

La Fibre Optique



J BLANC

Plan

LES FONDAMENTAUX :

LA FIBRE OPTIQUE :

LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE FIBRE :

TYPES DE FIBRES OPTIQUES:

LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA FIBRE :

QUELQUES EXEMPLES DE CÂBLES :

LES COMPOSANTS D'EXTRÉMITÉS:

RÈGLES D'INGÉNIERIE :

RÈGLES DE POSE :

LES MESURES:

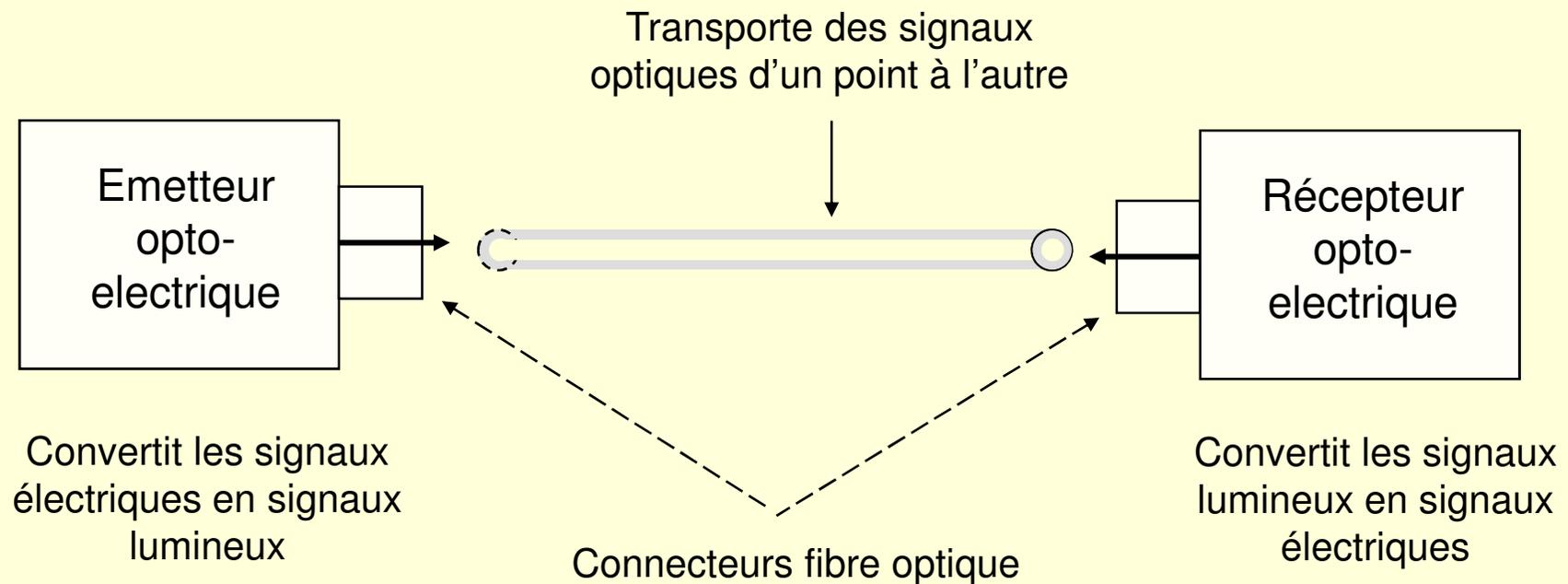
Bibliographie

- Le C.R.E.D.O: cercle de Réflexion et d'Etude pour le Développement de le fibre Optique.
Web: <http://www.cercle-credo.com>
- Documents Pouyet 3M, Legrand et Alcatel
- Réseaux d'A.Tanenbaum

Introduction

- Nombreuses applications pour le VDI:
 - câblage vertical,
 - liaison inter bâtiment,
 - distances importantes.

Schéma général d'une liaison optique



La propagation de la lumière:

- Dans un milieu homogène et transparent (tel que l'eau, l'air ...) la lumière se propage toujours en **ligne droite**.
 - **Un rayon lumineux** est un trajet rectiligne suivi par la lumière.
 - **Un faisceau lumineux** est un ensemble de rayons lumineux.
- **La longueur d'onde** : mesure de l'oscillation d'une onde

$$\lambda(m) = \frac{\text{vitesse de l'onde}(m/s)}{\text{fréquence}(Hz)}$$

- La vitesse de propagation de la lumière ds le vide

$$c = 3.10^8 \text{ m/s} \quad (\text{célérité de la lumière})$$

- La vitesse de propagation de la lumière ds le milieu transparent est:

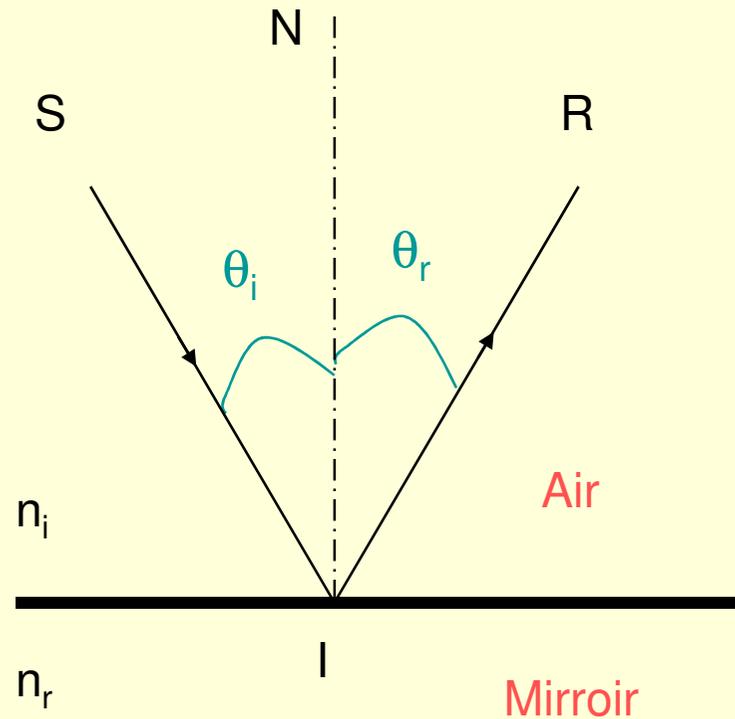
$$v(m/s) = \frac{c(m/s)}{n}$$

n : indice du milieu

c : vitesse de la lumière dans le vide

v : vitesse de la lumière dans le milieu étudié

Lois de Descartes - Réflexion

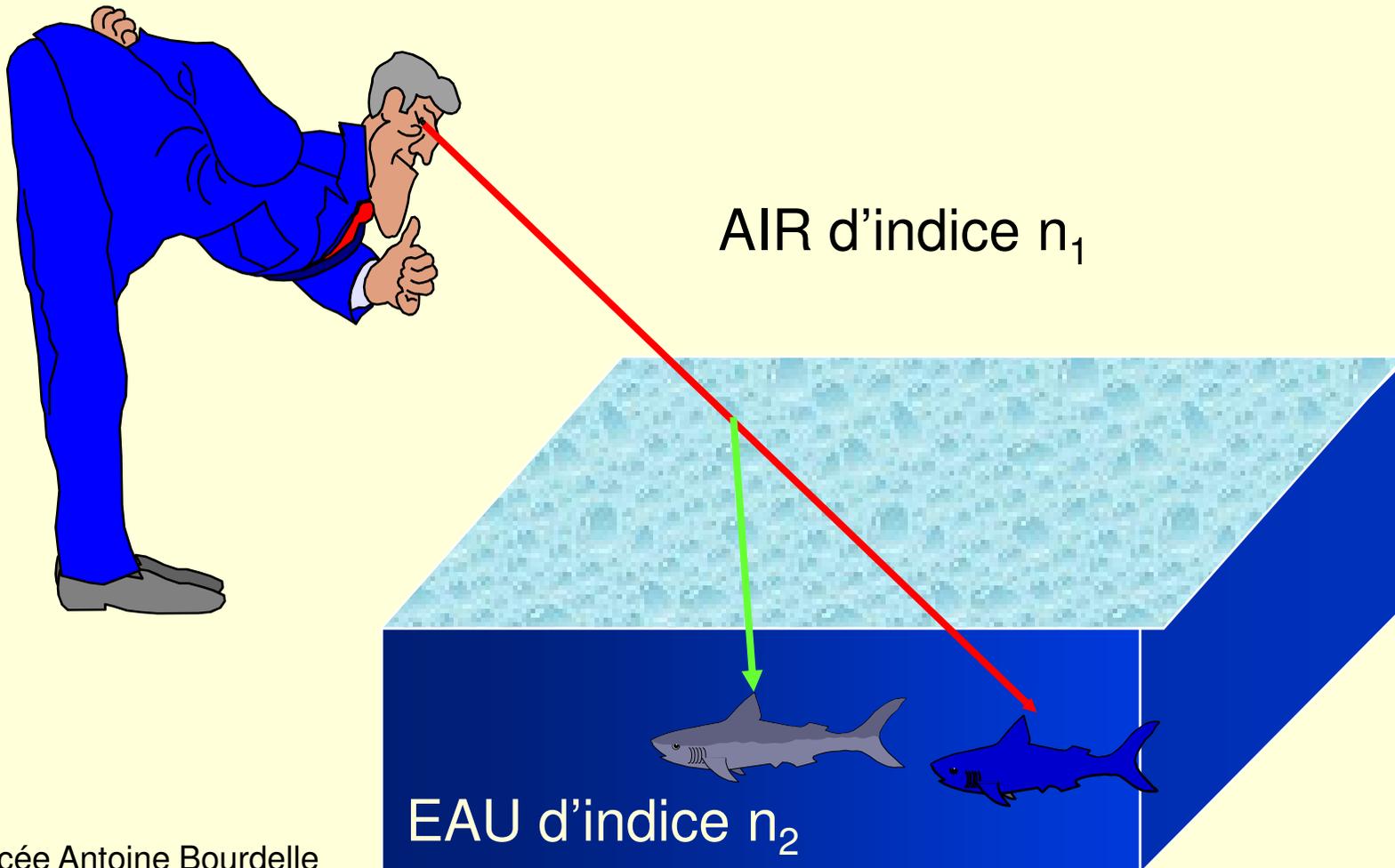


$$\theta_i = \theta_r$$

$$n_i = n_r$$

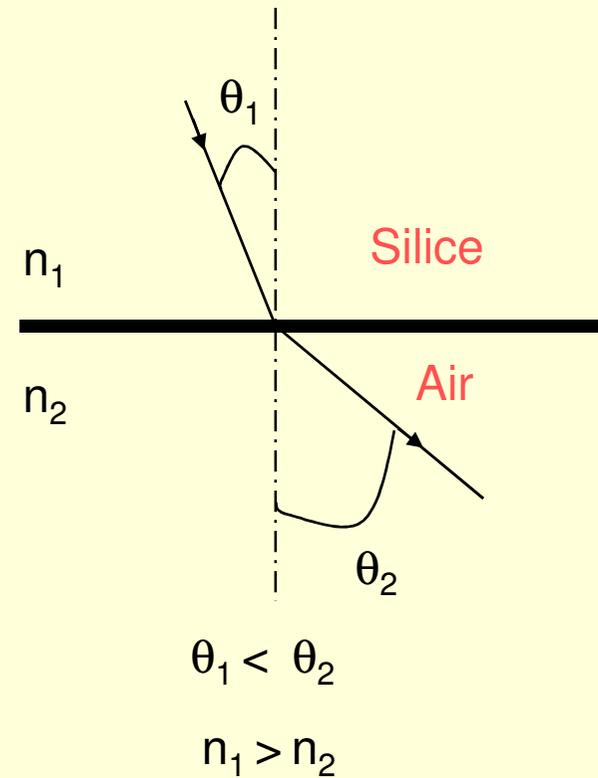
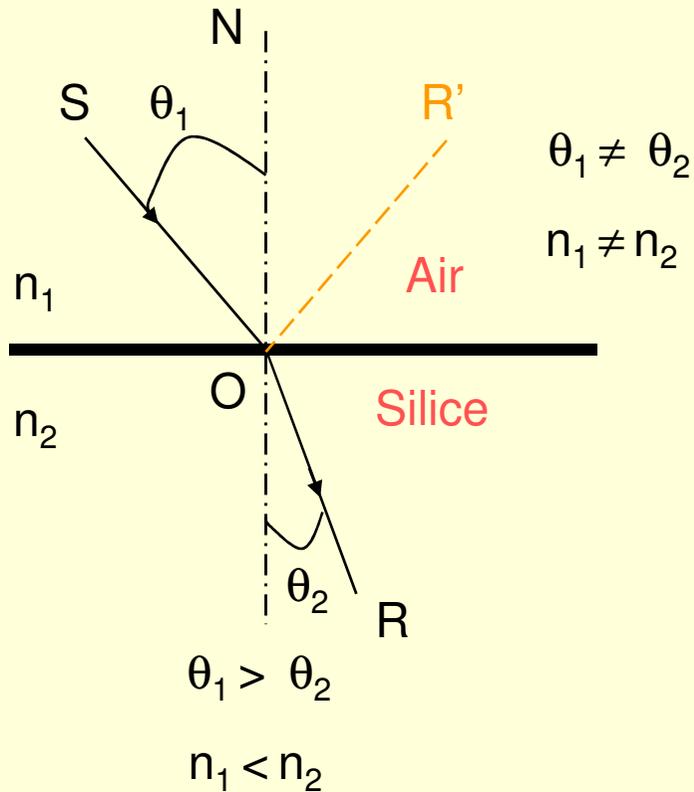
REFLEXION

Principe de réfraction



Lois de Descartes - Réfraction

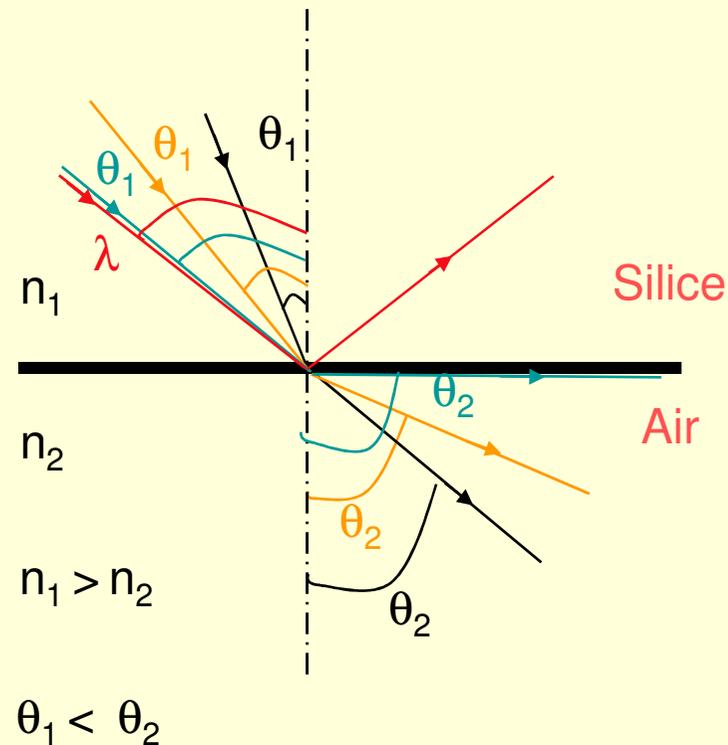
- 2 cas possibles



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

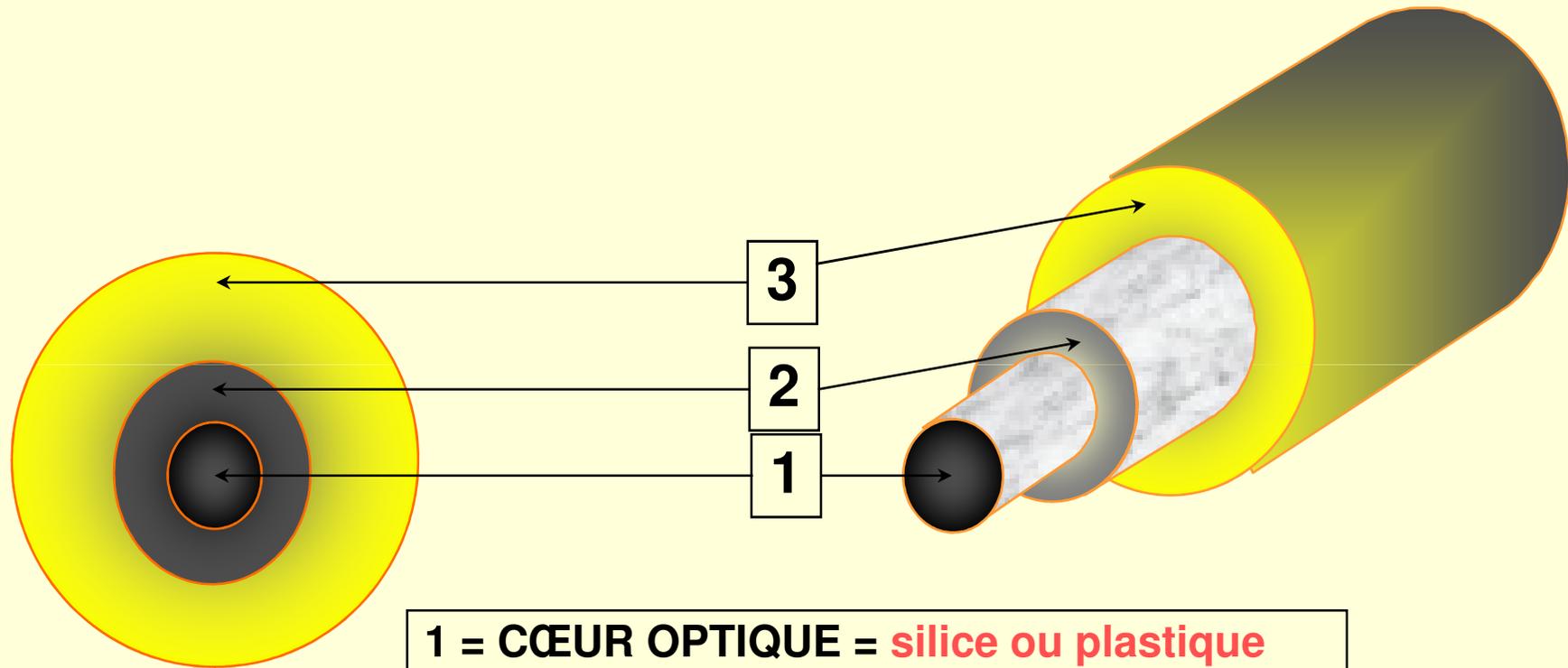
Réfraction limite – Réflexion totale

Soit un rayon lumineux passant d'un milieu 1 à un milieu 2, **moins réfringent (qui réfracte moins)**.



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

Constitution de la fibre

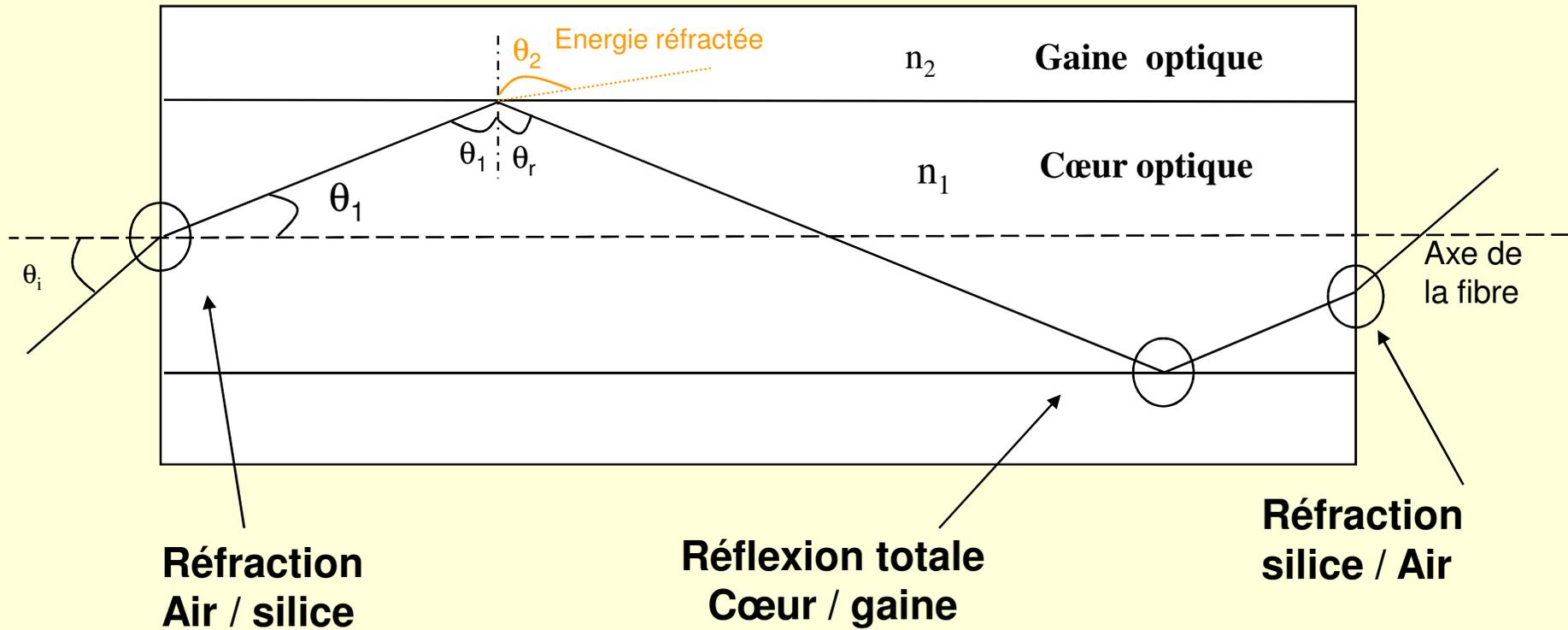


1 = CŒUR OPTIQUE = silice ou plastique

2 = GAINÉ OPTIQUE = silice ou plastique

3 = REVETEMENT PRIMAIRE = ACRYLATE

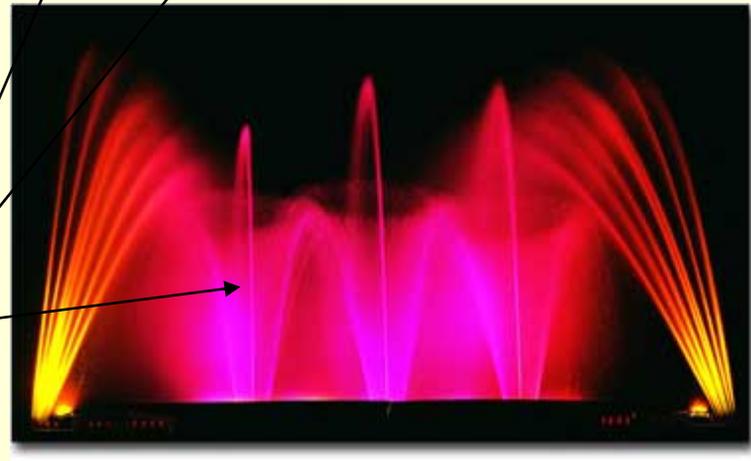
Principe



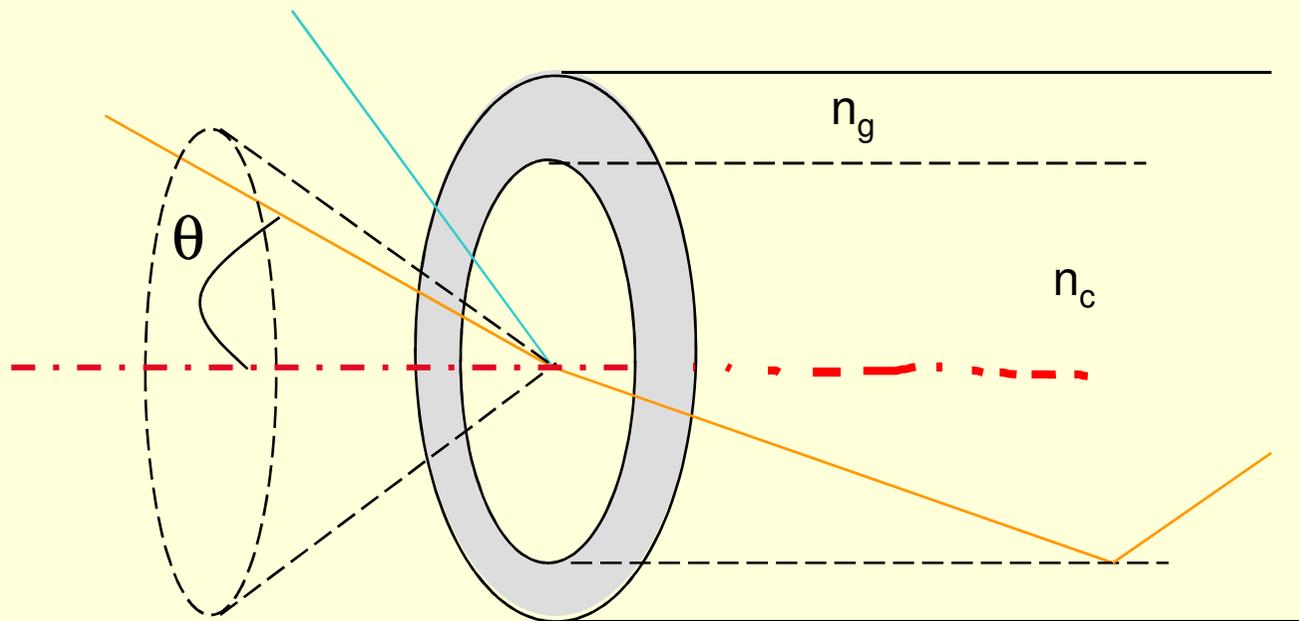
Principe

- Le principe est le même qu'une fontaine illuminée lorsque le rayon lumineux accompagne le jet d'eau dans sa courbure, rebondit sur les parois que forme le contact du jet avec l'air, et se retrouve à l'autre extrémité.
 - Eau = cœur
 - Air = gaine

Il n'y a pas réflexion totale il y a aussi des pertes par réfraction



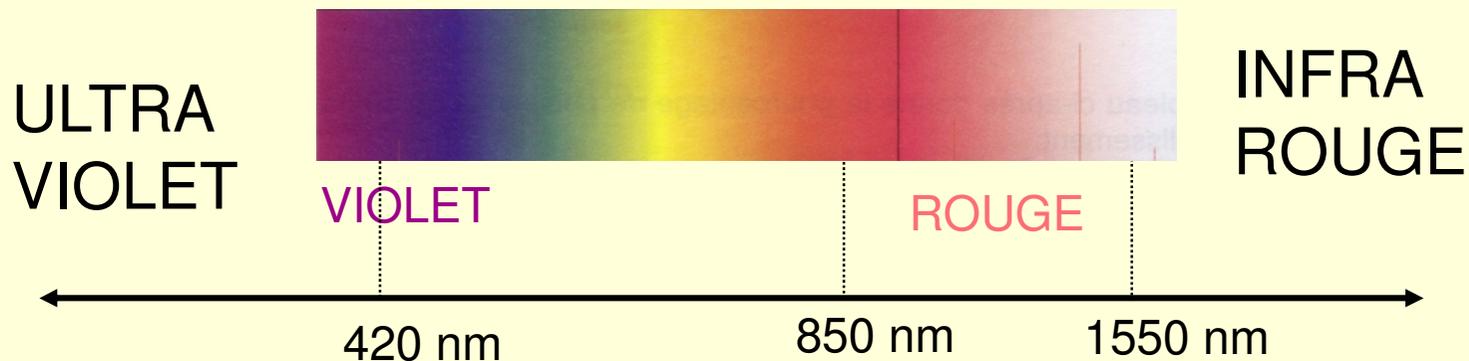
Ouverture numérique (ON)



$$O.N. = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} = \sin \theta$$

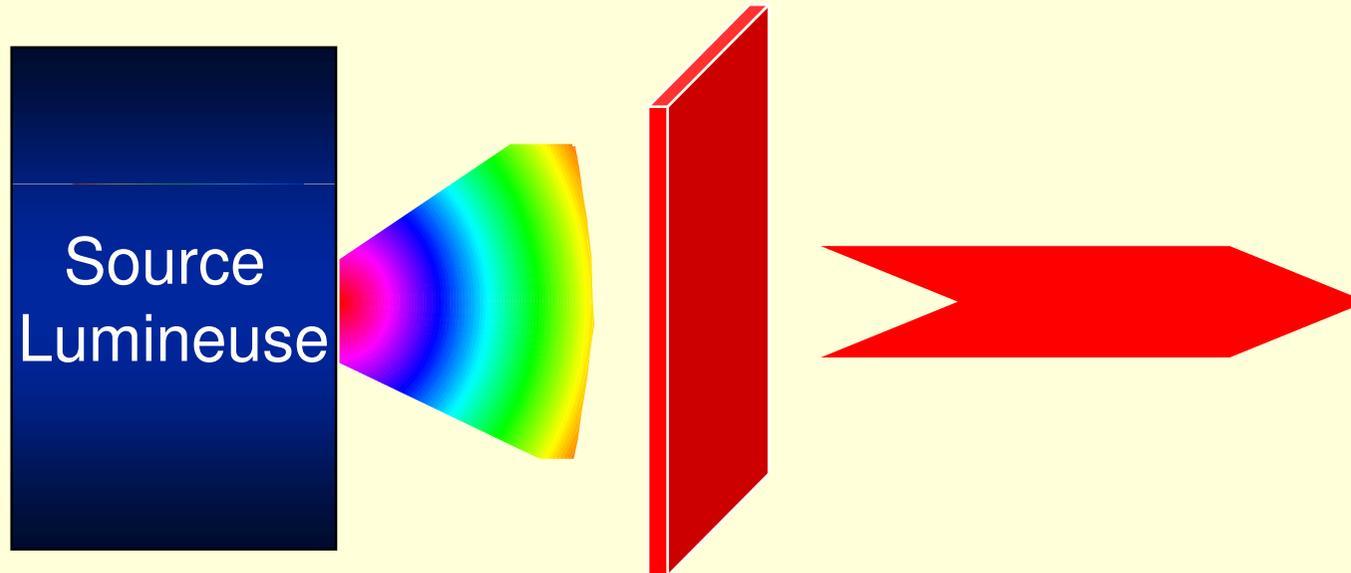
Le spectre lumineux

- La longueur d'onde caractérise la couleur de la lumière
- L'homme voit les couleurs avec les longueurs d'onde comprises entre 750 nm (Rouge) et 420 nm (Violet)



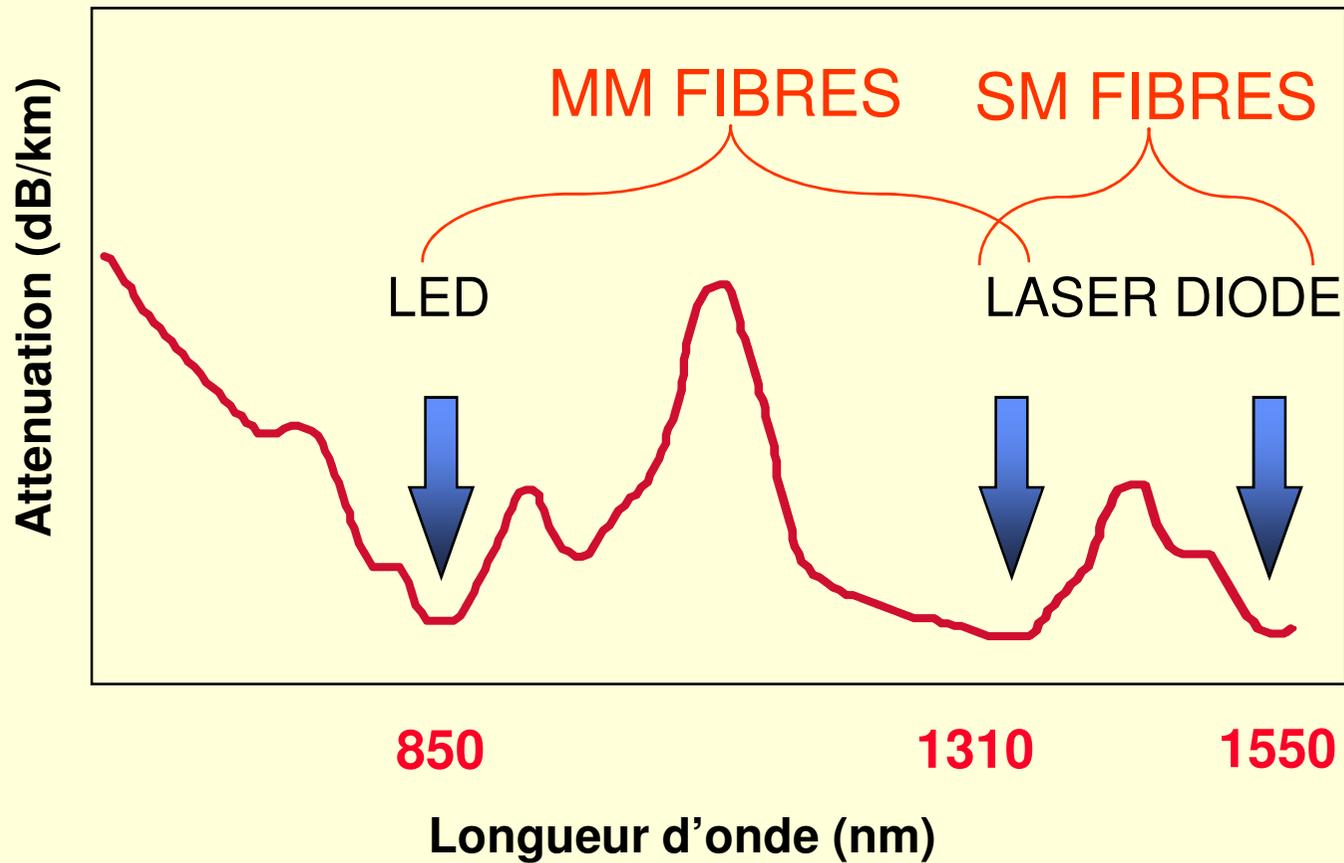
Introduction aux fenêtres d'opération

- ◆ L'utilisation de matériaux spécifiques permet seulement à certaines couleurs de passer.
Les autres couleurs sont absorbées par le matériau



- ◆ La silice utilisée pour la fibre est transparente pour 3 couleurs' seulement, et ces couleurs sont dans le domaine des Infra Rouges (non visibles)

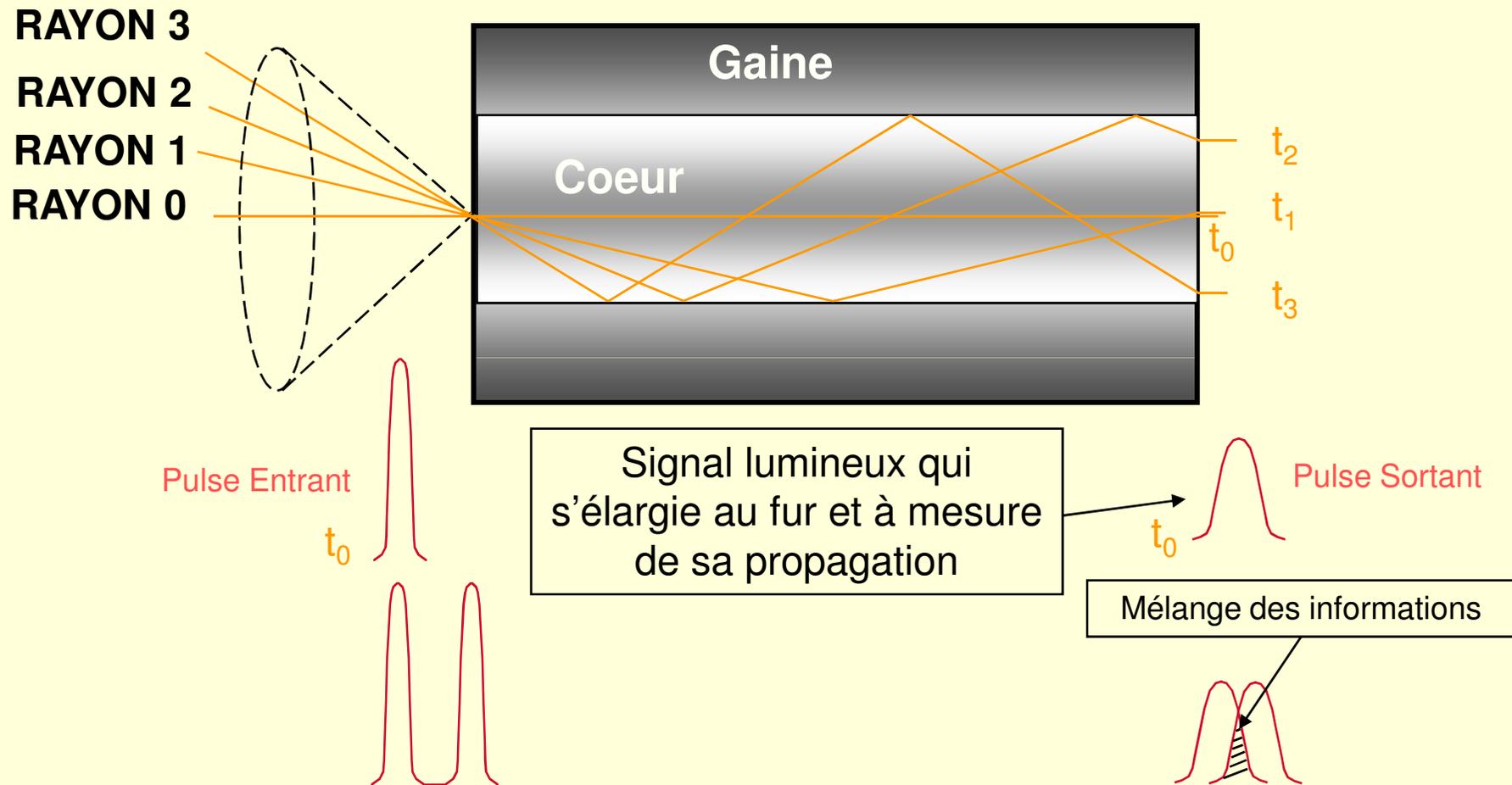
Fenêtres de transmission



Fenêtres de transmission

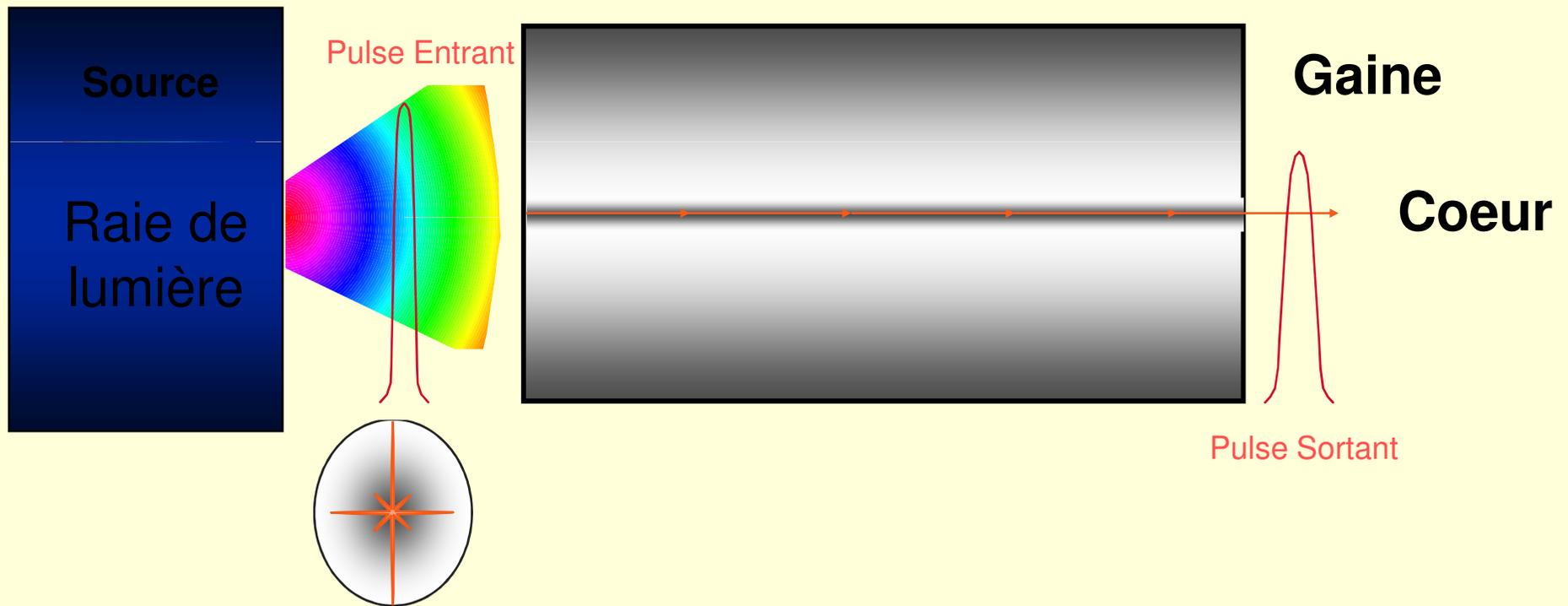
- 850 nm
 - Atténuation typique: 3 db/km
- 1300 nm
 - Atténuation typique: 0,5 dB/km pour une fibre monomode et 1 dB/km pour une fibre multimode
- 1550 nm
 - Atténuation typique: 0,2 db/km

La bande passante



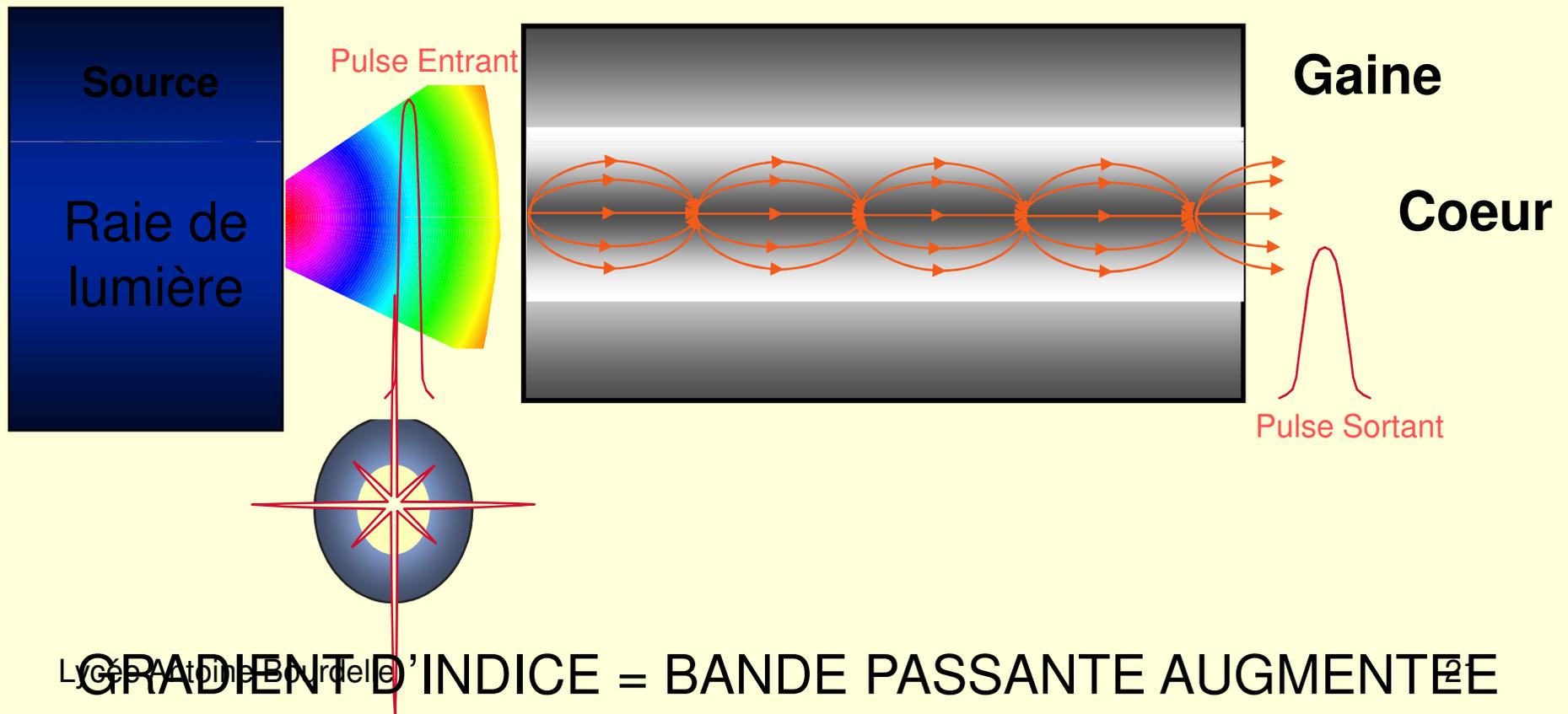
Types de fibres optiques: monomode

SAUT D'INDICE MONOMODE



Types de fibres optiques: multimode

GRADIENT D'INDICE MULTIMODE



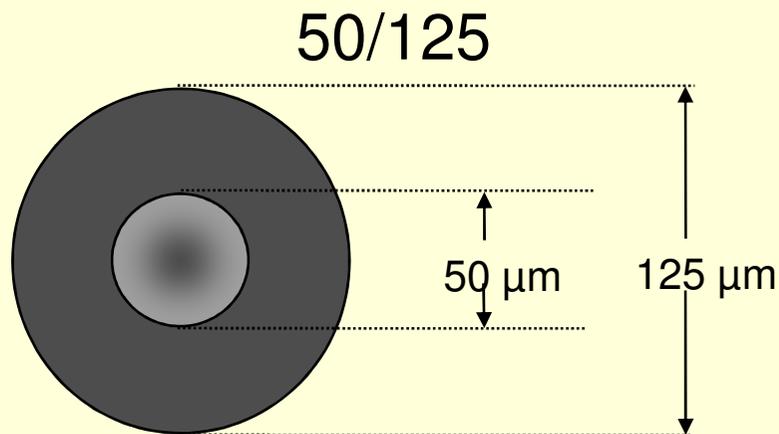
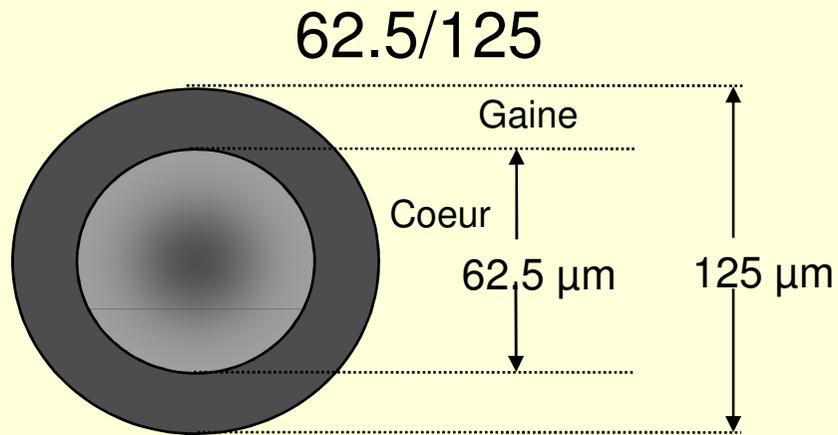
GRADIENT D'INDICE = BANDE PASSANTE AUGMENTÉE

Bande passante

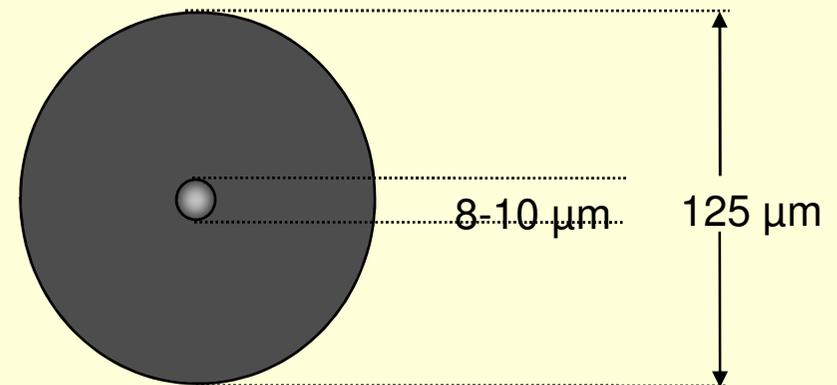
- L'apparition des fibres à gradient d'indice a permis, de part leur constitution, d'augmenter considérablement la bande passante. En effet on concentre davantage l'intensité de la lumière sur l'axe du cœur.
 - Fibre multimode à saut d'indice : 20 à 100 MHz/km
 - Fibre multimode à gradient d'indice 150 à 5000 MHz/km
 - Fibre monomode: > 10 GHz/km

Dimensions des fibres optiques

MULTIMODE

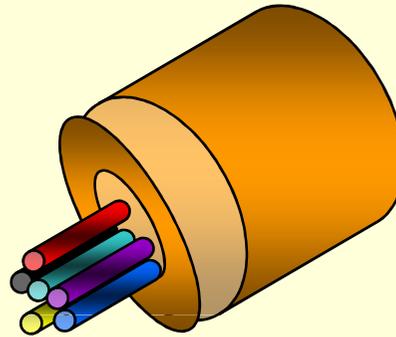


MONOMODE

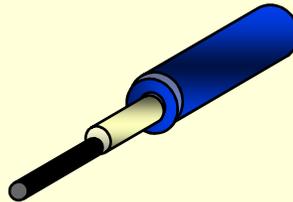


Conditionnement des fibres optiques

◆ Structure libre



◆ Structure serrée



Recherche dans un
catalogue des fibres
structures libres et serrées

Les avantages de la fibre optique

- ✓ Bande passante très étendue,
- ✓ Aucun problème d'IEM,
- ✓ Très faible atténuation du signal,
- ✓ Aucune paradiaphonie
- ✓ Sécurité des transmissions (confidentialité),
- ✓ Faible encombrement,
- ✓ Aucune corrosion,
- ✓ Isolation galvanique

Les inconvénients de la fibre

- ✓ Mise en œuvre,
- ✓ Coût des équipements actifs,
- ✓ Coût des équipements de tests.

Monomode ou multimode?

✓ Monomode

- Débit plus élevé,
- Plus chère,
- Distorsion et atténuation très faibles.

✓ Multimode

- Attention à la distorsion,
- Bonne bande passante,
- Courte distance <500m
- Plus facile à raccorder

Des exemples de câbles

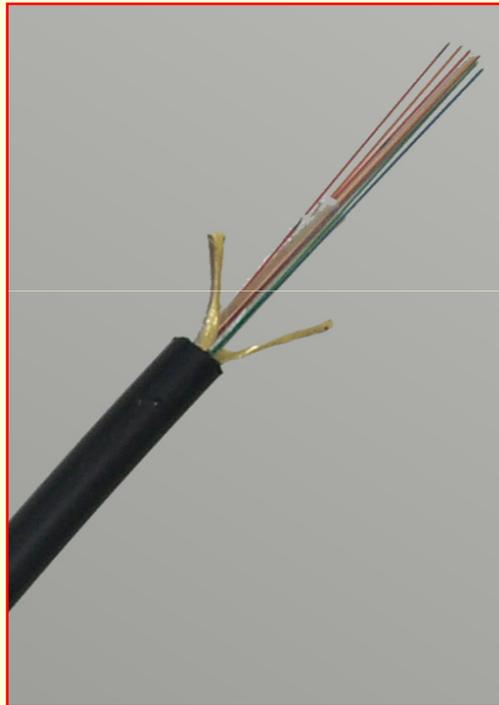
Rechercher différents câbles à partir des catalogues constructeurs

Des exemples de câbles

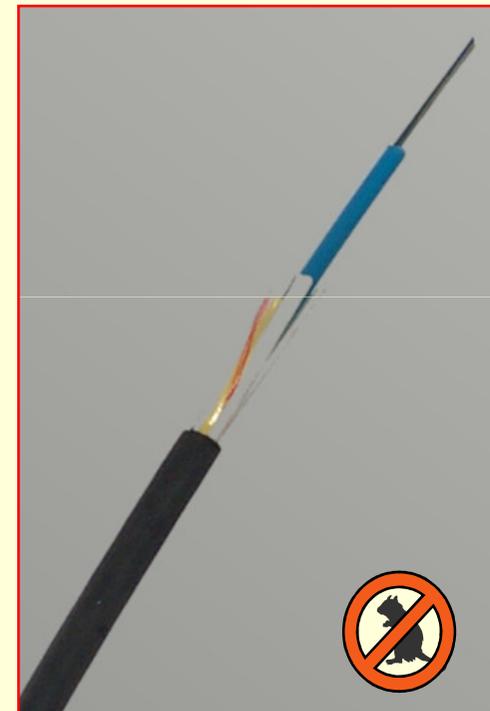
✓ Câbles de rocade



Structure serrée



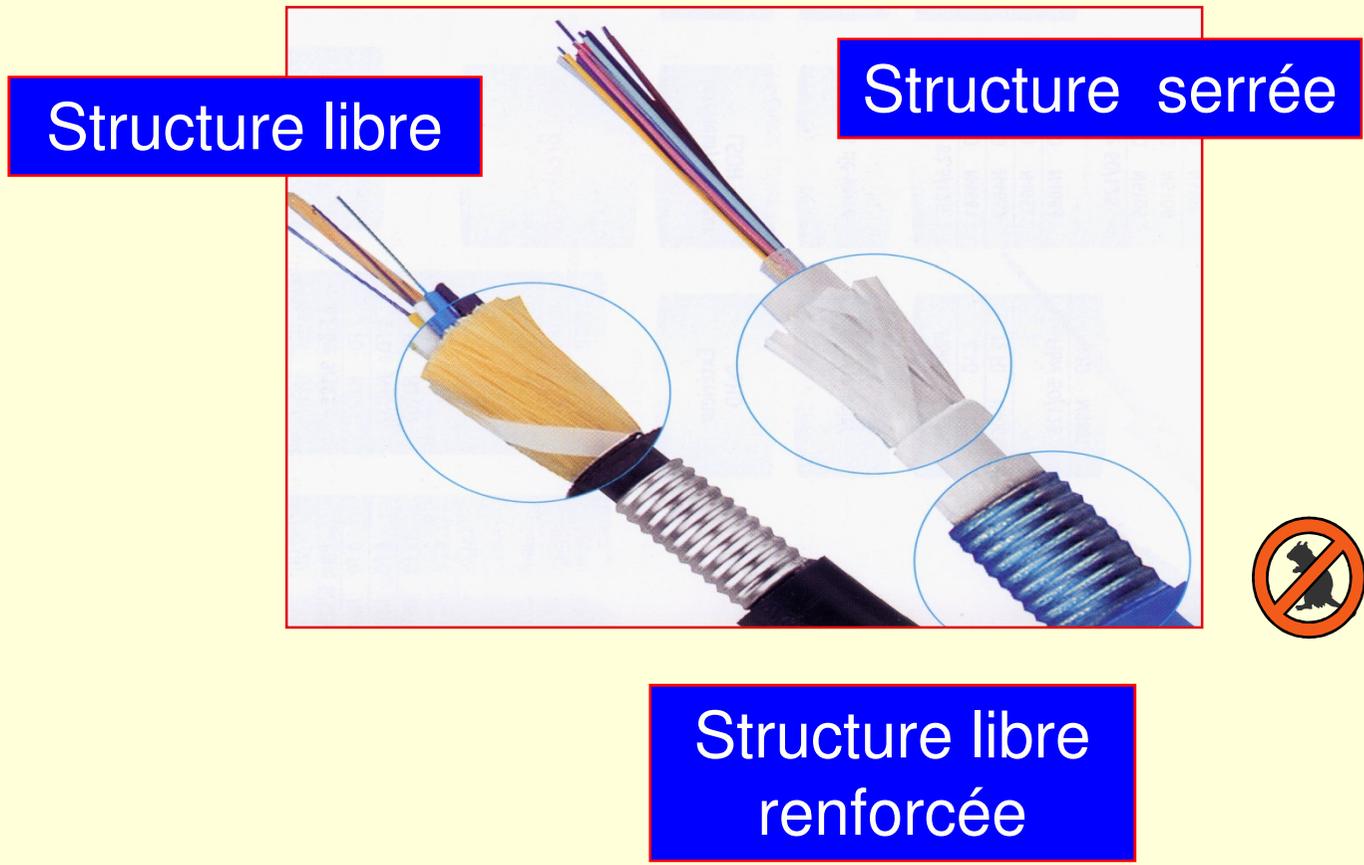
Structure libre



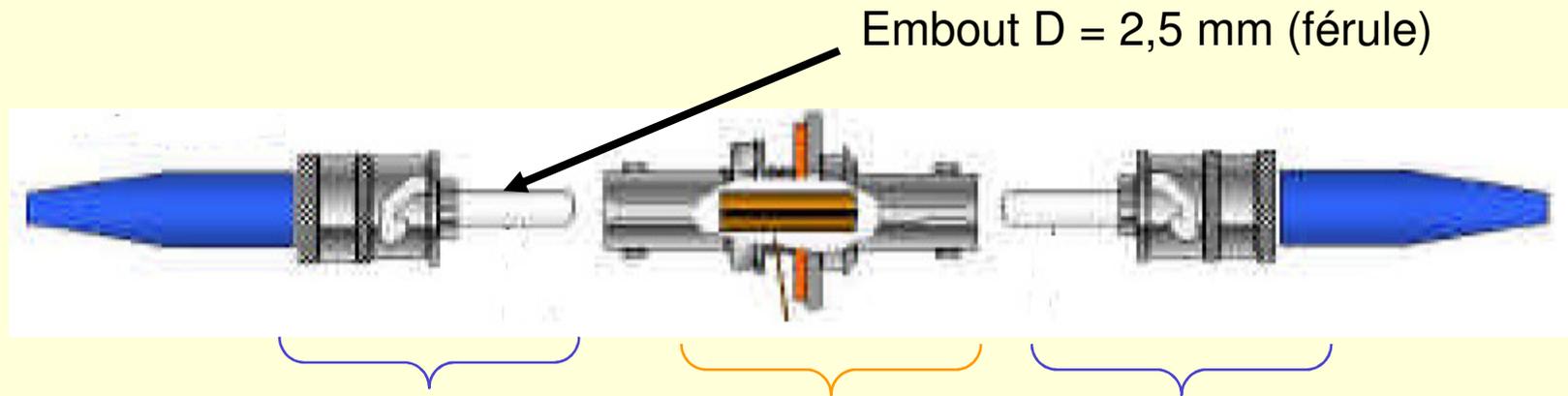
Structure libre renforcée

Des exemples de câbles

✓ Câbles de rocades



Les connecteurs optiques : Le standard 2,5 mm



Une connexion = Fiche + Raccord + Fiche

- ✓ Fiche: termine, protège, positionne et rend maniable la fibre.
- ✓ Raccord : guide et verrouille la fiche en assurant la continuité optique.
- ✓ La qualité du connecteur dépend de la qualité de l'embout c'est-à-dire de la férule.

Les connecteurs optiques: le SFF

- ✓ Connecteurs d'une nouvelle génération avec l'objectif d'augmenter la densité des ports sur les équipements. Il n'y a pas de normalisation, c'est le libre choix parmi les systèmes proposés.
- ✓ Attention sur les équipements ils viennent s'enficher sur des modules SFP (Small Form-Factor Plug)

Les connecteurs optiques : finition PC et APC

- ✓ Deux types de finition pour les fibres monomodes:
 - Finition PC: Physical Contact



- Finition APC: Angled Physical Contact



Pour les application haut débit (> 2,5 Gbit/s)

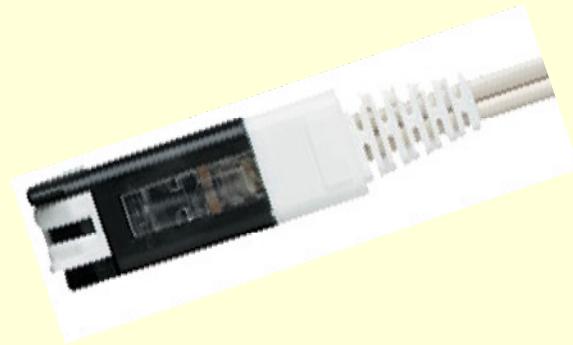
Les connecteurs optiques

- Connecteurs ST
- Connecteurs SC
- Connecteurs FC
- Connecteurs MT-RJ



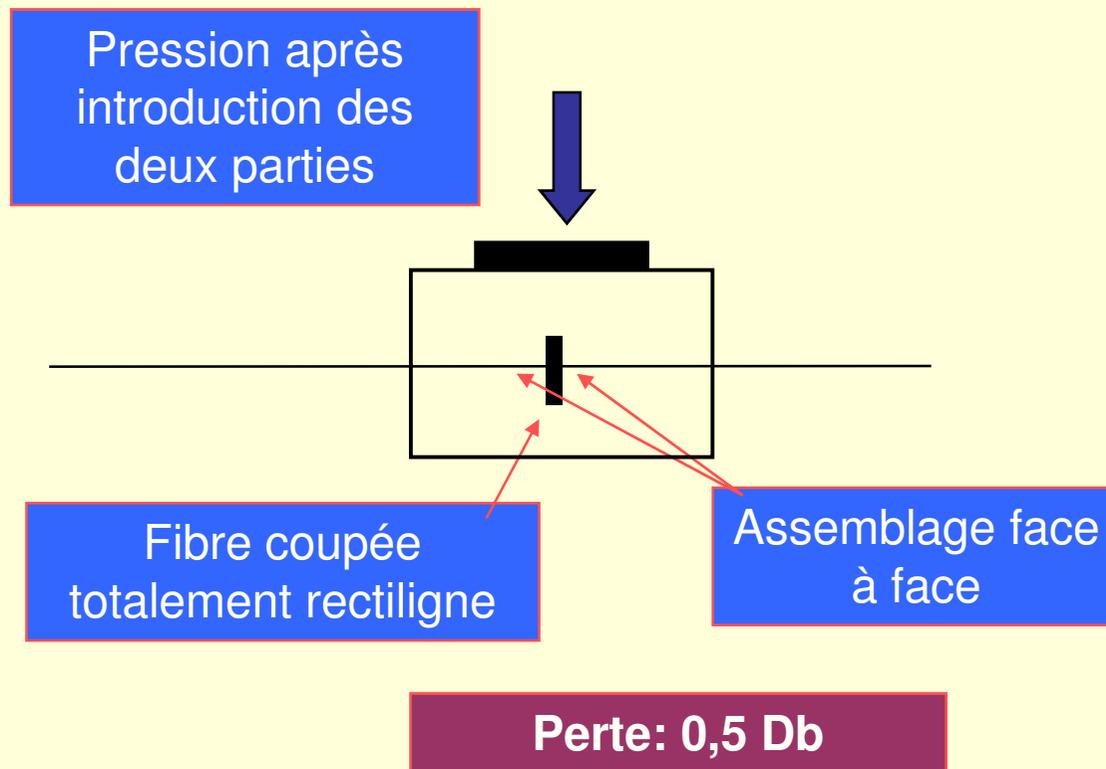
Les connecteurs optiques

- Connecteurs VF-45 (SG)
- Connecteurs Pigtails



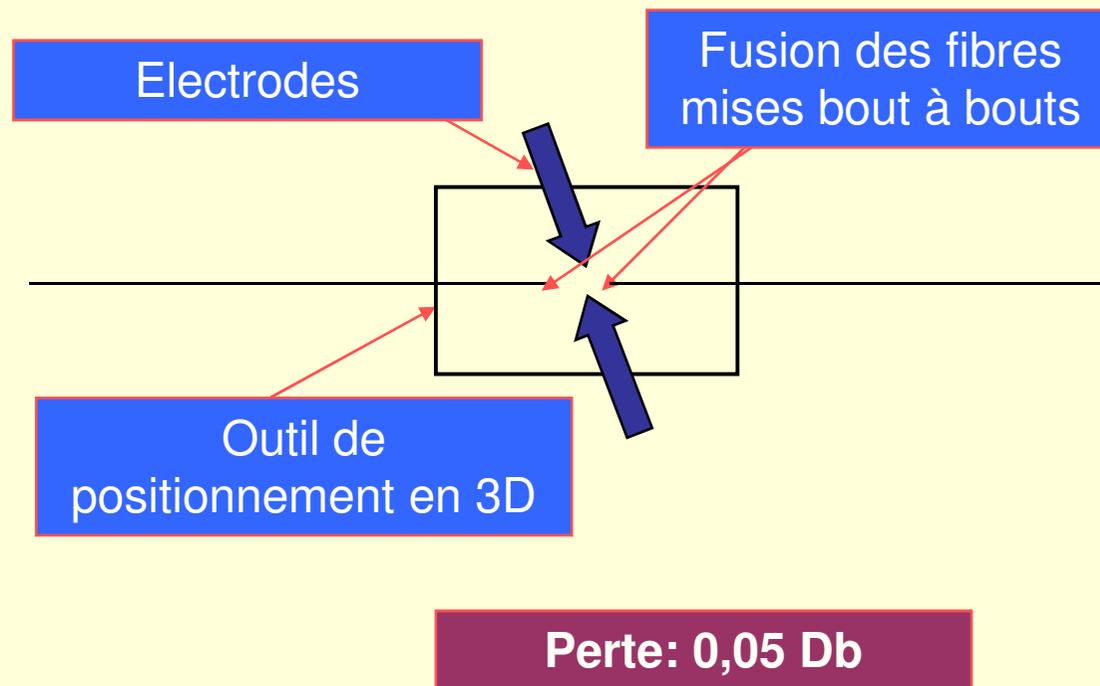
- **Ce sont les solutions les plus utilisées mais il en existe bien d'autres.**

L'épissure mécanique



Rechercher des solutions à partir des catalogues constructeurs

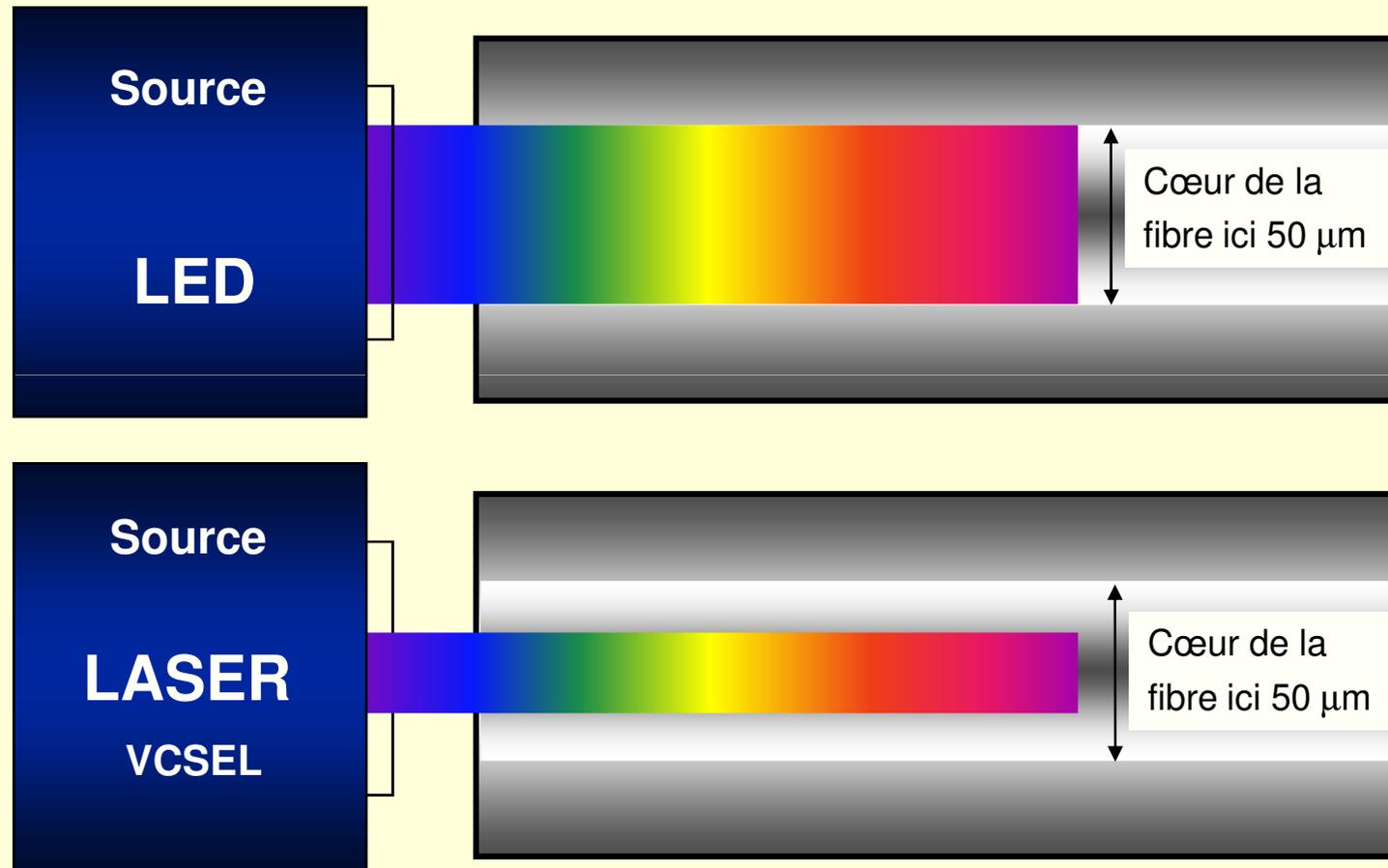
L'épissure par fusion



Les tiroirs et cassettes optiques

Rechercher des solutions à partir des catalogues constructeurs

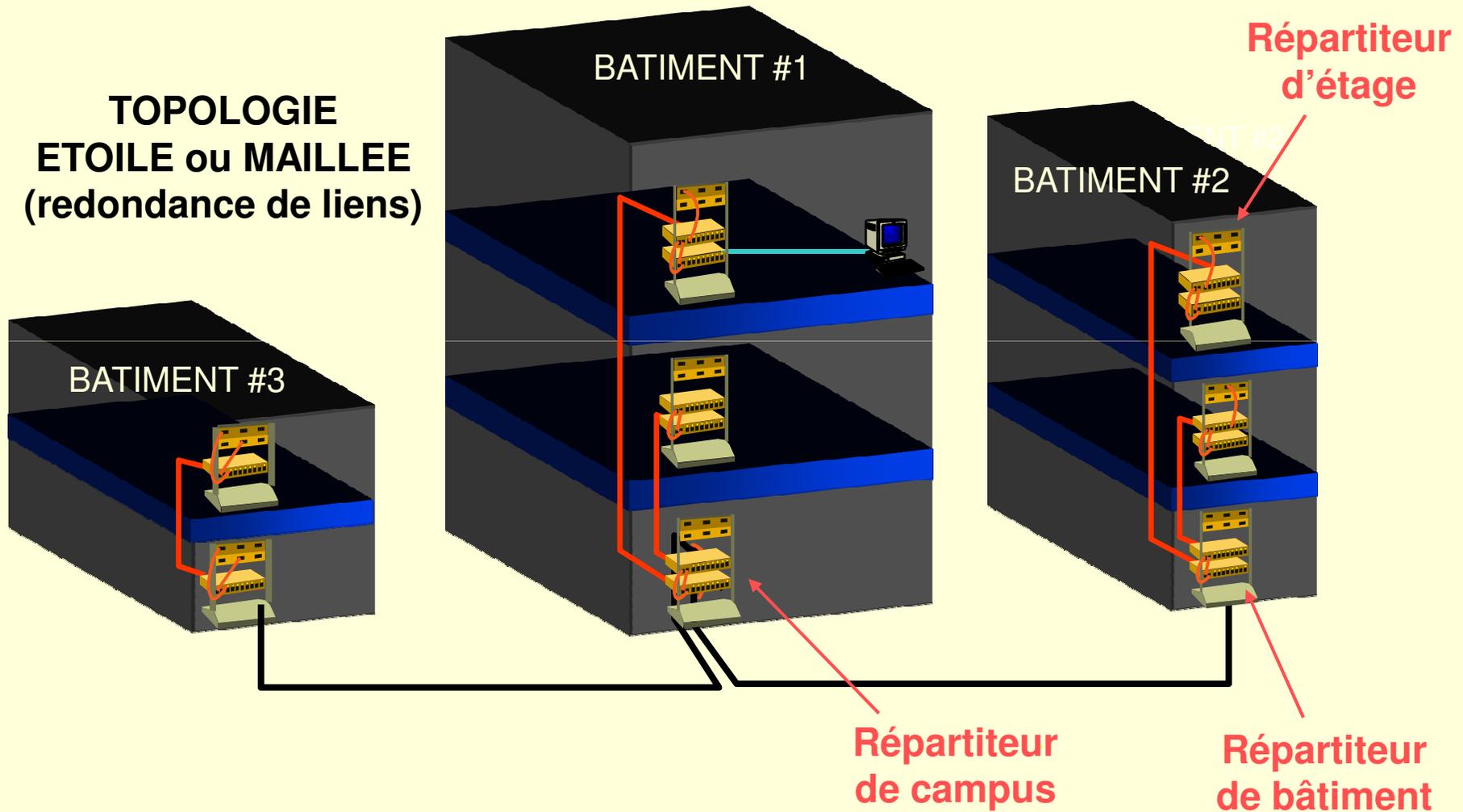
Les sources lumineuses



Comparaison LED et LASER

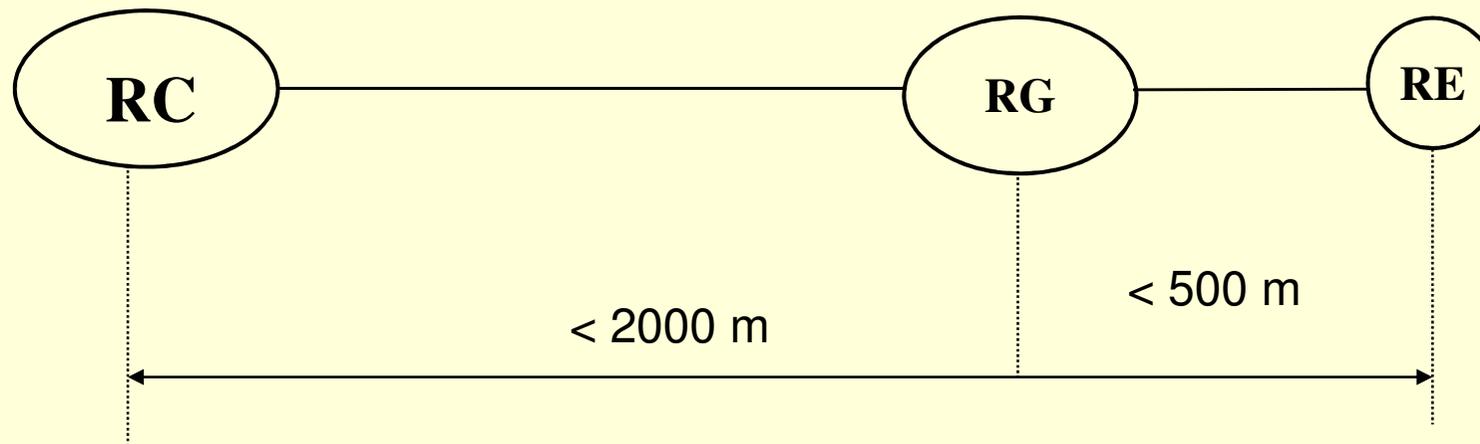
<u><i>EMETTEUR</i></u>	<u><i>DEL</i></u>	<u><i>LASER</i></u>
Mode de propagation	Multi mode	Multi mode ou monomode
Fenêtre	800 à 900 nm 1250 à 1350 nm	1300 nm 1550 nm
Bande passante	< 200 MHz	> 1 GHz
Distance	Courte	Longue
Sensibilité à la température	Moyenne	Très forte
Durée de vie	Longue (100 000 h)	Courte (10 000 h)
Coût	Faible	Elevé

Règles d'ingénierie



Liaisons Fibre Optique

Norme ISO/CEI 11801



En gigabit Ethernet ce n'est plus vrai

Panorama des fibres:

		Fibre 50/125 μm			Fibre 62,5/125 μm		
		Classe de fibre	Bande passante en MHz/Km		Classe de fibre	Bande passante en MHz/Km	
			850 nm	1300 nm		850 nm	1300 nm
Fibres Courantes	IEC	200 - 400	200	400	160 - 500 200 - 500	160 200	500 500
	Non IEC	500 - 800 500 - 1200	500 500	800 1200			
Autres Fibres	IEC	500 - 500 600 - 1200	500 600	500 1200			

Evolution des normes systèmes:

- 4 catégories:
 - 3 en multimodes : OM1, OM2 et OM3
 - 1 en monomode : OS1

Type de fibre	Diamètre de cœur	Bande passante minimale MHz/km		
		Mesure OFLBW standard		Mesure RML en cours de définition
		850 nm	1300 nm	850 nm
OM1	50 μm ou 62,5 μm	200	500	Non spécifiée
OM2		500	500	Non spécifiée
OM3	50 μm	1500	500	2000

Performances des fibres pour l'application Ethernet

Type de réseau Ethernet	Caractéristiques	Type de fibre				
		62.5/125 μm (200/500)	62.5/125 μm 50/125 μm (500/500)	50/125 μm (500/800) (500/1200)	50/125 μm (1500/500)	Fibre monomode
		OM1	OM2	Supérieur OM2	OM3	OS1
10 Base FL	10 Mbit/s 850 nm	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	N.A ⁽¹⁾
100 Base FX	100 Mbit/s 1300nm	5 000 m	5 000 m	5 000 m	5 000 m	N.A ⁽¹⁾
1000 Base SX	1 Gbit/s 850 nm	275 m	550 m	550 m	550 m	N.A
1000 Base LX	1 Gbit/s 1300 nm	550 m	550 m	> à 550 m	550 m	5 000 m
10 Gbase S ⁽²⁾	10 Gbit/s 850 nm	33 m	82 m	82 m	300 m	N.A
10 Gbase L ⁽²⁾	10 Gbit/s 1300 nm	N.A	N.A	N.A	N.A	10 000 m
10 Gbase LX4 ⁽²⁾	10 Gbit/s - 4 λ 1300 nm	300 m	300 m	> à 300 m	300 m	10 000 m
10 Gbase E ⁽²⁾	10 Gbit/s 1550 nm	N.A	N.A	N.A	N.A	40 000 m

Performances des fibres pour l'application Ethernet

- Interprétation du tableau:
 - **La fibre OM1** : couvre dans l'architecture ISO11801, des besoins allant de L'Ethernet 10 Mbit/s (10BaseFL) sur 3 Km, à l'Ethernet 100 Mbit/s (100BaseFx) sur 5 Km.
 - Elle permet de transporter le Gigabit Ethernet sur des liaisons de 275 m en 1000BaseSX (850 nm) et 550 m en 1000BaseLX (1310 nm). Elle permet de transporter l'application 10 Gigabit Ethernet sur des liaisons de 33 m en 10GbaseS (850 nm) et 300 m en 10 GbaseLX4 (1310 nm).
 - *La fibre OM1 correspond à une fibre 62,5/125 μm « courante ».*

Pose des fibres (1/4)

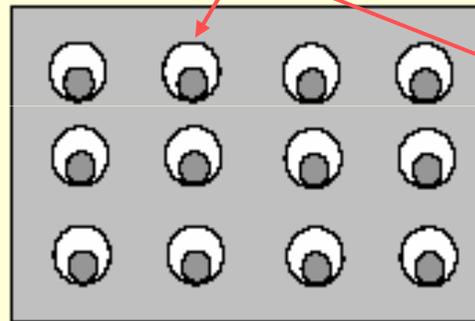
- Raccordement dans les répartiteurs par :
 - Connecteurs (ST, SC ...),
 - Epissures (pigtaills)
- En intérieur:
 - Rayon de courbure,
 - Structure serrée généralement
- Quelques contraintes pour la distribution extérieure :
 - Etanchéité (PEHD: Poly Ethylène Haute Densité)
 - Ecart de température
 - Rongeurs (tresses métalliques)
 - Rayon de courbure (> 30 cm)
 - Traction (à la pose < 100 daN)
 - Ecrasement (< 30 daN/CM)

Pose des fibres (2/4)

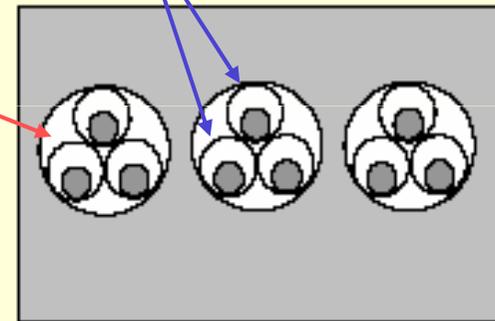
- Fourreaux:



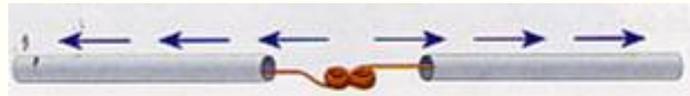
Fourreaux
 $\phi = 30 \text{ mm}$



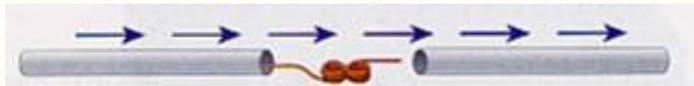
Fourreaux regroupés dans
des alvéoles $\phi = 30 \text{ mm}$



Pose des fibres(3/4) : Tirage de câbles



Tirage en 8 bidirectionnel



Tirage en 8 unidirectionnel



Chambres de tirage

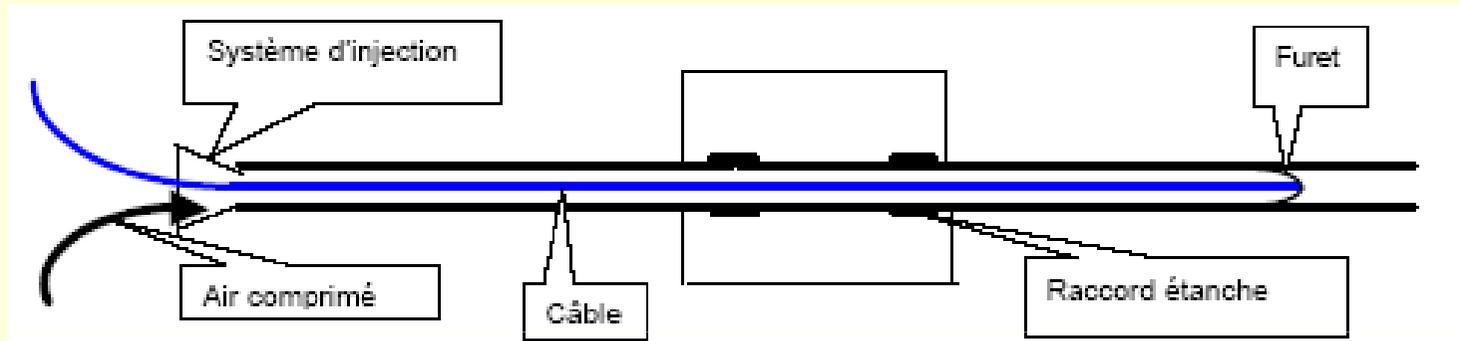


Aiguille



En attente en boucle en « 8 »

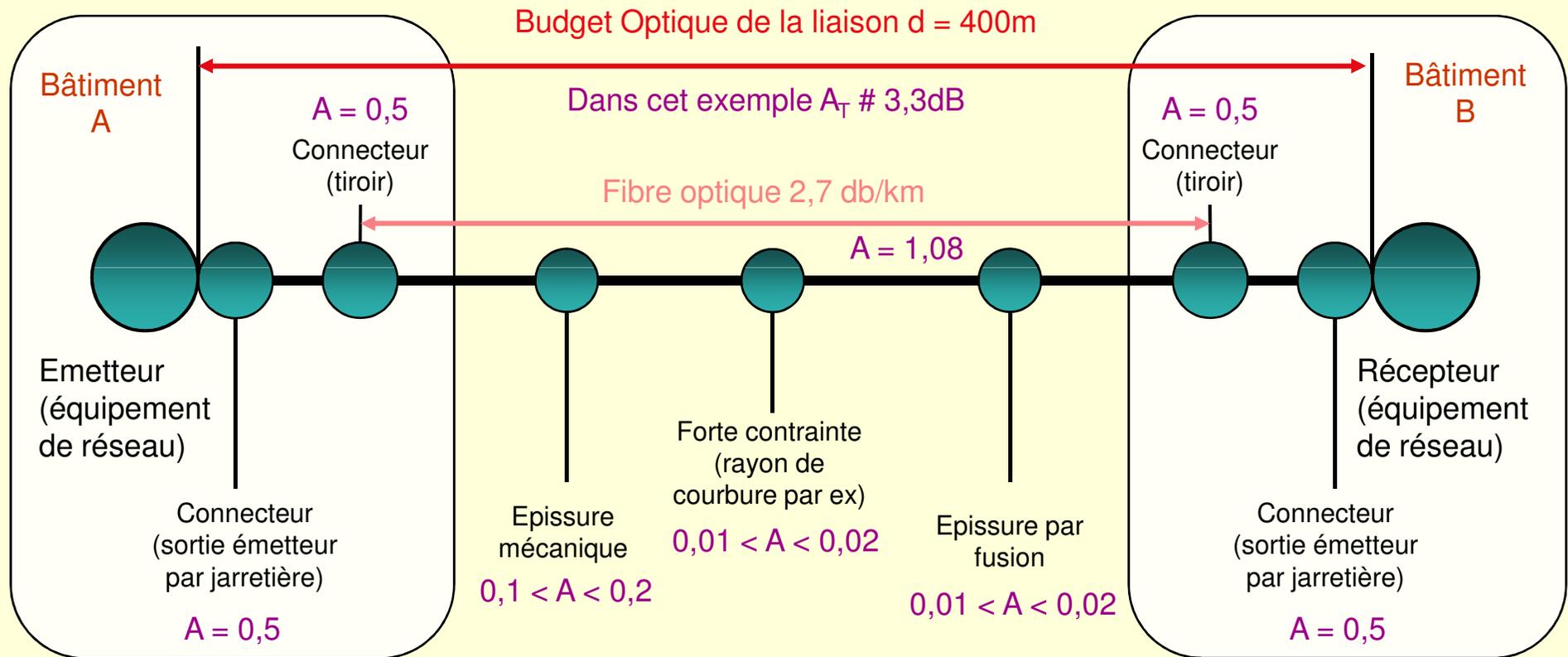
Pose des fibres (4/4)



Visualisation film ups Toulouse

- *Par soufflage*
- Quelques contraintes pour la distribution intérieure :
 - Rayon de courbure
 - > 20 cm : distribution
 - > 5 cm : point d'accès / répartiteur
 - Traction à la pose : < 100 daN
 - Ecrasement < 20 daN/cm

Le budget optique



A: Affaiblissement exprimé en dB

Réflectométrie

Mesurer la puissance avec un OTDR

Mise en place du test



1) Fibre de lancement

200 m – 500 m pour MM

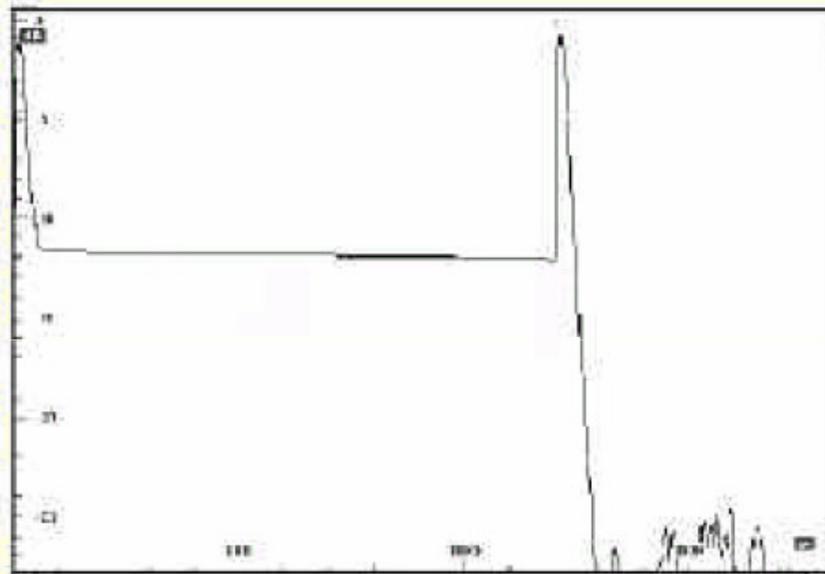
500 m – 1'000 m pour SM

2) Fibre de lancement

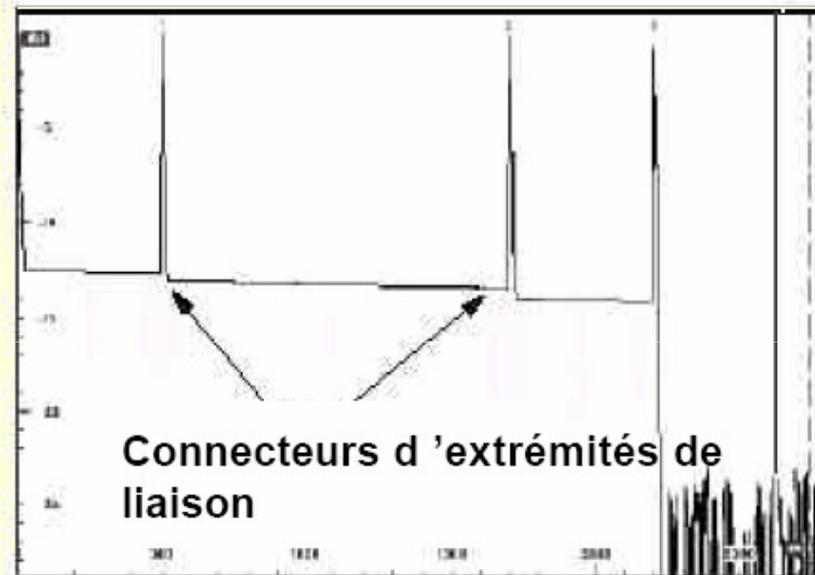
200 m – 500 m pour MM

500 m – 1'000 m pour SM

Bobines amorces



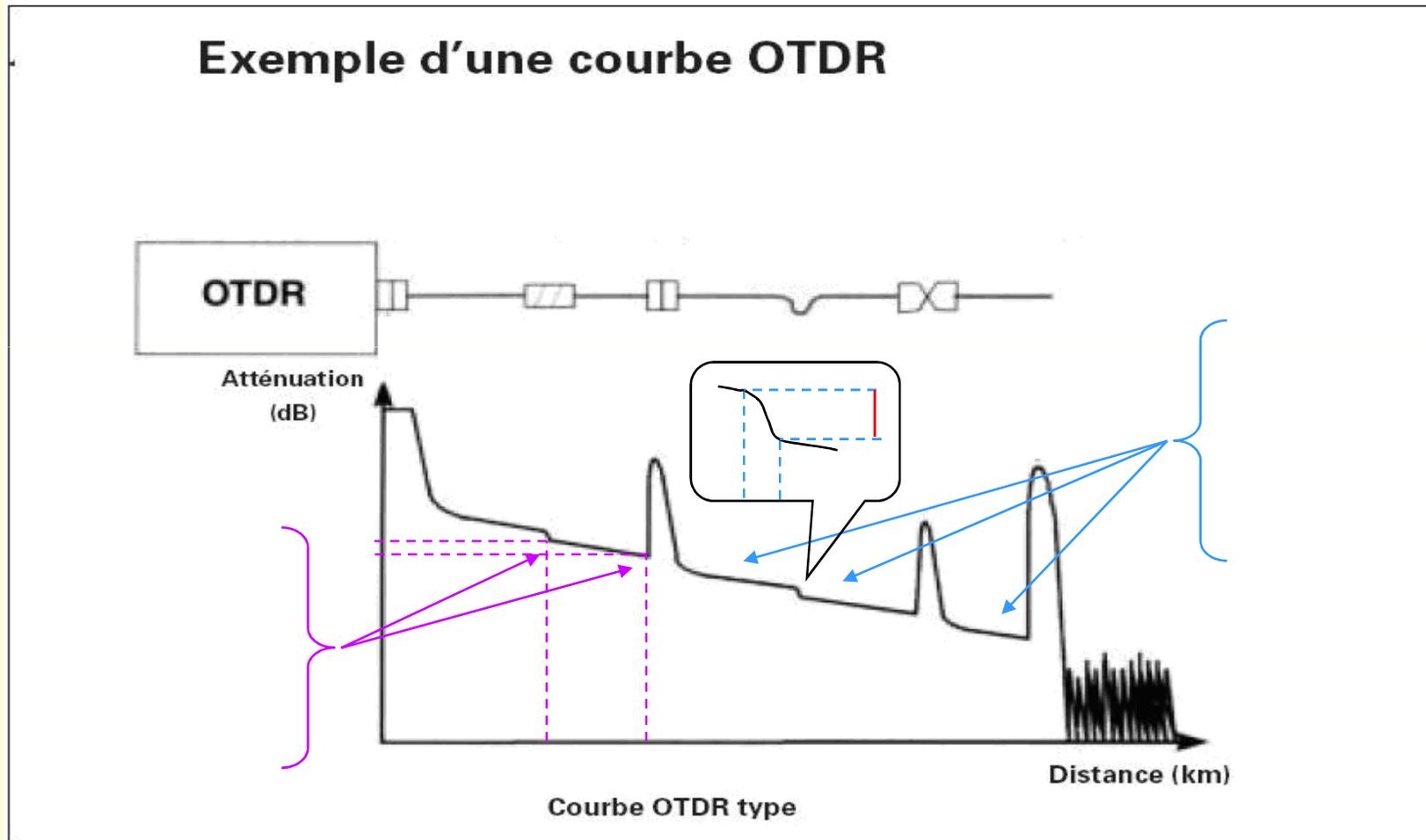
Courbe sans bobine amorce



Courbe avec bobines amorces

Réflexométrie

Exemple d'une courbe OTDR

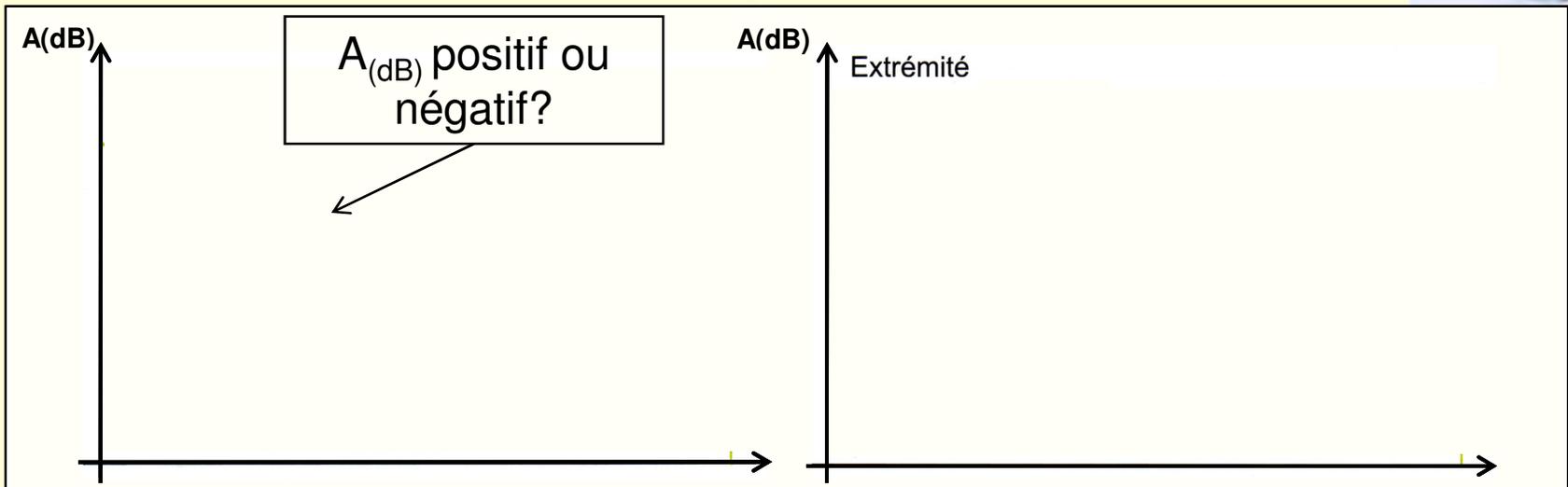
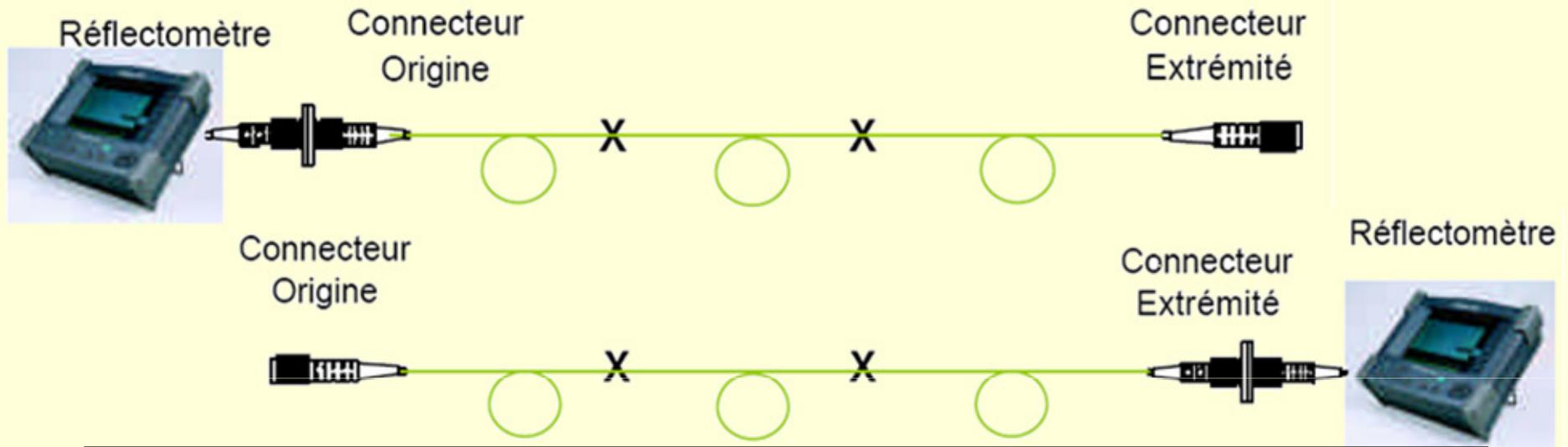


Réflectométrie

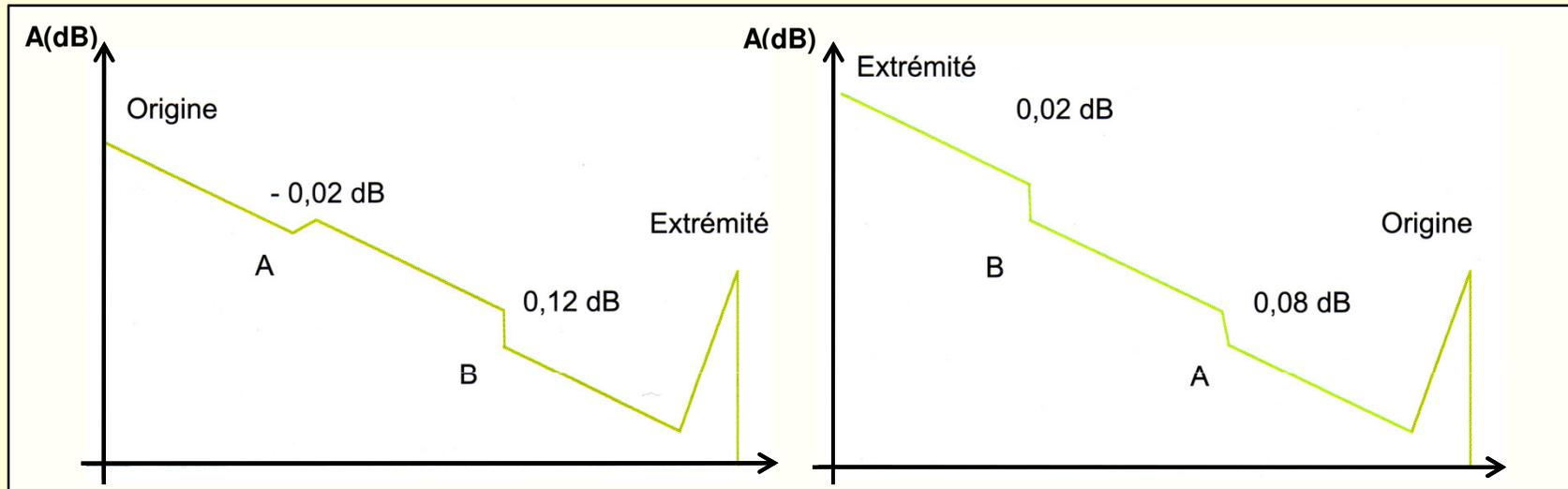
Au bilan deux types d'évènements :

- les évènements réfléchissants : discontinuité causée par un changement brut de milieu ou d'indice de réfraction. L'origine ?
 - coupures,
 - jonction par connecteur PC,
 - épissures mécaniques,
 - fin de fibre,
 - situe entre 0,1 et 0,5 dB
- les évènements non réfléchissants : pas de discontinuité. L'origine ?
 - épissure par fusion,
 - Jonction par connecteurs APC
 - pertes dues à des contraintes,
 - situe entre 0,01 dB et 0,02dB

Dans les deux sens!!

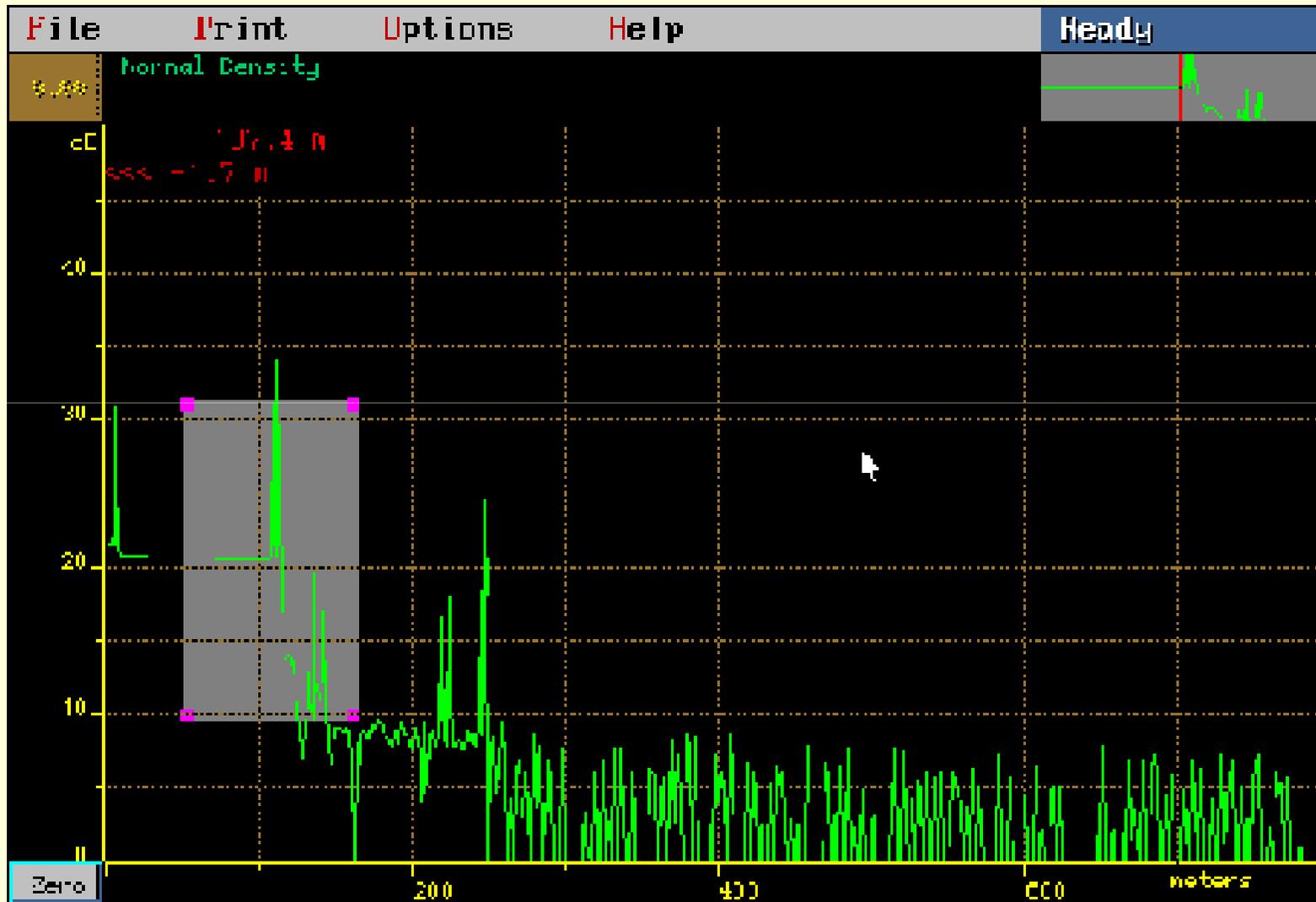


Dans les deux sens!!

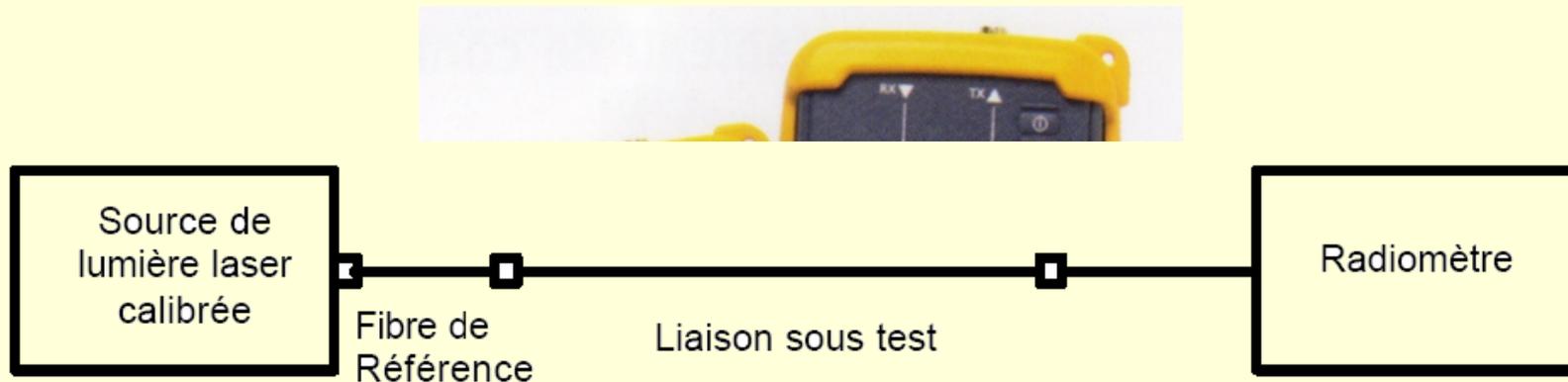


	réflectomètre optique				
	O → E	E → O	Somme	Moyenne	Perte Réelle
Epissure A	-0,02 dB	0,08 dB			
Epissure B	0,12 dB	0,02 dB			

Réflectométrie



La Photométrie

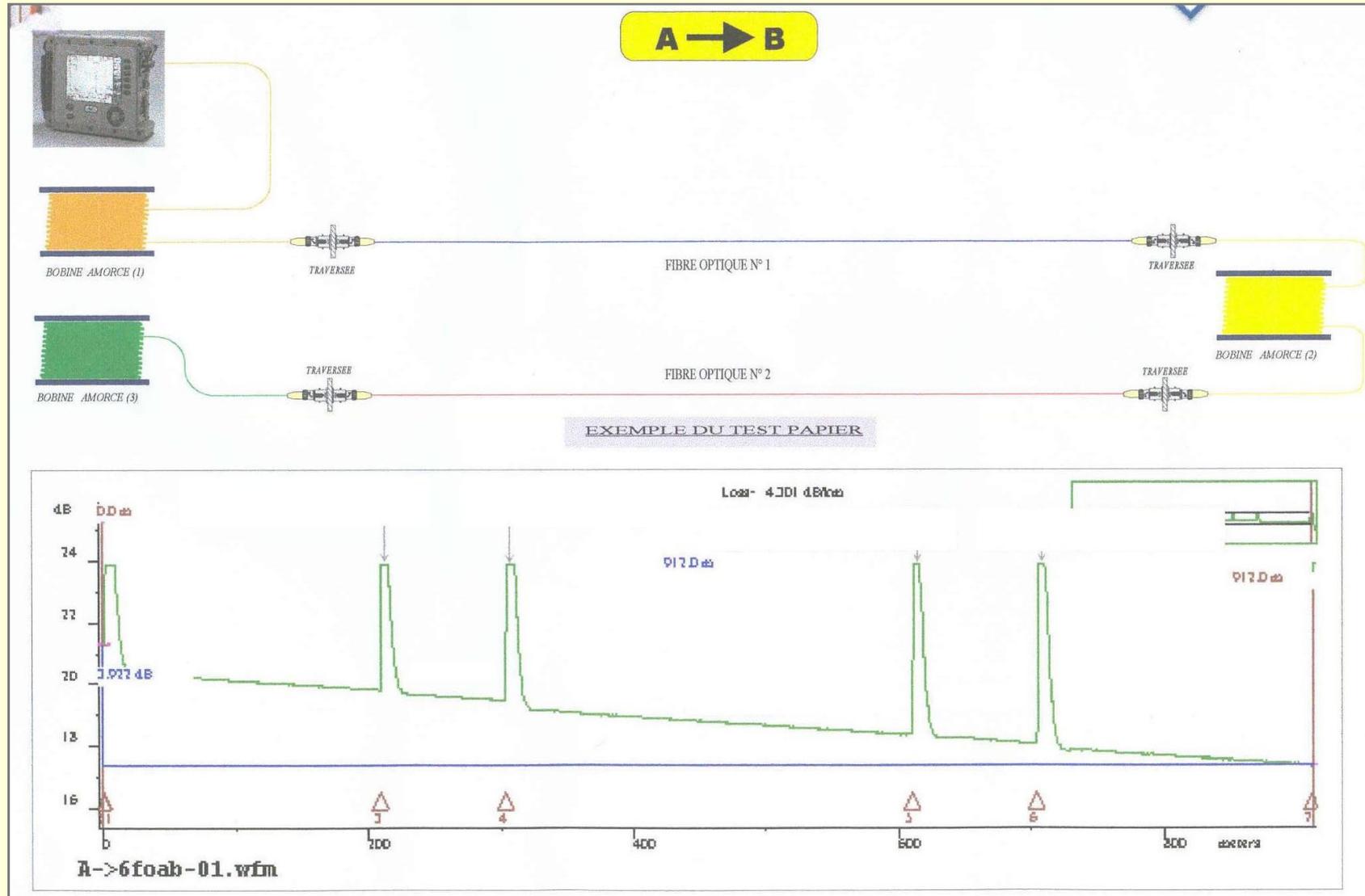


$$A \text{ (dB)} = P1 \text{ (dBm)} - P2 \text{ (dBm)}$$

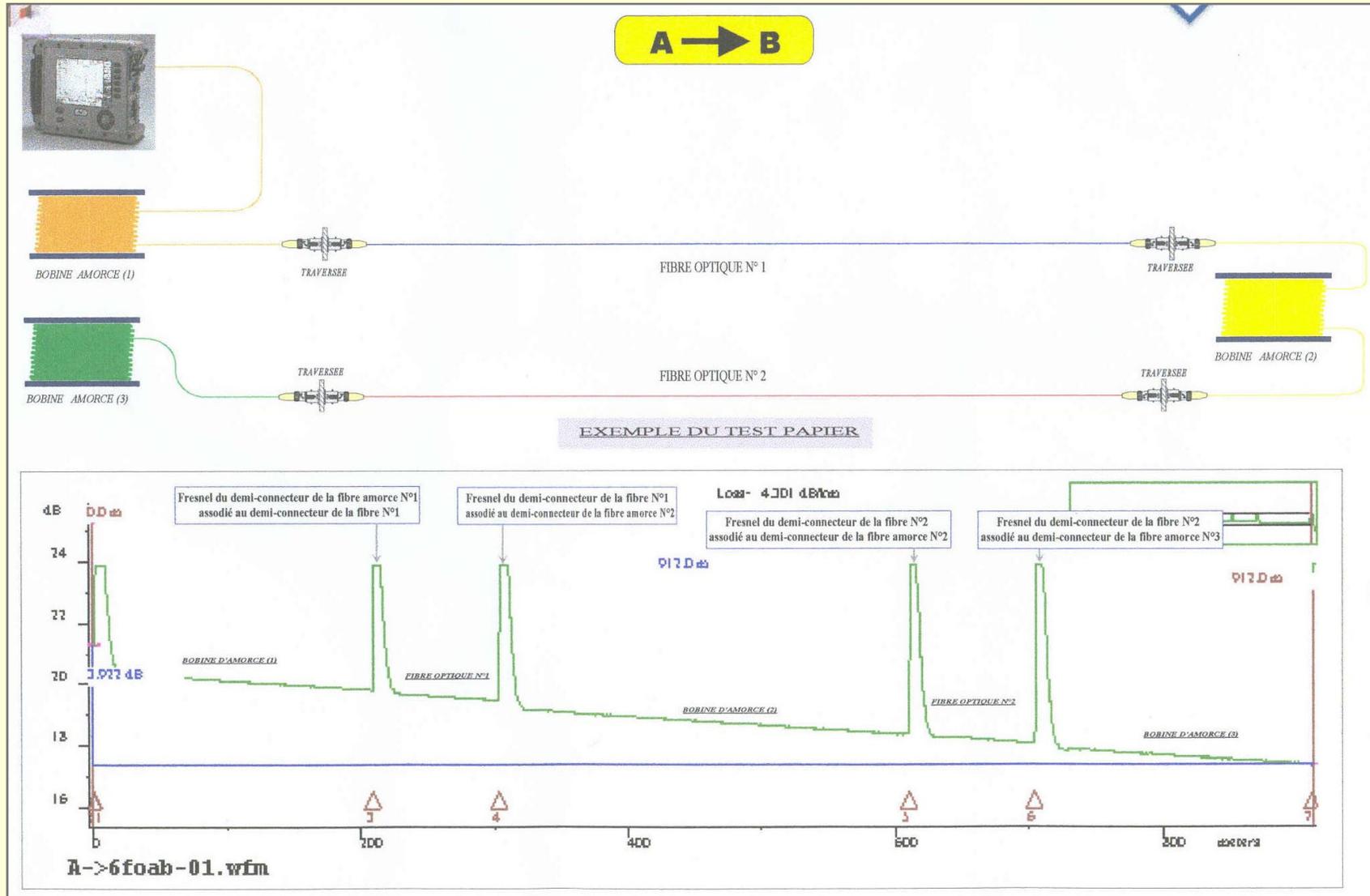
Un PV

CABLE ASSEMBLY TEST VALUES					
Cable ID No.	030902228		Works Order No. FF01195		
Part Number	SCST62DOR1				
Description	1m SC/ST 62.5/125 Duplex Patchcord				
TEST VALUES					
	Allow. Loss	CHANNEL 1		CHANNEL 2	
		Conn. 1	Conn. 2	Conn. 1	Conn. 2
Insertion Loss	0.40 dB	0.01	0.17	0.07	0.06
Return Loss (SM)	50dB	NA	NA	NA	NA
RESULT	OK				

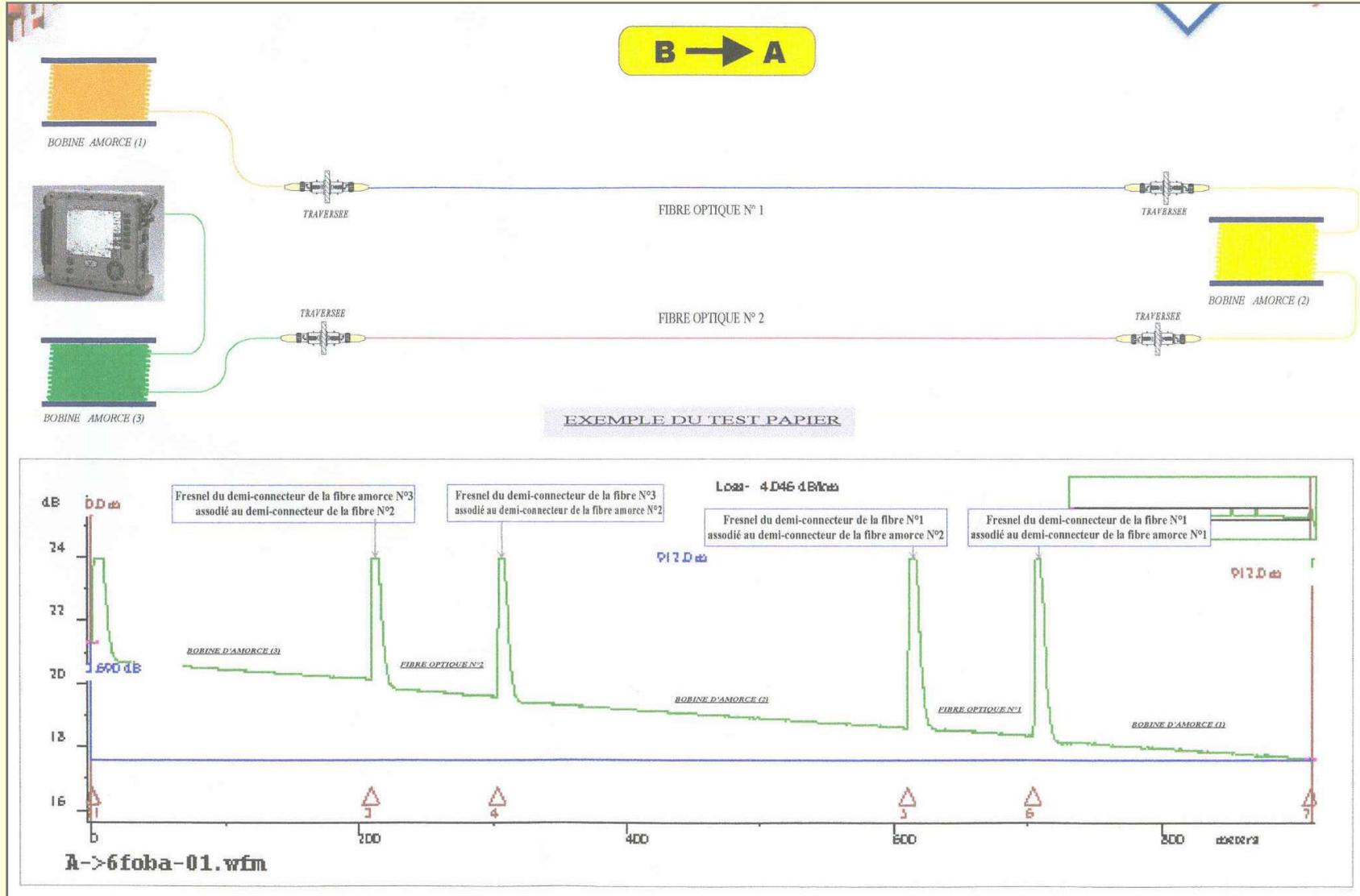
Réflectométrie



Réflectométrie



Réflectométrie



Réflectométrie



Lexique pour l'interprétation des tables



A → B

B → A

- Event** : Numérotation des événements par leur ordre d'apparition (de la gauche vers la droite sur les traces)
- Dist. (Km)** : Distance cumulée par fibre à chaque événement
- Splice Loss (dB)** : Perte en dB de chaque Fresnel (pic de connection)
- Fibre Loss (dB/Km)** : Evaluation de la perte au Kilomètre de chaque fibre
- Two Pt Dist. (Km)** : Distance en Kilomètre par fibre entre chaque Fresnel
- Two Pt Loss (dB)** : Perte en dB par fibre entre chaque Fresnel
- Link Loss (dB)** : Perte cumulée par fibre à chaque événement

EXEMPLE DU TEST PAPIER

Event Table A->ASP-06.wfm

Event #	Dist. (km)	Splice Loss (dB)	Refl. Loss (dB)	Fiber Loss (dB/km)	Two Pt Dist. (km)	Link Loss (dB)	Event Status	Two Pt Loss (dB)
1	0.000	0.70	>-48.6	-	-	-	Refl.	-
2	0.210	0.09	>-45.5	2.320	0.210	1.19	Refl.	1.19
3	0.474	0.29	>-43.6	2.814	0.264	2.02	Refl.	0.83
4	0.691	11.12	>-43.7	2.760	0.207	2.49	Refl.	0.86