

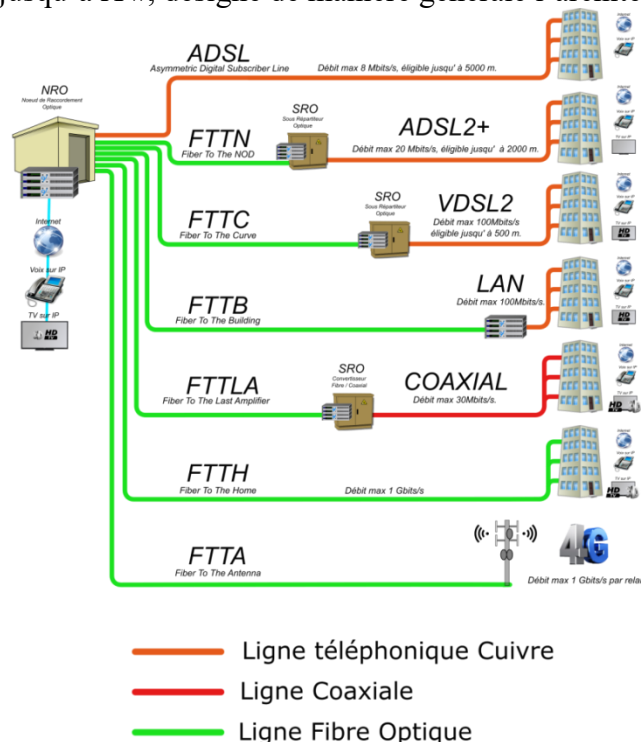
MODULE 6 : « OPTIQUE »COURS SUR LES FIBRES OPTIQUESExtrait du programme :

- Définir l'indice optique d'un milieu.
- Appliquer les lois de la réflexion et de la réfraction d'un faisceau lumineux.
- Présenter le phénomène de réflexion totale.
- Définir les différents types de fibres optiques.
- Définir l'ouverture numérique et la vitesse de groupe.
- Exploiter les caractéristiques d'une fibre optique : bande passante, atténuation linéique.

**1. Introduction :**

- La fibre optique est utilisée, depuis une vingtaine d'année, pour des liaisons longues distances à haut débit.
- L'état français a lancé le projet THD (Très Haut Débit), visant à couvrir 100% du territoire français en très haut débit avant 2022. Cela correspond à un débit descendant de minimum 30Mbits/s. Cela ne veut pas dire que 100% des foyers seront raccordés, mais qu'ils seront éligibles au THD.

Que l'on traduit par « la Fibre jusqu'à X », désigne de manière générale l'architecture du réseau fibre optique.

**FTTN : Fiber To The Nod**

Que l'on traduit par « la fibre jusqu'au nœud », désigne l'architecture du réseau fibre optique allant du **Nœud de Raccordement Optique (NRO)** jusqu'au **Sous Répartiteur Optique (SRO)**. Des convertisseurs « fibre vers cuivre » sont installés dans le SRO. Cela permet de réduire la longueur du réseau cuivre et d'assurer une montée en débit de la connexion.

**FTTC : Fiber To The Curve**

Que l'on traduit par « la fibre jusqu'au trottoir », désigne l'architecture du réseau fibre optique allant du NRO jusqu'à un SRO matérialisé par une armoire de rue sur le trottoir. Des convertisseurs « fibre vers cuivre » sont installés dans le SRO. Cela permet de réduire la longueur du réseau cuivre et d'assurer une montée en débit de la connexion.

**FTTB : Fiber To The Building**

Que l'on traduit par « la fibre jusqu'au bâtiment », désigne l'architecture du réseau fibre optique allant du NRO jusqu'aux entreprises et bâtiments d'activité tertiaire pour utiliser **un réseau local** (LAN) ensuite.

**FTTLA Fiber To The Last Amplifier**

Que l'on traduit par « la fibre jusqu'au dernier amplificateur », désigne l'architecture du réseau fibre optique allant du NRO jusqu'à un local ou une armoire rue, contenant du matériel actif. Ce dernier assure la conversion du signal vers **un réseau coaxial**. Ce réseau est connu en France, puisqu'il est déployé depuis longtemps par la société Numéricable.

**FTTH Fiber To The Home**

Que l'on traduit par « la fibre jusqu'à la maison », désigne l'architecture du réseau fibre optique allant du NRO jusqu'à l'abonné.

**2. Notions de Base en optique :****2.1. Indice optique :**

La vitesse de la lumière est de  $C_0 = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$  dans le vide.

Par contre, dans un milieu transparent homogène, sa vitesse dépend de l'indice optique de celui-ci :

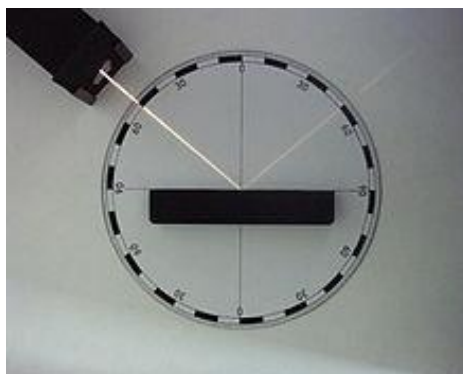
Milieu transparent	n
Air	1.0003
Eau	1.333
Plexiglas	1.50
Verre au plomb	1.90
Diamant	2.417

La vitesse de propagation a pour expression :  $C = \frac{C_0}{n}$  avec : C et  $C_0$  en  $\text{m.s}^{-1}$   
n sans unité.

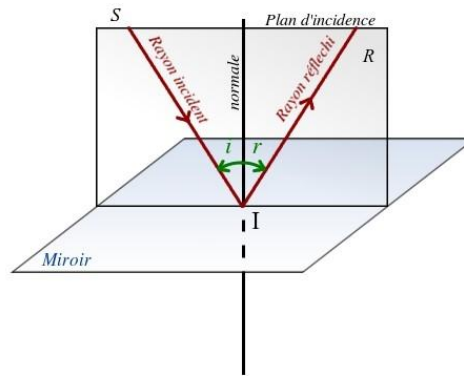
Questions : Déterminer pour chacun des milieux transparents, la vitesse de propagation de la lumière.

**2.2. Loi de la Réflexion :**

Mise en œuvre expérimentale :

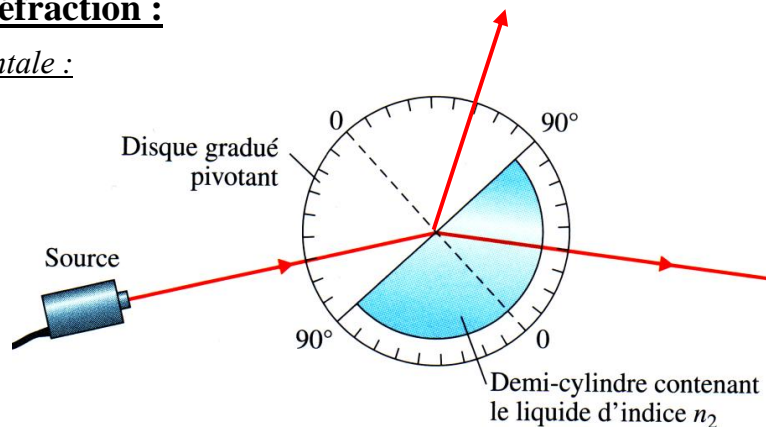
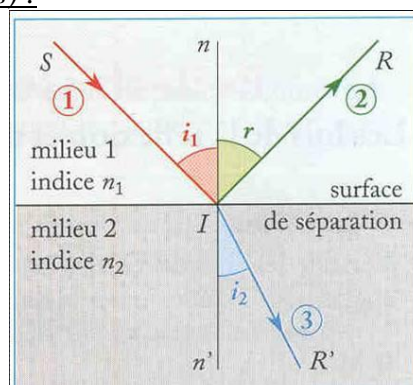


Exploitation :

Loi de réflexion :

- Les rayons incident et réfléchi sont dans un même plan appelé **plan d'incidence**.
- La relation entre l'angle d'incidence,  $i$  et l'angle de réflexion,  $r$  est :

$$i =$$

**2.3. Loi de la Réfraction :**Mise en œuvre expérimentale :Exploitation :Loi de la réfraction (de Snell-Descartes) :

- Les rayons incident, réfléchi et réfracté sont dans un même plan appelé **plan d'incidence**.
- La relation entre l'angle d'incidence,  $i_1$  et l'angle de réfraction,  $i_2$  est :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = \dots\dots\dots$$

## 2.4. La réflexion totale :

Mise en œuvre expérimentale : Proposer une solution afin d'avoir une réflexion totale (pas de rayon réfracté) entre deux milieux d'indice différent.

Conditions d'obtention d'une réflexion totale :

- L'indice optique du milieu 1 doit être .....à l'indice du milieu 2. ( $n_1 > n_2$ )
- L'angle d'incidence  $i_1$  doit être supérieur à l'angle limite,  $i_m$  avec  $i_m =$

## 3. Les fibres optiques :

### 3.1. Historique :

Voir la vidéo : [Histoire des télécommunications et de la Fibre optique - YouTube](#)

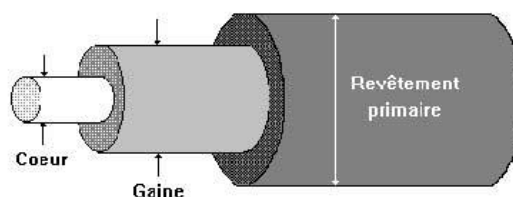
### 3.2. Présentation :

La fibre optique est un fil de verre très fin, qui a la propriété d'être un excellent conducteur de la lumière. Elle offre un débit nettement supérieur à ceux des paires cuivre torsadé ou du coaxial.

Elle accepte également une très large bande passante ce qui permet d'y faire circuler à la fois des données informatiques, de la téléphonie, de la télévision,...

Une fibre optique est un cylindre en silice (ou en plastique) composée :

- D'une partie centrale, le cœur.
- D'une partie périphérique, la gaine.
- D'une enveloppe protectrice, le revêtement primaire.

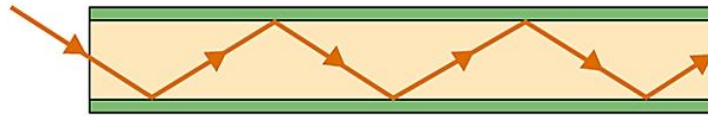


Remarque : La vitesse de propagation dépend de l'indice optique du cœur de la fibre optique.

### 3.3. Principe :

Mise en évidence expérimentale : Expliquer ce qui se passe pour le rayon lumineux.

La fibre utilise la réflexion totale entre deux milieux d'indice différent.



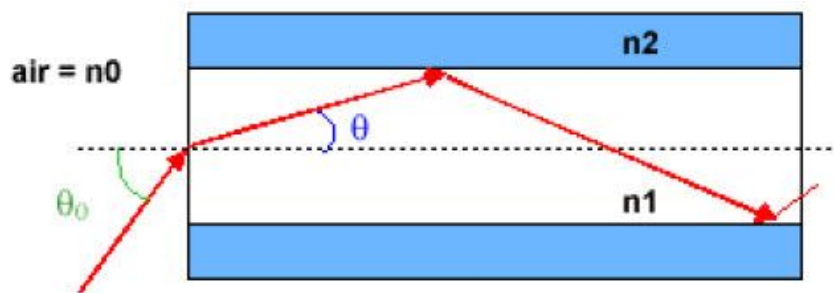
### 3.4. Principales caractéristiques :

#### 3.4.1. L'ouverture numérique :

L'ouverture numérique, ON, d'une fibre optique a pour expression :

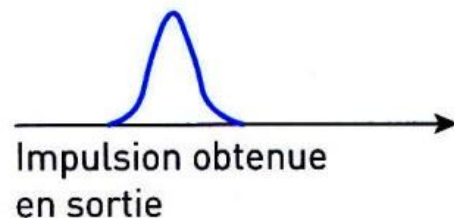
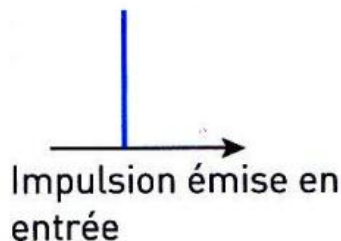
$$ON = \sin\theta_0$$

$\theta_0$ , étant la valeur maximale de l'angle d'un rayon incident au-delà duquel il n'y a plus de réflexion totale sur la gaine. (cf schéma ci-dessous)



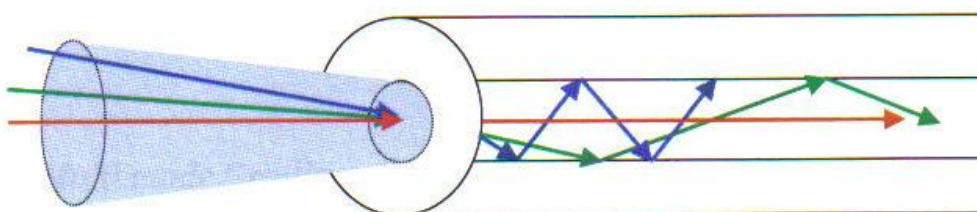
#### 3.4.2. La dispersion et la vitesse de groupe :

- Une impulsion lumineuse à l'entrée d'une fibre génère une multitude de rayons (appelés modes) qui n'arrivent pas en même temps à la sortie ; **C'est la dispersion** :

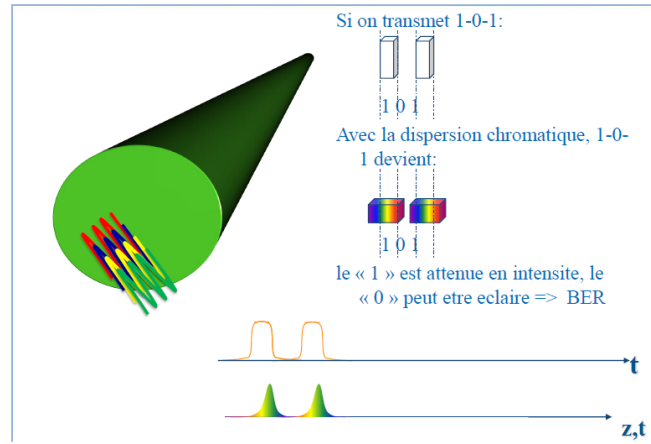


Cette dispersion est de **deux natures** :

- **La dispersion modale** : différence des temps de propagation entre les modes, que l'on peut assimiler à des rayons lumineux monochromatiques (constitués d'une seule longueur d'onde).

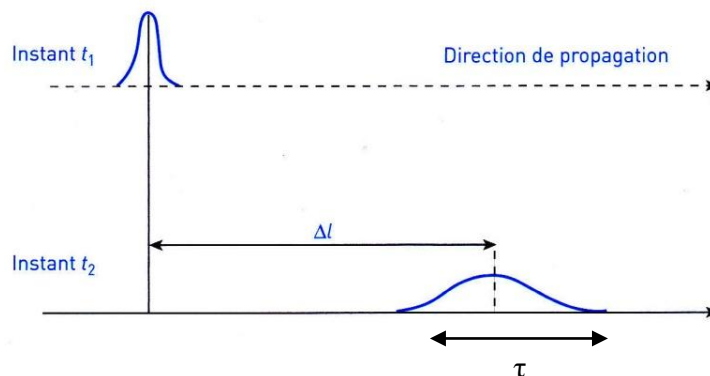


- **La dispersion chromatique** : différence des temps de propagation des radiations selon les longueurs d'onde composant le spectre de l'émetteur optique (polychromatiques).



Remarque : Deux ondes de longueurs différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse.

- La **vitesse de groupe** correspond à : 
$$v_g = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$
 avec :  $v_g$  : vitesse de groupe (en m.s<sup>-1</sup>)  
 $\Delta l$  : distance entre l'émission et la réception (en m)  
 $\Delta t = t_2 - t_1$  : temps entre l'émission et la réception (en s)



Remarque :  $\tau$  est proportionnel à la longueur de la fibre.

### 3.4.3. La bande passante :

La **durée entre deux bits** du côté récepteur ne peut pas être **inférieure à  $\tau$**  (sinon pas de distinction entre les bits), cela engendre donc une bande passante de la fibre.



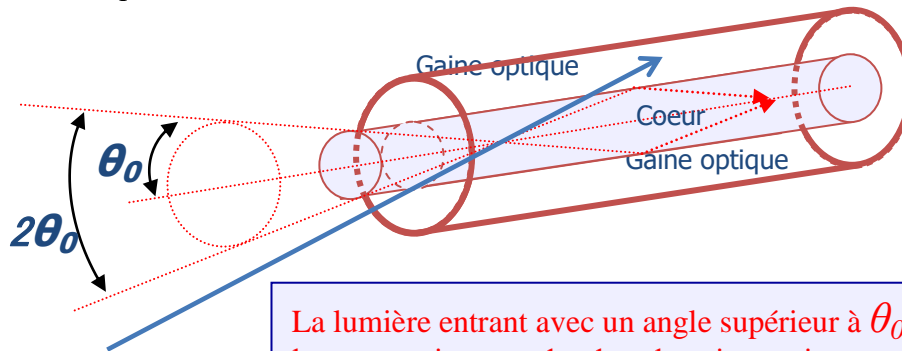
On définit souvent la Bande passante pour un 1km :  $\boxed{BP(1km) = BP * L = C^{te}}$  (**Attention à l'unité en MHz.km**)

Remarque : La bande passante est **inversement proportionnelle** à la longueur de la fibre.



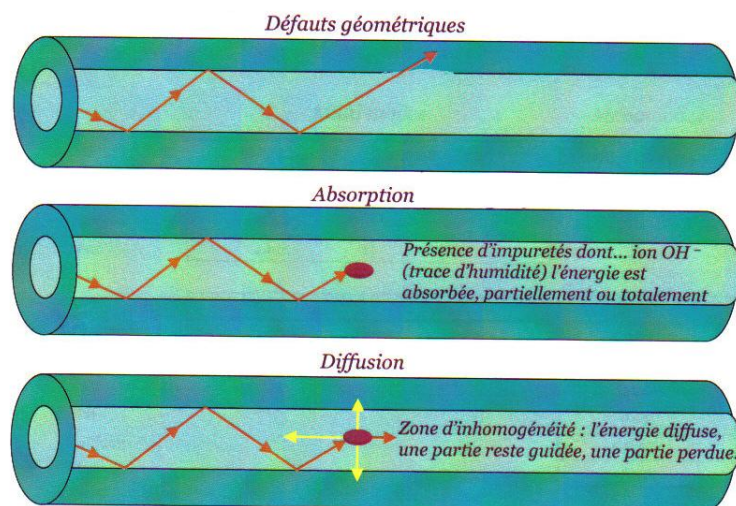
### 3.4.4. L'atténuation du signal :

- On appelle atténuation le fait que la puissance lumineuse diminue au cours de sa propagation dans une fibre.
- Les principales causes d'atténuations majeures sont :
  1. L'ouverture numérique

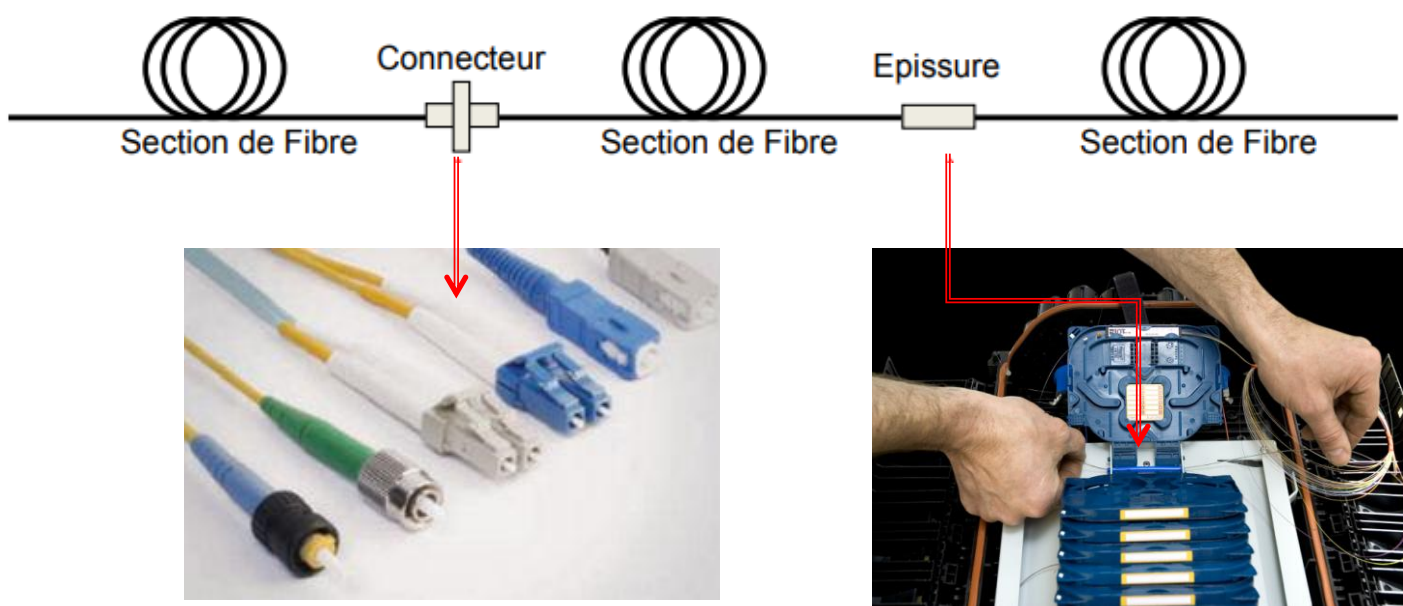


La lumière entrant avec un angle supérieur à  $\theta_0$  ne sera pas réfléchi dans le cœur mais se perdra dans la gaine optique.

2. Les défauts géométriques, l'absorption des photons et la diffusion



3. Courbures et pertes dues aux connecteurs et aux soudures (Epissures)



**3.4.5. L'atténuation linéique :**

Rappel : l'atténuation correspond à l'opposé du gain ( $Att = -G$ )

Question : A partir de la relation du gain en puissance, retrouver l'atténuation linéique.

L'atténuation linéique est pour relation :

$$Att_l = \frac{10}{l} \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right)$$

avec :  $Att_l$  : Atténuation linéique (en  $\text{dB.m}^{-1}$ )  
 $P_e$  : puissance à l'entrée de la fibre (en W)  
 $P_s$  : puissance à la sortie de la fibre (en W)  
 $l$  : longueur de la fibre (en m)

Remarque :

Le calcul peut se faire directement avec les niveaux de puissance en entrée ( $N_{Pe}$ ) et sortie ( $N_{Ps}$ ) (exprimée en dBm)

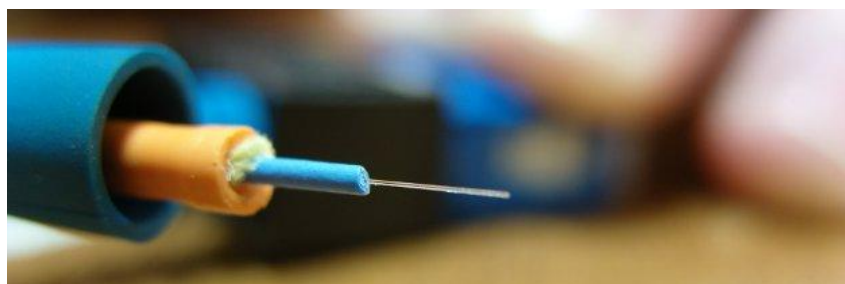
$$Att_l = \frac{N_{Pe} - N_{Ps}}{l}$$

**3.5. Différents types de fibres :**

Pour les transmissions de données **longues distances** (câble constitué de **plusieurs fibres**), on utilise principalement de **la Silice** ( $\text{SiO}_2$ ) ; La silice peut-être **dopée** avec du Germanium ( $\text{GeO}_2$ ) ou du Phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) pour **augmenter sensiblement l'indice optique** du cœur.



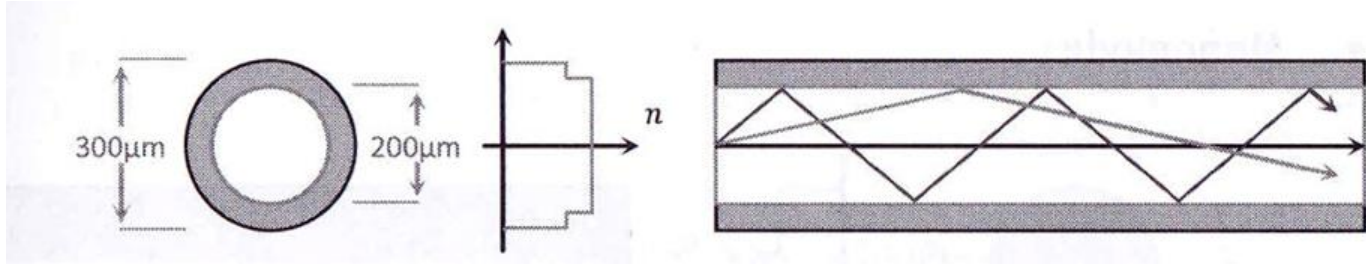
Pour les transmissions **courtes distances « monofibre »**, on utilise plutôt le **plastique** (plus économique).





### 3.5.1. Fibre multimodes à saut d'indice : (presque plus utilisée de nos jours)

L'indice du cœur,  $n_1$ , est constant et supérieur à l'indice de la gaine,  $n_2$ . Les rayons se propagent en ligne droite et subissent une réflexion totale sur la gaine.



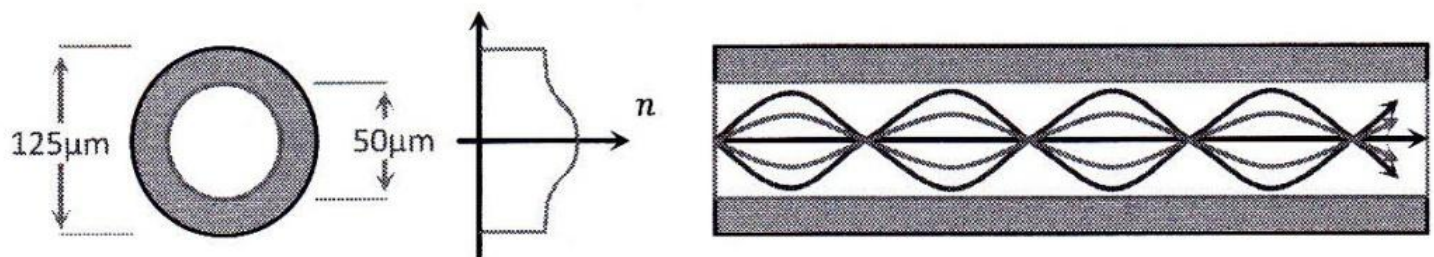
#### Caractéristiques :

- Cœur :  $\varnothing 200\mu\text{m}$ , gaine :  $\varnothing 300\mu\text{m}$
- Bande passante limitée :  $BP = 60\text{Mbit.s}^{-1}$  pour 1 km
- Ouverture Numérique :  $ON \approx 0.21$  soit  $2\theta_0 \approx 24^\circ$
- Atténuation faible :  $Att=3\text{dB.km}^{-1}$  à  $\lambda=0.85\mu\text{m}$

Avantages/Inconvénients : Faible prix et facile à mettre en œuvre  
Bande passante faible

### 3.5.2. Fibre multimode (OM) à gradient d'indice : (utilisé en courtes distances)

L'indice au centre rejoint progressivement celui de la gaine



#### Caractéristiques :

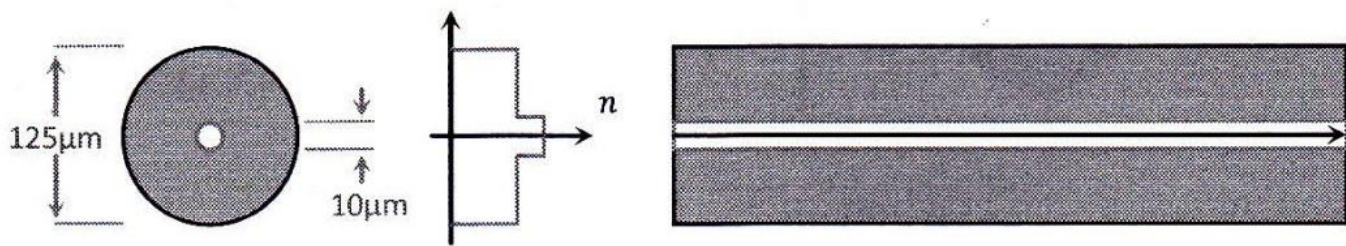
- Cœur :  $\varnothing 50\mu\text{m}$  ou  $\varnothing 100\mu\text{m}$ , gaine :  $\varnothing 125\mu\text{m}$
- Bande passante limitée :  $BP = \text{qlq Gbit.s}^{-1}$  pour 1 km
- Ouverture Numérique :  $ON_{\text{max}} \approx 0.26$  soit  $2\theta_0 \approx 30^\circ$  au centre et quasi nulle près de la gaine.
- Atténuation faible :  $Att=3\text{dB.km}^{-1}$  à  $\lambda=0.85\mu\text{m}$

#### Avantages/Inconvénients :

- La fibre multimode fonctionne aux longueurs d'onde de 850 et 1300 nm, elle est utilisée pour des réseaux locaux de type : réseau d'entreprise.
- Elle permet de transmettre des signaux jusqu'à 10Gbits sur une distance de 300m.
- La fibre multimode nécessite l'utilisation d'un actif intégrant une Led comme source lumineuse, ce qui rend le coût de l'actif abordable.

**3.5.3. Fibre monomode (OS) :** (utilisé par les opérateurs de télécoms en longues distances)

Le diamètre est extrêmement faible et tous les rayons se propagent parallèlement à l'axe.

Caractéristiques :

- Cœur : Ø5μm à Ø10μm, gaine : Ø125μm
- Bande passante très élevée : BP = qlq Tbit.s<sup>-1</sup> pour 1 km
- Ouverture Numérique très faible
- Atténuation très faible : Att=0.5dB.km<sup>-1</sup> à λ=1.3μm

Avantages/Inconvénients :

- La fibre monomode fonctionne aux longueurs d'onde de 1310 et 1550 nm, elle est utilisée pour le transport de données sur des grandes distances, c'est ce type de fibre qui relie l'internet mondial.
- Elle permet de transmettre un signal jusqu'à 10 Gbits sur une distance de 40 km.
- En revanche, la fibre monomode nécessite l'utilisation d'un actif intégrant une source optique de type Laser, ce qui rend le coût de l'actif très élevé.
- Tout le déploiement du réseau fibre jusqu'à l'abonné se fait en fibre monomode, du central jusqu'à l'opérateur.

**3.5.4. Synthèse :****Mono Mode**

- ⇒ Idéal pour les longues distances (télécom)
- ⇒ Utilisé aux longueurs d'ondes 1310nm, 1490nm, 1550nm et 1625nm.
- ⇒ Coûts de transmission élevés (laser)
- ⇒ Bande passante importante.

**Multi Mode**

- ⇒ Idéal pour les réseaux courtes distances (informatique, sécurité)
- ⇒ Utilisé aux longueurs d'ondes 850nm et 1300nm
- ⇒ Coût de transmission 2 à 4 fois moins importants que pour les fibres monomodes (Led)
- ⇒ Bande passante plus basse que celle obtenue avec les fibres monomodes.

### 3.6. Choix d'une fibre optique :

FIBRE OPTIQUE DEBITS ET DISTANCES			OM1 62,5/125	OM2 50/125	OM3 50/125	OS1 9/125
			BANDE PASSANTE			
			200-500Mhz	500Mhz	500-1500Mhz	>10 GHz
Protocole Ethernet	Débit	Longueur d'onde (λ)	DISTANCE MAXIMALE			
10BaseFL	10 Mbit/s	850nm	3000m	3000m	3000m	--
100BaseFX	100 Mbit/s	1300nm	5000m	5000m	5000m	--
1000BaseSX	1 Gbit/s	850nm	275m	550m	550m	5000m
1000BaseLX	1 Gbit/s	1300nm	550m	550m	550m	--
10GBaseS	10 Gbit/s	850nm	33m	82m	300m	--
10GBaseL	10 Gbit/s	1310nm	--	--	--	10km
10GBaseLX4*	10 Gbit/s	1310nm	300m	300m	300m	10km
10GBaseE	10 Gbit/s	1550nm	--	--	--	40km

\* signal multiplexé x4

Sources : OM PATCH ; IEEE ; TIA ; ISO

### 3.7. Comparaisons avec une liaison filaire en cuivre :

- La Fibre a une plus grande bande passante
- La Fibre a une plus faible atténuation
- La Fibre n'est pas affectée par les interférences électromagnétiques
- La Fibre n'émet pas de perturbations électromagnétiques
- La Fibre est plus petite et plus légère
- Elle permet un bon isolement galvanique