



# LES FIBRES OPTIQUES DE VERRE

WILFRIED BLANC



## LE VERRE

**14 et 15 novembre 2013**

Centre Européen de la Céramique, Limoges

**JOURNÉES PLÉNIÈRES USTV - GDR VERRES 3338**

# LES FIBRES OPTIQUES



**Li@in**  
Réseau public  
Fibre optique  
des Communes de l'In

1Go  
100  
mega

**Accédez  
au Très Haut Débit**

Testez votre éligibilité

[www.reso-liain.fr](http://www.reso-liain.fr)



# TOBOGGAN

5/8  
ANS

Dans la série des bien nommés, voici enfin Léa Lagatée.

Elle se moque de leur petit sapin :

– Le mien est en fibres optiques scintillantes multicolores gérées par ordinateur.

Martin guette la voix. Elle s'élève, bien fort cette fois :

– Un sapin artificiel pour une fille super... ficielle !

Arrivé à la maison, Papa se fâche un peu :

– En voilà des manières, Martin !



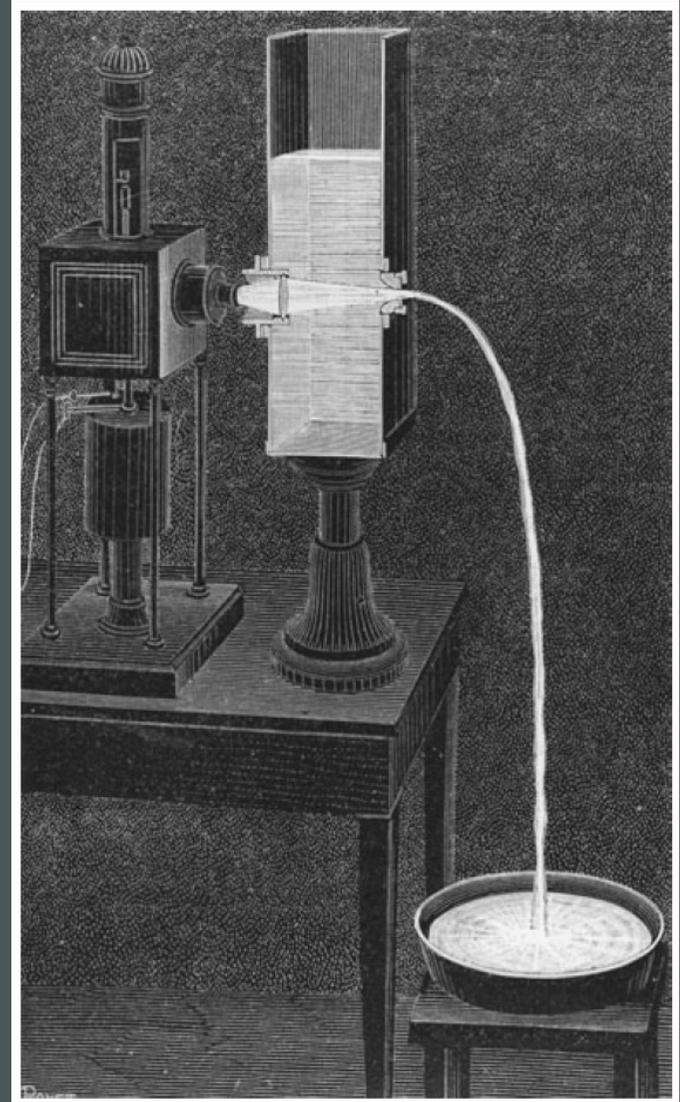
Martin préfère se taire, Papa ne le croirait pas.

Mais il se demande bien d'où sortait cette voix...

# JEAN-DANIEL COLLADON (1802-1893)

1841 : La fontaine lumineuse

1842 : article dans CRAS



*«Sur les réflexions d'un rayon de lumière à l'intérieur d'une veine liquide parabolique»,  
Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 15 (Oct. 24), 800-802, (1842).*

## JACQUES BABINET (1794 - 1872)

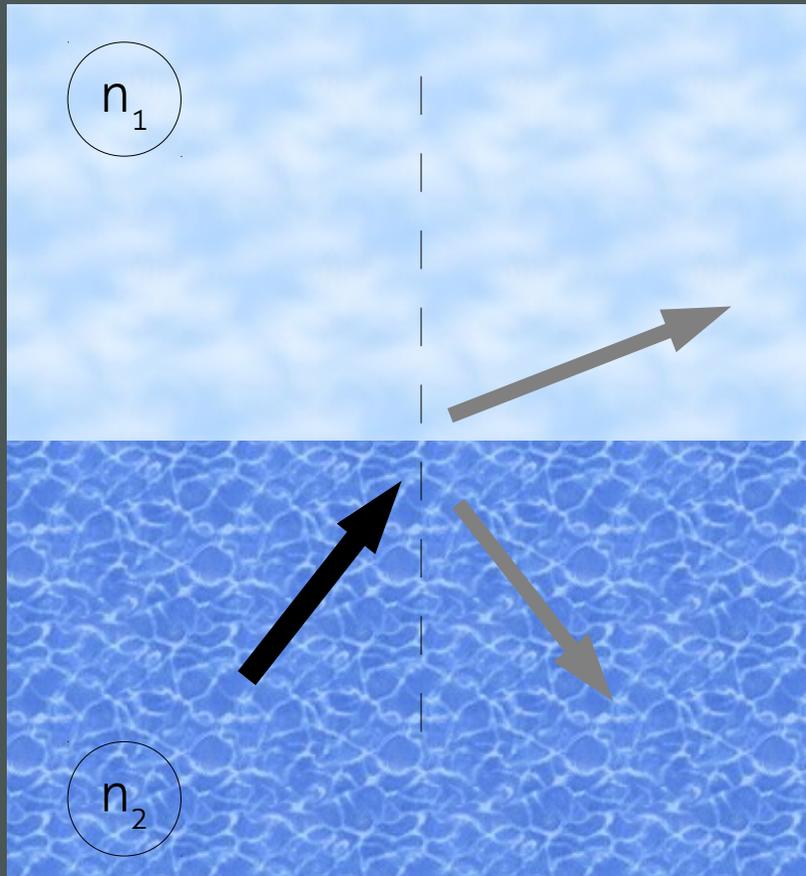
---



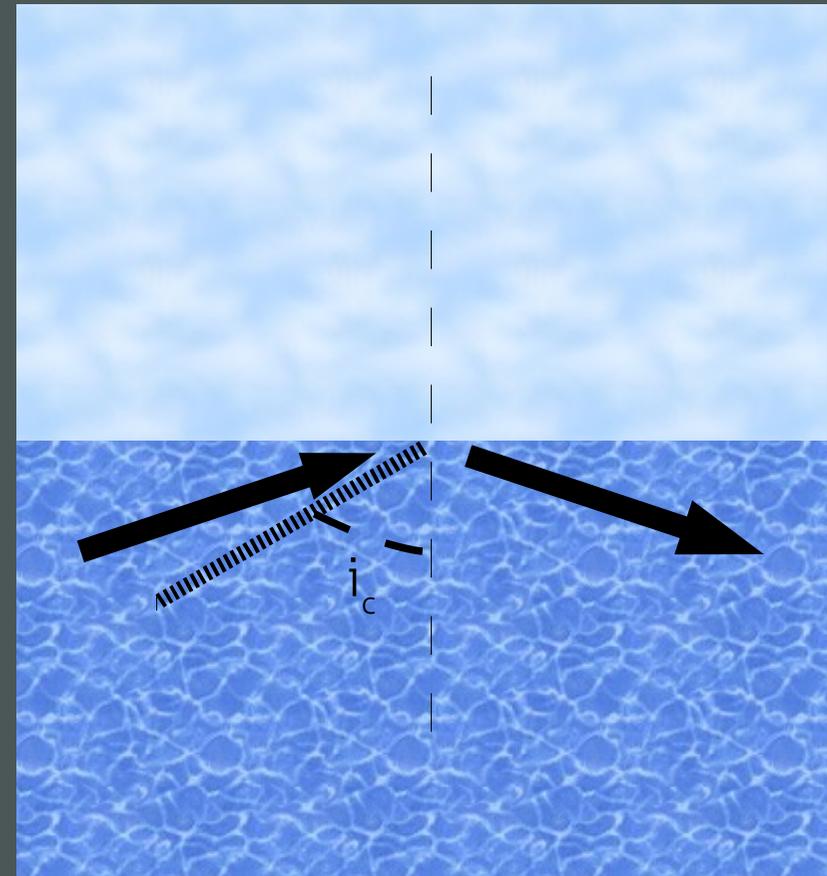
- Observation du guidage dans des barreaux de verre courbés
- Propose de l'utiliser pour éclairer l'intérieur de la bouche

*«Note sur la transmission de la lumière par des canaux sinueux»,  
Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 15 (Oct. 24), s. 802, (1842).*

# RÉFLEXION TOTALE INTERNE



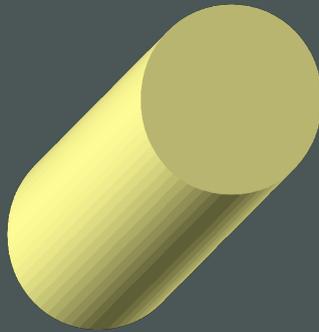
$$n_2 > n_1$$



$$\sin i_c = \frac{n_1}{n_2}$$

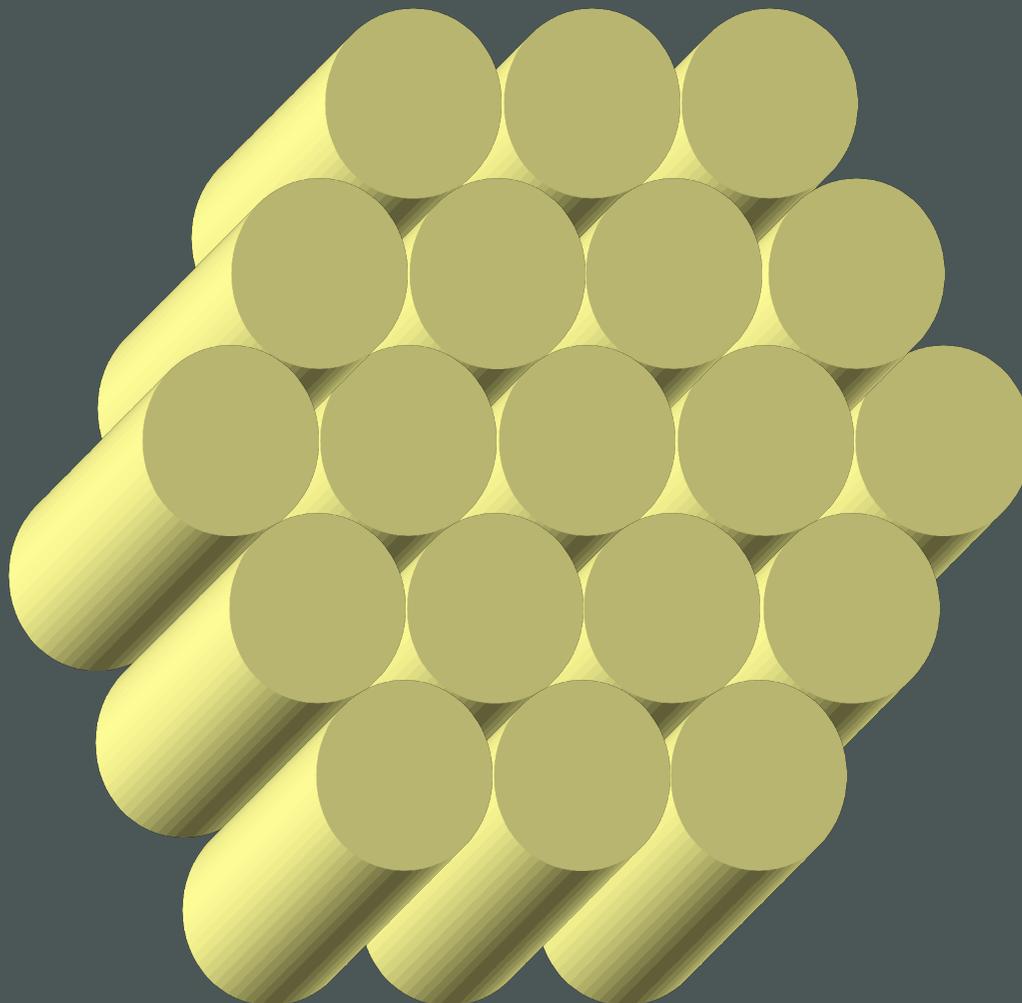
# UNE FIBRE : 1 POINT LUMINEUX

---



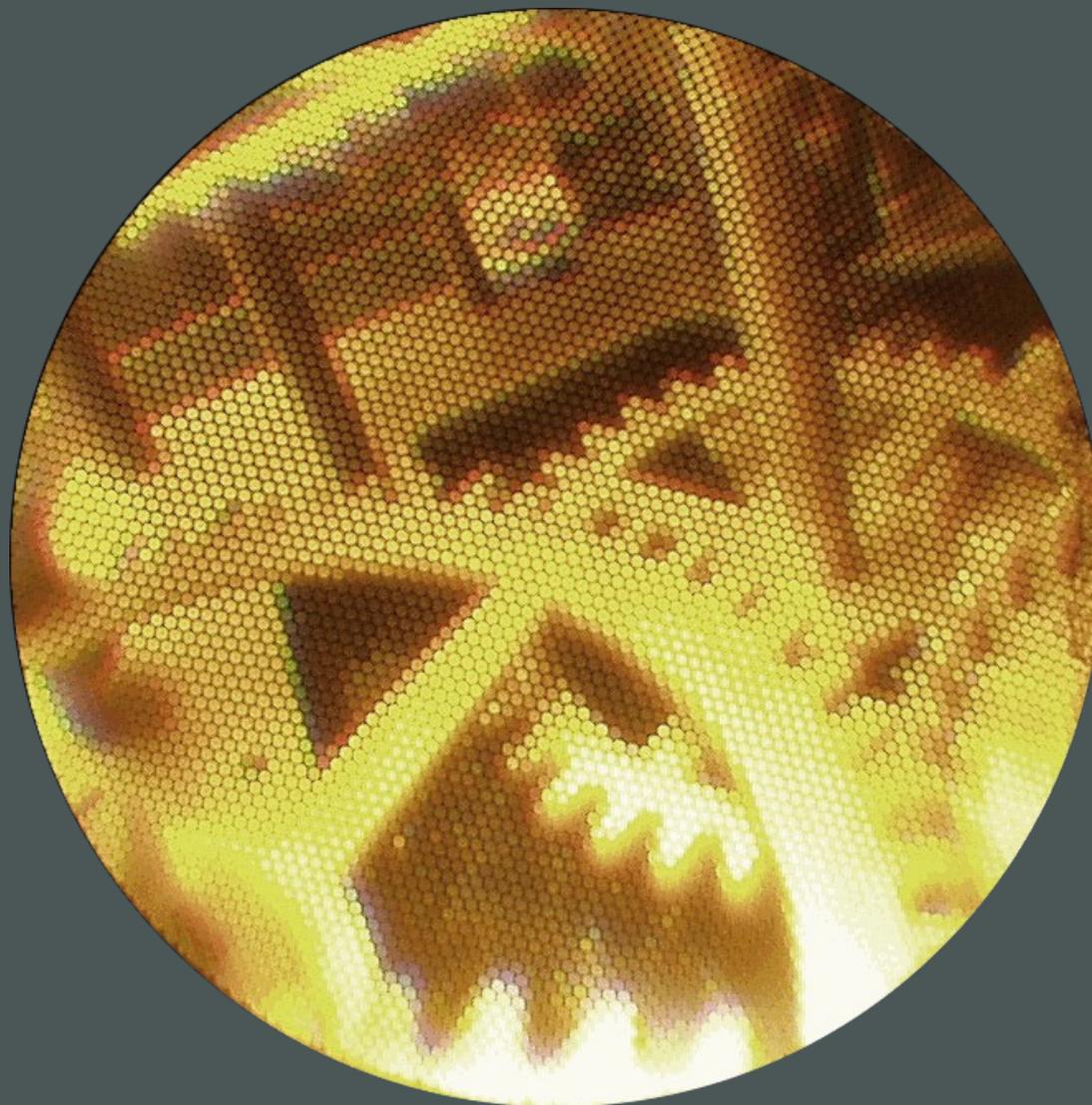
# PLUSIEURS FIBRES : UNE IMAGE

---



# FIBROSCOPE

---



# FIBROSCOPE

---



- 1895 : Principe du «pixel» par H.C. Saint-René  
*«Sur une solution du problème de la vision à distance», Pli cacheté, 8 juillet 1895*
- 1926 : Brevet avec des tubes par J.L. Baird
- 1927 : Brevet avec des fibres pleines par C.W. Hansell
- 1930 : prototype par H. Lamm

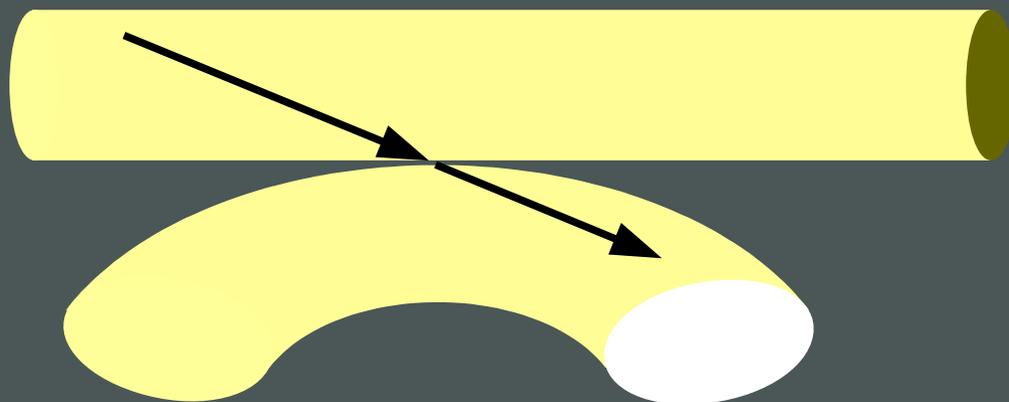
# 1 FIBRE, ÇA VA...

---



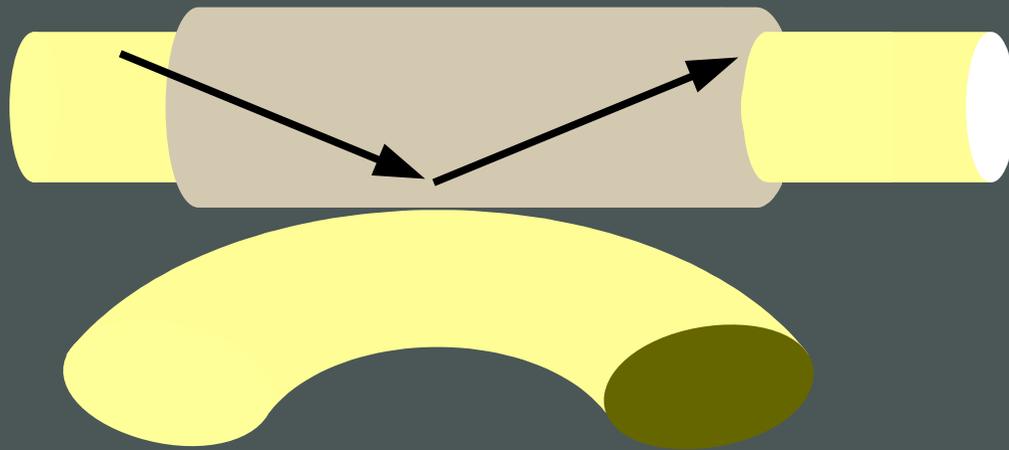
## 2 FIBRES...

---



# FIBRE GAINÉE

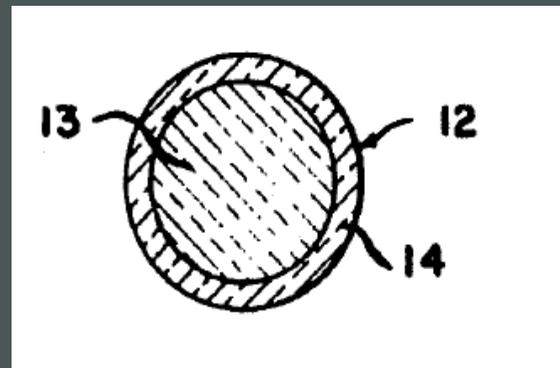
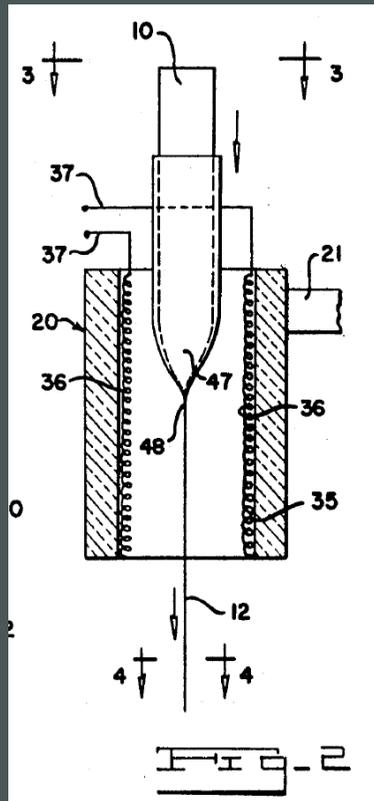
---



- 1954 : «A New Method of transporting Optical Images without Aberrations», A. C. S. Van Heel, Nature 173 (1954) 39
- Et dans le même volume: «A Flexible Fibrescope, using Static Scanning», H. H. Hopkins & N. S. Kapany

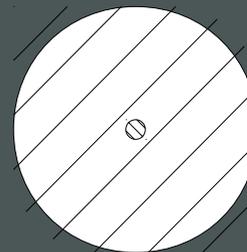
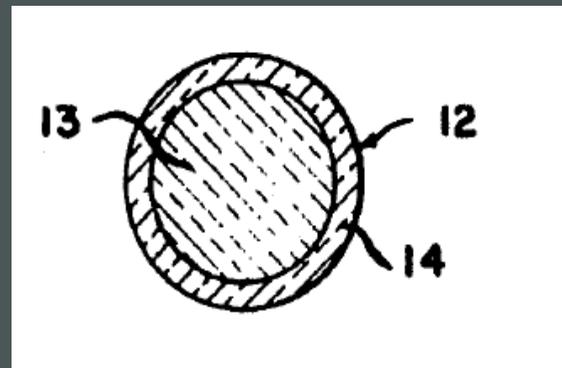
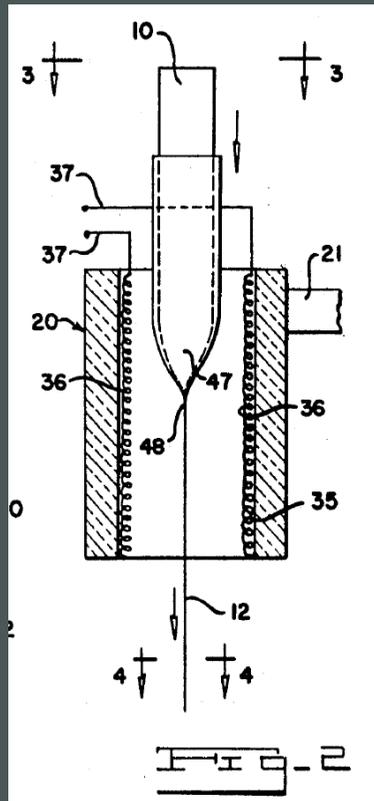
# FIBRES GAINÉES

- 1955 : stage de licence de L.E Curtiss avec B. Hirschowitz & C. W. Peters
- 1957 (accepté en 1971!) : «Glass fiber optical devices», L.E. Curtiss
- 1957 : test sur un patient par B. Hirschowitz



# FIBRES GAINÉES

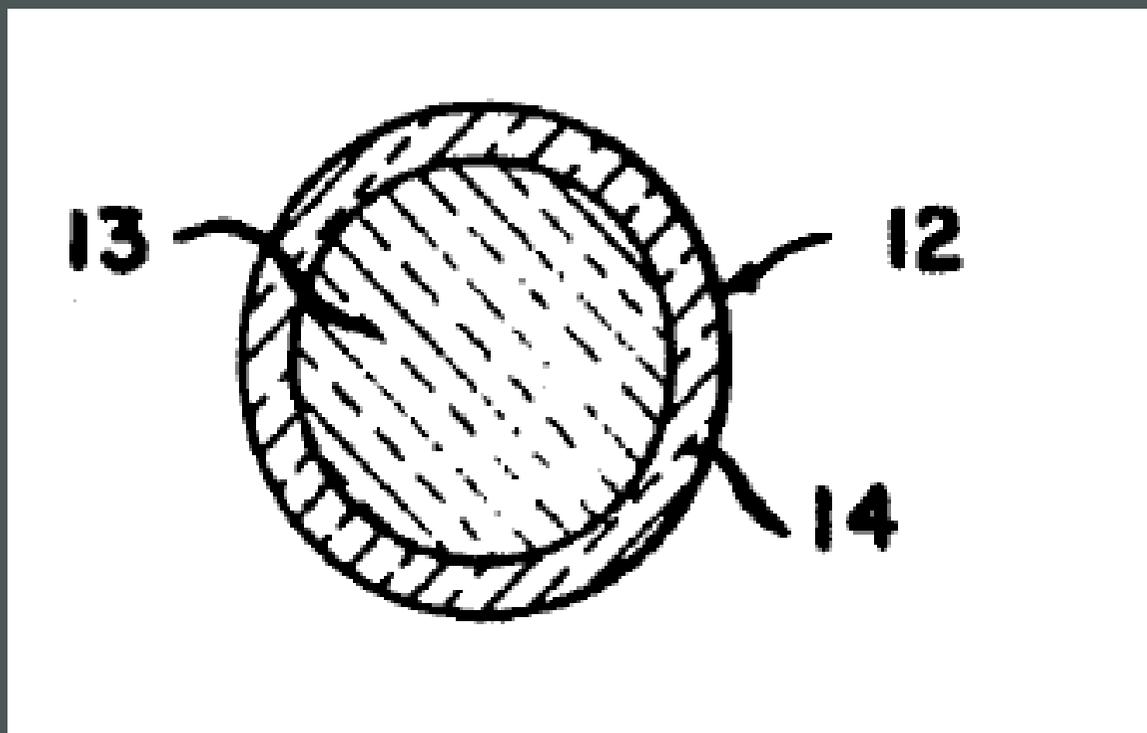
- 1955 : stage de licence de L.E Curtiss avec B. Hirschowitz & C. W. Peters
- 1957 (accepté en 1971!) : «Glass fiber optical devices», L.E. Curtiss
- 1957 : test sur un patient par B. Hirschowitz



Fibre télécoms

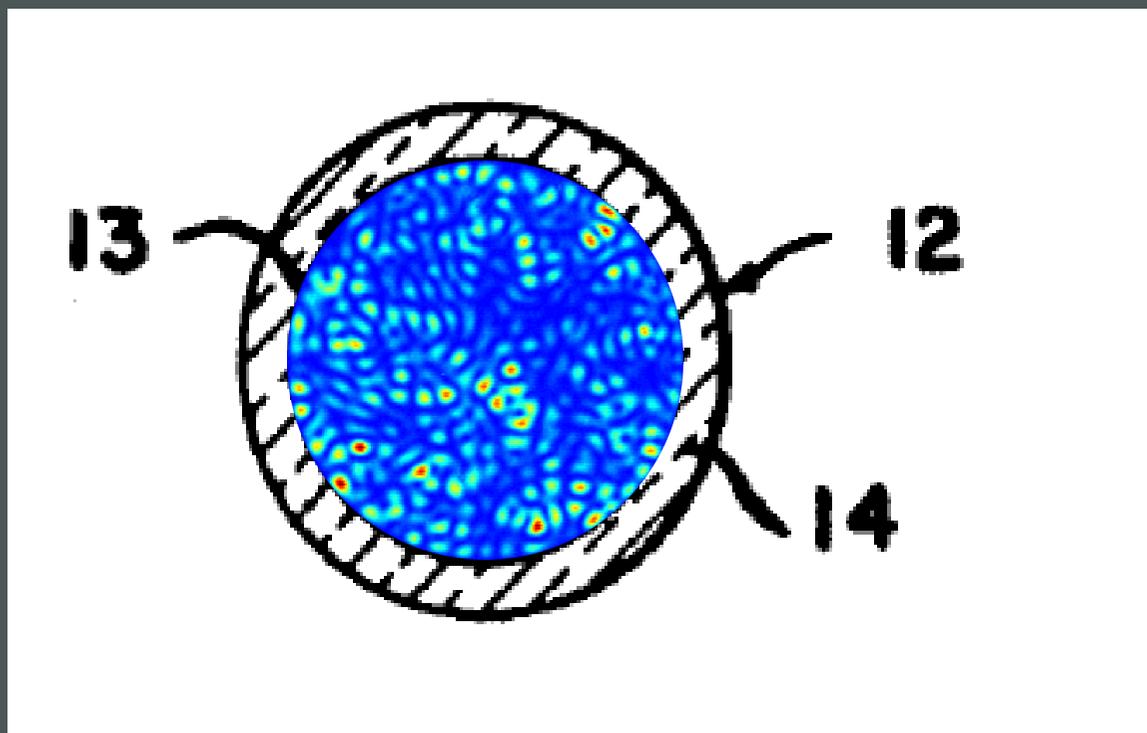
# PROPAGATION MODALE

---

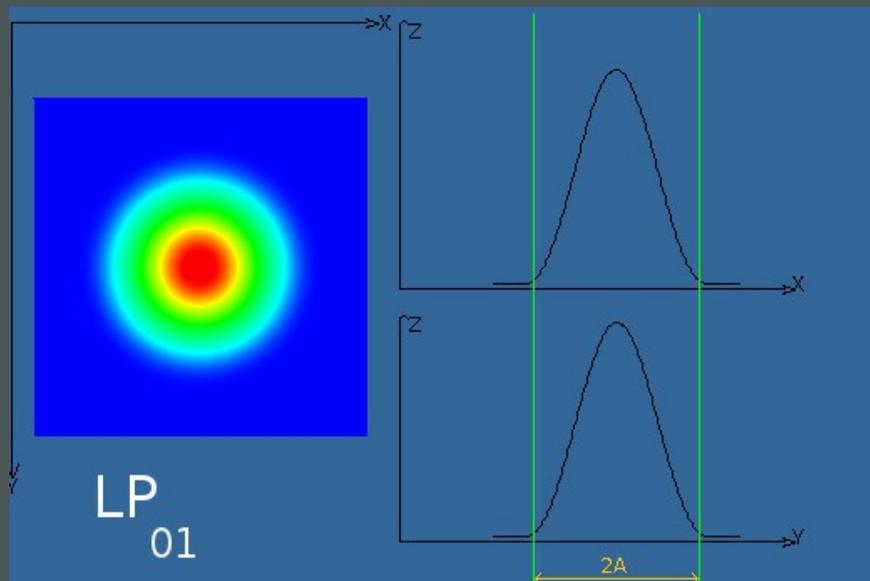
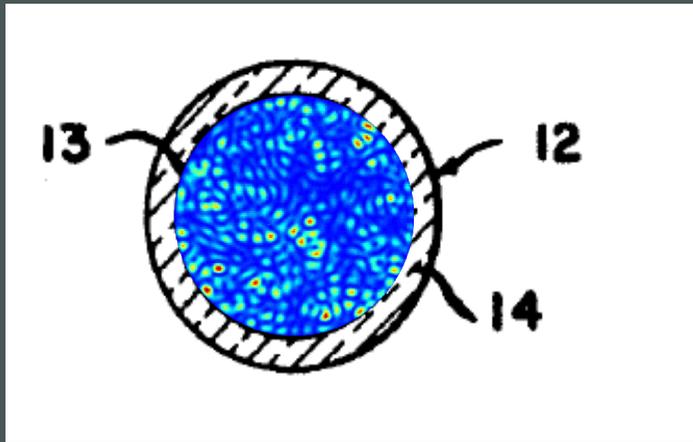


# PROPAGATION MODALE

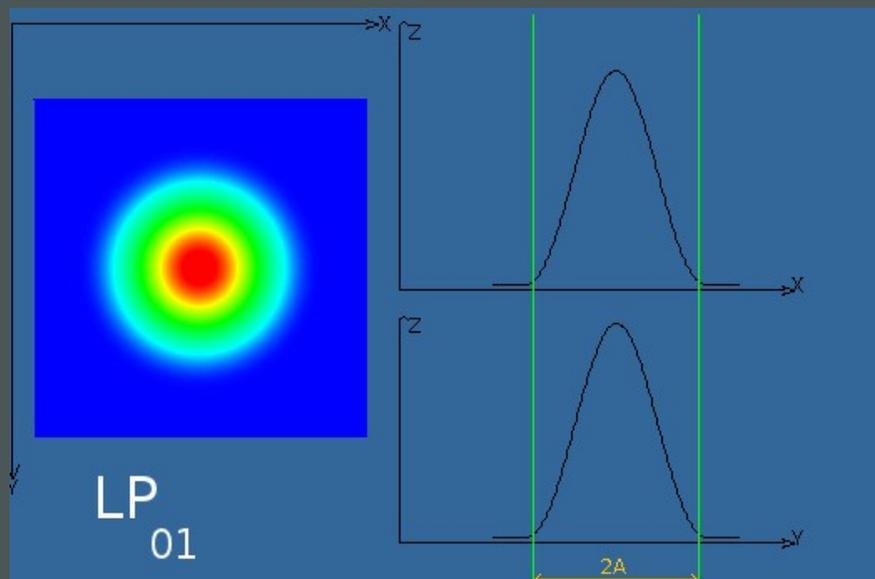
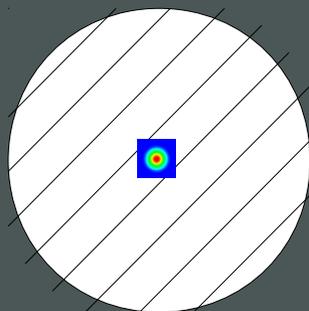
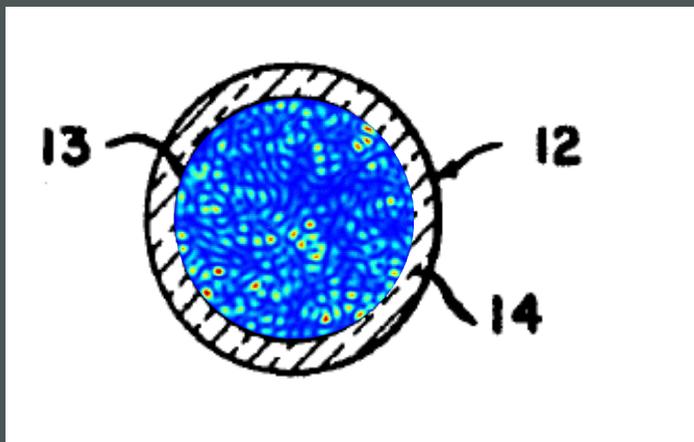
---



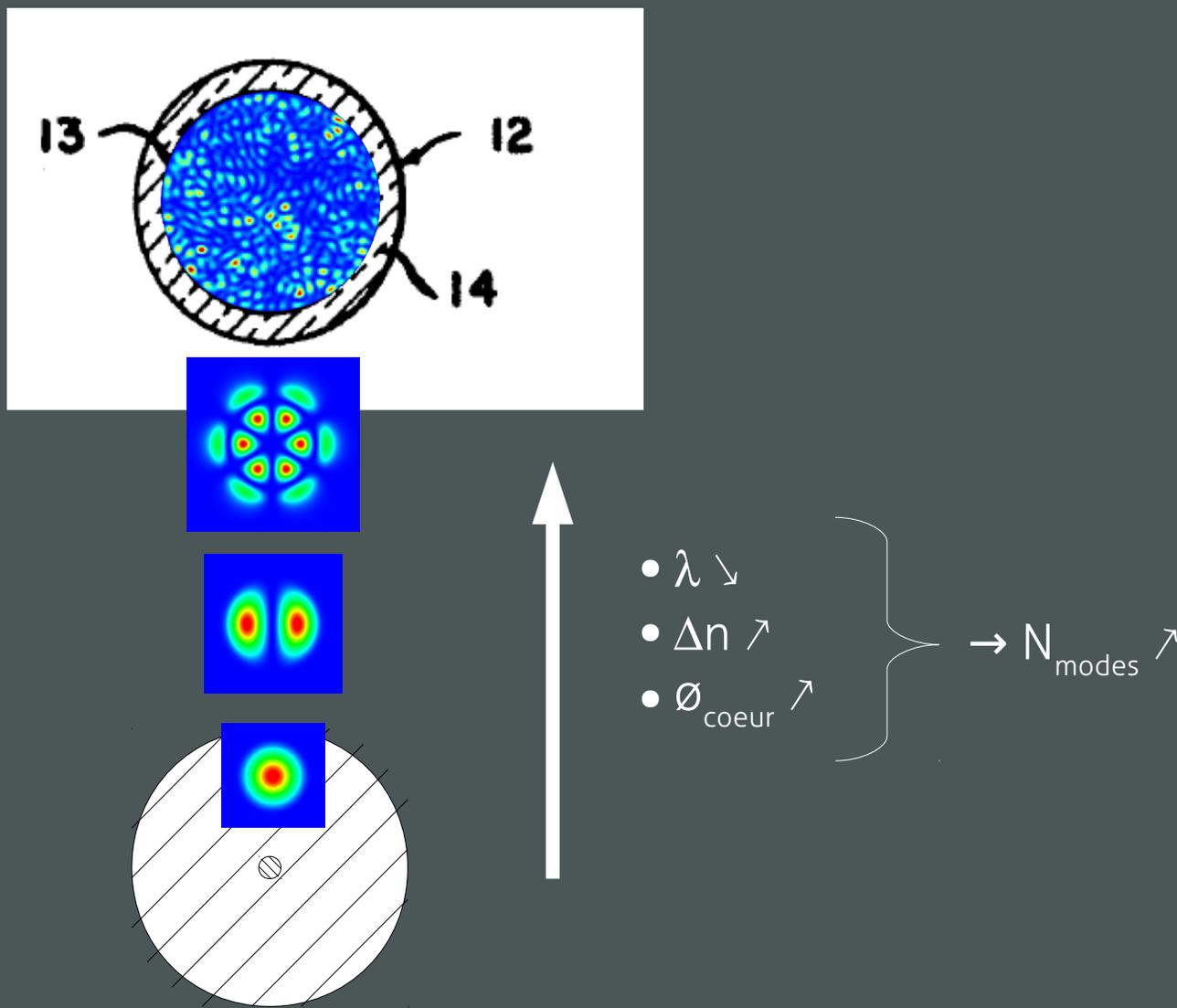
# PROPAGATION MODALE



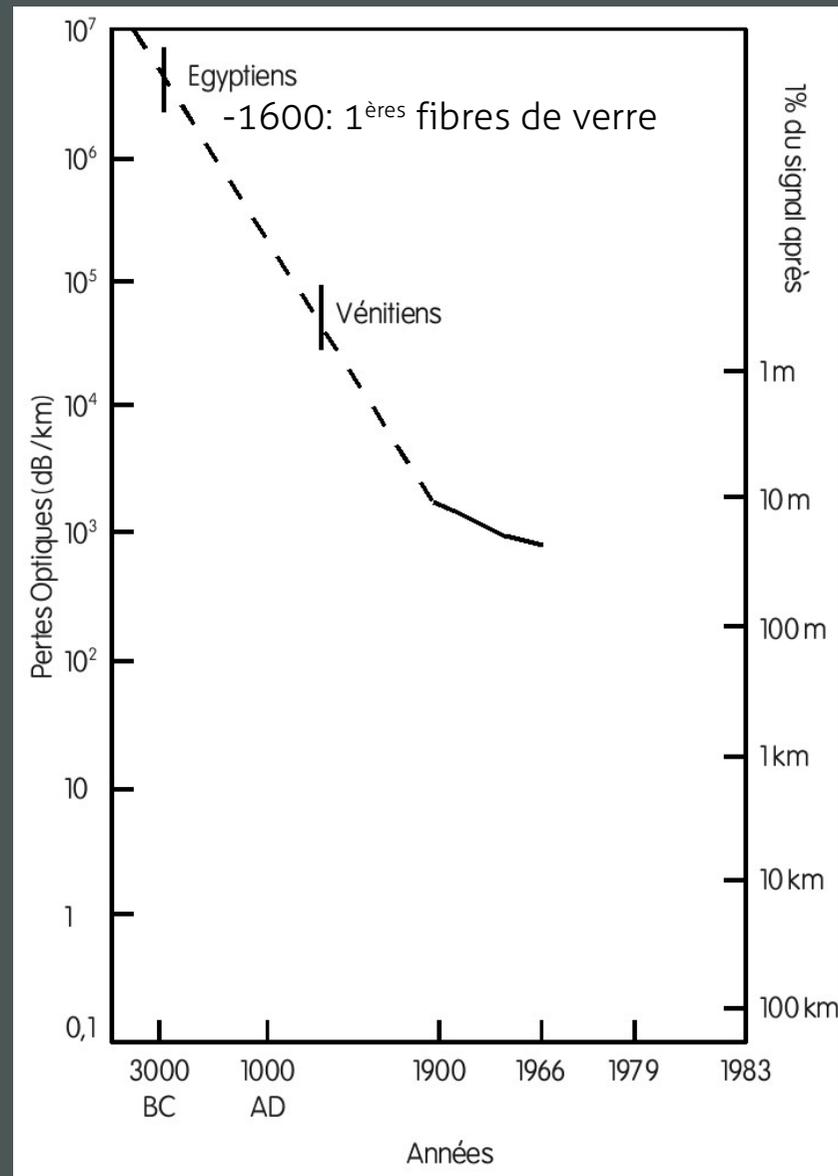
# PROPAGATION MODALE



# PROPAGATION MODALE



# TRANSPARENCE DU VERRE



«Introduction to fiber optics», A. Ghatak & K. Thyagarajan, Cambridge Univ. press, , 2004

## Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies

K. C. Kao, B.Sc.(Eng.), Ph.D., A.M.I.E.E., and G. A. Hockham, B.Sc.(Eng.), Graduate I.E.E.

Synopsis  
*PROC. IEE, Vol. 113, No. 7, JULY 1966*

information capacity. Physical-realisation aspects are also discussed. Experimental investigations at both optical and microwave wavelengths are included.

### List of principal symbols

$J_n$  =  $n$ th-order Bessel function of the first kind  
 $K_n$  =  $n$ th-order modified Bessel function of the second kind

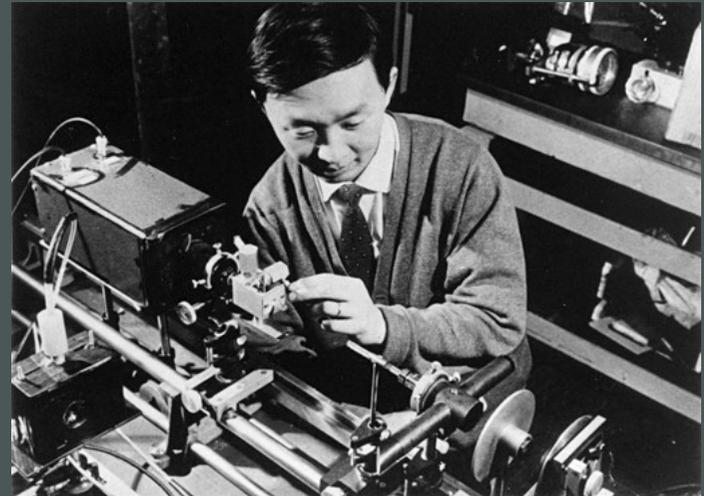
boundary conditions imposed by the physical structure, the characteristic equations are as follows:

for  $HE_{nm}$  modes

## 7 Conclusions

Theoretical and experimental studies indicate that a fibre of glassy material constructed in a cladded structure with a core diameter of about  $\lambda_0$  and an overall diameter of about  $100\lambda_0$  represents a possible practical optical waveguide with important potential as a new form of communication medium. The refractive index of the core needs to be about 1% higher than that of the cladding. This form of waveguide operates in a single  $HE_{11}$ ,  $E_0$  or  $H_0$  mode and has an information capacity in excess of 1 Gc/s. It is completely flexible and calls for a mechanical tolerance of around 10%, which can be readily met in practice. Thus, compared with existing coaxial-cable and radio systems, this form of waveguide has a larger information capacity and possible advantages in basic material cost. The realisation of a successful fibre waveguide depends, at present, on the availability of suitable low-loss dielectric material. The crucial material problem appears to be one which is difficult but not impossible. Certainly, the required loss figure of around 20 dB/km is much higher than the lower limit of loss figure imposed by fundamental mechanisms.

dielectric frequencies. The choice of radiation respect to



Prix Nobel de Physique en 2009

Paper 5033 E, first received 24th November 1965 and in revised form 15th February 1966  
Dr. Kao and Mr. Hockham are with Standard Telecommunication Laboratories Ltd., Harlow, Essex, England

*PROC. IEE, Vol. 113, No. 7, JULY 1966*

frequencies will now be studied in detail. Conclusions are drawn as to the feasibility and the expected performance of such a waveguide for long-distance-communication application.

1151

## LA FIBRE *TRANSPARENTE*

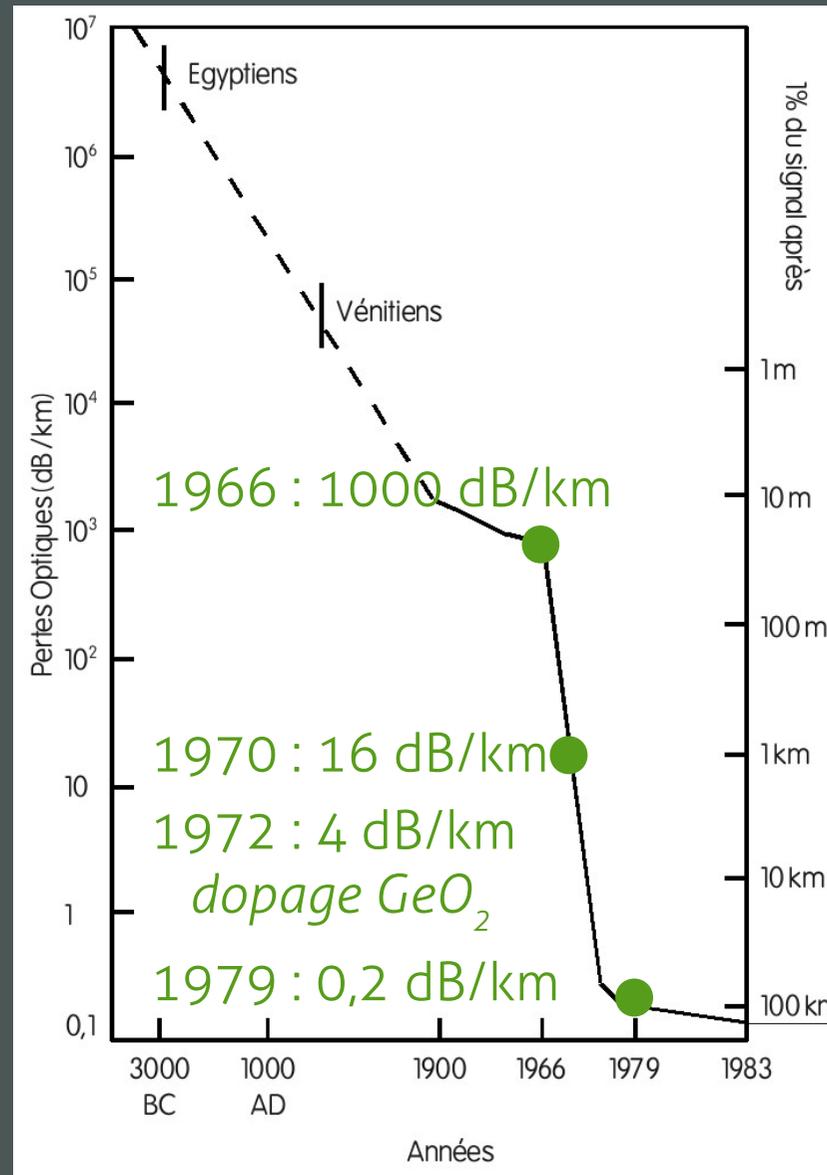
---

1970 : Première fibre optique à 16 dB/km



Donald B. Keck, Robert D. Maurer and Peter C. Schultz  
Corning Glass Works - USA

# TRANSPARENCE

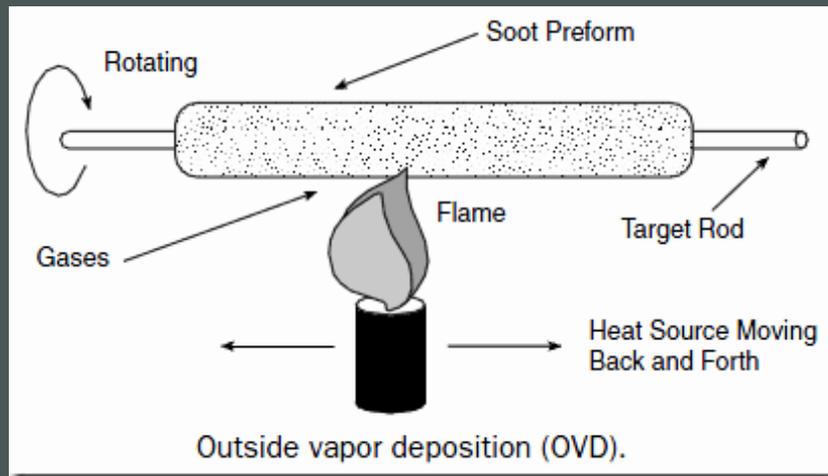


0,1484 dB/km

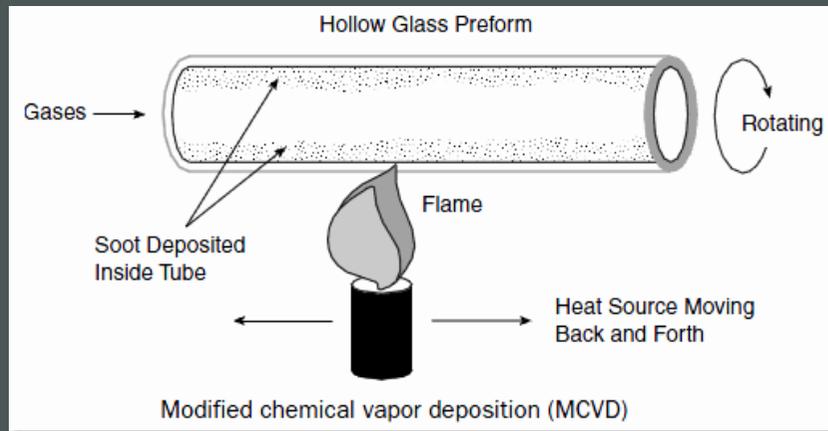
2004



# PROCÉDÉS DE DÉPÔTS EN PHASE VAPEUR

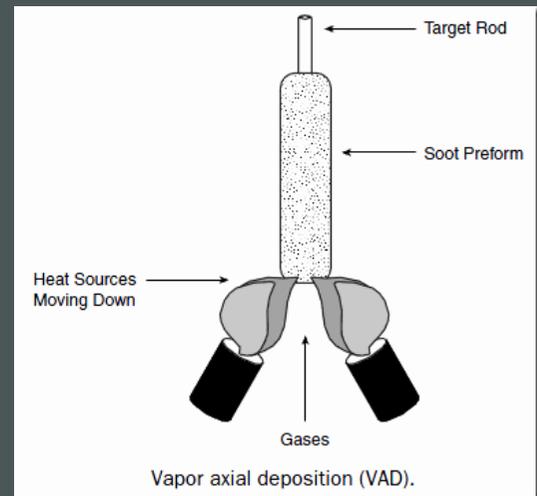


1972 : OVD, Corning  
D.B. Keck, P.C. Schultz F. Zimar



1974 : MCVD, Bell Labs  
J.B. Mc Chesney, P.B. O'Connor

<http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/the-manufacturing-of-optical-fiber/>



1977 : VAD, NTT  
T. Izawa et al.

# UNE POIGNÉE DE DOPANTS

---

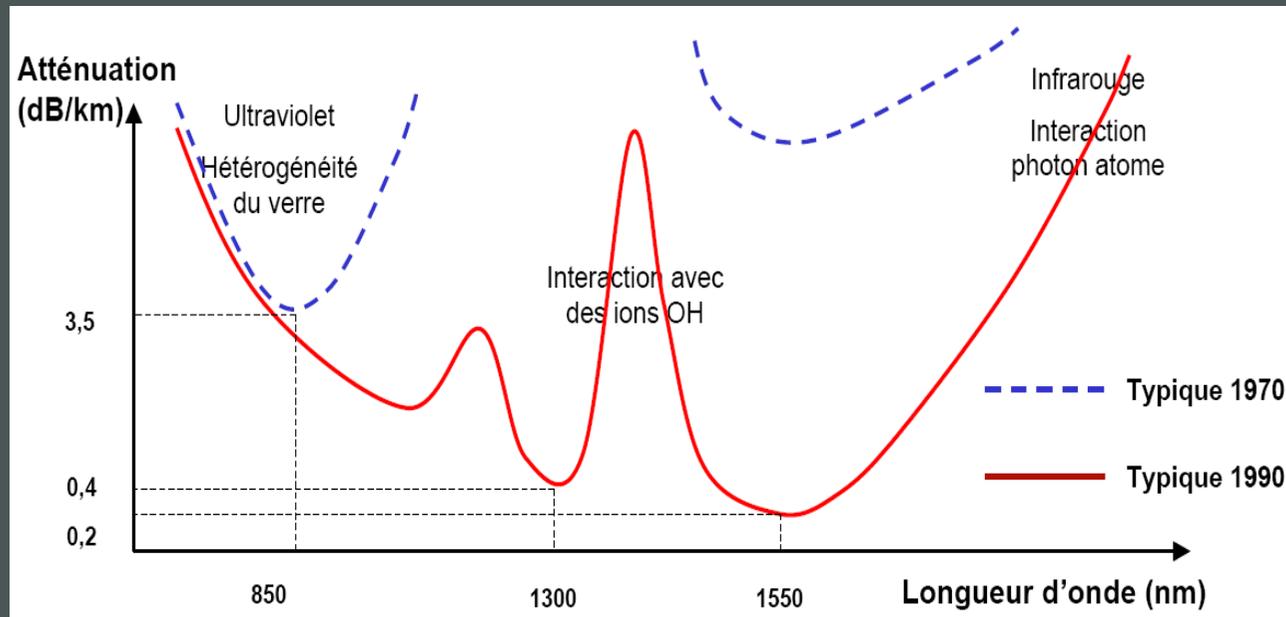
Dopage conditionné par :

- Indice de réfraction ( $n$ )
- Viscosité
- Dilatation thermique
- Stabilité du verre (haute température des procédés)

Les dopants :

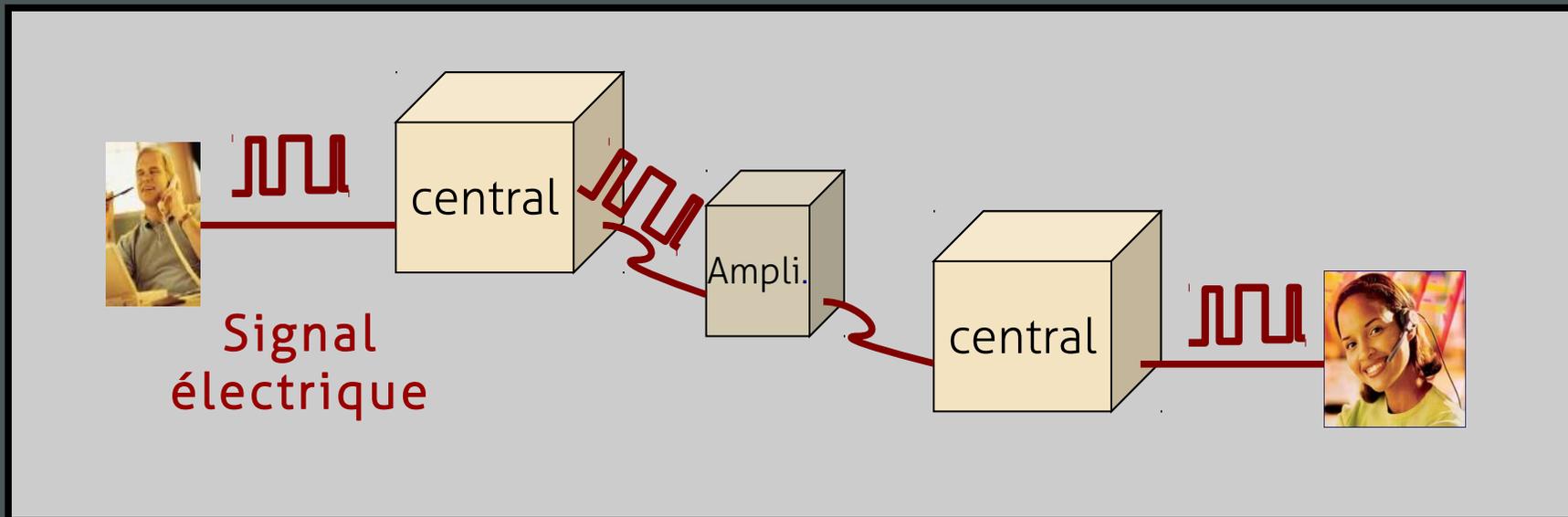
- Germanium (Ge) :  $\nearrow n$  et photosensibilité
- Phosphore (P) :  $\nearrow n$  et  $\searrow$  viscosité
- Bore (B) :  $\searrow n$  et  $\nearrow$  dilatation thermique
- Fluor (F) :  $\searrow n$  et la viscosité
  
- Aluminium (Al) :  $\nearrow n$  et la solubilité des ions de terres rares
  
- Terres Rares (Er, Yb, Tm) : propriétés de luminescence

# ATTÉNUATION DE LA SILICE

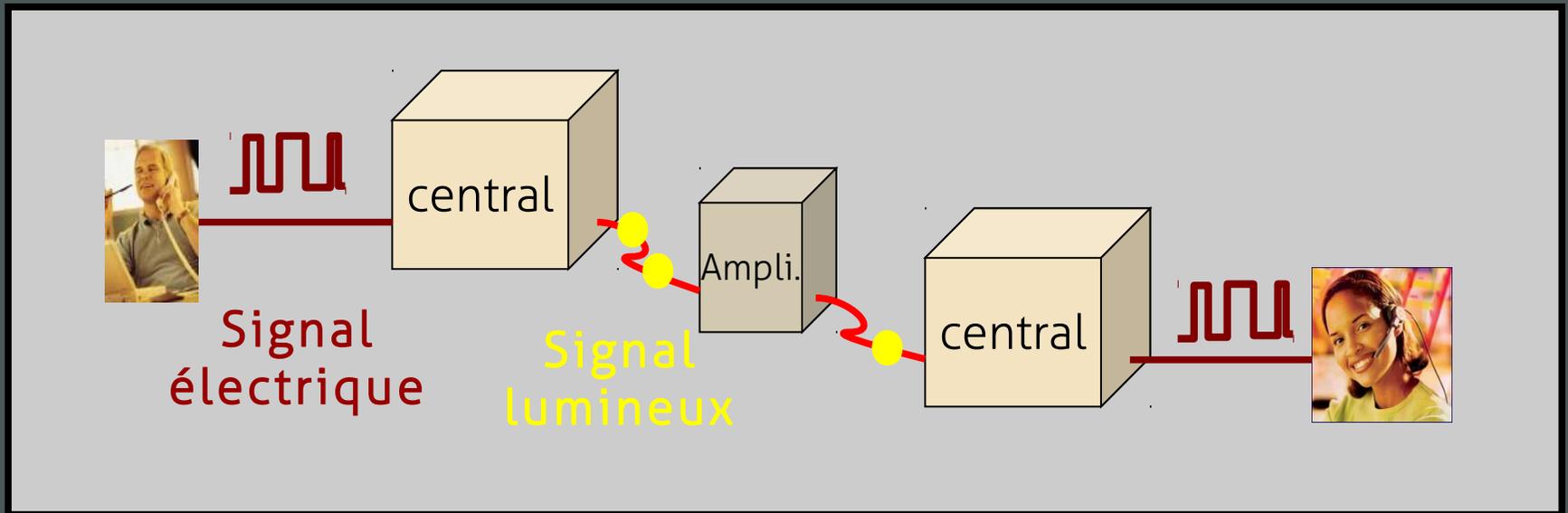


1 ppm OH  $\rightarrow$  40 dB/km @ 1,38  $\mu$ m

# TÉLÉCOMMUNICATIONS ÉLECTRIQUES

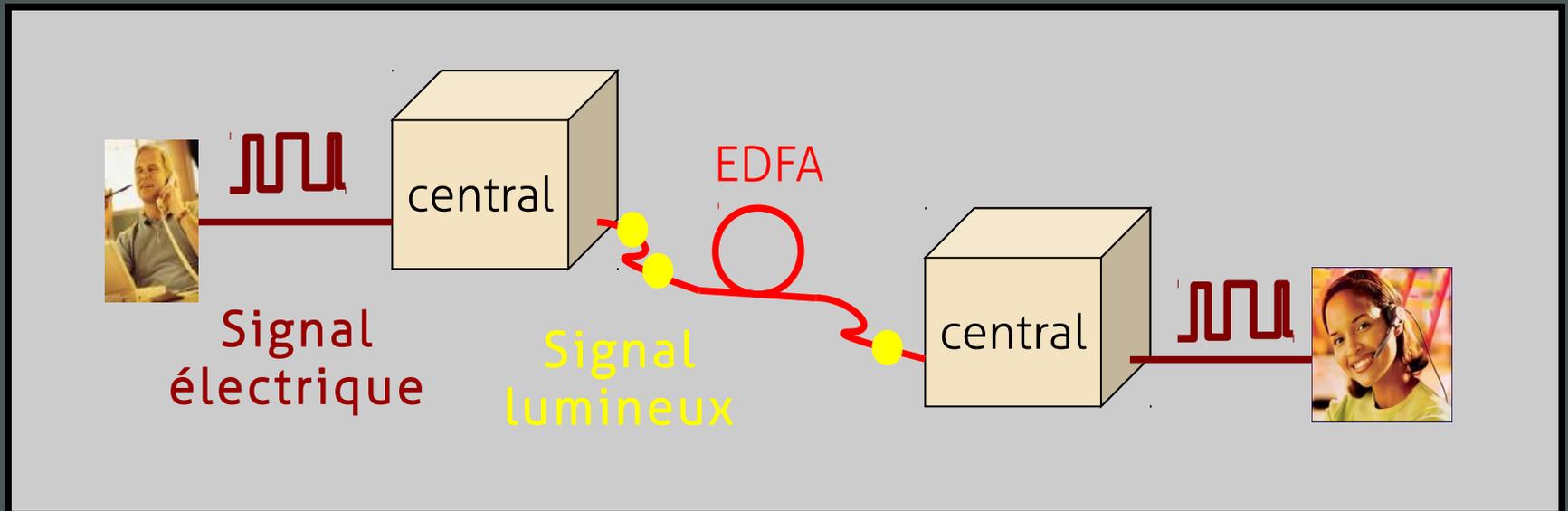


# TÉLÉCOMMUNICATIONS OPTIQUES



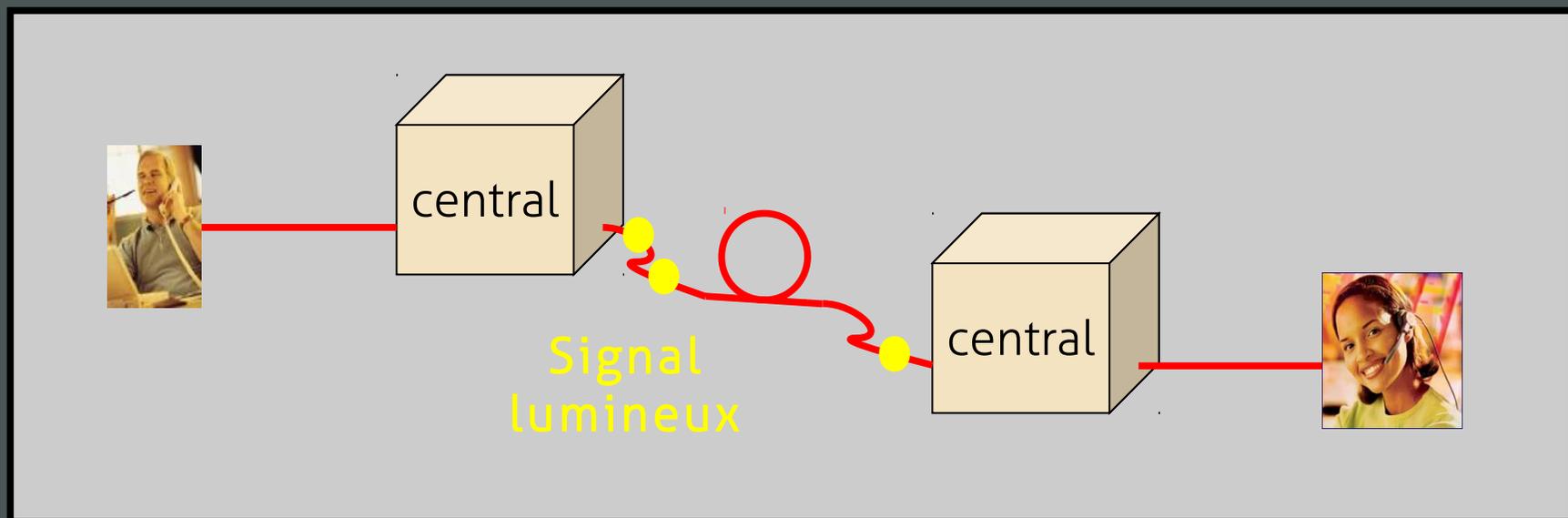
1988 : premier câble transatlantique (TAT8) avec des fibres optiques  
6000 km de fibres  $\leftrightarrow$  160 kg  $\leftrightarrow$  0,074 m<sup>3</sup>, cube de 42 cm de côté !

# TÉLÉCOMMUNICATIONS OPTIQUES

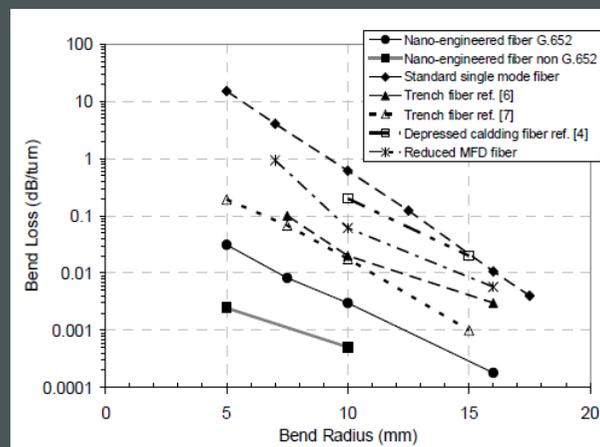


- 1987 : Fibre Amplificatrice dopée  $\text{Er}^{3+}$  (EDFA)  
*E. Desurvire et al., Optics Letters 12(1987)888*  
*R.J. Mears et al., Electronics Letters 23(1987)1026*
- 1995 : TAT12, premier câble transatlantique avec EDFA

# FTTH – FIBRE TO THE HOME



Problème des courbures



M.J. Li et al., OFC(2008)

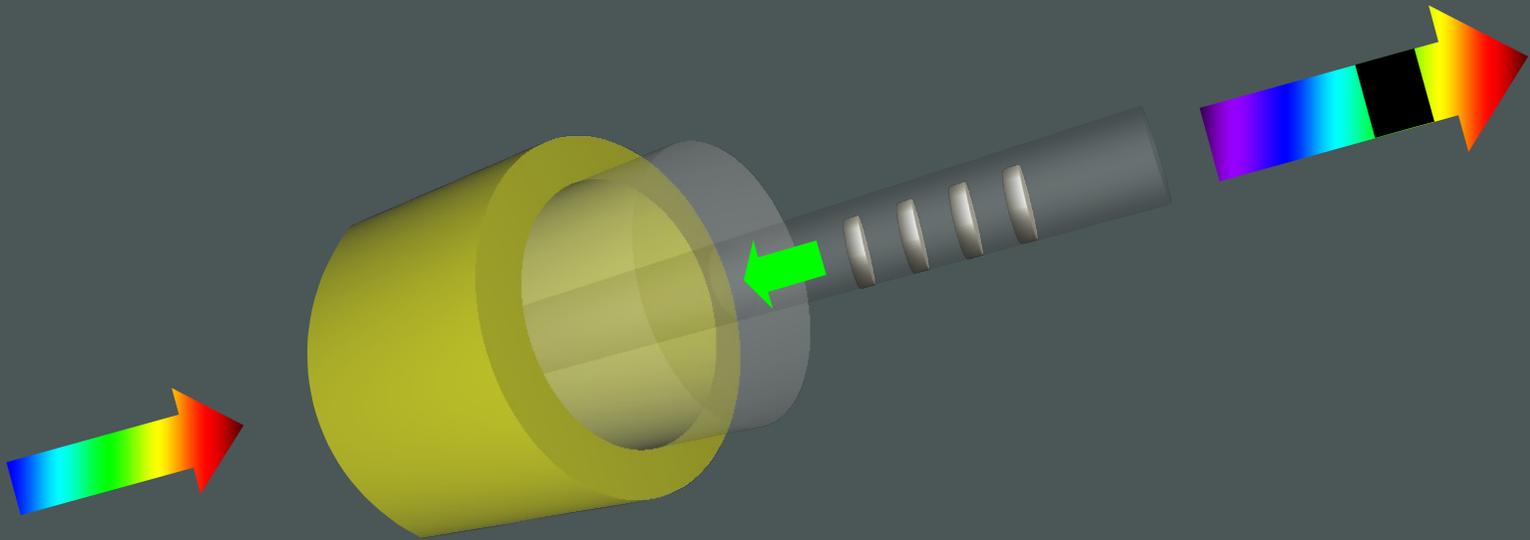
ET APRÈS, FIBRE TO THE HEAD ?

---



# RÉSEAU DE BRAGG

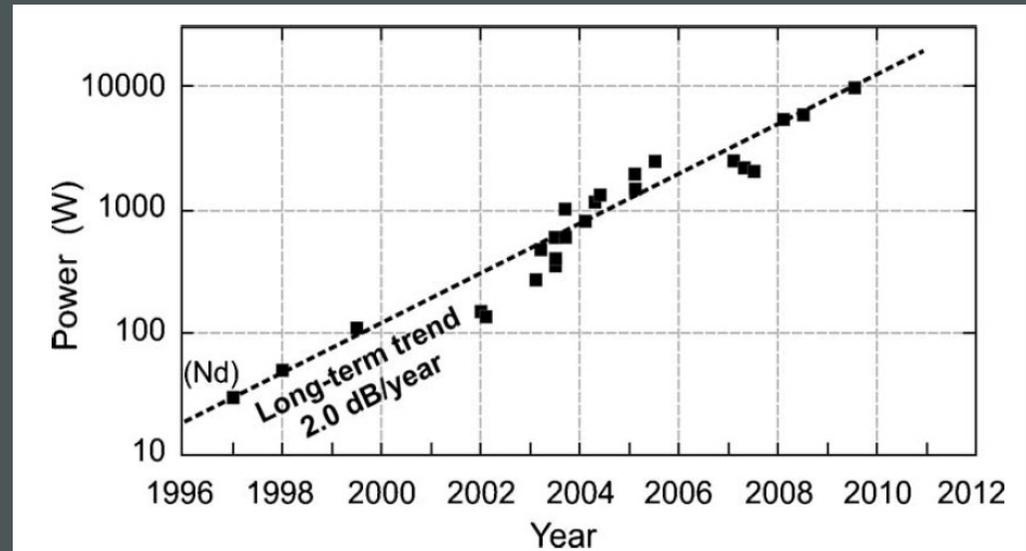
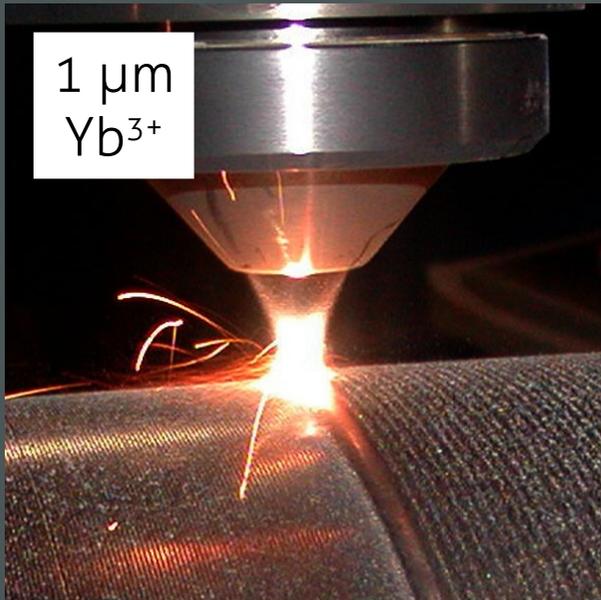
---



$$\lambda_{\text{réfléchié}} = 2 \times n_{\text{eff}} \times \Lambda$$

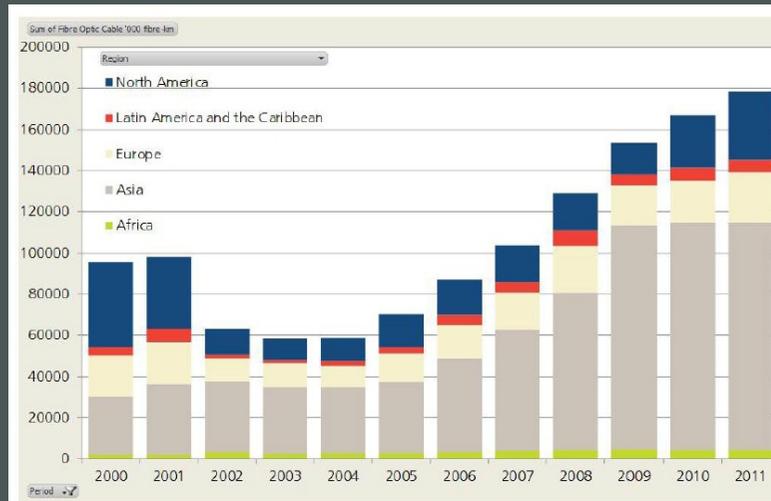
Capteurs, cavités laser, etc

# LASERS À FIBRE DE PUISSANCE



Usinage, marquage, etc

# LE MARCHÉ DES FIBRES OPTIQUES



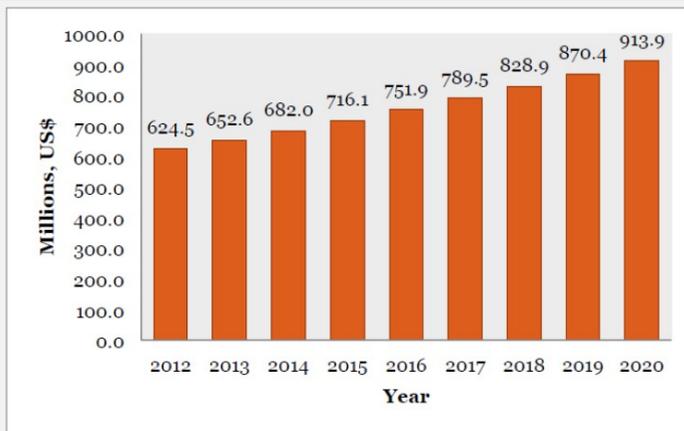
Marché a shifté du long-haul au FTTH

La fibre+ câble représente en général moins de 10% du cout réel de l'installation du système

3.5B\$ en 2011, 4.8B\$ en 2017

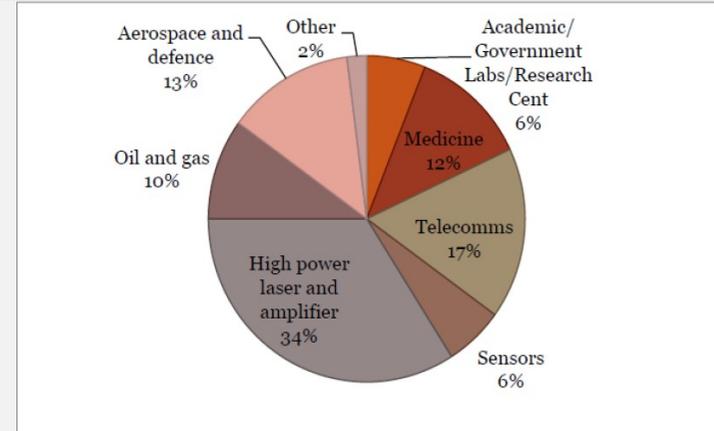
>60% en Asie

Source: Integer



## MARCHÉ DES FIBRES OPTIQUE SPÉCIALES

Source: Future Markets, Inc.

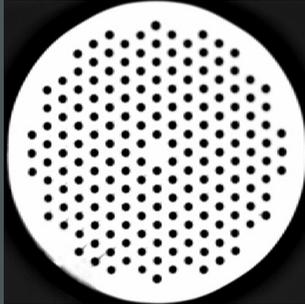


## MARCHÉ DES FIBRES OPTIQUE SPÉCIALES EN 2012

Source: Future Markets, Inc.

## AUTRES STRUCTURES DE GUIDAGE

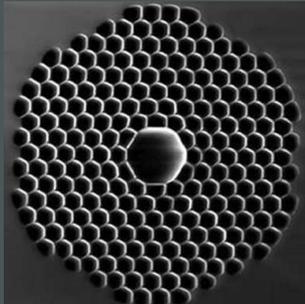
... quand les physiciens font des fibres.



[spie.org/x31636.xml](http://spie.org/x31636.xml)

- Fibres microstructurées  
Guidage RTI

- Fibres photoniques à cœur plein  
Guidage RTI+ «bande interdite»



[spie.org/x31636.xml](http://spie.org/x31636.xml)

- Fibres photoniques à cœur creux  
Guidage purement «bande interdite»

→ Un seul verre !

J.C. Knight et al., Optics Letters 21(1996)1547  
R.F. Cregan et al., Science 285(1999)

# LA SILICE A (HEUREUSEMENT) DES LIMITATIONS

---

Les limitations :

- Transmission pour  $\lambda < 2 \mu\text{m}$
- Nonlinéarités faibles
- Propriétés des ions luminescents (terres rares, métaux de transition)

Les solutions «matériau» :

- Chalcogénures (transmission, nonlinéarités, faible Tg (autres procédés))
- Fluorures (transmission, nonlinéarités, luminescence)
- Nanoparticules (nonlinéarités, luminescence)
- $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (YAG),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (saphir),  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{BaO-SiO}_2$  ( $\searrow$  non-linéarités)

## CONCLUSION

---

- Un développement par l'ultra-transparence
- Recherche interdisciplinaire (matériaux, procédés, optique, ...)
- De très nombreuses applications
- Prédominance de la silice mais besoin de nouveaux matériaux

La fibre optique en France :



GIS Grifon

*Groupement d'Initiatives pour les Fibres Optiques Nouvelles*

ICB, ILM, LPMC, LVC, PhLAM, Xlim

<http://grifon.xlim.fr/>



Photonics Bretagne

Laboratoires & industriels

<http://photonics-bretagne.com/>

