

L'histoire du numérique 70 ans de découvertes et de bouleversements

PLAN DE LA SÉRIE

- NUMÉRISATION
- FIBRE OPTIQUE
- AVÈNEMENT D'INTERNET
- WEB 2.0
- IMAGE
- OUTILS

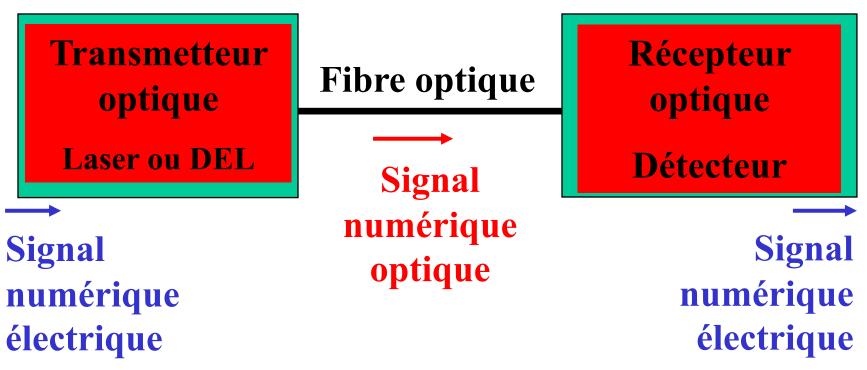
PLAN DE LA SÉRIE

Les cinq présentations sont disponibles en format .pdf, ainsi qu'un fichier « Word » incluant les références de livres et les « URL » des sites Internet mentionnés dans les présentations.



La fibre optique: Une idée lumineuse

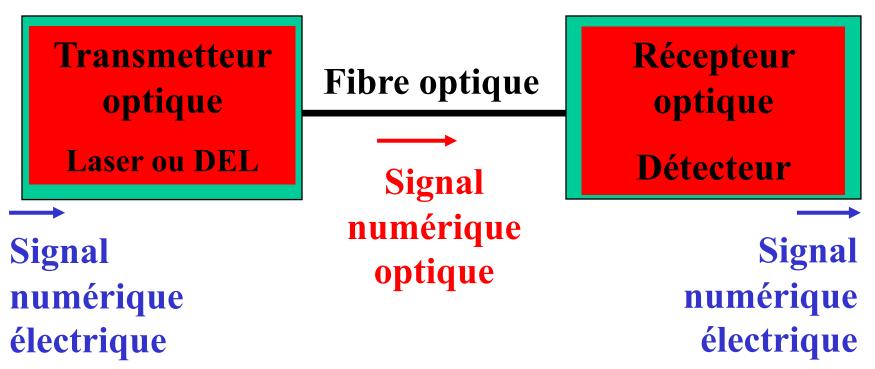
- Colonne vertébrale des réseaux qui nous permettent de communiquer à travers le monde.
- En un demi-siècle, elle a couvert le globe d'un réseau de haute qualité à coûts très réduits.
- Sans elle, les réseaux de communication modernes, tels l'Internet, le cellulaire n'auraient pu connaitre leurs développements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



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

Plan de la présentation

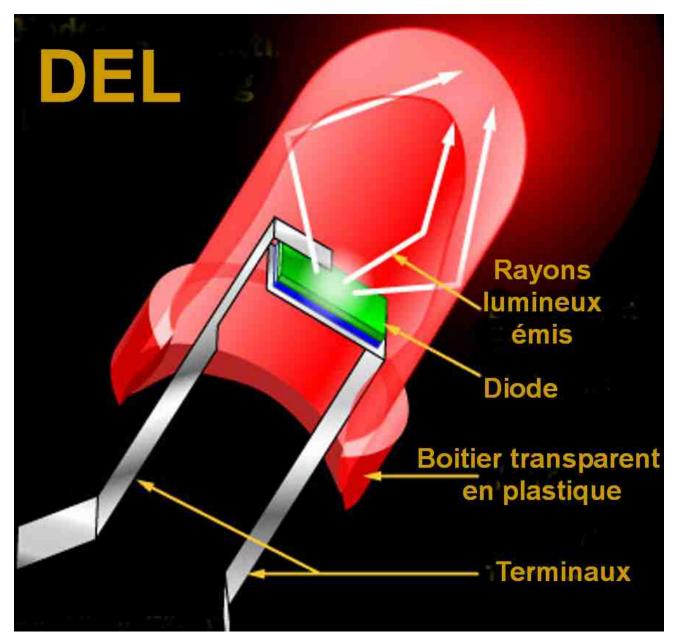
- Technologies: Laser, DEL, détecteurs
- La fibre
- Un peu d'histoire
- Applications diverses : Médecine, etc.



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

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



Charles Terreault, 2002-2021

Technologies: DEL (« LED »)

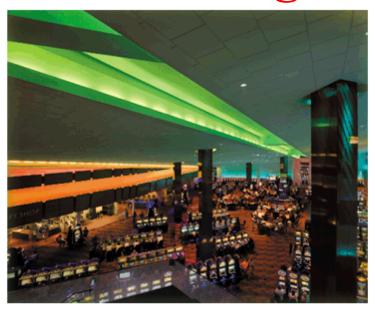
- Ces diodes sont surtout en Arséniure de gallium.
- Elles trouvèrent leurs premières applications en électronique.
- Elles envahissent maintenant l'éclairage
 - Efficacité extrême
 - Longue durée

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 : Éclairage DEL

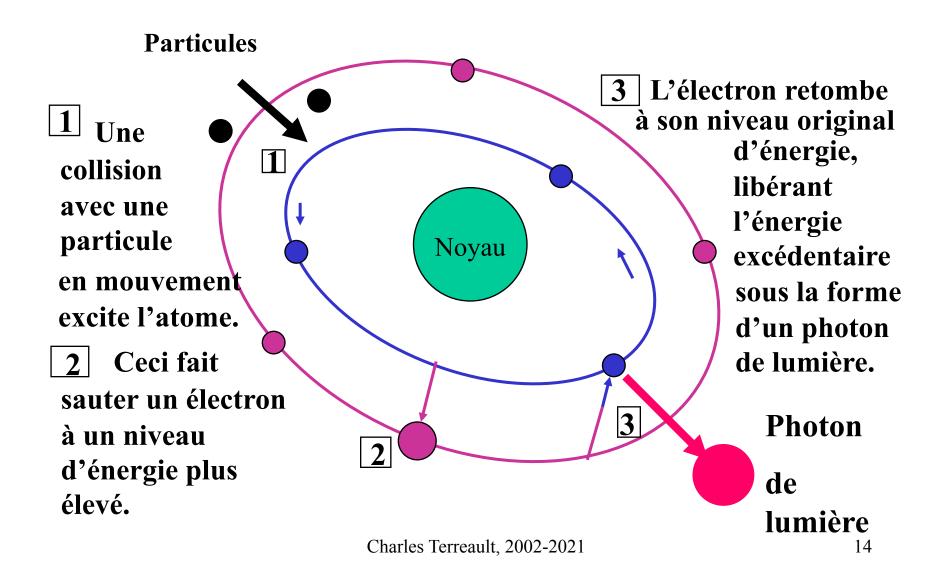






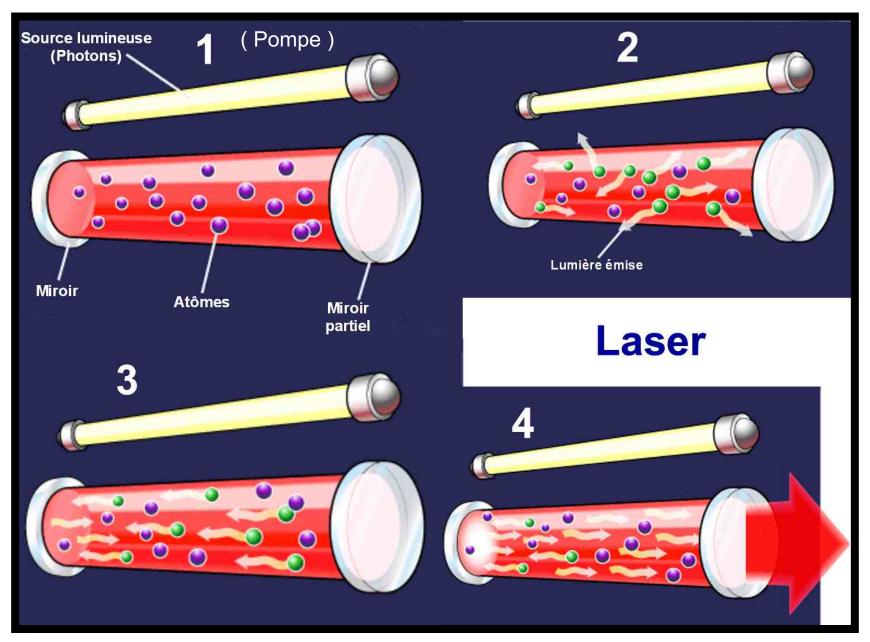
Charles Terreault, 2002-2021

Technologies Comment des atomes émettent de la lumière



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.

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.

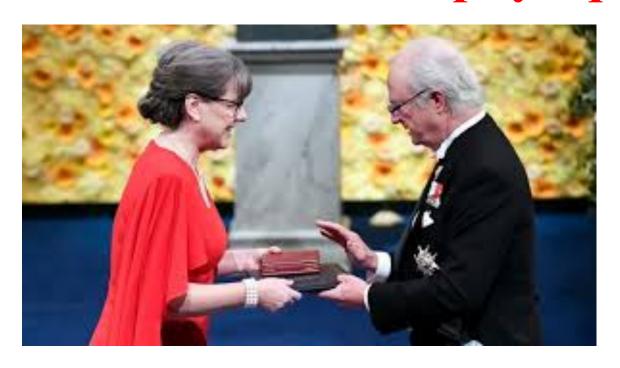
La qualité et le prix peuvent varier énormément.

Technologies: Lumière Laser

Tant qu'à être dans les exploits des lasers, ouvrons une parenthèse vers une Prix Nobel canadienne et, pourquoi pas, vers les autres femmes Prix Nobel de physique ou chimie...

Lasers à grande puissance

- Donna Strickland, de l'Université de Waterloo et Gérard Mourou, maintenant à l'École Polytechnique de Paris, ont ouvert la voie vers la réalisation des impulsions laser les plus courtes et les plus intenses jamais créées.
- En 1985, Mourou et Strickland son étudiante, qui publiait là son premier article scientifique ont proposé une nouvelle technique, appelée « amplification d'impulsions par dérive de fréquence » (chirped pulse amplification, CPA), à la fois simple et élégante.
- La technique *CPA* a révolutionné la physique des lasers. Elle est rapidement devenue la norme pour les lasers à haute intensité ultérieurs, et a ouvert la voie à de nombreuses applications en physique, en chimie et en médecine.
- Ils ont obtenu le Prix Nobel de physique en 2018.



Donna Strickland est la troisième femme à recevoir le prix Nobel de physique, après Marie Curie et Maria Goeppert Mayer.

Sa thèse de doctorat portait sur le « Développement d'un laser ultralumineux et d'une application à l'ionisation multiphotonique ».



En 1903, Marie Curie et Pierre Curie — son époux — reçoivent le prix Nobel de Physique avec Henri Becquerel pour leurs recherches sur les radiations.



En 1911, elle obtient le prix Nobel de chimie pour ses travaux sur le polonium et le radium.



Maria Goeppert-Mayer

- Née en Prusse (1906) et décédée à San Diego.
- C'est à l'Université de Chicago qu'elle développe le modèle qui lui vaudra plus tard d'être co-lauréate, avec Hans Daniel Hansen du prix Nobel de physique de 1963 « pour leurs découvertes à propos de la structure en couches du noyau

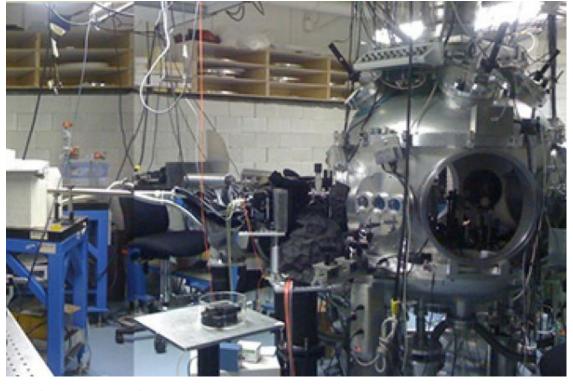
atomique ». Charles Terreault, 2002-2021

Prix Nobel de chimie



- Irène Joliot-Curie, (1987-1956) était chimiste, physicienne et femme politique française, fille de Pierre et Marie Curie.
- Elle a obtenu le prix Nobel de chimie en 1935 pour la découverte de radioactivité artificielle, conjointement avec son époux, Frédéric Joliot-Curie.

Technologies ALLS à l'INRS à Varennes



Le Laboratoire : « Source de rayonnement laser », aussi connu sous le nom d'Advanced Laser Light Source (ALLS) est une importante installation de recherche internationale axée sur le laser *CPA* aux applications révolutionnaires.

Charles Terreault, 2002-2021

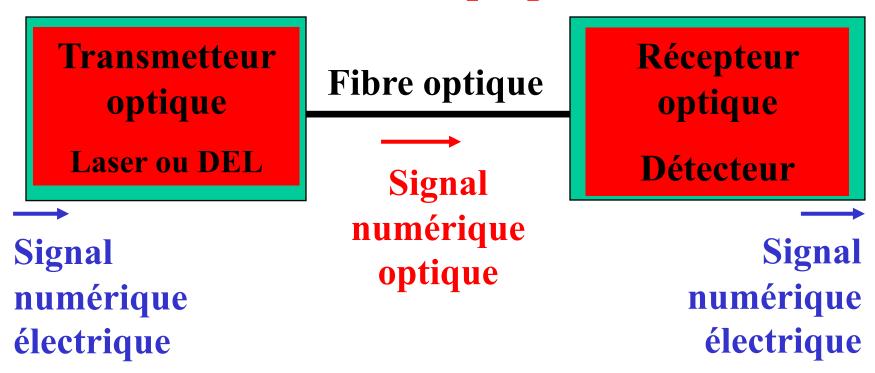
Technologies Sources et détecteurs de lumière

Sources

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

Détecteurs

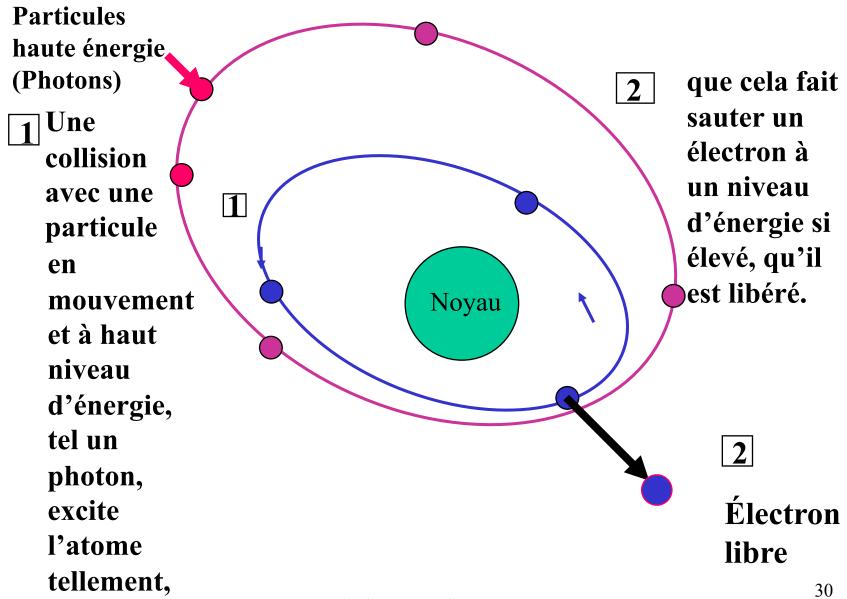
- Cellules photoélectriques



Transmettre de la lumière sur un brin de verre à 50 Km?

Technologies Détecteurs

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



- Donc, quand un électron est bombardé de lumière (photons), il peut absorber un photon et emmagasine alors une quantité d'énergie qui le fait passer d'un niveau d'énergie à un niveau supérieur.
- A l'inverse, il peut aussi émettre un photon et redescendre d'un niveau.
- Ce paquet d'énergie est un « quanta ».
- Planck (Prix Nobel 1918) est le premier à l'avoir identifié.

Inspiré par Planck, Einstein proposa en 1905 une hypothèse simple expliquant le phénomène :

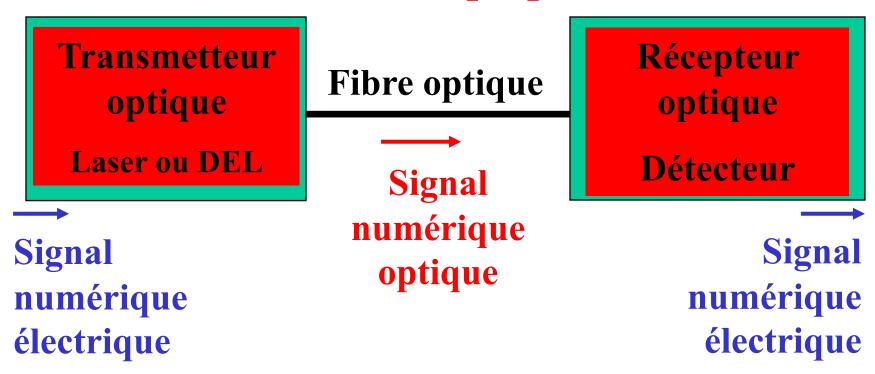
« le rayonnement électromagnétique est luimême quantifié », chaque « grain de lumière » (qui sera baptisé « photon » ultérieurement) étant porteur d'un quantum d'énergie.

- Les électrons absorbant les photons acquièrent cette énergie.
- Si elle est supérieure à une énergie de seuil fixe (qui dépend uniquement de la nature du métal), les électrons peuvent sortir du métal.

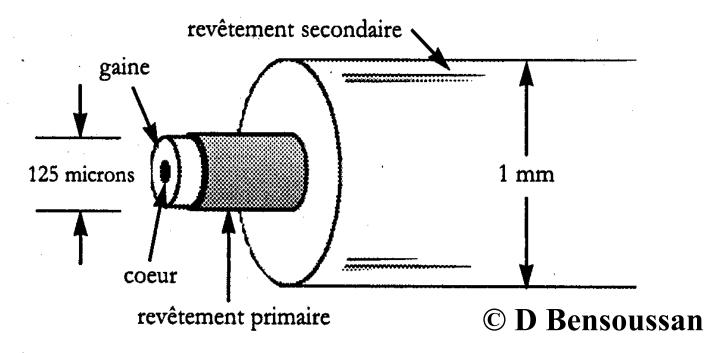
C'est ainsi qu'Einstein obtint le titre de docteur en physique en 1905, et le prix Nobel de physique en 1921.

Plan de la présentation

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

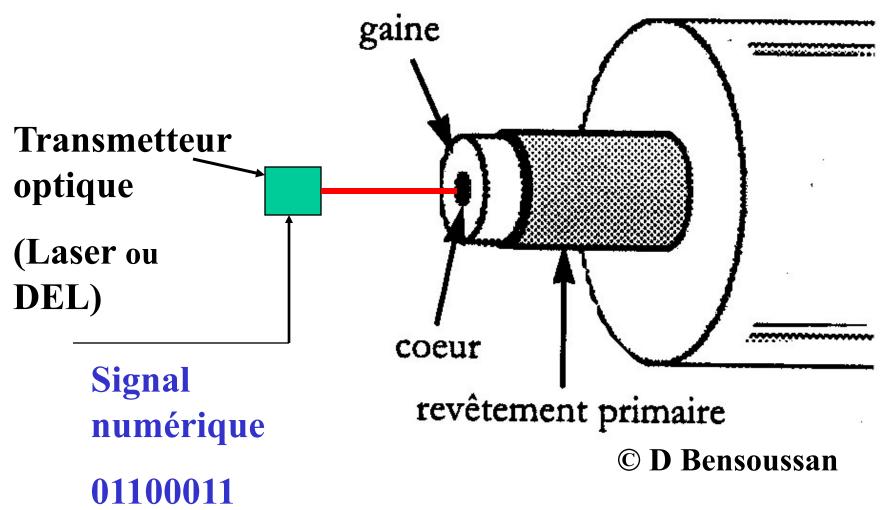


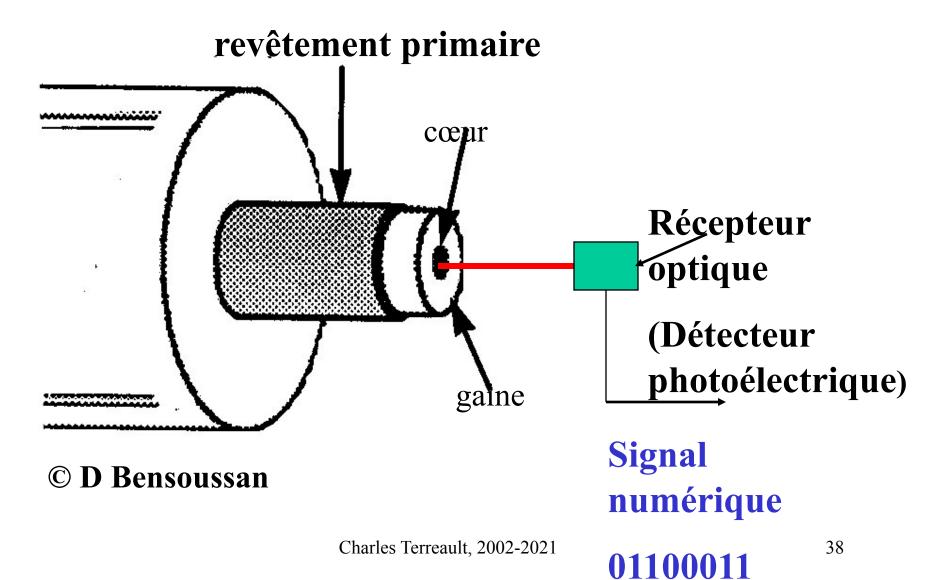
Le signal numérique électrique est transmis optiquement en allumant (1) ou en éteignant (0) le transmetteur optique.



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

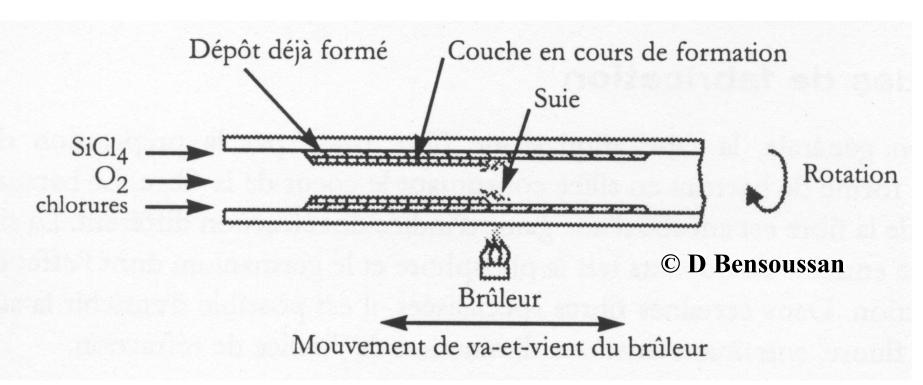
- le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le cœur,
- le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine.





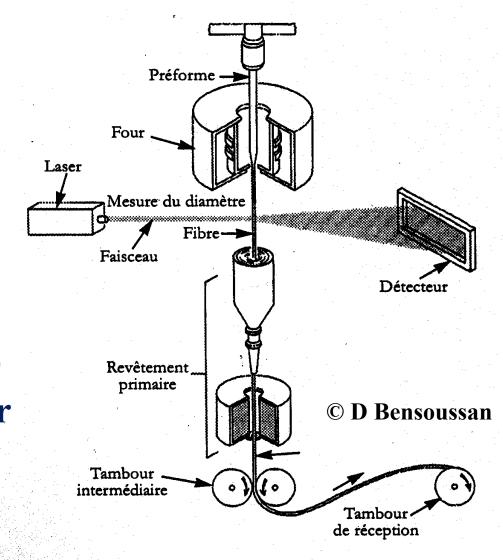
- La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique en silice de 10 cm ou plus.
- La silice est un composé oxygéné du silicium, (SiO2), présent dans un grand nombre de minéraux, tels que le quartz, la calcédoine et l'opale.

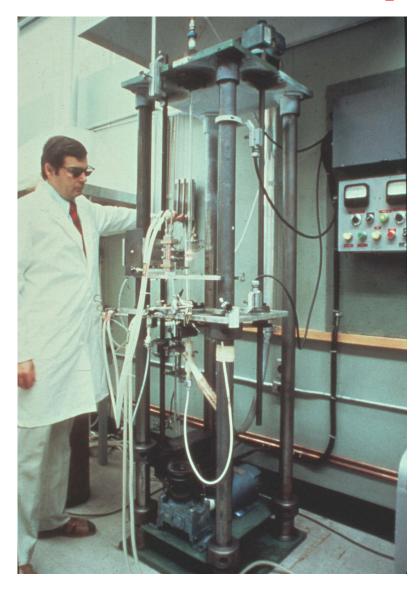
Fabrication de la préforme



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. Charles Terreault, 2002-2021

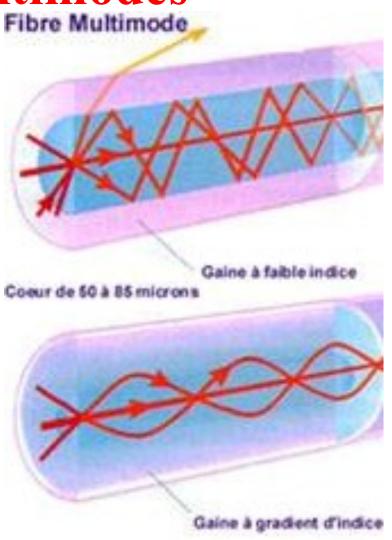




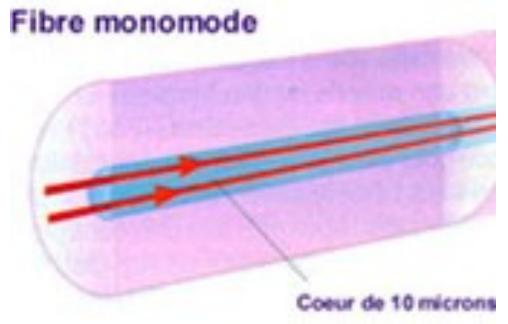
Tour de
Fabrication
1976
RBN

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.



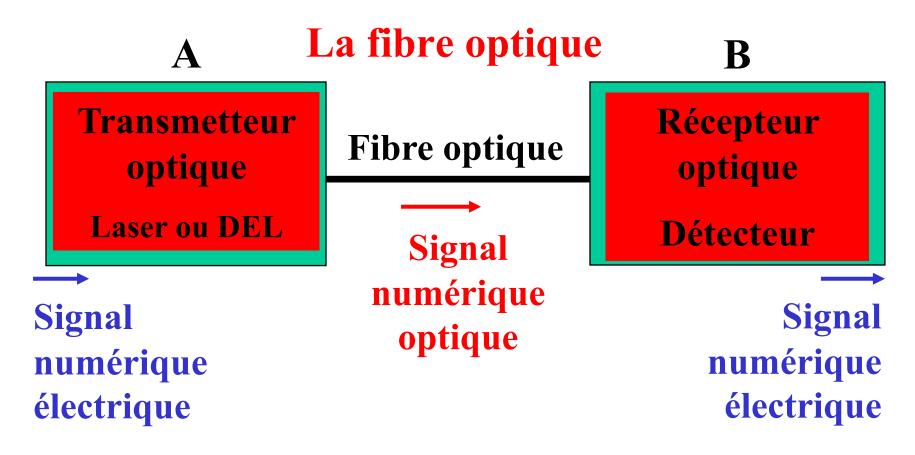
La fibre optique Les fibres monomodes



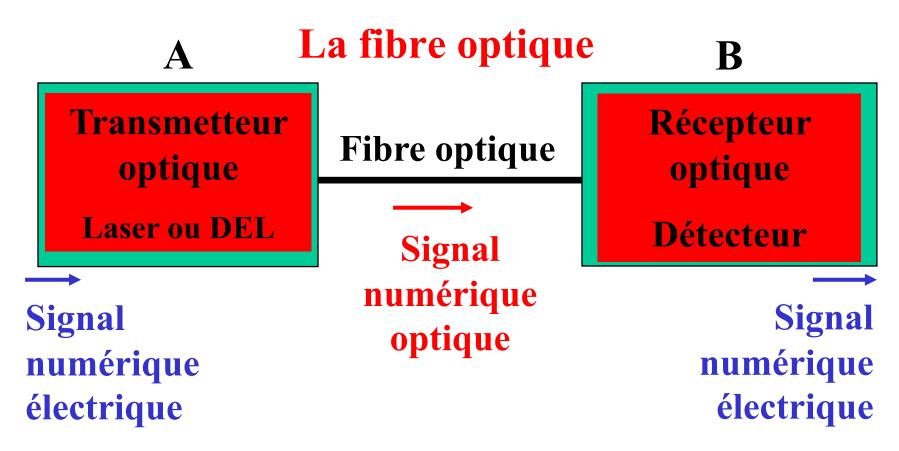
Elles ont un diamètre de cœur (10 microns), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. L'onde se propage alors sans réflexion et il n'y a pas de dispersion nodale. La lumière peut donc se propager plus loin.

La fibre optique Les fibres monomodes

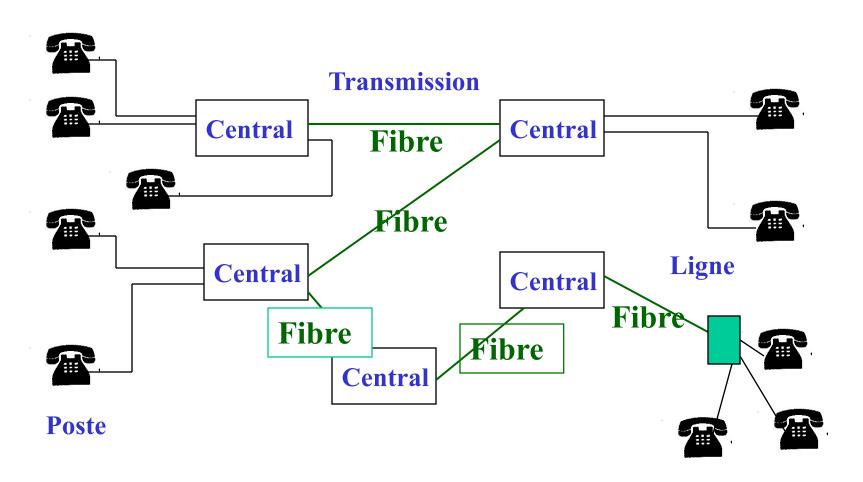
Si le diamètre du cœur d'une fibre monomode est de 10 microns et celui de sa gaine de 125 microns, les cheveux ont de 50 à 100 microns...



La transmission est assurée dans la direction B — A sur une deuxième fibre et équipements symétriques.



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.



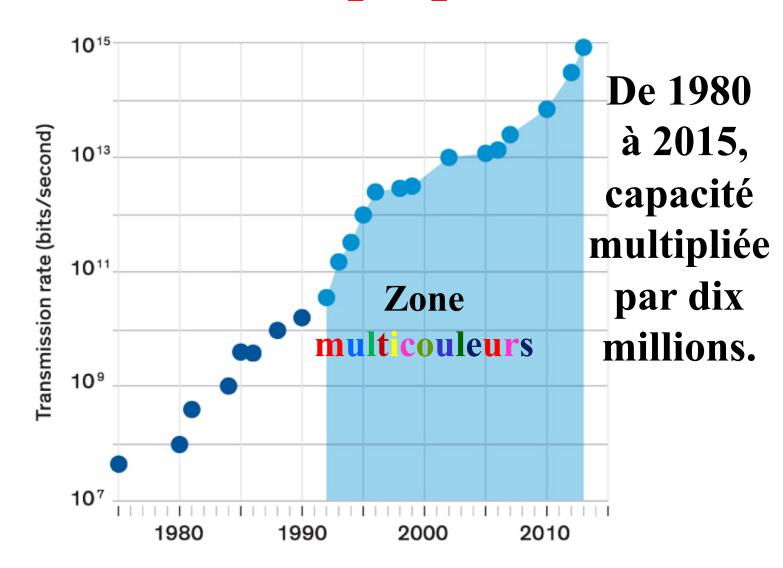
Capacité des systèmes

Monocouleur

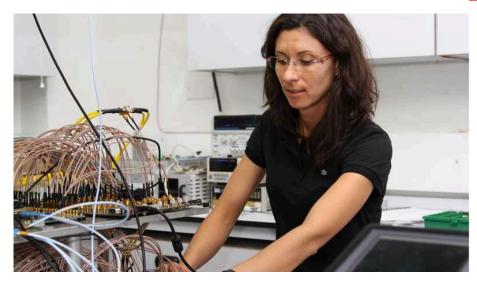
Date	1977	1978	1986	1992	2001	2018
Gbps (0,006	0,27	0,54	2,2	8,8	100

Multicouleurs

Date	1997	1999	2018
X	8	32	88



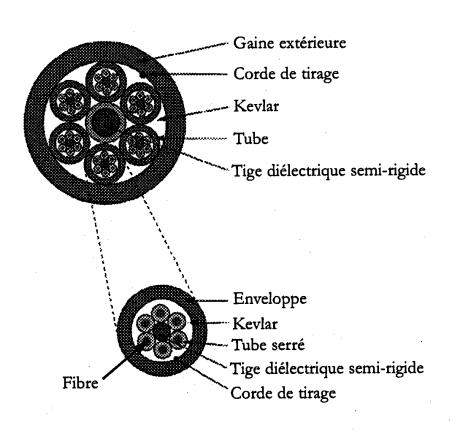
Compilé par Donald Keck



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!

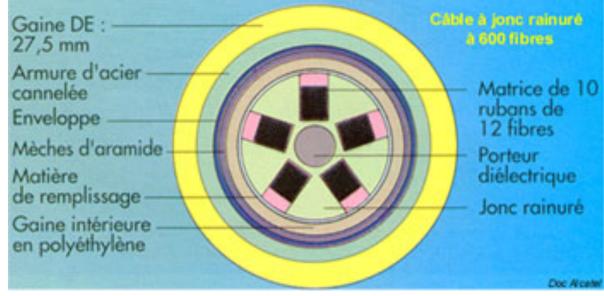
Le câble de fibres



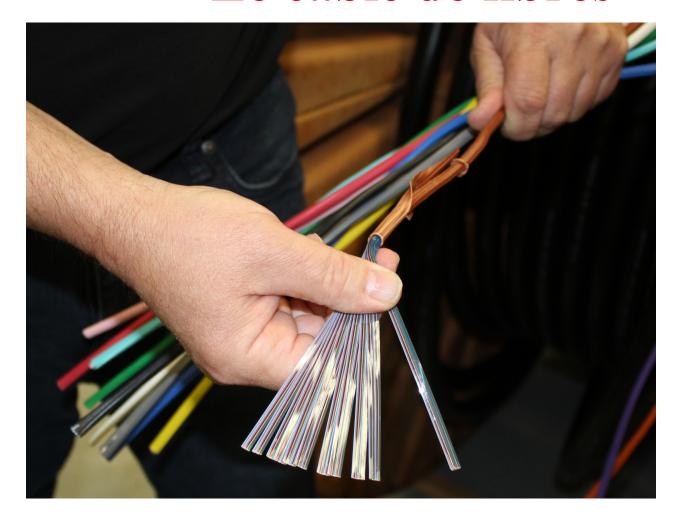


Fabrication: Le câble de fibres



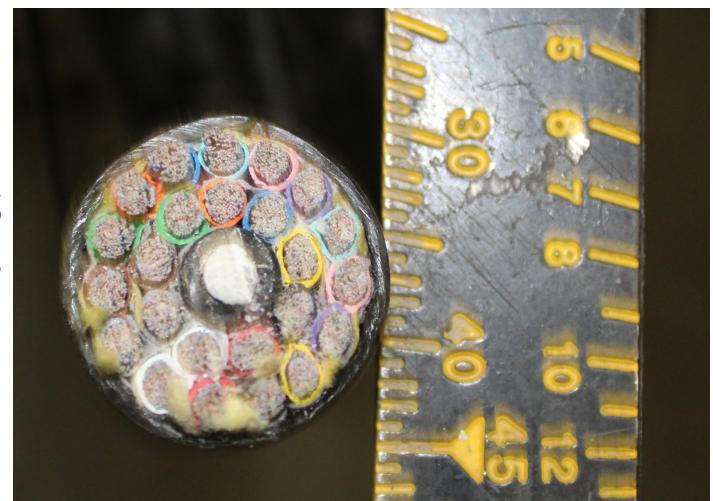


Le câble de fibres



La fibre en ruban

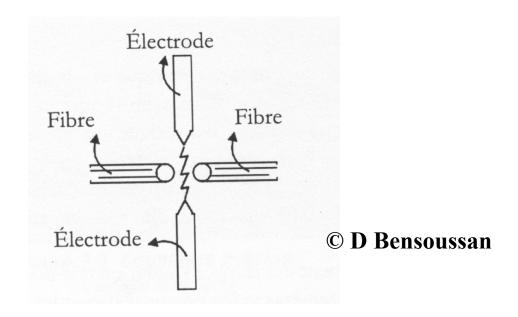
Le câble de fibres



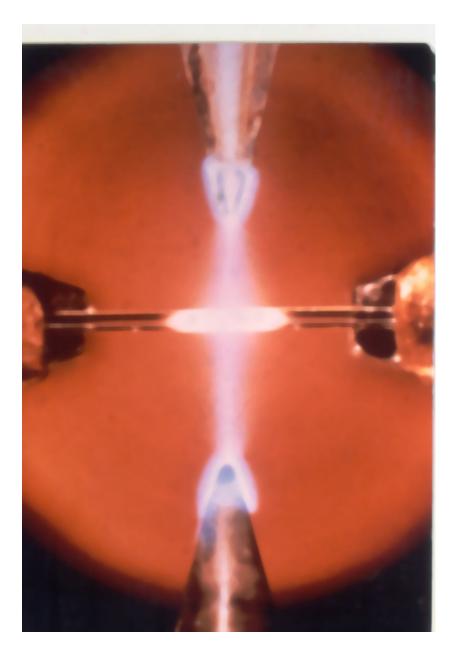
3456 Fibres

L'épissure

Pour raccorder deux fibres, il faut faire une épissure.



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



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

« INTRODUCTION À LA COMMUNICATION PAR FIBRE OPTIQUE »

David BENSOUSSAN

ÉCOLE de TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

Transmettre de la lumière sur un brin de verre à 50 Km ?

Et même jusqu'à 150 Km!

C'est possible!

Qui et comment?

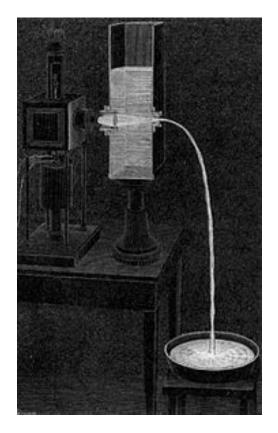
Un peu d'histoire!

Plan de la présentation

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

- 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.

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.



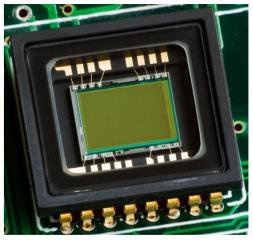
Fontaines dansantes



- Le 16 mai 1960, le physicien américain Théodore Maiman, obtient pour la première fois une émission laser au moyen d'un cristal de rubis.
- Il a déposé une couche d'aluminium aux extrémités de la tige formant ainsi une cavité.
- L'impulsion est un rayon de couleur rouge.

- Willard Boyle, doctorat de McGill en 1950.
- En 1953, il joint le Bell Labs. Avec Don Nelson, il invente en 1962 le premier laser à rubis à <u>émission continue</u>.
- Et en 1969, Boyle et George E. Smith inventent le *Capteur d'image*: «CCD». Cette invention leur vaudra le Prix Nobel de physique en 2009 (prix partagé avec Charles Kao.)

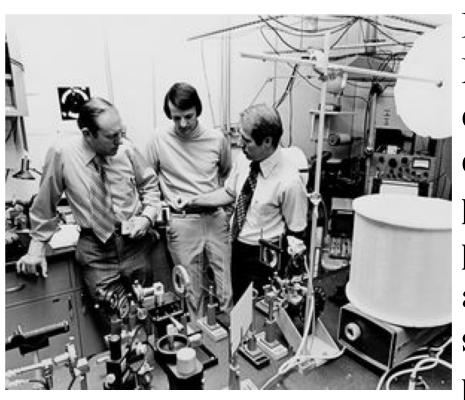




Charles Kao démontra expérimentalement en 1966, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique.



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



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.



Mais...

- 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 Kapany aurait aussi dû être reconnu.

Un peu d'histoire

Pour revenir aux télécoms...

Un peu d'histoire : Weir



Lien *analogique*: Printemps 1977 Première installation au *Canada*

Un peu 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



Charles Terreault, 2002-2021

Un peu 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 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'accroit considérablement!

Un peu 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 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 d'histoire La fibre à la campagne!



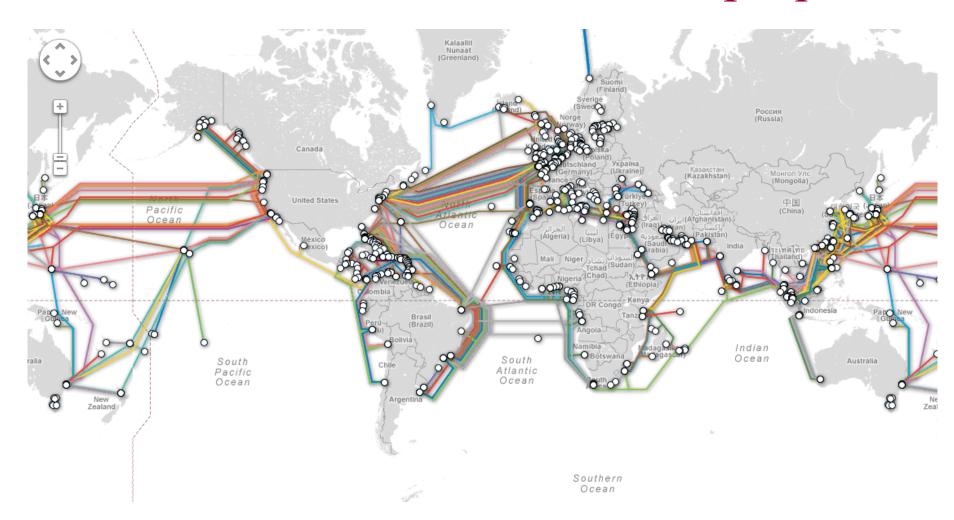
Un peu d'histoire Capteurs en fibre

- 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 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 d'histoire Câbles sous-marins en fibre optique



Un peu 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.

 Charles Terreault, 2002-2021

La fibre optique

Plan de la présentation

- Technologies : Laser, DEL, détecteurs
- La fibre
- Un peu 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,

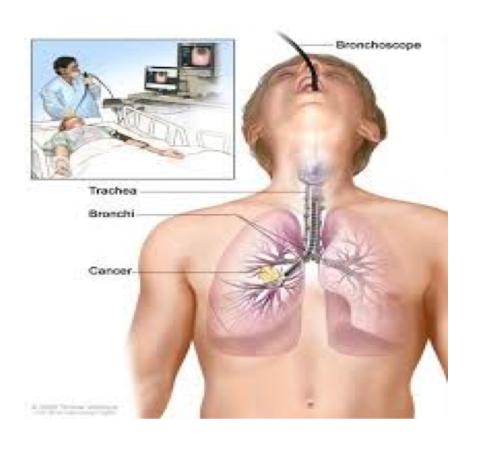


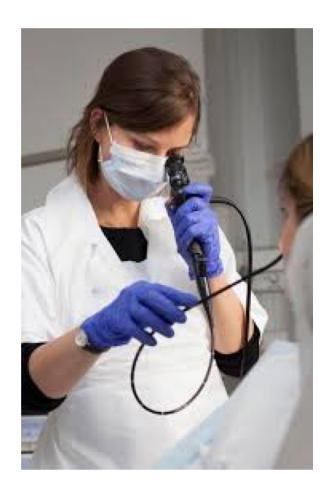
photographie, cinématographie, télévision), la réalisation de prélèvements par biopsies de la muqueuse bronchique, de la muqueuse nasale, pharyngienne ou de la muqueuse du tube digestif, traiter une tumeur ou extraire des corps étrangers.

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.

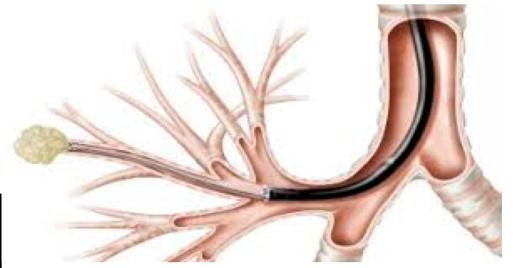
La bronchoscopie





La bronchoscopie





L'arthroscopie

- permet d'explorer l'intérieur d'une articulation.
- Elle a pour but de détecter des anomalies au niveau des structures articulaires ou d'accompagner le chirurgien sur de petites interventions sur le genou ou l'épaule.

L'arthroscope

- se compose d'un câble souple de quelques mm de diamètre, muni de fibres optiques.
- Il possède une source lumineuse à l'une de ses extrémités. Les plus performants utilisent une mini caméra connectée à un écran vidéo.

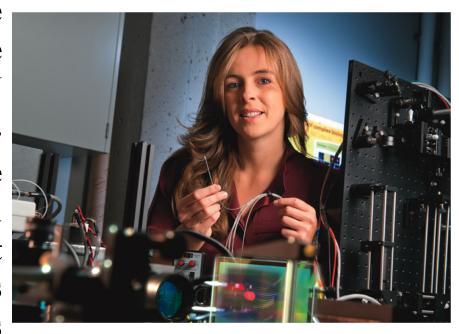


- Ils peuvent être équipés de pinces afin de réaliser des prélèvements pour une analyse en laboratoire.
- Un système de commande permet à l'extrémité de l'endoscope de pivoter afin de visualiser tous les recoins de l'articulation.

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

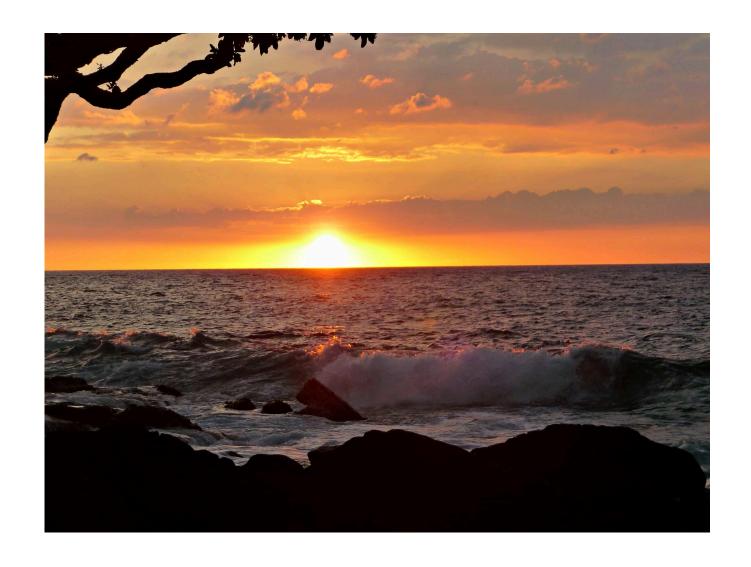
- Social
- Économique
- Technique
- Artistique
- Scientifique





PLAN DE LA SÉRIE

- NUMÉRISATION
- FIBRE OPTIQUE
- AVÈNEMENT D'INTERNET
- WEB 2.0
- IMAGE
- OUTILS



L'avènement d'Internet