Pour conclure, la fibre optique joue un rôle essentiel pour les technologies de l'information et de la communication (7), elle est de plus en plus répandue pour permettre l'accès à Internet (figure 6). Pour répondre aux besoins et offrir de nouvelles possibilités, les

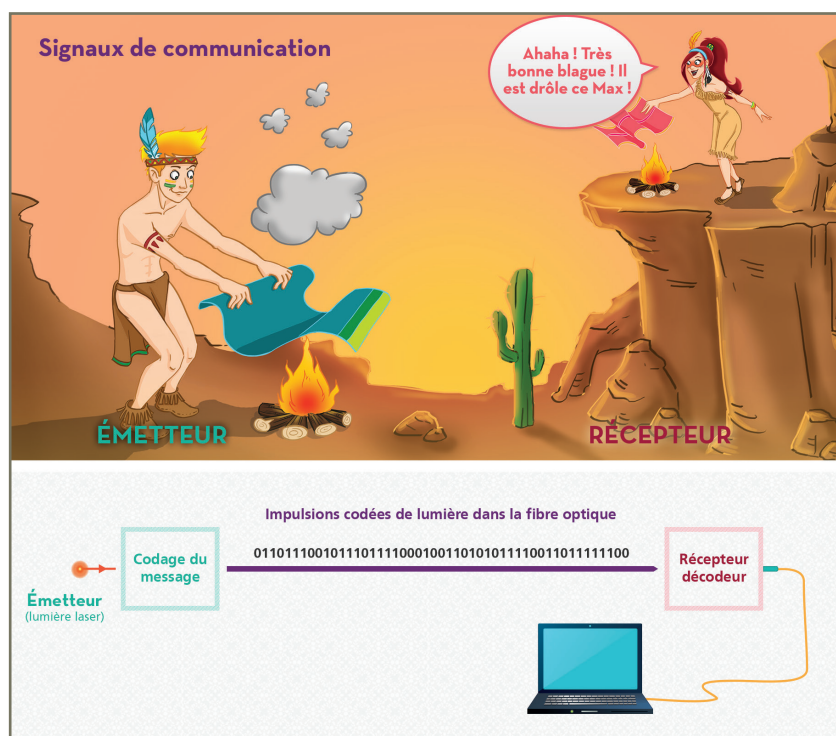


Figure 5 : Principe de la fibre optique.



Figure 6 : Répartition des nouveaux câbles à fibre optique sur la planète.

chimistes devront poursuivre le travail de collaboration entrepris avec les autres disciplines scientifiques, dans la recherche et l'industrie.

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] Fiche métier : Technicien d'analyse chimie / physico-chimie (H/F)

<http://www.mediachimie.org/node/1524>

[2] L'art du verrier, des nanotechnologies depuis l'Antiquité !

<http://www.mediachimie.org/node/308>

[3] Le verre (produit du jour de la SCF)

<http://www.mediachimie.org/node/525#verre>

[4] La chimie au cœur des (nano) transistors

<http://www.mediachimie.org/node/707>

[5] Les diodes électroluminescentes organiques : des sources « plates » de lumière

<http://www.mediachimie.org/node/711>

[6] Spectrophotométrie IR à transformée de Fourier (FTIR : Fourier Transform Infra-Red Spectrometry) [vidéo]

<http://www.mediachimie.org/node/985>

[7] Nos données dans le chaos : le laser à la rescousse de la fibre optique [vidéo et article]

<http://www.mediachimie.org/node/1497>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Andrée Harari, ingénieur ENSCP, directeur de recherches honoraire au CNRS, spécialité de recherches : science des matériaux

Anthony Pichard, professeur de physique chimie

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie