



La fibre optique

Une idée lumineuse

La fibre optique: Une idée lumineuse

- **Colonne vertébrale des réseaux qui nous permettent de communiquer à travers le monde.**
- **En un demi-siècle, elle a couvert le globe d'un réseau de haute qualité à coûts très réduits.**
- **Sans elle, les réseaux de communication modernes, tels l'Internet, le cellulaire n'auraient pu connaître leurs développements spectaculaires.**

La fibre optique

Histoire de son développement et de ses applications

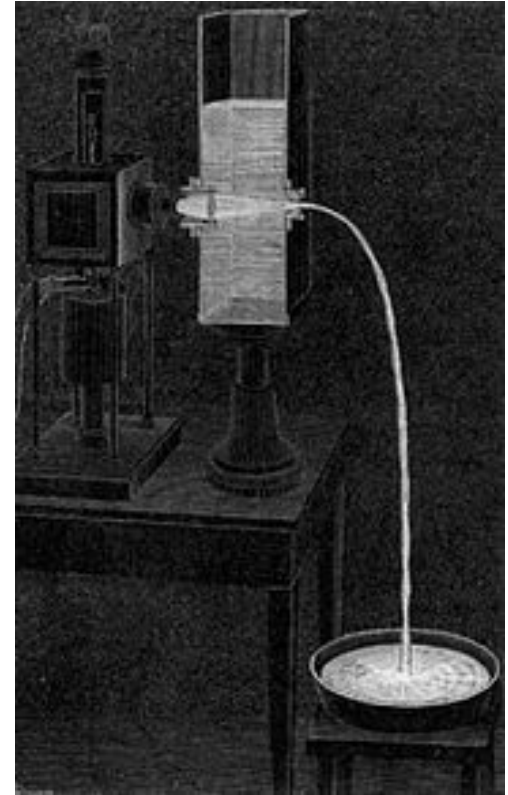
- *Un peu d'histoire*
- La fibre
- Technologies : Laser, DEL, détecteurs
- Un peu plus d'histoire
- Applications diverses : Médecine, etc.

Un peu d'histoire

- En 1841, Daniel Collandon, un physicien suisse démontra que la lumière peut être guidée le long d'un jet d'eau.
- Jacques Babinet, aussi, peu après, à Paris.
- À l'époque, l'idée de courber la trajectoire de la lumière, de quelque façon que ce soit, était révolutionnaire, puisque les scientifiques considéraient que la lumière voyageait uniquement en ligne droite.

Un peu d'histoire

La démonstration consistait à guider la lumière dans un jet d'eau déversé d'un trou à la base d'un réservoir. En injectant de la lumière dans ce jet, celle-ci suivait bien la courbure du jet d'eau, démontrant ainsi qu'elle pouvait être déviée de sa trajectoire rectiligne.



Ils établirent ainsi le principe de base de la transmission par fibre optique.

Un peu d'histoire



Fontaines dansantes

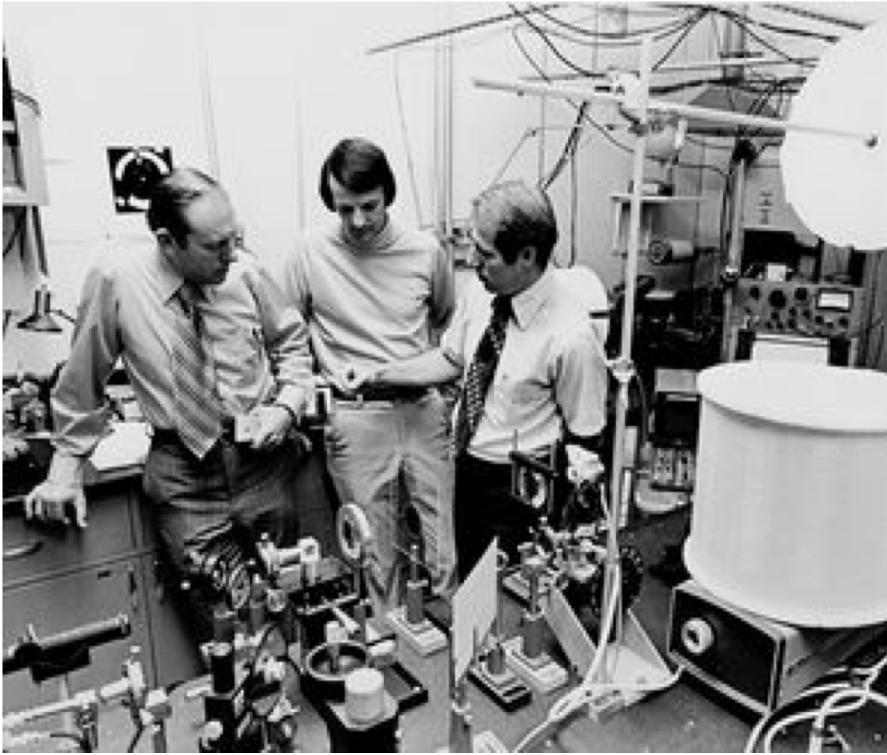
Un peu d'histoire

Charles Kao démontra expérimentalement en 1966, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique.



Cependant, les pertes dans cette fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres.

Un peu d'histoire



En 1970, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, de Corning Glass, produisirent la première fibre optique avec des pertes suffisamment faibles pour être utilisée dans

les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre).

Un peu d'histoire

Prix Nobel de physique 2009

**Le prix fut attribué
à Charles K. Kao,
et partagé avec
Willard Boyle et
George Smith.**



Un peu d'histoire

Mais . . .

Un peu d'histoire

- **Narinder Singh Kapany, né en Inde en 1926, obtint un Ph.D. en optique, de l'Imperial College de Londres, où il travailla avec des fibres optiques pour améliorer la transmission d'images.**
- **Il émigra ensuite aux USA où il devint entrepreneur, développera et commercialisera les premières applications de la fibre optique à la médecine.**

Un peu d'histoire

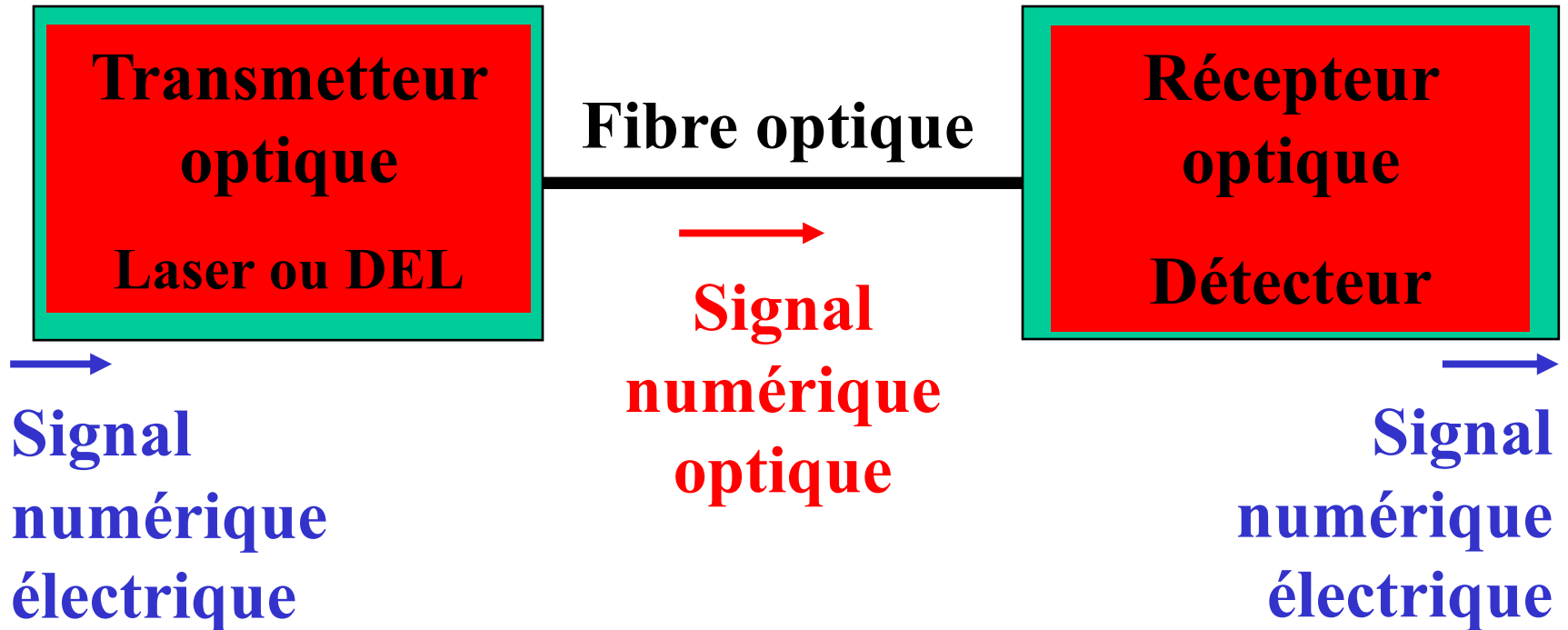
- Il publia un article en Novembre 1960 dans le *Scientific American*, intitulé “*Fiber Optics.*” (*Première fois que ce terme fut mentionné dans la littérature scientifique.*)
- Mais, il fut ignoré et ne partagea pas le prix Nobel avec Kao.
- Ce dernier méritait amplement le prix, mais le mérite de Kao aurait aussi dû être reconnu.

La fibre optique

Plan de la présentation

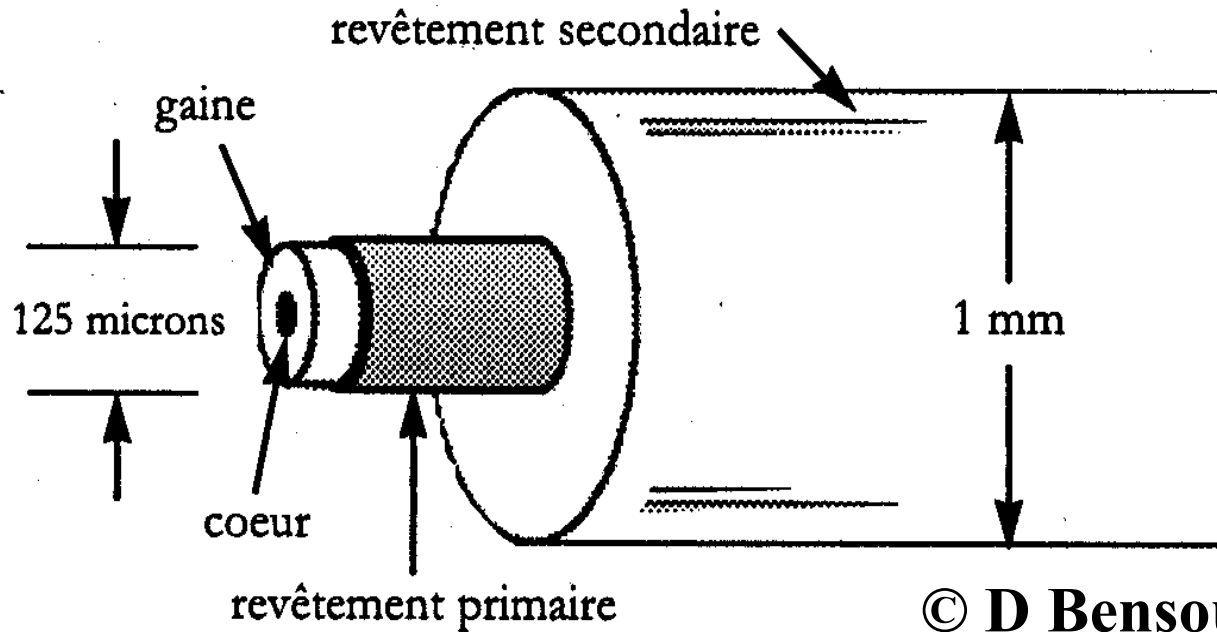
- Un peu d'histoire
- *La fibre*
- Technologies : Laser, DEL, détecteurs
- Un peu plus d'histoire
- Applications diverses : Médecine, etc.

La fibre optique



Le signal numérique électrique est transmis optiquement en allumant (1) ou en éteignant (0) le transmetteur optique.

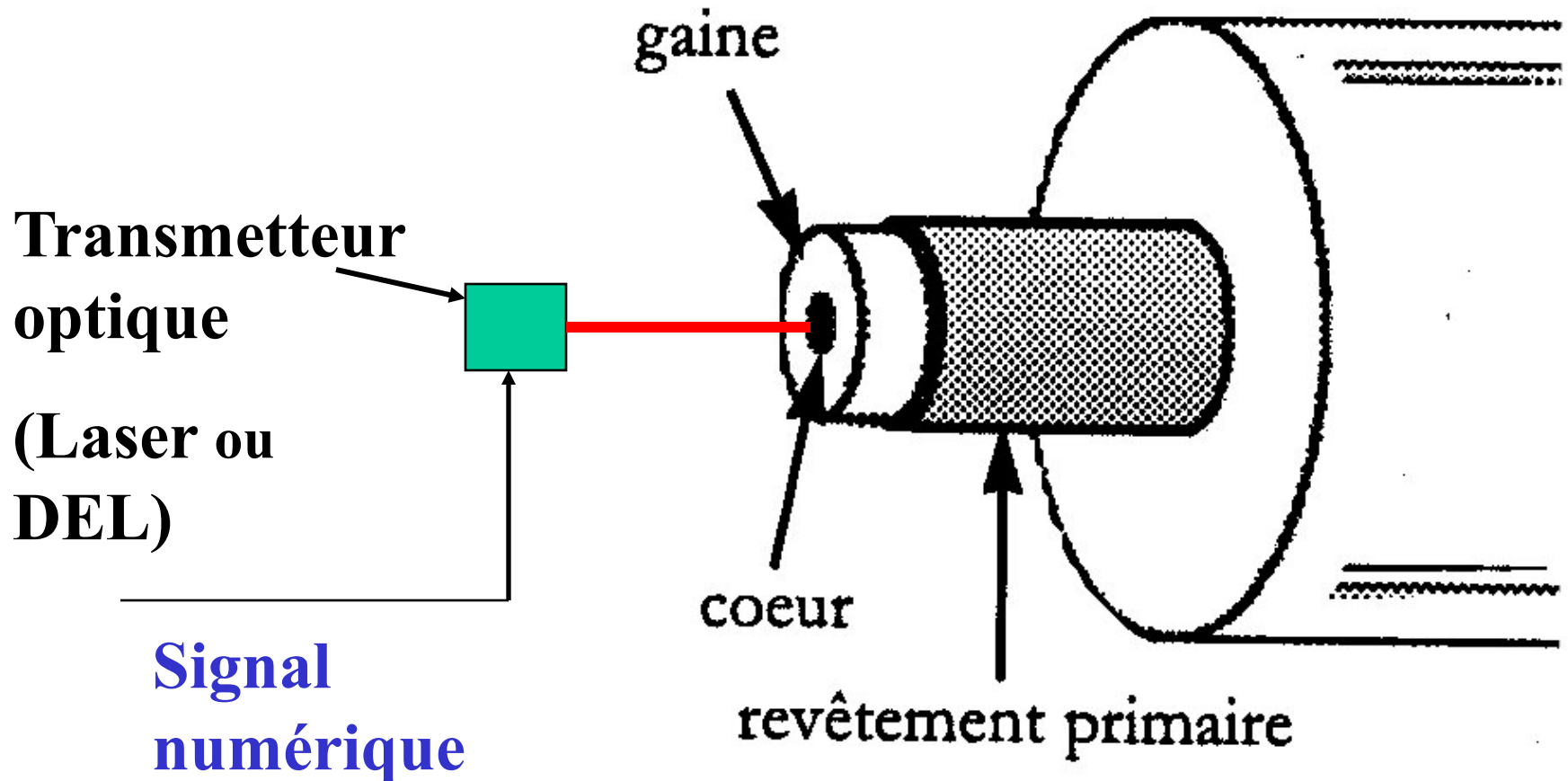
La fibre optique



Le coeur est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. On réalise un écart d'indice entre le coeur et la gaine en incorporant des dopants, tels que :

- le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le coeur,**
- le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine.**

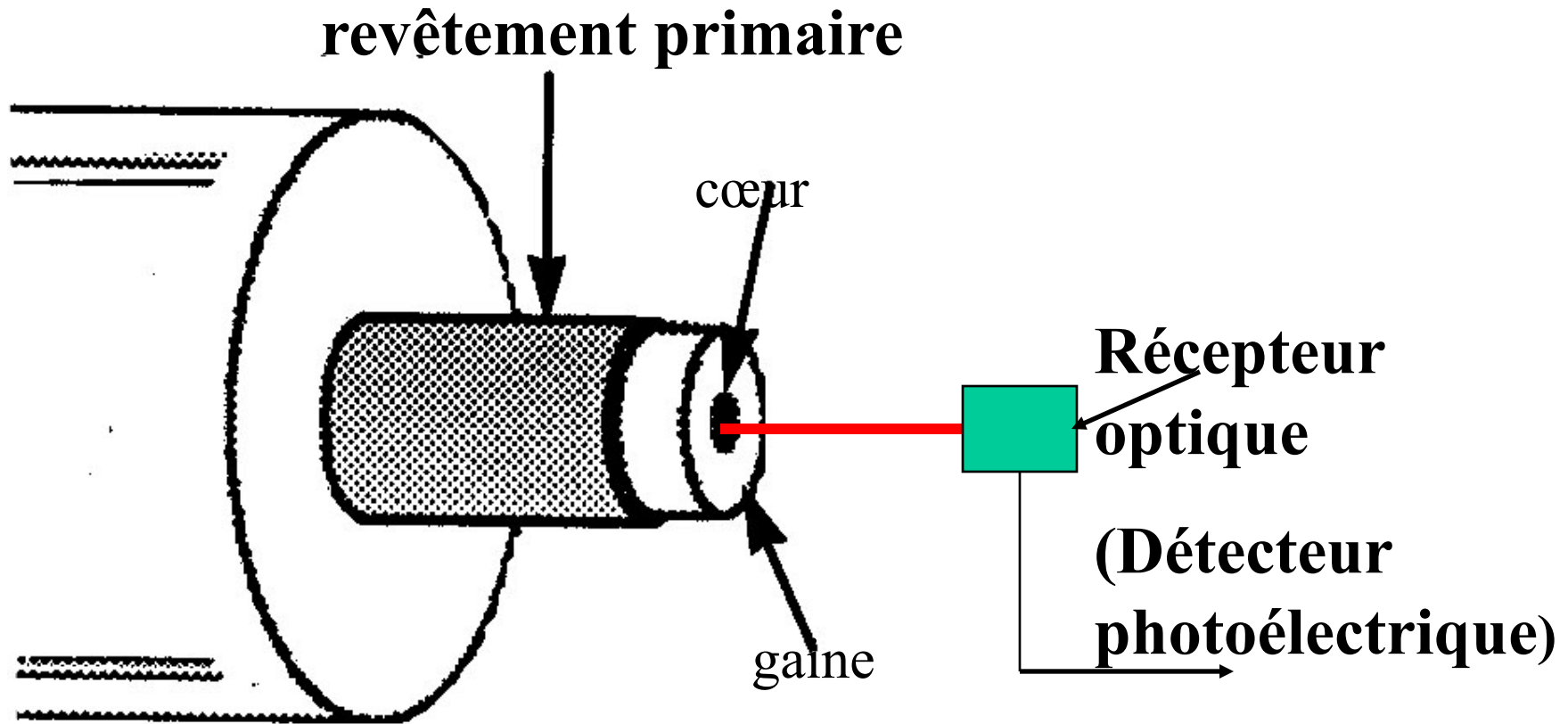
La fibre optique



© D Bensoussan

Signal
numérique
01100011

La fibre optique



© D Bensoussan

Charles Terreault, 2023

Signal
numérique

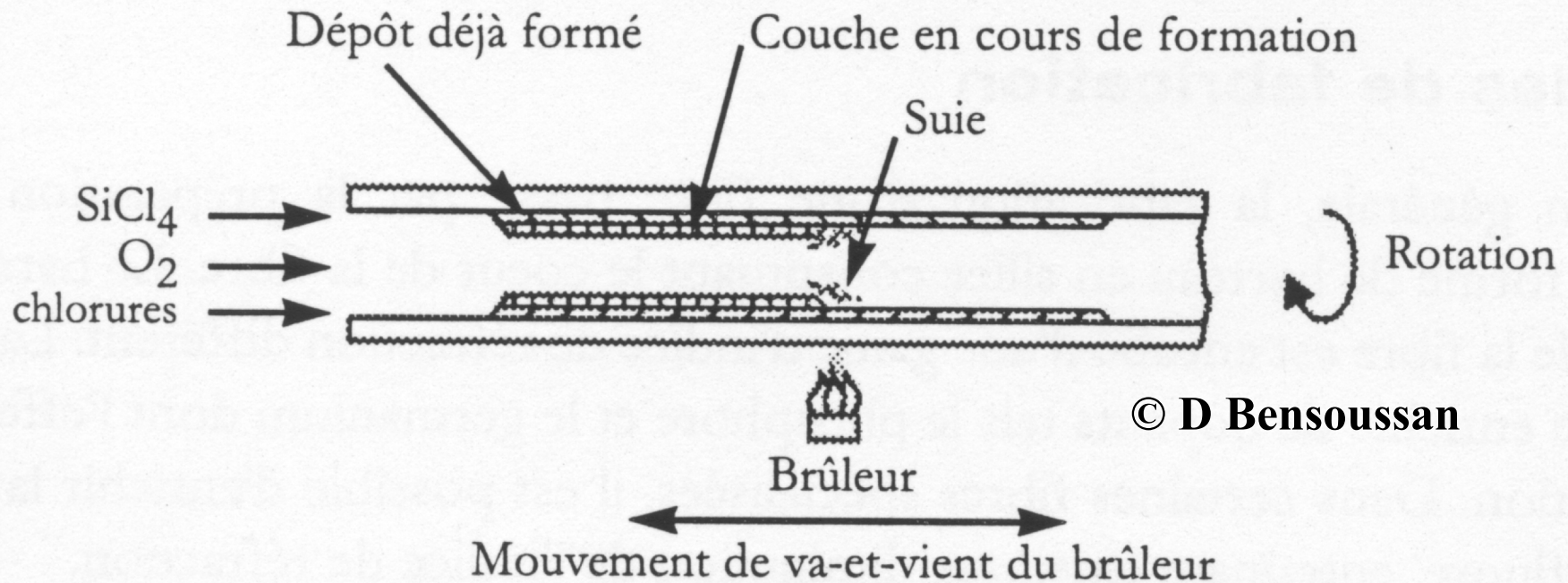
01100011

La fibre optique

- La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique en silice de 10 cm de diamètre ou plus.
- La silice est un composé oxygéné du silicium, (SiO_2), présent dans un grand nombre de minéraux, tels que le quartz, la calcédoine et l'opale.

La fibre optique

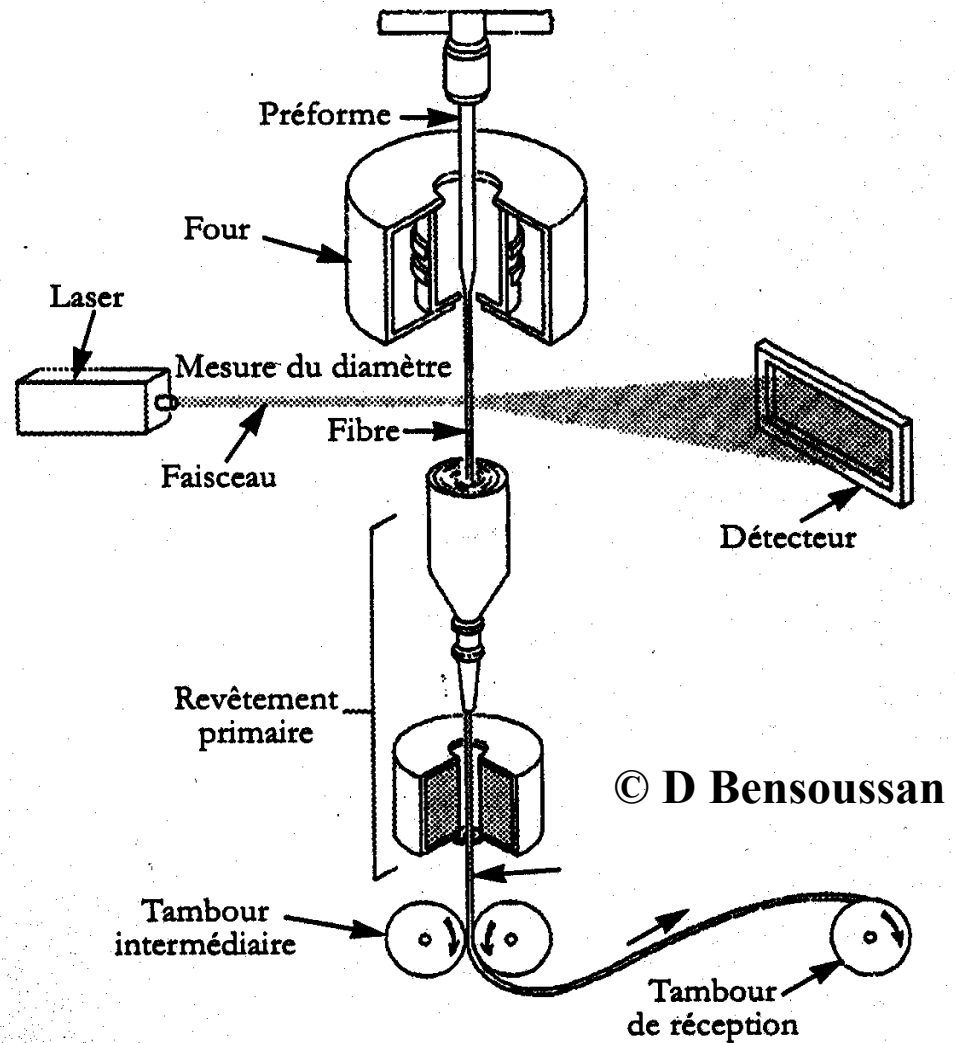
Fabrication de la préforme



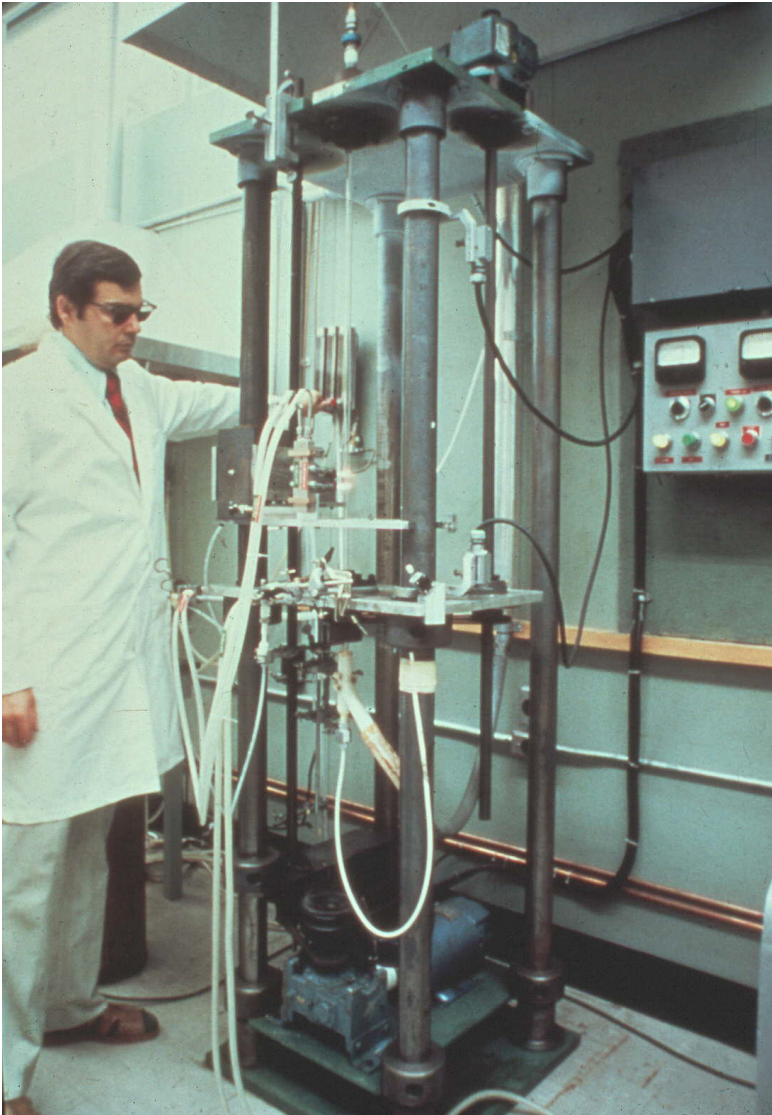
La fibre optique

La fibre est ensuite étirée à partir de la préforme.

Une préforme de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 10 cm permet d'obtenir par étirement une fibre monomode d'une longueur d'environ 150 Km.



La fibre optique

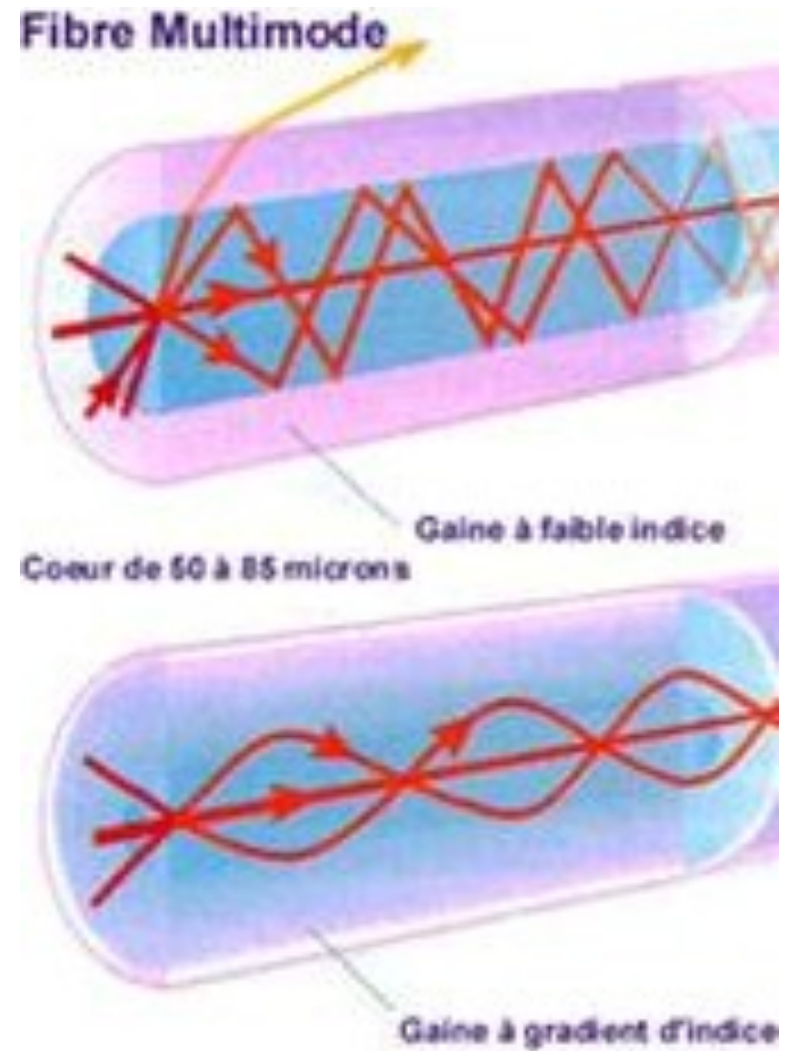


**Tour de
Fabrication
1976
RBN**

La fibre optique

Les fibres multimodes

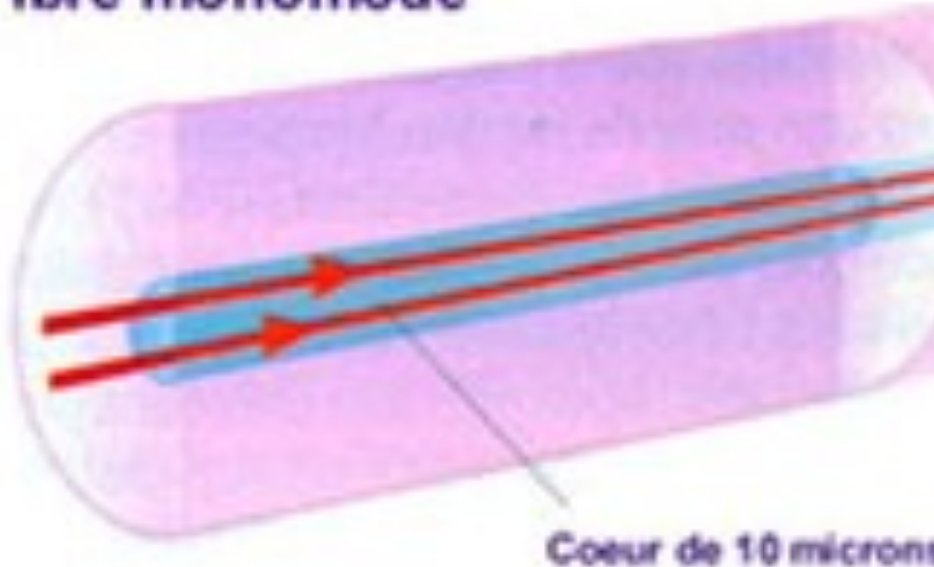
- Elles ont un diamètre de cœur important (de 50 à 85 microns).
- Un rayon lumineux pénétrant dans le cœur de la fibre, à l'une de ses extrémités, se propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de cœur et le verre de gaine.



La fibre optique

Les fibres monomodes

Fibre monomode



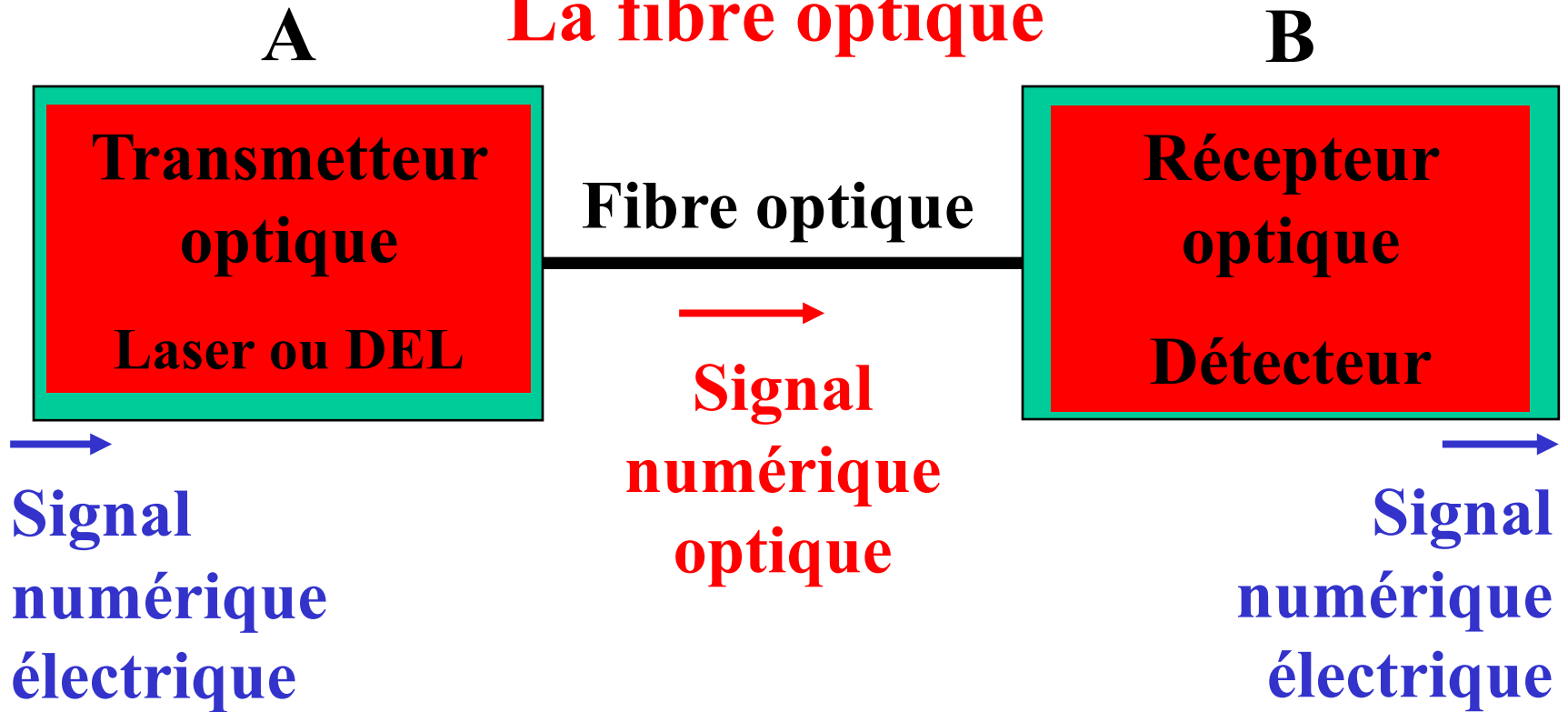
Elles ont un diamètre de cœur (10 microns), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. L'onde se propage alors sans réflexion et il n'y a pas de dispersion nodale. La lumière peut donc se propager plus loin.

La fibre optique

Les fibres monomodes

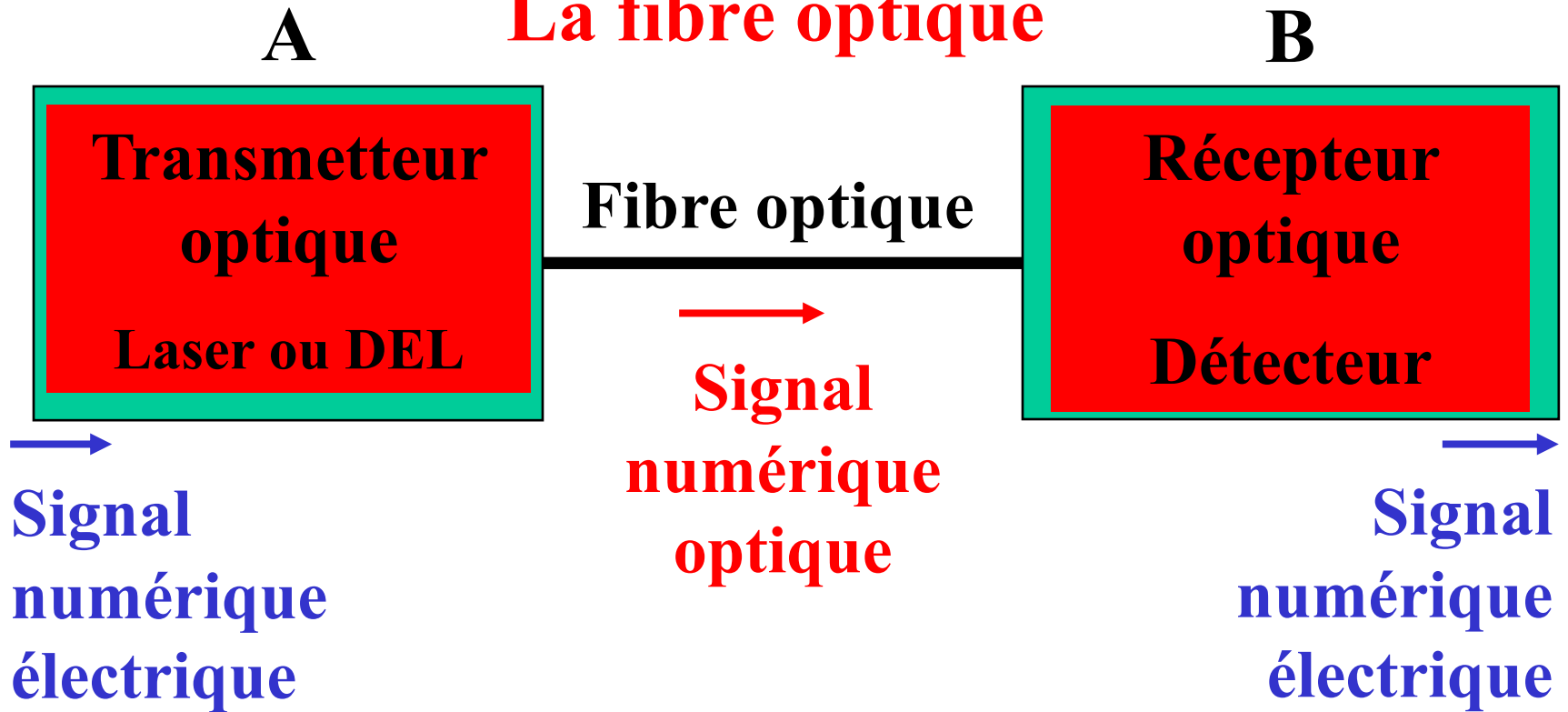
Si le diamètre du cœur d'une fibre monomode est de 10 microns et celui de sa gaine de 125 microns, les cheveux ont de 50 à 100 microns...

La fibre optique



**La transmission est assurée dans la direction
B $\longrightarrow$ A sur une deuxième fibre et
équipements symétriques.**

La fibre optique



Dans la fibre, la lumière se déplace à environ 200 000 Km/ s., comparativement au vide où elle se déplace à 300 000 Km/ s.

La fibre optique

Capacité des systèmes

Monocouleur

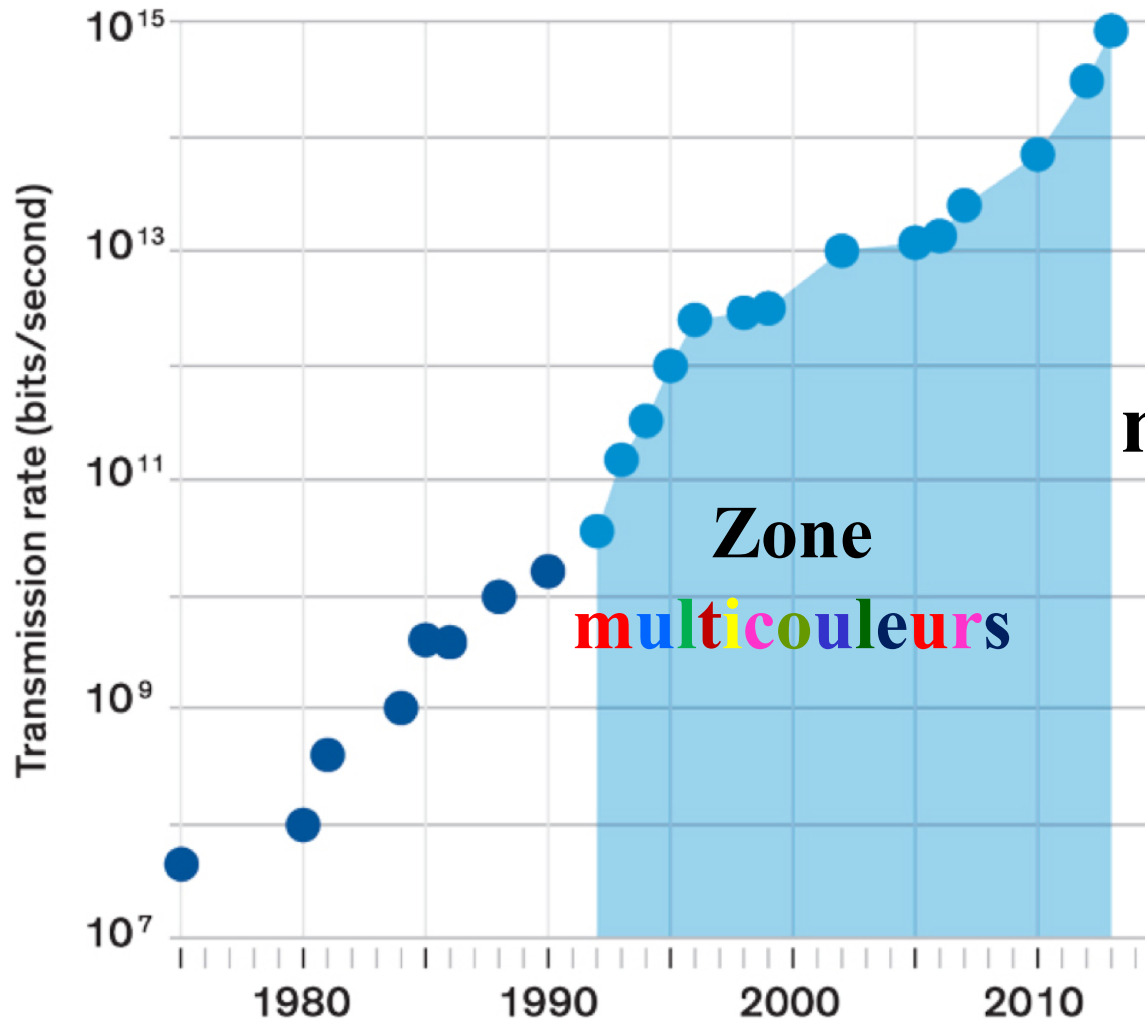
Date	1977	1978	1986	1992	2001	2018
Gbps	0,006	0,27	0,54	2,2	8,8	100

Multicouleurs

Date	1997	1999	2018
X	8	32	88

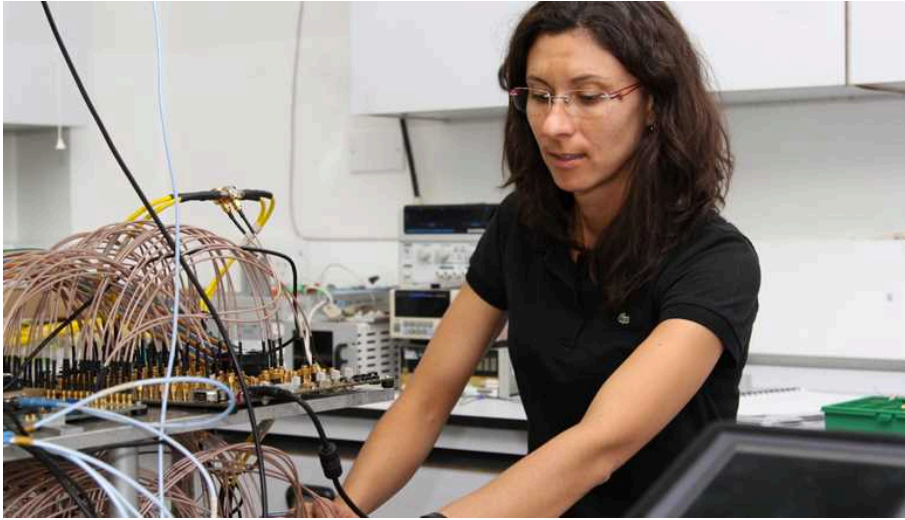
La fibre optique

Compilé
par
Donald
Keck



De 1980
à 2015,
capacité
multipliée
par dix
millions.

La fibre optique

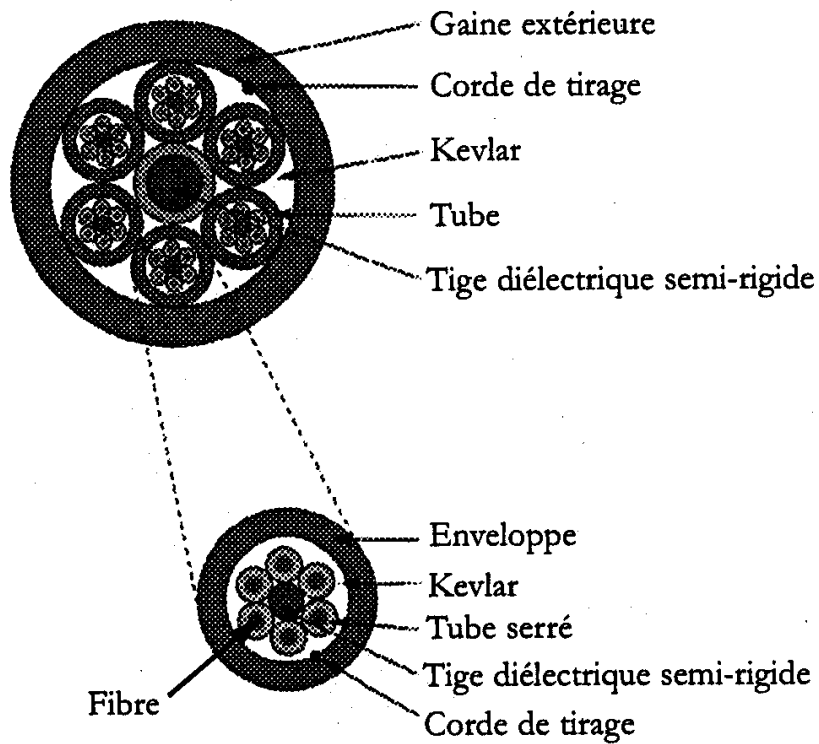


En 2020, l'équipe de la Dre Lidia Galdino, à University College London, a atteint 178 000 Gbits/sec.

- **Soit 20 fois la vitesse max atteinte en 2018.**
- **De quoi transmettre le catalogue Netflix entier en en une seconde !**

La fibre optique

Le câble de fibres



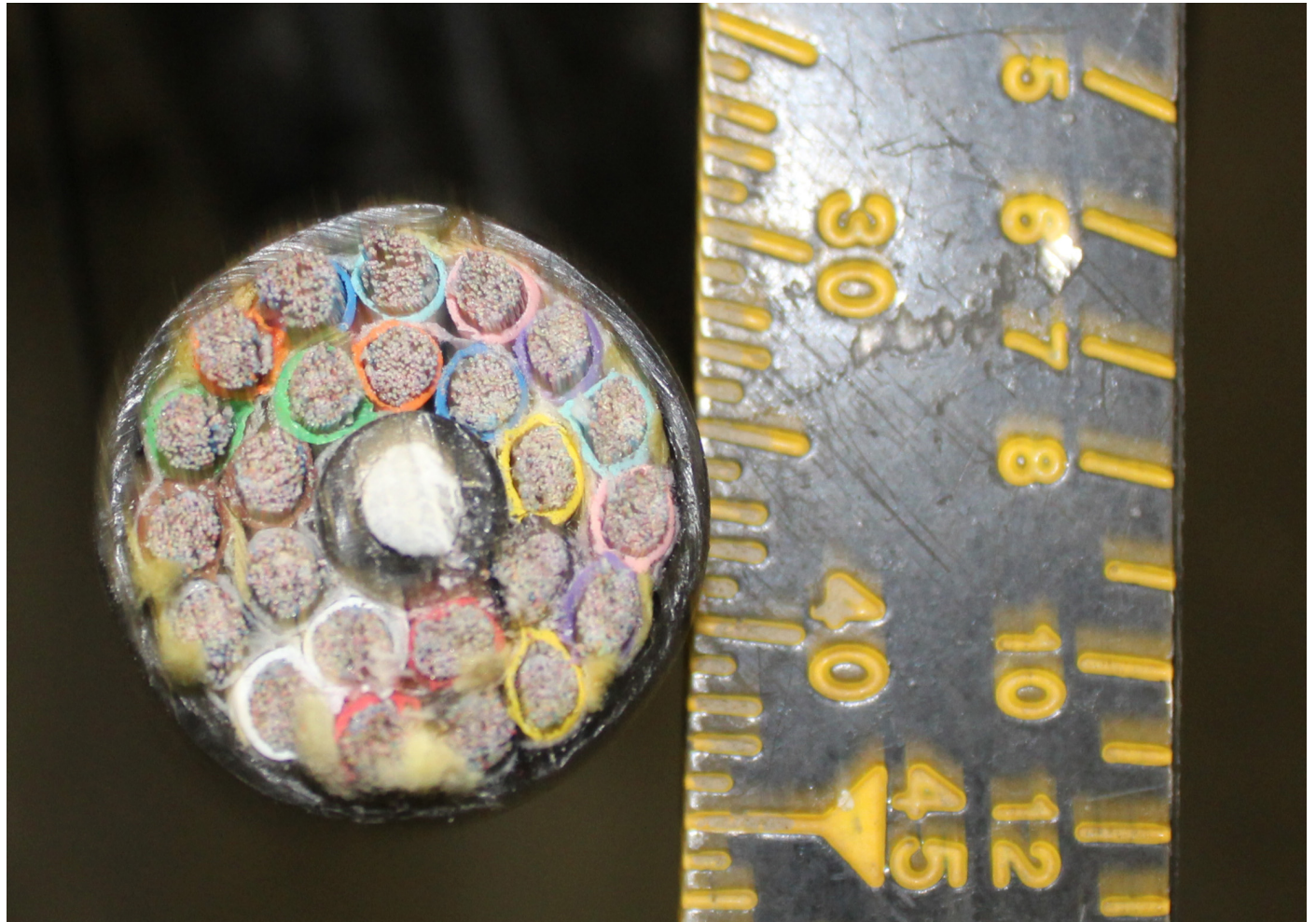
Le câble de fibres



La
fibre
en
ruban

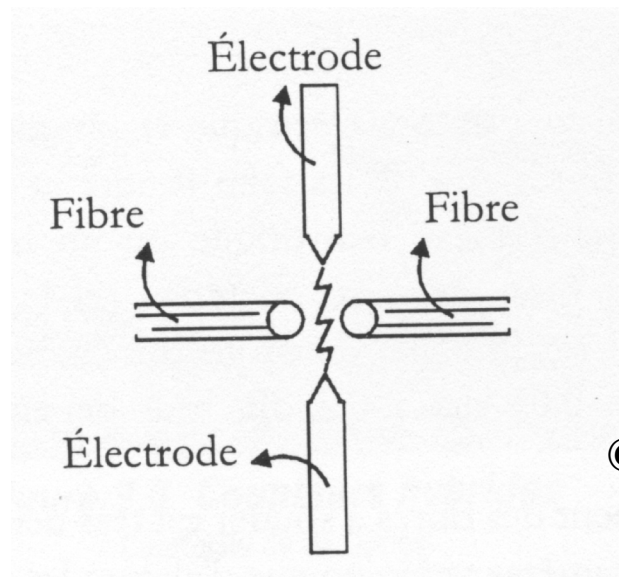
Le câble de fibres

3456
Fibres



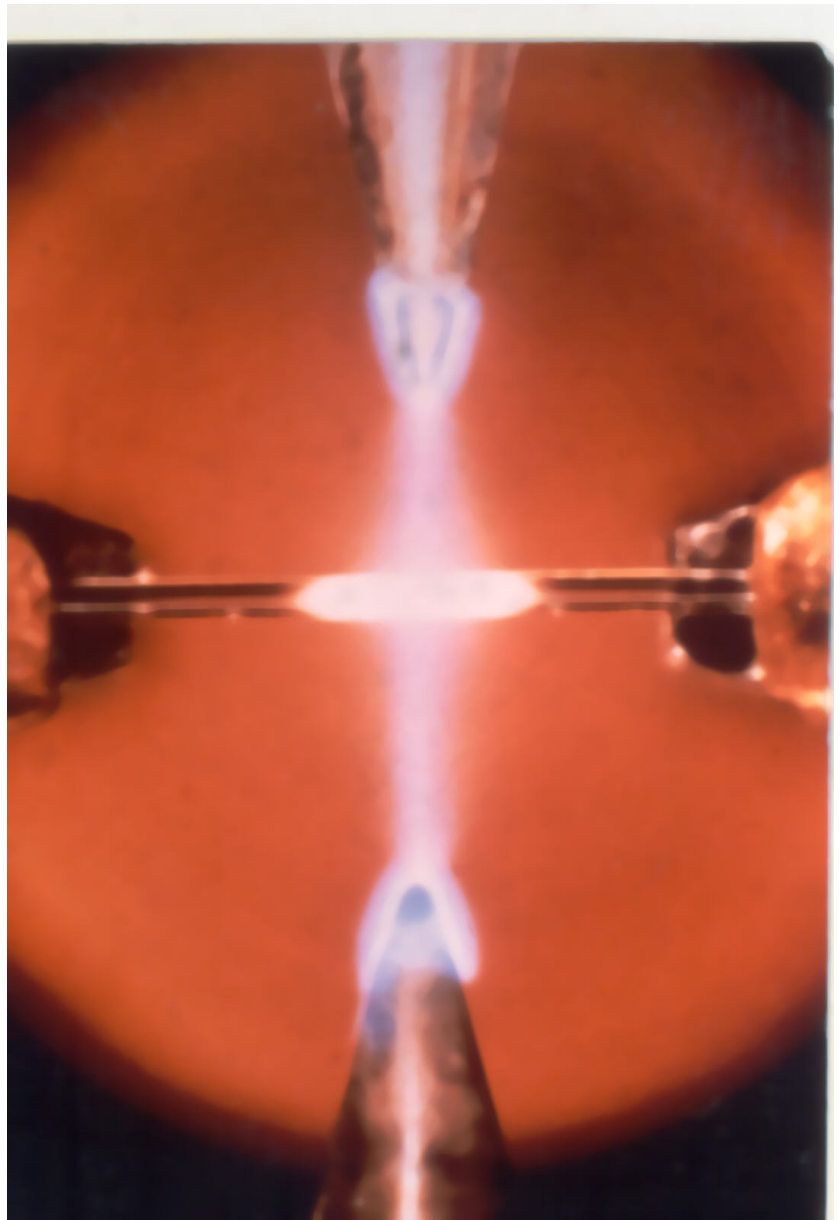
L'épissure

Pour raccorder deux fibres, il faut faire une épissure.



© D Bensoussan

Épissure

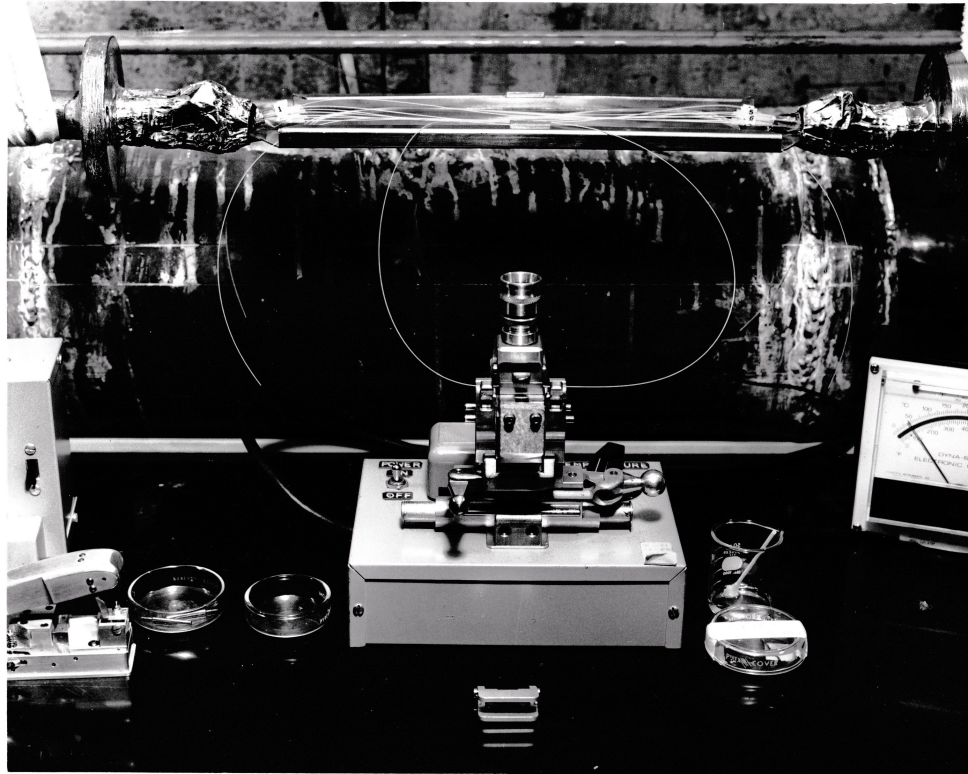


L'épissure

Pour réussir l'épissure, les deux fibres que l'on veut relier doivent avoir une surface, à leur point de contact, parfaitement plane et perpendiculaire à la fibre.

L'épissure





Machine à épisser Recherches Bell-Northern 1977

Charles Terreault, 2023

La fibre optique

Pour plus d'information sur la fibre optique, voir :

**« INTRODUCTION À LA
COMMUNICATION PAR FIBRE
OPTIQUE »**

David BENSOUSSAN

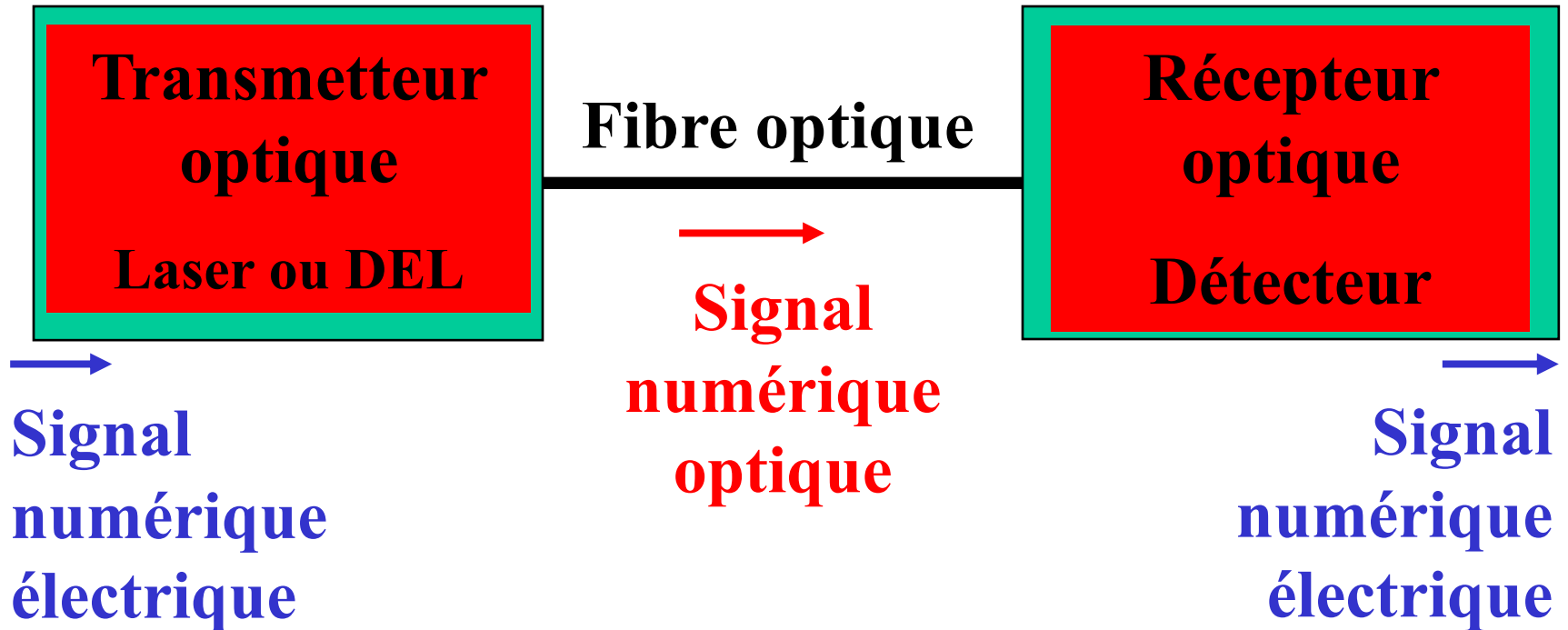
ÉCOLE de TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

La fibre optique

Histoire de son développement et de ses applications

- Un peu d'histoire
- La fibre
- *Technologies : Laser, DEL, détecteurs*
- Un peu plus d'histoire
- Applications diverses : Médecine, etc.

La fibre optique

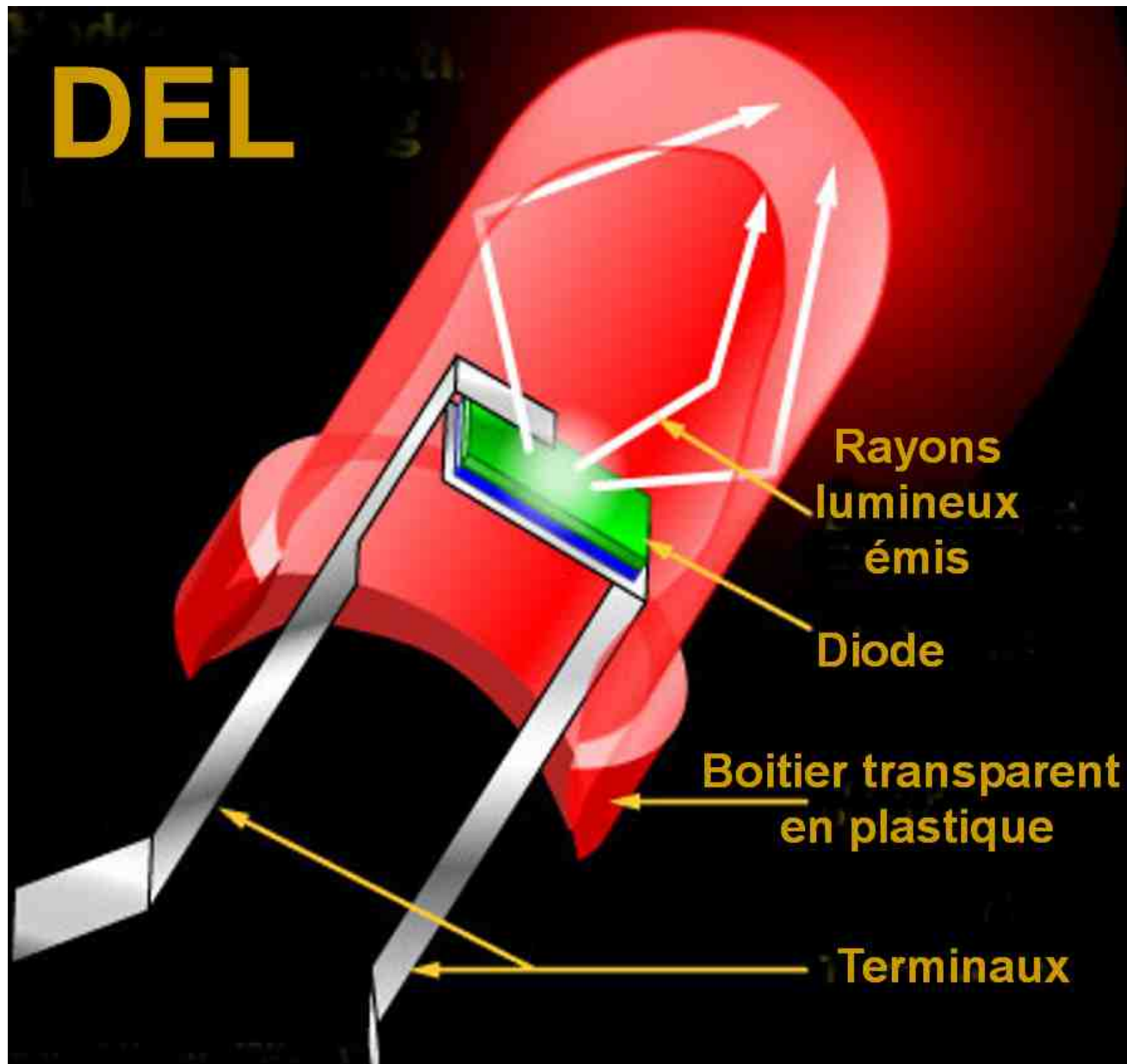


**Quelles sont ces technologies qui
généreront et détecteront la lumière
transmise sur la fibre ?**

Technologies

Sources et détecteurs de lumière

- Sources
 - **DEL** (***D**iodes **é**lectro**l**uminescentes*)
« **LED** : ***L**ight **E**mitting **D**iodes* »
 - Courtes distances
 - **LASER** « **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation »
 - Longues distances
- Détecteurs
 - Cellules photoélectriques



Technologies : DEL (« LED »)

- Ces diodes sont surtout en Arséniure de gallium.
- Elles trouvèrent leurs premières applications en électronique.
- Elles envahissent maintenant l'éclairage
 - Efficacité extrême
 - Longue durée

Technologies : Éclairage DEL



- **Économie d'énergie (jusqu'à 80%)**
- **Durée de vie supérieure (50 000 heures)**
- **Réduction de la production de chaleur, sans rayons UV ou infrarouges**
- **Sans mercure ni plomb**

Technologies

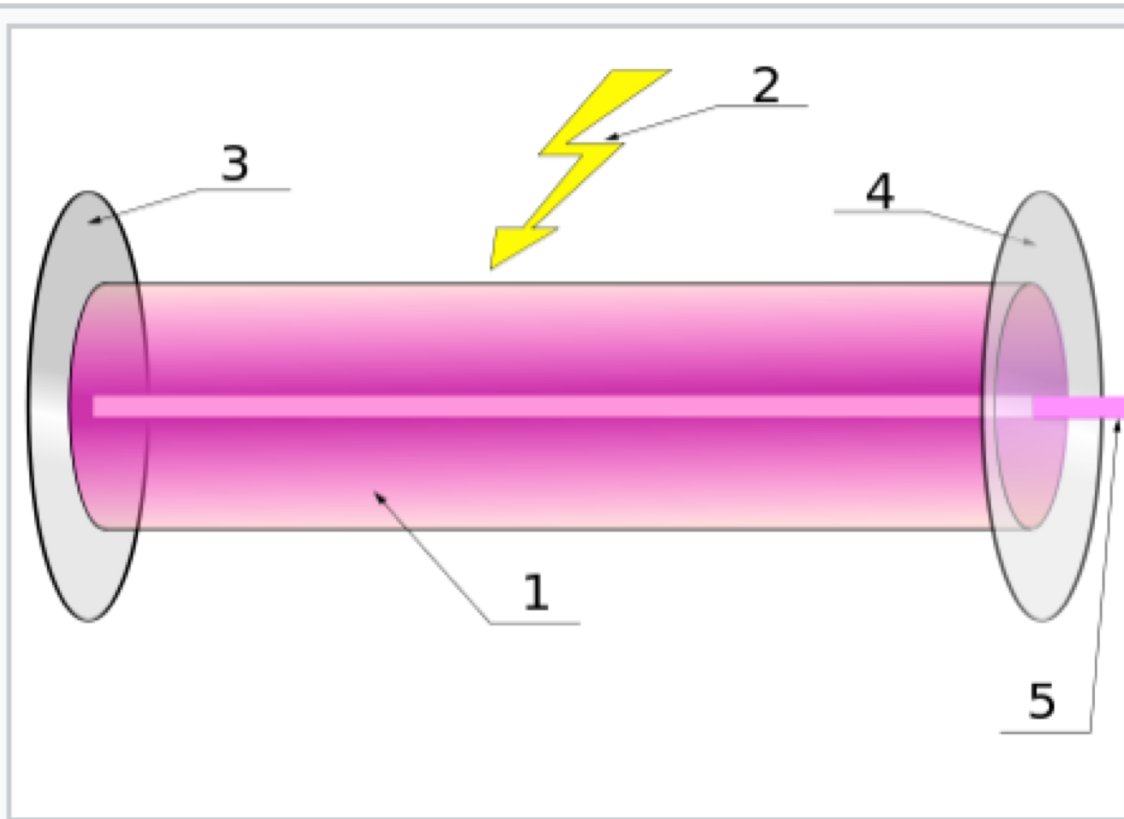
Sources et détecteurs de lumière

- Sources
 - DEL (Diodes électroluminescentes)
 - « LED : Light Emitting Diodes »
 - Courtes distances
 - *LASER* « *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* »
 - Longues distances
- Détecteurs
 - Cellules photoélectriques

Technologies : Lumière Laser

Très différente de la lumière ordinaire :

- **Monochromatique : Une longueur d'onde : couleur très pure.**
- **Cohérente : La lumière est organisée :
Les photons marchent au pas.**
- **Directionnelle : Le faisceau est étroit,
puissant et concentré.**



Principe de fonctionnement du
laser : 1 - milieu excitable

2 - énergie de pompage

3 - miroir totalement réfléchissant

4 - miroir semi-réfléchissant

5 - faisceau laser

Wikipedia Article Laser



Fibre optique aux Laboratoires Bell-Northern (vers 1979).

10 / 11

Technologies : Taille des lasers

La taille des lasers varie considérablement :

- **Certains sont gigantesques, ils peuvent couper de l'acier.**
- **D'autres sont minuscules : utilisés avec la fibre optique en télécommunications, les lecteurs de CD et DVD, en médecine.**

La qualité et le prix peuvent varier énormément.

Technologies

Sources et détecteurs de lumière

- Sources
 - DEL (Diodes électroluminescentes)
 - « LED : Light Emitting Diodes »
 - Courtes distances
 - LASER « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation »
 - Longues distances
- Détecteurs
 - *Cellules photoélectriques*

Technologies Détecteurs

C'est effet photoélectrique qui permet de détecter de la lumière et de générer un courant électrique.

La fibre optique

Histoire de son développement et de ses applications

- Un peu d'histoire
- La fibre
- Technologies : Laser, DEL, détecteurs
- *Un peu plus d'histoire*
- Applications diverses : Médecine, etc.

Un peu plus d'histoire : *Weir*



Première installation de fibre optique au *Canada*
Lien *analogique* : Printemps 1977

Charles Terreault, 2023

Un peu plus d'histoire

Les premières installations commerciales de transmission *numérique* par fibre optique eurent lieu en 1977 à :

- *Montréal, QC, par Bell Canada & RBN*
- Long Beach, CA, par GTE
- Chicago, IL, par AT&T

Octobre 1977



Un peu plus d'histoire

- Cette première installation opérait à 6,3 Mbits/s, avec des DEL comme source de lumière.
- Dès le printemps de 1978, la fabrication de lasers stables avait été maîtrisée et la vitesse de transmission passa à 273 Mbits/s !

Un peu plus d'histoire



John Rayson, vérificateur de câbles, effectue un essai de transmission lors de l'installation souterraine de la première section du réseau de fibre optique national entre Québec et Toronto

Un peu plus d'histoire



Un peu plus d'histoire

L'application pratique de la fibre optique dans les réseaux de télécommunications présentait de nombreux défis :

- **Comment épisser**
- **Rayon de courbure admissible**
- **Etc., etc.**

Bell Canada établit, il y a une trentaine d'années, le CERRE, consacré principalement à la solution de ces problèmes.

CERRE (Labo OTR)



Léonce Montambault, à gauche, président et chef de la direction de Bell Canada, et Guy Coulombe, président-directeur général d'Hydro-Québec, actionnent un appareil à fusionner les fibres optiques marquant ainsi l'inauguration du CERRE sur les terrains de l'IREQ à Varennes. Au centre, Charles Terreault, vice-président adjoint, Ingénierie, Bell Canada.

Un peu plus d'histoire

Une surprise !

- **Les systèmes de transmission par fibre fonctionnaient merveilleusement bien en ville.**
- **Commencent à apparaître des problèmes, dans des régions rurales :**
 - **Soudainement, le taux d'erreurs s'accroît considérablement !**

Un peu plus d'histoire

Une surprise

- **Une constante : des orages !**
- **Hypothèse: Les courants énormes induits par la foudre dans les torons et feuillards métalliques des câbles écraseraient les fibres. ???**

Un peu plus d'histoire

La fibre à la campagne !

- **Des essais menés par le CERRE sur des câbles enfouis avec la collaboration de l'IREQ, qui joua le rôle de Zeus, confirmèrent l'hypothèse.**
- **Torons et feuillards métalliques furent remplacés par du Kevlar et autres matériaux non-conducteurs.**
- **Problème résolu.**

Un peu plus d'histoire

Capteurs en fibre

- Que des distorsions physiques de la fibre puissent être détectées à distance, donna l'idée de créer des capteurs en fibre optique.
- En analysant les modifications du signal reçu, la nature et l'ampleur des distorsions physiques de la fibre pouvaient être déterminées

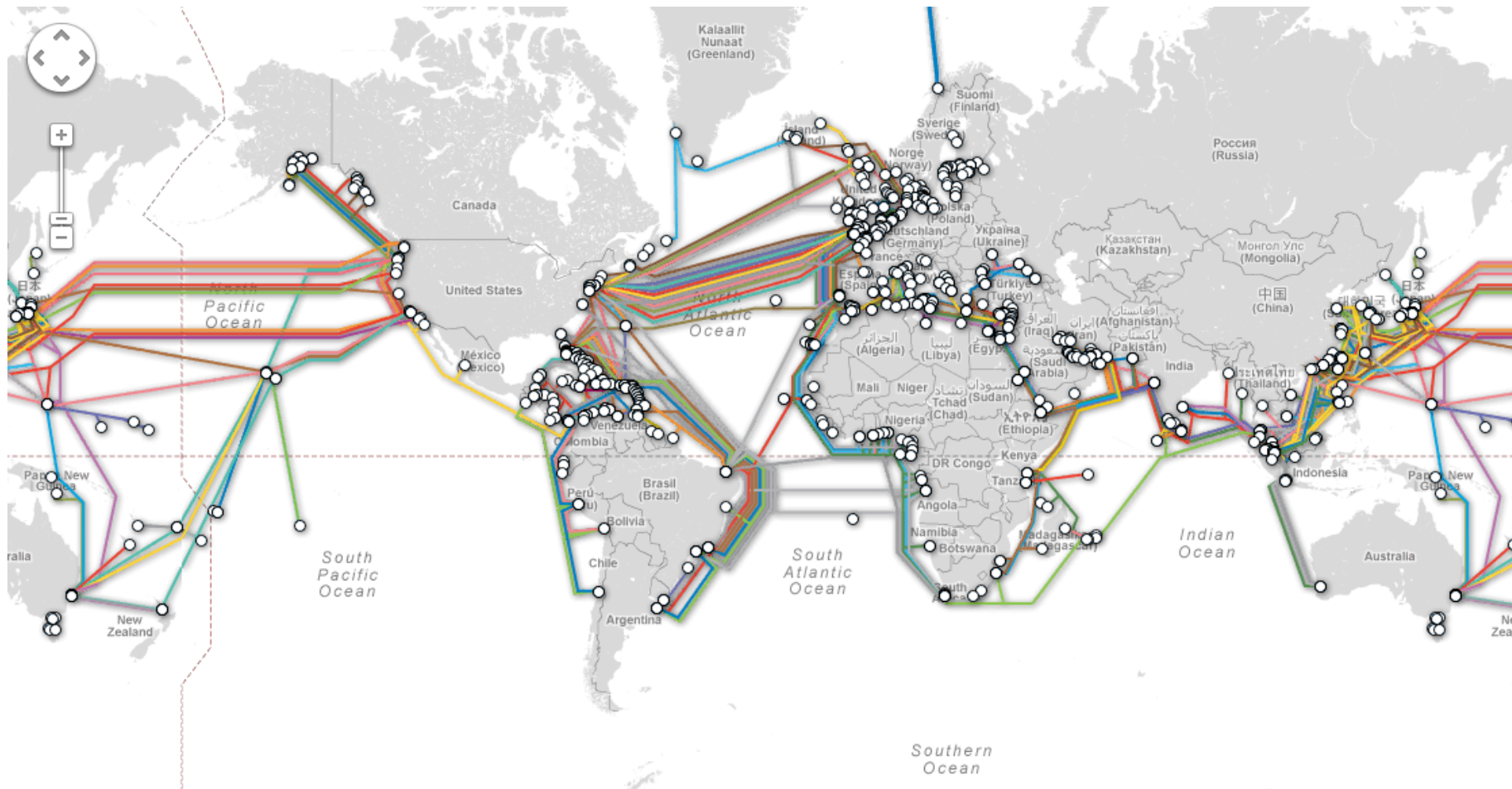
Un peu plus d'histoire

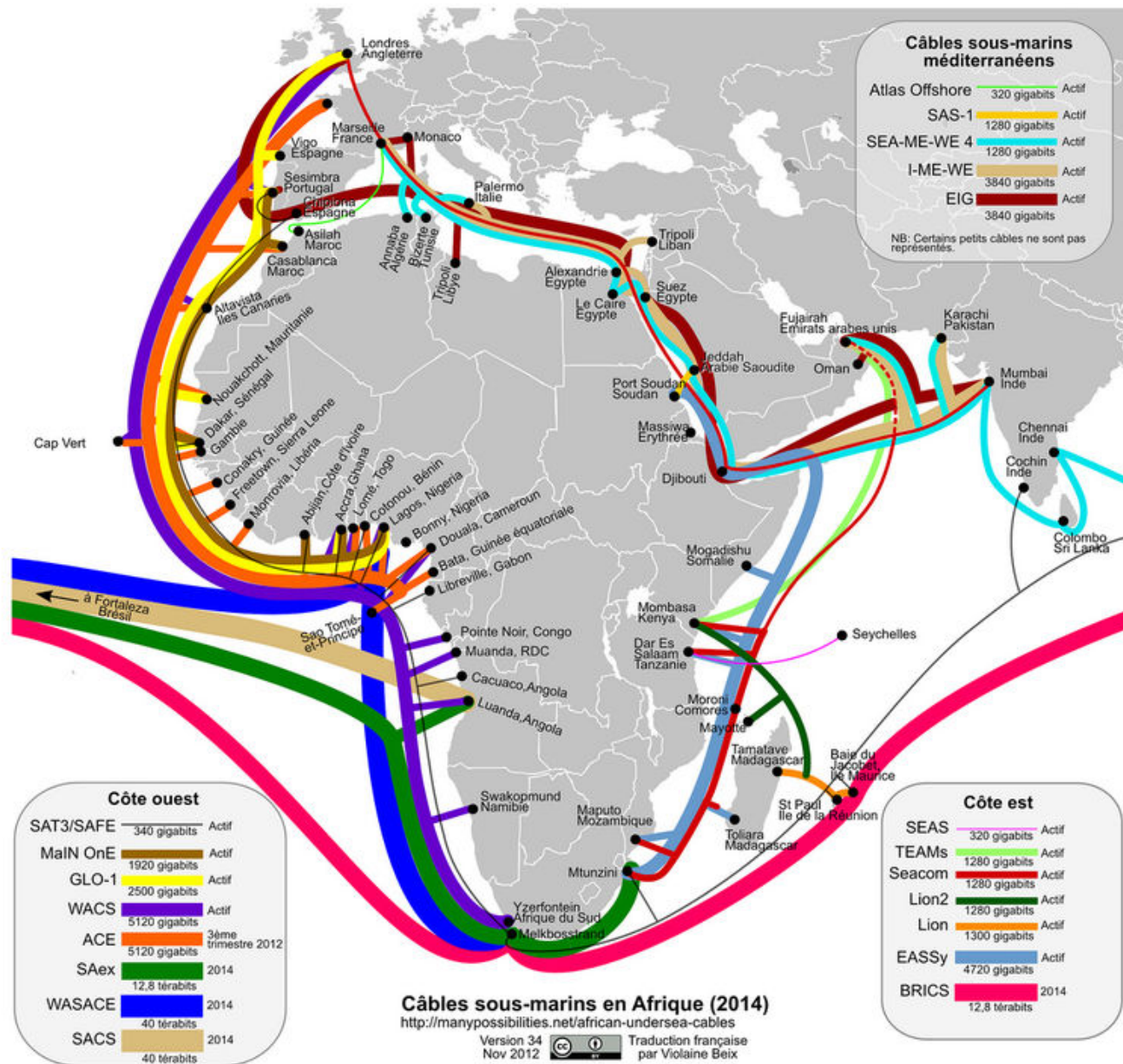
Capteurs en fibre

- Une corde optique est un capteur à base de fibre optique tressée inventée et développée par la société OSMOS permettant la mesure en temps réel de la déformation répartie d'une structure.
- Le système de monitoring OSMOS mesure des variations d'allongement pour anticiper les opérations de préservation.
- Le nouveau pont Champlain est équipé de tels capteurs.

Un peu plus d'histoire

Câbles sous-marins en fibre optique





Un peu plus d'histoire

L'économie

La fibre optique a eu des impacts économiques énormes :

- **Réduction importante des coûts de transport d'où une diminution majeure des coûts de l'interurbain.**
- **Facteur structurant pour la croissance d'Internet.**
- **Résulte en un accroissement énorme du trafic.**

La fibre optique

Histoire de son développement et de ses applications

- Un peu d'histoire
- La fibre
- Technologies : Laser, DEL, détecteurs
- Un peu plus d'histoire
- *Applications diverses : Médecine, etc.*

La fibre en médecine

Grâce à M. Kapany, la fibre optique est notamment utilisée :

- **en endoscopie pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.**
- **en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de**
 - **pulvériser un calcul rénal**
 - **découper une tumeur**
 - **réparer une rétine**

L'endoscopie

- est un examen médical permettant de visualiser l'intérieur du corps.
- Cette technique consiste à y introduire par les voies naturelles un tube souple extra-fin souple constitué de fibres optiques, avec une source de lumière et un système de visualisation (lentille ou caméra).

Œsophage



Fundus



Antre



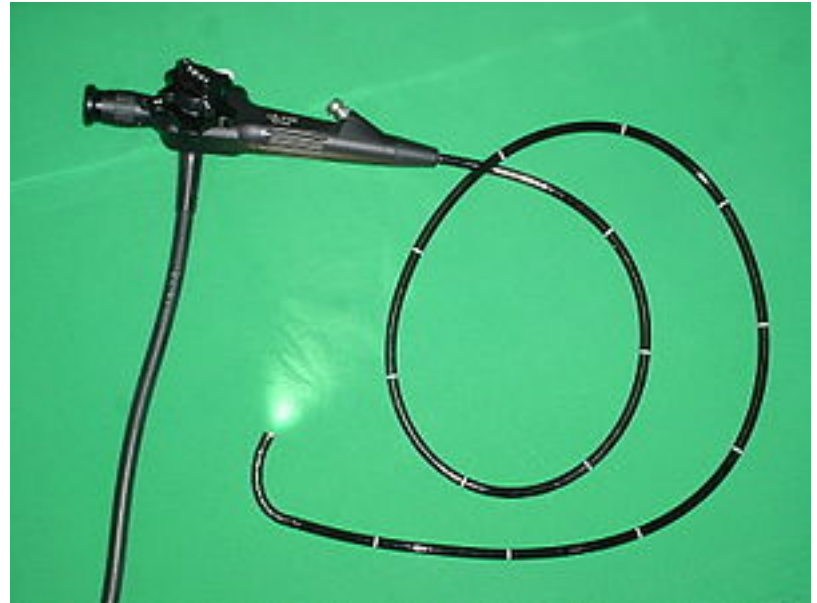
Duodénum



Le fibroscope

appelé aussi flexoscope conduit les rayons lumineux par un faisceau de fibres optiques souples.

Le fibroscope permet d'explorer de façon très complète (par vision directe, photographie, cinématographie, télévision), la réalisation de prélèvements par biopsies de la muqueuse bronchique, de la muqueuse nasale, pharyngienne ou de la muqueuse du tube digestif, traiter une tumeur ou extraire des corps étrangers.



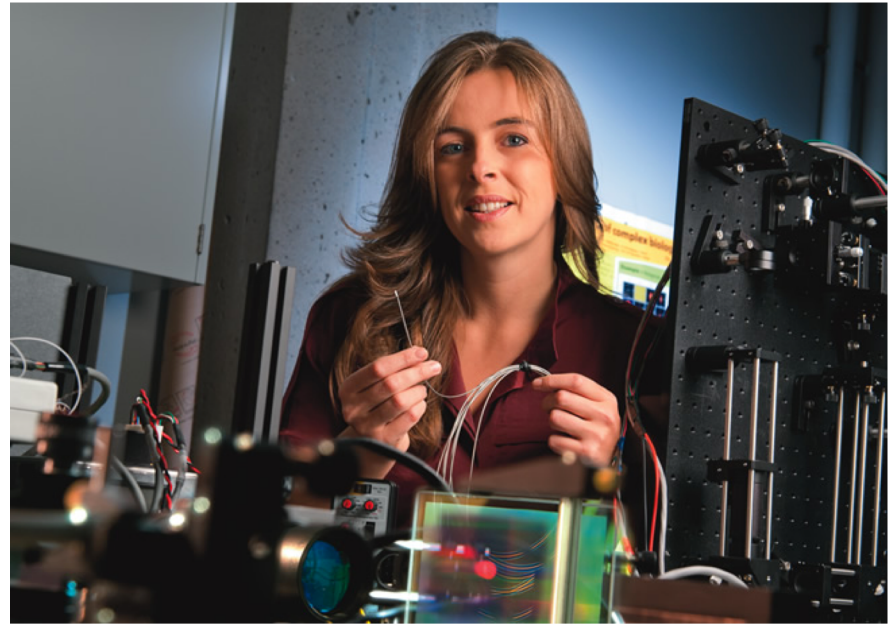
Le fibroscope

Pour le traitement, la fibre optique est utilisée avec des lasers ayant jusqu'à 200 watts en mode continu, à l'intérieur du corps, ce qui provoquera une interaction thermique avec les tissus, permettant de supprimer une tumeur, pulvériser un calcul rénal ou encore réparer une rétine.

Caroline Boudoux

**Génie physique, laboratoire d'optique diagnostique et d'imagerie de
l'École polytechnique de Montréal**

- **Affiliée à l'Institut de génie biomédical de l'Université de Montréal et au Centre de Recherche du CHU Sainte-Justine.**
- **Ses travaux portent sur de nouvelles composantes en fibres optiques, permettant l'observation d'organes internes en 3D à travers une simple aiguille.**



Applications diverses de la fibre

- l'éclairage
- le balisage
- la décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines,
- la signalétique d'orientation et d'information (panneaux de signalisation et enseignes),
- la signalisation routière (ronds points séparation de voies de circulation),
- le gyroscope à fibres optiques.

Applications diverses

Mais une application dépasse toutes les précédentes par son impact

- **Social**
- **Économique**
- **Technique**
- **Artistique**
- **Scientifique**



