

MOOC Réseaux d'accès optiques FTTH

Chapitre 2 : Technologies et composants

Laurent Gasca

Responsable Produit – Telecom Solution



Contents

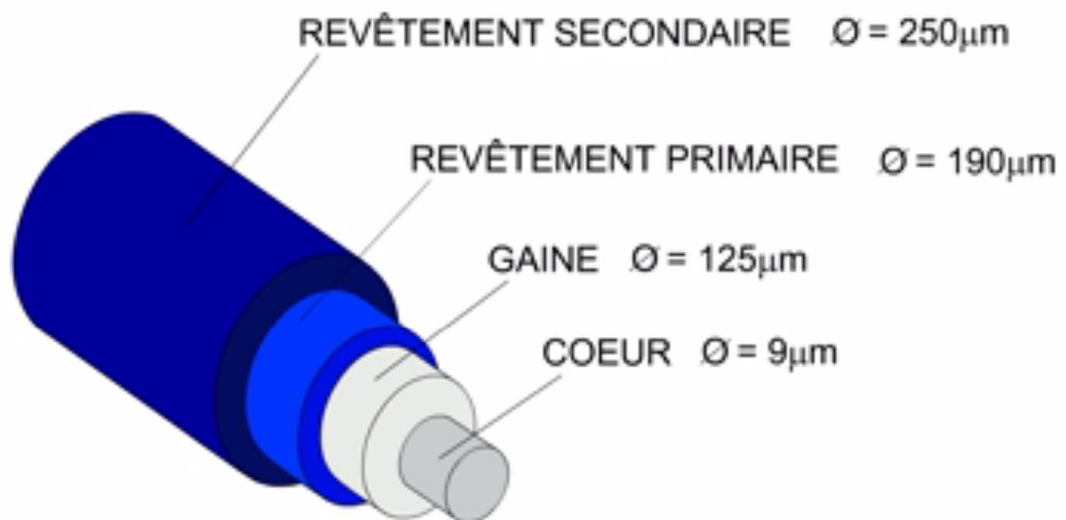
S2L1 : La fibre optique.....	3
Structure de la fibre optique	3
Identification de la fibre	4
Pureté de la fibre.....	4
Fabrication de la fibre	5
Mesures et standards.....	8
Le choix en France pour la fibre FTTH	8
Conclusion	10
S2L2 : Les câbles optiques	11
Généralités	11
Principaux critères de performance	12
Environnement d'utilisation et performances	12
Topologie du réseau FTTH et types de câble	14
S2L3 : Accessoires et connecteurs pour fibre optique	19
Généralités	19
Boîtes et boîtiers	19
Les connecteurs optiques.....	26

S2L1 : La fibre optique



Structure de la fibre optique

La fibre optique est en fait un mince fil de verre protégé par deux couches de revêtement thermoplastique. Le diamètre du verre est de 125 micromètres, le diamètre extérieur du revêtement est de 250 micromètres.



Revêtement protecteur + Fibre de verre

Le verre est constitué de deux parties : le coeur optique d'un diamètre 9 micromètres sur les structures monomodes et une gaine optique de diamètre 125 micromètres. L'ensemble verre, plus revêtement thermoplastique constitue ce qu'on appelle la fibre nue. Le revêtement est appliqué lors de la fabrication de la fibre, il est conservé tout au long de la vie de la fibre. Il n'est retiré que pour des opérations très spécifiques, des opérations d'épissurage ou connectivisation. Immédiatement après ces opérations, la fibre est reprotégée, soit par des manchons, soit par le corps même du connecteur.

Identification de la fibre

Dans un câble, les fibres sont identifiées par leur couleur, cette couleur est soit un mince film coloré rajouté sur la fibre, soit directement la couleur du revêtement secondaire teintée dans sa masse. Ce deuxième procédé dit Colorlock présente une bien meilleure résistance dans le temps.

Code couleur utilisé en France

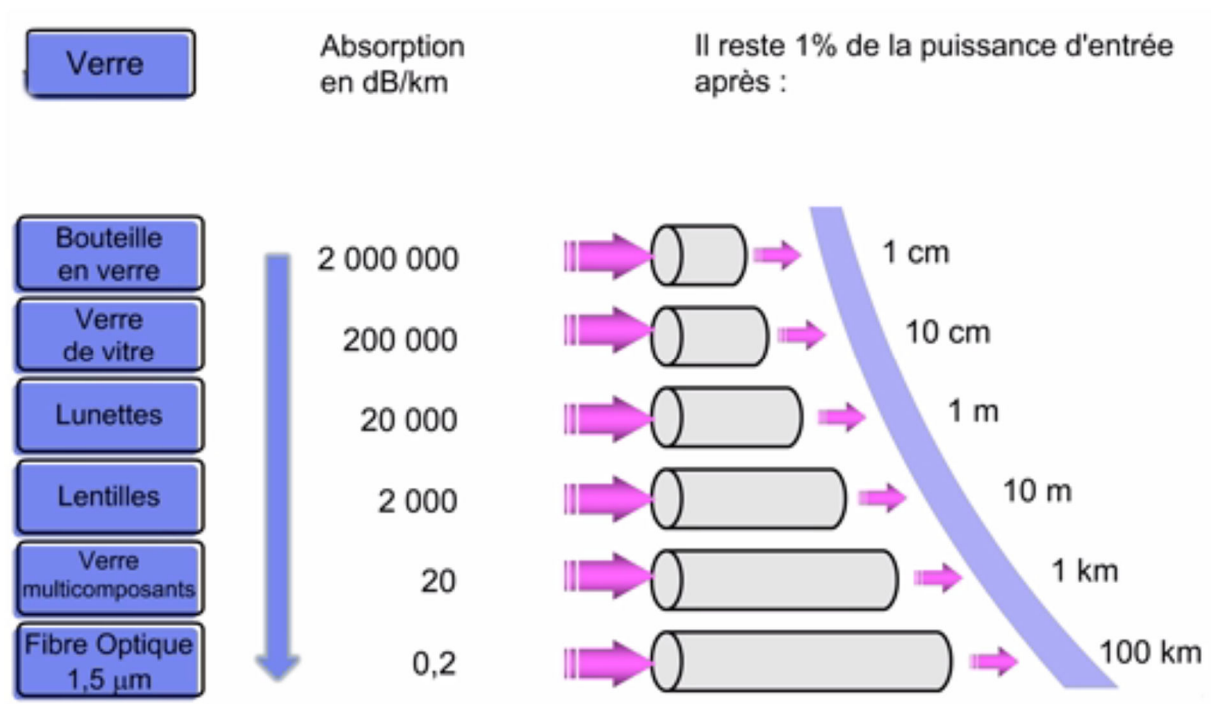
1	Rouge
2	Bleu
3	Vert
4	Jaune
5	Violet
6	Blanc
7	Orange
8	Gris
9	Marron
10	Noir
11	Turquoise
12	Rose



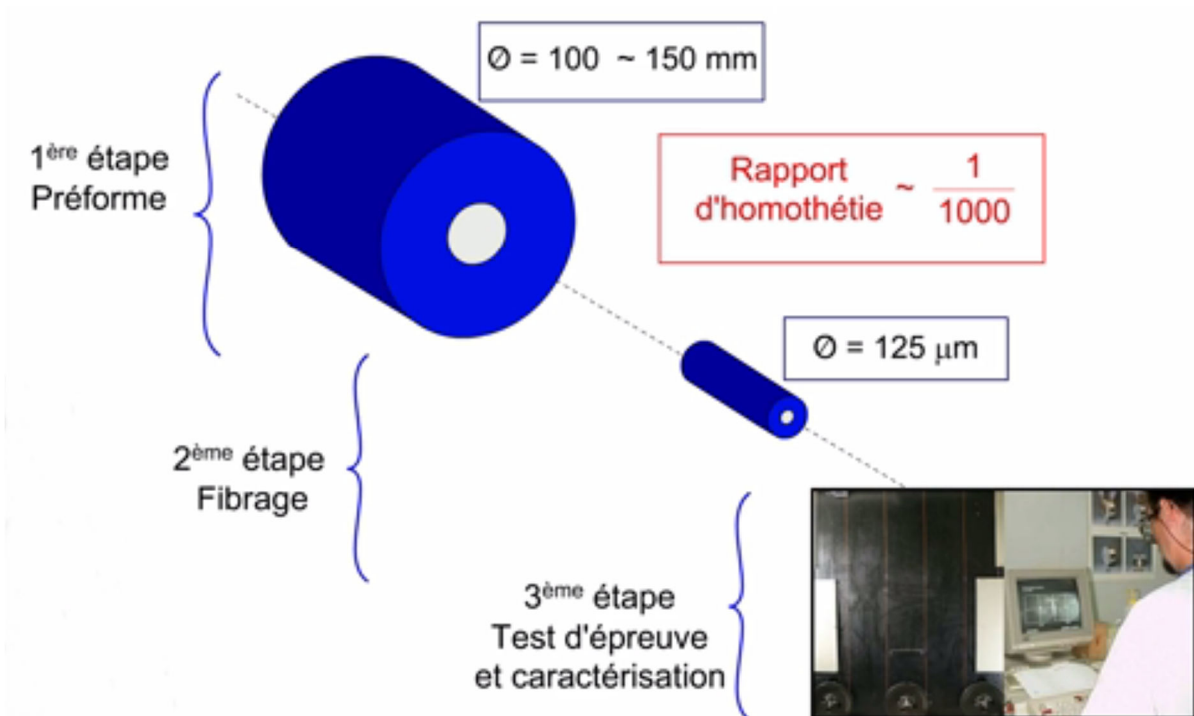
Un code couleur spécifique est utilisé en France. Par convention, la fibre rouge est dite fibre numéro 1, la fibre bleu numéro 2, vert numéro 3, etc. La fibre rose est la fibre numéro 12.

Pureté de la fibre

Une fibre optique est certes un fil de verre, mais d'un verre d'une extrême pureté. Le tableau compare différents types de verres et donne les absorptions en dB par kilomètres. Si l'on compare un verre de vitre avec un verre de fibre optique, on voit que pour le verre de vitre l'absorption est de 200 000 dB par kilomètre, pour la fibre optique, il est de l'ordre de 0,2 dB par kilomètre. Une fibre optique est donc 1 million de fois plus transparente qu'un verre de vitre.



Fabrication de la fibre



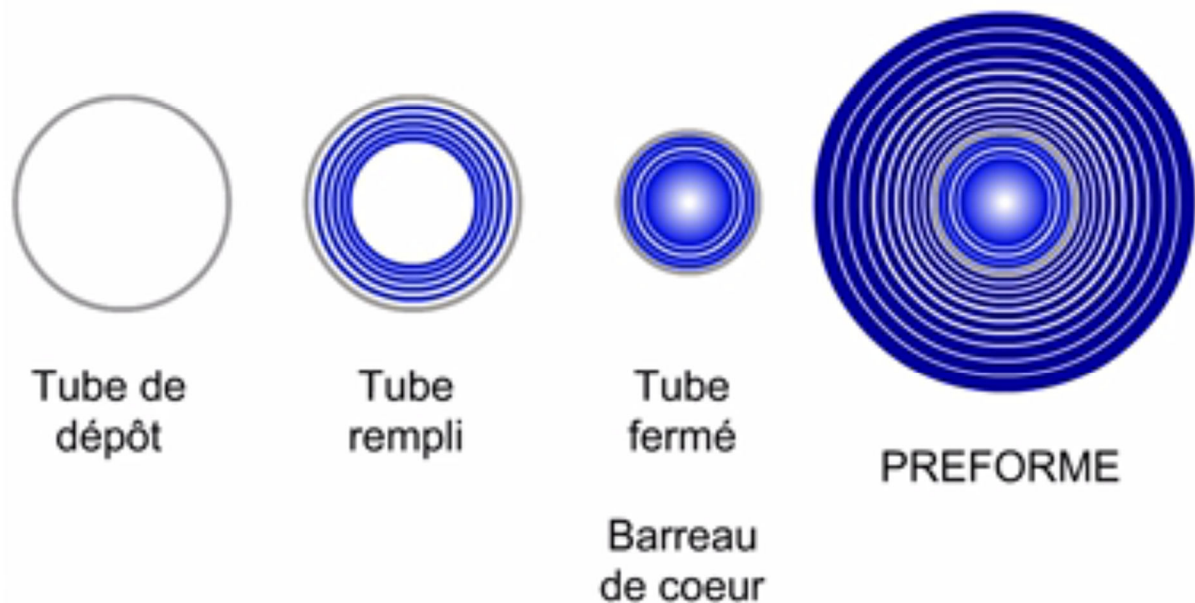
Cette extrême pureté est obtenue grâce à des procédés de fabrication très spécifiques. On peut distinguer trois étapes dans la fabrication de la fibre optique, la première étape est la fabrication de la préforme qui est un objet en verre de diamètre 100 à 150 millimètres. Cet objet en verre est ensuite étiré jusqu'à obtenir l'objet de diamètre de 125 micromètres, c'est l'étape de fibrage. La dernière étape, c'est celle de la caractérisation qui permet de valider les propriétés de la fibre.

Pour obtenir cette extrême pureté, il est nécessaire d'utiliser des procédés de dépôt en phase vapeur. Les procédés les plus utilisés en Europe sont les procédés dits internes, ils consistent à déposer des couches à l'intérieur d'un tube de dépôt.



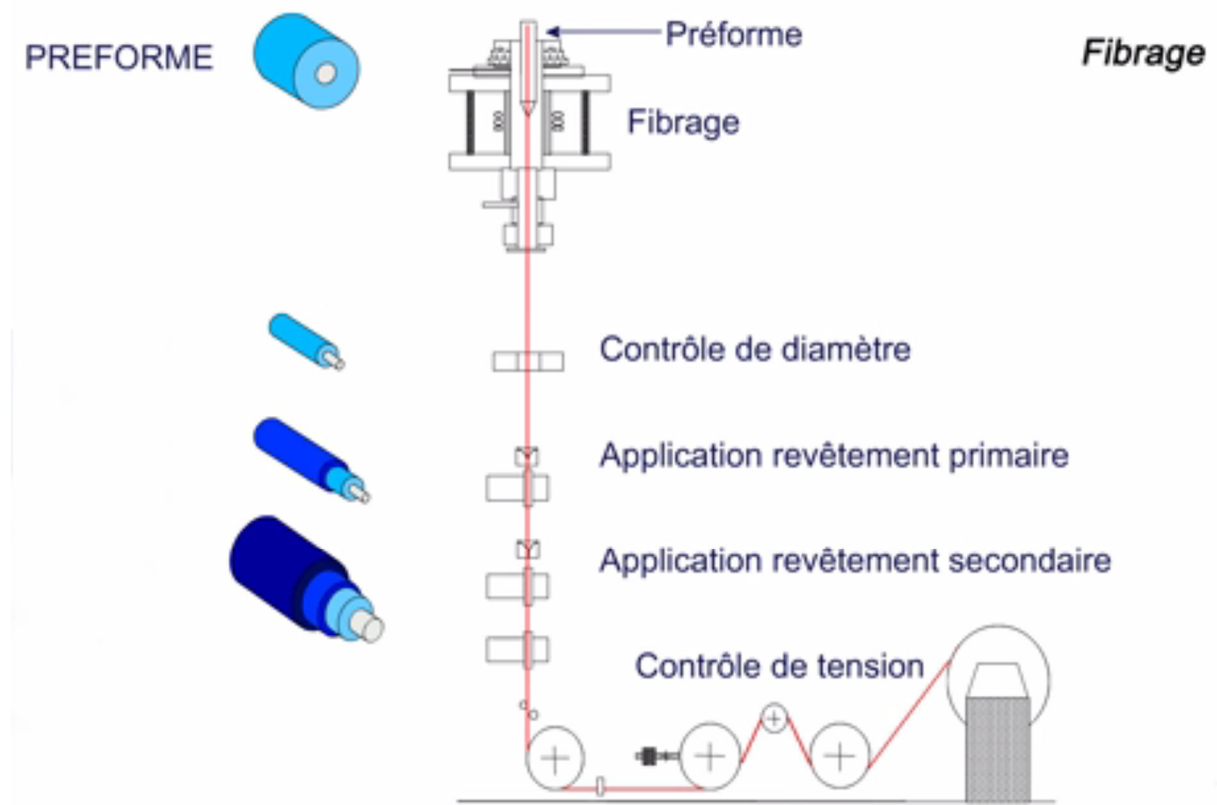
Lorsque le nombre de couches voulu est réalisé, le tube est ensuite fermé, c'est l'étape de rétreint, on obtient le barreau de cœur. Ensuite, des couches de verre sont rajoutées à l'extérieur pour obtenir l'objet souhaité aux dimensions voulues, c'est la préforme.

Fabrication de la préforme



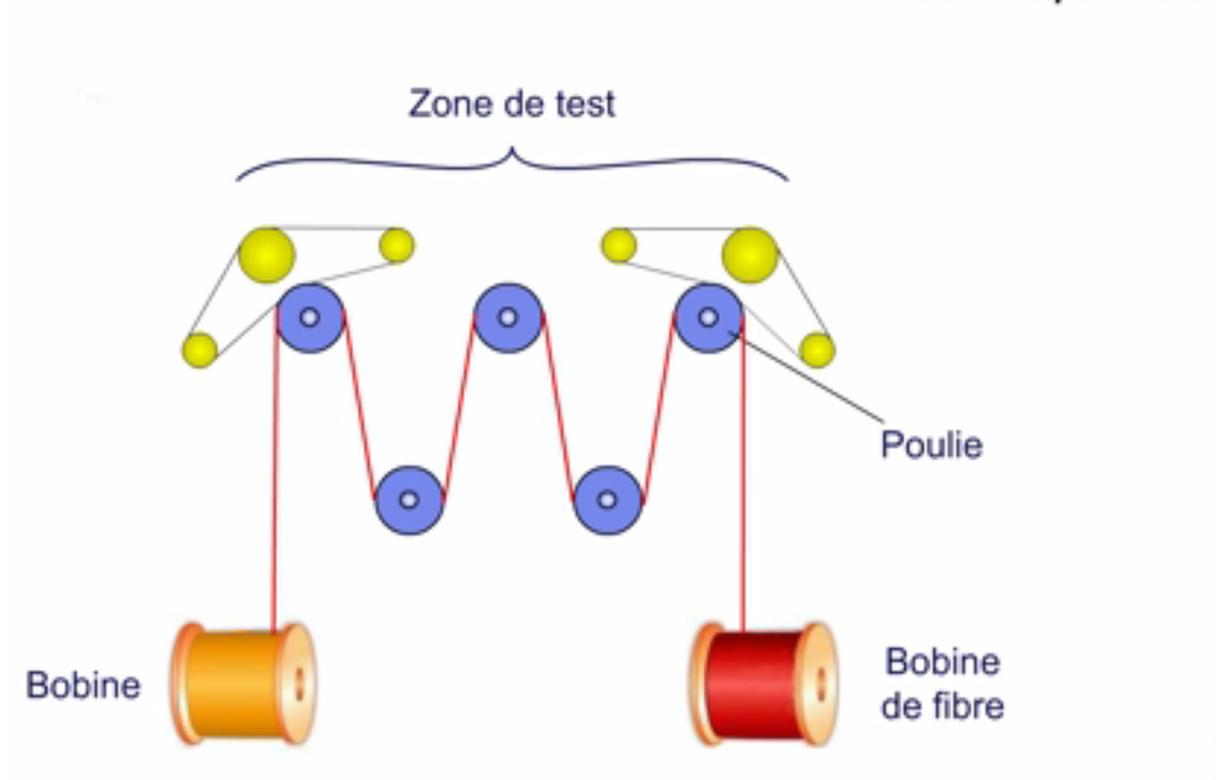
La deuxième étape de fabrication est l'étape de fibrage, la préforme est amenée au sommet d'une tour de fibrage, elle est introduite dans un four chauffé aux environs de 2000 degrés.

La température fait qu'une partie de verre se détache, emmenant avec elle un mince fil de verre. Ce fil de verre est le début de la fibre optique. Ensuite, on contrôle en tension, en vitesse de descente de préforme, en température du four pour obtenir le bon diamètre de 125 micromètres. En bas de la tour de fibrage est appliqué le revêtement. D'abord, le revêtement primaire, puis ensuite, le revêtement secondaire.



Après le fibrage, la fibre optique est soumise à un test d'épreuves, elle va être étirée de 1% pendant une seconde sur toute sa longueur, cela permet d'éliminer les points faibles, cela permet d'assurer une durée de vie de la fibre supérieure à 20 ans dans les conditions normales d'utilisation.

Test d'épreuves



Mesures et standards

La fibre optique est ensuite caractérisée, plusieurs dizaines de paramètres sont mesurées selon les standards internationaux. Les standards internationaux définissent de nombreux types de fibres optiques. En France, dans les réseaux longue distance, on utilise la fibre dite G.652.D. Pour les réseaux FTTH en France, il est recommandé d'utiliser le type dit G.657.A2. Ce type de fibre est dit insensible à la courbure.

Le choix en France pour la fibre FTTH

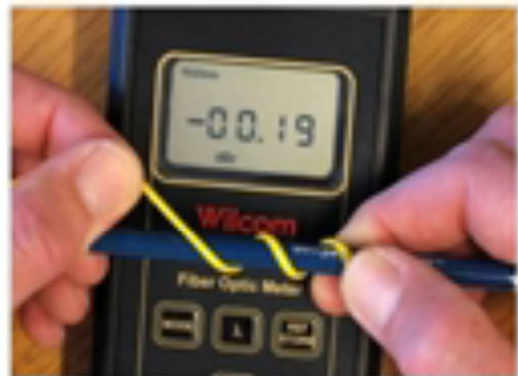
La fibre G. 657. A2 est dite insensible aux courbures, car elle limite la perte de puissance en cas de courbure de la fibre. Dans les photos ci-après, on compare la fibre G. 652. D et la fibre G. 657. A2. En cas de courbure autour d'un stylo, cas d'école, on constate une perte de 11 dB avec la G. 652. D, soit la moitié du budget optique du réseau FTTH. Pour la fibre G. 657. A2, la déperdition est uniquement de 0,2 dB, soit 1% du budget.



Référence (fibre droite)



G.652.D - 11dB



G.657.A2 - 0.2dB

Le cas précédent était un cas d'école, ou correspond à des courbures accidentelles sur le réseau. Les fibres insensibles aux courbures ont été développées pour principalement pouvoir stocker les fibres sur de faibles rayons de courbure, 15 millimètres. Il a été défini différents types de fibres, mais toutes n'ont pas les mêmes performances. Le tableau compare les fibres de type G. 657. A1, G. 657. A2 et G. 657. B3.

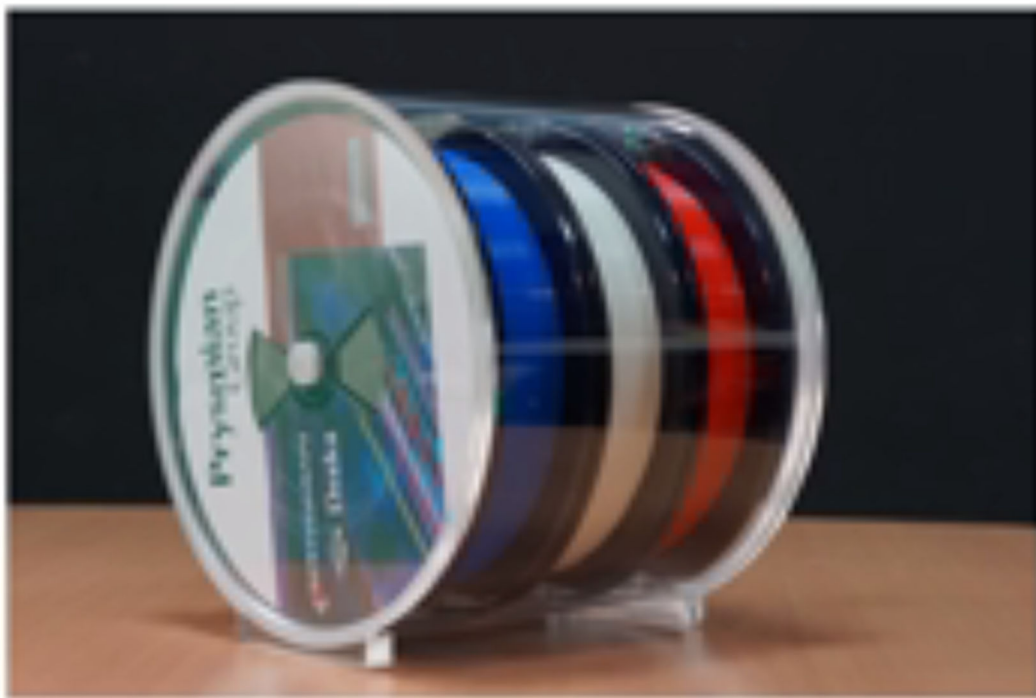
Type de fibres		G.657.A1	G.657.A1	G.657.A2	G.657.A2	G.657.B3	G.657.B3
Rayon de stockage	m	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Longueur de fibre stockée	m	1	2	1	2	1	2
Atténuation @ 1550 nm	dB	0,27	0,53	0,03	0,06	Non spécifiée	Non spécifiée
Atténuation @ 1625 nm	dB	1,06	2,12	0,11	0,21	Non spécifiée	Non spécifiée

La B3 est un cas particulier, elle n'est pas spécifiée pour ce rayon 15 millimètres. Si l'on compare la fibre G.657.A1 et la fibre G.657.A2, on note de fortes différences de

performances, la fibre G.657.A1 qui est juste une extrapolation d'une fibre G.652.D à des pertes 10 fois supérieures à la fibre G.657.A2. Cet écart est d'autant plus important que la longueur d'onde d'opérations augmente. Alors, il faut savoir que les réseaux de future génération qui viendront après le GPON utiliseront les plus grandes longueurs d'onde, il est donc important pour la pérennité du réseau d'utiliser la fibre qui assure la plus faible perte de courbure possible aux plus grandes longueurs d'onde.

Conclusion

La fibre optique est donc un mince fil de verre, elle fait l'objet de beaucoup d'attention lors de sa fabrication et de sa caractérisation. Elle doit faire aussi l'objet d'attention lors de sa manipulation, de son installation. Les rayons de courbure trop sévères doivent être évités, il ne faut pas étirer la fibre, il faut éviter de heurter la fibre avec un outil.



S2L2 : Les câbles optiques



Généralités

La fibre optique est un mince fil de verre, il est nécessaire de la protéger : entre deux points de jonction dans des câbles, aux points de jonction dans des boîtiers.



Il existe de différentes façons de classer les câbles à fibre optique. L'IEC classe les câbles à fibre optique en différentes sections correspondant à des environnements différents : les câbles intérieurs, les câbles extérieurs, les câbles intérieurs et extérieurs. Dans un premier temps, nous reprendrons cette classification.

IEC classe les câbles optiques en différentes sections

- EN 60794-2 : câble intérieur
- EN 60794-3 : câble extérieur
- Projet 60794-6 : câble intérieur et extérieur

Principaux critères de performance

Quels sont les principaux critères de performance ? On distingue les critères mécaniques et les critères environnementaux. Au niveau mécanique, il y a la résistance à la traction, la résistance à l'écrasement et la résistance au choc, par exemple pour simuler la chute d'un outil sur un câble. En matière d'environnement, on a la résistance aux variations de température, la résistance aux UVs, la résistance aux solvants, l'étanchéité, et très important pour les câbles intérieurs, le comportement au feu.

Environnement d'utilisation et performances

Les câbles intérieurs : les câbles intérieurs ont une gaine sans halogène ignifugée, ils sont de différentes couleurs, généralement de couleurs claires pour être le moins apparents possible à l'intérieur. La plage de température est relativement réduite. Le paramètre le plus important est le comportement au feu. Il s'agit de s'assurer que le câble ne propage pas le feu et n'émette pas de substances qui peuvent être dangereuses en cas d'incendie. Depuis le premier juillet 2017, les câbles intérieurs doivent répondre au Règlement Produit de Construction, RPC.

☰	Câbles Intérieurs
Nature de la gaine	Gaine sans halogène ignifugé
Aspects	Différentes couleurs possibles
Plage de température d'opération	Réduite Typiquement [-5°C ; + 60°C]
Propriétés environnementales clefs	Comportement au feu (RPC)
Propriétés mécaniques	Souplesse

Les câbles extérieurs conduite, ils ont une gaine polyéthylène chargée au noir de carbone pour présenter une bonne résistance aux UVs, cela leur confère une couleur noire. Ils ont une plage température d'opération plus étendue que les câbles intérieurs. Les propriétés environnementales clés sont : l'étanchéité, la résistance aux UVs. En termes de propriétés mécaniques, ils doivent présenter une bonne résistance à la traction et à l'écrasement pour pouvoir être posés par tirage dans les conduites.

	Câbles extérieurs conduite
Nature de la gaine	Gaine polyéthylène (PE) chargée au noir de carbone (pour une bonne résistance aux UVs)
Aspects	Couleur noire
Plage de température d'opération	Etendue Typiquement [-30°C ; + 60°C]
Propriétés environnementales clefs	Etanchéité Résistance aux UVs
Propriétés mécaniques	Bonne résistance à la traction et à l'écrasement

Les câbles extérieurs aériens sont très proches des câbles conduite : ils ont une plage de température d'opération plus étendue et ils représentent encore une meilleure résistance à la traction parce qu'une fois posés, ils doivent pouvoir résister aux intempéries, vent, gel et le cumul d'un poids de gel sur le câble et du vent.

	Câbles extérieurs aériens
Nature de la gaine	Gaine PE chargée au noir de carbone (pour une bonne résistance aux UVs)
Aspects	Couleur noire
Plage de température d'opération	Très étendue Typiquement [-40°C ; + 70°C]
Propriétés environnementales clefs	Etanchéité Résistance aux UVs
Propriétés mécaniques	Très forte résistance à la traction (intempéries, vent, gel, ...)

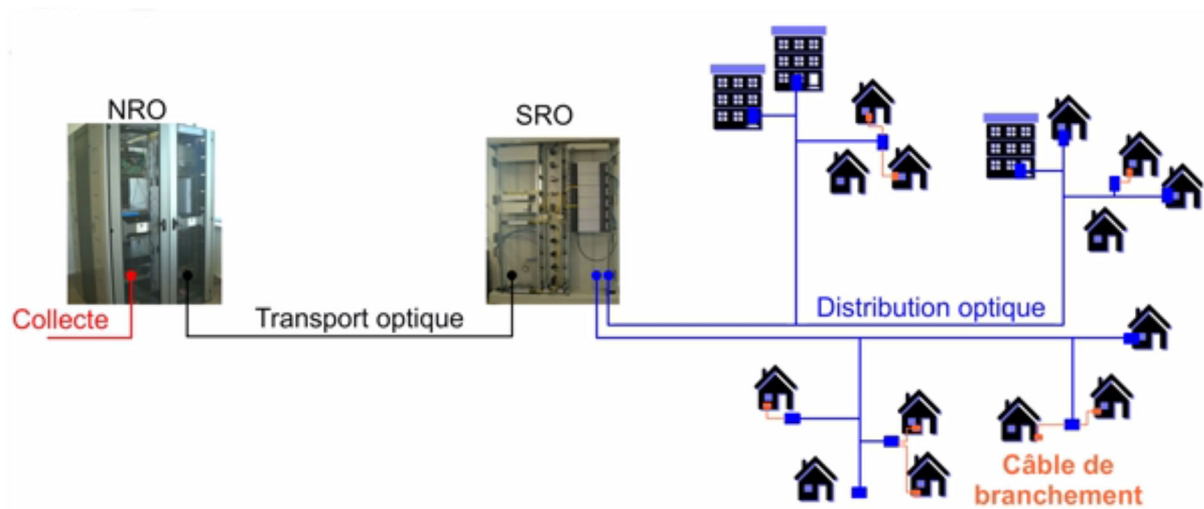
Les câbles intérieurs-externes, on peut distinguer deux types de câbles : les câbles simple gaine et les câbles double gaine. Les câbles double gaine ont une gaine extérieure pelable en polyéthylène. Cette gaine est retirée lorsque le câble circule en intérieur. La gaine interne est en matériau ignifugé. Les câbles simple gaine ont une gaine sans halogène, ignifugé et résistantes aux UVs. En termes d'aspect, ils peuvent avoir différentes couleurs, les

propriétés sont souvent des compromis entre celles d'un câble purement intérieur et celles d'un câble purement extérieur.

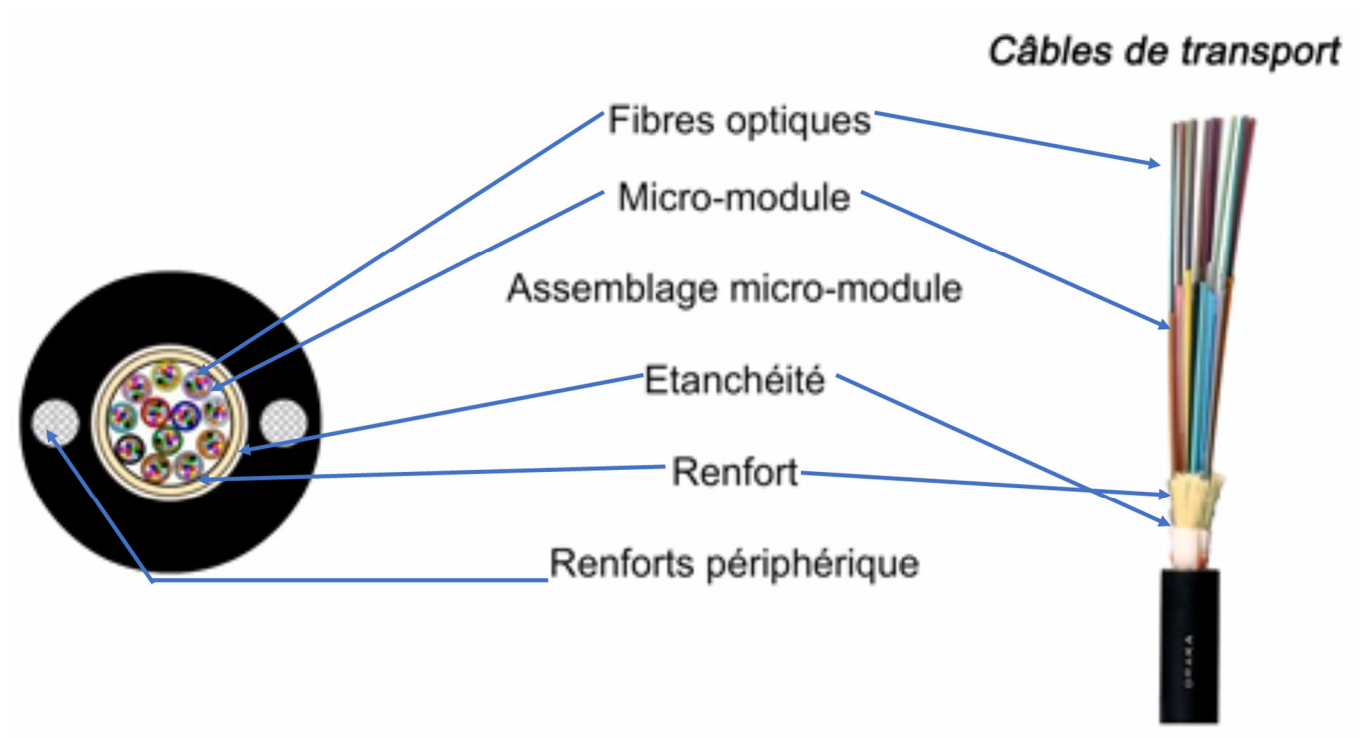
Câbles intérieurs-extérieurs / Gaine extérieure pelable en PE	
Nature de la gaine	Simple gaine : gaine sans halogène résistante aux UVs Double gaine : gaine extérieure « pelable » en PE, gaine intérieure LSZH-FR
Aspects	Différentes couleurs possibles
Plage de température d'opération	Compromis entre câble intérieur et câble extérieur
Propriétés environnementales clefs	Compromis entre câble intérieur et câble extérieur
Propriétés mécaniques	Compromis entre câble intérieur et câble extérieur

Topologie du réseau FTTH et types de câble

Une autre possibilité de classer les câbles à fibre optique sont de les classer en fonction de leur utilisation dans le réseau. Dans le réseau FTTH, on a le transport optique et la distribution optique. On peut distinguer dans le transport optique : les câbles de transport optique, dans la distribution optique, les câbles de distribution et les câbles de branchement.



Les câbles de transport sont des câbles extérieurs. En France a été fait le choix d'une part de câble (tout diélectrique), c'est-à-dire de câbles sans aucune partie métallique et d'autre part de câbles dont les modules sont des micromodules flexibles, dits aussi Flextubes.



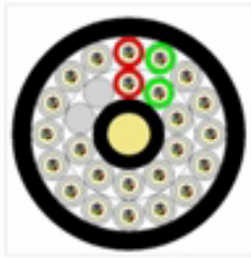
Le câble est donc composé de fibre optique, les fibres optiques sont rassemblées dans des micromodules ou Flex tubes. Les micromodules sont assemblés avec des renforts et des éléments d'étanchéité, le tout est contenu dans une gaine. Cette gaine comporte également deux renforts périphériques. Il faut savoir qu'il existe d'autres technologies. Par exemple pour les câbles aériens, il existe les câbles aériens dits fig8 : ils se singularisent par la présence d'un porteur excentré. L'avantage c'est qu'ils sont faciles à fixer sur des poteaux, ils ont une bonne résistance à la traction. Leur inconvénient c'est une forte prise au vent. Le porteur étant souvent métallique, il exige aussi la gestion de la mise à la terre du câble, ce qui est une très forte complication.

Câble aérien fig8



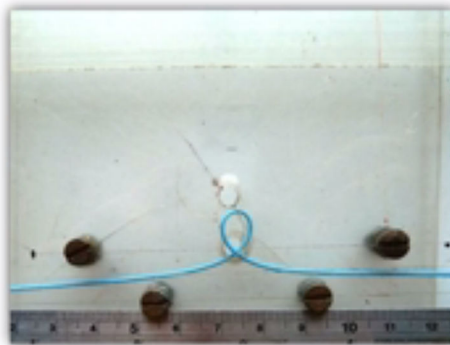
Il existe aussi des alternatives à la technologie micromodules. Par exemple, les loose tubes. Leur avantage, c'est qu'ils protègent relativement mieux la fibre et notamment permettent de faire des câbles aériens de plus longue portée, supérieure à 100 mètres, mais présentent beaucoup d'inconvénients, notamment dans le réseau de distribution. Le temps d'accès aux fibres est beaucoup plus long et d'autre part, ils ne sont pas compatibles avec des boîtiers compacts, car ils présentent une très mauvaise souplesse. Les modules de type loose tubes sont en effet sujet à l'effet de paille : lorsqu'on cherche à les plier, ils peuvent casser, bien entendu les fibres à l'intérieur sont alors cassées. Les modules de type Flextubes peuvent être réduits à de bien plus faible diamètre, sans risque de casser.

Câble Loose Tube

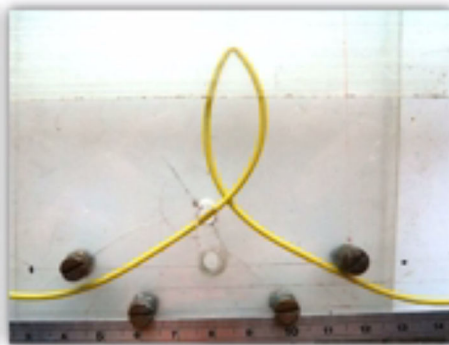


Effet de paille

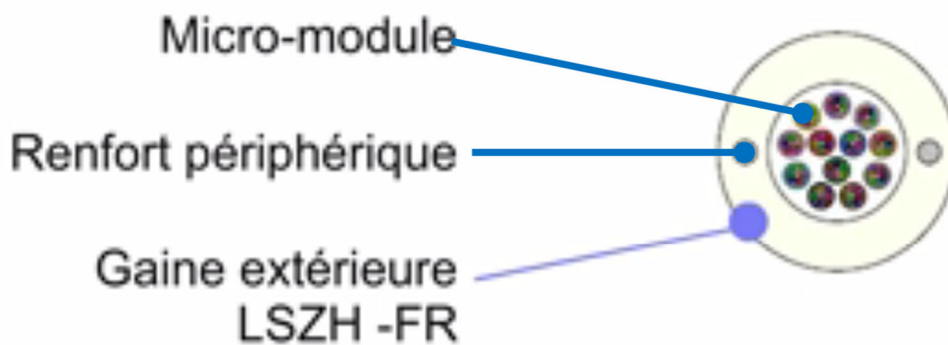
Flextubes



Loose Tubes

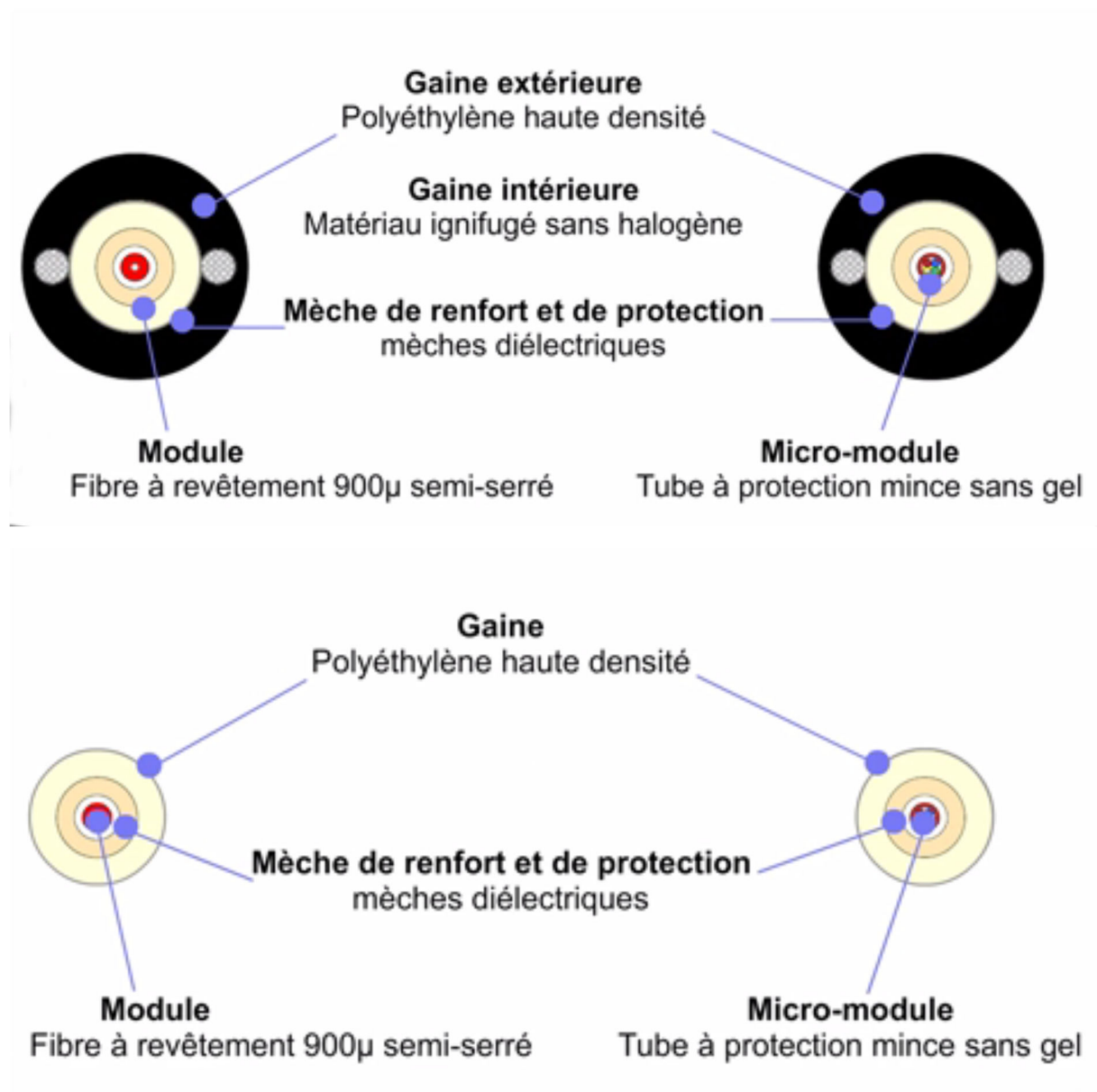


Les câbles de distribution intérieures ont une gaine en matériau ignifugé sans halogène. Ce sont des câbles dits à modules extractibles. Leur structure est peu serrée, ce qui permet d'extraire les modules sur plusieurs mètres.



Câbles à modules extractibles

En France sont beaucoup utilisés des câbles de branchement intérieurs-extérieurs à double gaine : la gaine extérieure noire est pelable, elle doit être retirée lorsque le câble chemine en intérieur. Il existe aussi des câbles purement intérieurs : ils ont une seule gaine, cette gaine est sans halogène et ignifugée.



S2L3 : Accessoires et connecteurs pour fibre optique

Généralités

La fibre optique est un mince fil de verre. Il convient de la protéger entre deux points dans des câbles, et aux extrémités dans des boîtiers. Ces boîtiers permettent également d'organiser la fibre optique en vue de son utilisation ultérieure. Généralement, les fibres dans les boîtiers sont soudées entre elles. Cependant, lorsqu'il y a besoin de connecter et de déconnecter des fibres souvent, on utilise de préférence des connecteurs optiques. Le principal type de connecteurs utilisé dans le réseau FTTH, est le connecteur SC/APC.

Boîtes et boîtiers



Les boîtiers doivent être adaptés à leur environnement d'utilisation. On distingue quatre environnements principaux : catégories C, A, G et S. C correspond à un environnement intérieur contrôlé, température de -10° à $+60^{\circ}$. A correspond à un environnement extérieur aérien, sans risque d'immersion, -40° à $+65^{\circ}$. G correspond à un environnement au niveau du sol, de -40° à $+65^{\circ}$, avec possibilité d'immersion, notamment lors d'inondations. S correspond à un environnement extérieur en sous-sol, ou en souterrain, avec immersion fréquente. Les températures sont de -30° à $+60^{\circ}$.

Catégorie	Description	Environnement d'opération
C	Intérieur contrôlé	-10°C à +60°C
A	Extérieur aérien	-40°C à +65°C
G	Extérieur au niveau du sol	-40°C à +65°C
S	Extérieur en sous-sol ou souterrain	-30°C à +60°C

Quels sont les principaux critères de performance ? On peut distinguer les critères mécaniques et les critères environnementaux. Mécaniques, c'est la résistance aux chocs, c'est la résistance à l'arrachement, par exemple, du boîtier sur son support.



Dans les critères environnementaux, on peut citer la résistance aux intrusions, l'étanchéité, la résistance aux UV, la résistance aux solvants et le comportement au feu. La protection contre les intrusions est un point très important. C'est ce qu'on appelle le niveau d'IP. Le niveau d'IP est défini par deux chiffres. Le premier chiffre correspond à l'intrusion solide.

L'intrusion d'un outil au plus bas niveau, ou l'intrusion de fines poussières au niveau les plus élevés.



Le deuxième chiffre correspond à l'intrusion d'eau, c'est donc l'étanchéité. Le niveau d'IP le plus élevé est l'IP 68. Cependant, il faut avoir conscience que IP 68 seul ne veut rien dire. Il faut définir la hauteur de colonne d'eau, par exemple IP 68 : 1 mètre ou IP 68 : 5 mètres, il faut surtout préciser la performance attendue, par exemple aucune trace d'eau dans aucune partie du boîtier.

Quelles sont les principaux boîtiers dans un réseau FTTH ? En extérieur, on trouve les boîtiers de protection d'épissure. Ils servent de joint entre deux câbles ou dérivé des fibres d'un gros câble vers plusieurs câbles de plus petite contenance.



On trouve également les points de branchements optiques. Ils permettent la connexion entre les fibres des câbles de distribution et les fibres des câbles de branchement.

En intérieur, cette fois, on trouve les boîtiers de pied d'immeuble. Généralement, c'est l'interface entre le câble extérieur et le câble de colonne montante.



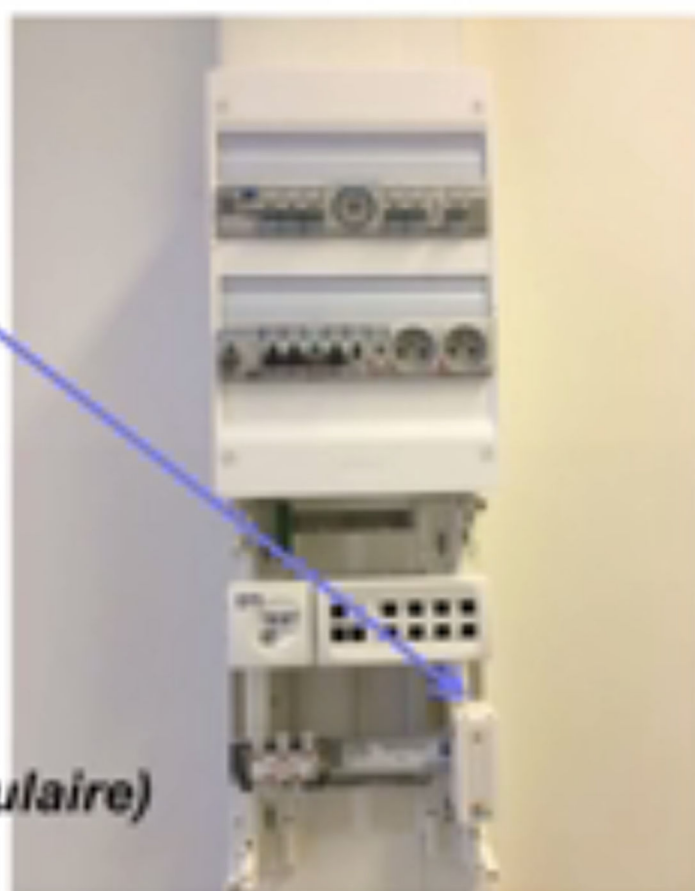
En intérieur, dans les immeubles, on trouve aussi les points de branchements optiques, ou boîtiers d'étages. Ils servent de connexion entre le câble de distribution et les câbles de branchement.



En intérieur, on trouve enfin les prises clients. Soit de forme DTlo, pour intégration dans le tableau de communication, soit de forme PTO, pour pose en apparent. Il est à signaler qu'il existe des PTO mixtes, avec un connecteur optique et un connecteur cuivre.



DT10
(au format modulaire)



PTO standard

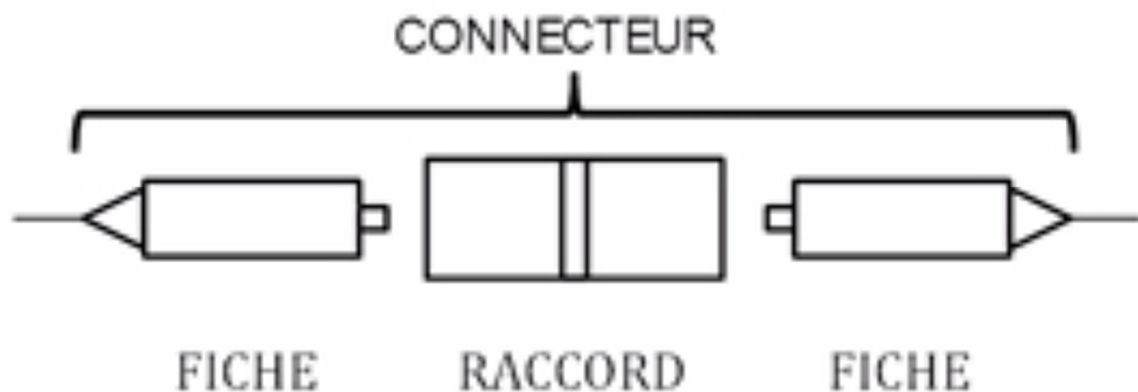
21



PTO mixte

Les connecteurs optiques

Un connecteur permet la connexion et la déconnexion fréquente, soit de deux câbles optiques, soit d'un câble optique sur un appareil. Un connecteur est toujours composé de deux fiches et d'un raccord (note : appelé aussi adaptateur).



Pour assurer une bonne liaison optique, le connecteur doit remplir quatre fonctions : le verrouillage mécanique, le contact physique entre les cœurs des deux fibres, l'alignement des cœurs et la protection contre les intrusions. Les principaux connecteurs optiques mono-fibre sont les connecteurs de type SC, LC, ST ou FC. Ils se distinguent par le diamètre de fêrle et le principe de verrouillage mécanique. Le connecteur SC a un diamètre de fêrle de 2,5 mm, il est encliquetable de type "Push/Pull". Le connecteur LC a un diamètre de fêrle réduit, 1,25 mm. Il est lui-même plus petit, il est aussi encliquetable, à languette élastique. Le

connecteur de type ST a un diamètre de fêrle de 2,5 mm, il est à baïonnette. Enfin, le connecteur FC a aussi un diamètre de fêrle de 2,5 mm, il est de type à visser.

Type de connecteur	Diamètre de fêrle	Verrouillage mécanique	
SC	2,5 mm	Encliquetable	« Push/Pull »
LC	1,25 mm		à languette élastique
ST	2,5 mm	A baïonnette (tourner et pousser)	
FC	2,5 mm	A visser	



Connecteur SC



Adaptateur SC



Connecteur LC



Adaptateur LC



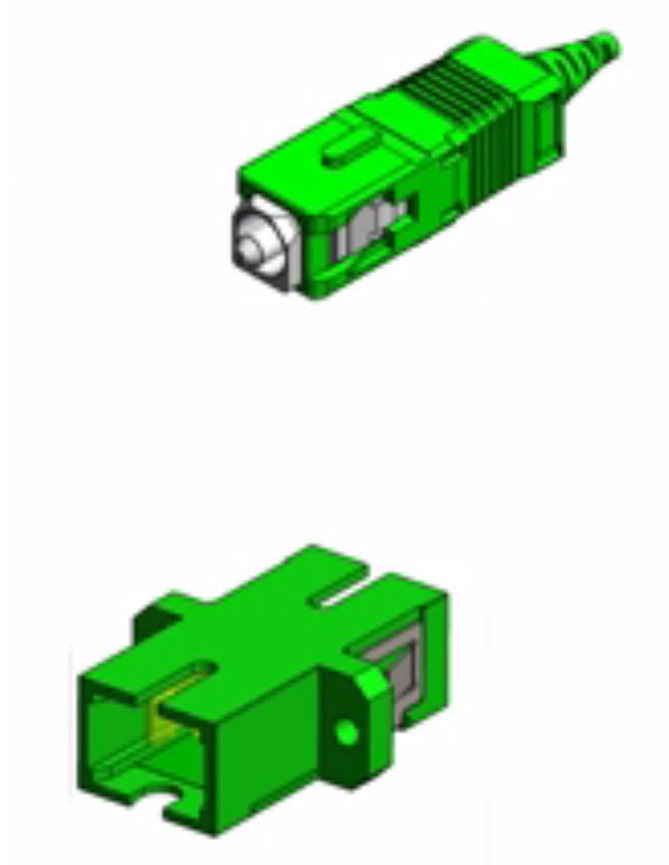
Connecteur ST



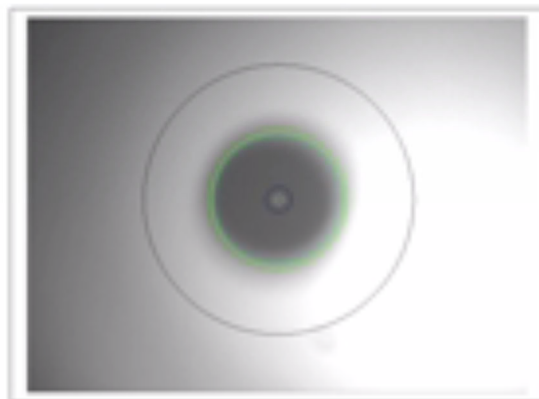
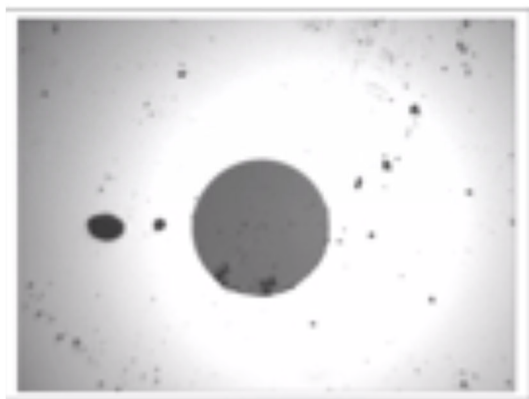
Adaptateur ST



Les performances essentielles d'un connecteur optique sont ses pertes d'insertion et ses pertes par réflexion. Ces deux pertes sont exprimées en dB. Il convient que la perte d'insertion soit la plus faible possible, la proche possible de 0, et la valeur de RL doit être la plus grande possible. Pour avoir une forte valeur de RL, il faut utiliser des connecteurs de type APC, avec un polissage en angle. La France a choisi un angle de 8° . Le choix a été fait en France de connecteurs SC/APC, qui est donc un connecteur en angle. Par convention, le connecteur SC/APC est de couleur verte. Les deux fiches et le raccord sont verts.



Quel que soit le type de connecteurs, la qualité de liaison optique dépend beaucoup de l'état de propreté du connecteur.



Notamment lors des opérations de brassage, des opérations de connexion/déconnexion, il est obligatoire de nettoyer les connecteurs pour garder des interfaces propres, et conserver une qualité de liaison optique optimale.

