

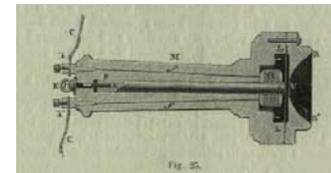
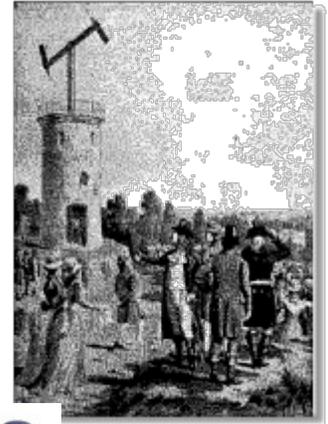
# Les telecommunications optiques

AESS en physique

Bruneel Michaël

# Un peu d'histoire...

- 1790 : **Claude Chappe** invente le télégraphe optique.
- 1820 : Premiers essais de transmission de signaux sur support électrique.
- 1844 : **Samuel Morse** installe première ligne interurbaine (Washington – Baltimore).
- 1865 : Première liaison transatlantique télégraphique.
- 1870 : **James C. Maxwell** démontre que les ondes électromagnétiques voyagent à la vitesse de la lumière aussi bien dans la matière que dans le vide.
- 1876 : **A. Graham Bell** dépose son brevet sur le téléphone.
- 1887 : **Heinrich Hertz** crée des ondes électromagnétiques



■ ■ ■

- 1890 : **Edouard Branly** crée la première antenne radio (tube à limaille ou cohéreur de Branly).
- 1895 : **Guglielmo Marconi** réalise les premières expériences radio.
- 1912 : Naufrage du Titanic, la TSF acquiert une nouvelle aura. (équipement indispensable de tous les navires)
- **1947 : Bardeen, Brattain et Stockley inventent le transistor (Prix Nobel en 1956).**

*Le transistor permet de détecter et d'amplifier les courants électriques et de produire des ondes électromagnétiques à ultra-haute fréquence.*

Conséquences :

- Miniaturisation des composants,
- Augmentation de la fiabilité et
- Numérisation du signal.



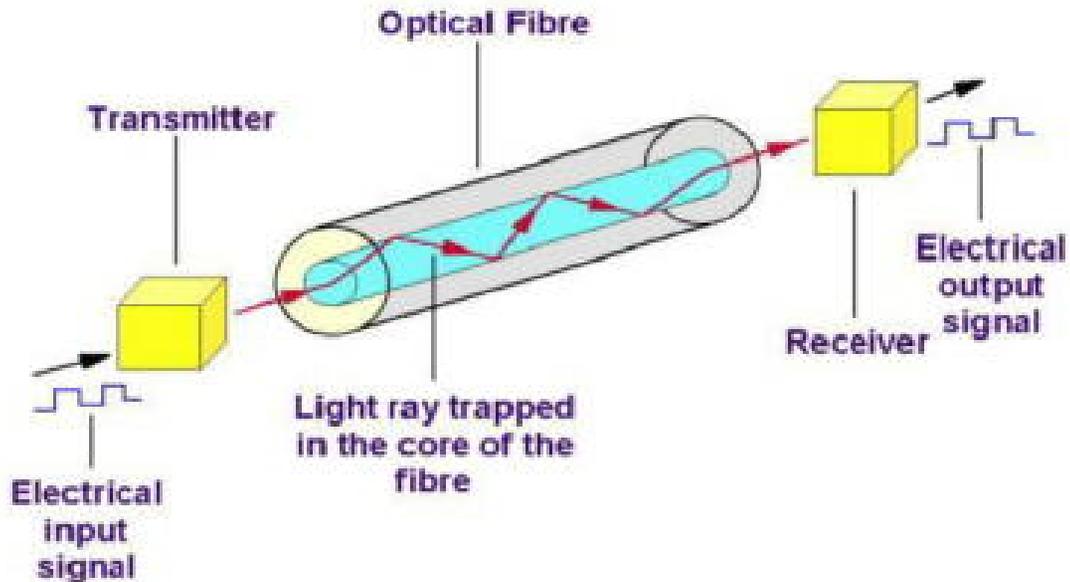
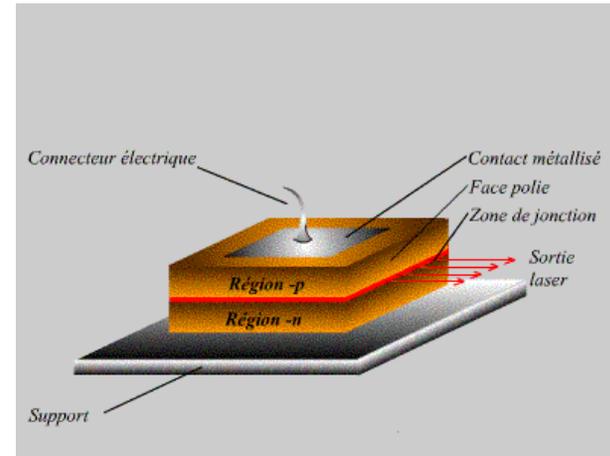
■ ■ ■

- 1951 : Premières communications par voie hertzienne.
- 1960 : **T.H. Maiman** crée le premier laser (ne reçu aucun prix).
- 1961 : Construction du premier satellite de communication (UK, France et USA). Lancement (de Telstar-1) le 10 juillet 1962.
- 1968 : **Vint Cerf** effectue une démonstration de liaison d'ordinateurs par l'ARPA (Advanced Research Project Agency).
- 1991 : World Wide Web développé en Suisse au CERN.
- 1991 : Premier appel gsm (Global System for Mobile communications)
- 1994 : Internet est ouvert au grand public ->boom phénoménal
- ...



# A. Principe

- \* Emetteur : diode laser
- \* Support de transmission : fibre optique
- \* Récepteur : photodétecteur



## B. Avantages

- \* Très faible atténuation sur une grande plage de fréquence
- \* Faible coût de fabrication
- \* Faible encombrement
- \* Augmentation de la distance entre répéteurs
- \* Insensibilité aux perturbations électromagnétiques
- \* Très grande bande passante (12THz)

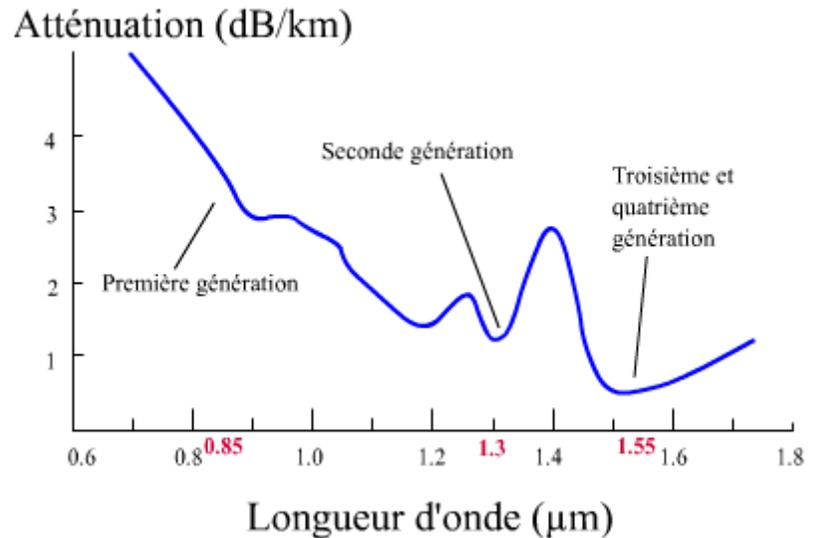
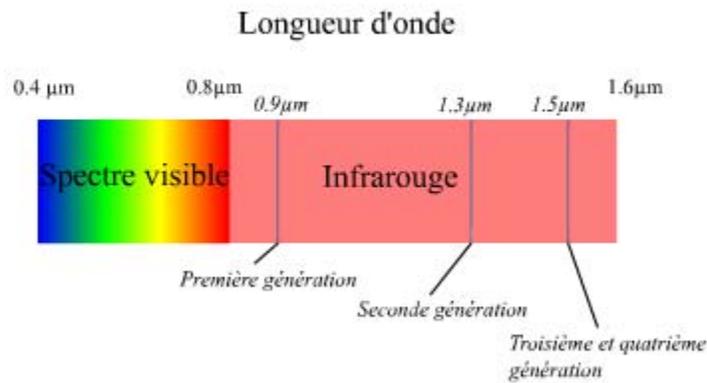


## Tableaux de comparaison entre les différents supports

Support	Paires torsadées	Coax	Ondes radio	Infrarouge	Fibres optiques
<b>Propagation</b>	guidée	guidée	libre/dirigée	dirigée	guidée
<b>Matériau</b>	cuivre	cuivre			silice, polymères
<b>Bpass</b>	KHz-MHz	MHz	GHz	GHz	THz
<b>Atténuation</b>	forte	forte avec fréquence	variable	pb obstacles	très faible
<b>Sensibilité perturbations EM</b>	forte	faible	forte	forte	nulle
<b>Confidentialité</b>	limitée	correcte	nulle	relative	élevée
<b>Transport d'énergie</b>	oui	oui	non	non	expérimental
<b>Coût interface</b>	très faible	faible	assez faible	moyen	élevé
<b>Coût support</b>	très faible	elevé	nul	nul	élevé
<b>Applications</b>	téléphone, réseaux bas et moyens débits, hauts débits courtes distances	réseaux locaux haut débits, vidéo	mobiles, satellites, herztien	télécommande, communications «indoor»	hauts débits longues distances

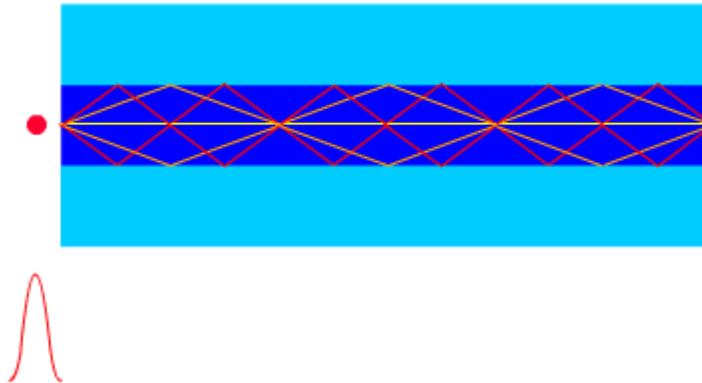
# C. Evolution de la capacité de transmission

Quatre générations de systèmes de télécommunications optiques basés sur des technologies distinctes se sont succédés jusqu'à aujourd'hui.



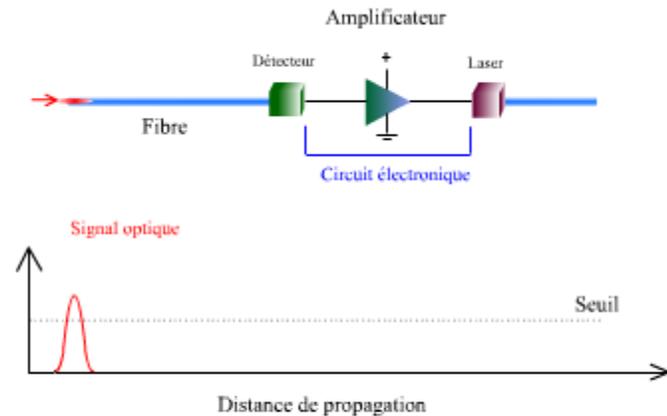
## Système de première génération 1975-1978

- \* Fibres multimodes (limitation intrinsèque de la bande passante)
- \* Utilisation de diodes lasers à  $0.9\mu\text{m}$
- \* Problèmes de dispersion modale
- \* **Débits quelques Gb/s.km**



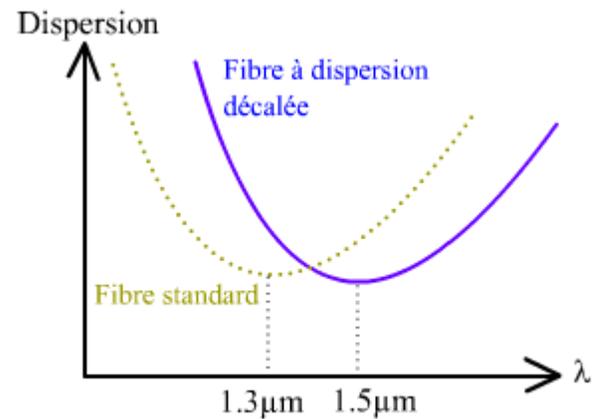
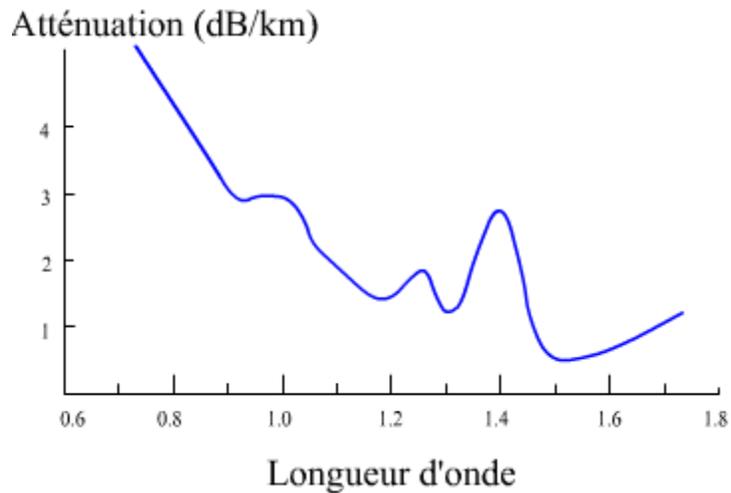
## Système de seconde génération 1978-1983

- \* Fibres unimodales (bande passante pratiquement infinie en théorie),
- \* Utilisation de diodes laser à  $1.3\mu\text{m}$
- \* Plus de problèmes de dispersion modale
- \* Amplification électronique en ligne
- \* **Débits 100 Gb/s.km**



## Système de troisième génération 1983-1989

- \* Fibres à dispersion décalée
- \* Utilisation de diodes lasers à  $1.5\mu\text{m}$
- \* Minimisation de l'atténuation
- \* **Débit 500 Gb/s.km**



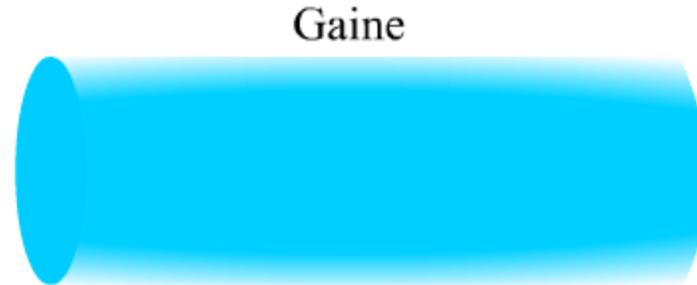
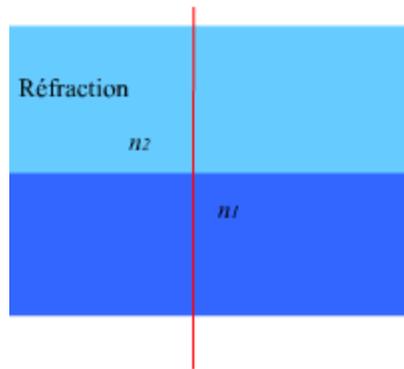
## Système de quatrième génération 1989-2002

- \* Amplificateur à fibre : élimination du problème de l'atténuation
- \* Possibilité d'utiliser simultanément plusieurs longueurs d'ondes sur la même fibre : système WDM
- \* **Débit 100 000 Gb/s.km.**

## D. La fibre optique.

Principe : Pour un angle supérieur à l'angle critique de réfraction ( $i_{\max}$ ) le rayon lumineux est totalement réfléchi.

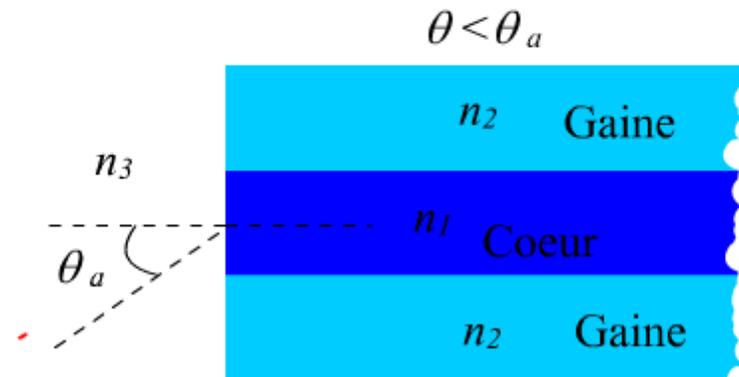
$$n_1 \sin i_i = n_2 \sin i_r \quad (n_1 > n_2)$$



Condition de guidage :

L'angle d'attaque doit être inférieur à  $\theta_a$  pour qu'un rayon lumineux puisse être guidé.

$$\theta_a = \arcsin \left[ \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_3^2} \right]^{1/2}$$

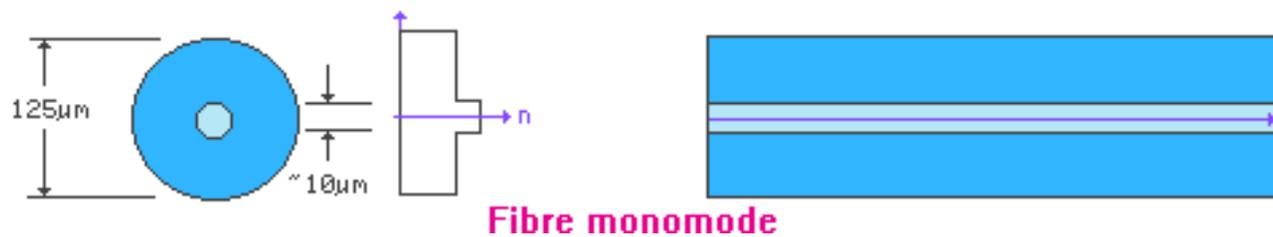
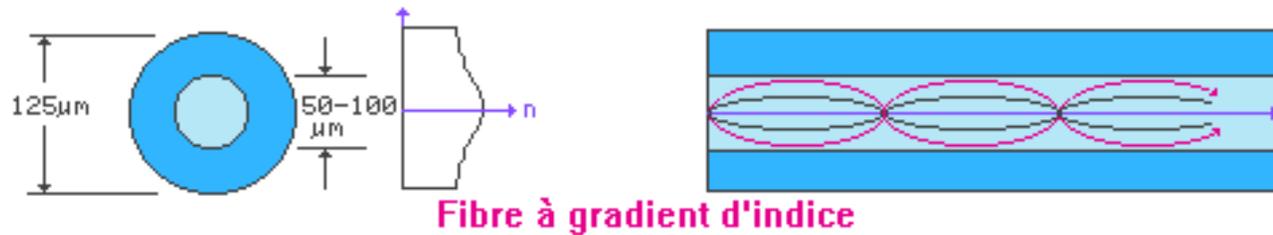


## Composition d'une fibre :

- Le cœur :  $\phi 10\mu\text{m}$  (unimodale),  $\phi 50-200\mu\text{m}$  (multimodale).
- La gaine optique :  $\phi 125-380\mu\text{m}$ .
- La gaine mécanique :  $\phi$  quelque centaines de microns.



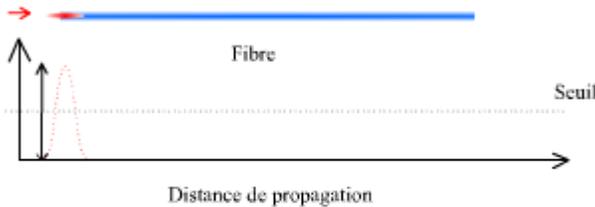
Trois types de fibres :



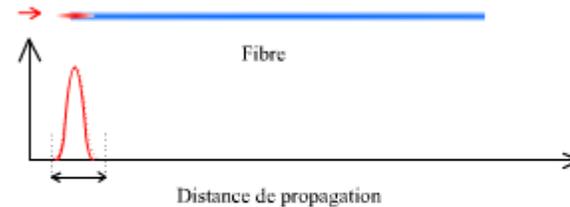
# E. Problèmes liés aux télécommunications optiques

Deux problèmes essentiels :

l'atténuation



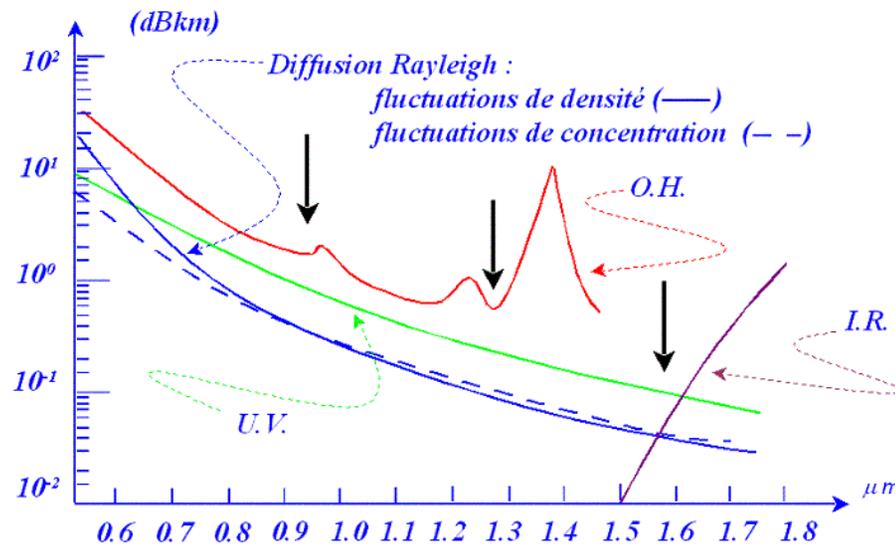
la dispersion.



# L'atténuation : diminution de puissance du signal transmis

## Origines :

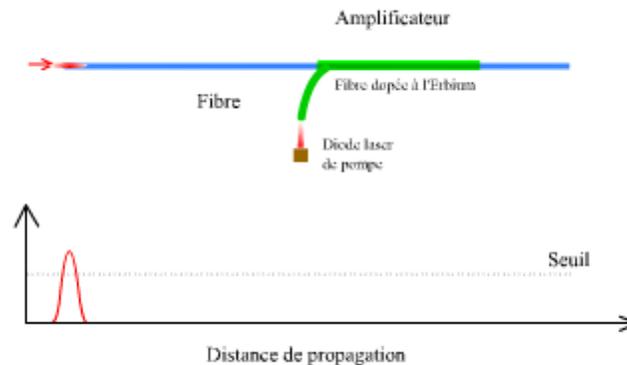
- Les pertes intrinsèques du matériau (la silice)
- Les défauts ponctuels sur les fibres
- Les pertes de connexion.



## Pour contrer l'atténuation:

- Amplification électronique : bande passante limitée
- Amplificateur optique EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier ou amplificateur à fibre dopée à l'erbium) : Bande passante très supérieure à celle de l'électronique.

Amplifie ponctuellement et simultanément les signaux aux différentes longueurs d'onde



# EDFA :

Les ions Erbium sont excités par les longueurs d'onde suivantes :  
514 , 532 , 667 , 800 , 980 , 1480 nm

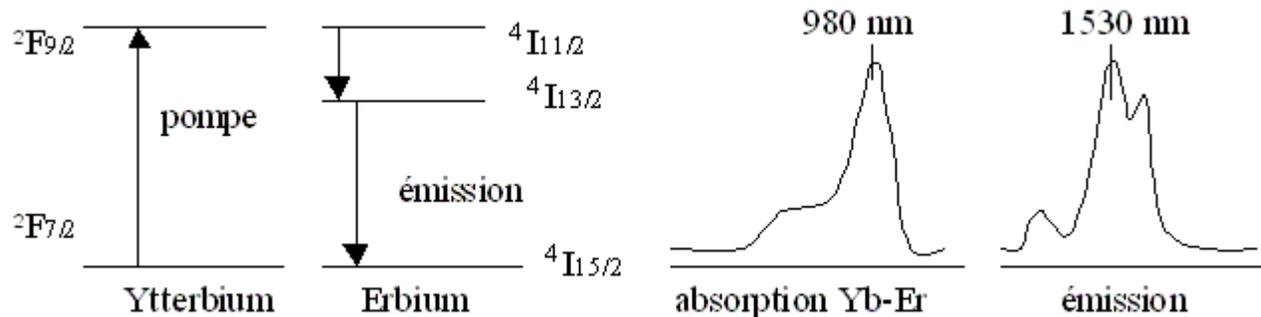
Si ces longueurs d'onde parcourent la fibre dopée , les ions Erbium se trouvent excités à un niveau d'énergie supérieur , il y a alors une émission stimulée

-> **effet Raman stimulé.**

Signal de pompe produit par une source laser puissante à 3 W de 980 ou 1480 nm



Signal télécom faible issu d'un laser (100-250 mW) vers 1550 nm

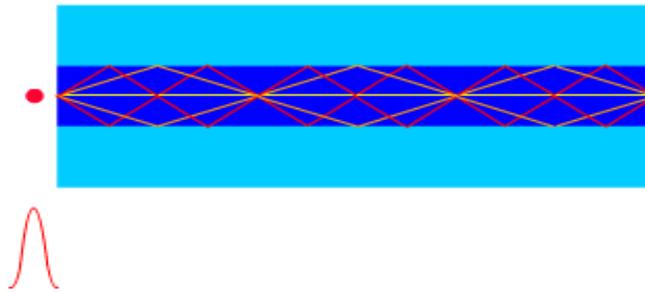


La dispersion : L'impulsion, tout en se propageant, s'étale.

-> Limite la distance de propagation et le débit

Origines :

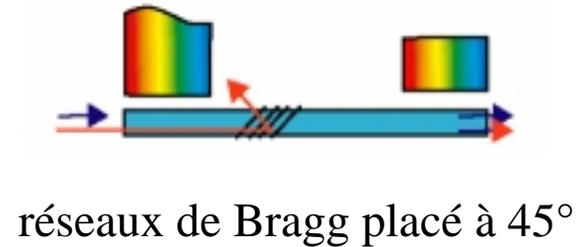
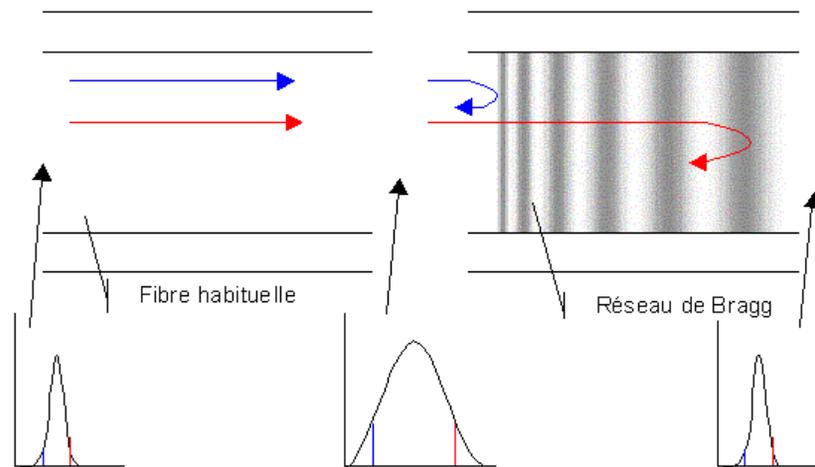
- Intrinsèque : les impulsions optiques n'étant pas strictement monochromatiques, les différentes composantes spectrales ne se propagent pas à la même vitesse.
- Modale : Inhérente aux fibres multimodes.



- De polarisation : dû au fait que la fibre n'est pas parfaitement circulaire

# Correction de la dispersion chromatique :

par l'utilisation d'un réseau de Bragg à pas variable qui ralentit les longueurs d'onde les plus rapides.



Le réseau de Bragg est inscrit dans la fibre par holographie ou bien par chauffage , tension ou pression , sur un segment de quelques centimètres

## F. Le multiplexage.

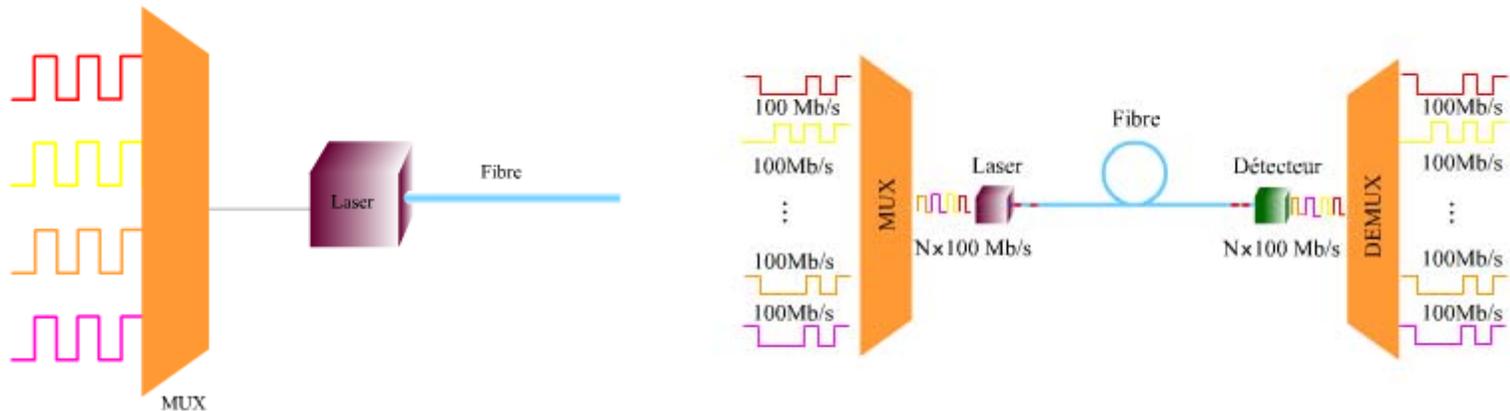
Le multiplexage consiste à envoyer sur une même ligne de transmission des informations provenant de sources différentes.

Deux techniques :

- Multiplexage temporel (TDM)
- Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

# Multiplexage temporel (TDM)

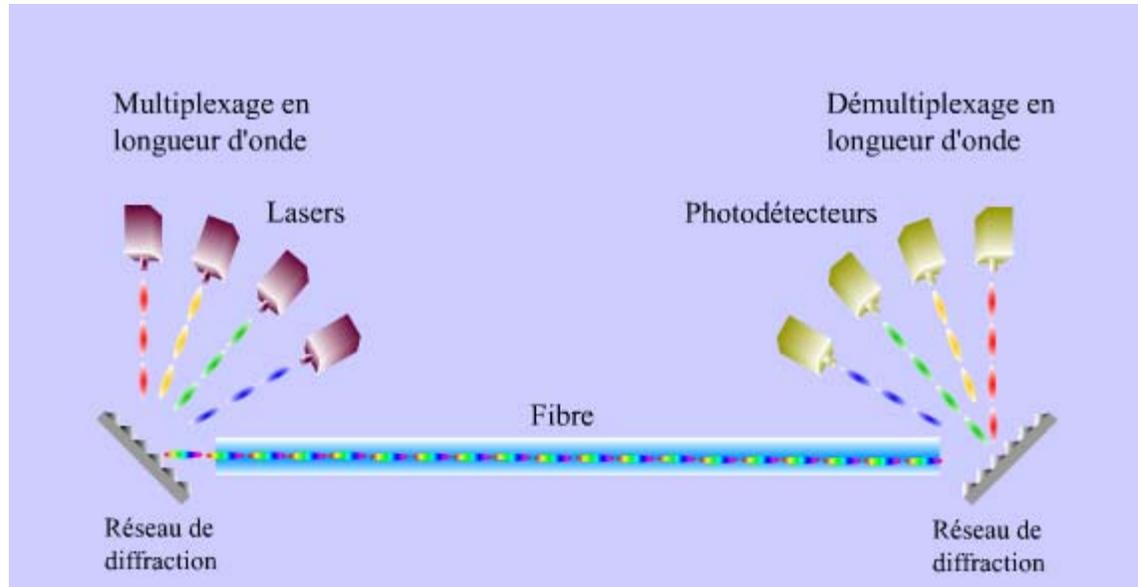
Echantillonnage des signaux de différentes voies à faibles débits et transmissions successives de ceux-ci sur une voie à haut débit en allouant la totalité de la bande passante.



Limite technologique : débit maximum de 5 Gb/s par modulation directe de la source ou de 40 Gb/s par modulation externe.

# Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

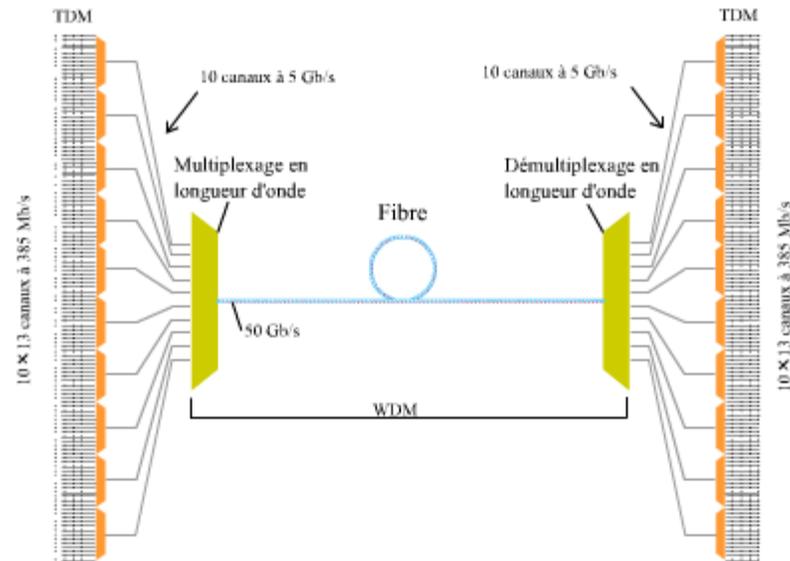
Acheminement de plusieurs longueurs d'ondes sur une même fibre, chaque longueur d'onde correspondant à un canal de transmission .



Limite technologique : la bande passante de l'amplificateur à fibre à l'Erbium qui est de l'ordre de 50-60THz.

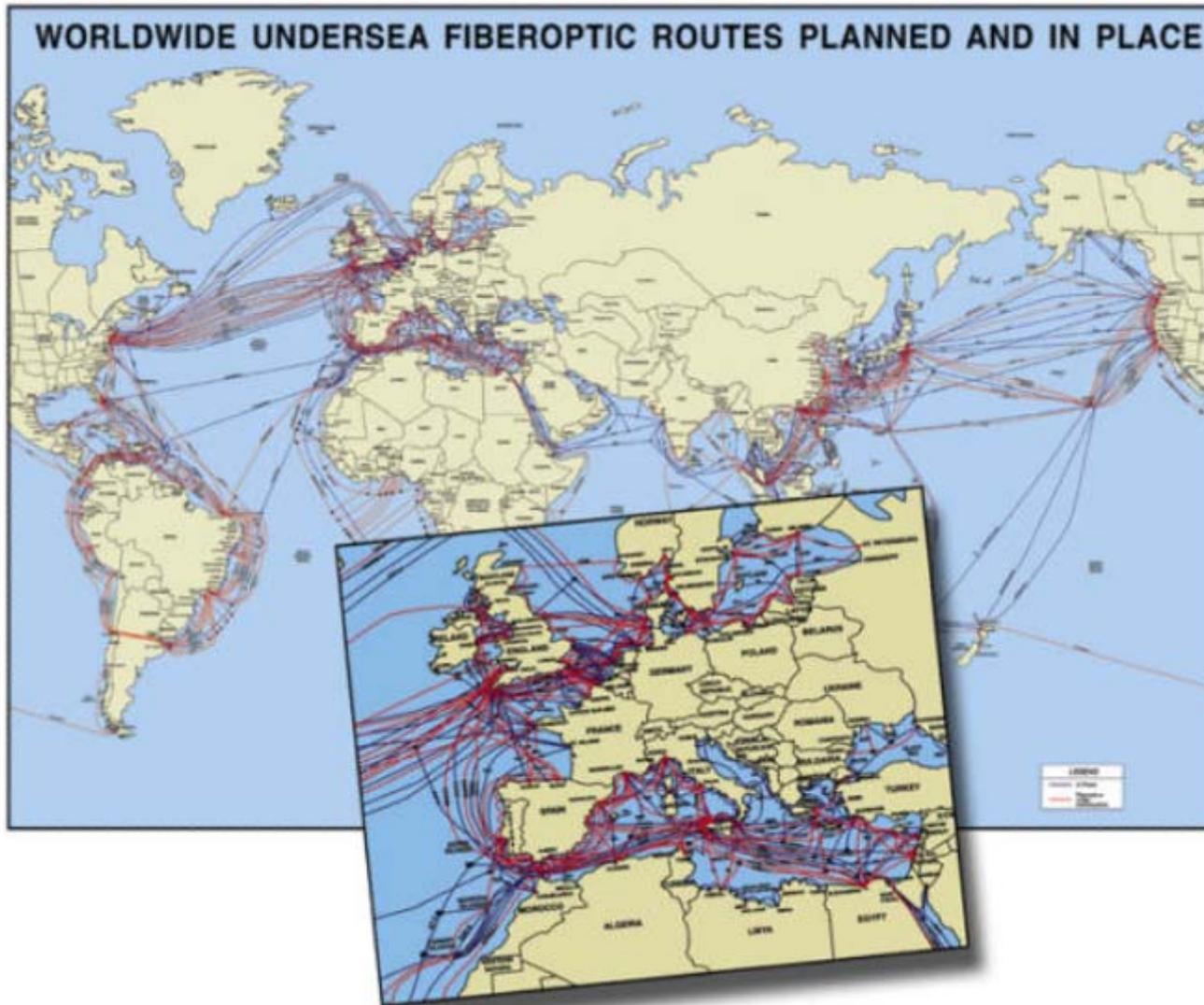
## Systeme TDM/WDM :

Les systemes modernes de telecommunications optiques associent ces deux techniques pour atteindre les tres hauts debits.



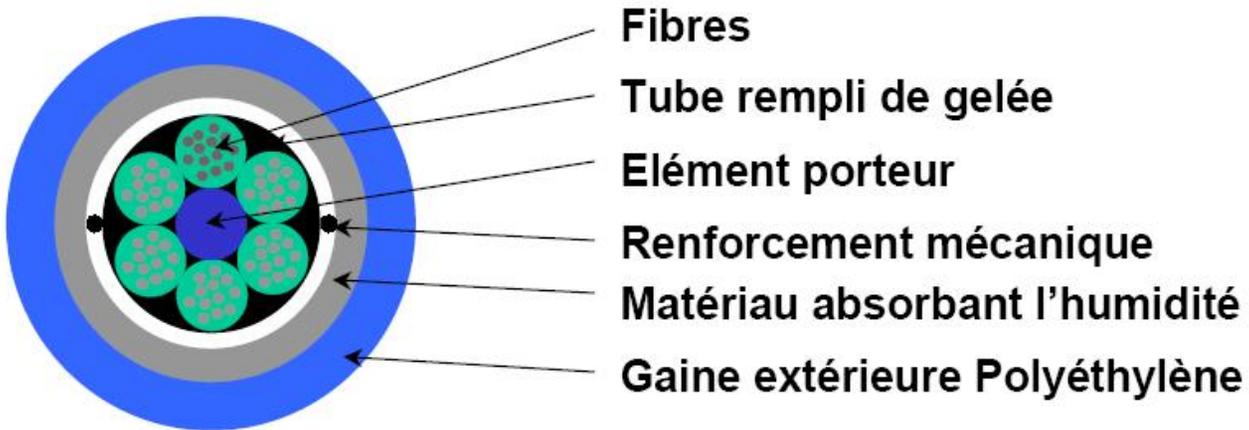
En pratique on atteint actuellement (2002) un debit de 5 Tb/s avec 125 canaux a 40 Gb/s sur 1500km (ce qui equivaut a 80 millions d'appels telephoniques ou plus de 500 000 connexions Internet ADSL )

## G. Aperçu du réseaux



## H. Vieillessement des fibres optiques

Corrosion par l'humidité d'une fibre de silice non protégée la rend très cassante en qqs heures.



Durée de vie ~25 ans

# I. Bibliographie.

- ILIAS open source de L'université de Cologne :

<http://www.ilias.uni-koeln.de/ios/index-e.html>

- Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) :

<http://www.cnam.fr>

- Cours sur la fibre optique , Mr Gérald BRUN (maître de conférence à l'Université de St Etienne , labo TSI )

- France Télécom

- Alcatel