

Supports de transmission

CHAPITRE 4

Différents types des supports de transmission

Responsable du module: H.MEBTOUCHE

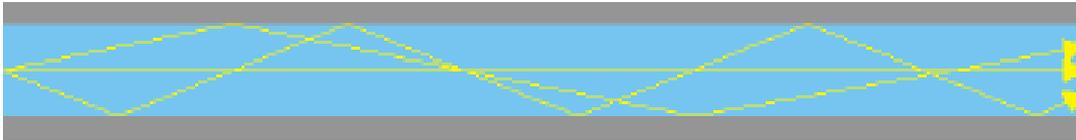
LES CÂBLES ET LA TRANSMISSION



Chapitre 5: Principaux supports de transmission

2 type de support :

- Supports avec un guide physique :
 - **Paire téléphonique / torsadée**
 - **Câble coaxial**
 - **Fibre optique**



- Supports sans guide physique:
 - **Faisceau hertzien**
 - **Liaison satellite**
 - ...

Introduction

1. Un peu d'histoire
2. Motivations liées à l'étude de la fibre optique
3. Bases stratégiques de la structuration adoptée

I. Les Fibres optiques

1. Structure d'une Fibre Optique
2. Différents types de fibres optiques
3. Grandeurs caractéristiques des fibres optiques
4. Limitations des fibres optiques
5. Fiabilité de la fibre optique
6. Vieillessement de la fibre optique
7. Transmission sur fibre optique

II. Technologie environnantes

1. Les connexion:

- Câbles optiques ou câblage
- Élément de raccordement des fibres optiques
- Exemples des connecteurs

2. Couplage

- Liaison optique et problème de couplage
- Couplage laser-fibre
- Rendement de couplage

3. Mesure sur fibre optique

III. Les application de la fibre optique

1. Fibre optique sous marins
2. EDFA (Amplificateur à fibre dopée Erbium)
3. WDM (Wavelength Division Multiplexing)

2. Motivations liées à l'étude de la fibre optique

La fibre optique est un fil de verre, entouré d'une gaine "réfléchissante". Sa propriété principale est de servir de "tuyau" dans lequel on peut faire circuler de la lumière.

Une question qui se pose: Pourquoi donc essayer de transporter de l'information numérique de cette manière ? Qu'est-ce qu'on y gagne ?

Aujourd'hui, tout le monde court après les moyens de transports d'information numérique, connexion à l'Internet oblige.

2. Motivations liées à l'étude de la fibre optique

Incroyable mais vrai.... la fibre optique

Aussi mince qu'un cheveu mais très résistante

- ☐ Petite taille et petit poids

Transparente et rapide

- ☐ L'information se déplace

Très faible atténuation (0.1dB/km)

- ☐ Peut être utilisée sur des très longues distances

Très large bande passante (25 THz)

- ☐ Enormement d'information

Sécurité électrique :

- ☐ Isolation entre terminaux, insensible et non génératrice de parasites....

3. Bases stratégiques de la structuration adoptée

Les préalables ci-dessus nous ont amenés à penser que la finalité recherchée peut être atteinte si le cours peut permettre de répondre de façon claire et précise aux trois questions fondamentales suivantes :

- 1°) Qu'est-ce qu'une fibre optique ?
- 2°) A quoi ça sert ?
- 3°) comment s'en sert-on ?

Ces questionnements élémentaires nous semblent mieux cerner une réelle approche utilitaire qui privilégie une connaissance approfondie et une expérimentation bien maîtrisée de la fibre optique.

Les avantages de la fibre

Les télécommunications modernes font largement appel aux fibres optiques car celles-ci présentent de très grands avantages par rapport aux câbles en cuivre.

- Faible atténuation
- Légèreté
- Grande bande passante
- Sécurité
- Guide insensible aux rayonnements

Les inconvénients résident surtout dans le domaine de la fragilité et du coût.

Technologies

Il existe deux grandes technologies de fibres optiques:

- La fibre de verre
- La fibre plastique

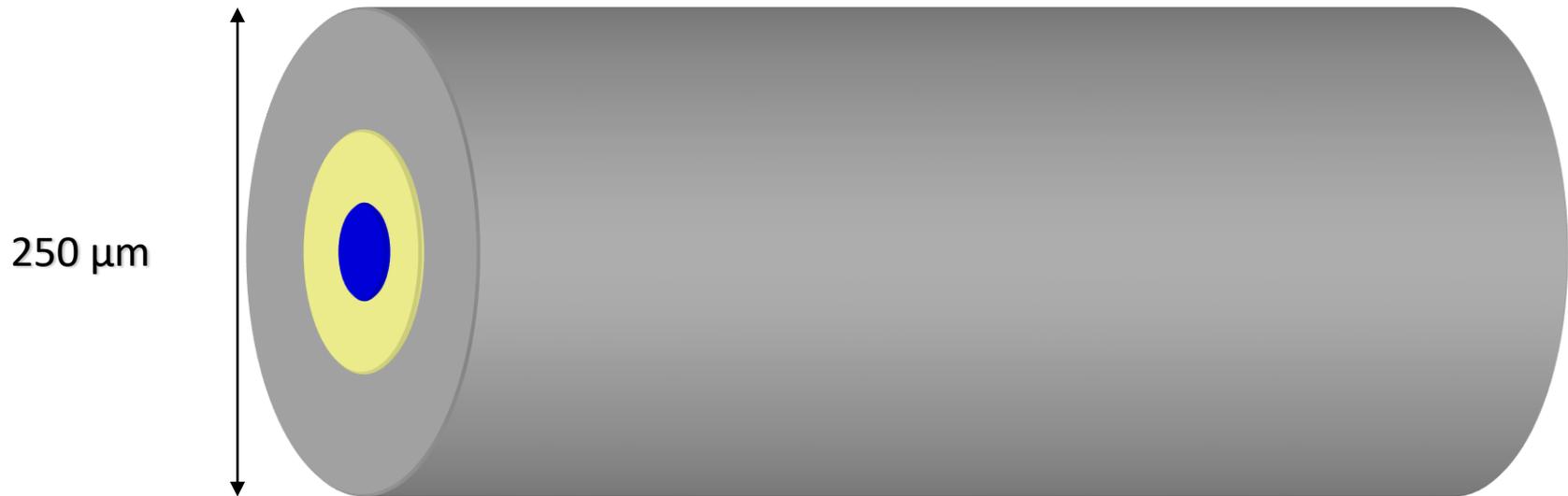
La fibre plastique a un usage limité (éclairage et liaison très courte distance). Pour des transmissions haut-débit utilisées dans les télécommunications, seule la fibre de silice apporte des performances intéressantes.

C'est pourquoi, dans la suite de cette formation, seule la fibre de verre sera étudiée.

Structure

La fibre nue

Elle est composée de deux parties concentriques distinctes:

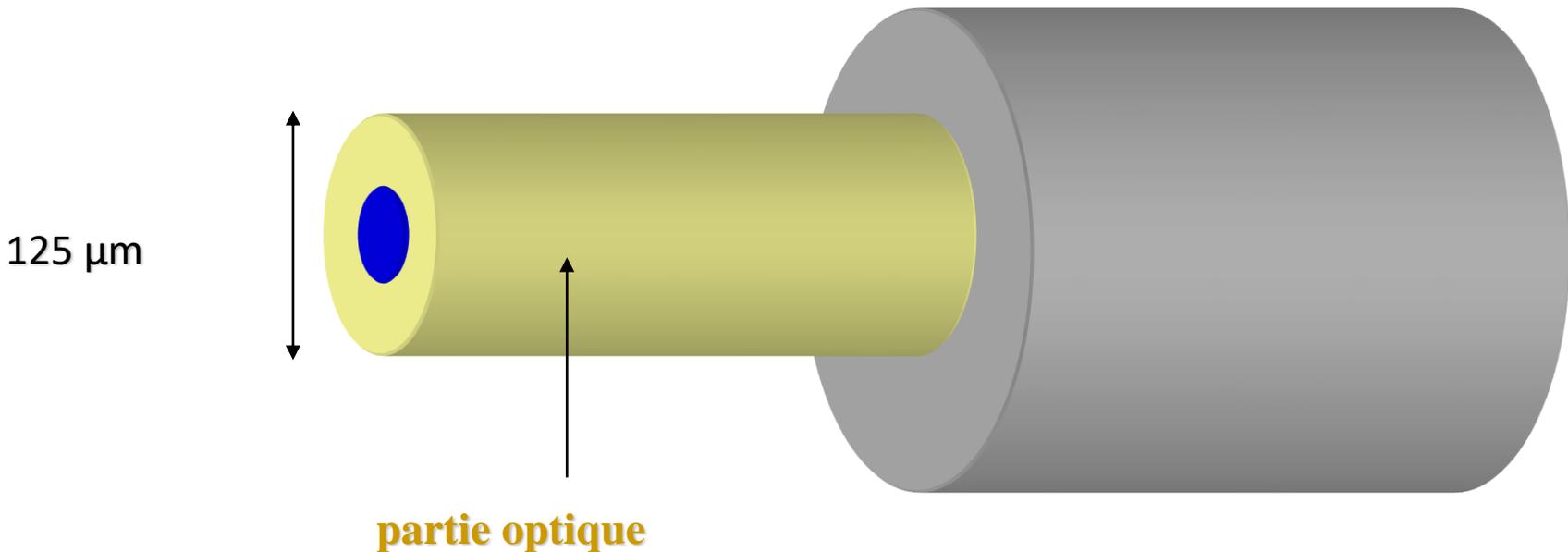


Structure

La fibre nue

Elle est composée de deux parties concentriques distinctes:

- une **partie optique** qui canalise et propage la lumière

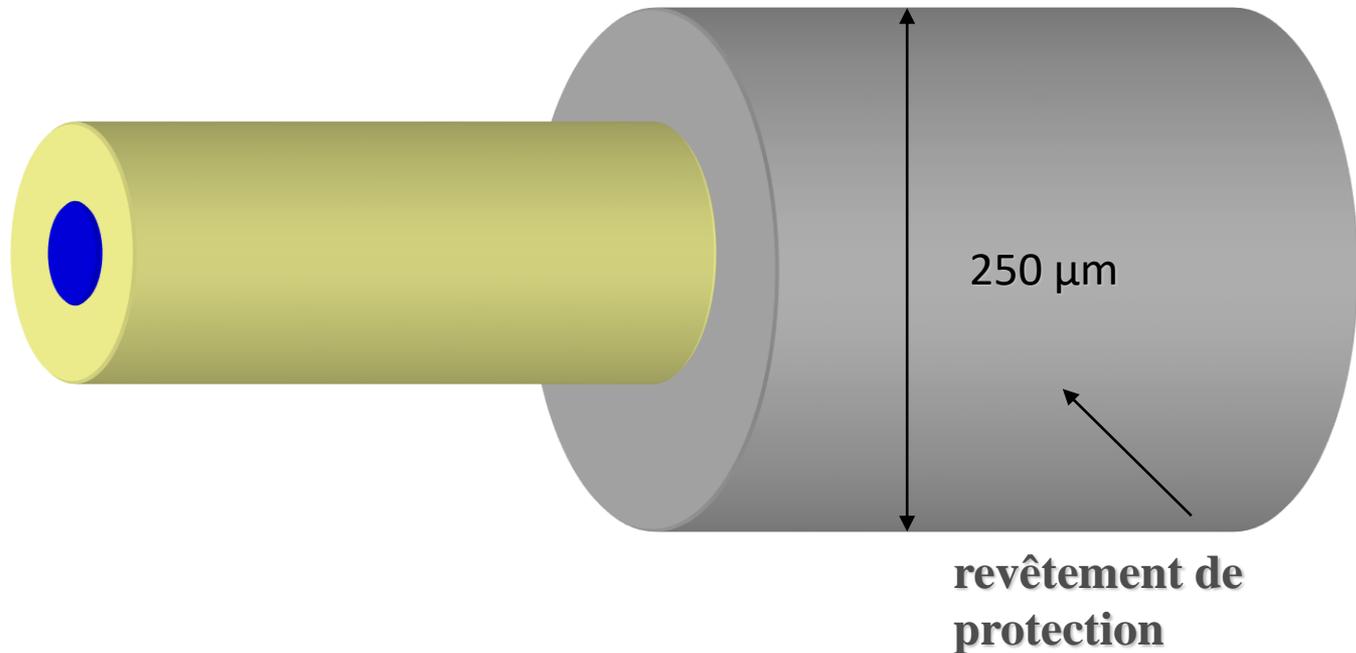


Structure

La fibre nue

Elle est composée de deux parties concentriques distinctes:

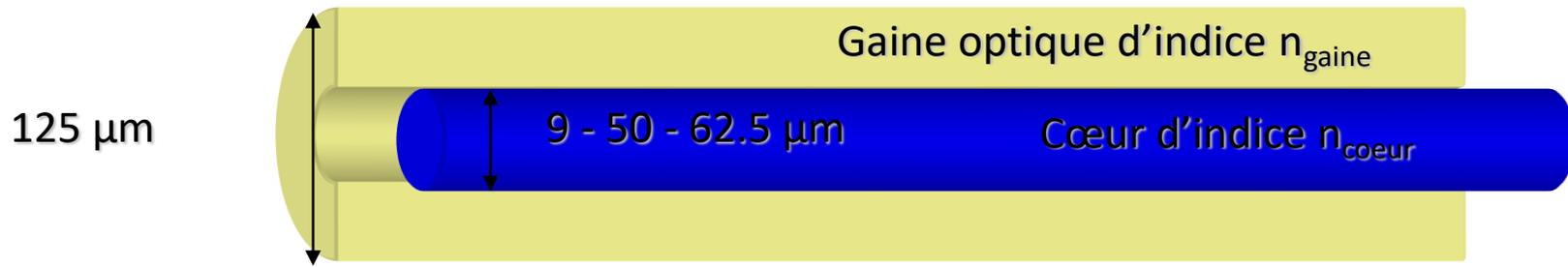
- une **couche de protection** mécanique appelée revêtement primaire (coating) sans fonction de propagation



Structure

Coupe de la partie optique de la fibre

La partie optique, qui propage la lumière, est constituée de deux couches concentriques indissociables:



- Le cœur optique (**Core**) composé de silice dans lequel se propagent les ondes optiques.
- La gaine optique (**Cladding**) composée en général du même matériau que le cœur mais dopée différemment. Elle confine les ondes optiques dans le cœur.

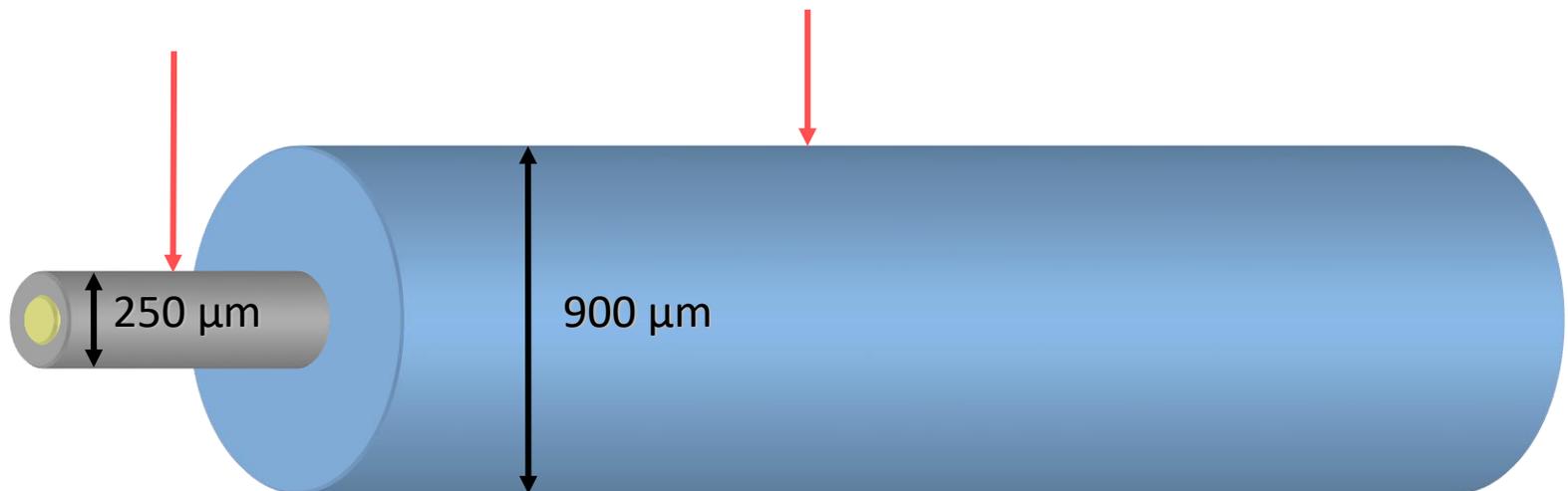
Structure

Des gaines de protection

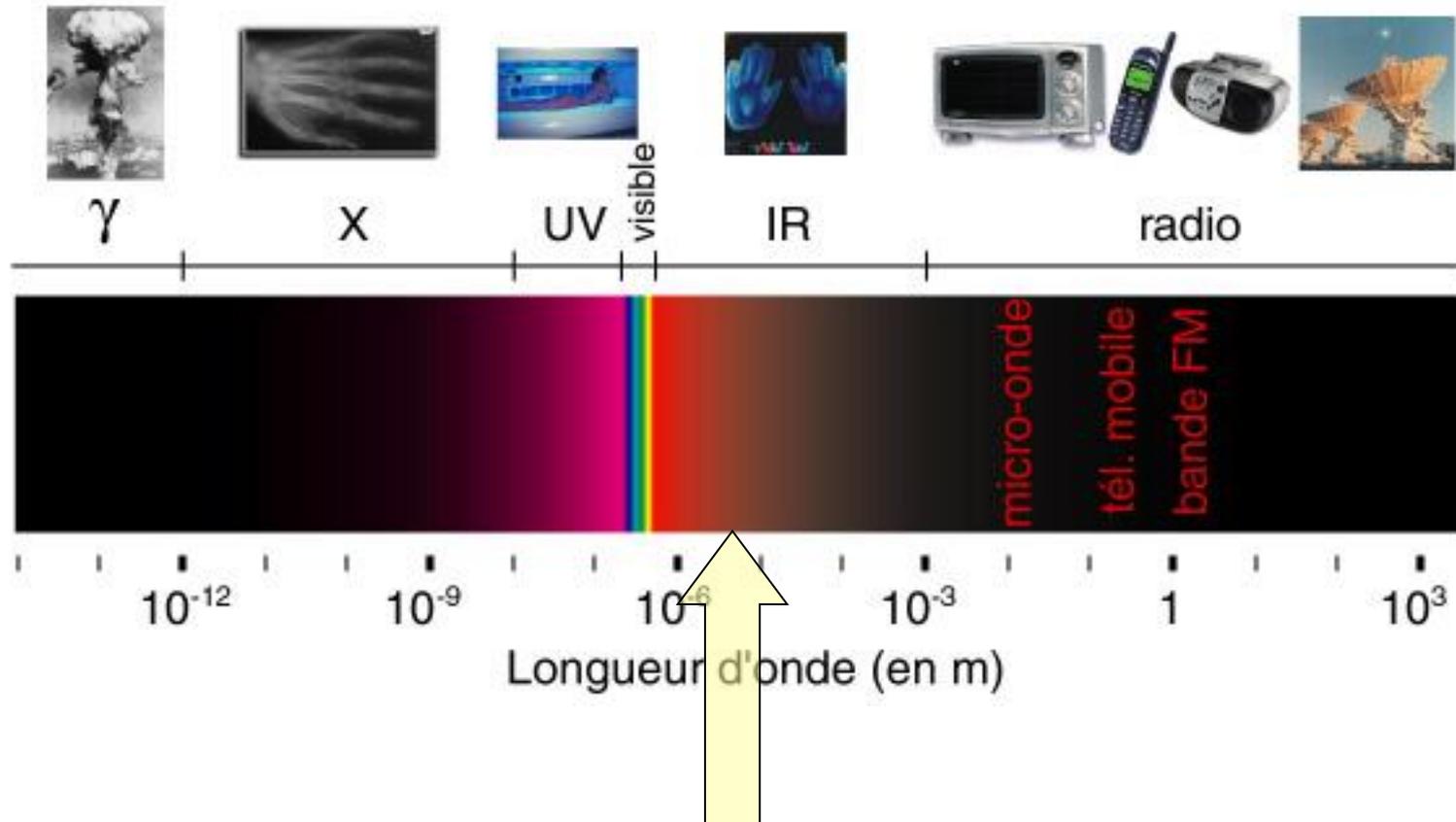
- de structures variées
- de diamètres différents

Fibre nue

Exemple de gaine de protection

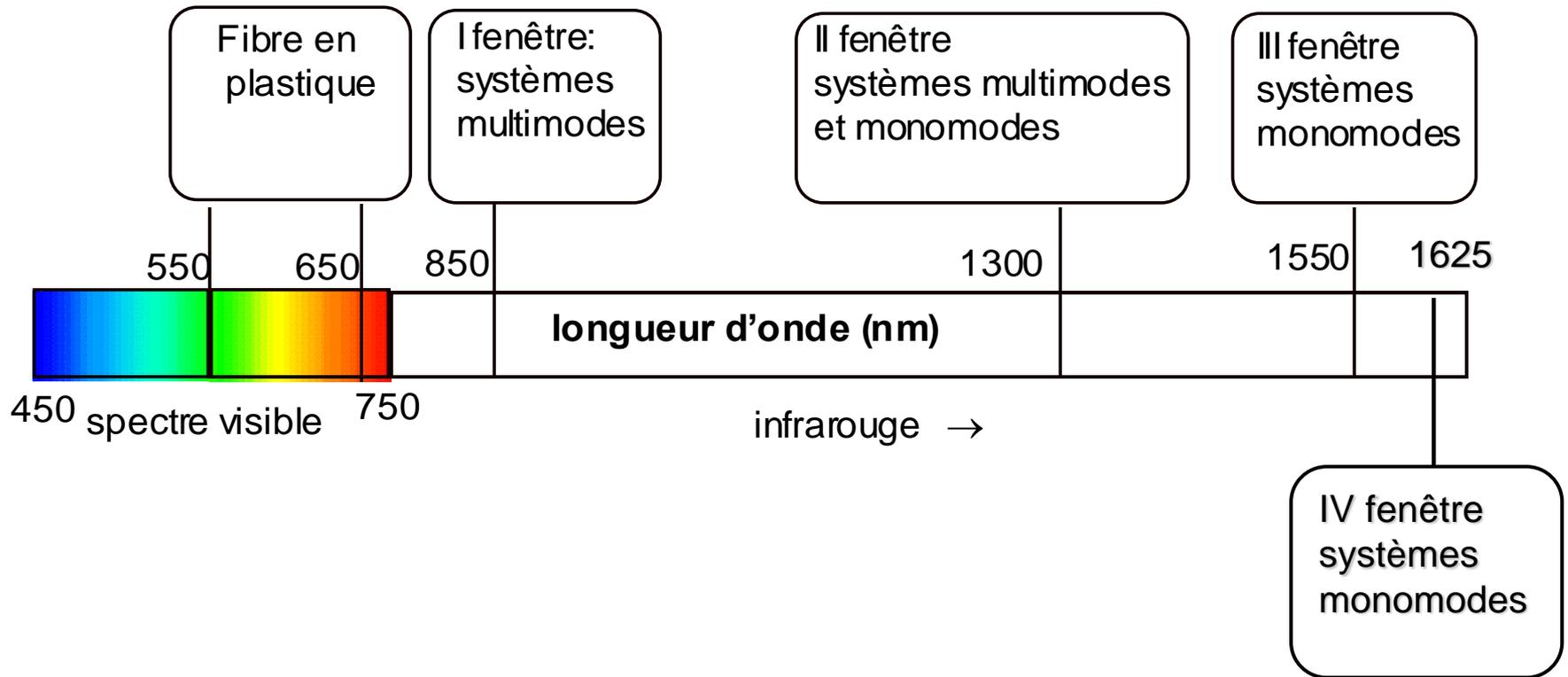


Spectre de la lumière



Longueurs d'onde utilisées pour la fibre optique (situées dans l'invisible)

Spectre utilisé dans le cadre de la transmission par fibre optique



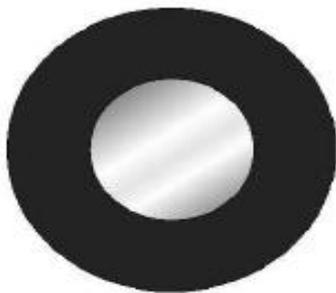
2 Types de fibres

- **La fibre multimode** dénommée MMF (**M**ulti**M**ode **F**iber)
Elle est principalement utilisée dans les réseaux locaux (LAN) dont la distance n'excède pas deux km. La transmission des données se fait, en général, au moyen d'une LED d'une longueur d'onde de 850 nm ou 1300nm.

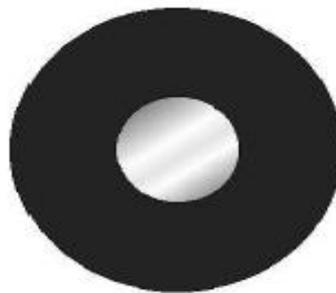
- **La fibre monomode** dénommée SMF (**S**ingle **M**ode **F**iber)
Elle est principalement utilisée par les opérateurs pour couvrir de grandes distances (WAN). La transmission des données se fait au moyen d'un laser d'une longueur d'onde de 1300 nm, 1550 nm ou 1625 nm.

La fibre optique multi/monomode

Les diamètres des fibres ont des tailles différentes. Sur le schéma ci-dessous, on peut voir les types multimode et monomode alignés, montrant les diamètres différents en tailles relatives.



100-140
microns



62.5-125
microns



50-125
microns



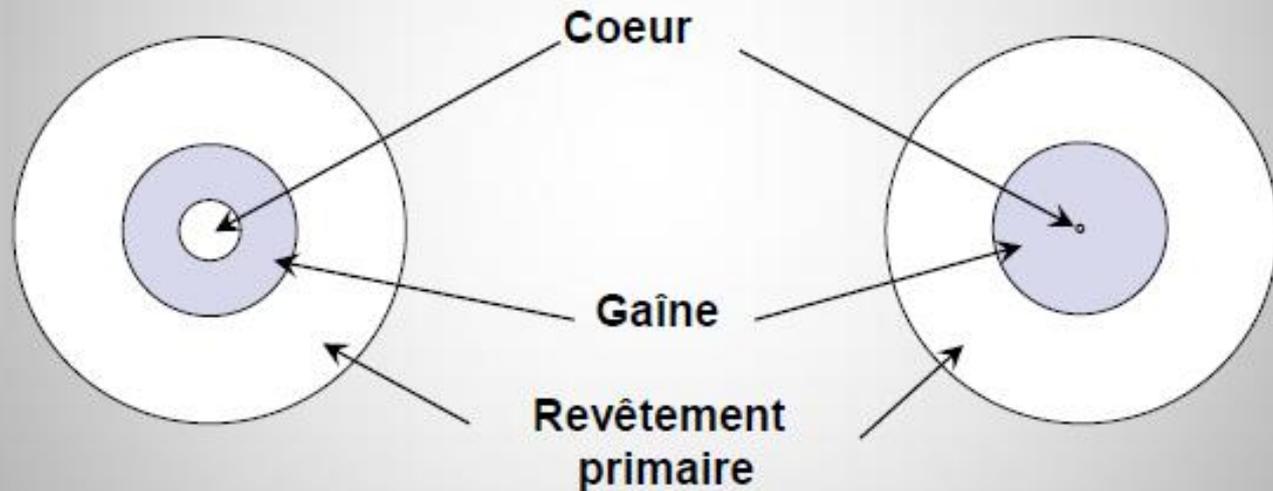
10-125
microns

La fibre optique multi/monomode

Section d'une Fibre optique

Multimode (MM)

Monomode (SM)



Exemple: 62.5/125 et 50/125
(62.5 μm coeur)

Exemple: 9/125
(9 μm coeur)

La fibre optique multi/monomode

Fibre multimode	Fibre monomode
cœur = 50, 62,5 ou 100 μm	cœur < 10 μm
Bande passante < 1Ghz	Bande passante > 1Ghz
Fibre à saut ou à gradient d'indice	Fibre à saut d'indice

La fibre optique multi/monomode

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratiques
Multimode à saut d'indice (SI)	Grande ouverture numérique, connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre	Pertes, dispersion et distorsion, élevées du signal	Communications courtes distances, réseaux locaux
Multimode à gradient d'indice (GI)	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications courtes et moyennes distances
Monomode	Bande passante très grande, atténuation très faible, faible dispersion	Prix très élevé	Communications longues distances

Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

L'indice absolu d'un milieu (généralement noté n) est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

$$n = \frac{\text{vitesse de l'onde dans le vide}}{\text{vitesse de l'onde dans le matériau considéré}}$$

Les Fibres optiques

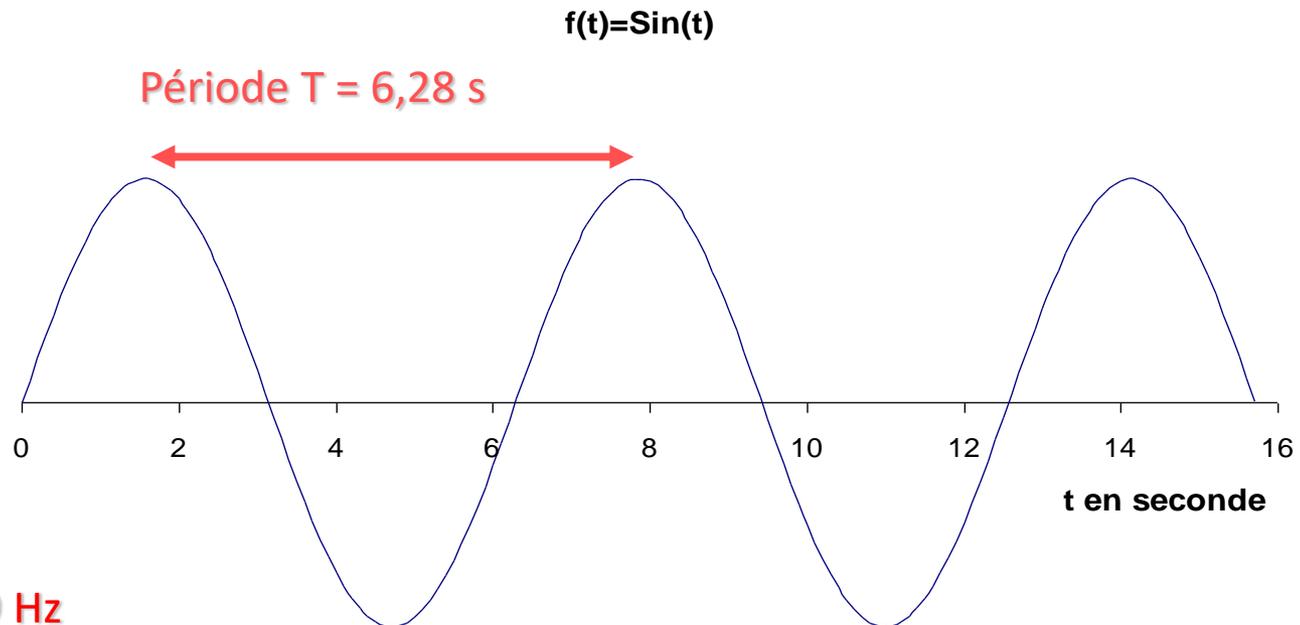
Grandeur caractéristiques d'une F.O

matériau	indice	vitesse en km/s
vide	1,000	300000
air	1,0002926	299912
eau(20°C)	1,330	225564
verre au plomb	1,900	157895
Diamant	2,400	125000
cœur fibre 62,5/125	1,500	200000

Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

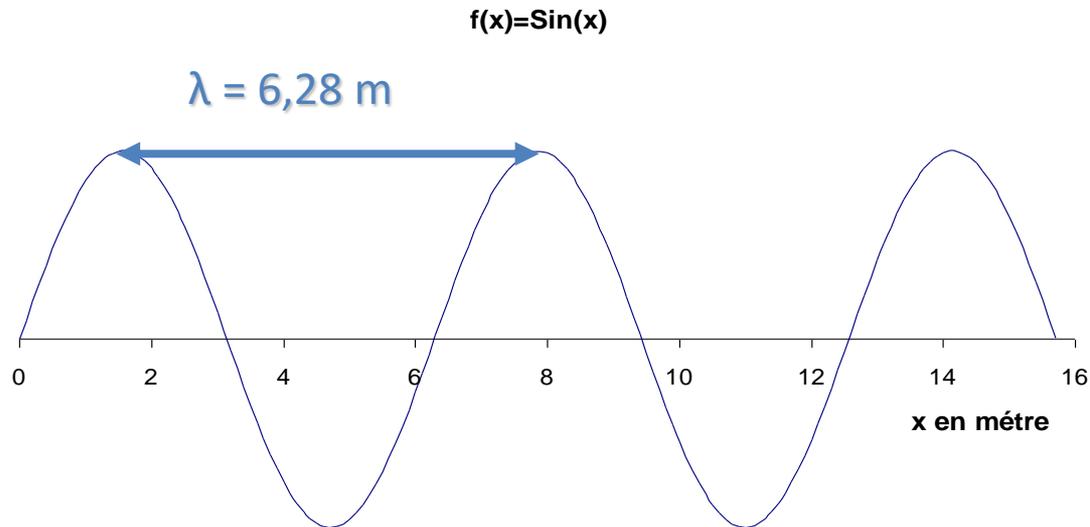
Fréquence (f en Hz): nombre de vibrations par unité de temps dans un phénomène périodique.



Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

Longueur d'onde (λ en m): distance entre deux points consécutifs de même phase d'un mouvement ondulatoire qui se propage en ligne droite.



La longueur d'onde est généralement exprimée en nm.

Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

Relation entre la fréquence et la longueur d'onde:

$$\lambda = v/f$$

λ est la longueur d'onde en mètres

v est la vitesse de l'onde dans le milieu considéré

f est la fréquence de l'onde en Hz ou s⁻¹

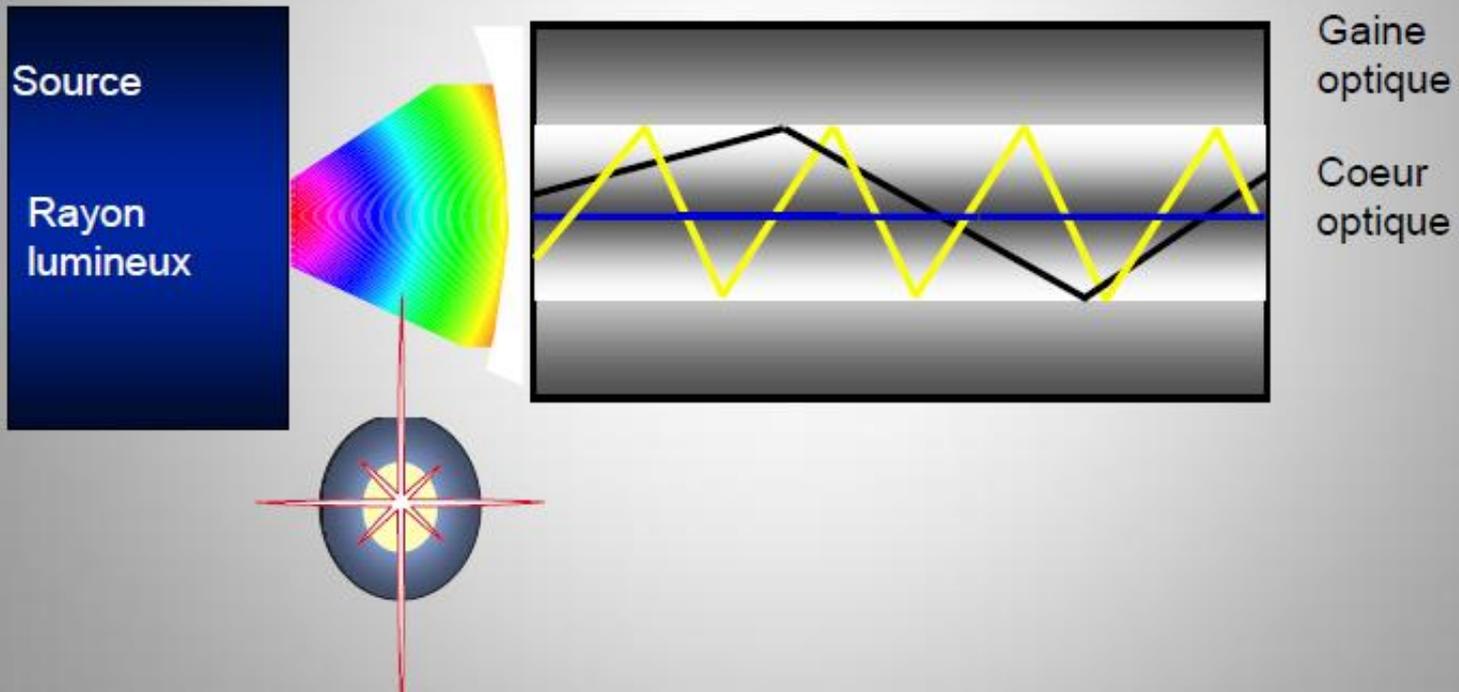
Dans un milieu donné, toute onde lumineuse se caractérise indifféremment par sa fréquence ou sa longueur d'onde.

Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

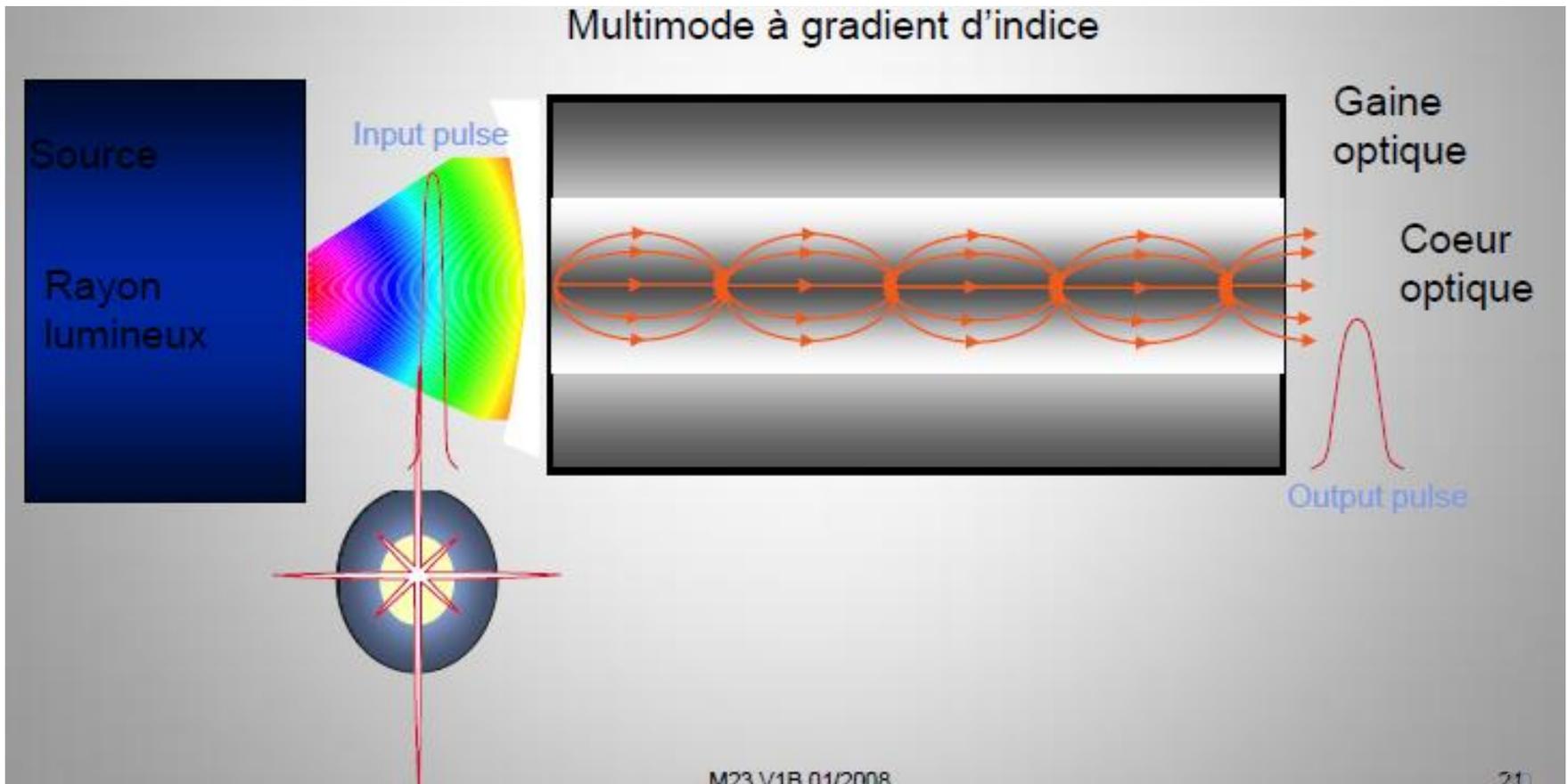
Comment la lumière se propage dans la fibre

Multimode à saut d'indice



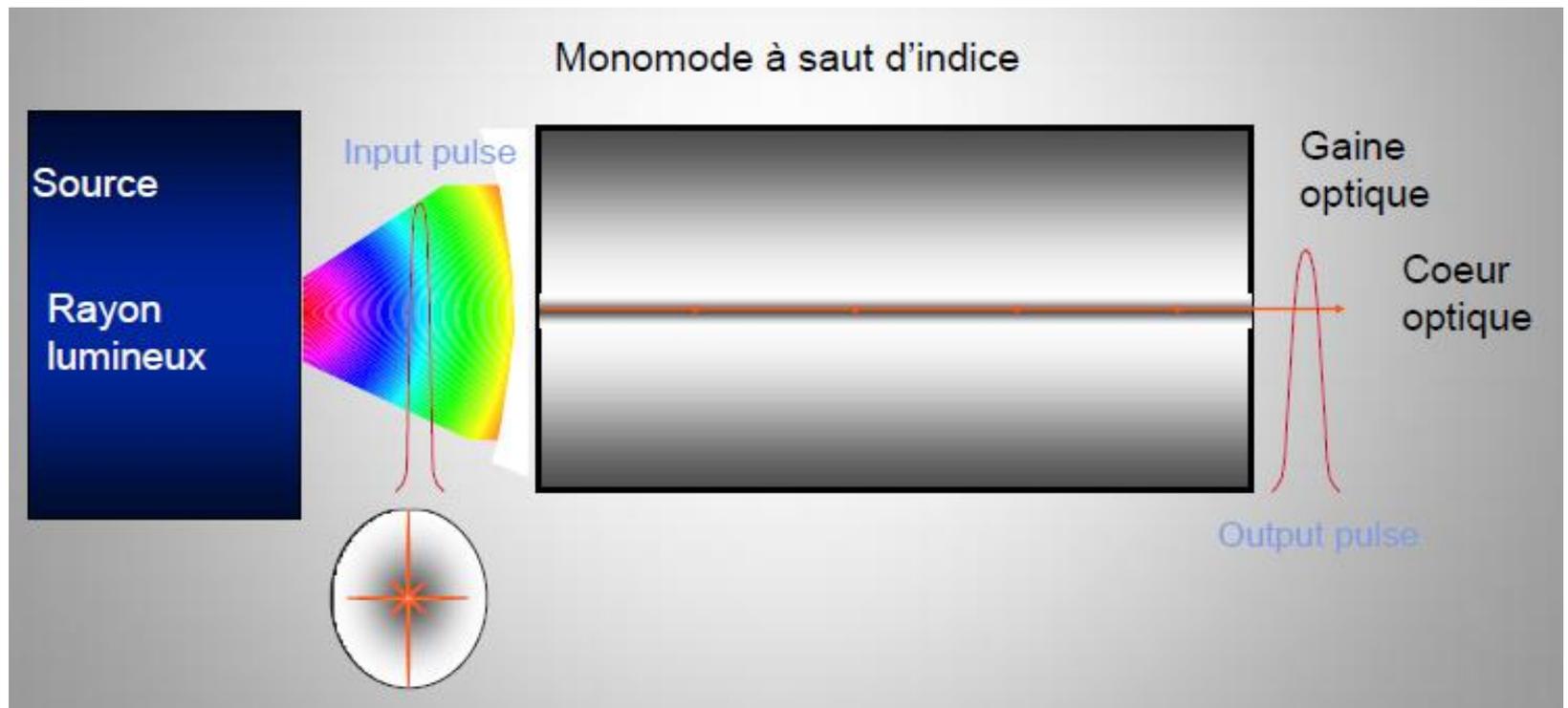
Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O



Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

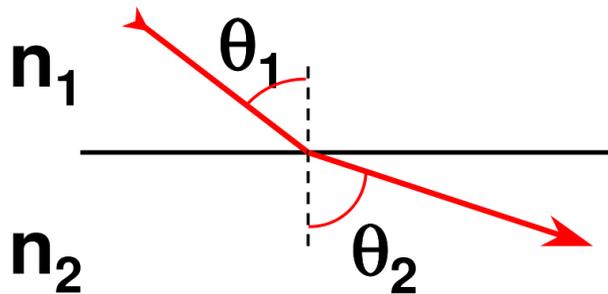


Les Fibres optiques

Grandeur caractéristiques d'une F.O

- Loi de Snell-Descartes :

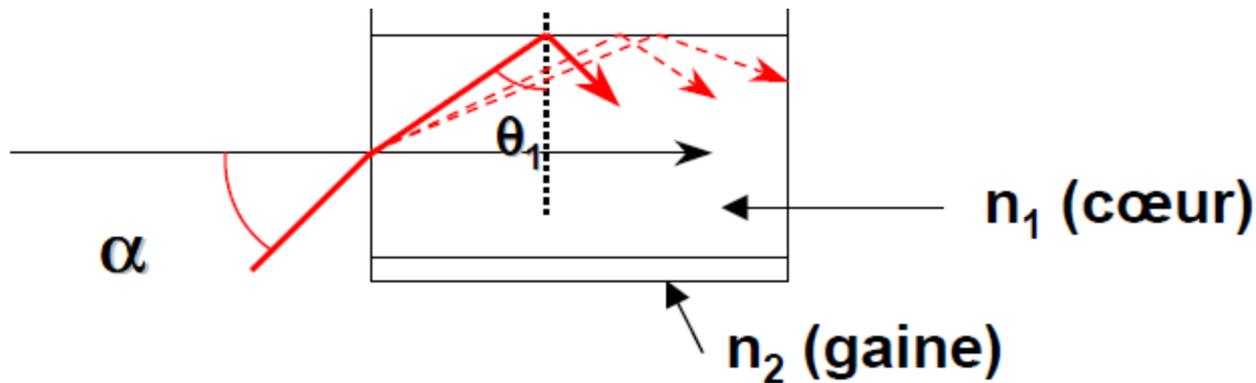
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Si $n_1 > n_2$ le rayon s'écarte de la normale.

Si $\theta_1 > \arcsin(n_2/n_1)$, il y a réflexion totale.

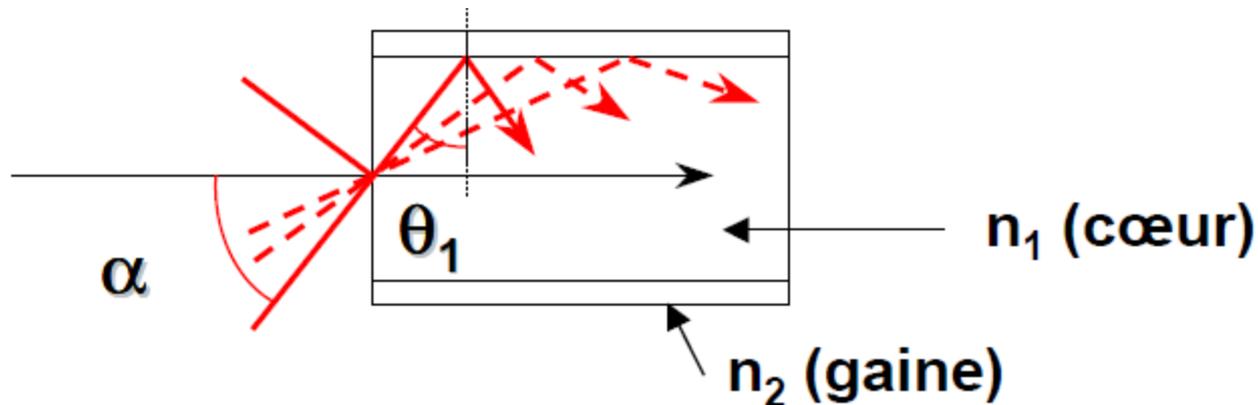
Propagation dans la fibre optique



Condition de guidage dans le coeur : $\theta_1 \geq \arcsin n_2/n_1$

Sinon le rayon est réfracté dans la gaine de la fibre

Propagation dans la fibre optique



Angle d'incidence maximal à l'entrée de la fibre, soit l'ouverture du cône d'acceptance, appelée ouverture numérique ON :

$$\text{ON} = \sin \alpha_{\max} = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_{1\text{lim}} \right) = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

La bande passante:

C'est la capacité de transmission de la fibre optique. Elle est limitée par les phénomènes de dispersion.

Les valeurs typiques de bande passante pour une fibre de 1 km sont:

Fibre multimode à saut d'indice	Fibre multimode à gradient d'indice	Fibre monomode à saut d'indice
100 MHz	Quelques GHz	> 10 GHz

Bande passante des fibres

Fibres monomodes

$$B = \frac{0,35}{M(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L}$$

Fibres multimodes à saut d'indice

$$B = \frac{B_0}{L^\gamma}$$

Fibres multimodes à gradient d'indice

$$B = \frac{1}{\sqrt{\frac{L^{2\gamma}}{B_0^2} + \frac{M^2(\lambda) \cdot \Delta\lambda^2 \cdot L^2}{0,35^2}}}$$

$\Delta\lambda$, B_0 et γ sont fournis par le constructeur

Bande passante vs affaiblissement

Affaiblissement – Bande Passante



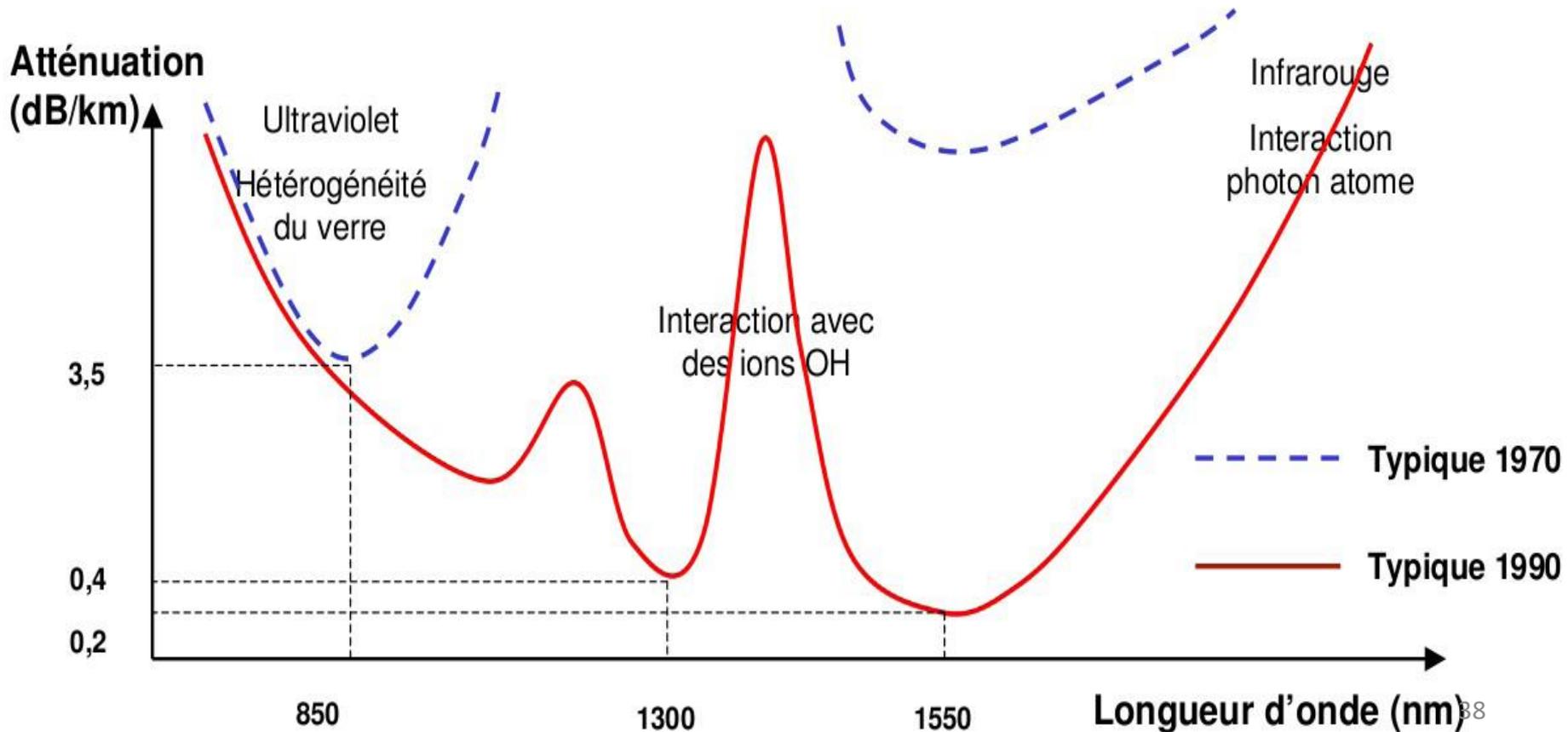
Type de fibre	Fenêtre	Affaiblissement typique	Bande passante
Fibre Multimode	850 nm	3 dB/km	• 20 à 100 MHz.km pour saut d'indice
Fibre Multimode	1300 nm	1 dB/km	• 150 à 2000 MHz.km pour gradient d'indice
Fibre Monomode	1310 nm	0,5 dB/km	> 10 Ghz.km
	1550 nm	0,3 dB/km	

La bande passante est la fréquence maximum pour laquelle le signal transmis subit un affaiblissement de 3 dB.

La bande passante exprimée en MHz.km, est inversement proportionnelle à la longueur de la liaison.

Atténuation / Longueur d'onde

La mesure d'atténuation spectrale consiste à mesurer l'affaiblissement de la fibre sur une plage de longueurs d'onde.



Atténuation

Au cours de la propagation dans la fibre,
la puissance décroît selon la loi :
 α est le coefficient d'atténuation en Neper/m.

$$P(z) = P_{in} e^{-\alpha z}$$

On définit plutôt l'atténuation en dB/km :

$$A = \frac{1}{L} 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)$$

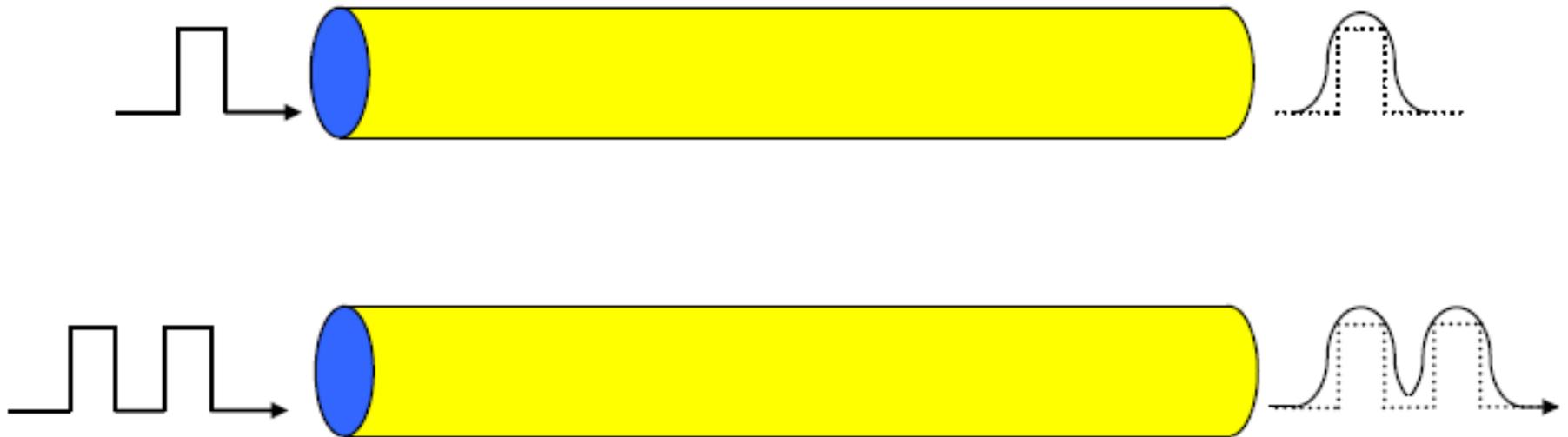
La relation entre A et α est :

$$A_{\text{dB/km}} = 4,34 \cdot 10^3 \alpha_{\text{m}^{-1}}$$

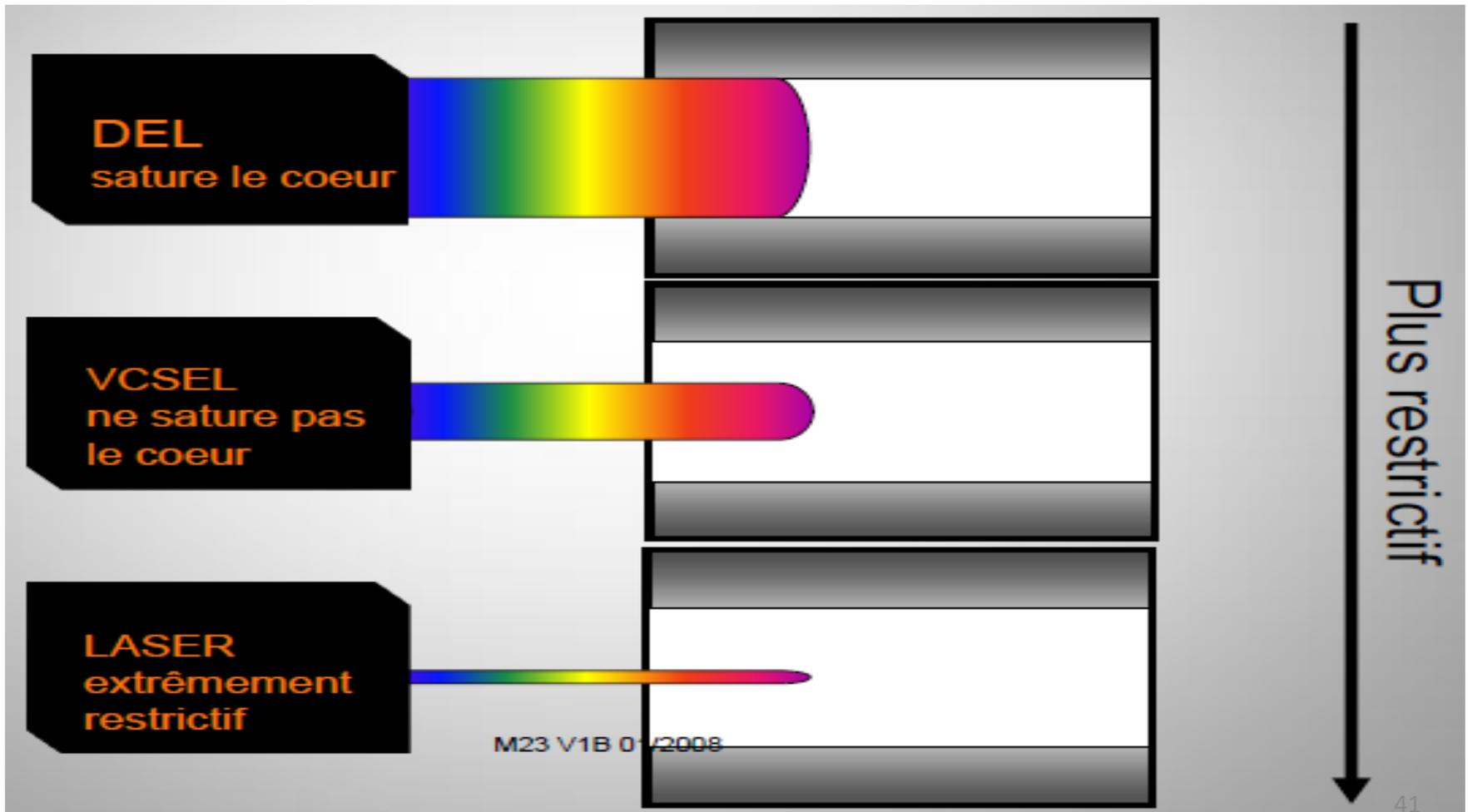
Qu'est ce que la dispersion ?

La Dispersion au sens large est un étalement ou un élargissement des pulses lumineux lors de leur propagation le long d'une fibre.

Une dispersion trop importante augmente le taux d'erreur au niveau du récepteur(une impossibilité de distinguer les 0 des 1).

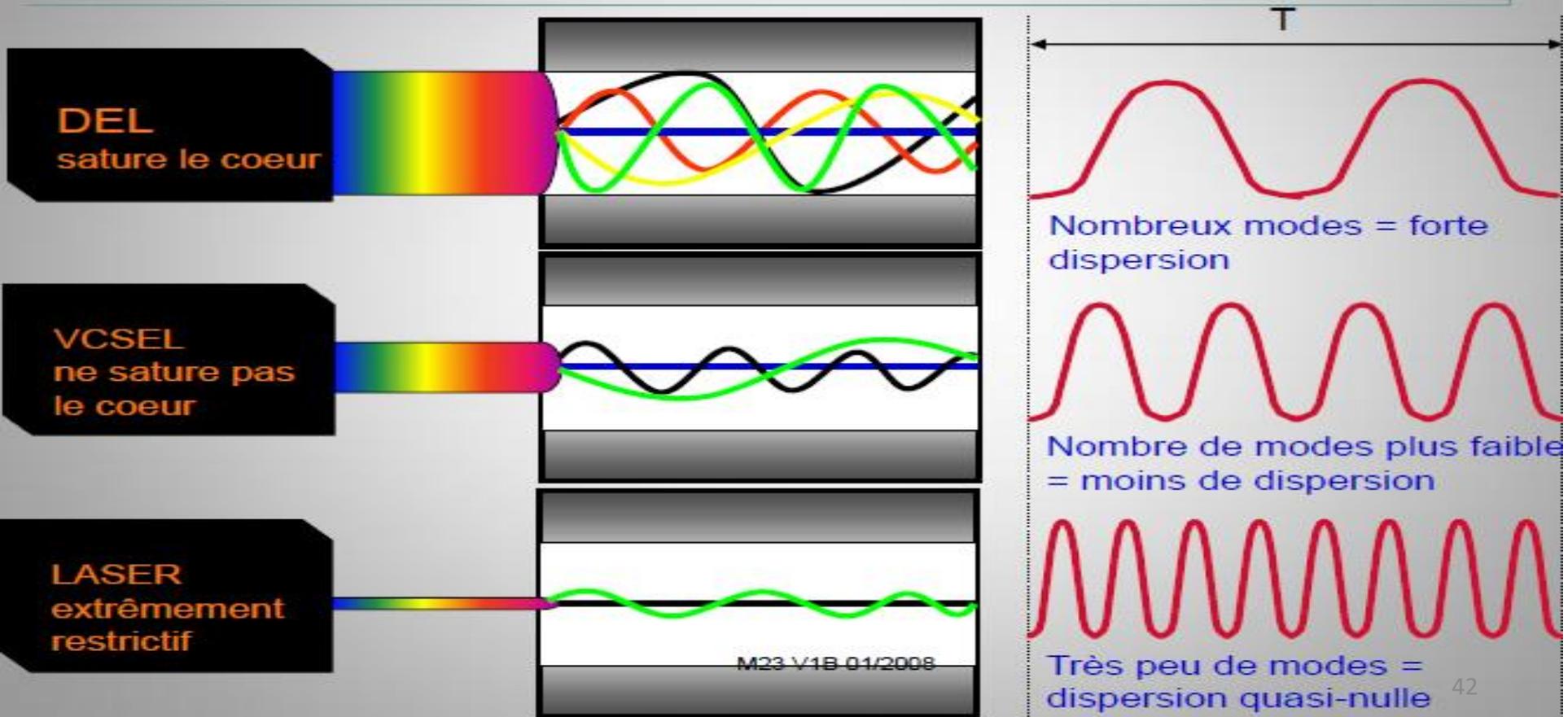


dispersion dans la fibre



dispersion dans la fibre

Influence des conditions d'injection sur la Bande Passante



Dispersion intermodale

Une des causes de l'élargissement d'une impulsion est la dispersion intermodale. L'énergie lumineuse injectée à l'entrée de la fibre est répartie entre différents modes.

Les différents modes se propagent dans le cœur avec la vitesse :

$$v_m = \frac{c}{n_1} \sin \theta_m$$

v_m : composante suivant l'axe de propagation de la vitesse

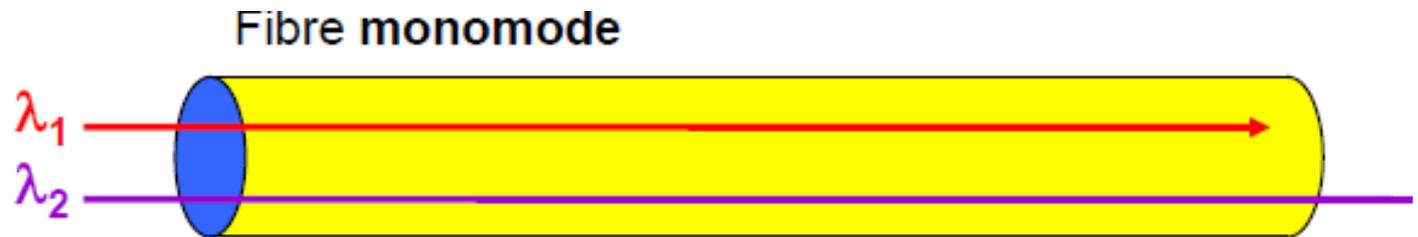
mode le plus lent : $\theta = \theta_{lim}$, alors $v_{min} = c/n_1 \cdot \sin \theta_{lim}$

mode le plus rapide : $\theta = \pi/2$ alors $v_{max} = c/n_1$

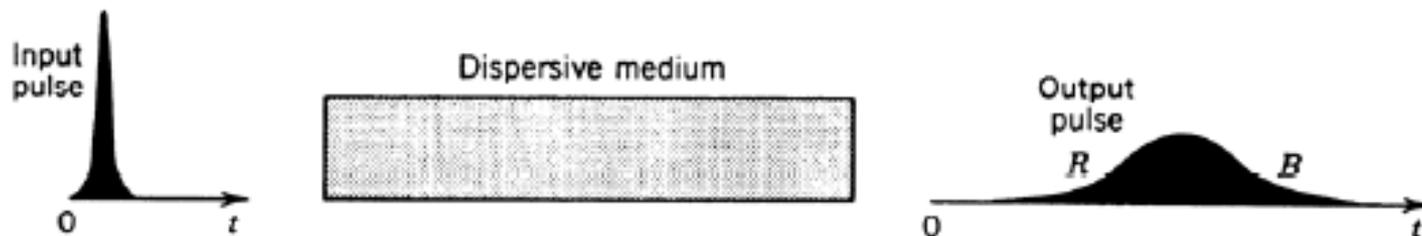
La dispersion chromatique

Due à la largeur spectrale non nulle de la source (c a d composée de plusieurs longueurs d'ondes), chaque longueur d'onde se propageant à une vitesse spécifique

$$v=c/n(\lambda)$$

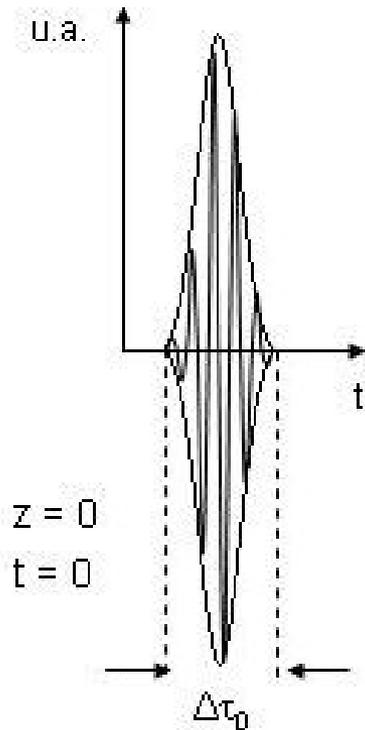


=> retard de groupe (Group Delay)



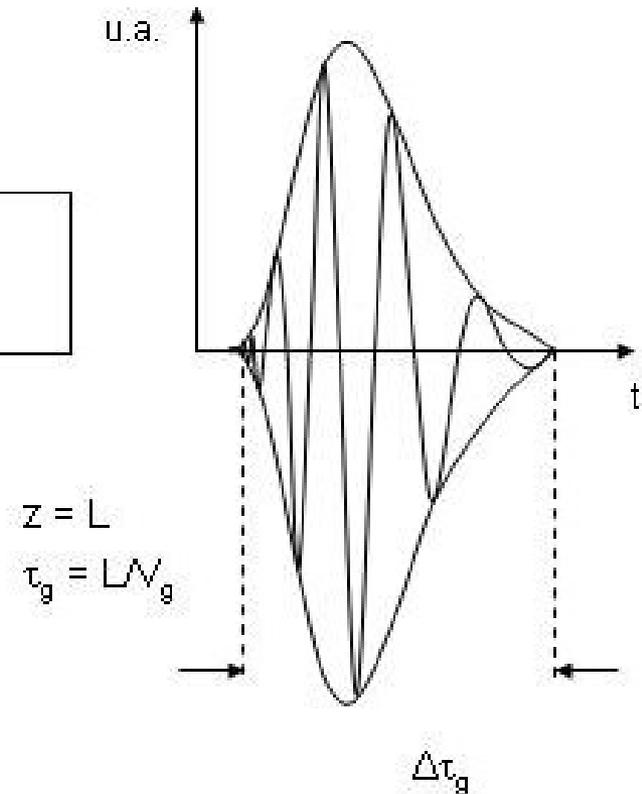
La dispersion chromatique

Paquet d'onde à l'entrée



Fibre optique
dispersive

Paquet d'onde en sortie

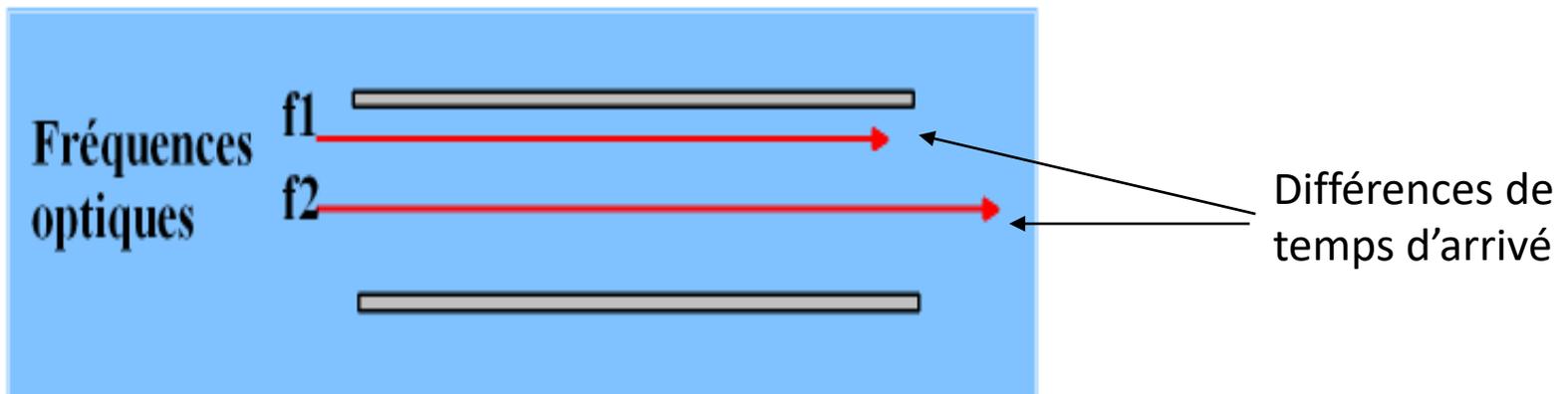


Effet de la dispersion lors de la propagation dans une fibre optique

La dispersion chromatique

• La Dispersion Chromatique (D) par unité de longueur est exprimée en **PS/nm*km** (dérivée du retard de groupe en fonction de la λ):

- Délai différentiel (en PS)
- Largeur de la source (en nm)
- Distance (en km)



Une vitesse de propagation différente pour chaque longueur d'onde

La dispersion chromatique

PARAMETRE DE DISPERSION CHROMATIQUE

1-Etendue spectrale du signal $\Delta\omega$:

porteuse optique

débit du signal

Format (RZ, NRZ)

2-Temps de groupe :

Fibre de longueur L

Propagation du signal à la vitesse v_g

$$\tau_g = \frac{L}{v_g} = L \frac{d\beta}{d\omega}$$

3-Etalement des temps de groupes

$$\Delta\tau_g = \frac{d\tau_g}{d\omega} \Delta\omega = L \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \Delta\omega = L\beta_2 \Delta\omega$$

La dispersion chromatique

4-L'étalement est proportionnel à la:
Longueur de la fibre L
largeur spectrale du signal $\Delta\omega$

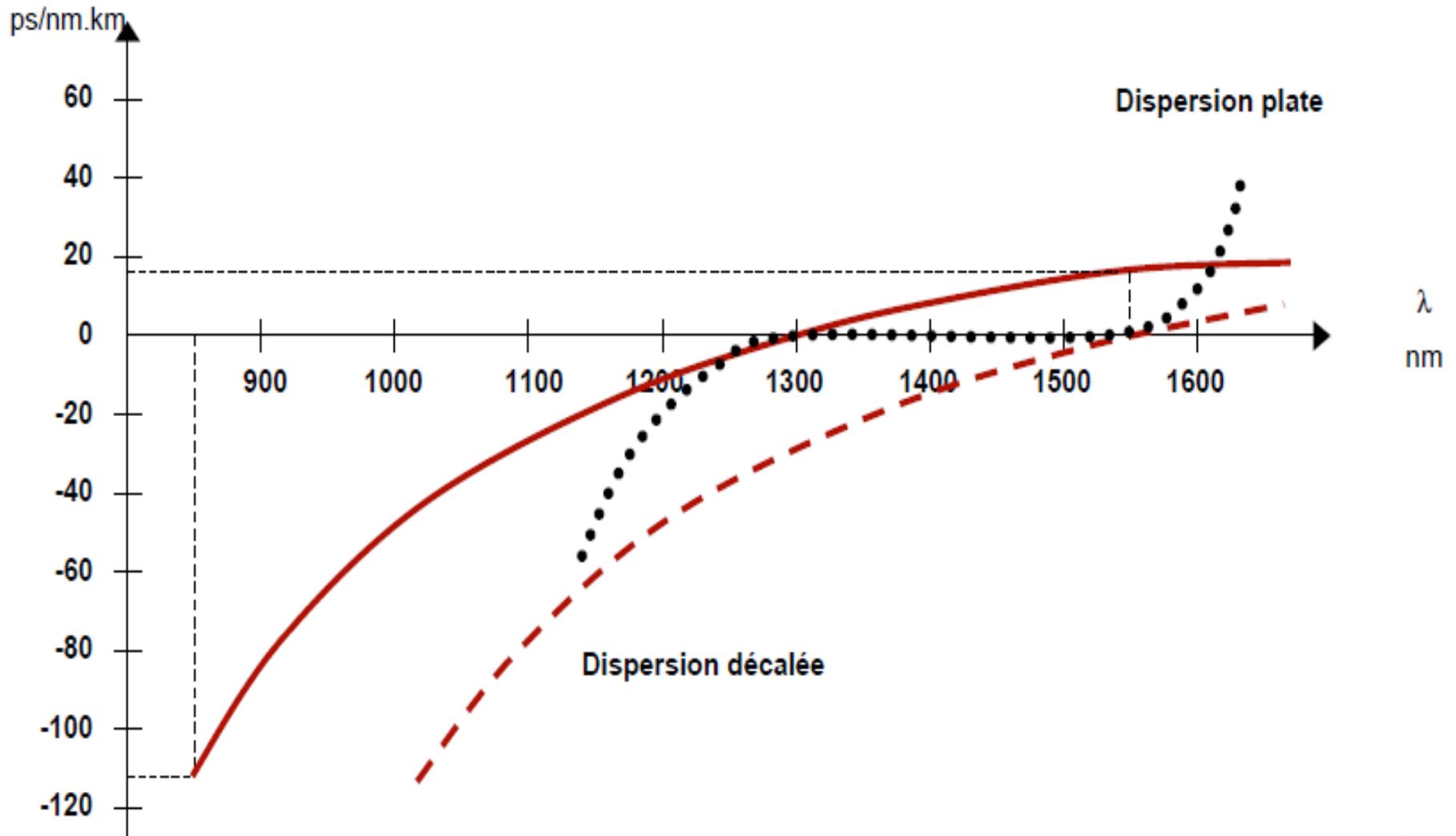
Paramètre de dispersion D:

$$\beta_2 = \frac{1}{L} \frac{d\tau_g}{d\omega}$$

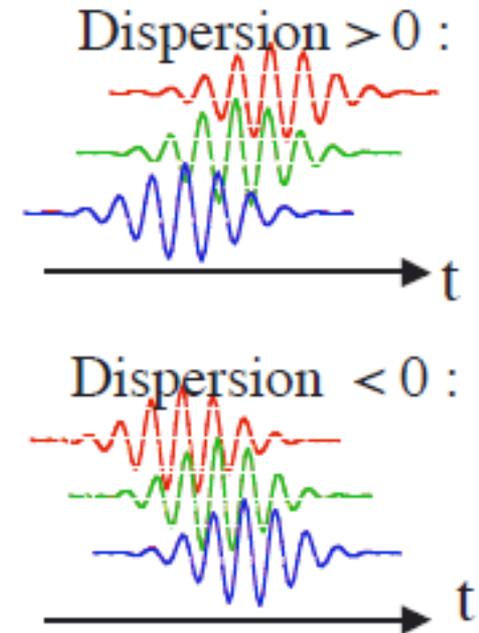
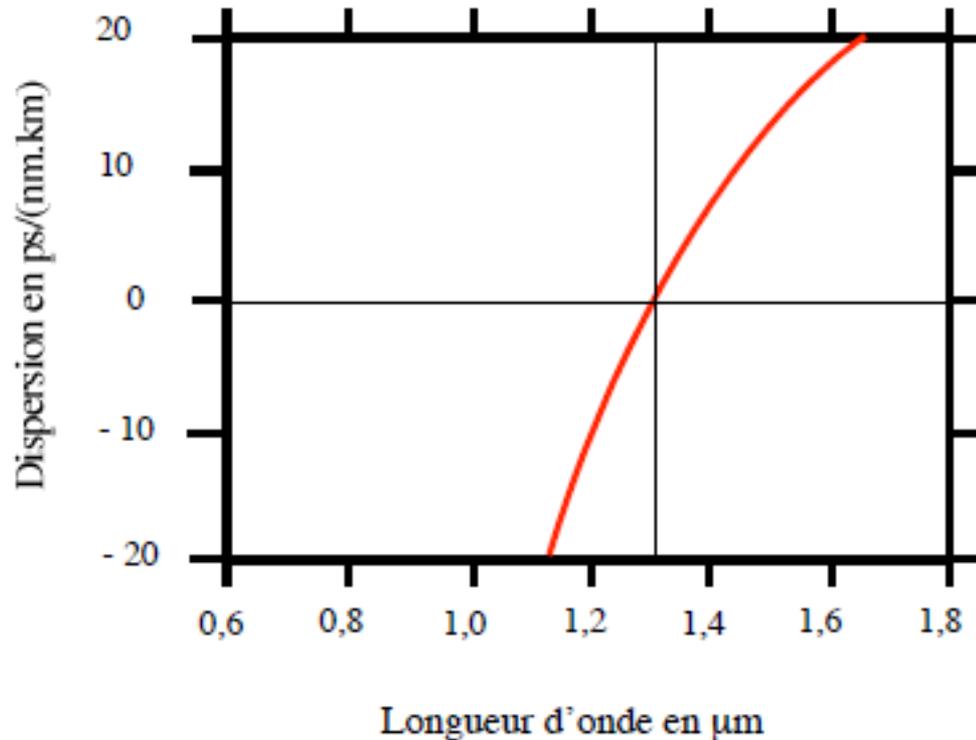
En unités pratiques

$$D = \frac{1}{L} \frac{\Delta\tau_g}{\Delta\lambda} \quad \text{unité : ps / (km.nm)}$$

La dispersion chromatique



La dispersion chromatique



- Dispersion normale ($D < 0$) : le rouge est plus rapide
- Dispersion anormale ($D > 0$) : le bleu est plus rapide

La dispersion est due à un “délai différentiel”

- **Qu’est-ce que le délai différentiel?**

- Le signal est composé d’au moins deux composantes
- Chaque composante se propage à une vitesse différente
- Différentes composantes arrivent à différents instants
- La différence entre les composantes à l’arrivée sur le récepteur est le délai différentiel

- **La dispersion est un facteur limitant le débit dans les liens de transmission**

- Elle limite la longueur du lien pour les hauts débits
- Une règle est établie: pour minimiser les effets de la dispersion, le délai différentiel ne doit pas dépasser 10% du débit

Dispersion chromatique

Pour une largeur spectrale $\Delta\lambda$ et un coefficient de dispersion chromatique $M(\lambda)$ donnés, la valeur maximale du produit

(débit binaire x longueur de fibre)

est :

$$(B.L)_{\max} = \frac{1}{2M(\lambda).\Delta\lambda}$$

Ordre de grandeur :

La fibre monomode normalisée, qui équipe 85% du réseau, a un coefficient de dispersion chromatique $M(\lambda) = 3,5 \text{ ps}/(\text{km.nm})$ dans le domaine spectral $[1,288-1,359] \mu\text{m}$. Pour cette même fibre, à $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, $M(\lambda)$ passe à $17 \text{ ps}/(\text{km.nm})$

Origine de la Dispersion Chromatique

- **Deux effets contribuent à la Dispersion Chromatique totale:**

- La dispersion due au matériau(le verre)
- La dispersion due au guide d'onde(la fibre)

- **La dispersion due au matériau:**

dépend du type de verre(impuretés, etc.)

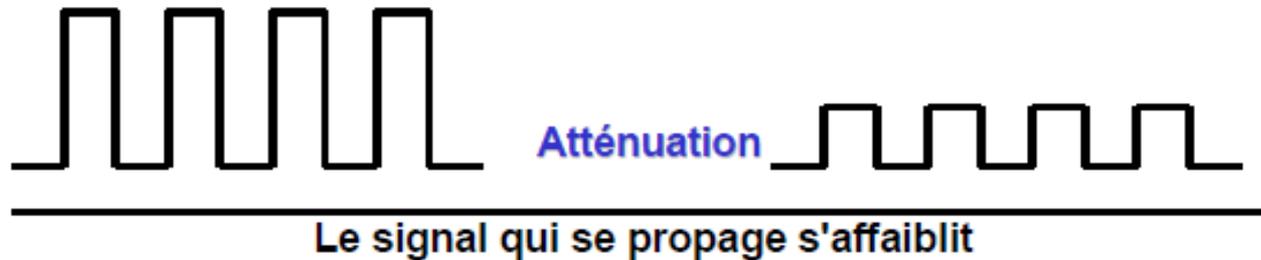
- **La dispersion dépend du profil d'indice de la fibre**

- Il est possible de paramétrer la fabrication pour obtenir un zéro de dispersion ou une pente particulière
- On peut donc fabriquer des fibres présentant un profil d'indice particulier

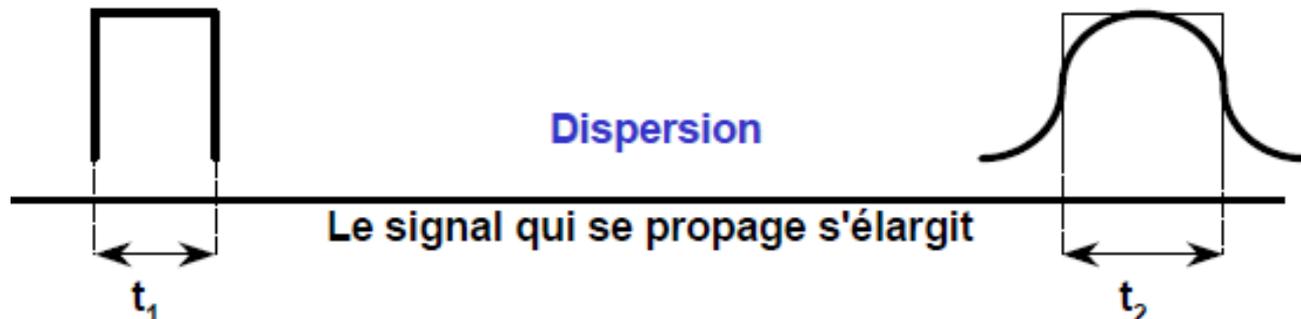
La fibre optique

Deux effets limitent la capacité de transmission :

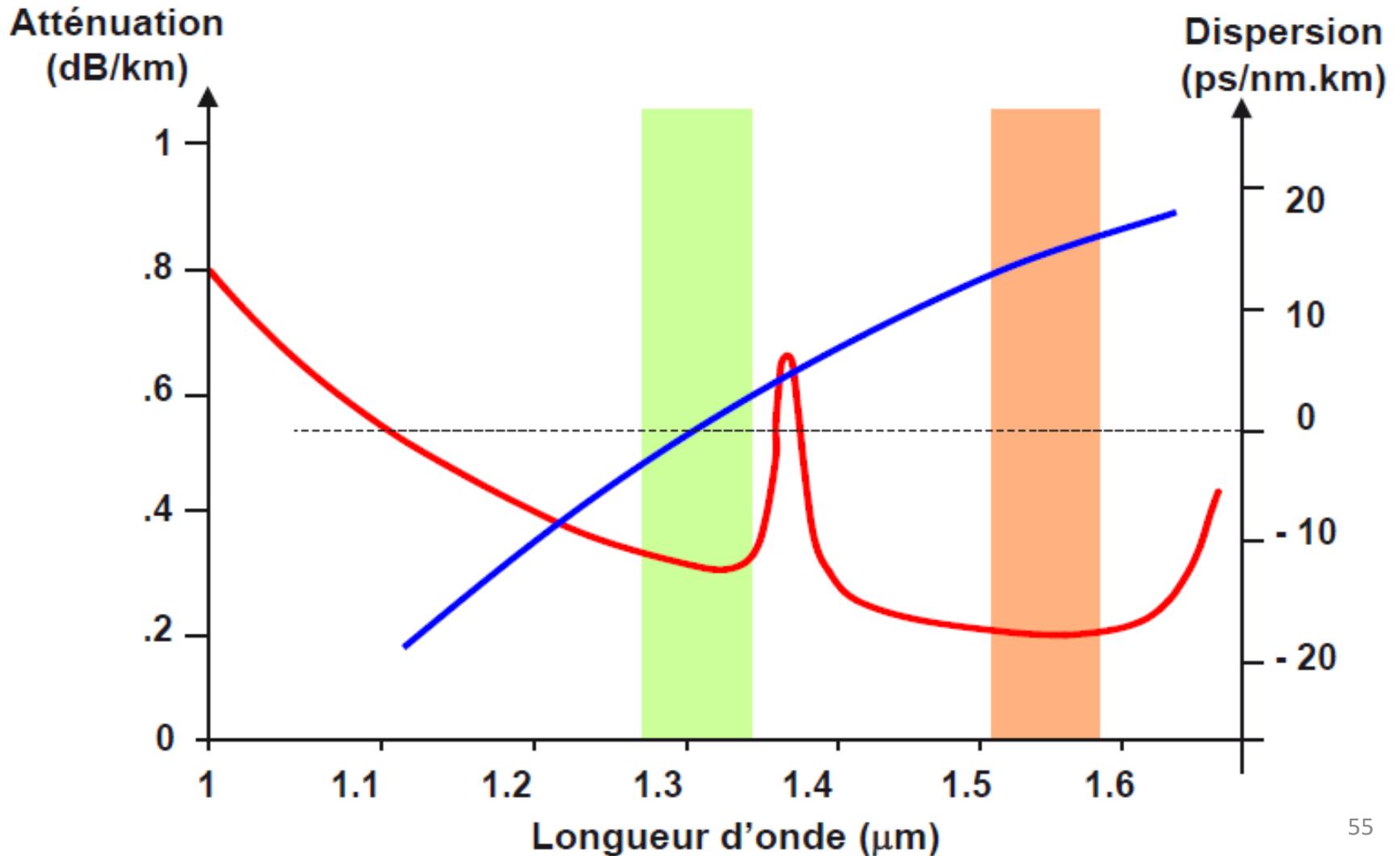
-Atténuation : une partie du signal, sous forme de lumière, est perdue



- Dispersion chromatique: le signal reçu est déformé par rapport au signal émis (dégradation)



Zones d'utilisation de la fibre optique monomode



<i>Fiber Type</i>	<u>Attenuation</u> (dB/ km)		<u>Chromatic Dispersion</u> (ps/ nm* km)	
	1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
9/ 125 Conventional (SMF-28)	0.35	0.25	0	17
9/ 125 Dispersion Shifted	0.35	0.25	-15	0
9/ 125 WDM Optimized	0.35	0.25	-12	3

- Les fibres conventionnelles (“SMF”) dites à “dispersion non décalée”: G652
- Les fibres à “dispersion décalée” ont leurs zéros de dispersion à 1550nm: G653
- Les fibres optimisées pour les transmissions DWDM sont appelées fibres à dispersions décalées non nulle (NZDSF): G655 (pour réduire les effets non-linéaires)

Récapitulatif Fibres Télécoms

λ (nm)	Atténuation (dB/Km)	Dispersion chromatique (PS/nm.Km)	Bande passante MHZ ou GHZ.Km	Type de fibre	Applications
850	3	-80	50	Multimode	LAN - MAN
1300	0,4	0	10	Monomode	Longues distances
1550	0,2	17	10		

Pourquoi mesurer la DC sur le terrain ?

–Pour obtenir des informations sur le support fibre:

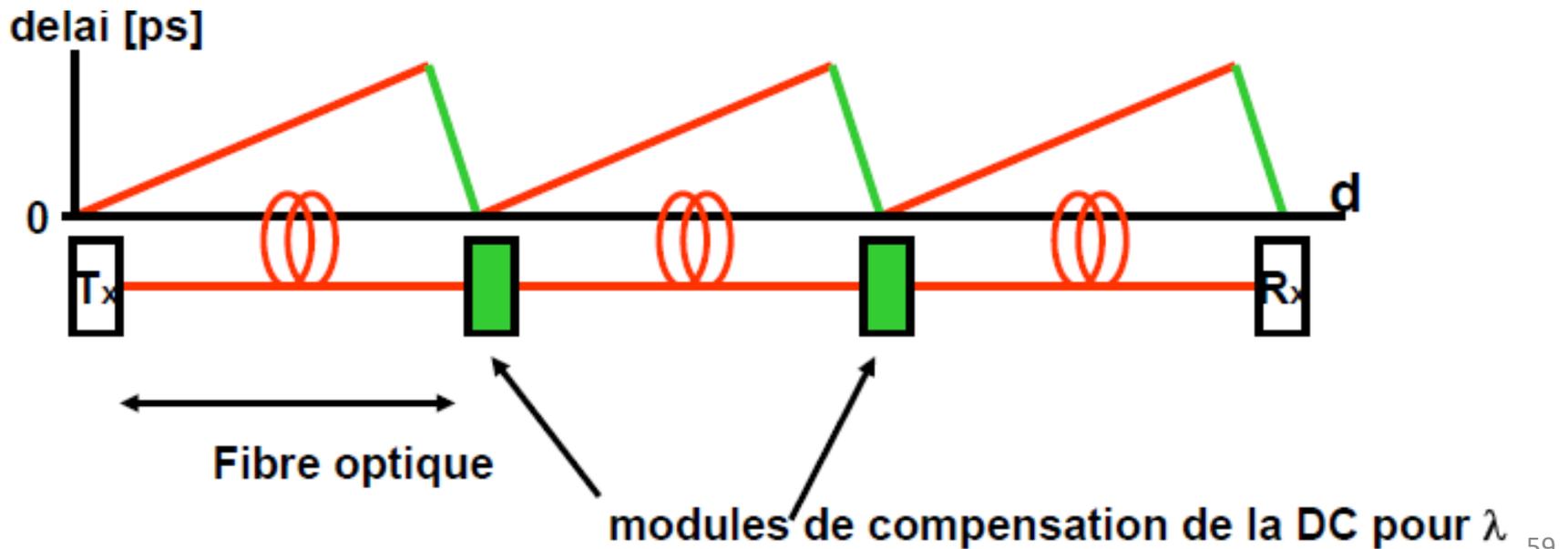
- Fibre installée compatible avec une bande passante plus élevée => évolution du réseau vers le haut débit, plutôt que nouvelle installation

- Vérifier que la fibre puisse supporter l'installation d'un système DWDM

Compensation de la DC

Bonne nouvelle : La DC est stable, prévisible, et contrôlable

- Le zéro de dispersion et la pente sont donnés par le fabricant
- La fibre à compensation de dispersion a une dispersion négative
- Les modules de compensation permettent donc une correction



Fiabilité de la fibre optique

- La silice est un matériau «fragile» : \Rightarrow ce terme scientifique signifie qu'il n'a pratiquement pas de déformation élastique.
- La fibre optique silice résiste à des tractions très élevées (> 5 kg), une résistance bien supérieure à celle de l'acier.
- La présence de défauts fragilise la fibre (il suffit d'un défaut de $0.5 \mu\text{m}$ pour qu'une traction de 1kg environ casse la fibre) La plupart des défauts se produisent lors de la fabrication de la fibre, la fibre est ensuite protégée par le revêtement.
- Pour cette raison, la fibre est testée en totalité à 1 % d'allongement (environ 1 kg) pour éliminer ces défauts.

Vieillessement de la fibre optique

- La corrosion par l'humidité d'une fibre de silice non protégée la rend très cassante en quelques heures. Le revêtement est donc étudié pour protéger la silice.
- La résistance au vieillissement est mesurée par un facteur «n», facteur de durée de vie sur une échelle logarithmique. Il est mesuré selon des normes internationales :
 - n statique, lorsque les charges appliquées sont statiques.
 - n dynamique, mesuré sous charge variable (croissante).
 - On évalue la variation de la durée de vie en fonction de la charge appliquée et on extrapole dans le temps.

Les règles de l'art actuelles garantissent largement 25 ans de durée de vie. L'expérience montre que la plupart des ruptures effectivement rencontrées (plus de 95%) sont dues à des travaux de Génie Civil.

Application de la fibre optique

Applications :

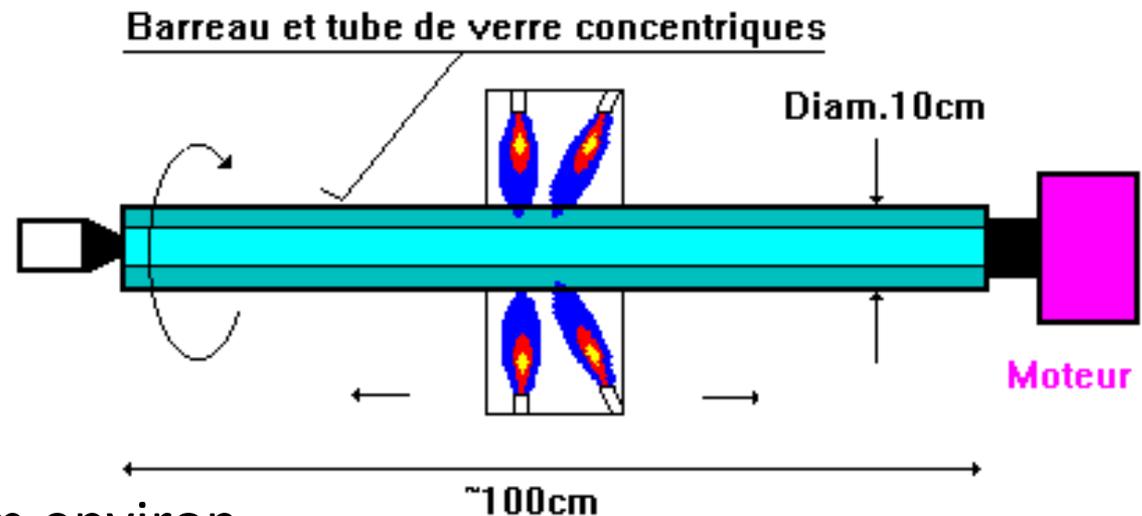
- Transmissions numériques à haut débit : données informatiques, téléphonie, télécopie, télévision, etc...
- Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications
- Réseaux locaux en environnement bruité
- Applications vidéo

Fabrication des fibres optiques

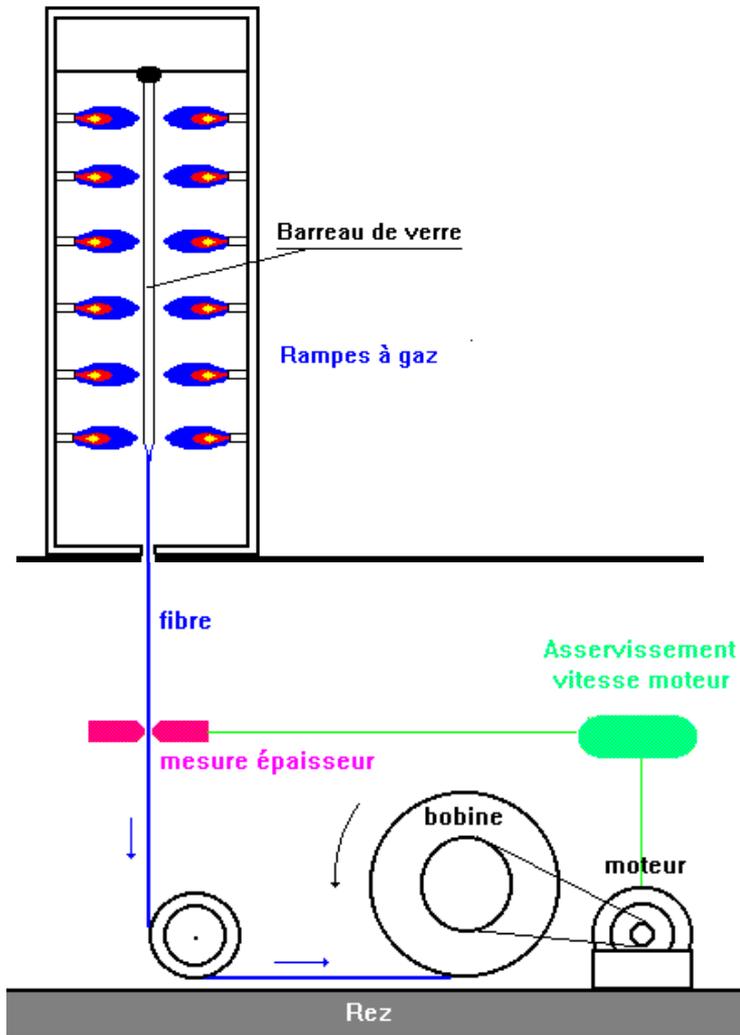
- La première étape consiste à l'assemblage d'un tube et d'une barre de verre cylindrique montés concentriquement.

On chauffe le tout pour assurer l'homogénéité du barreau de verre.

Un barreau 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 de 150 km environ.



Fabrication des fibres optiques

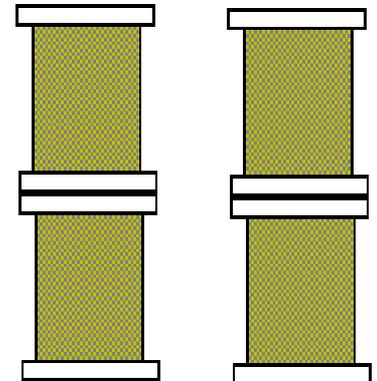


- La deuxième étape est d'installer le barreau à la verticale dans une tour située au premier étage et chauffé par des rampes à gaz. Le verre va s'étirer et « couler » pour être enroulé sur une bobine.

On mesure l'épaisseur de la fibre ($\sim 10 \mu\text{m}$) pour asservir la vitesse du moteur de l'enrouleur, afin d'assurer un diamètre constant.

Fabrication des fibres optiques

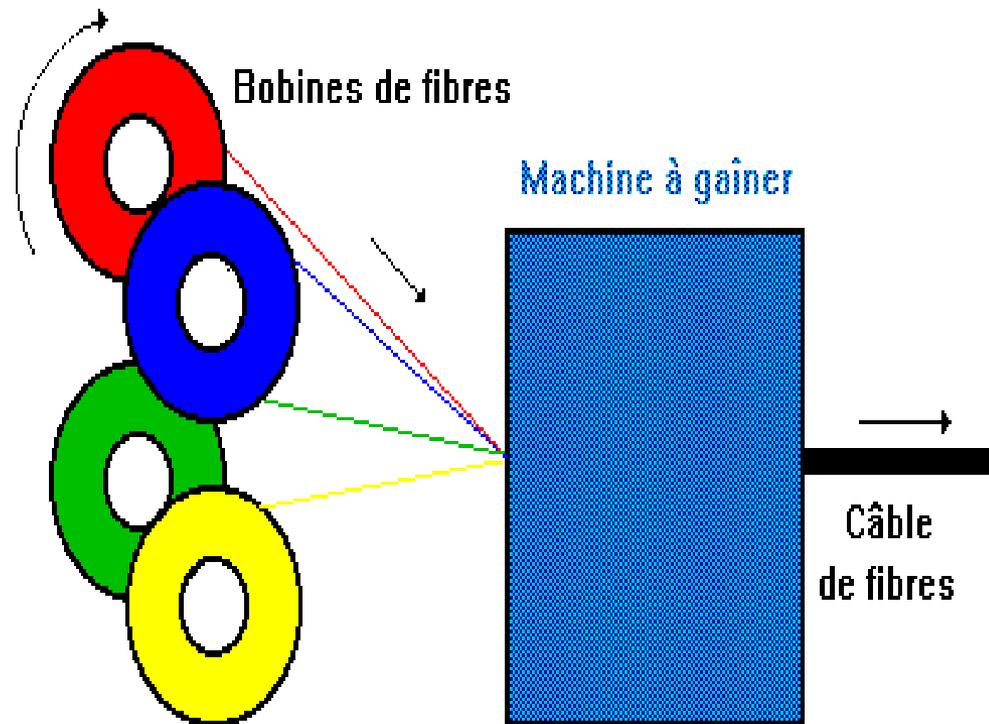
- Chaque bobine de fibre fait ensuite l'objet d'un contrôle de qualité effectué au Microscope afin de déterminer si il y a des défailances dans ces fibre et si le diamètre demandé est bien égal au diamètre de la fibre à la sortie de la machine.



Fabrication des fibres optiques

Gainage final

- Puis on va enrober le verre d'un revêtement de protection ($\sim 230 \mu\text{m}$) et assembler les fibres pour obtenir le câble final à un ou plusieurs brins.



Enrobage du verre (env. 230 microns) et constitution du câble

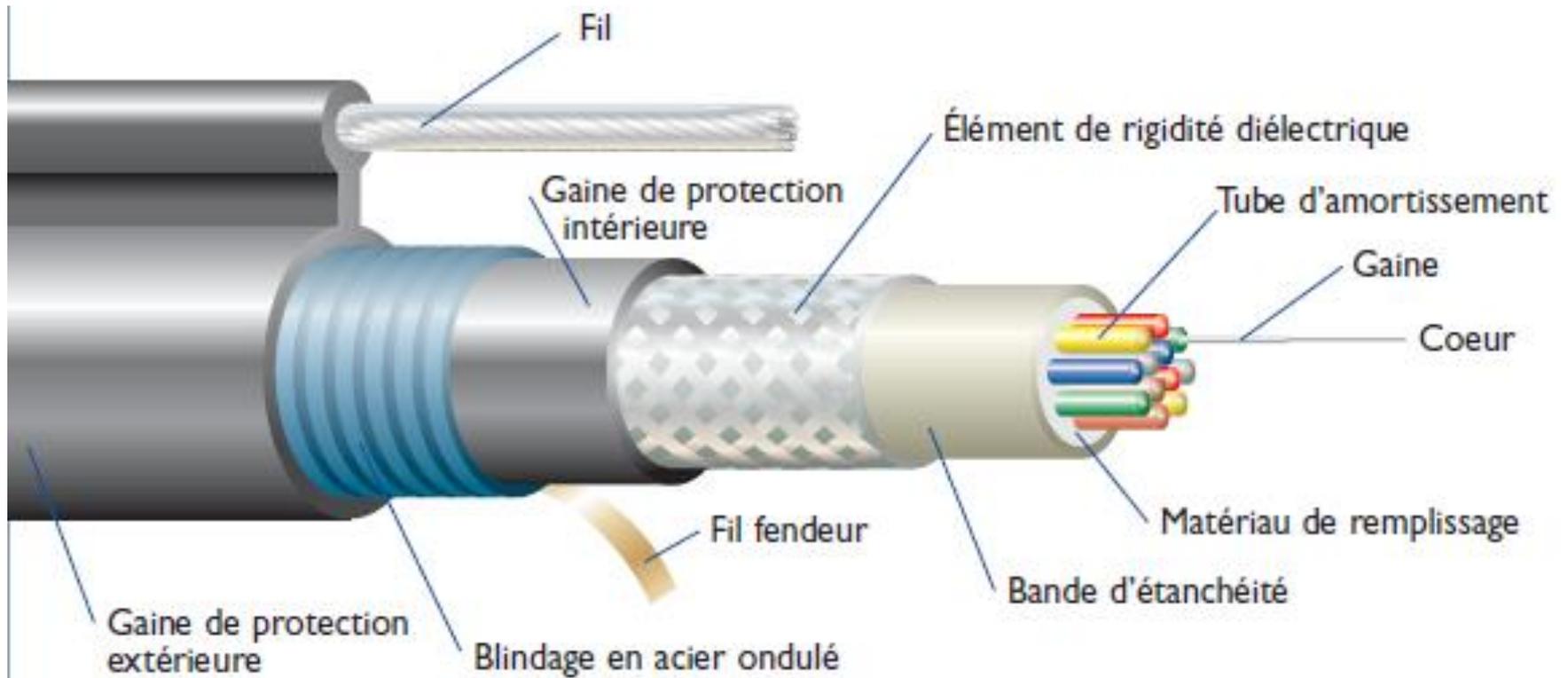
Câble optiques

Pour les réseaux de transmission les fibres optiques sont disposées à l'intérieur de câbles qui peuvent contenir des centaines de fibres.



Câbles pour réseaux locaux, quelques dizaines de fibres.

Câble optiques



Exemple de câble en fibre optique

Câble optiques pour réseaux locaux

Trois types de câbles sont possibles en fonction de leurs usages :

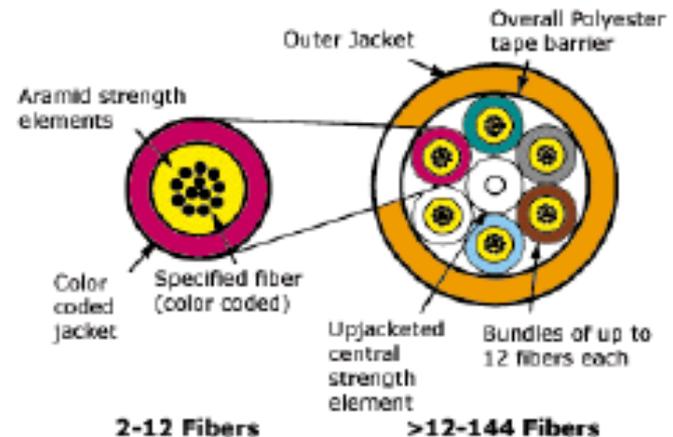
- Le câble de distribution
- Les câbles multifibres d'intérieur
- Les câbles multifibres d'extérieur

Tous ces câbles ont des points communs :

Structure élémentaire à 900 μm libre, semi-serrée, ou serrée

Organisation par modules de 6 fibres

Repérage par coloration uniforme au code FOTAG :



Le câble de distribution

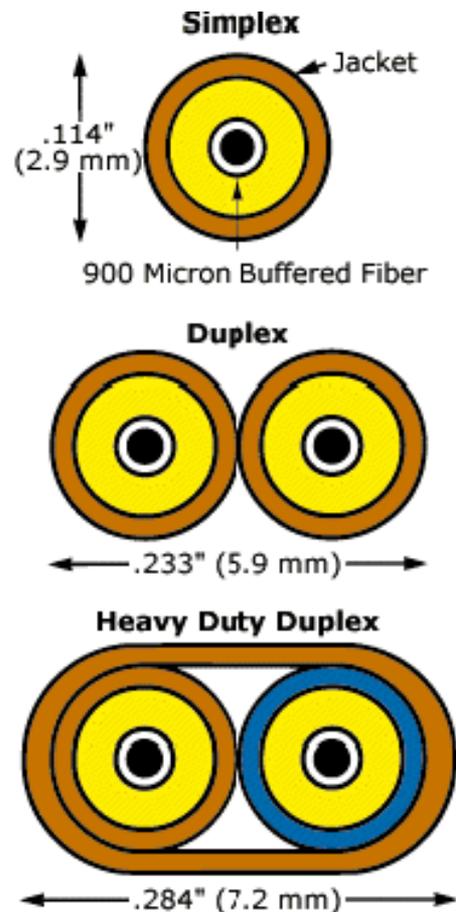
Application : immeubles - de la distribution vers le point d'accès

Modularité : 2 fibres optiques multimodes

Organisation : constitué de 2 structures élémentaires (une bleue, une orange) assemblées dans un câble rond

Type retenu : totalement diélectrique + protection au feu C2 + LSOH

Diamètre extérieur : 4 à 5 mm



Les câbles multifibres d'intérieur

Application: immeubles entre répartiteurs de bâtiments et répartiteur accès

Modularité: modulo 6 : 6, 12, 18, 24, 30, 36 fibres optiques

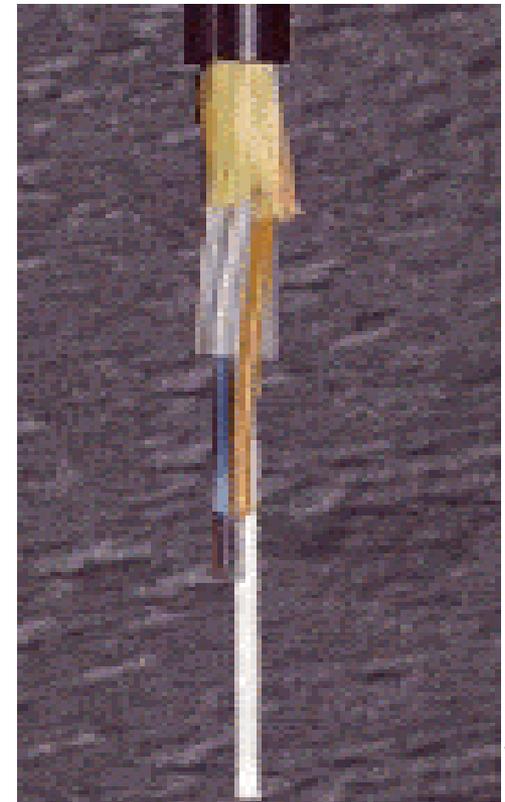
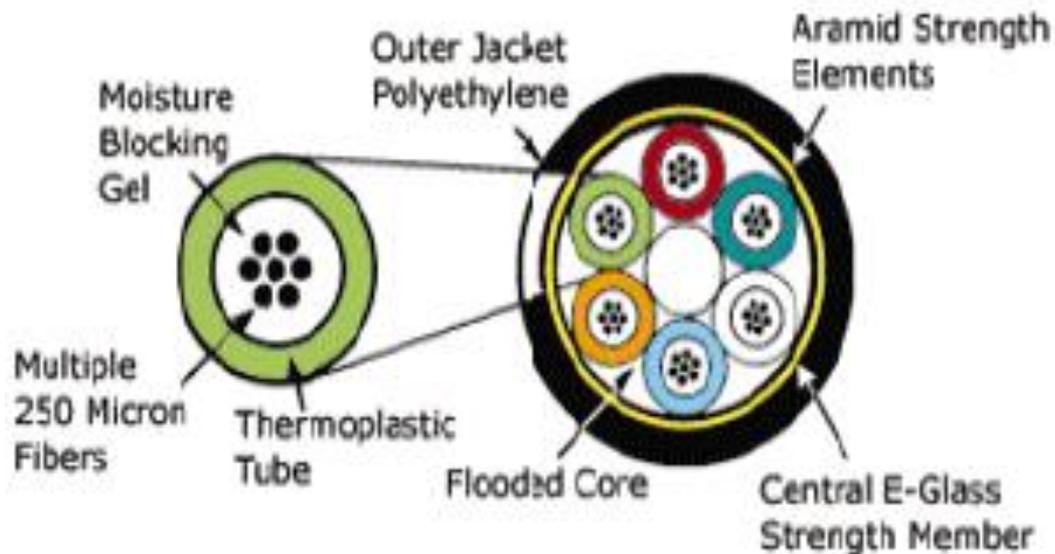
Organisation : assemblage de modules optiques (en fonction du nombre de fibres souhaité) autour d'un porteur central afin de former l'âme optique.

Les câbles multifibres d'intérieur

Module optique: ensemble de 6 structures élémentaires regroupées sous forme d'un faisceau identifiable suivant le code de couleur FOTAG

Type retenu: totalement diélectrique + protection au feu C2 +LSOH

Diamètre extérieur: 20 mm max.



Les câbles multifibres d'extérieur

Application : liaisons inter-bâtiment de quelques kms

Modularité : modulo 6 : 6, 12, 18, 24, 30, 36 fibres optiques

Organisation : assemblage de modules optiques (en fonction du nombre de fibres souhaitées) autour d'un porteur central afin de former l'âme optique.

Module optique : ensemble de 6 structures élémentaires regroupées sous forme d'un faisceau identifiable suivant le code de couleur FOTAG

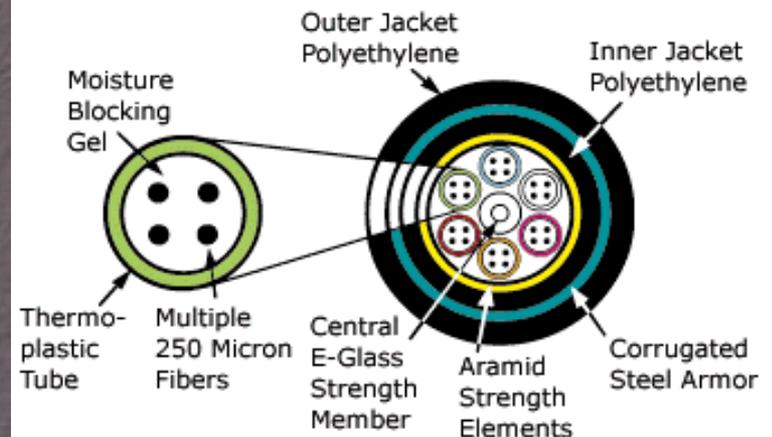
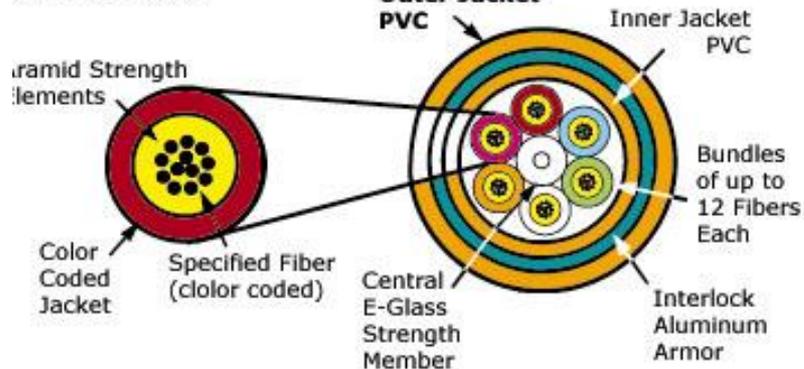
Les câbles multifibres d'extérieur

Types retenus:

- 1 Câbles non armés standard: totalement diélectriques
- 2 Câbles non armés aux conditions sévères: totalement diélectriques
- 3 Câbles armés : avec une tresse acier

Diamètre Extérieur : 20 mm max.

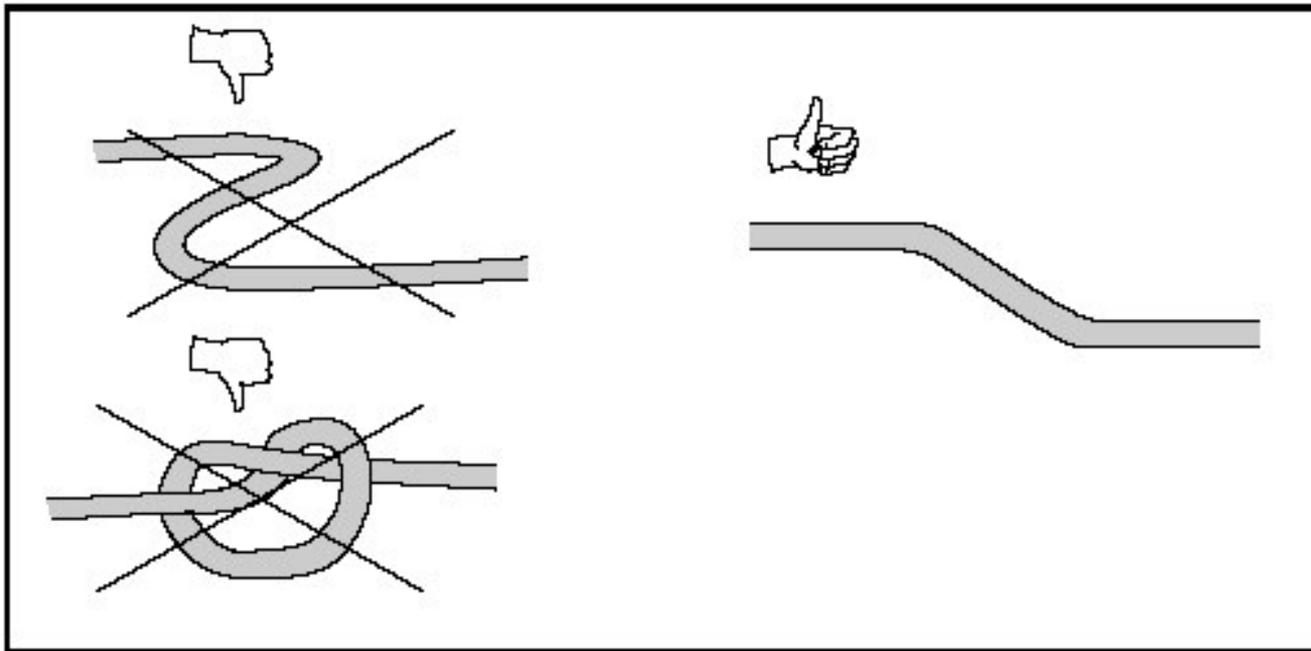
Standard Bundle Detail



Câbles

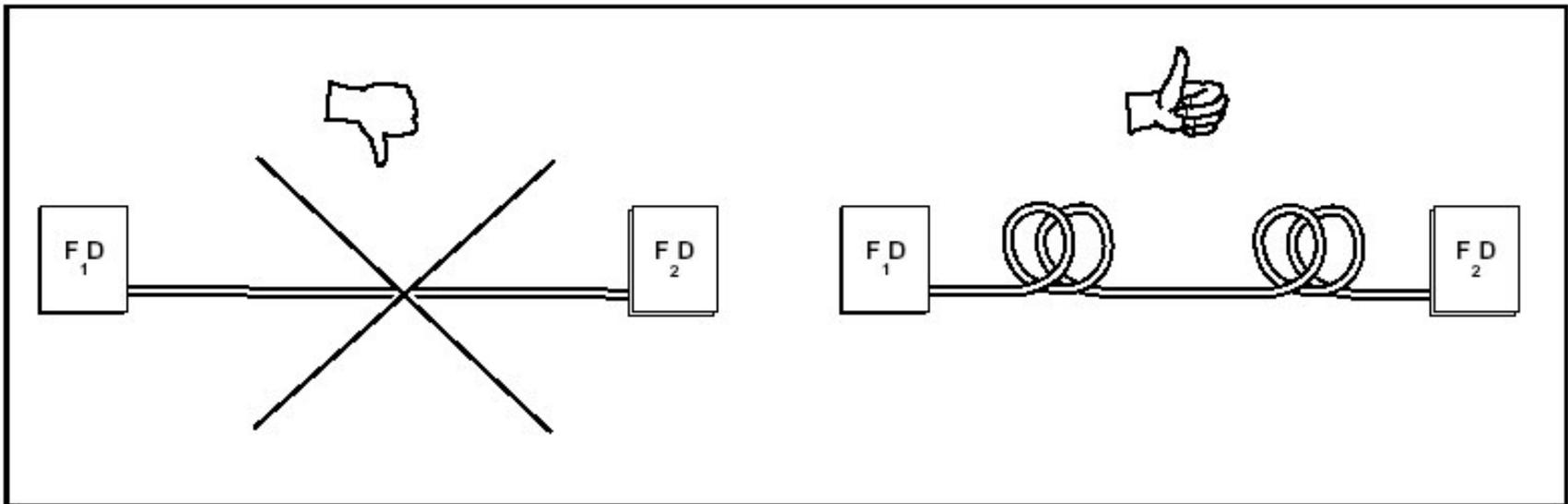
optiques/recommandations

Respecter le rayon de courbure maximum du câble, 20 mm en intérieur et 30 mm en extérieur. Dans les bureaux le rayon de courbure maximum du câble optique est de 50 mm.



Câbles optiques/recommandations

Laisser une marge de longueur de câble entre les éléments à raccorder.



Câbles

optiques/recommandations

POSE DES CÂBLES

- La pose correcte d'un câble à fibres optiques est primordiale dans les performances d'une liaison. Les manquements lors de cette phase auront inévitablement des répercussions négatives au niveau des communications.
- Plusieurs techniques existent, soit la pose s'effectue sur chemin de câble, sous tubes ou non, soit en caniveaux, ou en enterré. Si les distances sont importantes, il existe des techniques par soufflage à l'air ou à l'eau.

Câbles optiques/recommandations

CE QU'IL FAUT FAIRE

Il est donc important de créer toutes les conditions nécessaires permettant d'obtenir en tout point de la liaison les conditions de la réflexion totale ainsi qu'une protection mécanique suffisante, donc :

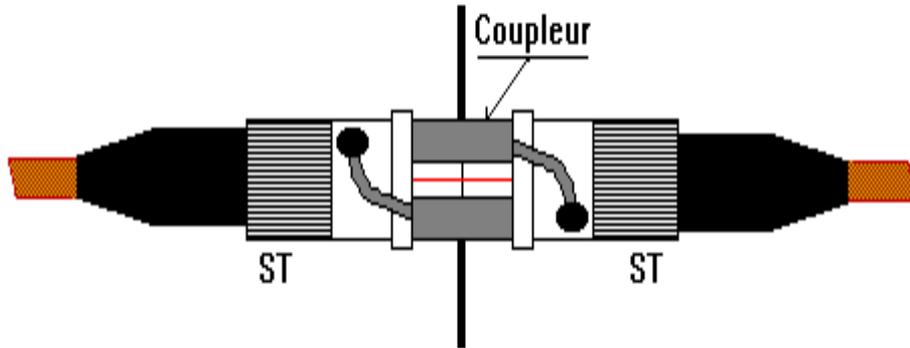
- Pas de courbes trop serrées, minimum 20 à 30 fois le diamètre extérieur du câble à fibres optiques.
- Utilisation d'un câble disposant d'une armature métallique de protection ou pose sous tube.

Câbles

optiques/recommandations

- Supporter le câble mécaniquement lors de son introduction dans l'armoire.
- Fixation par presse étoupe du câble lors de son introduction dans le rack optique.
- Éviter les écrasements provoqués par d'autres câbles.
- Signaler clairement la présence de câble à fibres optiques dans les caniveaux et chemins de câbles.
- Ne pas créer de stress par traction ou torsion par le choix de chemins inappropriés.

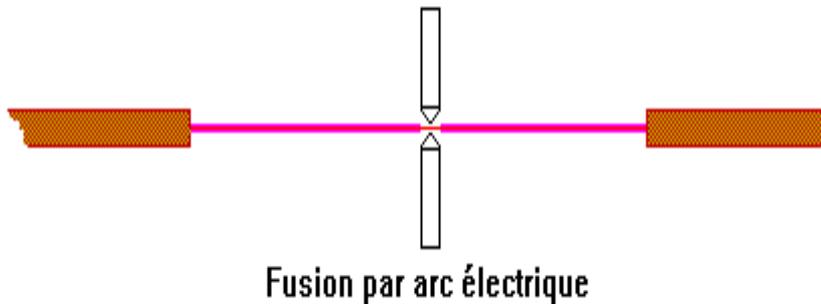
Éléments de raccordement



Les connecteurs ont pour fonction de raccorder des fibres optiques avec le minimum de pertes. Ils peuvent être mono ou multifibres.

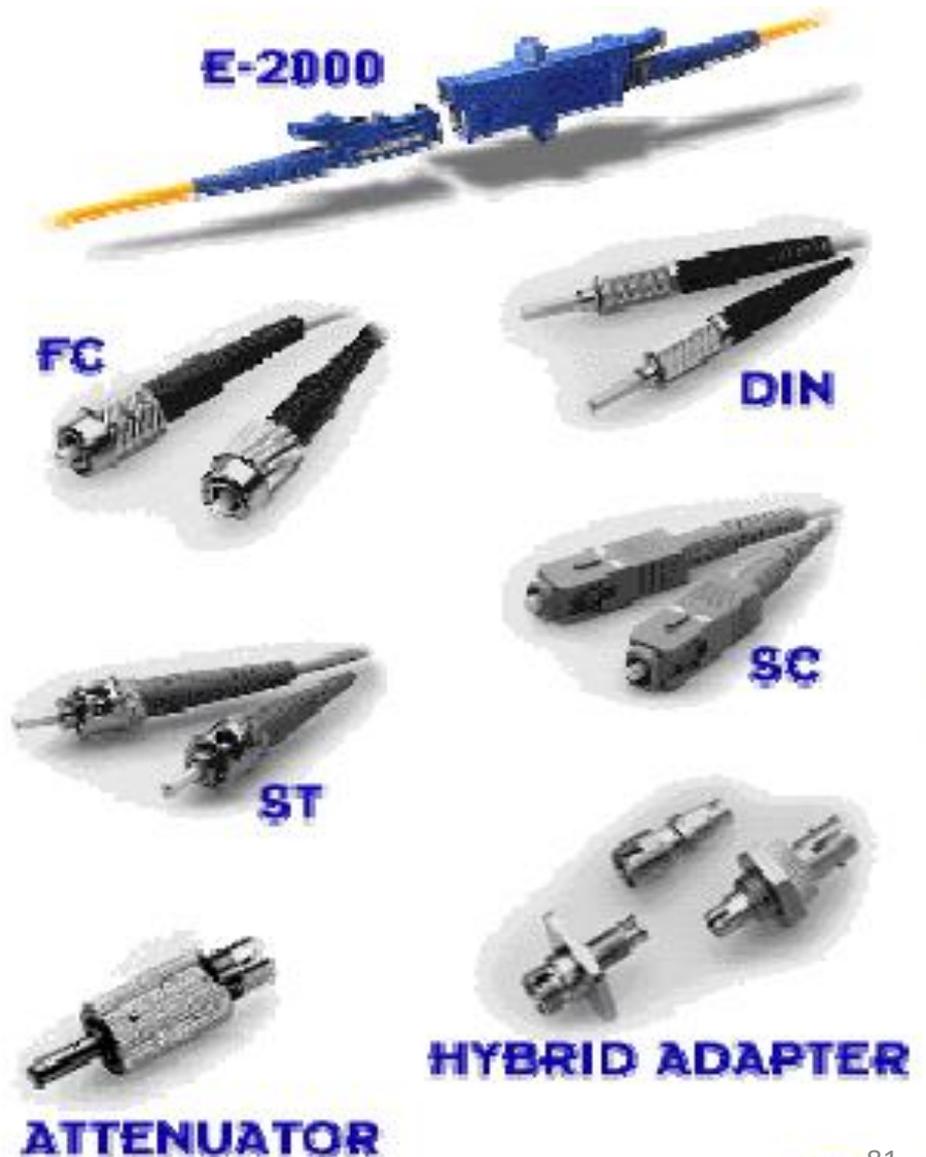


L'épissure mécanique est aussi démontable. Moins chère que le connecteur, elle est aussi moins fiable.



La soudure par arc électrique est un raccordement définitif qui introduit très peu de pertes et de réflexions.

Exemples de connecteurs



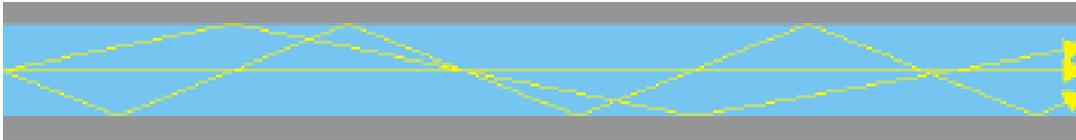
Exemples de connecteurs FC, ST et SC



Chapitre 5: Principaux supports de transmission

2 type de support :

- Supports avec un guide physique :
 - **Paire téléphonique / torsadée**
 - **Câble coaxial**
 - **Fibre optique**



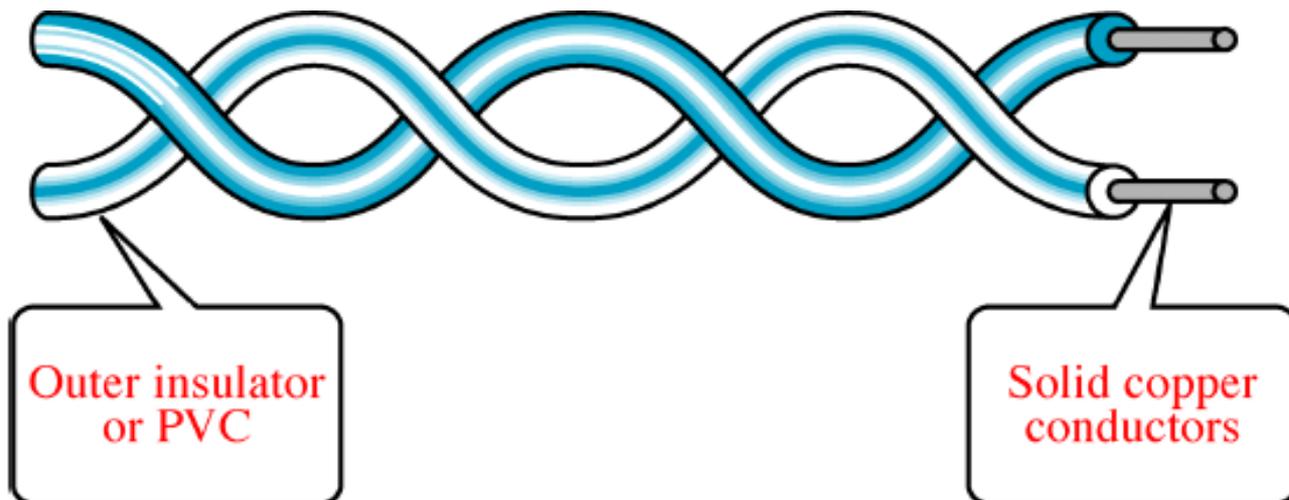
- Supports sans guide physique:
 - **Faisceau hertzien**
 - **Liaison satellite**
 - ...

La paire torsadée

La paire torsadée La paire torsadée ou téléphonique est le media le plus utilise/repandu. La paire peut être blindée (shielded) pour améliorer ses performances (bande passante en fréquence).

Les signaux véhicules sur la paire torsadée peuvent parcourir des dizaines de kilomètres sans amplification ou régénération.

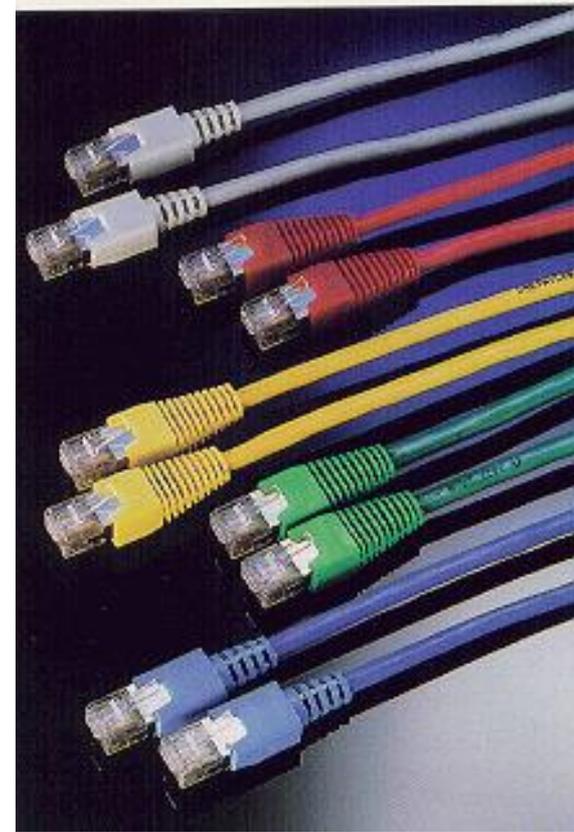
Les paires torsadées peuvent être utilisées pour transmettre des signaux binaires (numériques, digitaux) ou des signaux analogiques.



Le câble à paires torsadées

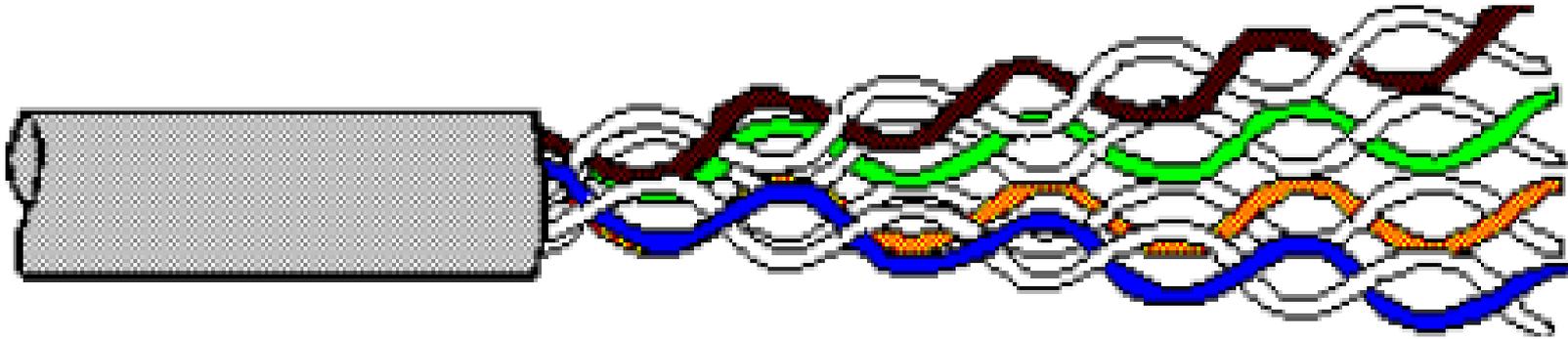
Description physique:

- Deux fils conducteurs torsadés
- Peu coûteuse
- Facile à manipuler
- La torsion des fils diminue la diaphonie avec des paires adjacentes
- La longueur des torsions varie entre 5 cm et 15 cm
- Un câble contient plusieurs paires torsadées.
- très utilisée (téléphone, réseaux locaux)
- débit limité (centaine de MBits/s)

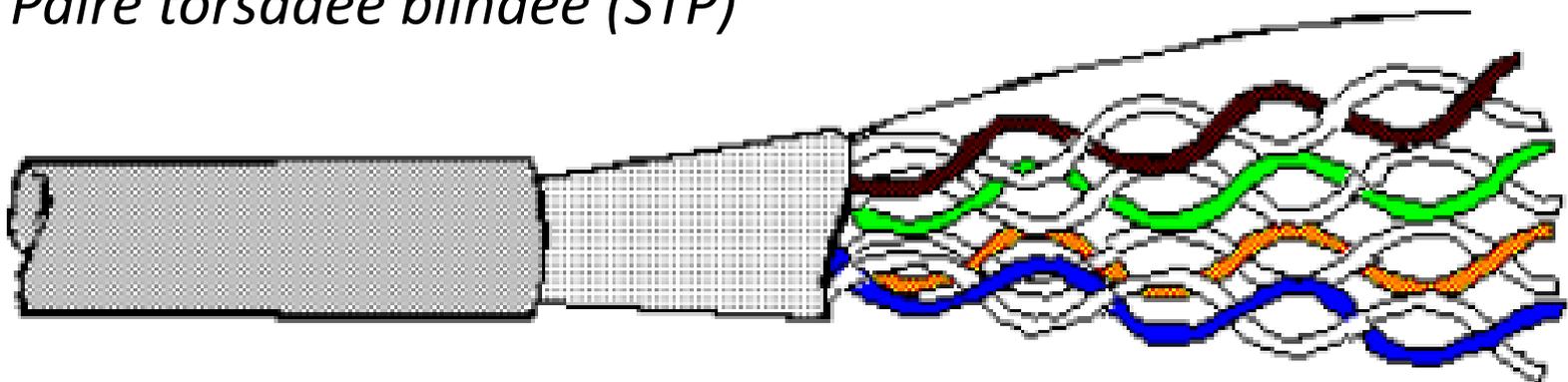


Une paire torsadée est constituée de deux brins torsadés en cuivre, protégés chacun par une enveloppe isolante On distingue:

- *Paire torsadée non blindé (UTP)*



- *Paire torsadée blindée (STP)*



Paire torsadée blindée (STP)

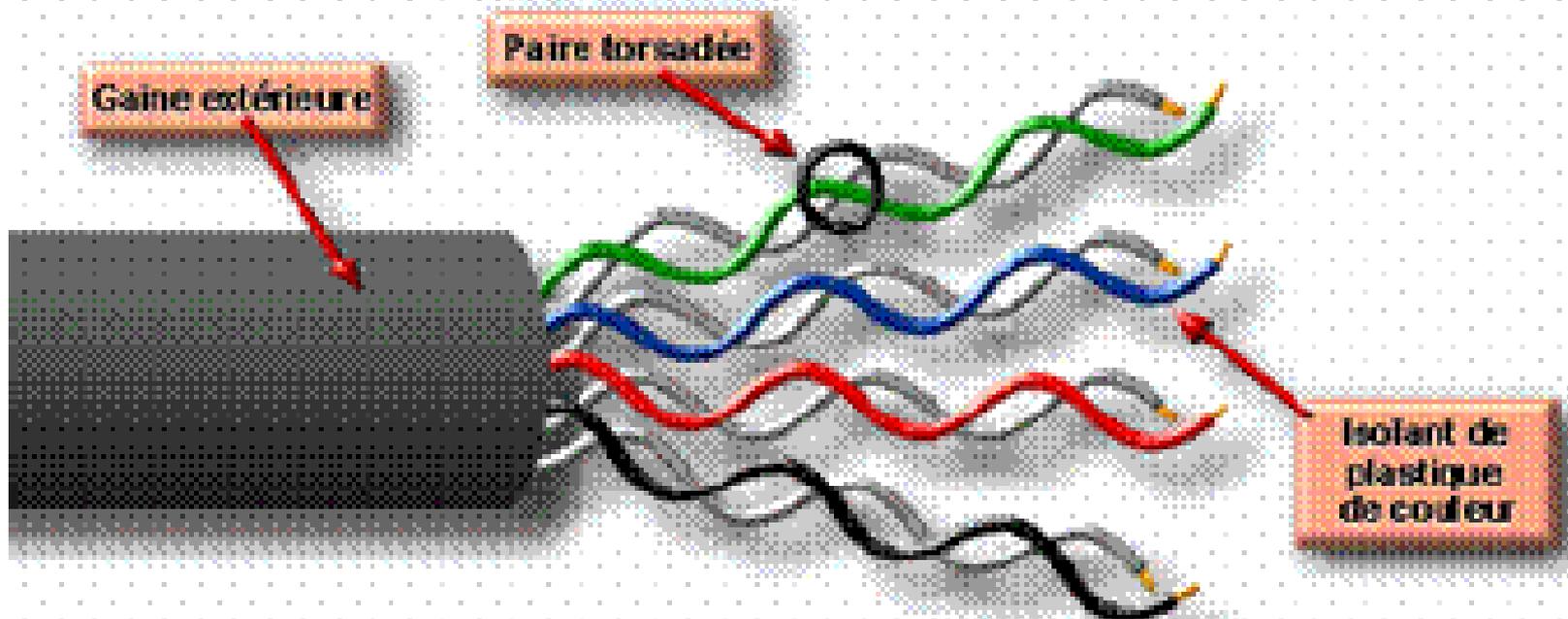


Vitesse et rendement	10 - 100 Mbits/s
Coût moyen par nœud :	Moyennement cher
Taille du connecteur/média :	Moyen à gros
Longueur maximale :	100 m (court)

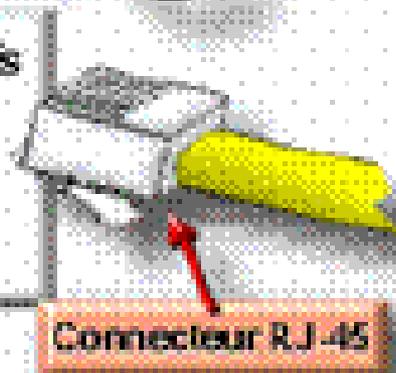


Connecteur STP

Paire torsadée non blindée (UTP)



Vitesse et rendement:	10 - 100 Mbits/s
Coût moyen par nœud:	Le moins cher
Taille du connecteur/média :	Petit
Longueur maximale :	100 m (court)



Il existe différents types de câbles qui diffèrent selon le niveau de protection des câbles :

Types de câbles	Signification
UTP	Unshielded Twisted Pairs : paires torsadées non blindées. à utiliser pour les connections ne présentant pas de risque de parasite.
FTP	Foiled Twisted Pairs : paires torsadées blindées par feuillard. (feuille de blindage aluminium autour des paires) Attention: ce câble supporte très mal les courbure excessives.
STP	Shielded Twisted Pairs): paires torsadées blindées par tresse. (toute les paires de câbles sont mis dans une tresse étamée) contrairement au SSTP ou toute les paires sont mis individuellement dans un tresse de blindage), à utiliser dans les cas ou il y a un risque de parasitage (passage en goulotte avec d'autres câbles électrique....)
SFTP	Shieded Foiled Twisted Pairs : paires torsadées blindées par tresse et feuillard paire par paire. (double blindage feuillard d'aluminium et tresse de cuivre étamé.)
SSTP	Shielded Shielded Twisted Pairs : câble blindé paire par paire, (chacune des paires est blindé enrobé d'une tresse métallique) à utilisé pour les connections a très grande vitesse (Gbp)

UTP (Unshielded Twisted Pairs).
Câble non blindé

SFTP (Shielded Foiled Twisted Pairs). Câble blindé

FTP (Foiled Twisted Pairs).
Câble écrané

SSTP* (Shielded Shielded Twisted Pairs). Câble blindé paire par paire



* Autre appellation PIMF
(Pair In Metal Foiled)

Paire torsadée non blindé (UTP) et débit

Catégories de câbles UTP:

catégorie 1: fil téléphonique standard

catégorie 2: quatre paire torsadées pouvant transporter des données à 4 Mb/s

catégorie 3: quatre paires torsadées. Débit maximum = 10 Mb/s

catégorie 4: quatre paires torsadées. Débit maximum = 16 Mb/s

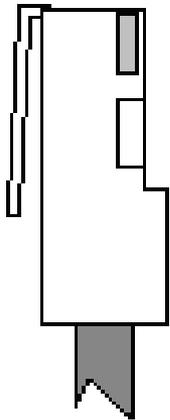
catégorie 5: quatre paires torsadées. Débit maximum= 100 Mb/s

catégorie 5E, 6, 7 >100Mbs

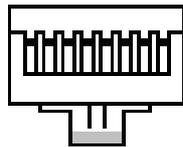
Normalisation du câblages

CABLAGE RJ45

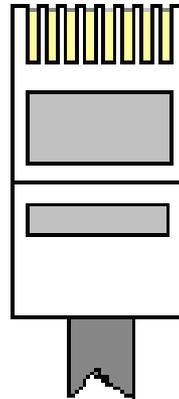
RJ-45 Male
Plug



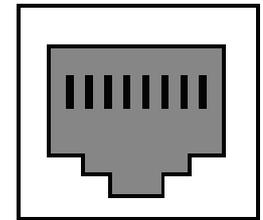
8 7 6 5 4 3 2 1



1 2 3 4 5 6 7 8



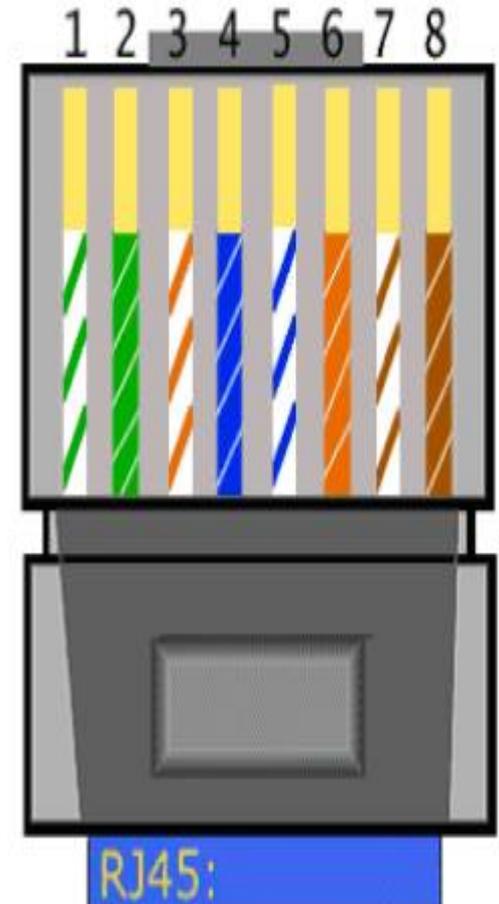
1 2 3 4 5 6 7 8



RJ-45
Female

Norme EIA/TIA568A

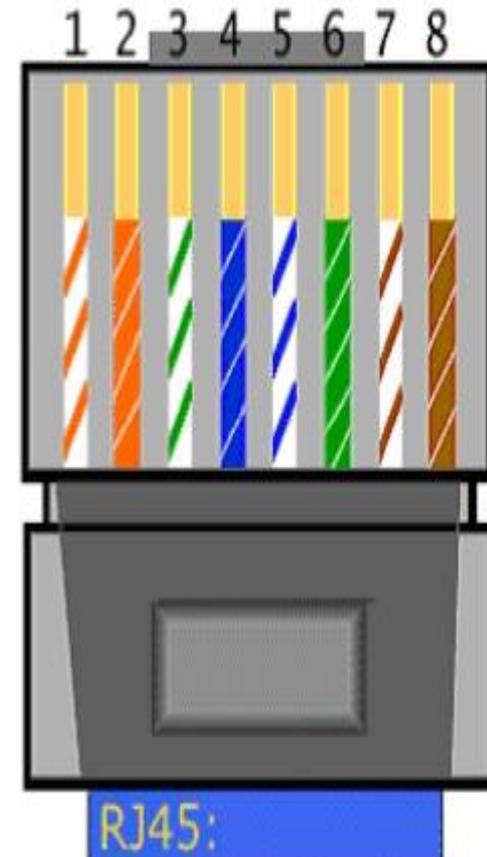
T568A			
Nom	N° Broche	N° Paire	Couleur
RD+	1	1	 Blanc-vert
RD-	2	1	 Vert
TD+	3	2	 Blanc-orange
Non utilisée	4	3	 Bleu
Non utilisée	5	3	 Blanc-bleu
TD-	6	2	 Orange
Non utilisée	7	4	 Blanc-brun
Non utilisée	8	4	 Brun

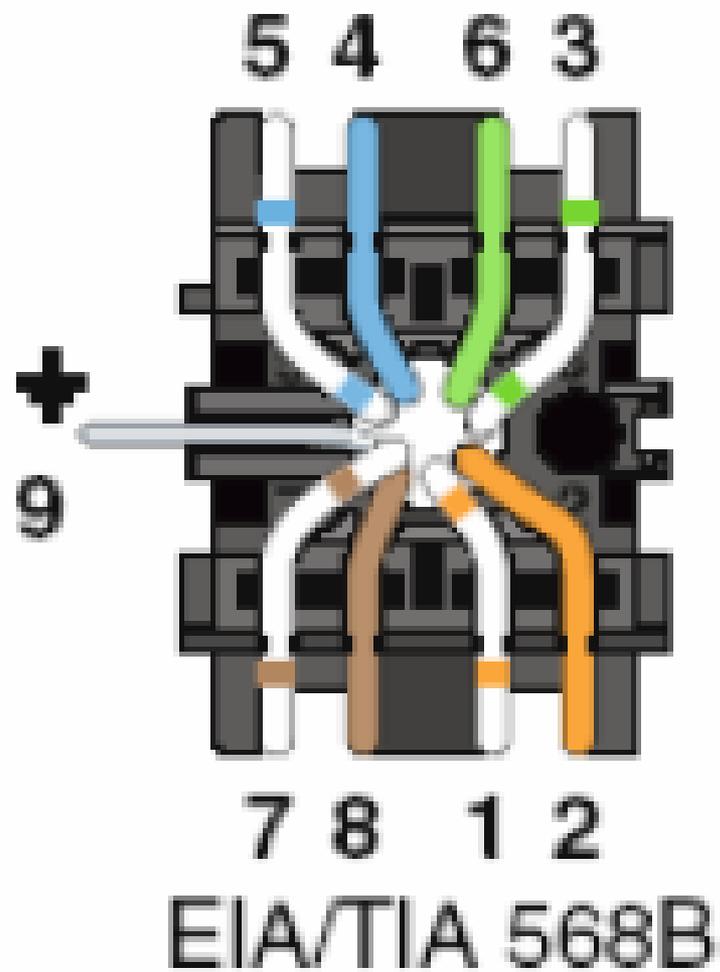
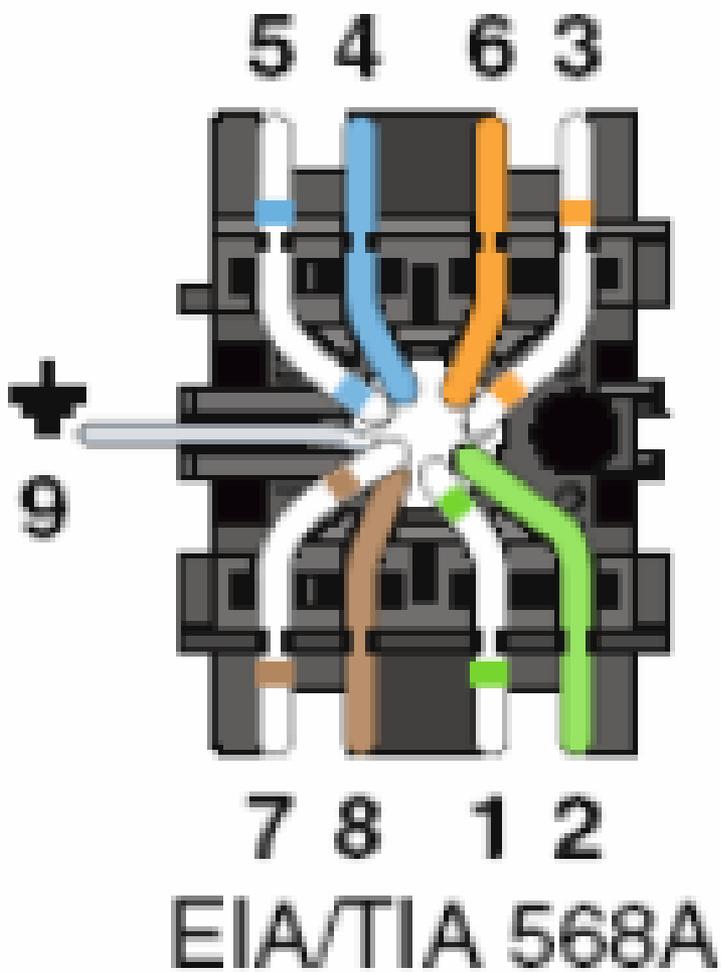


Norme EIA/TIA568B

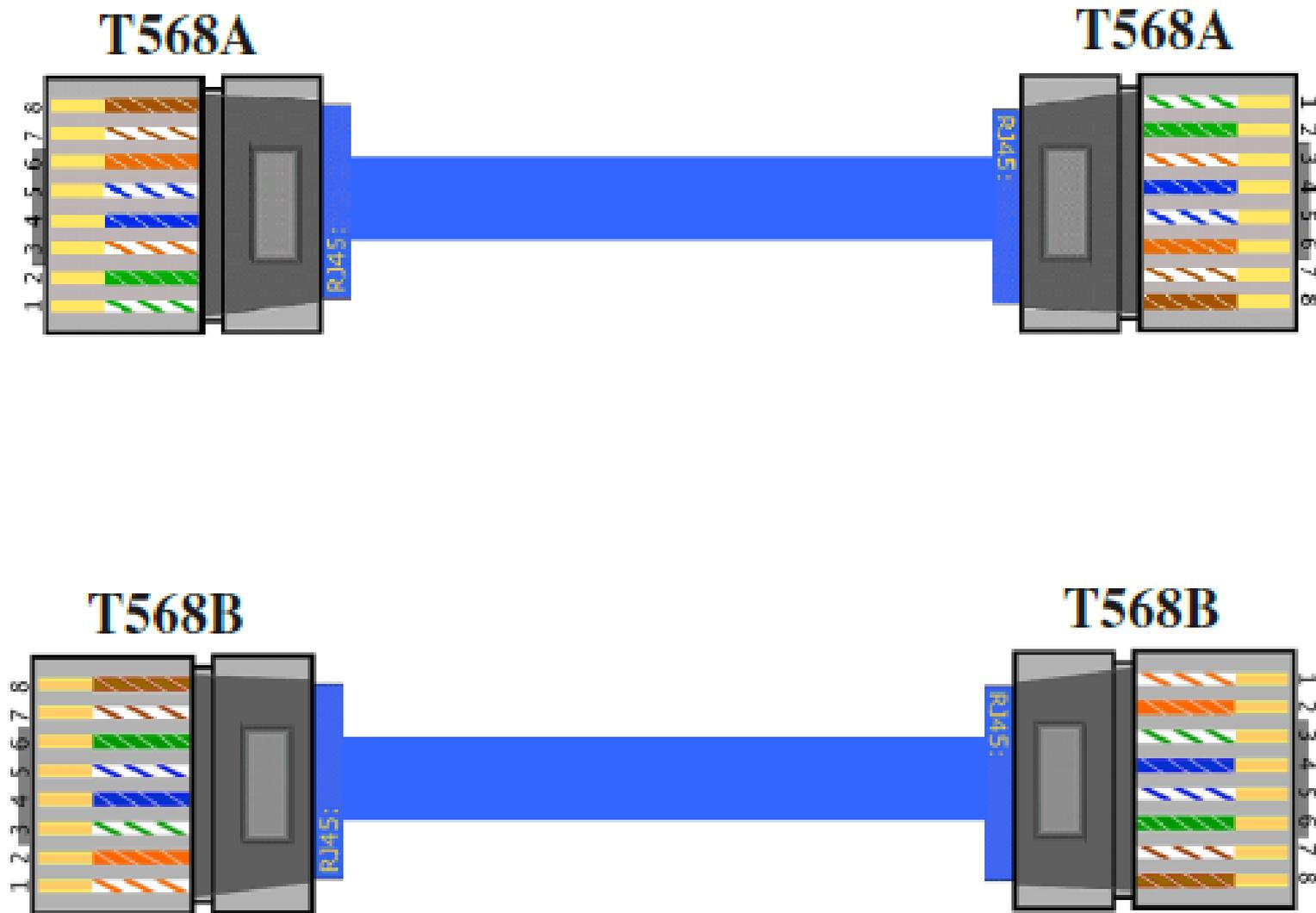
T568B

Nom	N° Broche	N° Paire	Couleur
RD+	1	1	 Blanc-orange
RD-	2	1	 Orange
TD+	3	2	 Blanc-vert
Non utilisée	4	3	 Bleu
Non utilisée	5	3	 Blanc-bleu
TD-	6	2	 Vert
Non utilisée	7	4	 Blanc-brun
Non utilisée	8	4	 Brun

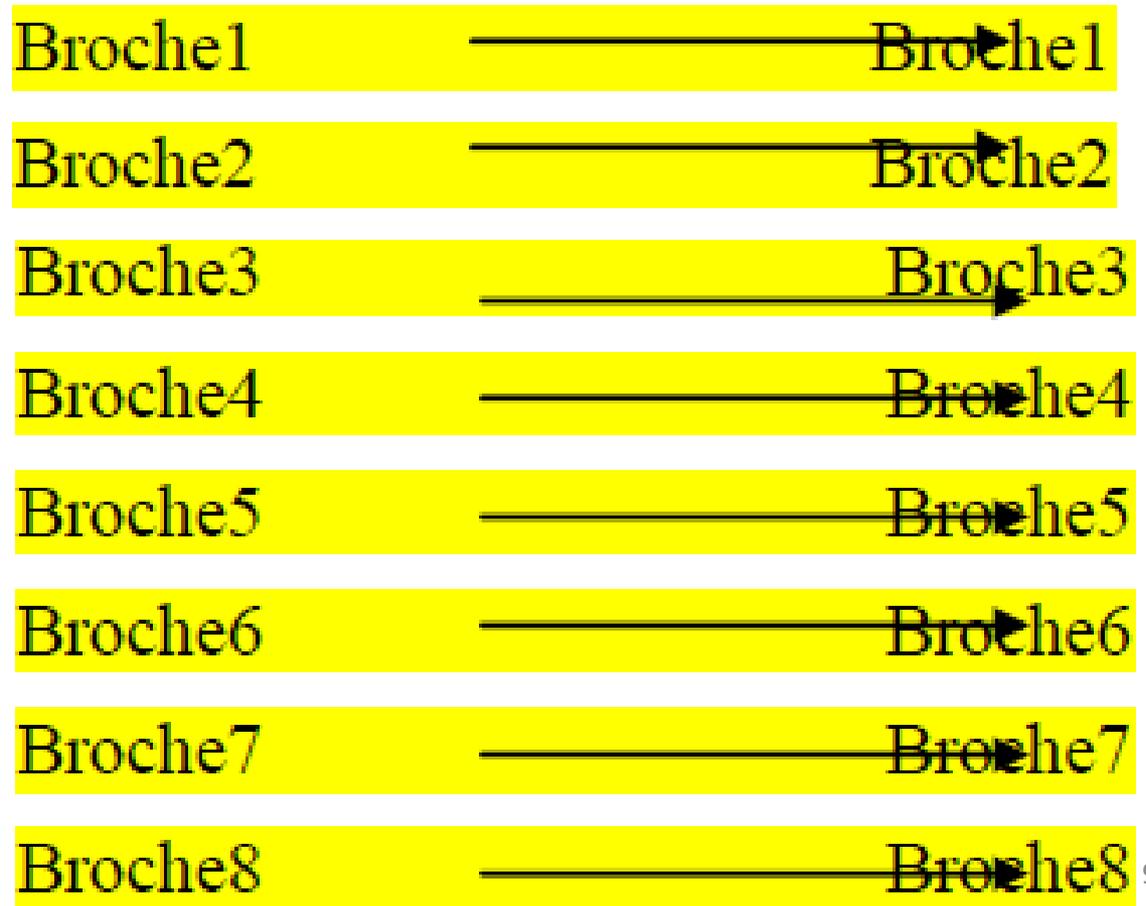




Réalisation d'un câble droit



Ce type de câblage est celui employé pour les réseaux 10/100 BT traditionnels. Il ne permet pas de connecter deux ordinateurs directement : il faut en effet passer par l'intermédiaire d'un hub ou d'un switch. La norme 568-B impose un ordre précis au niveau du montage des prises.



Exemple de Câble droit

Schéma 10/100 Mbps avec 4 fils

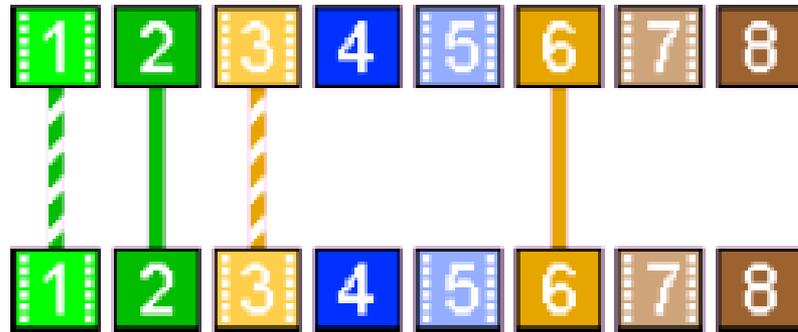
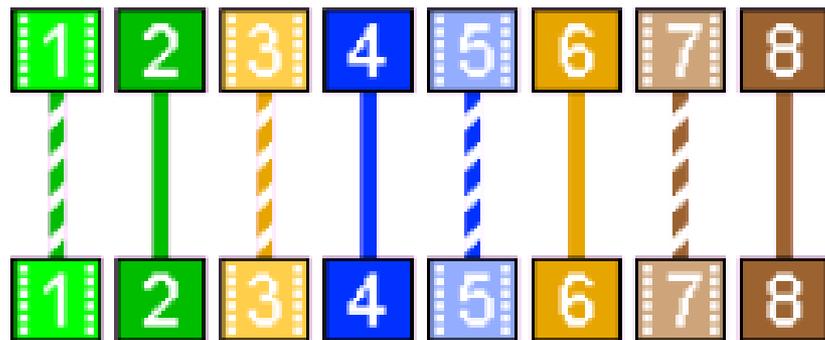


Schéma 10/100 Mbps avec 8 fils



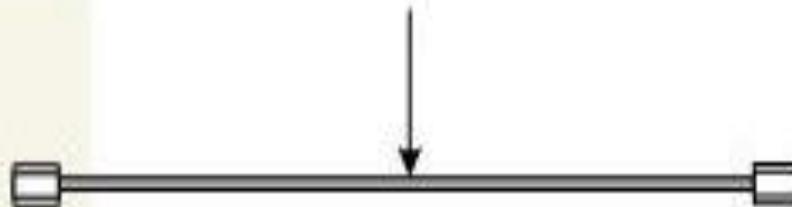
C'est le modèle le plus répandu

Utilisation : branchement d'une interface Ethernet à un HUB ou à un SWITCH.

Ordinateur équipé
d'une carte Ethernet



Câble droit



Switch

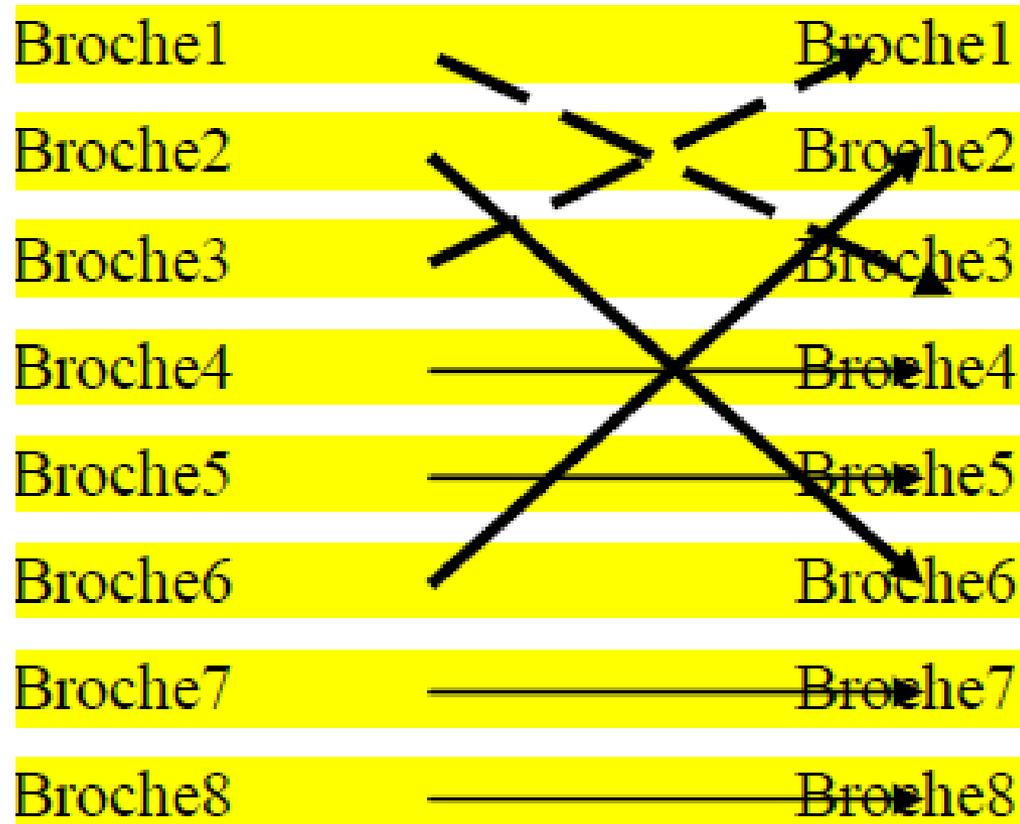


Réalisation d'un câble croisé



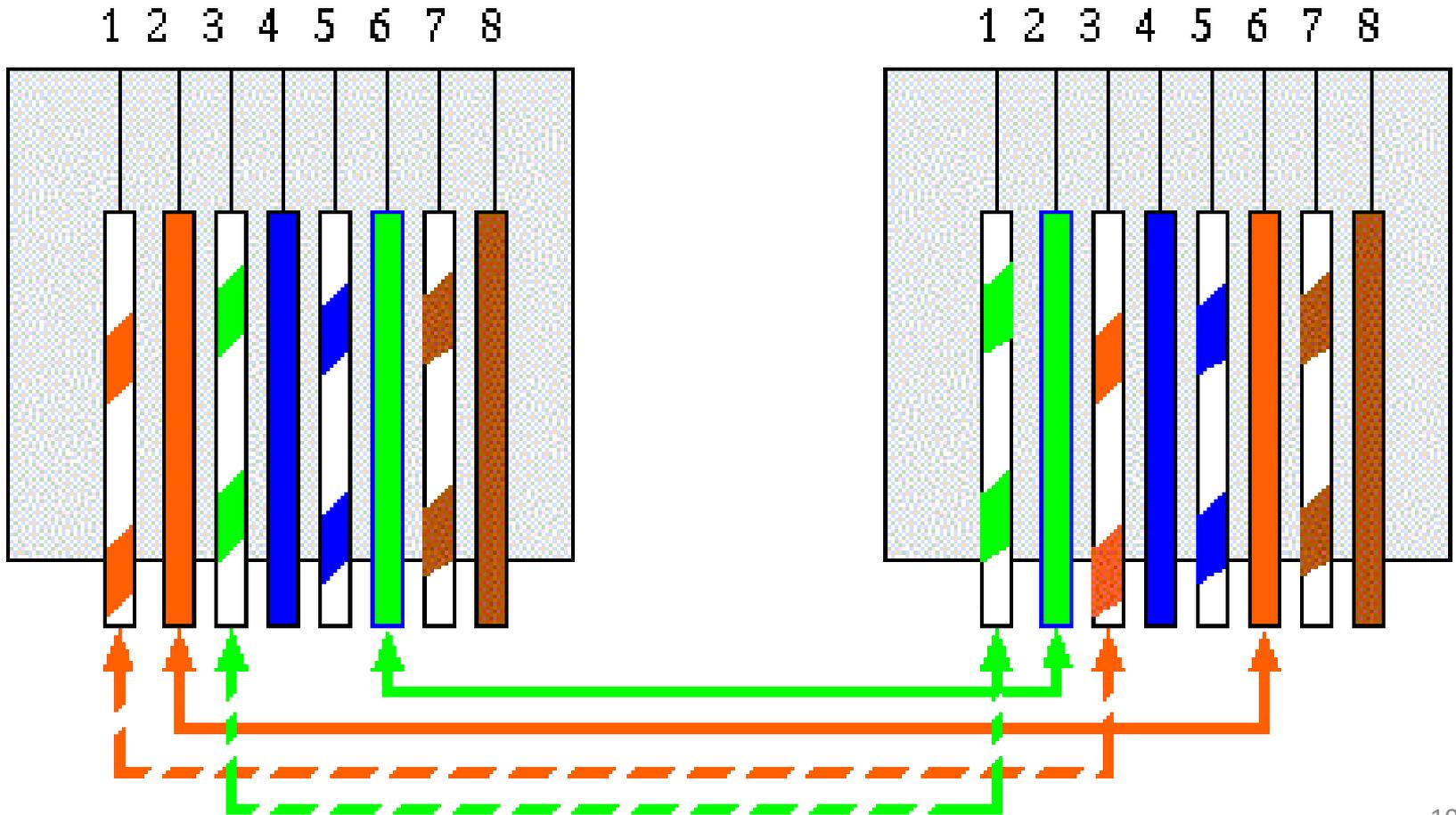
Ce type de câble vous permettra de relier directement deux ordinateurs entre eux sans passer par un hub ou un switch. En fait, le câble est composé de 4 paires de fils de cuivre torsadés, et le câble doit respecter une norme de câblage bien précise.

On appelle ce type de branchement un câble "croisé" car il consiste à inverser (ou croiser) le fil blanc / orange avec le fil blanc / vert et le fil orange avec le fil vert.

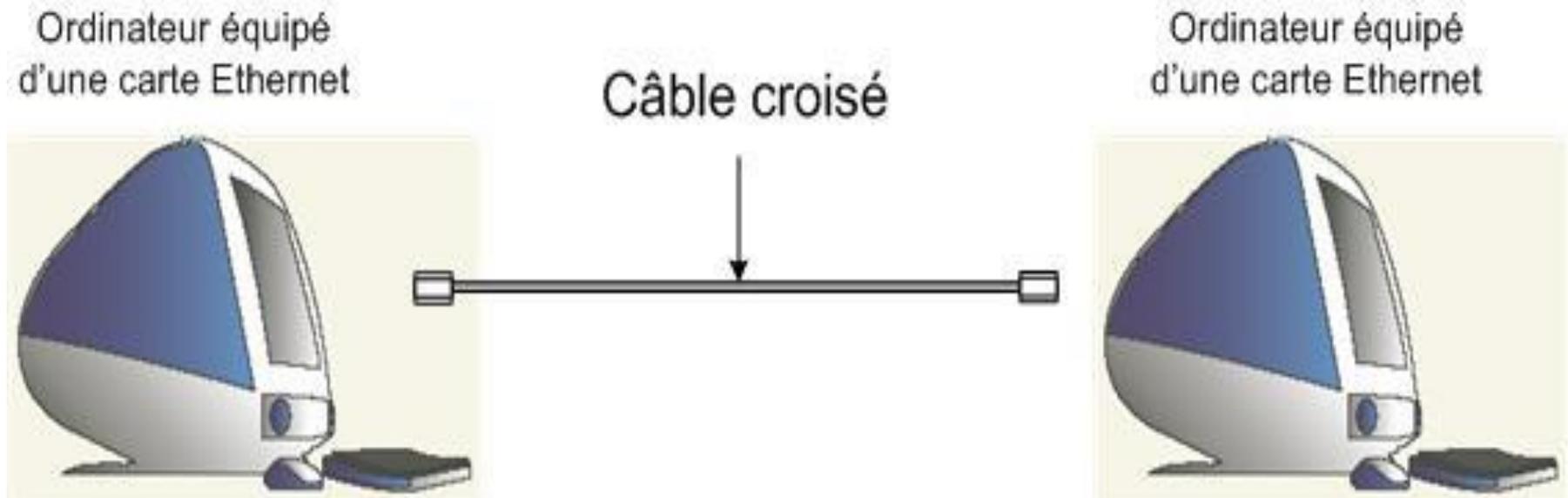


Exemple de Câble croisé

Un câble croisé pour un réseau **10BaseT (10 Mbits/s)** : Les pattes **4, 5, 7 et 8** ne sont pas croisées

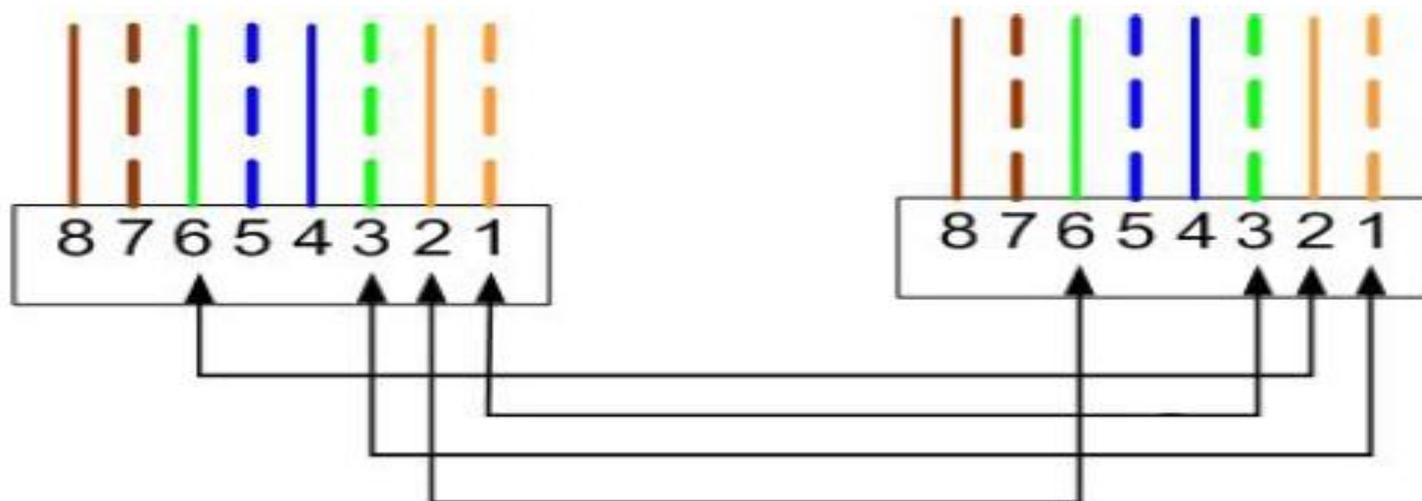


Utilisé pour relier directement 2 interfaces Ethernet entre elles. Le brochage à une des extrémités est différent pour permettre la communication : les fils d'émission et de réception sont inversés. La norme recommandée pour ce type de câble est la norme *TIA/EIA T568A* pour une des extrémités, la norme *TIA/EIA T568B* pour l'autre.



Pour fabriquer un câble RJ45 croisé, il suffit d'acheter *câble droit*, de le sectionner en son milieu, puis de reconnecter les fils selon le schéma suivant :

Côté 1			Côté 2		
Nom	N°	Couleur	Nom	N°	Couleur
Tx Data +	1	Blanc/orange	Recv Data +	3	Blanc/vert
Tx Data -	2	Orange	Recv Data -	6	Vert
Recv Data +	3	Blanc/vert	Tx Data +	1	Blanc/orange
	4	Bleu		4	Bleu
	5	Blanc/Bleu		5	Blanc/Bleu
Recv Data -	6	Vert	Tx Data -	2	Orange
	7	Blanc/marron		7	Blanc/marron
	8	Marron		8	Marron



Nouveaux paramètres à mesurer

L'EIA/TIA a défini en 1997 de nouveaux paramètres à mesurer, lors de la certification d'un câblage :

- Temps de propagation
- Ecart de temps de propagation des signaux sur les quatre paires d'un câble (Skew Delay).
- Paradiaphonie Power Sum

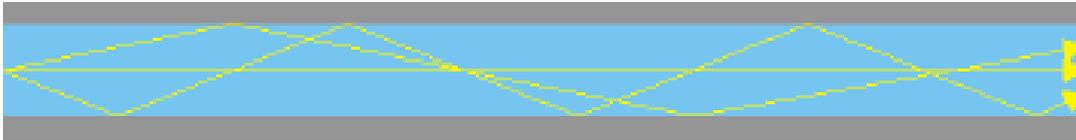
Ces paramètres ont une très grande importance lorsque l'on évolue vers les réseaux hauts débits (100BaseT4, Gigabit Ethernet) transmettant sur 2, 3 ou 4 paires.

Paradiaphonie Power Sum : valeur de paradiaphonie prenant en compte la diaphonie générée par l'ensemble des paires d'un câble par la valeur mesurée entre la plus mauvaise combinaison de paires sans tenir compte des paires adjacentes.

Chapitre 5: Principaux supports de transmission

2 type de support :

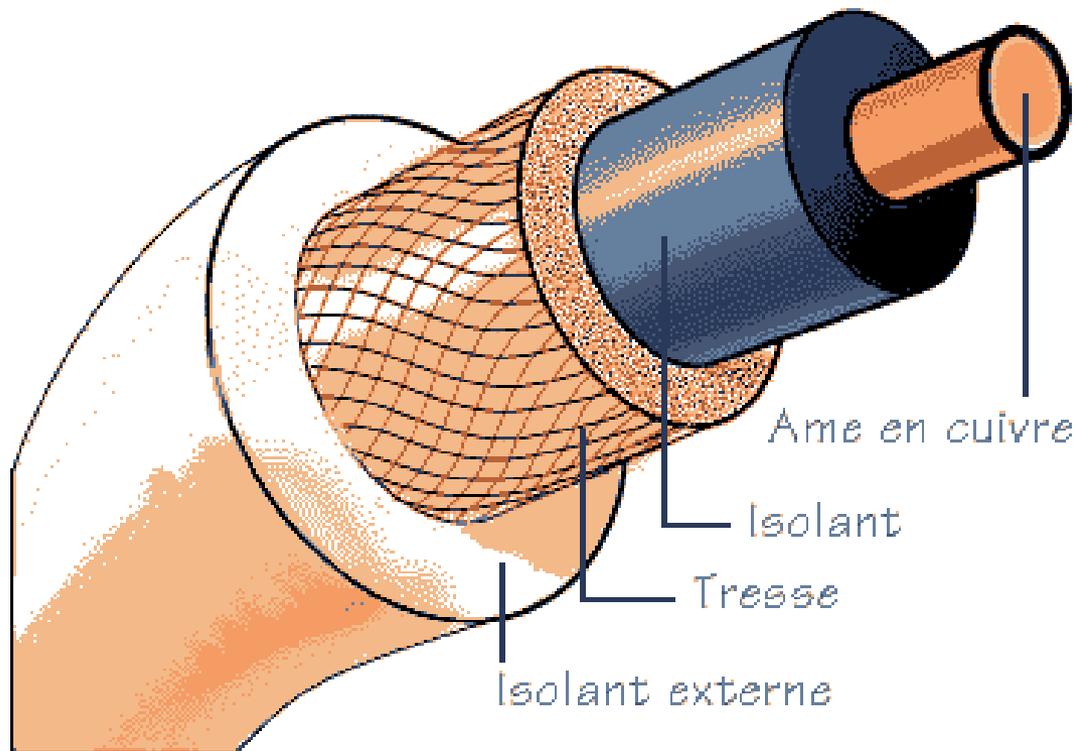
- Supports avec un guide physique :
 - **Paire téléphonique / torsadée**
 - **Câble coaxial**
 - **Fibre optique**



- Supports sans guide physique:
 - **Faisceau hertzien**
 - **Liaison satellite**
 - ...

Câble coaxial

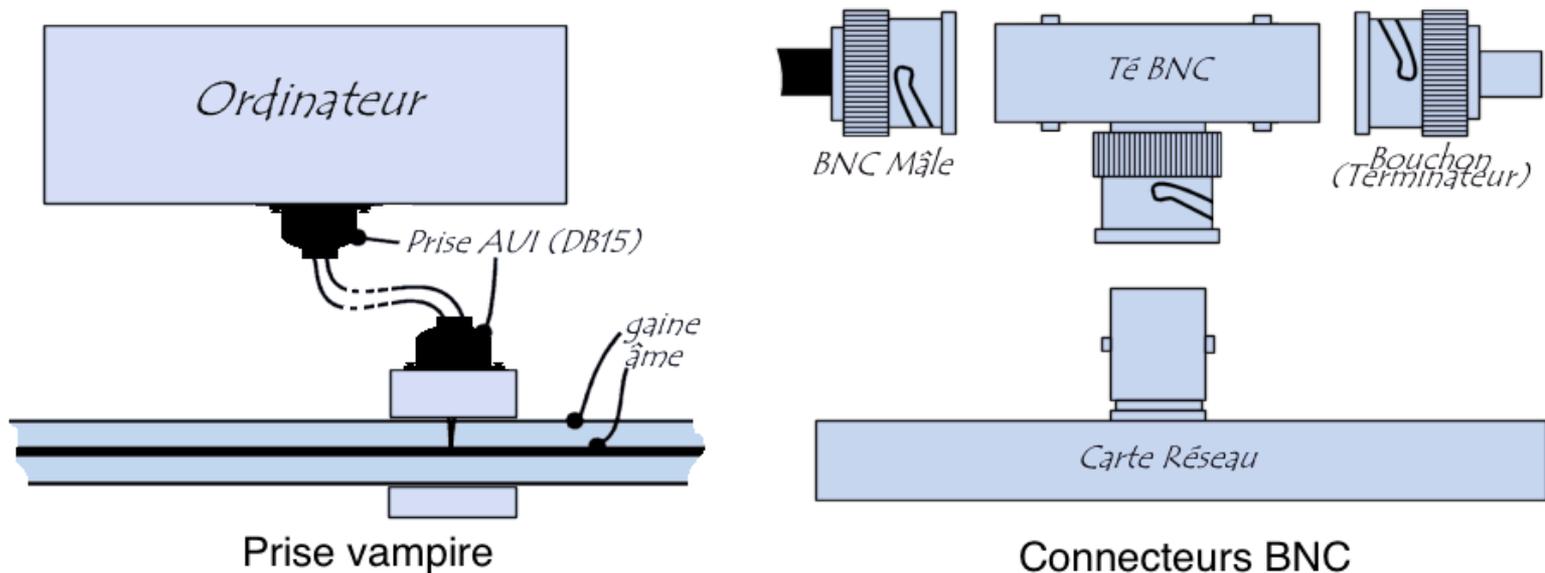
Le câble coaxial est formé de deux conducteurs cylindriques de même axe séparés par un isolant, le tout étant protégé par une gaine plastique.



Il existe deux types de câble coaxial :

- Le câble 75 Ω , dit "large bande" (broadband) utilisé pour la transmission analogique : c'est le câble de télévision !
- le câble 50 Ω , dit "bande de base" (baseband) généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques. Il permet une bande passante de quelques centaines de MHz et des débits allant jusqu'à 2Gbit/s.

Le câble coaxial est raccordé par des prises vampire pour les gros câbles et les fiches BNC (British Naval Connector) pour les câbles fins.



Câble coaxial

- Caractéristiques mécaniques

- Le conducteur central ou âme peut être massif ou en fils torsadés. Les âmes massives en cuivre recuit argenté sont plus rigides que les âmes multibrins et permettent d'obtenir des câbles à faibles atténuation.

- L'enveloppe isolante ou diélectrique qui entoure l'âme et assure son isolation électrique peut être massive ou aérée. Les diélectriques les plus utilisés sont le téflon (PTFE) et le polyéthylène (PE).

- Le conducteur extérieur d'un câble souple est généralement formé d'une ou plusieurs tresses métalliques en cuivre rouge étamé ou argenté (à fuseaux croisés ou lamés) ou d'un ruban (blindage réalisé par enroulement en hélice d'une mince feuille de cuivre étamé et argenté).

Câble coaxial

-Le conducteur extérieur d'un câble semi-rigide est constitué d'un tube de cuivre annelé ou d'un tube d'aluminium étiré.

-Cette construction tubulaire assure une très bonne protection et permet d'obtenir des câbles très faibles pertes.

-- Tous les câbles coaxiaux souples et semi-rigides sont entourés d'une gaine. Les principales matières utilisées sont :

- le PVC, le polyéthylène, le téflon (PTFE ou FEP).
- le caoutchouc synthétique.
- la tresse de soie de verre imprégnée de silicone.

Les principales caractéristiques mécaniques des câbles coaxiaux souples et semi- rigides sont données dans les tableaux suivants

Caractéristiques mécaniques des câbles souples

CARACTERISTIQUES MECANIKES

NOM	Conducteur extérieur		Diélectrique	Conducteur central		Masse nominale g / m	Rayon de courbure mm	Temp. maximum °C
	2	1		diamètre mm	diamètre mm			
RG58C - KX15	T1 : CuSn	3.6	PE	2.95	CuSn 19x0.18	38	rayon de courbure minimum * en statique - environ 5 x diamètre ext. du câble * en dynamique - environ 15 x diamètre..	70
RG142B	T1+T2 : CuAg	4.2	PTFE	2.95	StCuAg 0.95	64		200
RG174A- KX3A	T1 : CuSn	2	PE	1.5	StCu 7x0.16	11		70
RG178B/U	T1 : CuAg	1.3	PTFE	0.83	StCuAg 7x 0.1	8		200
RG188A/U	T1 : CuAg	2	PTFE	1.54	StCuAg 7x 0.18	17		260
RG213U - KX4	T1 : Cu	8.1	PE	7.25	Cu 7x 0.75	153		70
RG214U - KX13	T1+T2 : CuAg	8.7	PE	7.25	Cu 7x 0.75	183		70
RG217U - KX14	T1+T2 : Cu	11.2	PE	9.4	Cu 2.68	301		70
RG223U	T1+T2 : CuAg	4.2	PE	2.95	CuAg 0.89	55		70
RG225U - KX24	T1+T2 : CuAg	8.7	PTFE	7.25	CuAg 7x 0.79	64		260
RG316U	T1 : CuAg	2	PTFE	1.54	StCuAg 7x 0.18	16		200
RG393U	T1+T2 : CuAg	8.7	PTFE	7.25	CuAg 7x 0.78	230		200
RG400U	T1+T2 : CuAg	4.2	PTFE	2.95	CuAg 19x 0.2	63		200
X94	F1:Ag ; T2:CuAg	(3.79)	PTFE	----	CuAg 0.91	40		sta :20
X97	F1:Ag ; T2:CuAg	(5.9)	PTFE	----	CuAg 1.63	82	sta :32	200
X98	F1:Ag ; T2:CuAg	(7.4)	PTFE	----	CuAg 2.24	113	sta :45	200
421-011	T1:CuAg ; F2: Al	(3.18)	PTFE	----	CuAg ----	26	sta :12.7	150
421-010	T1:CuAg ; F2: Al	(5.33)	PTFE	----	CuAg ----	66	sta :25.4	150
421-014	T1:CuAg ; F2: Al	(7.37)	PTFE	----	CuAg ----	118	sta :38.1	150
Sucoflex 102-50	F1+T2 : CuAg	(3.5)	PTFE	----	CuAg ----	34	sta :11	200
Sucoflex 103	F1+T2 : CuAg	(4.4)	PTFE	----	CuAg ----	53	sta :13	165
Sucoflex 106	F1+T2 : CuAg	(7.9)	PTFE	----	CuAg ----	157	sta :24	165
Utiflex UFA125A	F1+T2 : CuAg	(3.18)	PTFE	----	CuAg ----	26	5.08	165
Utiflex UFB142A	F1+T2 : CuAg	(3.61)	PTFE	----	CuAg ----	33	9.65	165
Utiflex UFB205A	F1+T2 : CuAg	(5.25)	PTFE	----	CuAg ----	66	12.7	165

PE = polyéthylène plein ; PTFE = teflon
 conducteur extérieur : T = tresse , F = feuille ou ruban
 (x,xx) = conducteur extérieur + gaine

Caractéristiques mécaniques des câbles semi-rigides

CARACTERISTIQUES MECANIKUES

NOM	Conducteur extérieur		Diélectrique		Conducteur central		Masse nominale g / m	Rayon de courbure mm	Temp. maximum °C
		mm		mm		mm			
UT390	Cu	9.91	PTFE	8.43	CuAg	2.59	332	19	90
421-202	Al	12.7	TM		CuAg	3.89	284	—	200
UT325	Cu	8.26	PTFE	7.24	CuAg	7x0.79	220	19	90
421-227	Al	9.52	TM		CuAg	2.97	160	—	200
RG401,KS3	Cu	6.35	"	5.31	CuAg	1.63	152	9.5	200
X42	Cu	6.35	"		CuAg	1.65	150	10	175
EZ250,UT250	Cu	6.35	PTFE	5.31	"	1.63	147	9.5	100
421-336	Cu	6.35	TM		"	1.88	137	5.1	200
421-673	Cu	6.35	TM		"	1.29	66	—	200
X61	CuSn	2.1	"		"	0.5	29	3	165
RG402,KS2	Cu	3.58	PTFE	2.98	StCuAg	0.92	51.5	6.35	175
X38	CuSn	3.6	"		"	0.9	50	6	150
EZ141,UT141	Cu	3.58	"	2.95	"	0.91	48	4.8	125
421-298	Cu	3.58	TM		CuAg	1.09	41	2.6	200
RG405,KS1	Cu	2.2	PTFE	1.68	StCuAg	0.515	22.9	3.18	175
X45	CuSn	2.2	"		"	0.5	20	3	125
X63	AlSn	2.2	"		StCuAg	0.5	10.5	3	125
EZ86,UT85	Cu	2.2	PTFE	1.68	"	0.51	20	1.3	125
421-069	Cu	2.95	TM		CuAg	0.81	33	1.8	200
421-193	Cu	2.18	TM		CuAg	0.51	22	1.52	200
EZ86AL	Al	2.19	PTFE	1.68	StCuAg	0.51	11	3.25	125
UT70	Cu	1.78	PTFE	1.5	CuAg	0.45	11.5	3.2	125
X60	CuSn	1.2	"		StCuAg	0.3	6	3	105
EZ47,UT47	Cu	1.19	PTFE	0.94	StCuAg	0.287	5.7	1.3	150
EZ34,UT34	Cu	0.86	"	0.66	StCuAg	0.203	3.1	1.3	125
UT20	Cu	0.58	"	0.42	"	0.13	1.6	1.27	125
UT13	Cu	0.33	"	0.25	"	0.08	0.4	1.27	125
UT8	Cu	0.2	"	0.1	Cu	0.05	0.3	0.8	150

TM = teflon microporeux St = acier

Câble coaxial

- Caractéristiques électriques Qu'il soit souple ou semi-rigide le câble coaxial doit répondre au besoin de l'utilisateur.
- Les caractéristiques électriques du câble sont donc très importantes et très liées aux caractéristiques mécaniques.
- Les principales caractéristiques sont :
 - la fréquence d'utilisation ou la fréquence de coupure du câble.
 - les pertes ou affaiblissement en dB/m.
 - l'impédance caractéristique (généralement 50 ou 75 ohms).
 - la puissance admissible (la plus élevée avec un diélectrique aéré).
 - la vitesse de propagation et le retard linéique (liés au diélectrique).
 - la rigidité diélectrique (lié au diamètre de l'isolant).

Câble coaxial

FORMULES UTILES



Impédance caractéristique

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d} \quad (\Omega)$$

$\epsilon_r =$ constante diélectrique

Capacité

$$C = 3336 \times 10^{-12} \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{Z_0} \quad \text{ou}$$
$$= \frac{\epsilon_r}{18 \times 10^{-3} \ln \frac{D}{d}}$$

Fréquence de coupure

$$F = \frac{2C}{\pi \sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{1}{D+d} \quad (\text{Hz})$$

Retard linéique

$$T = 3.33 \sqrt{\epsilon_r} L \quad (\text{ns/m})$$

$L =$ longueur du câble

Vitesse de propagation

$$V_r = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/s})$$

$$V_p = \frac{100 V_r}{C} = \frac{100}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\%)$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Célérité de la lumière dans le vide

Caractéristiques électriques des câbles souples

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

NOM	Fréquence de coupure	Rigidité diélectrique	Vitesse de propagation	Capacité	Retard linéique	Puissance moyenne à 5 GHz	Pertes à 5 GHz
	GHz	V (eff)	%	pF/m	ns /m	Watts	dB / m
RG58C - KX15	3	1900	66	101	5	110*	0.56*
RG142B	8	1900	71	96.4	4.7	160	0.11
RG174A- KX3A	3	1500	66	101	5	40*	0.93*
RG178B/U	3	1000	71	96.4	4.7	48*	1.5*
RG188A/U	3	1200	71	96.8	4.7	125*	0.91*
RG213U - KX4	11	5000	66	101	5	185*	0.3*
RG214U - KX13	11	5000	66	101	5	180*	0.42*
RG217U - KX14	3	6000	66	101	5	600*	0.2*
RG223U	12.4	2500	66	101	5	50*	0.7*
RG225U - KX24	11	5000	69	96	4.9	1200*	0.26*
RG316U	12.4	1200	71	96.4	4.7	60	2.1
RG393U	12	5000	71	96.4	4.7	500	0.68
RG400U	12.4	1900	71	93.4	4.7	150	1.24
X94	46	1500	84	79	3.94	-----	0.8
X97	26.5	1500	84	79	3.94	-----	0.46
X98	19.5	1500	84	79	3.94	-----	0.33
421-011	40	2500	74	90.2	4.53	100	1.21
421-010	27.5	6000	75	88.6	4.46	260	0.59
421-014	19.8	7500	76	87.9	4.39	520	0.43
Sucoflex 102-50	51	500	78	85	4.3	-----	1
Sucoflex 103	33	2000	77	87	4.3	<300	0.7
Sucoflex 106	18	3800	77	87	4.3	700	0.36
Utiflex UFA125A	50	-----	77	86	-----	-----	1.61**
Utiflex UFB142A	40	-----	83	80.4	-----	-----	1.08**
Utiflex UFB205A	26.5	-----	83	80.4	-----	-----	0.92**

* = valeurs à 1 GHz

** = valeurs à 10 GHz

Caractéristiques électriques des câbles semi-rigides

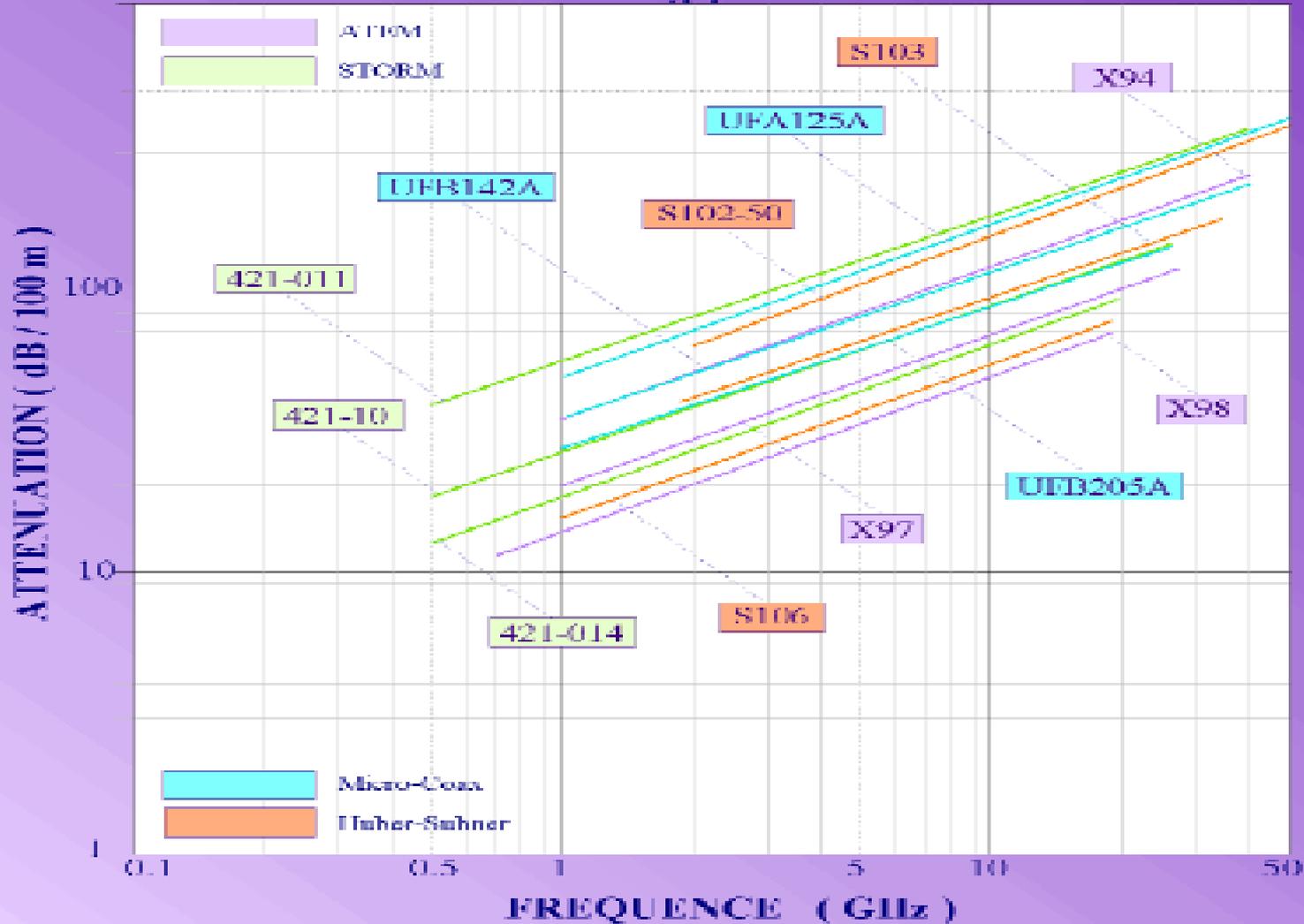
CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

NOM	Fréquence de coupure	Rigidité diélectrique	Effet CORONA	Vitesse de propagation	Capacité		Retard linéique	Puissance moyenne à 5 GHz	Pertes à 5 GHz
	GHz	V (eff)	V (eff)	%	nominal pF/m	max pF/m	ns /m	Watts	dB / m
UT390	12	12000	6000	---	95.1	---	---	883	0.39
421-202	10	9000	---	84	76.4	---	3.94	1700	0.32
UT325	14	7500	3000	---	95.1	97.1	---	570	0.45
421-227	14	8000	---	84	76.4	---	3.94	1250	0.28
RG401,KS3	19	7500	3000	69.5	96.8	---	---	365	0.61
X42	18	7500	3200	69.5	---	---	4.71	---	0.62
EZ250,UT250	19	7500	3000	---	95.1	97.1	---	370	0.57
421-336	20	6000	---	80	82	---	4.17	700	0.39
421-673	26	6000	---	73	86	---	4.56	500	0.57
X61	60	5000	1700	69.5	---	---	4.71	---	1.7
RG402,KS2	35	5000	1900	69.5	96.8	---	---	175	0.92
X38	34	5000	1900	69.5	---	---	4.71	---	0.9
EZ141,UT141	34	5000	1900	---	97.1	98.1	---	180	0.92
421-298	35	5000	---	81	80.5	---	4.1	320	0.69
RG405,KS1	60	5000	1500	69.5	96.8	---	---	70	1.51
X45	60	5000	1700	69.5	---	---	4.71	---	1.5
X63	60	5000	1700	69.5	---	---	4.71	---	1.5
EZ86,UT85	60	5000	1500	---	95.1	105	---	70	1.51
421-069	45	3500	---	78.2	85	---	4.26	180	0.92
421-193	80	2000	---	77.5	87	---	4.3	130	1.38
EZ86AL	60	2500	1500	69.5	---	105	4.8	50	1.6
UT70	68	2300	1200	---	95.1	---	---	40	1.66
X60	110	3000	1500	69.5	---	---	4.71	---	2.6
EZ47,UT47	109	2000	1000	---	95.1	105	---	25	2.59
EZ34,UT34	150	2000	750	---	95.1	118	---	14	3.62
UT20	245	750	250	---	95.1	---	---	6.4	5.62
UT13	402	500	150	---	95.1	---	---	2.5	9.2
UT8	788	250	150	---	95.1	---	---	1.2	15.2

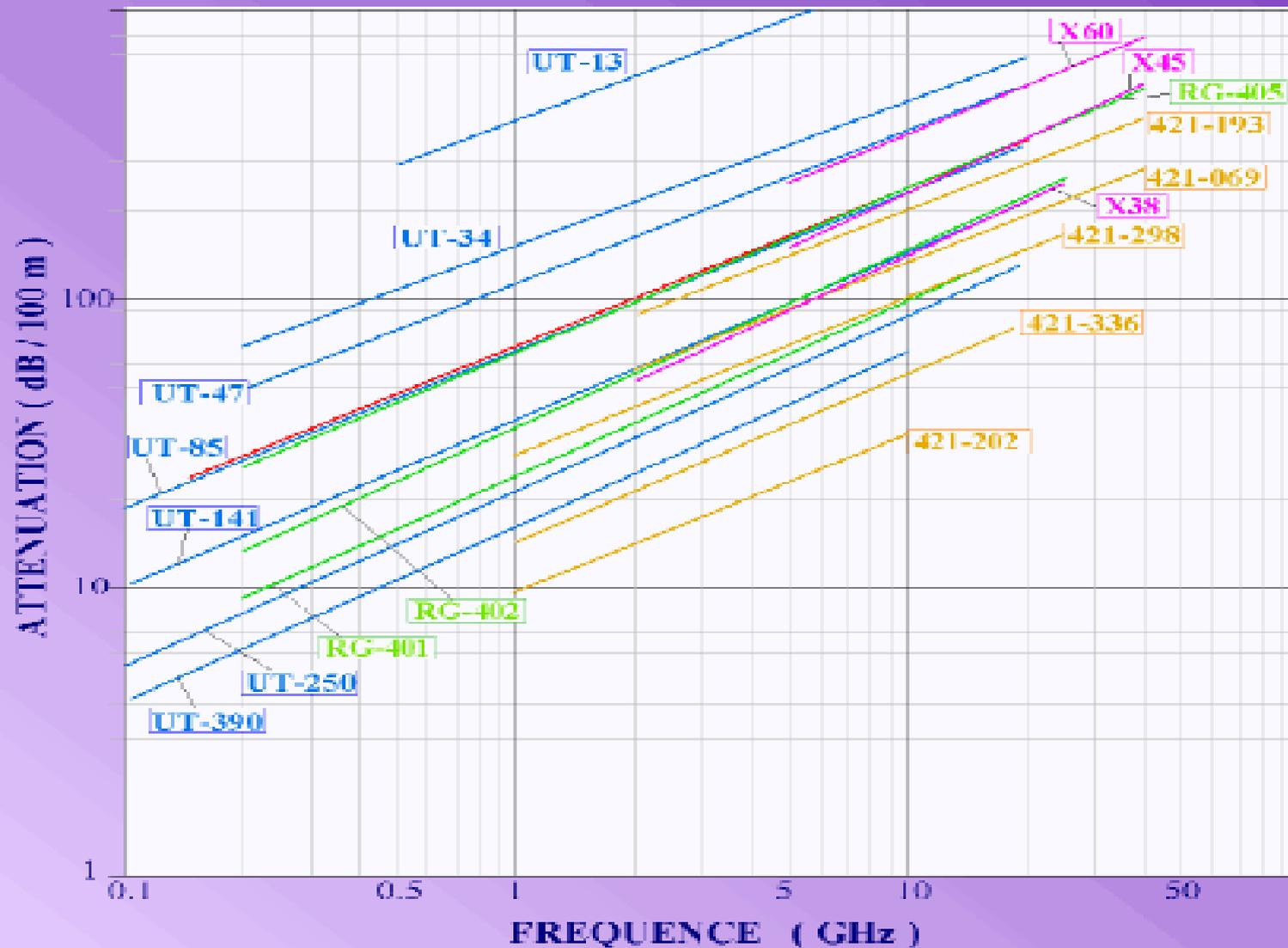
Affaiblissement des câbles souples

PERTES D'INSERTION

valeurs typiques à 20°C



Affaiblissement des câbles semi-rigides



Câble coaxial

APPLICATIONS

Les applications des câbles coaxiaux sont diverses et comprennent les domaines suivants :

- aérospatiale,
- télécommunications,
- radio/télévision,
- caméras,
- appareils de mesure divers,
- informatique,
- médical : scanners, échographes,
- militaire : radars, mesures, contre-mesures, etc