

Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Télécommunication



جامعة أبي بكر بلقايد تلمسان
كلية التكنولوجيا
قسم الاتصالات السلكية و اللاسلكية

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

Recette et tests de conformité d'une installation FTTH

Réalisé par :

M. NOUARI Mohammed

Mme. NEGGAH Asmaa

Encadré par :

M. Chikh-Bled Mohammed El-Kebir

Prof à l'Université de Tlemcen

Soutenu le 08/07/2021, Devant le jury composé de :

M. Karim Fethallah : Prof. à l'Université de Tlemcen – Président

Mme. Djelti Hamida : MCB à l'Université de Tlemcen – Examinatrice

M. Debbal Mohammed : MCA à l'Université d'Ain Témouchent - Invité

Promotion : 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail à:

Mes chers parents

Mes frères

Mes grands-parents

Mes oncles et mes tentes

Toute la famille NOUARI

Ma Binôme

Mes chères copines

NOUARI Mohammed

Je dédie ce travail à:

Mes chers parents

Mes frères

Mes grands-parents

Mes oncles et mes tentes

Toute la famille NEGGAH

Mon Binôme

Mes chères copines

NEGGAH Asmaa

Remerciements

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail en particulier notre encadreur **M. Chikh-Bled Mohammed El-Kebir** et tous les enseignants de département de télécommunication*

*Nous remercions vivement **M. Karim Fethallah** Prof. à l'Université de Tlemcen pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nous tenons à remercier profondément **Dr. Djelti Hamida**, ainsi que **Dr. Debbal Mohammed**, d'accepté d'examiner ce travail.*

*Sans oublier aussi à remercier l'entreprise qui nous accueille pour notre stage **ALGERIE TELECOM D.O TELEMEN** ainsi que les ingénieurs qui nous ont aidés dans notre travail.*

Nous remercions aussi vivement toute personne qui a contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et surtout ceux qui nous apporté leur soutien dans les moments de découragement.

Table des matières

Dédicace	2
Remerciements	3
Liste des tableaux.....	7
Liste des Figures.....	8
Liste des sigles & abréviations	10
Liste des annexes	13
Introduction Générale	14
Chapitre I. Généralités sur la fibre optique et les éléments d'un réseau FTTH.....	15
I.1. Généralités sur la fibre optique.....	15
I.1.1. Introduction.	15
I.1.2. Principe du guidage par l'optique géométrique.	15
I.1.3. Ouverture numérique d'une fibre optique.	16
I.1.4. Structures et types de fibres optiques.	17
I.1.5. Notion de mode Optique.....	21
I.1.6. Fréquence normalisée V	22
I.1.7. Diamètre du champ de mode.	22
I.1.8. Approximation du guidage faible, et modes LP.	24
I.1.9. Atténuation dans une fibre optique.....	25
I.1.10. Bande passante.....	28
I.1.11. Classification des fibres.....	29
I.1.12. Les Technologies d'injection[10].....	30
I.2. Généralités sur les éléments d'un réseau FTTH.....	31
I.2.1. Introduction	31
I.2.2. Le Nœud de Raccordement Optique (NRO).....	31
I.2.3. Le point de mutualisation (PM/SRO).	32
I.2.4. Le point de branchement optique (PBO).	32
I.2.5. Le Point de Terminaison Optique (PTO).....	33
I.3. Conclusion.	33
Chapitre II. Réseaux d'accès optiques passifs	34
II.1. Introduction.	34
II.2. Architecture PON.....	35
II.2.1. Terminal de ligne optique (OLT).	35

Table des matières

II.2.2. Armoire de distribution optique (ODF).....	36
II.2.3. Terminal de Réseau Optique (ONT).	36
II.2.4. Coupleur optique passif.....	37
II.3. Avantages du PON.....	38
II.4. Topologies du PON.....	38
II.4.1. Topologie des arbres.	38
II.4.2. Topologie des anneaux.....	39
II.4.3. Topologie des bus.....	39
II.5. Standards PON.....	40
II.5.1. La norme APON (ITU-T G.983.1).....	40
II.5.2. La norme BPON (ITU-T G.983.3).....	43
II.5.3. La norme EPON ou GEPON (IEEE 802.3ah).....	44
II.5.4. La norme GPON (ITU-T G.984).....	45
II.5.5. Tableau récapitulatif.....	46
II.6. Logiciel iManager U2000 Huawei de gestion de réseau PON.....	47
II.6.1. Définition du logiciel U2000.....	47
II.6.2. Les principales caractéristiques de l'U2000:.....	48
II.6.3. les fonctions de gestion abondante à la couche NE.....	48
II.6.4. Les étapes de création du réseau avec le logiciel U2000	49
II.7. Conclusion.....	49
Chapitre III. Mesures et recette d'une installation FTTH	50
III.1. Introduction.....	50
III.2. Les outils de vérification et de mesure.....	50
III.2.1. Stylo optique laser / Localisateur visuel de défauts (VFL).....	50
III.2.2. Photomètres optiques (OPM).....	51
III.2.3. Le réflectomètre optique (OTDR).....	51
III.2.4. Bobines de fibre amorce [10].....	52
III.2.5. Microscope d'inspection de fibre.	53
III.2.6. Microscope vidéo d'inspection de fibre.	54
III.2.7. Détecteur de fibre active.	54
III.2.8. Atténuateurs.	55
III.3. Les mesures possibles.	55

Table des matières

III.3.1. Contrôles visuels.....	55
III.3.2. Contrôle de continuité.....	56
III.3.3. Mesure de l'affaiblissement.....	56
III.4. Conclusion.....	66
Conclusion Générale.....	67
Bibliographie et webographie.....	68
Résumé	79
Abstract	79
ملخص	80

Liste des tableaux

Table I-1: Affaiblissement typique de différent type de fibre.....	27
Table I-2: Différents types d'atténuation	27
Table I-3: La bande passante de différent type de fibre.....	29
Table I-4: Classification des fibres	29
Table I-5: Caractéristiques typiques des LED	30
Table I-6: Caractéristiques typiques de LASER	30
Table II-1: Différences entre les coupleurs FBT et PLC.	37
Table II-2: Architecture du protocole ATM.	40
Table II-3: Architecture du standard IEEE 802.x.	44
Table II-4: Budget optique de la norme IEEE 802.3.	45
Table II-5: Budget optique de la norme GPON.	45
Table II-6 :Tableau récapitulatif des différentes normes des réseaux PON.....	46
Table III-1:Caractéristiques de la bobine selon le type de fibre	53
Table III-2:Tableau des connecteurs et épissures	58
Table III-3:Tableau des réflectances	59
Table III-4:Tableau des pentes	59
Table III-5 :Valeur théorique de Bilan optique à 1310-1550nm	63
Table III-6 Calcul de l'atténuation Totale de la Liaison	64

Liste des Figures

Figure I-1: Réfraction	15
Figure I-2: Réflexion	16
Figure I-3: Ouverture numérique	16
Figure I-4 : Structure d'une fibre optique, A gauche cas d'une fibre monomode SMF-28	17
Figure I-5: fibre multimode à saut d'indice.	18
Figure I-6 : Différents profils d'indice de fibres optiques.	19
Figure I-7 : Profils d'indice pour différentes valeurs de α	20
Figure I-8 : fibre multimode à gradient d'indice.	20
Figure I-9 : fibre monomode .	20
Figure I-10 ; Allure des courbes $\beta/k=f(V)$	22
Figure I-11 : Distribution transversale de l'intensité du mode fondamental LP01	23
Figure I-12 : Le diamètre du champ de mode (MFD)	23
Figure I-13 : La courbe d'atténuation typique d'une fibre optique en silice	26
Figure I-14: Mécanismes de perte de liaison	28
Figure I-15: la différence entre la fibre monomode et multimode	28
Figure I-16: les éléments d'un réseau FTTH	31
Figure I-17: Le Nœud de Raccordement Optique.	31
Figure I-18: Le point de mutualisation (PM/SRO) [Algérie Télécom].	32
Figure I-19: Le point de branchement optique (PBO) [Algérie Télécom].	32
Figure I-20: Branchement de PTO avec le PBO et l'ONT.	33
Figure II-1: Réseau optique actif par rapport au passif.	34
Figure II-2: Structure générale d'un PON.	35
Figure II-3: Photo d'un OLT (Algérie Télécom)	35
Figure II-4: Optical Distribution Frame ODF (Algérie Télécom).	36
Figure II-5: Branchement de ONT avec le routeur et PTO.	36
Figure II-6: Les deux type de Coupleurs optique passif.	37
Figure II-7: Topologie Arbre avec un seul point de séparation.	38
Figure II-8: Topologie des anneaux.	39
Figure II-9: Topologie des bus	39
Figure II-10: Structure d'une trame ATM.	40
Figure II-11: Architecture du réseau PON (ITU-T Rec. G.983.1 (01/2005)).	41
Figure II-12: Bloc fonctionnel de l'ONT (ITU-T Rec. G.983.1 (01/2005)).	42
Figure II-13: Constitution d'un arbre GPON.	45
Figure II-14: Structure d'une trame GFP.	46
Figure II-15: Interface utilisateur de l'U2000	47
Figure III-1: Localisateur visuel de défauts.	50
Figure III-2: Photomètres optiques	51
Figure III-3: Trace des défauts de réflectométrie.	52
Figure III-4: Bobines de fibre amorce.	52
Figure III-5: Microscope d'inspection de fibre.	53
Figure III-6 : Microscope vidéo d'inspection de fibre.	54

Figure III-7 : Détecteur de fibre active.(VIAVI)	54
Figure III-8: atténuateur	55
Figure III-9: Contrôle de continuité	56
Figure III-10:Principe de la réflectométrie	57
Figure III-11:Test du SRO vers PBO	57
Figure III-12: Test du PBO vers SRO	58
Figure III-13:Interface utilisateur de FastReporter (EXFO)	60
Figure III-14: valeur mesurée P1	60
Figure III-15: valeur mesurée P2	61
Figure III-16 Test du ODF vers PBO (Sens descendant).	62
Figure III-17:Test du PBO vers ODF (Sens montant).	62
Figure III-18: Calculateur de budget de liaison PON .	65

Liste des sigles & abréviations

A

AON: Active Optical Network.

APON: ATM Passive Optical Network.

ATM: Asynchronous Transfer Method.

B

BPON: Broadband Passive Optical Network.

C

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect.

D

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexing.

DiffServ :Differentiated Services.

DTIO: Dispositif de Terminaison Intérieure Optique.

DBA: Dynamic Bandwidth Allocation.

E

EPON: Ethernet Passive Optical Network .

F

FBT: Fused Biconical Splitter.

FI: Fiber identifiers.

FSAN: Full Service Access Network.

FTTH: Fiber To The Home.

G

GFP: Generic Framing Protocol.

GPON: Gigabit Passive Optical Network.

I

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IP: Internet Protocol.

L

LP: Linearly Polarized.

LED: Light Emitting Diodes.

LASER: Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation.

LLC: Logical Link Control.

LAN: Local Area Network.

M

MPLS: Multi Protocol Label Switching.

MAC: Medium Access Control.

MSAN: Multi Service Acces Node.

N

NRO: Nœud de Raccordement optique.

NE: Network Element.

O

ON: ouverture numérique .

ONT: Optical Network Terminal.

OLT: Optical Line Terminal.

ODN: Optical Distribution Network.

ODF: Optical Distribution Frame.

OMCI: ONU Management and control Interface.

ONU : Optical Network Unit.

OPM: Optical Power Meter.

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer.

P

PBO: Point de Branchement Optique .

PTO: Point de Terminaison Optique.

PM: point de mutualisation.

PON: Passive Optical Network.

PLC: Planar Lightwave Circuit.

Q

QoS: Quality of service.

S

SMF: Single Mode Fiber.

SNI: Service Node Interface.

SONET: Synchronous Optical Network.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy.

T

TDM: Time Division Multiplexing.

TDMA: Time division multiple access.

U

UNI: User Network Interface.

UIT: Union internationale des télécommunications.

V

VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser.

VPI: Virtual Path Identifier.

VPN: virtual private network.

VFL: Visual Fault Location.

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

WDMA: wavelength division multiple access.

Liste des annexes

Annexe 1 :	69
Annexe 2	72

Introduction Générale

Au cours des 30 dernières années, on a assisté à une croissance rapide des services de streaming multimédia tels que la vidéo à la demande (VOD), les jeux en ligne et la télévision haute définition sur Internet, ce qui a nécessité de nouveaux réseaux d'accès à large bande.

Pour faire face à cette situation, les réseaux d'accès traditionnels en cuivre, extrêmement répandus dans de nombreux pays, ont rapidement été remplacés par des réseaux d'accès en fibre optique.

Après trois décennies de recherche dynamique, le réseau optique passif (PON) a été considéré comme la solution d'accès à large bande la plus prometteuse en raison de sa large bande passante, de son déploiement et de sa maintenance peu coûteux.

Dans ce mémoire de fin d'études, nous présentons en détail les opérations à réaliser dans les conditions réelles de recette d'une installation FTTH.

L'objectif principal de la recette est de vérifier que l'installation est conforme aux spécifications techniques pour assurer une bonne qualité du service au client.

Pour la clarté de ce mémoire de fin d'études fait diviser en trois chapitres, dans le premier chapitre nous présenter tout d'abord une généralité sur la fibre optique et les principaux éléments d'un réseau FTTH.

Le deuxième chapitre nous avons abordé l'état de l'art de réseau d'accès optique passif PON.

Ensuite dans le troisième chapitre nous sommes arrivés au point où nous avons expliqué toutes les étapes de la recette d'une installation FTTH telle que les contrôles visuels, Contrôle de continuité et mesure de l'affaiblissement.

I.1. Généralités sur la fibre optique.

I.1.1. Introduction.

Les fibres optiques tirent le meilleur parti des avantages de la transmission de la lumière que tout autre système de guides conducteurs [1]. Elles présentent de nombreux avantages en performances de transmission tels que de faibles pertes dans une gamme étendue de longueurs d'onde (moins de 1dB/Km, ce qui correspond à une atténuation de 25 % par Km), une grande bande passante (1 à 100 GHz, respectivement, pour fibres monomodes et multimodes sur un Km), Des avantages de mise en œuvre sont aussi à relever : par sa toute petite de leurs structure (quelques μm) leur grande souplesse, leur faible poids, et sécurité électrique et électromagnétique (isolation). Ces atouts en font un support privilégié pour le câblage informatique, en aéronautique, ainsi que dans d'autres applications comme les capteurs, mais surtout dans le secteur des transmissions numérique très haut débit.

I.1.2. Principe du guidage par l'optique géométrique.

Afin de présenter le problème, et comme la longueur d'onde de la lumière est très courte, il est possible d'employer le concept de "rayons lumineux" : c'est l'optique géométrique.

Utiliser le concept de rayons lumineux revient à considérer que l'on peut admettre que l'onde associée est une onde plane. Or, on montre que l'onde qui se propage dans un système est une onde plane si les variations respectives de l'amplitude des champs est faible devant les dimensions du système, dimensions mesurées en longueur d'onde. Cette hypothèse revient à assimiler localement la surface d'onde à son plan tangent. Le rayon lumineux associé est la trajectoire orthogonale aux surfaces d'ondes [2].

Dans les fibres optiques, on peut montrer que les variations relatives des amplitudes des champs sont petites sur une distance de l'ordre de la longueur d'onde. On arrive donc à la conclusion que l'utilisation de l'optique géométrique est justifiée dans ce genre d'étude. Pour les phénomènes de propagation dans la fibre, on peut démontrer que les deux méthodes sont équivalentes : c'est la dualité onde corpuscule qui nous permet d'avancer cette hypothèse. Rappelons que dans un matériau transparent, l'indice de réfraction mesure la vitesse de la lumière par rapport à sa vitesse dans le vide :

$$v = c/n \quad (\text{I-1})$$

- Loi de Snell-Descartes :

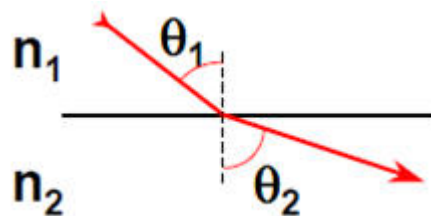


Figure I-1: Réfraction

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (\text{I-2})$$

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

Si $n_1 > \text{arc sin}(n_2 / n_1)$, il y a réflexion totale.

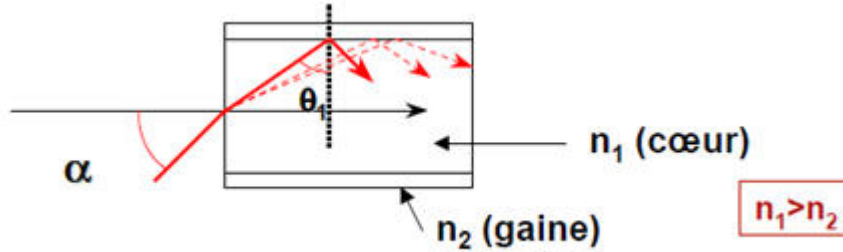


Figure I-2: Réflexion

- La condition de guidage de la lumière dans le cœur de la fibre optique est donnée par :
- $\theta_1 \geq \text{arc sin } n_2 / n_1$ (I-3)

Sinon le rayon est réfracté dans la gaine de la fibre.

I.1.3. Ouverture numérique d'une fibre optique.

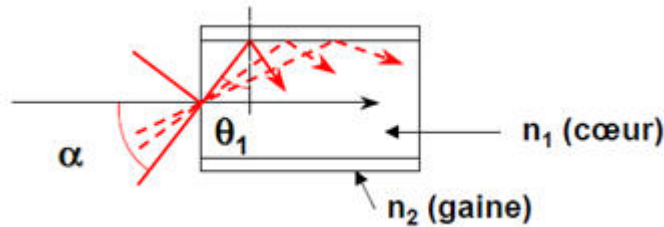


Figure I-3: Ouverture numérique

L'angle d'incidence maximal à l'entrée de la fibre, soit l'ouverture du cône d'acceptance est appelé ouverture numérique ON [3][5] :

$$ON = \sin \alpha_{max} = n_1 \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} - \theta_{1lim}\right] = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{I-4})$$

On remarquera que le cône d'acceptance est également le cône d'émergence en sortie de fibre. On définit également le paramètre de guidage Δ par la relation :

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \quad (\text{I-5})$$

L'ouverture numérique peut alors s'écrire :

$$ON = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \quad (\text{I-6})$$

Remarque : plus l'ON est grande, et plus l'angle d'acceptance est grand, et plus la puissance véhiculée est importante. Ainsi, une fibre à saut d'indice transporte plus de puissance lumineuse qu'une fibre à gradient d'indice.

I.1.4. Structures et types de fibres optiques.

Pour étudier la propagation de la lumière dans une fibre optique, il faut faire appel à des notions essentielles de l'optique géométrique, et de l'optique ondulatoire (Théorie de Maxwell).

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique cylindrique composé d'une partie centrale appelée cœur, dont l'indice de réfraction est n_1 , entourée d'un autre matériau diélectrique, la gaine, dont l'indice de réfraction n_2 est inférieur à n_1 . La lumière, c'est à dire les ondes électromagnétiques, est alors confinées dans le cœur de la fibre optique (matériau d'indice n_1). La fibre constitue un guide d'onde diélectrique cylindrique.

Le diamètre du cœur va habituellement de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres et le diamètre extérieur de la gaine est de l'ordre de 100 à 200 μm . La fibre nue étant très fragile et sujette aux attaques de l'atmosphère, elle est ensuite protégée par un revêtement en plastique puis par un revêtement en nylon. La figure I-4 ci-dessous présente la structure simplifiée d'une fibre optique.

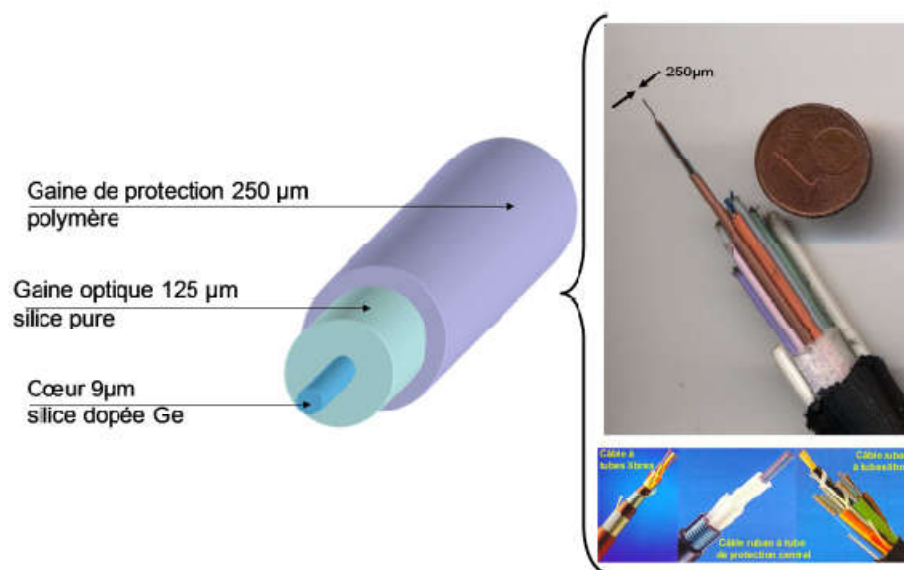


Figure I-4 : Structure d'une fibre optique, A gauche cas d'une fibre monomode SMF-28

Les caractéristiques typiques d'une fibre optique sont :

- $n_{\text{verre}} \simeq 1.44 - 1.46$
- $\Delta n = n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}} = 10^{-3} \text{ à } 2 \cdot 10^{-2}$
- $d_{\text{cœur}} = 2 \cdot a = 5 \text{ à } 50 \mu\text{m}$

La fibre optique la plus utilisée dans le domaine des télécommunications optiques haut débit est la fibre standard (SMF 28 pour Single Mode Fiber). Ses diamètres typiques sont :

- $d_{\text{cœur}} = 9 \mu\text{m}$
- $d_{\text{gaine}} = 125 \mu\text{m}$

Le diélectrique utilisé dans la fabrication des fibres optiques est dans la plupart des cas de la silice dopée par :

- Du Bore qui facilite la fusion du verre, empêche la dévitrification, et améliore la résistance à l'eau.
- Du Germanium ($n_{\text{Ge}} \simeq 4.2 @ 1550 \text{ nm} @ 300^0\text{K}$ qui permet suivant sa concentration d'augmenter l'indice du verre.
- D'autres ingrédients sont également utilisés qui relèvent souvent du secret industriel. Les procédés de fabrication sont largement exposés dans la littérature.

Alors, **quels sont les différents types de fibres optiques ? [2]**

Il existe deux types de fibres : les fibres monomodes qui ne permettent qu'un seul mode de **propagation** et les fibres multimodes dans lesquelles il existe plusieurs modes de propagation. Lorsque l'indice du cœur de la fibre doit dépendre de la distance r : ces fibres sont dites à gradient d'indice. Dans les applications actuelles de la photonique à fibre (télécoms, laser à fibre,...) les fibres sont généralement monomodes.

a. Les fibres multimodes à saut d'indice :

C'est des fibres dont l'indice de réfraction du cœur n_1 est constant. Dans ce type de fibre, la lumière emprunte divers chemins en zigzag et directs, en rebondissant sur la gaine. Le résultat est que différents « modes » de lumière arrivent à des moments différents à l'autre extrémité de la fibre. Lorsque les différents modes commencent à s'étaler, le signal perd un peu de sa forme.

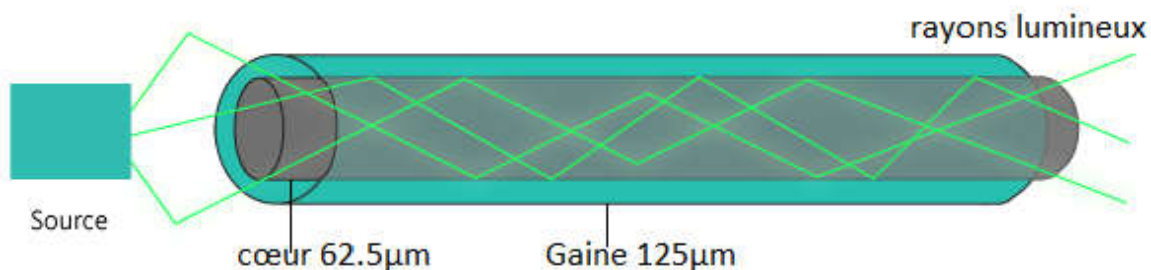


Figure I-5: fibre multimode à saut d'indice.

b. Les fibres multimodes à gradient d'indice :

Ce sont des fibres dont l'indice du cœur diminue suivant une loi parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine. La diminution de l'indice fait que la lumière se propage plus vite, ce qui réduit la dispersion intermodale. Ces fibres ont un indice qui diminue progressivement entre n_1 (centre de la fibre optique), et n_2 (indice de la gaine).

- Profil d'indice

Le profil d'indice d'un guide [5] définit la variation transverse de l'indice, selon la direction x dans notre cas. Un guide est complètement défini par son profil d'indice. En pratique, divers profils d'indice sont utilisés selon le type d'application. La Figure I-6 en donne quelques exemples. Le plus simple à fabriquer est le profil à saut d'indice dans lequel la fibre est constituée de deux zones concentriques homogènes avec un saut brutal d'indice à l'interface cœur/gaine. Le plus souvent, une enveloppe protectrice supplémentaire recouvre la gaine (Figure I-6) et assure une protection à la fois mécanique et surtout optique vis-à-vis de la lumière extérieure mais ne participe pas au guidage. De nombreux autres profils existent suivant les applications visées.

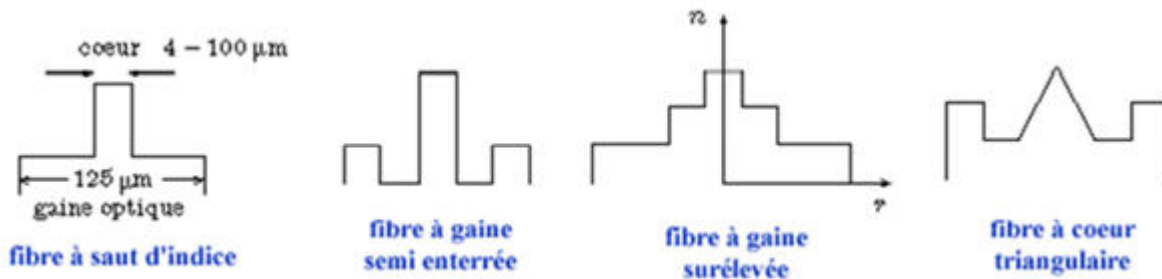


Figure I-6 : Différents profils d'indice de fibres optiques.

$$n(r) = n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^{1/2} \quad \text{pour } 0 < r < a \text{ (cœur)} \quad (\text{I-7})$$

$$n(r) = n_2 \quad \text{pour } r > a \text{ (gaine)} \quad (\text{I-8})$$

α : exposant du profil d'indice

Δ : différence d'indice relative

a : rayon du cœur

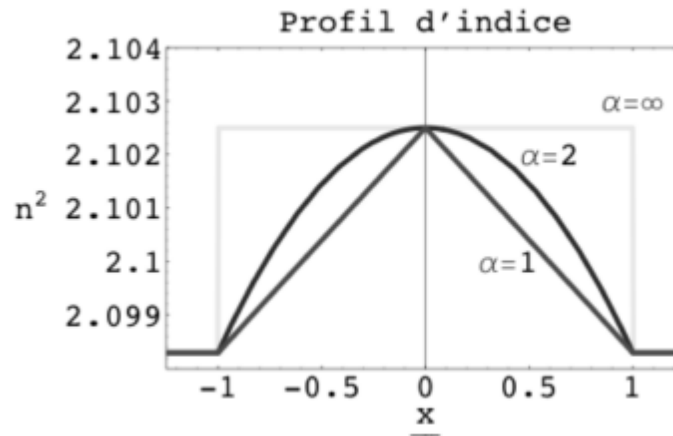
Exemples :

Pour $\alpha = 2$ profil parabolique

Pour $\alpha = 1$ profil triangulaire

Pour $\alpha = \infty$ fibre à saut d'indice

Ces trois profils sont représentés sur la Figure I-7 ci-dessous.

Figure I-7 : Profils d'indice pour différentes valeurs de α

- En effet dans une fibre à saut d'indice, le rayon lumineux a plusieurs manières de se propager dans le cœur de la fibre, chaque mode ayant une vitesse de propagation propre (vitesse suivant l'axe de propagation)

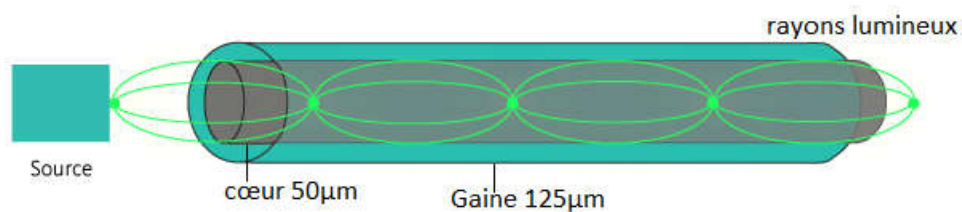


Figure I-8 : fibre multimode à gradient d'indice.

c. Les fibres optiques monomodes.

Dans la fibre monomode, on a un seul type de rayon lumineux peut se propager dans la fibre. Ce type de fibre a un petit diamètre de cœur ($9\ \mu\text{m}$) et un grand diamètre de gaine ($125\ \mu\text{m}$) et la différence entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine est très faible. Il n'y a pas de dispersion, c'est-à-dire pas de dégradation du signal lors de son passage dans la fibre.

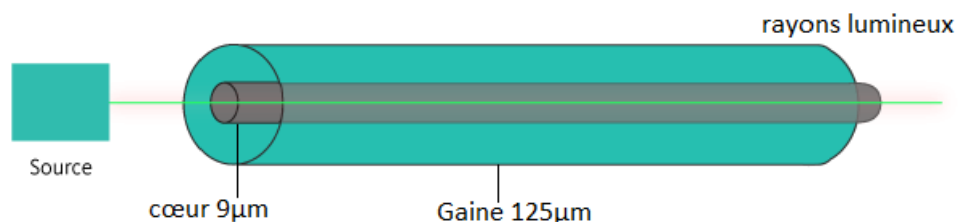
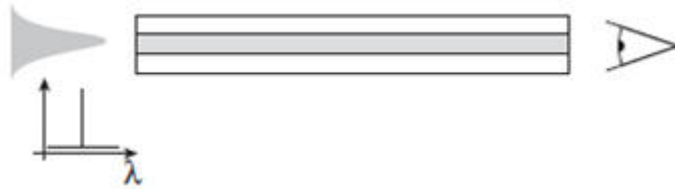


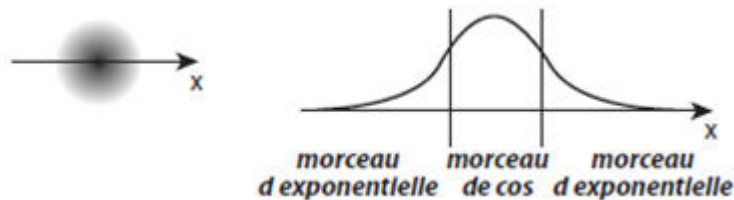
Figure I-9 : fibre monomode .

I.1.5. Notion de mode Optique.

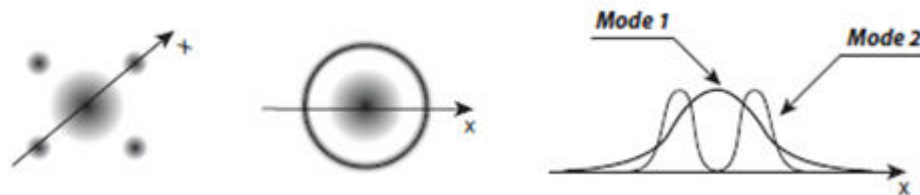
Pour comprendre ce qu'est un mode optique, il suffit de faire l'expérience suivante : on injecte une lumière monochromatique à l'entrée d'une fibre, et on observe ce que l'on voit à la sortie à l'œil ou avec une caméra



- Si la fibre est monomode, on observe une seule tache circulaire. On approxime souvent cette courbe avec une Gaussienne



- Si la fibre est multimode, on observe plusieurs taches. Par exemple, si la fibre supporte 2 modes



Dans le cas d'une fibre optique l'équivalent de k est représenté par la constante β . L'expression générale du champ électrique est donnée par l'équation suivante :

$$E(x, t) = E_0 \exp(j\omega t - \beta x) \quad (\text{I-9})$$

Avec $\gamma = \alpha + j\beta$, β correspond bien à la constante de propagation et α aux pertes optiques dans la fibre optique. Les pertes optiques correspondent à l'atténuation dans une fibre optique. Dans une fibre optique, il existe plusieurs modes de propagation LP_{nm} . Soit donc plusieurs valeurs de β . Ces modes dépendent de la géométrie du guide. Nous ne rentrerons pas, dans ce document, dans les détails de calcul pour déterminer les modes de propagation. On peut démontrer que donc β est une fonction de V dont l'allure du diagramme de dispersion est donnée dans la figure I-10 ci-dessous.

La constante de propagation est donc différente pour chaque mode de propagation LP_{nm} .

A partir du diagramme de dispersion ci-dessus on peut observer qu'une fibre de rayon a est monomode à la longueur d'onde λ si la fréquence normalisée V vérifie la relation $V < 2.404$. Dans le cas où seul le mode LP_{01} se propage avec la constante de propagation. C'est le mode fondamental qui existe toujours dans une fibre optique. Le nombre de mode véhiculés par une fibre optique peut être assez important. Il est de l'ordre de $V^2/2$.

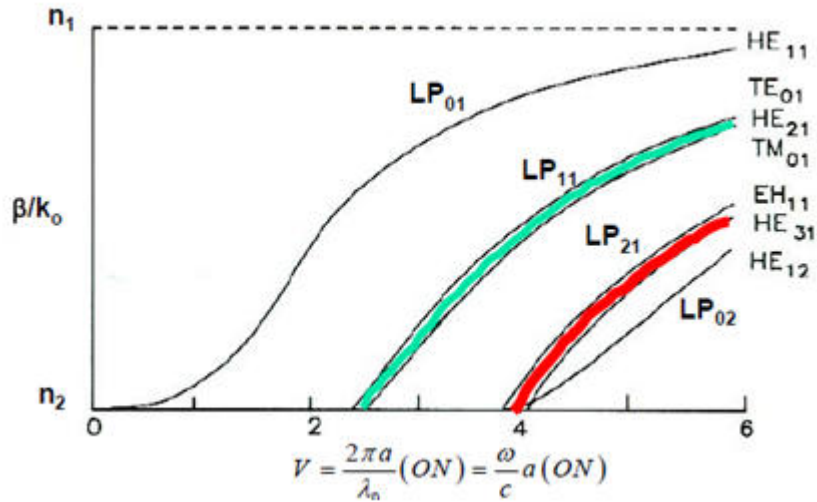


Figure I-10 ; Allure des courbes $\beta/k=f(V)$

I.1.6. Fréquence normalisée V .

On définit le paramètre V (fréquence normalisée) avec a : rayon du cœur ($V < 2.405$ si monomode) :

$$V = 2\pi a / \lambda_0 \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = 2\pi \cdot k \cdot ON \quad (\text{I-10})$$

$k = 2\pi/\lambda$ étant le vecteur d'onde

- Le nombre de modes M dans une fibre à saut d'indice est donné par :

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (\text{I-11})$$

Cette approximation est vérifiée uniquement lorsque le nombre de modes est très grand.

I.1.7. Diamètre du champ de mode.

La théorie électromagnétique de la lumière nous montre que dans une fibre optique, et pour un mode donné une bonne partie de la puissance optique se trouve dans la gaine. Dans ce cas la puissance n'est plus confinée dans le cœur comme le prévoit l'optique géométrique. Le profil de la puissance optique à l'intérieur d'une fibre a l'allure d'une

Gaussienne. On définit un nouveau paramètre qui est le diamètre de mode $2W_0$ (qui apparaît dans les notices techniques des fibres optiques) où W_0 représente la demi-largeur du mode prise à $1/e^2$ dans la distribution du champ. En régime monomode, plus le paramètre V est petit ($< 2,404$), plus le mode va s'étaler dans la gaine et plus le diamètre de mode sera grand. C'est la raison pour laquelle les constructeurs des FO monomodes prévoient toujours un diamètre pour la gaine important du fait qu'elle véhicule une bonne partie de la puissance optique.

L'approximation de Marcuse pour les fibres monomodes est donnée par [6][7] :

$$W_0 = 0.65 a + 1.6 a V^{-3/2} + 2.9 a V^{-6}. \quad (\text{I-12})$$

Les figures (I-11) et (I-12) illustrent respectivement la distribution transversale de l'intensité du mode fondamental LP_{01} dans une fibre optique monomode.

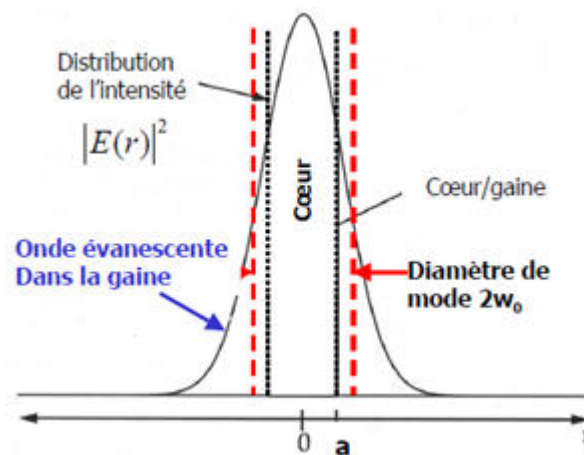


Figure I-11 : Distribution transversale de l'intensité du mode fondamental LP_{01}

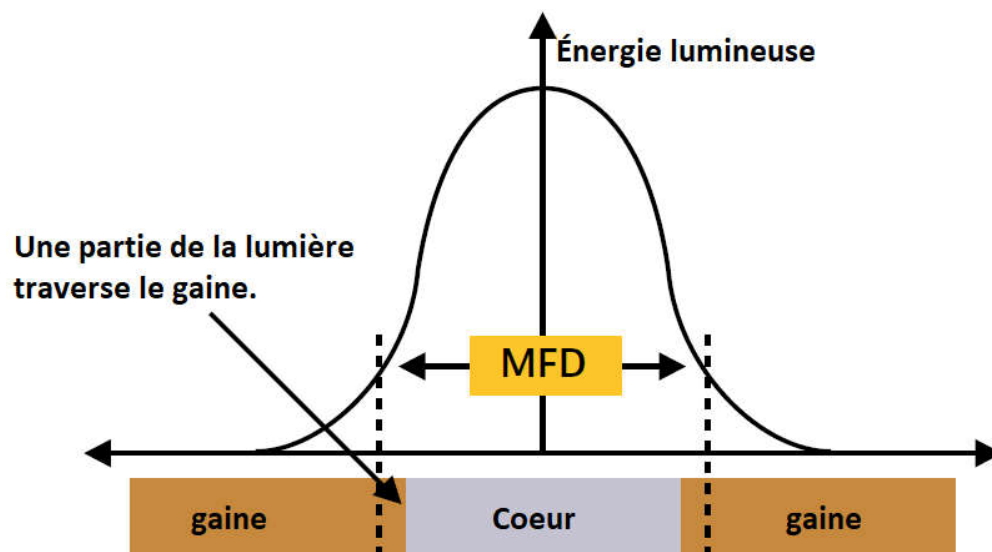


Figure I-12 : Le diamètre du champ de mode (MFD) [9]

- **Longueur d'onde de coupure.**

Pour un fonctionnement monomode on doit avoir :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a(ON) < 2,405 \quad (\text{I-13})$$

$$\text{Longueur d'onde de coupure : } \lambda_c = \frac{2\pi a}{2,405} (ON) \quad (\text{I-14})$$

Si $\lambda > \lambda_c$ la fibre est monomode

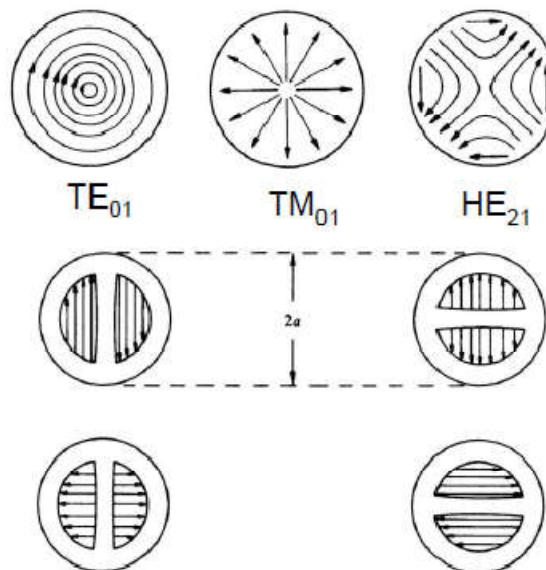
Si $\lambda < \lambda_c$ la fibre est multimode

I.1.8. Approximation du guidage faible, et modes LP.

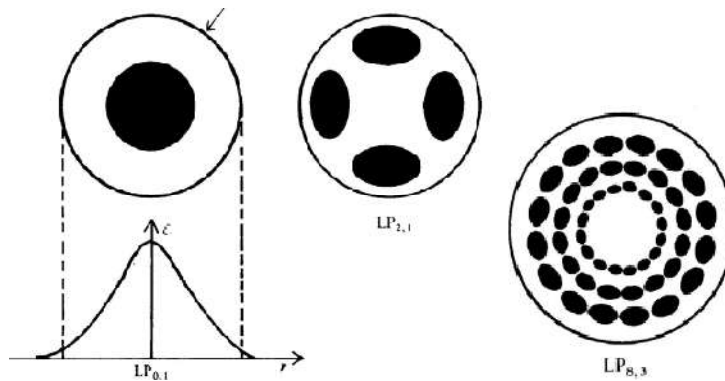
En optique guidée, on utilise souvent l'approximation du guidage faible [6][8] (lorsque l'indice du cœur est peu différent de l'indice de gaine). Dans ce cas on obtient les modes linéairement polarisés ou modes *LP*.



Orientation du champ électrique transverse du mode fondamental LP_{01} ou HE_{11}



Les trois modes qui dans le cas de l'approximation du guidage faible s'associent pour donner le mode LP_{11} .

Les modes LP_{lm}

- Mode fondamental $LP_{01} = HE_{11}$
- Dans le plan transverse de la fibre optique, on obtient la répartition des maximums de densité d'énergie dans le cœur. Le nombre de lobes sur une circonférence est $2l$, tandis que le nombre de lobes sur un rayon est m .

I.1.9. Atténuation dans une fibre optique

L'atténuation est une caractéristique essentielle qui a une double origine intrinsèque, et extrinsèque. L'atténuation intrinsèque est due principalement au matériau utilisé ainsi qu'aux impuretés dans la fibre. Le deuxième type d'atténuation est essentiellement dû aux imperfections des techniques de fabrication ainsi qu'aux raccordements.

Lorsqu'une onde électromagnétique pénètre dans la matière, il y a interaction entre les photons et les particules chargées constituant la matière. Les interactions entre les photons et les vibrations moléculaires entraînent la présence de bandes d'absorption; d'autre part, le verre possède toujours un certain nombre d'impuretés qui fournissent aussi des sources supplémentaires de pertes provenant de transitions d'électrons entre divers niveaux d'énergie.

En outre, les charges se trouvant dans la matière et qui ont vu leur état de vibrations modifié peuvent réémettre de la lumière car les charges accélérées rayonnent de l'énergie.

Tous ces phénomènes, particulièrement complexes, amènent à soustraire de l'énergie au rayon incident, il y a absorption. Ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde de la source incidente .

- **Absorption intrinsèque SiO_2**
 - Bande UV de résonances électroniques ($\lambda < 0,4 \mu m$)
 - Bande IR de résonances vibrationnelles ($\lambda > 7 \mu m$)
- **Diffusion Rayleigh :**
 - Variation monotone en $1/\lambda^4$

- Absorption par les impuretés

Ions OH^- essentiellement

Concentration inférieure à 10^{-8}

$A < 0,2 \text{ dB/Km}$ autour de $1,55 \mu\text{m}$

L'atténuation est souvent exprimée en décibel (dB) par la relation suivante :

$$A_{tot}(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (\text{I-15})$$

En général, l'atténuation est exprimée en dB/Km

$$A_{tot}(\text{dB/Km}) = A_{tot}(\text{dB})/L(\text{Km}) \quad (\text{I-16})$$

Dans le cas où la fibre optique contient des épissures (ou soudures) , il faut tenir compte de leur atténuation pour calculer l'atténuation totale

$$A_{tot}(\text{dB}) = A_{tot} \left(\frac{\text{dB}}{\text{Km}} \right) L(\text{Km}) + A_{Ept}(\text{dB}) \quad (\text{I-17})$$

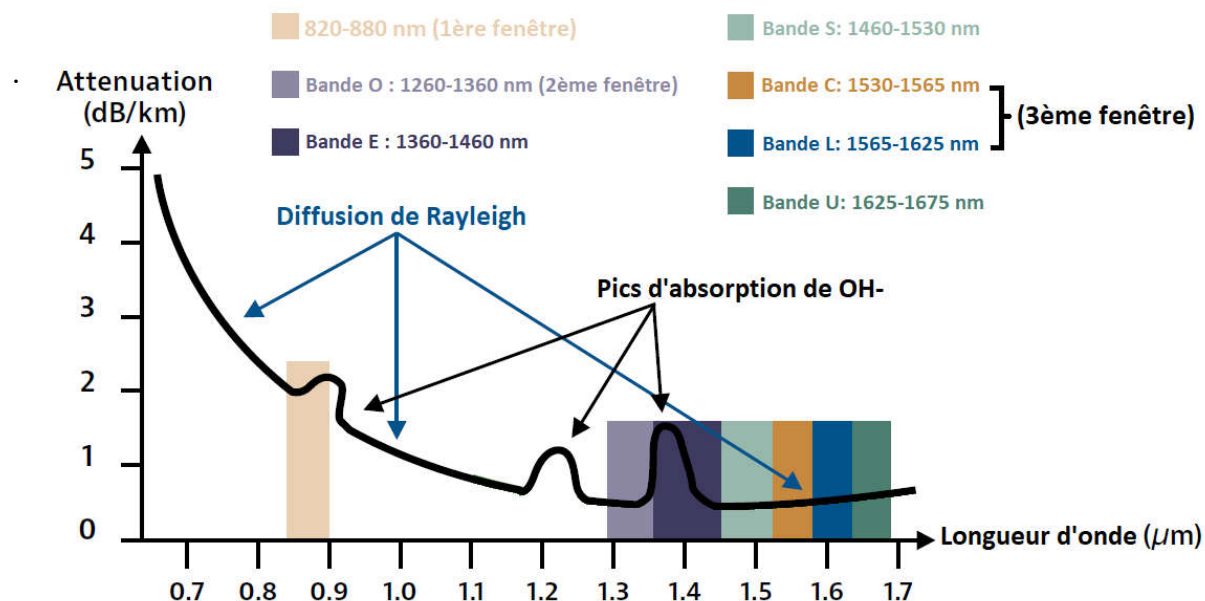


Figure I-13 : La courbe d'atténuation typique d'une fibre optique en silice [9]

On distingue les trois fenêtres de transmission suivantes :

- **La première fenêtre de 820 à 880 nm**

Pour cette fenêtre, l'atténuation est très élevée, proche de 3 dB / km (diode LED). Cette fenêtre n'est utilisée qu'en multi-mode.

• **La deuxième fenêtre s'étend de 1260 à 1360nm :**

Pour cette fenêtre l'atténuation est raisonnable et de l'ordre de 0,33dB/km. La dispersion chromatique est nulle. Cette fenêtre est largement utilisée.

• **La troisième fenêtre de 1530 à 1625nm :**

Elle est constituée de deux sous bandes :

- **Sous bande C de 1530 à 1565nm**
- **Sous bande L de 1565 à 1625nm**

C'est la fenêtre de choix pour quasiment toutes les applications modernes.

Toutes les fibres présentent les mêmes fenêtres, mais les valeurs de l'affaiblissement peuvent être différentes selon les constructeurs.

En régime multimode, on utilise deux fenêtres de longueurs d'onde (λ) : 850 et 1300nm

En régime monomode, deux fenêtres de longueurs d'onde sont aussi spécifiées : 1310 et 1550nm.[10]

Table I-1: Affaiblissement typique de différent type de fibre.[10]

Type de fibre	Fenêtre	Affaiblissement typique
fibre multimode	850 nm	3 dB/km
	1300 nm	1 dB/km
fibre monomode	1310 nm	0,5 dB/km
	1550 nm	0,3 dB/km

Table I-2: Différents types d'atténuation [11]

Type de perte	Explications
Absorption	- Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
Diffusion	- Variation locale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre - Changements de densité ou de composition dans la matière
Courbures	- Torsion dans la fibre - Non respect du principe de réflexion totale interne
Dispersion chromatique	- Variation de la vitesse des signaux lumineux de longueurs d'onde différentes
Dispersion intermodale	- Phénomène applicable uniquement aux fibres multimodes. - Variation en temps de la propagation des signaux lumineux empruntant des modes différents.
Pertes de connectique	- Séparation longitudinale - Désalignement radial/angularaire - Excentricité/ellipticité des cœurs 

I.1.9.1. Mécanismes des pertes de liaison.

Pour une portée en fibre optique, les effets des composants passifs et des pertes de connexion doivent être ajoutés à l'atténuation inhérente de la fibre afin d'obtenir l'atténuation totale du signal.

Cette atténuation (ou perte), pour une longueur d'onde donnée, est définie comme le rapport entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie de la fibre mesurée. Elle est généralement exprimée en décibels (dB).

le schéma récapitulatif suivant résumer toutes ces pertes et atténuations qui existent au sein d'une fibre optique.

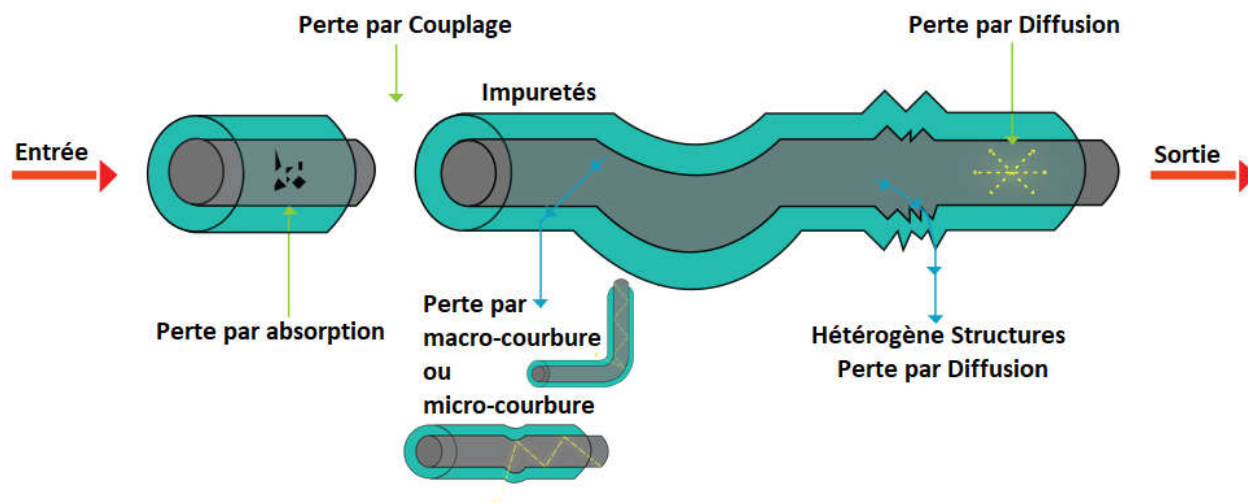


Figure I-14: Mécanismes de perte de liaison

I.1.10. Bande passante.

La bande passante d'une fibre monomode est limitée par la dispersion de guide d'onde et la dispersion des matériaux, tandis que dans la fibre multimode, elle est causée principalement par la différence des vitesses de groupe des divers modes de propagation. En revanche, quand la source optique a une grande largeur spectrale, comme dans le cas d'une DEL, la dispersion du matériau peut être prédominante suivant la longueur d'onde.

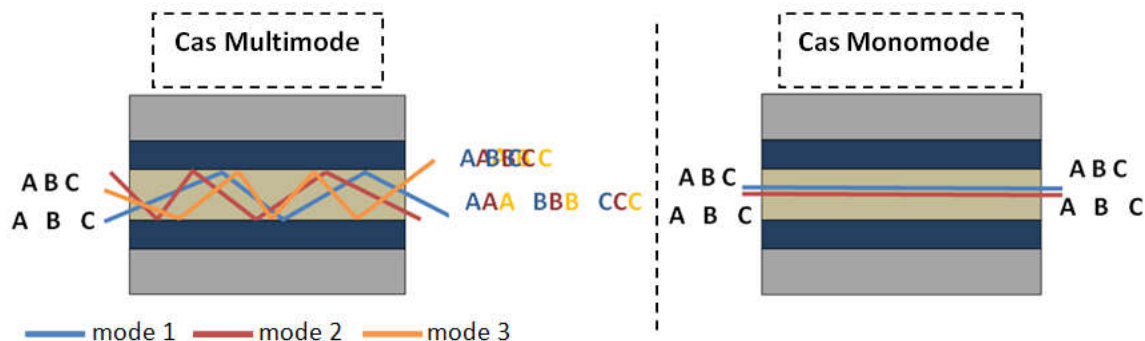


Figure I-15: la différence entre la fibre monomode et multimode

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

Exemple :

une fibre de 2 km de longueur avec une bande passante 200 MHz.km à 850 nm a une bande passante effective de $200/2 = 100$ MHz. Au contraire, une fibre de 500 m de longueur disposera d'une bande passante de $200/0,5 = 400$ MHz.

Table I-3: La bande passante de différent type de fibre.[10]

Type de fibre	Bande passante
Multimode à saut d'indice	20 à 100 MHz.km
Multimode à gradient d'indice	150 à 2000 MHz.km
Monomode	> 10 GHz.km

I.1.11. Classification des fibres.

La fibre multimode a été classée et chaque catégorie a des performances différentes, mais dans la fibre monomode on a deux catégories standardisée.

Table I-4: Classification des fibres

	OS1/OS2	OM1	OM2	OM3	OM4/OM5
Multimode/ Monomode	Monomode	Multimode	Multimode	Multimode	Multimode
Diamètre de la fibre	9/125µm	62.5/125µm	50/125µm	50/125µm	50/125µm
Domaine d'application principal	Très longue distance (vidéosurveillance et Réseau)	longue distance < à 4Km (vidéosurveillance et Réseau)	longue distance < à 4Km (vidéosurveillance et Réseau)	Moyenne distance (Réseau Gigabit et Datacenter)	Datacenter
Type de signal IP le plus courant	10/100/1000Mbps 10Gb/s	100Mb/s	100Mb/s et 1Gb/s	10Gb/s	10Gb/s
Bande passante	...	200 MHz.Km (850nm)	500 MHz.Km	1500 MHz.Km (850nm)	3500 MHz.Km (850nm)

I.1.12. Les Technologies d'injection[10]

Il existe deux types de sources émettrices permettant de coupler de la lumière dans les fibres :

- Les LED (Light Emitting Diodes)
- les LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation)

I.1.12.1. La LED

La LED est un composant utilisé en association avec des fibres multimodes. Ses caractéristiques typiques sont les suivantes :

Table I-5: Caractéristiques typiques des LED

Fenêtre centrale	800 à 900 nm et 1250 à 1350 nm
Largeur spectrale	à 850 nm : 40 à 60 nm à 1310 nm: 150 nm
Puissance moyenne	-10 à -30 dBm
Bande passante	< 200 MHz

La faible puissance émise prédestine ce composant à des fibres de gros diamètre de cœur donc multimodes.

Les LED les plus économiques fonctionnent dans la fenêtre 850 nm ; c'est le choix arrêté pour les applications des réseaux locaux informatiques à courte distance et à bas débit. Toutefois, ces composants sont limités en bande passante

I.1.12.2. Le LASER

Le LASER est un composant utilisé à l'origine dans les applications télécom, en association avec des fibres monomodes. Ses caractéristiques typiques sont les suivantes :

Table I-6: Caractéristiques typiques de LASER

Fenêtre centrale	1310 nm et 1550 nm
Largeur spectrale	0,3 à 20 nm
Puissance moyenne	-3 à +10dBm
Bande passante	plus de 1GHz

La forte puissance émise et la faible largeur spectrale lui permettent d'attaquer des fibres de diamètre de cœur restreints donc monomodes. Avec l'apparition des nouvelles technologies VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), fonctionnant notamment dans la fenêtre 850 nm, ce composant est désormais associé aux nouvelles applications sur fibres multimodes.

I.2. Généralités sur les éléments d'un réseau FTTH.

I.2.1. Introduction

Les principaux composants du réseau FTTH de tout opérateur de télécommunications comprennent le Nœud de Raccordement optique (NRO), point de mutualisation (PM), point de branchement optique (PBO), point de terminaison optique (PTO). Tous ces composants sont les éléments principaux pour construire un réseau FTTH.

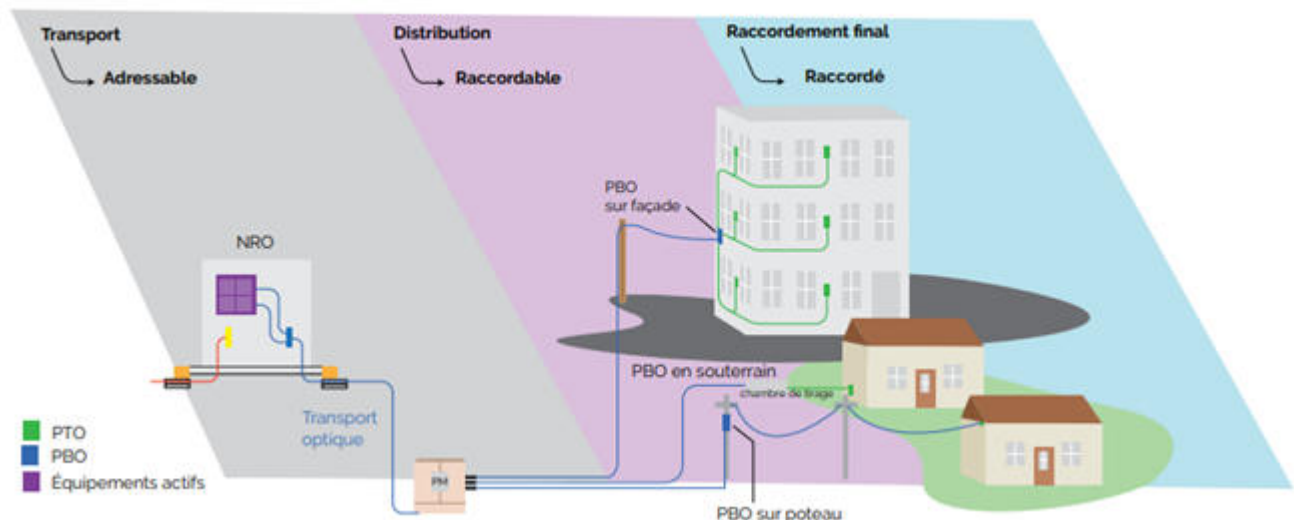


Figure I-16: les éléments d'un réseau FTTH

I.2.2. Le Nœud de Raccordement Optique (NRO).

C'est le central télécom située dans une structure blindée ou sont implantés les équipements actifs (OLT) des opérateurs et le répartiteur optique.

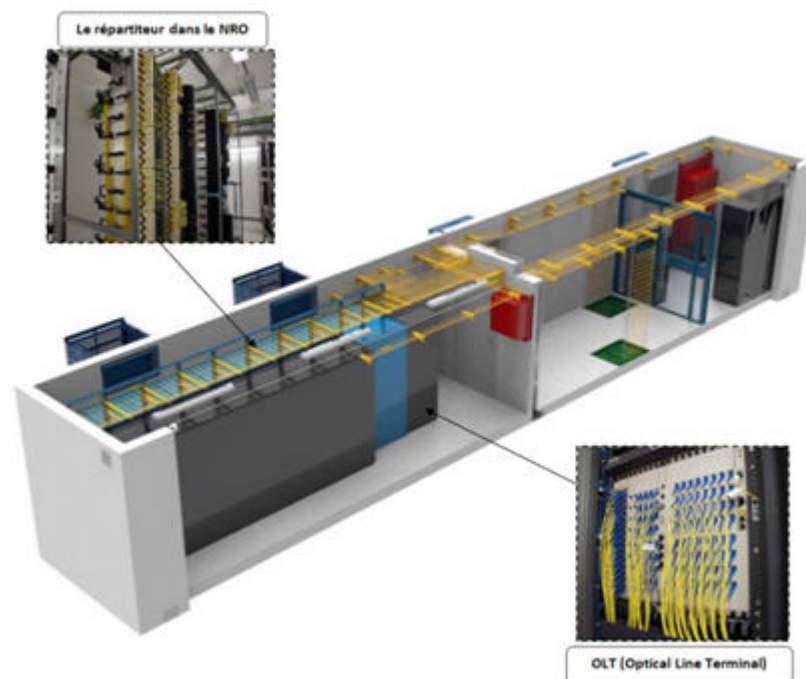


Figure I-17: Le Nœud de Raccordement Optique.

I.2.3. Le point de mutualisation (PM/SRO).

C'est l'endroit intermédiaire de brassage des fibres optiques des différents opérateurs (partie non mutualisée) et les fibres des différents abonnés (partie mutualisée). PM est rattaché à un unique NRO et peut se situer au sous sol d'un immeuble.



Figure I-18: Le point de mutualisation (PM/SRO) [Algérie Télécom].

I.2.4. Le point de branchement optique (PBO).

C'est le nœud correspondant à l'une des étapes finales du raccordement d'un réseau FTTH. Cela permet de faire le lien entre le PM et le PTO, et raccordé soit en façade, en souterrain ou sur poteau.



Figure I-19: Le point de branchement optique (PBO) [Algérie Télécom].

1.2.5. Le Point de Terminaison Optique (PTO).

Il est constitué d'un boîtier situé à l'intérieur du logement, permet de raccorder l'ONT (Optical Network Terminal) c'est-à-dire faire le lien entre le réseau d'accès et le réseau privé du client.

Le PTO aussi appelé DTIO (Dispositif de Terminaison Intérieure Optique) quand il est intégré dans un boîtier de communication c'est le cas dans les bâtiments.

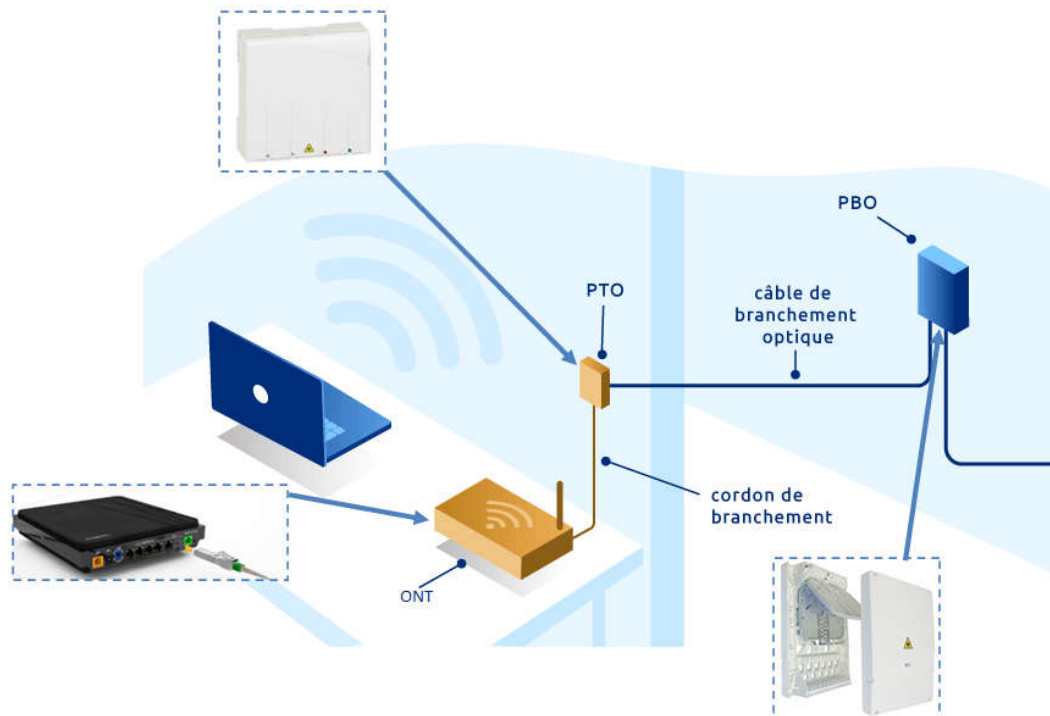


Figure I-20: Branchement de PTO avec le PBO et l'ONT.

I.3. Conclusion.

Ce chapitre a permis de présenter dans la première section une généralité sur la fibre optique telle que la structure, les caractéristiques, types de fibres et les technologies d'injection.

Ensuite dans la deuxième section-nous avons abordé une généralité sur les éléments du réseau FTTH.

Chapitre II. Réseaux d'accès optiques passifs

II.1. Introduction.

Il existe deux grands types de systèmes qui rendent possibles les connexions en FTTH (voir la **figure II-1**). Il s'agit de réseaux optiques actifs et de réseaux optiques passifs. Contrairement au réseau optique actif qui utilise des dispositifs et des éléments de réseau actifs pour connecter l'opérateur à l'utilisateur final, le réseau optique passif est un réseau par lequel sa nature fournit une variété de services à large bande aux utilisateurs grâce à l'accès par fibre optique.

Le PON permet de supprimer tous les composants actifs entre le serveur et le client en introduisant à la place des composants optiques passifs pour guider le trafic dans le réseau. Son principal élément est le coupleur optique.

L'utilisation d'une architecture passive permet de réduire le coût et principalement utiliser dans les réseaux FTTH. En revanche, la bande passante n'est pas réservée, mais plutôt multiplexée dans une seule fibre dans les points d'accès au réseau. En bref, il s'agit d'un réseau de configuration point à multipoint.

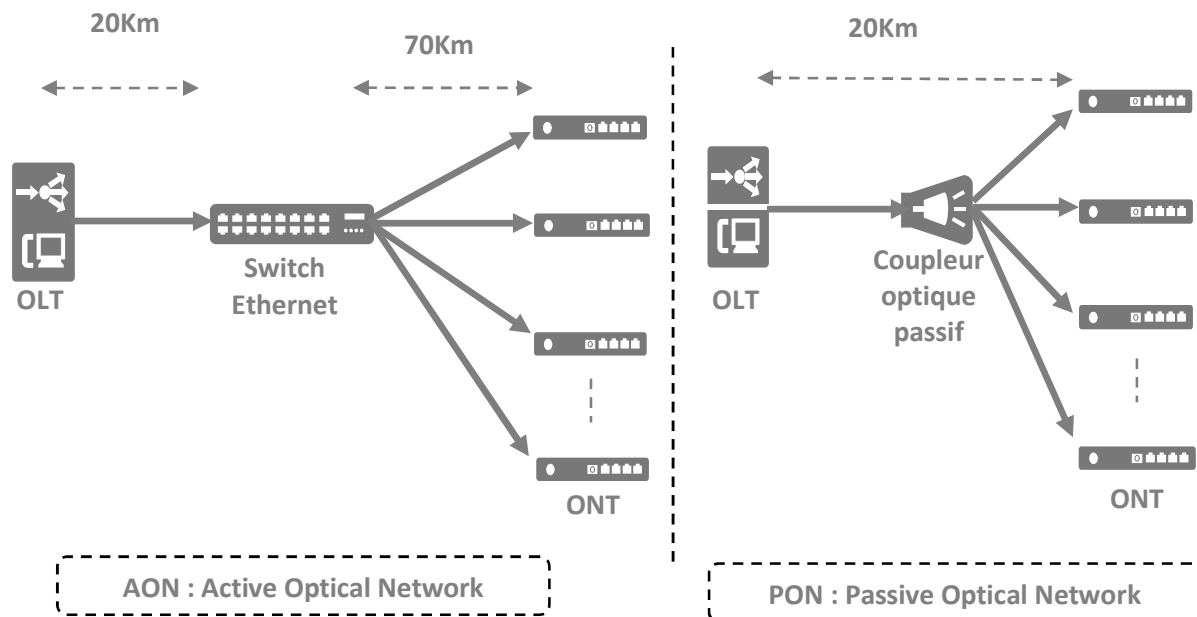


Figure II-1: Réseau optique actif par rapport au passif.

II.2. Architecture PON.

En général, le réseau PON se compose du dispositif suivant : un OLT (Optical Line Terminal), des ONT (Optical Network Terminal), ODF (Optical Distribution Frame) et le coupleur optique passif qui relie l'OLT et les ONTs.

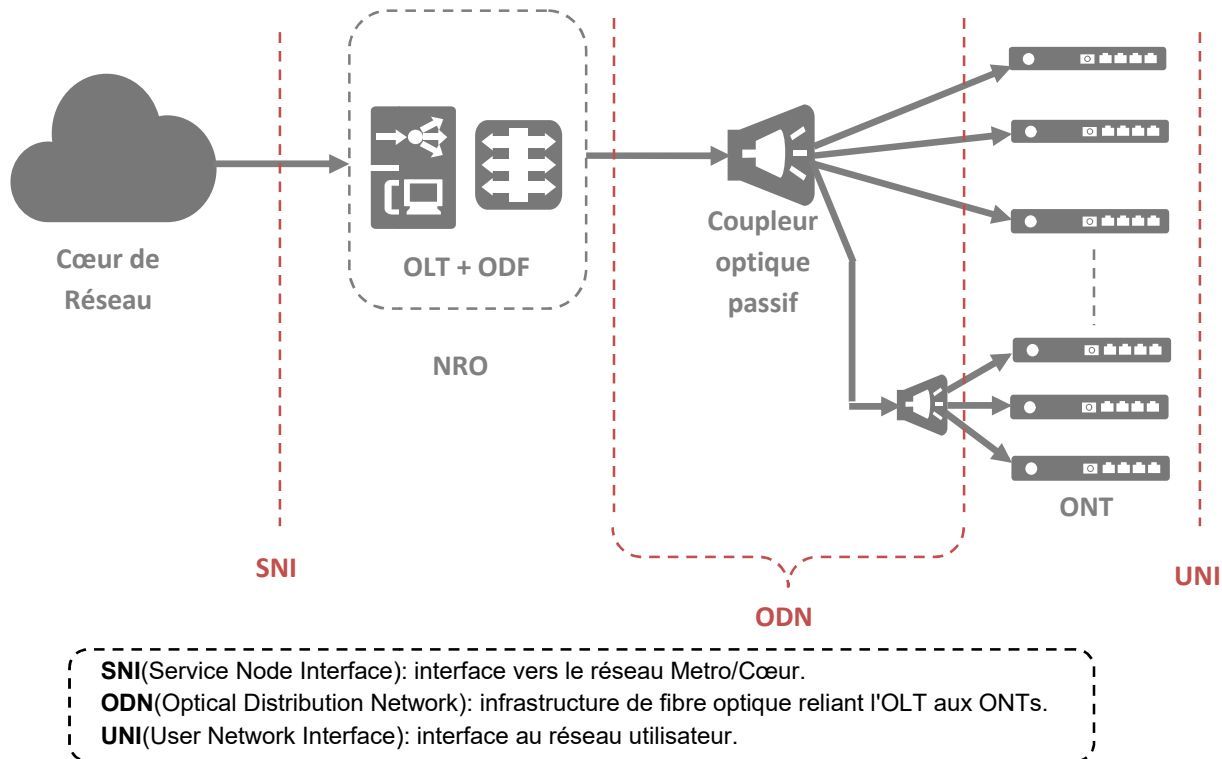


Figure II-2: Structure générale d'un PON.

II.2.1. Terminal de ligne optique (OLT).

L'OLT c'est un élément de réseau PON, généralement placé dans un NRO, permet de faciliter le multiplexage des flux de données entre les instruments de conversion des signaux situés aux extrémités opposées du réseau, appelés ONU selon l'IEEE, ou ONT selon l'UIT-T.



Figure II-3: Photo d'un OLT (Algérie Télécom)

II.2.2. Armoire de distribution optique (ODF).

ODF est un répartiteur optique utilisé pour l'interconnexions de câbles entre les installations. Il peut également fonctionner comme un dispositif de protection pour protéger les connexions de fibre optique contre les dommages.



Figure II-4: Optical Distribution Frime ODF (Algérie Télécom).

II.2.3. Terminal de Réseau Optique (ONT).

L'ONT se connecte au point de Terminaison Optique (PTO) avec un câble en fibre optique. Il se connecte à votre routeur via un câble LAN/Ethernet et traduit les signaux lumineux de la ligne en fibre optique de votre PTO en signaux électriques que votre routeur peut comprendre.

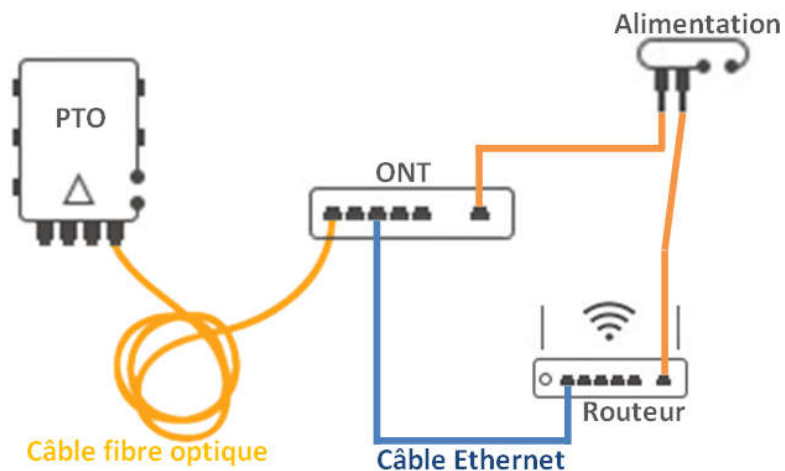


Figure II-5: Branchement de ONT avec le routeur et PTO.

II.2.4. Coupleur optique passif.

Le coupleur optique est utilisé pour diviser la lumière de la fibre optique en plusieurs parties selon un certain rapport. Il s'agit d'un composant important utilisé dans les réseaux optiques passifs (PON), appelé aussi PON Splitter. Il existe principalement deux types de coupleurs PON : l'un est le coupleur traditionnel du type fusionné connu sous le nom de coupleur FBT, qui se caractérise par un prix concurrentiel ; l'autre est le coupleur PLC basé sur la technologie PLC (Planar Lightwave Circuit), qui a une taille compacte et convient aux applications de densité.

Table II-1: Différences entre les coupleurs FBT et PLC.

	Coupleur FBT	Coupleur PLC
Longueurs d'onde de fonctionnement	850nm	1260nm-1650nm
	1310nm	
	1550nm	
Nombre d'entrées	un ou deux	un ou deux
Taux de divisions maximales	1:32	1:128

Les coupleurs à fibre optique permettent au réseau PON de desservir plusieurs abonnés dans une seule fibre optique sans qu'il soit nécessaire de déployer des fibres individuelles entre l'OLT et l'ONT.

Il s'agit de composants de réseau entièrement passifs, ce qui signifie qu'ils ne nécessitent aucune alimentation, aucun contrôle climatique et aucune maintenance. Ils continueront à fonctionner jusqu'à ce qu'ils soient physiquement touchés.



Coupleur FBT 1:2



Coupleur PLC 1:8 (Algérie Télécom)

Figure II-6: Les deux type de Coupleurs optique passif.

II.3. Avantages du PON.

L'utilisation de réseaux d'accès local PON à large bande présente de nombreux avantages, notamment :

- grâce à l'architecture point à multipoint au lieu de faire passer une ligne de fibre séparée de la centrale à chaque client. Utilise un seul brin de fibre pour desservir jusqu'à 32 abonnés.
- Il utilise des fibres optiques, ce qui permet d'obtenir une bande passante élevée et d'atteindre de plus grandes distances.
- Équipement à faible coût par abonné
- Prend en charge une large gamme d'applications, y compris le Triple play (voix, vidéo et données) sur une seule fibre
- Offre une large bande passante à haut débit permettant une plus grande flexibilité pour l'ajout de services futurs.
- Attribution flexible et évolutive de la bande passante.
- Permet des connexions en fibre optique jusqu'à 20 km entre l'OLT et l'ONT.

II.4. Topologies du PON.

Il existe de nombreuses topologies PON de base, telles que l'arbre, le bus et l'anneau.

II.4.1. Topologie des arbres.

L'arbre est la topologie la plus couramment utilisée dans les réseaux d'accès par fibre optique. En particulier, l'arbre avec un seul point de division (**voir figure II-7**) est prévalent pour PON. Il utilise une fibre unique de l'OLT à un nœud distant, qui est un point de division intermédiaire. A partir de ce point de séparation, une fibre séparée est allouée à chaque ONT connecté au réseau. Le principal avantage de cette topologie est que la division n'est effectuée qu'en un seul point ; il est donc simple d'adopter toutes les ONT pour avoir un budget énergétique similaire qui signifie qu'elles transmettent ou reçoivent toutes approximativement la même puissance de signal optique et qualité.

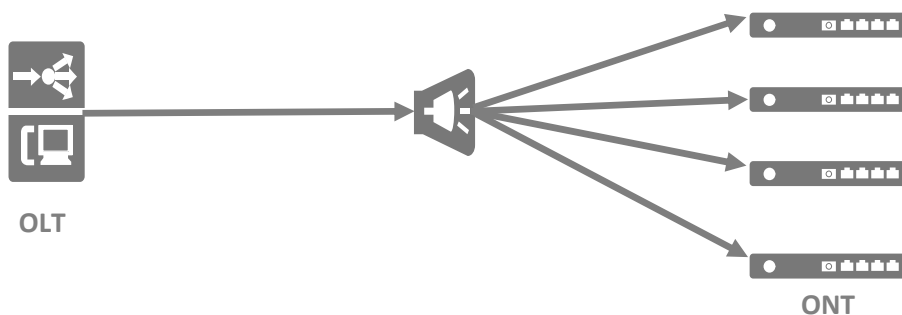


Figure II-7: Topologie Arbre avec un seul point de séparation.

II.4.2. Topologie des anneaux.

Dans la topologie en anneau, il y a deux façons possibles d'atteindre l'OLT par chaque ONT. (voir figure II-8). Par conséquent, en cas de coupe de la fibre, il est toujours possible d'établir et de maintenir la connexion. Cependant, la topologie en anneau présente le même inconvénient que le bus en termes de budget énergétique. Lorsque le signal optique passe par plusieurs coupleurs, il se dégrade et s'atténue.

Ainsi, le nombre total d'ONT pouvant être connectées au PON en anneau est également limité.

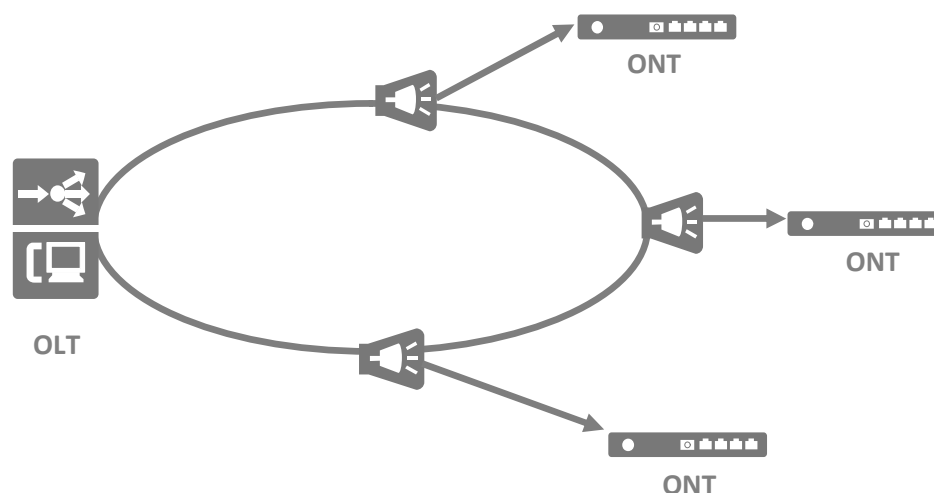


Figure II-8: Topologie des anneaux.

II.4.3. Topologie des bus.

Chaque ONT est connecté à un coupleur de prise qui peut extraire une partie de la puissance envoyée par l'OLT, elle peut être considérée comme un cas particulier de topologie en arbre (voir figure II-9). Ses deux principaux avantages sont :

- 1- l'utilisation d'une quantité minimale de fibre optique
- 2- la flexibilité des déploiements puisque de nouveaux ONTs peuvent être connectés au réseau en ajoutant d'autres prises.

Cependant, le problème est que les signaux des ONTs, qui doivent passer par plusieurs coupleurs de prises, sont dégradés et faibles. Ainsi, le nombre d'ONT pouvant être connectés au bus PON est limité. En outre, il n'est pas facile d'appliquer un schéma de protection rentable à la topologie en bus.

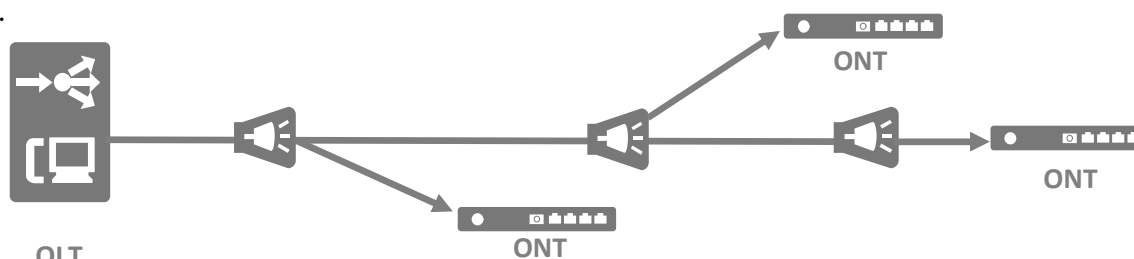


Figure II-9: Topologie des bus

II.5. Standards PON.

II.5.1. La norme APON (ITU-T G.983.1).

Il s'agit de la première norme issue des travaux initiés par le groupe FSAN (Full Service Access Network) (comprenant 21 grands opérateurs) en 1995.

L'ATM (Asynchronous Transfer Method) est un protocole de transmission apparu au début des années 1990. Il gère la transmission de la voix, de la vidéo et des données tout en garantissant la qualité de service. Les performances ATM sont hautement évolutives. Parce que la taille de la cellule transmise est très petite, cette performance peut être obtenue : tout le trafic est divisé en trames de 53 octets (48 octets de données plus cinq en-têtes), qui peuvent être traitées avec des commutateurs très rapides.

ENTETE (5 OCTETS)	DONNEES UTILISATEUR (48 OCTETS)
----------------------	------------------------------------

Figure II-10: Structure d'une trame ATM.

L'entête sert au mécanisme d'adressage et elle est importante pour définir comment la cellule sera remise. Les données (48 octets) est la portion qui transporte les véritables informations de voix, de données ou de la vidéo.

Des cellules de petite taille permettant de diminuer le temps de transit et ainsi de garantir des QoS exigées pour les applications temps réels [12].

La couche protocolaire de l'ATM proposé par l'ITU-T est formée par 3 couches à savoir la couche physique, la couche ATM et la couche d'adaptation ATM(AAL).

Table II-2: Architecture du protocole ATM.

ATM ADAPTATION LAYER(AAL)
Couche ATM
Couche physique (SONET, DS3, FDDI)

La couche physique encode les informations (trames) en fonction du support physique utilisé, principalement l'encodage SONET (Synchronous Optical Network), normalisé par l'UIT-T sous le nom de SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

La couche ATM est utilisée pour la commutation de petites cellules basé sur des chemins et des circuits virtuels. Le chemin virtuel (VP) est un terme général pour un groupe de circuits virtuels connectés, ils ont tous la même valeur VPI (Virtual Path Identifier) et se terminent à la même paire de points d'extrémité.

La couche AAL est une couche d'adaptation pour les services de couche supérieure.

Dans le tronçon FTTH, la méthode de prédilection de nombreux opérateurs est le réseau APON standardisé. Il s'agit simplement d'un système de fibre optique point à multipoint avec ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'UIT-T: G.983.1 et G.983.2. Cette normalisation s'effectue dans deux organisations, la première est FSAN et la seconde est IEEE. Avec l'APON les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être transmises via une seule fibre optique.

La norme G.983.1 spécifie les systèmes d'accès optiques à large bande basés sur les réseaux optiques passifs, l'architecture du réseau de cette norme est représentée par la **figure II-11**. D'autres, part la norme G.983.2 décrit les spécifications de l'interface de gestion et de commande de terminaison de réseau optique pour réseau optique passif à large bande.

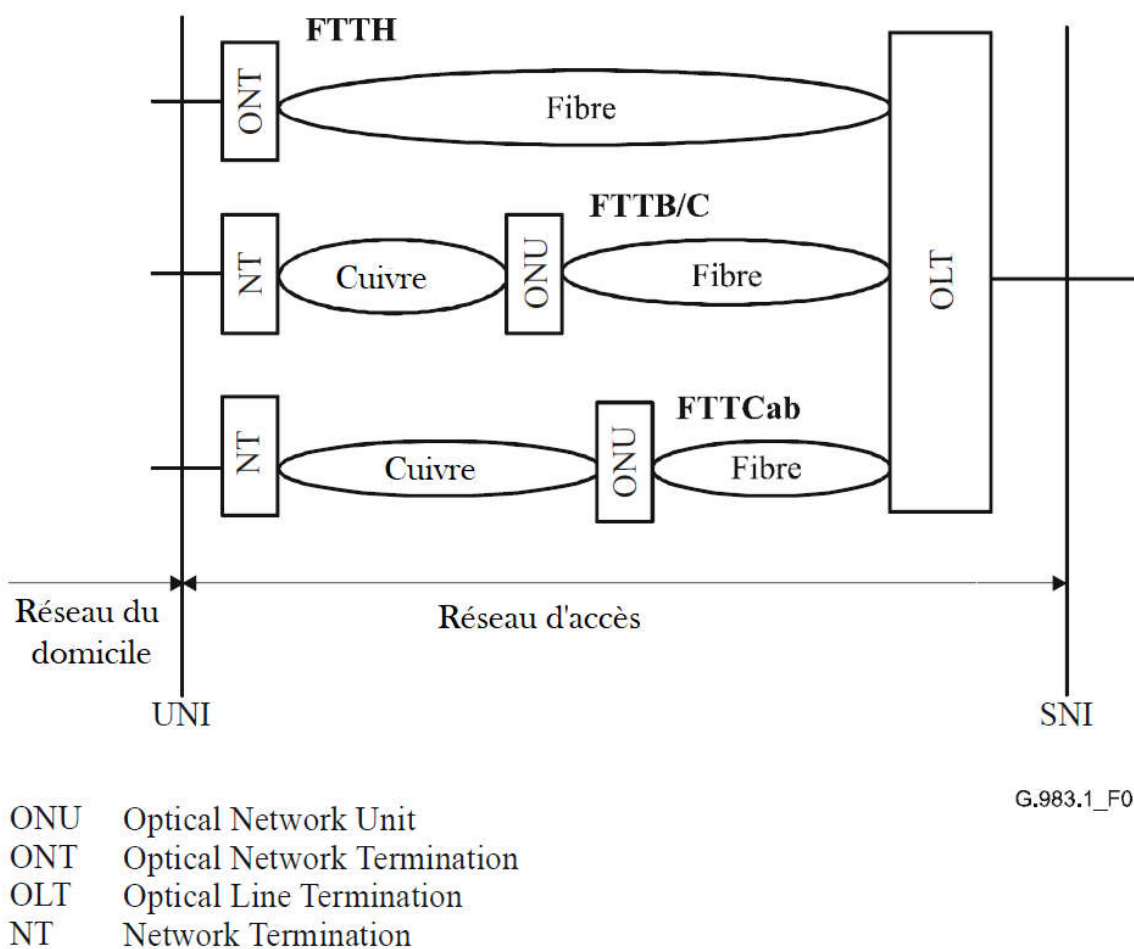


Figure II-11: Architecture du réseau PON (ITU-T Rec. G.983.1 (01/2005)).

Le bloc fonctionnel le l'ONT d'un réseau FTTH par exemple est composé par une interface de réseau ODN, un port utilisateur, de fonctions de multiplexage et de démultiplexage ainsi que l'alimentation en énergie (**figure II-12**).

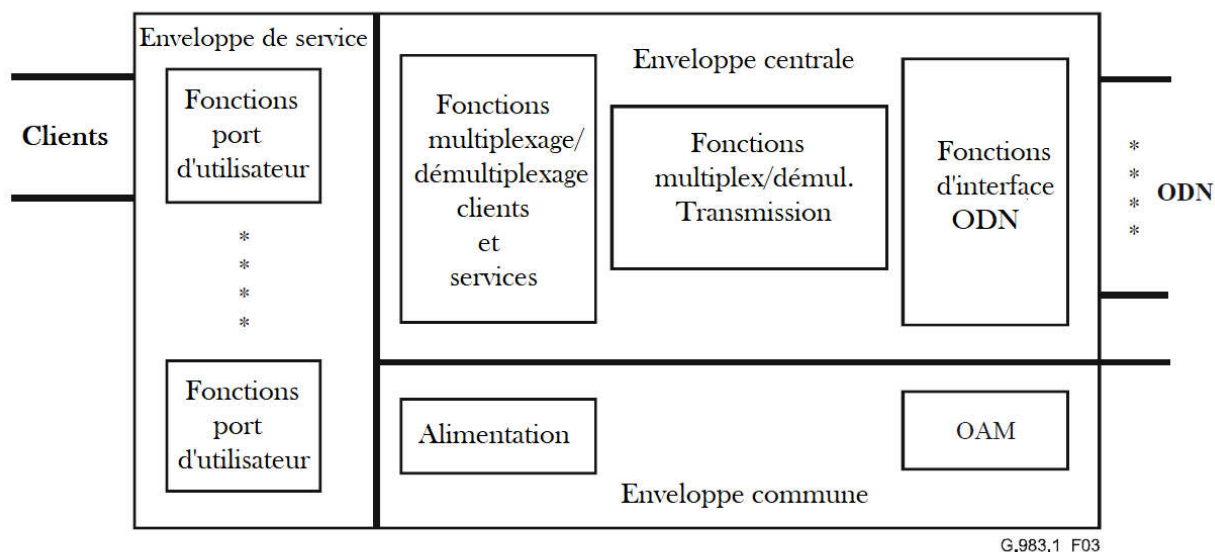


Figure II-12: Bloc fonctionnel de l'ONT (ITU-T Rec. G.983.1 (01/2005)).

Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au réseau PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit de 622Mbit/s ou 155Mbit/s pour le sens descendant et un débit de 155Mbit/s pour le sens montant. Dans le sens descendant, le multiplexage des cellules ATM est utilisé alors qu'un protocole TDMA commande l'accès ascendant (montant) des abonnés du réseau.

Pour palier le manque de capacité des routeurs IP de gérer les classes de trafic selon la QoS demandée, ce qui se faisait dans l'architecture ATM, le protocole MPLS (Multi Protocol Label Switching) a été introduit. MPLS permet la commutation avec QoS sur des routeurs Giga Ethernet, il mène au même niveau de complexité que l'architecture ATM.

Les avantages survenus par l'arrivée de la technologie ATM n'ont pas raison d'être.

Néanmoins, les opérateurs de télécommunications se voient obligés d'assurer ce type de service pour les équipements ne se connectant pas obligatoirement à l'Internet tels que les équipements de la surveillance d'autoroute, la visioconférence à caractère administratif ou commercial de chefs d'entreprises, la circulation des informations multimédias entre administration publiques, etc.

II.5.2. La norme BPON (ITU-T G.983.3).

Le BPON (Broad PON) est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (Broadcast vidéo). C'est un réseau de distribution en fibre optique en large bande.

En effet, les améliorations récentes de l'APON incluent une vitesse plus élevées, le multiplexage en longueur d'onde(WDM), une commande dynamique de la largeur de bande(DBA), une meilleure sécurité des données et une OMCI (ONU Management and control Interface) complète.

Pour traduire cette évolution, l'ITU-T a officiellement changé de nom du système en PON à large bande ou BPON.

l'ITU-T a défini 5 recommandations pour la norme BPON à savoir :

- La recommandation G.983.1 : système d'accès optique à large bande basés sur les réseaux optiques passifs.
- La recommandation G.983.2 : spécification de l'interface de gestion et de commande de terminaison de réseau optique pour réseau optique passif à large bande.
- La recommandation G.983.3 : système d'accès optique à large bande avec capacité de service accrue par attribution de longueur d'onde.
- La recommandation G.983.4 : système d'accès optique à large bande avec capacité accrue par assignation dynamique de largeur de bande.
- La recommandation G.983.5 : système d'accès optique à large bande à capacité de survie renforcée.

Le BPON actuellement déployés opérant en un des trois modes descendants/montant suivants : 155Mbits/s / 155Mbits/s, 622Mbits/s / 155Mbits/s ou 622Mbits/s / 622Mbits/s.

Les autres caractéristiques des réseaux BPON sont :

- Utilise le multiplexage WDMA pour le sens descendant,
- Utilise le multiplexage TDMA pour le sens montant,
- BPON est l'extension de l'APON avec l'intégration d'autres services tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo,
- Un système BPON peut relier jusqu'à 32 abonnés au réseau PON,
- La voix et les données utilisent 1490nm et 1310nm pour le sens descendant et le sens montant respectivement,
- Pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant, la longueur d'onde 1550nm peut être utilisée.
- Distance OLT-ONU/ONT ne dépasse pas 20km.

II.5.3. La norme EPON ou GEPON (IEEE 802.3ah).

Ethernet (connu aussi sous le nom de norme IEEE 802.3) est une technologie de réseau local basé sur le principe que tous les utilisateurs d'un réseau Ethernet sont reliés à une même ligne de transmission et la communication se fait à l'aide d'un protocole appelé CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) ce qui signifie qu'il s'agit d'un protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse et de détection de collision.

L'architecture du standard IEEE 802.x est formée par 3 couches, à savoir, la couche physique, la couche MAC (Medium Access Control) et la couche LLC (Logical Link Control) [13].

Table II-3: Architecture du standard IEEE 802.x.

LLC
MAC
Couche physique

La couche physique assure le codage et décodage des bits, le bit timing et la synchronisation.

La couche MAC est concernée par l'encapsulation et décapsulation des données, la détection des erreurs, l'acquittement et la gestion de l'accès au support de transmission. Enfin, la couche LLC traite le filtrage des messages, la notification des surcharges (overload) et la procédure de recouvrement des erreurs.

Les données sont diffusées depuis l'OLT vers les ONU en paquets de 1518 octets (IEEE 802.3 ah à 1.25Gbit/s) chacun des ONU ne prend en compte que les paquets qui lui concerne. Le trafic montant a une répartition dans le temps en synchronisation avec les flux descendants.

Le protocole DiffServ (Diferentiated Services) et la réservation de ressources permettant le transport de la voix et de la vidéo sur IP en temps réel. Les avantages du PON Ethernet peuvent être résumés ainsi :

- Les protocoles ATM et SDH ne sont plus nécessaires, d'où une forte économie en matériel.
- Le raccordement EPON peut évoluer facilement de 1Mbit/s à 155 Mbit/s.
- La sécurité est assurée en mode point à point par une relation entre LAN à travers les VPN.
- L'EPON utilise dans l'architecture point à multipoints des composants optiques passifs qui sont plus simples et moins couteux que l'électronique.
- La norme EPON permet de raccorder au central jusqu'à 64 ONU par OLT sur une seule fibre pour un débit global pouvant atteindre un Gbit/s.

Le budget optique de la norme IEEE 802.3 ah est représenté par le **tableau II-4**.

Table II-4: Budget optique de la norme IEEE 802.3.

		Budget Minimal	Budget Maximal
1000 Base PX-10 (10km)	Descendant	5dB	19.5dB
	Montant	20dB	20dB
1000 Base PX-20 (20km)	Descendant	5dB	19.5dB
	Montant	24dB	24dB

II.5.4. La norme GPON (ITU-T G.984).

La norme GPON (Giga PON) est un protocole de 2ème génération des PON édité par l'ITU-T comme norme de recommandation G.984. Le GPON ouvre les débits symétriques ou asymétriques jusqu'à 2.5 Gbits/s et optimise la mise en œuvre des services sur FTTH, avec des normes G.984.1 (caractéristiques générales du Giga PON), G984.2 (couche physique PMD) et G.984.5 (couche de transmission). Le taux de couplage peut atteindre 64 et 128 abonnés et la sécurité met en usage dans le sens descendant une clé à 128 bits.

La norme G.984.2 définit 3 classes de réseaux de distribution optique(ODN) en fonction du budget optique c'est-à-dire en fonction de l'atténuation des composants passifs (**tableau II-5**).

Table II-5: Budget optique de la norme GPON.

	Budget Minimal	Budget Maximal
Classe A	5dB	20dB
Classe B	10dB	25dB
Classe C	15dB	30dB

La figure II-13 représente les différents composants d'un arbre GPON.

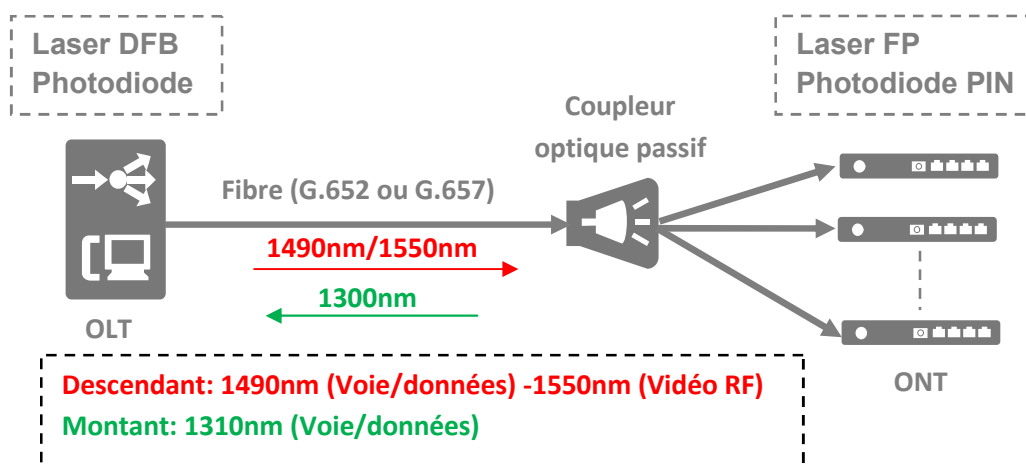


Figure II-13: Constitution d'un arbre GPON.

Le GPON est basé sur un protocole appelé GFP (Generic Framing Protocol) qui utilise des trames de longueur variable jusqu'à 65535 octets dans une trame.

Une trame GFP est représentée par la **figure II-14**.

CORE HEADER (4 OCTETS)	PAYLOAD HEADER (X=4 À 64 OCTETS)	PAY LOAD INFORMATION (0 À 65636 –X) OCTETS	PAYLOAD FCS (4 OCTETS)
-----------------------------------	---	---	---------------------------------------

Figure II-14: Structure d'une trame GFP.

Le GPON prend en compte dans ces entêtes la gestion de la qualité de service, par l'adressage des stations, par la fragmentation des messages et par des informations relatives à la taille de la charge utile transportée. Parmi les avantages du GPON, il offre la possibilité d'encapsuler des paquets ATM et Ethernet.

II.5.5. Tableau récapitulatif

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des différentes normes des réseaux PON en termes de débit, protocole, débit descendant et montant, taux de partage, taille et type de la trame.

Table II-6 : Tableau récapitulatif des différentes normes des réseaux PON.

	APON	BPON	EPON ou GEPON	GPON
Norme	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Protocole	ATM	ATM	CSMA/CD	GFP
Débit descendant	622Mb/s Ou 155Mb/s	155Mb/s Ou 622Mb/s	1.25Gb/s	1.25Gb/s Ou 2.5Gb/s
Débit montant	155Mb/s	155Mb/s Ou 622Mb/s	1.25Gb/s	155Mb/s ou 622Mb/s ou 1.25Gb/s ou 2.5Gb/s
Taux de partage	16, 32	16, 32	16, 32, 64	16, 32, 64, 128
Taille de la trame (Octets)	53	53	1.518	65.535
Type de trame	Fixe	Fixe	Variable	Variable
Distance OLT-ONT	>20Km	>20Km	<20Km	<60Km

II.6. Logiciel iManager U2000 Huawei de gestion de réseau PON

II.6.1. Définition du logiciel U2000

L'u2000 est un système de gestion des équipements développé par Huawei. C'est également une solution de gestion de réseau orientée vers l'avenir qui fournit des fonctions puissantes de gestion des éléments et de gestion du réseau.

Plus précisément, il gère les équipements et services MSTP, WDM, OTN, RTN, routeur, commutateur, ATN, PTN, MSAN, DSLAM, FTTx, pare-feu.

C'est un système de haute sécurité, il est commode pour installation automatique et la mise à niveau du client, avec une haute force du système. Et aussi un système de gestion qui peut gérer plus de 20.000 équipements WDM en même temps.

Ce Logiciel est utilisé par Algérie Télécom pour gère le réseau FTTH -GPON-.

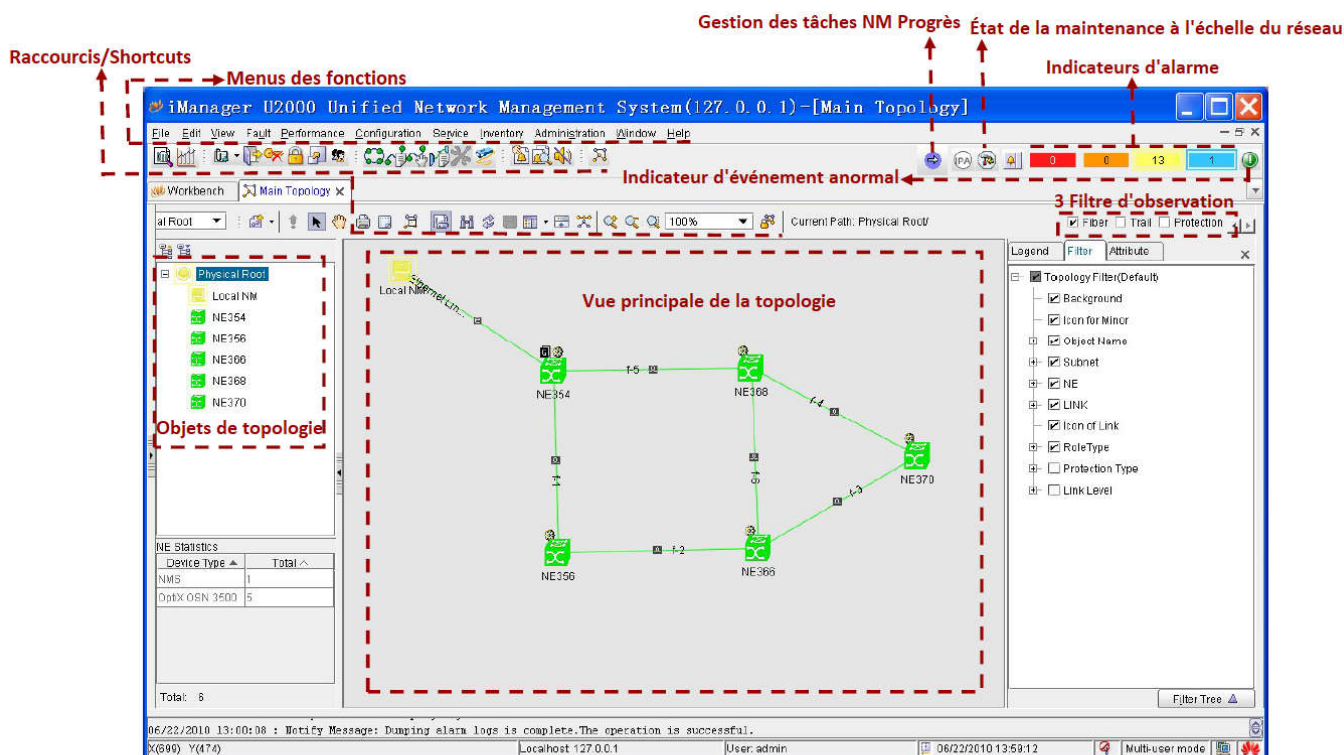


Figure II-15:Interface utilisateur de l'U2000 [14]

II.6.2. Les principales caractéristiques de l'U2000:

- La configuration de services de bout en bout allant des équipements WDM d'accès jusqu'aux équipements Metro WDM sans utiliser les câblages dans chaque site.
- Gérer Uniformément plusieurs type d'équipements et de services, y compris SDH, WDM, le système câble sous-marin, Ethernet, ATM, etc...
- Déploie les processus de gestion de service NE.+
- Etant un système de gestion de sous réseaux, il fournit toutes les fonctions de gestion éléments et quelques fonctions de gestion de réseaux.
- Supporte les deux plateformes Windows, Linux et UNIX, dans les quelles les mêmes opérations sont fournies.
- Supporte plusieurs interfaces externes ouvertes.
- Fournit interface utilisateur graphique basée sur le JAVA, dans une structure « d'arbre à gauche et table à droite ».
- Fournit une fonction puissante de recherche d'équipements, avec laquelle l'utilisateur peut chercher puis créer les NEs et les fibres dans un groupe.
- Fournit toutes les fonctions de gestion d'alarmes, de configuration, de performances et de sécurité.
- Supporte tous les protocoles de communication.
- Fournit plusieurs outils et méthodes de sauvegarde et de restauration des données, pour assurer la sécurité des données réseau.

II.6.3. les fonctions de gestion abondante à la couche NE

U2000 de Huawei a des fonctions de gestion abondante à la couche NE (Network Element):

- **Gestion de NE:**
 - Recherche des NEs
 - Ajout/suppression de NEs.
 - Connexion ou de déconnexion des NEs.
- **Gestion D'alarmes:**
 - Définitions des stratégies de surveillance d'alarme
 - Voir des alarmes
 - Suppression des alarmes
- **Gestion des Performances:**
 - Définitions des stratégies de suivi des performances
 - Voir les performances des événements.
 - Remise à Zéro des registres de performances.
- **Gestion de Configuration:**
 - Configuration des informations de base du NE.
 - Configuration des liens Radio.
 - Configuration de protection
 - Configuration d'interface
 - Configuration de service
 - Configuration horloge.

- **Gestion de Communication:**
 - Gestion de paramètres de communication
 - Gestion de DCC.
 - Gestion de Protocol IP.
 - Gestion de Protocol OSI.
- **Gestion de Sécurité:**
 - Gestion d'utilisateur NE.
 - Gestion de groupe d'utilisateur NE.
 - Contrôle d'accès LCT.
 - Gestion d'utilisateur en ligne.
 - Paramètres de sécurité NE.
 - Gestion d'utilisateur NMS.
 - Gestion des logs NMS.

II.6.4. Les étapes de création du réseau avec le logiciel U2000

Les étape de création du réseau sont:

- Conception des NEs
- Création des NEs.
- Paramétrage des NEs.
- L'attribution des cartes.
- Configuration des services suivant la location des longueurs d'ondes.
- Création de protections.

II.7. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter l'évolution des réseaux d'accès optiques passifs, On a commencé par les éléments du réseau PON, l'avantage et les topologies du PON.

Ensuite nous avons abordé les différents standards PON et suivi d'une description de logiciel iManager U2000 Huawei pour la gestion de réseau PON.

Chapitre III. Mesures et recette d'une installation FTTH

III.1. Introduction.

La phase de recette a pour but de vérifier que l'installation est conforme aux spécifications techniques. Une spécification de recette doit préalablement définir les différents contrôles à effectuer, les appareils de mesure nécessaires, les résultats à obtenir, ainsi que leur présentation à l'intérieur du cahier de recette.

Le cahier de recette comporte notamment :

- Page de garde.
- Le synoptique optique de liaison
- Le type de câble,
 - Les distances inter-sites,
 - La position logique et le nom des boîtiers d'épissures.
- Les informations concernant la liaison, le câble mesuré et les mesures effectuées
- Matériel utilisé
- Les sites
- Le tableau des longueurs
- Longueur de chaque tronçon,
- Cumul des longueurs (dans les deux sens).

III.2. Les outils de vérification et de mesure

III.2.1. Stylo optique laser / Localisateur visuel de défauts (VFL)

Le localisateur de défaut ou stylo optique laser à lumière rouge est une source de lumière rouge en général présentée sous forme de stylo optique.

Il permet de s'assurer de la continuité optique d'un lien et de visualiser les coupures de fibre, les contraintes (macro-courbures), les connecteurs défectueux ou épissures défailantes. Sa portée peut aller jusqu'à 7 km. Pour les applications FTTH avec fibre G657A2, son utilisation permet la vérification de la continuité optique d'un lien. Ces instruments peuvent présenter un danger oculaire, il est recommandé d'en vérifier la puissance émise qui ne doit pas dépasser 1mW.

Toutefois, cette lumière ne doit pas être observée au travers d'un microscope ou tout autre moyen d'amplification visuelle.



Figure III-1: Localisateur visuel de défauts.

III.2.2. Photomètres optiques (OPM).

Photomètre est un récepteur de lumière qui permet de mesurer la puissance, il est calibré pour recevoir un plus ou moins grand nombre de longueurs d'onde, a minima 1310 nm et 1550 nm (1310 nm et 1550 nm sont au centre des plages de longueur d'ondes utilisées dans les réseaux télécoms par fibre optique).

il est capable de lire une transmission « pulsée » et non continue. Il s'intègre dans la ligne de transmission et laisse passer le trafic une fois installé.



Figure III-2: Photomètres optiques

III.2.3. Le réflectomètre optique (OTDR).

Un réflectomètre est un appareil de mesure destiné à analyser la réponse de la fibre optique afin de qualifier : l'affaiblissement, la linéarité, les pertes d'insertion, les épissures, les soudures, la longueur et la localisation des défauts des fibres optiques, d'en déduire la Réflectance.

La méthode de mesure est basée sur la technique de rétrodiffusion ou de réflectométrie optique dans le domaine temporel. Les réflectomètres sont différenciés suivant qu'ils sont destinés à mesurer des fibres optiques monomodes ou multimodes. Dans la plupart des cas le réflectomètre est spécifié pour une longueur d'onde déterminée, mais beaucoup d'appareils peuvent s'adapter à plusieurs longueurs d'ondes par des tiroirs interchangeables.

- Interprétation des défauts de réflectométrie :
 1. Défaut réfléchissant (épissures mécanique, fibre cassée, connecteur).
 2. Défaut non réfléchissant avec changement de pente (contrainte sur la fibre)

3. Défauts non réfléchitifs cumulés (soudure et lovage).
4. Défaut non réfléchissant (épissures, contraintes).
5. Défaut positif (variation du coefficient de rétrodiffusion, variation du diamètre de champ de mode).
6. Pics fantôme (forte réflexion engendrant des «échos» sur la trace).
7. Défauts non réfléchitifs cumulés à un défaut réfléchitif (Rayon de courbure avant une connectique ou cassure de fibre).
8. Fibre stressée.

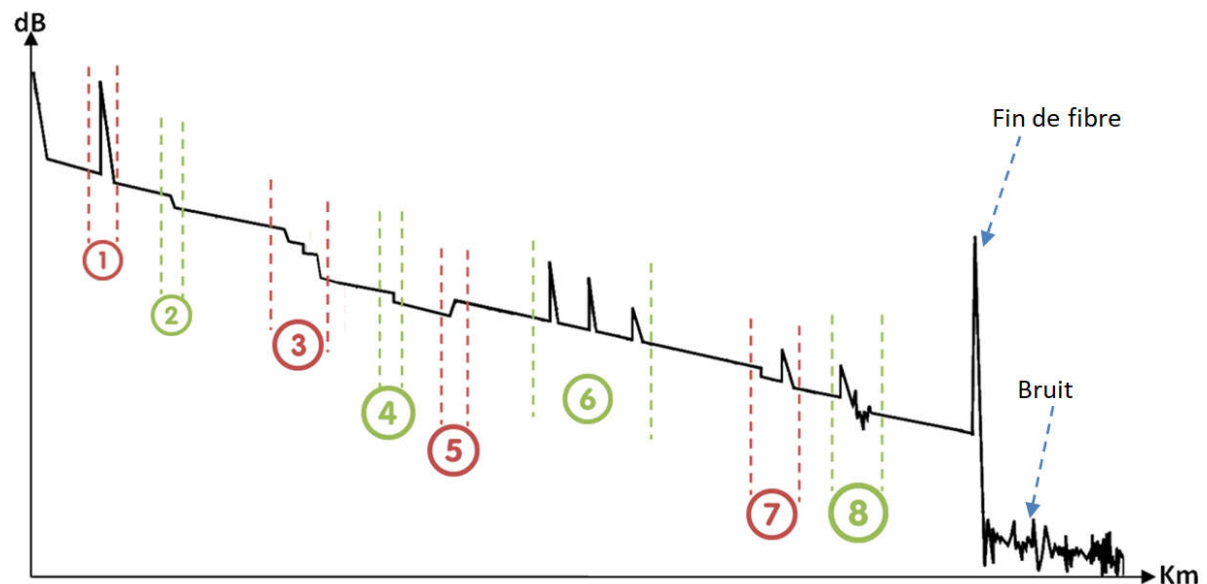


Figure III-3:Trace des défauts de réflectométrie.

III.2.4. Bobines de fibre amorce [10].

Le branchement du réflectomètre sur le lien à qualifier s'effectue au travers d'une bobine amorce qui joue plusieurs rôles. Elle permet notamment :

- de qualifier le connecteur d'entrée,
- de s'affranchir de la zone morte du réflectomètre,



Figure III-4:Bobines de fibre amorce.

Afin d'obtenir de bonnes conditions d'injection, la bobine amorce doit avoir les mêmes caractéristiques que la fibre testée. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Table III-1:Caractéristiques de la bobine selon le type de fibre

Caractéristiques de la bobine	Liaison Multimode	Liaison monomode
Longueurs conseillées	Min. 100 m - Max. 500m	Min. 500 m - Max. 2400 m
Type de fibre	cœur identique au cœur de la fibre testée	de champ de mode identique au champ de mode de la fibre testée
Affaiblissement linéique max.	3,5 dB/Km à 850 nm	0,3 dB/Km à 1550 nm
Affaiblissement max. des connecteurs	1 dB	1 dB
Affaiblissement global max. de la bobine	4 dB	1,5 dB

Une bobine doit également être placée en sortie du lien pour qualifier le connecteur de sortie.

III.2.5. Microscope d'inspection de fibre.

Un microscope optique est un outil manuel utilisé pour examiner la surface d'un connecteur de fibre optique.

Pourquoi examinait-on la surface d'un connecteur ?

L'examen de la surface d'un connecteur est essentiel pour s'assurer qu'il n'y a aucun problème avec le connecteur.

En regardant la surface d'un connecteur, vous pouvez voir s'il y a une contamination telle que de la saleté ou de l'huile, une rayure ou une même virole cassée (brisée) sur le connecteur.

le principal point examiné est le cœur de la fibre. Le cœur de la fibre est la partie vitale, car c'est là que la lumière, ou vos données, vont être véhiculées. Lors du Maintenance d'une fibre, l'inspection visuelle des connecteurs est l'une des premières étapes à effectuer, avant de sortir l'équipement de test pour effectuer des tests avec photomètre, Stylo optique, réflectomètre (OTDR).

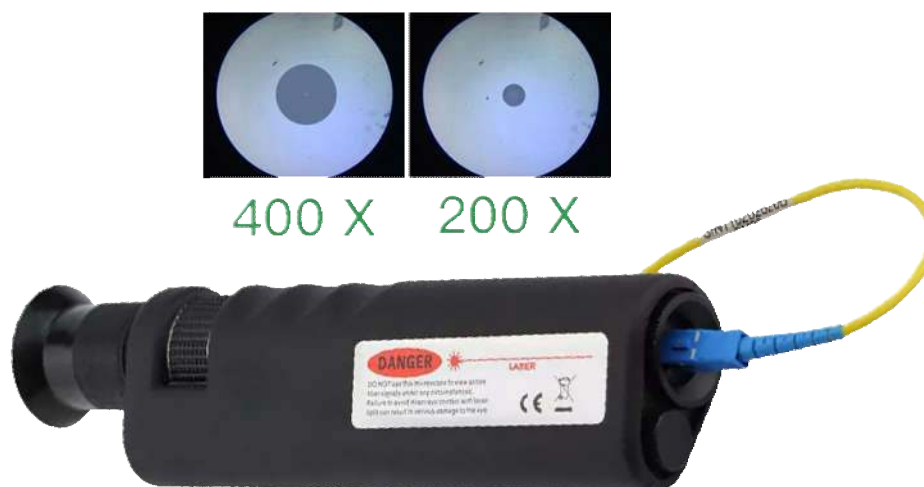


Figure III-5: Microscope d'inspection de fibre.

III.2.6. Microscope vidéo d'inspection de fibre.

Il s'agit d'appareils portatifs qui suivent le même concept que Microscope d'inspection de fibre, mais ils sont reliés à un moniteur (écran) pour être plus facile à visualiser la surface des connecteurs.

Les microscopes vidéo d'inspection de fibre peuvent fonctionner avec plusieurs moniteurs, ce qui les rend flexibles pour une variété d'applications. Certains microscopes vidéo sont équipés d'un petit moniteur portable qui vous permet de voir la surface des connecteurs.

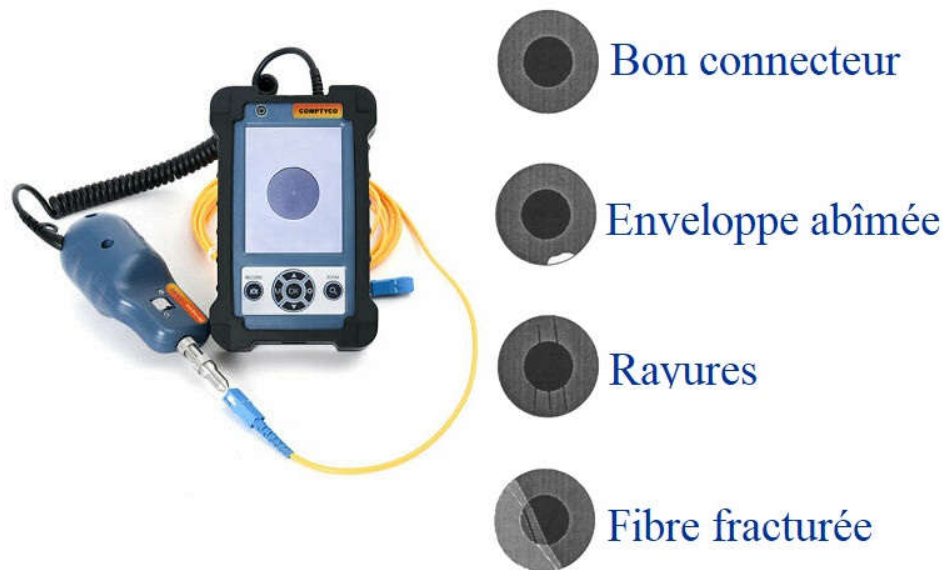


Figure III-6 : Microscope vidéo d'inspection de fibre.

III.2.7. Détecteur de fibre active.

les détecteur de fibre active (FI: Fiber identifiers) sont des instruments de tests de fibres optiques robustes, portables et faciles à utiliser, qui peuvent identifier détecter les signaux optiques transmis par une fibre sans perturber le trafic, l'appareil indiquera s'il y a [Pas de signal], [Tonalité] ou [Trafic] et identifiera la direction du signal.

D'autres modèles FI sont capables de mesurer la puissance relative de la fibre et de l'afficher. les FI élimine la nécessité de couper la fibre au point d'épissure pour l'identifier donc il élimine le risque d'interruption accidentelle du service.



Figure III-7 : Détecteur de fibre active.(VIAVI)

III.2.8. Atténuateurs.

Un atténuateur pour fibre optique est un composant optique passif utilisé pour réduire le niveau de puissance d'un signal optique. Il peut fournir une atténuation fixe ou variable.

Un atténuateur est l'outil idéal pour simuler la perte du câble pour tester la marge de puissance de la liaison.

Un atténuateur variable peut être réglé sur n'importe quelle valeur de perte dans la plage de fonctionnement à l'aide d'une source lumineuse et d'un photomètre.

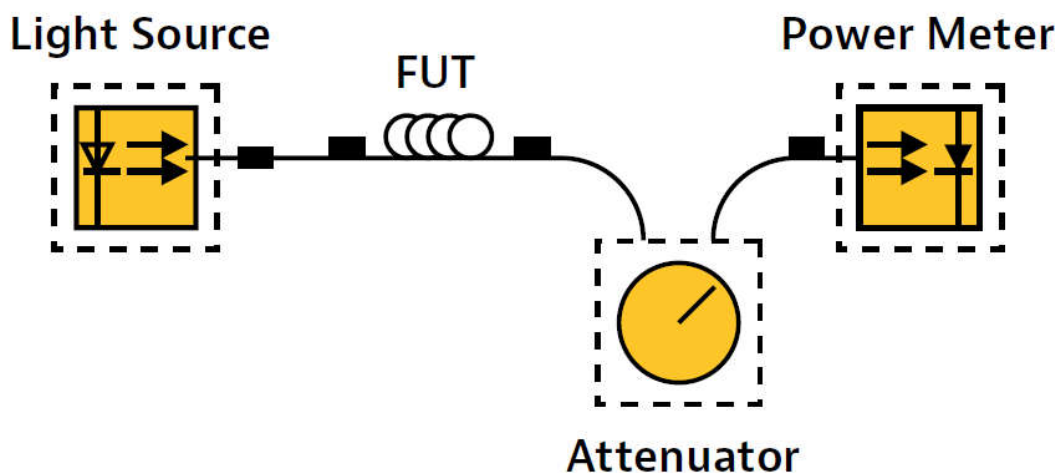


Figure III-8: atténuateur [9]

III.3. Les mesures possibles.

III.3.1. Contrôles visuels.

Ils sont réalisés par échantillonnage ou sur la totalité de l'installation.

Les contrôles visuels représentent un complément d'information nécessaire et incontournable pour la fiabilisation des données. Les principales applications du contrôle visuel, après travaux, sont :

- Vérification de la qualité générale de l'installation (rayon de courbure, étiquetage de tous les éléments constitutifs du réseau préinstallé, conformité des composants utilisés aux normes , lovage des fibres dans les PBO),
- Vérification de l'adéquation entre le dossier de récolement et l'installation

III.3.2. Contrôle de continuité.

La continuité optique entre le PM et le PBO, point de branchement optique, doit être vérifiée lors du contrôle du réseau. Une source laser visible connectée à une extrémité du câble peut permettre de vérifier la transmission jusqu'à l'extrémité opposée. Ce type de test fibre optique est uniquement destiné à détecter les anomalies majeures de la fibre, comme les coupures ou contraintes importantes. Les tests de continuité de la fibre peuvent déterminer si la fibre optique est connectée au bon port du panneau de brassage.

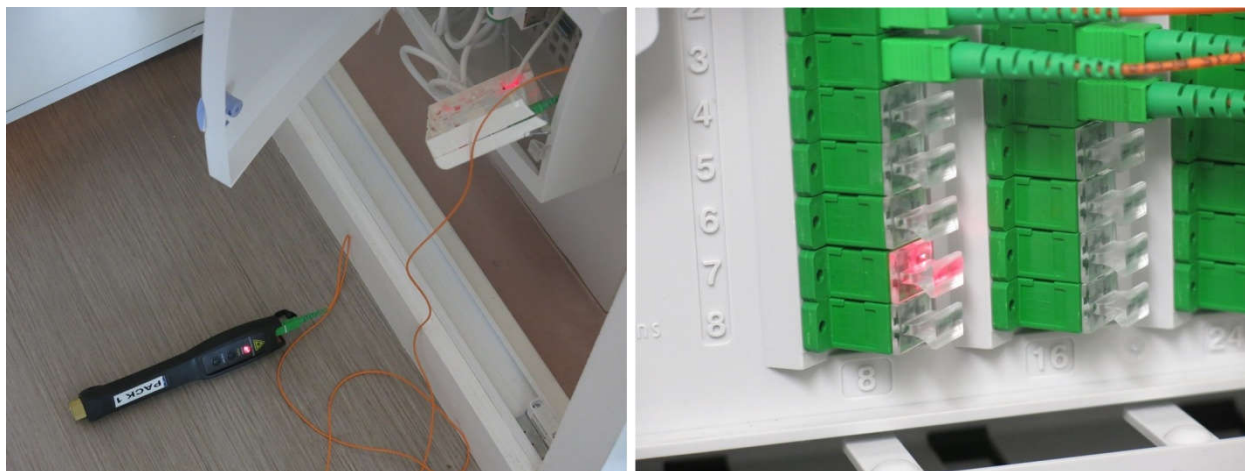


Figure III-9: Contrôle de continuité

III.3.3. Mesure de l'affaiblissement.

Afin de déterminer l'affaiblissement (ou l'atténuation) de la fibre optique plusieurs méthodes de mesures sont utilisées, dont notamment : la méthode de perte par insertion et la méthode par rétrodiffusion.

III.3.3.1. Méthode par rétrodiffusion (ou réflectométrie).

A. Principe de la réflectométrie :

La réflectométrie consiste à envoyer un signal lumineux à une extrémité de la liaison et à analyser, à la même extrémité, le signal réfléchi par l'ensemble des composants de celle-ci.

La forme du signal réfléchi étant différente pour chaque type de composants, appelés aussi événements, on pourra identifier chacun d'entre eux : connecteur, tronçon de fibre, épissure,... et déterminer les caractéristiques individuelles de chacun, de même que leur distance par rapport à l'extrémité dans la mesure où le temps mis par le signal réfléchi pour revenir à l'extrémité est fonction de la distance à parcourir.

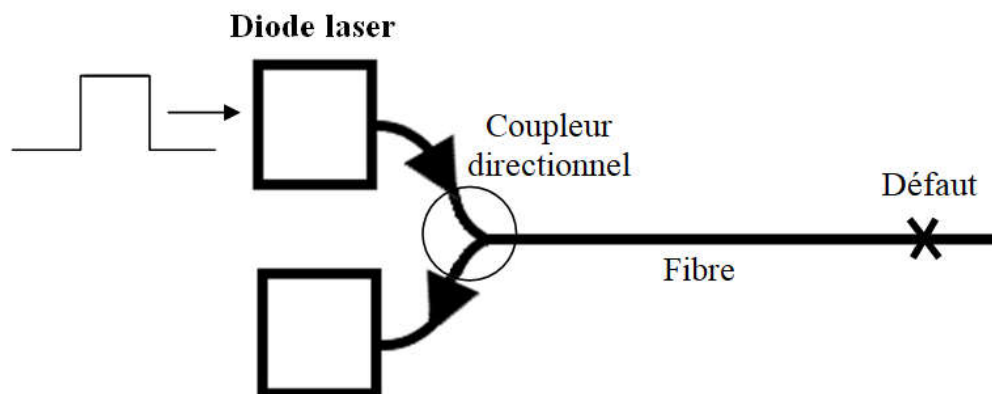


Figure III-10: Principe de la réflectométrie

B. Qualification des liens optiques partie Distribution SRO-PBO

Cette Partie recense et énumère l'ensemble des méthodes et des tests permettant de qualifier les liaisons optiques partie distribution à travers des tests de réflectométrie (OTDR) aux deux longueurs d'ondes (1310nm et 1550nm), elle permettra de confirmer [15] :

- L'absence d'impact sur le câble;
- Le bon raccordement des joints d'épissure et tiroirs;
- Que les fusions ont été réalisées selon les règles de l'art.

➤ procédures de test :

• Du SRO vers PBO

1. Connecter le port de l'OTDR via le port du SRO en utilisant une bobine d'amorce si nécessaire tester tous les brins de chaque tube connecté (raccordé) et sélectionner la longueur d'onde à utiliser : 1310nm, 1550nm.
2. Tester l'atténuation de la longueur d'onde utilise (1310nm, 1550nm).

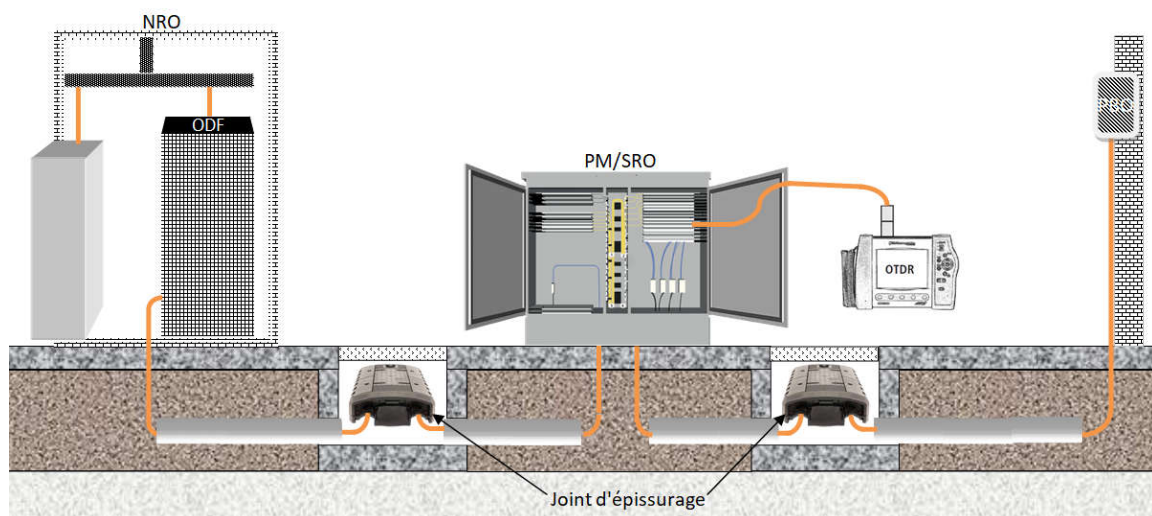


Figure III-11: Test du SRO vers PBO

• Du PBO vers SRO

1. Connecter le port de l'OTDR via le port d'entrée du PBO en utilisant une bobine d'amorce si nécessaire, tester tous les brins de chaque tube connecte (raccorde) et sélectionner la longueur d'onde à utiliser: 1310nm, 1550nm.
2. Tester l'atténuation de la longueur d'onde utilisée (1310nm, 1550nm).

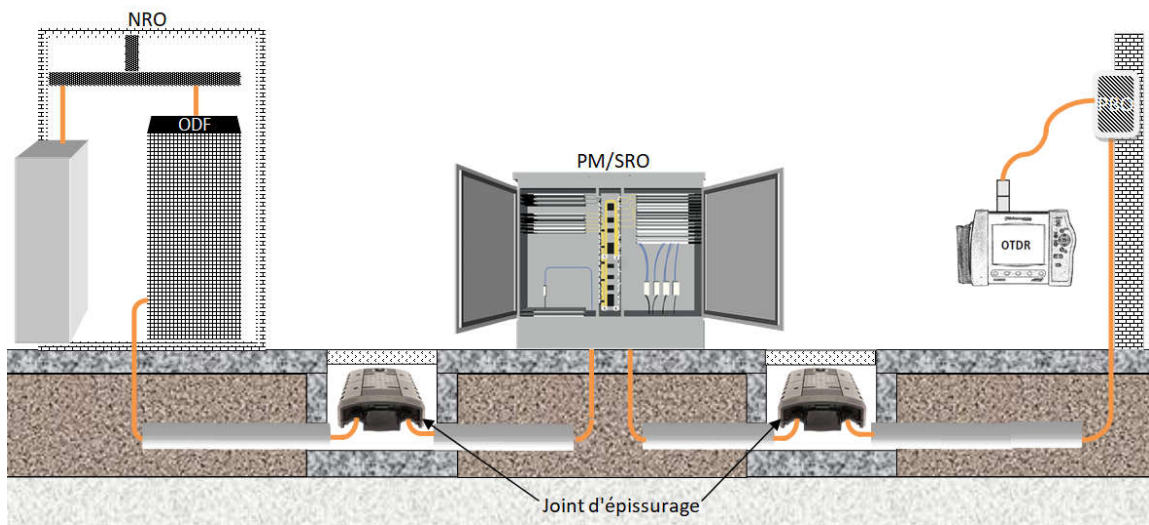


Figure III-12: Test du PBO vers SRO

Remarque

Les résultats obtenus doivent être comparés aux performances optiques (standards).

C. Les performances optiques

• Tableau des connecteurs et épissures

Mesure par réflectomètre dans les deux sens.

Les résultats suivants sont à reporter dans le tableau pour chaque fibre connectée :

- Atténuation dans le sens O→E,
- Atténuation dans le sens E→O,
- Moyenne des deux atténuations,
- Moyenne des atténuations moyennes des épissures sur chaque fibre connectée .

Les performances optiques à suivre sont :

Table III-2:Tableau des connecteurs et épissures [15].

Performances optiques	Max à 1310nm	Max à 1550nm	Ecart 1310-1550
Moyenne des atténuations d'une épissure dans les deux sens	0,10 dB	0,10 dB	0,05 dB
Moyenne des atténuations d'un connecteur dans les deux sens	0,50 dB	0,50 dB	0,20 dB
Moyenne de toutes les moyennes des atténuations des épissures dans les deux sens d'une fibre	0,07 dB	0,07 dB	/

• Tableau des réflectances

Mesure par réflectomètre dans les deux sens.

Les résultats suivants sont à reporter dans le tableau pour chaque fibre connectée:

- Réflectance dans le sens O→E,
- Réflectance dans le sens E→O.

Les performances optiques à suivre sont :

Table III-3:Tableau des réflectances [15]

Performances optiques	Valeur à 1310nm	Valeur à 1550nm
Réflectance d'un connecteur APC	< -55dB	< -55dB
Réflectance d'une épissure	Nulle	Nulle

• Tableau des pentes

Mesure par réflectomètre dans les deux sens.

Les résultats suivants sont à reporter dans le tableau pour chaque fibre connectée :

- Pente dans le sens O→E,
- Pente dans le sens E→O,
- Moyenne des deux pentes,
- Moyenne des pentes moyennes pour chaque fibre.

Les performances optiques à suivre sont :

Table III-4:Tableau des pentes [15]

Performances optiques	Max à 1310nm	Max à 1550nm
Atténuation linéique moyenne entre deux épissures	0,33 dB/km	0,22 dB/km
Atténuation linéique moyenne entre deux sites	0,35 dB/km	0,24 dB/km

l'atténuation linéique mesurée n'est significative que si la longueur du tronçon mesurée est supérieure à un Kilomètre.

Pour obtenir une analyse et une mesure précise, il est essentiel de traiter les traces OTDR. Vous pouvez traiter avec logiciel FastReporter de EXFO

FastReporter permet aux utilisateurs de visualiser, modifier, analyser et imprimer dans un format professionnel toutes les mesures optiques effectuées sur le terrain.(Annexe 2)

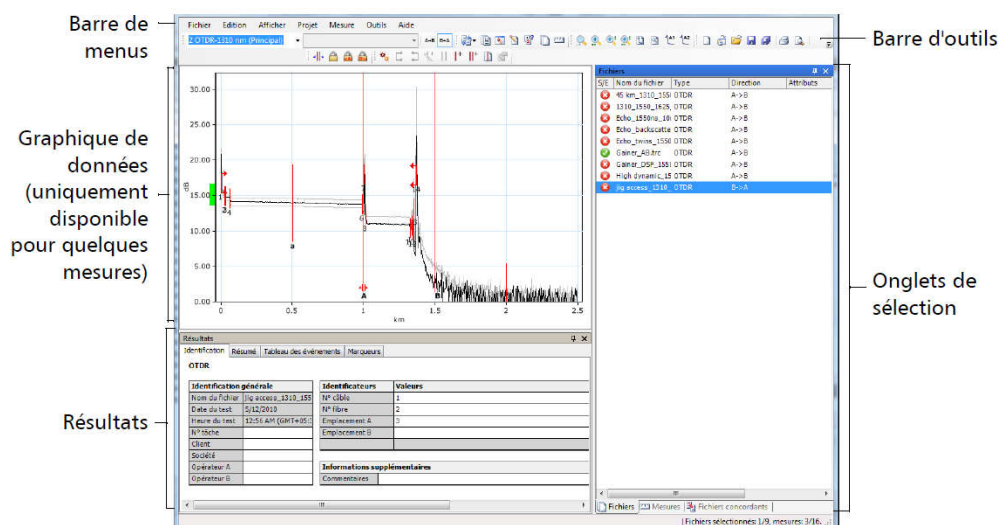


Figure III-13:Interface utilisateur de FastReporter (EXFO)

III.3.3.2. Méthode de perte par insertion (photométrie).

A. Principe de la photométrie

La photométrie est une méthode dite « par insertion » c'est-à-dire que, dans un premier temps, on relie une source de lumière à un récepteur qui mesure la puissance en direct de la source (étalonnage), et dans un deuxième temps, on insère la liaison à mesurer entre la source et le récepteur, et le récepteur calcule alors la différence entre la puissance en direct de la source et celle à travers la liaison à valider qui correspond à l'atténuation totale de celle-ci. D'autre part, le temps mis par le signal pour traverser la liaison permet de déterminer sa longueur.

Ces mesures permettent d'apprécier, à une longueur d'onde donnée la perte globale de la liaison optique.

Elles ne permettent pas, par contre d'en apprécier la qualité des différents constituants.

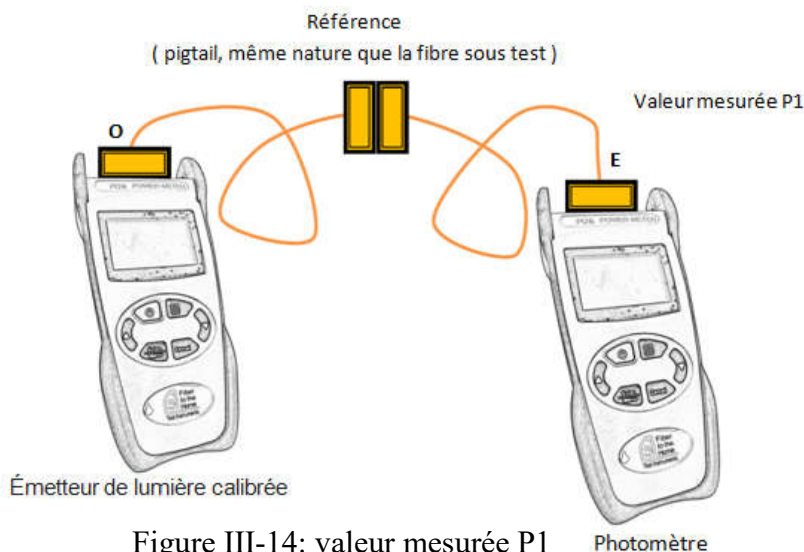


Figure III-14: valeur mesurée P1

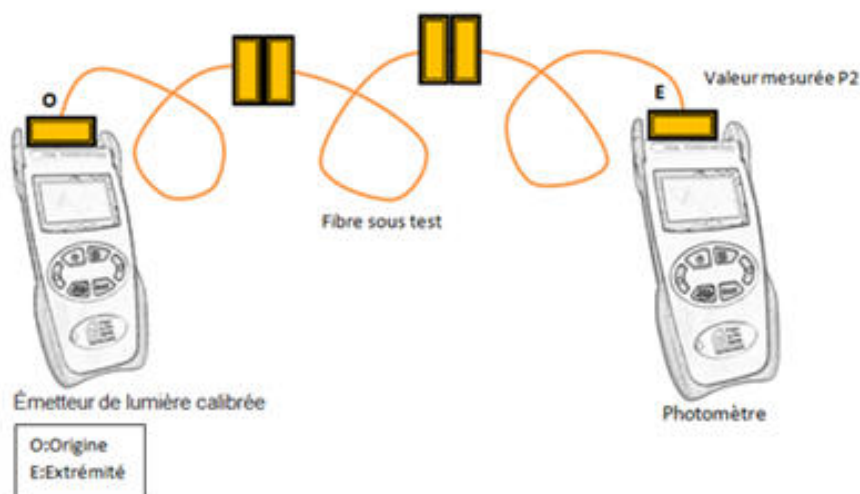


Figure III-15: valeur mesurée P2

$$\text{Atténuation totale de la liaison : } A(\text{dB}) = P1(\text{dB}) - P2(\text{dB}) \quad (\text{III-1})$$

Si P1 et P2 sont exprimés en W, la perte mesurée se calcule comme suit :

$$A(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P_1(w)}{P_2(w)} \right) \quad (\text{III-2})$$

Atténuation linéique :

$$\alpha = \frac{A(\text{dB})}{L(\text{km})} = \frac{10}{L(\text{km})} \log \left(\frac{P_1(w)}{P_2(w)} \right) (\text{dB/km}) \quad (\text{III-3})$$

Toutes les mesures doivent s'effectuer dans les deux sens : O->E et E->O, déterminant le sens d'injection de la lumière.

Cette méthode n'est applicable que si les connecteurs du récepteur et de la liaison à mesurer sont de même type.

Dans le cas contraire on utilisera la méthode dite « à 3 cordons de test de référence » dans laquelle la mesure en direct est faite avec 3 cordons de référence reliés les uns aux autres avec les raccords adaptés de telle sorte que le cordon du milieu ait les mêmes connecteurs que la liaison à mesurer.

B. Qualification des liaisons ODF-PBO

Pour permettre de qualifier les liaisons de bout en bout (de l'ODF Jusqu'au PBO), en plus des tests de réflectométrie (OTDR) déjà réalisés sur les deux tronçons Transport et distribution, des mesures d'insertions doivent être effectuées aux deux longueurs d'onde (1310nm et 1490 nm) stabilisées et calibrées.

Une puissance doit être émise et mesurée dans les deux sens, l'affaiblissement sera mesuré en dB à l'aide de Photomètre, ces mesures seront comparées avec l'affaiblissement théorique.

Ce test et mesures permettront entre autres de vérifier l'état de tous les splitter installés sur le réseau, afin de déterminer le bilan optique de la liaison [15].

➤ procédures de test :

- **Du ODF vers PBO : (Sens descendant).**

3. Connecter l'émetteur sur le port de l'ODF et le récepteur sur le port du PBO (à la sortie de splitter).
4. Tester l'atténuation correspondante à la longueur d'onde (1490nm), pour chaque sortie de splitter

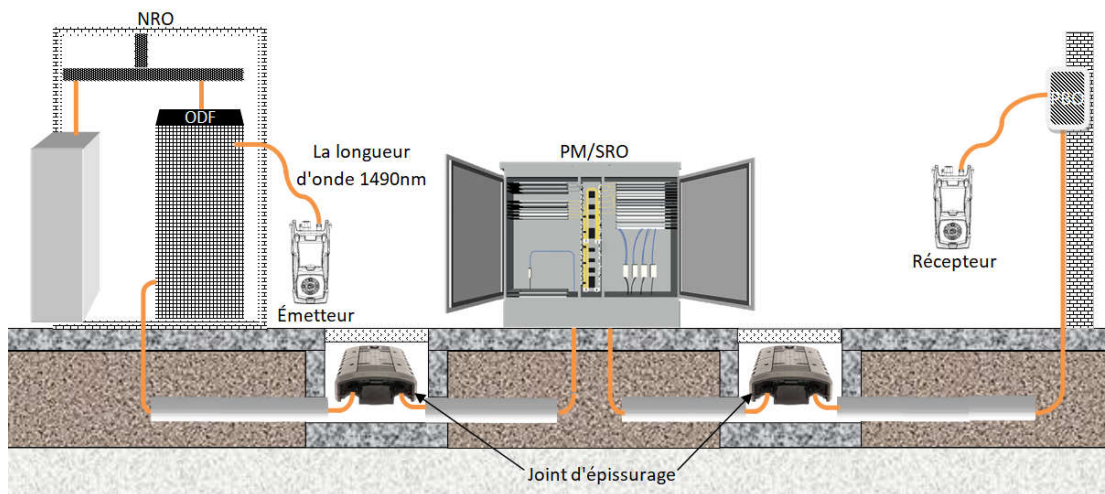


Figure III-16 Test du ODF vers PBO (Sens descendant).

- **Du PBO vers ODF : (Sens montant).**

1. Connecter l'émetteur sur chaque sortie de splitter logé dans le PBO et le récepteur sur le port de l'ODF .
2. Tester l'atténuation correspondante à la longueur d'onde (1310nm), pour chaque sortie de splitter

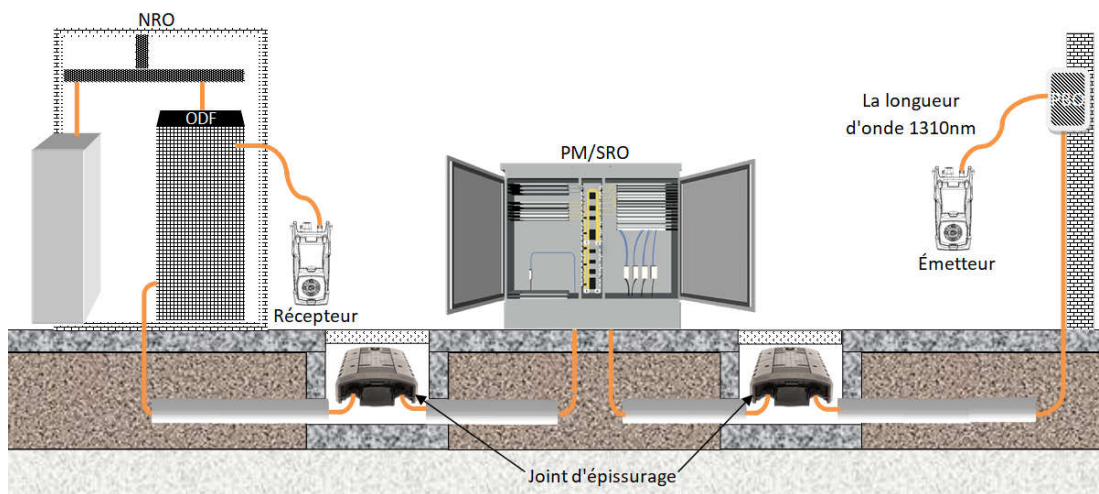


Figure III-17: Test du PBO vers ODF (Sens montant).

Les résultats des mesures de photométrie sont à comparer avec le bilan optique théorique calculé.

C. Bilan optique théorique.

Le bilan optique s'effectue entre le point de branchement optique (PBO) et le Point de Terminaison Optique (PTO). Le bilan optique dépend de la qualité des produits, du soin apporté lors de l'installation, des longueurs de câble en jeu et du type de connexion.

Il conviendra de comparer le bilan théorique calculé avec le bilan réel mesuré sur le terrain. Un écart d'atténuation supérieur à 10% doit conduire à s'interroger sur la qualité de l'installation ou des composants.

Le bilan optique théorique calculé comme suit :

$$\alpha_{\text{théorique}} = \alpha_L \cdot L + \alpha_e \cdot N_e + \alpha_c \cdot (N_{c-1}) \quad (\text{III-4})$$

Table III-5 : Valeur théorique de Bilan optique à 1310-1550nm [15]

		Valeur théorique à 1310nm	Valeur théorique à 1550nm
α_L	affaiblissement linéique en dB/km	0,33 dB/km	0,22 dB/km
L	longueur optique du tronçon à mesurer en km	/	/
α_e	affaiblissement maximum d'une épissure	0,10 dB/km	0,10 dB/km
N_e	nombre d'épissures total du tronçon	/	/
α_c	affaiblissement maximum d'un connecteur	0,50 dB/km	0,50 dB/km
N_c	nombre total de connecteurs	/	/

- **Standards.**

1. Moyenne atténuation de l'épissure est ≤ 0.1 dB
2. Atténuation du connecteur est ≤ 0.3 dB
3. L'atténuation de splitter 1:8 est $\leq 10,3$ dB
4. Atténuation du câble (par Km) est ≤ 0.35 dB (1310nm) ; ≤ 0.22 dB (1550nm)

- Exemple de calcul d'un bilan optique théorique [Algérie Télécom].

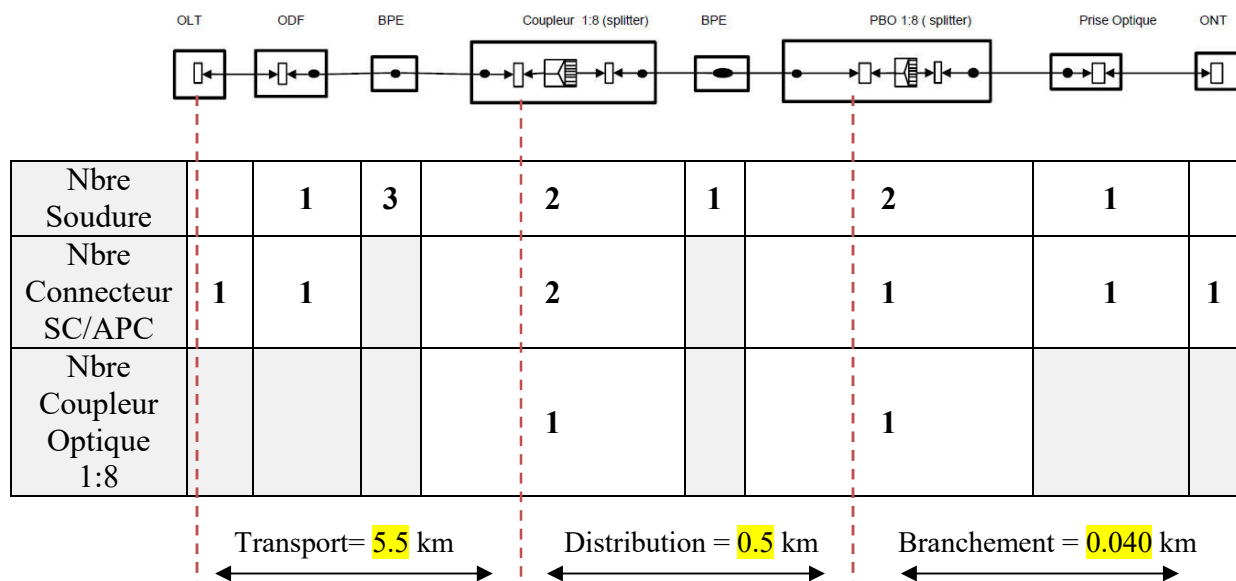


Table III-6 Calcul de l'atténuation Totale de la Liaison [15]

N°	Désignation	Type	Atténuation (dB)	Nbre	Unité	Pertes d'insertion (dB)
1	Câble FO	Affaiblissement câble FO à 1310nm	0.38	6.04	Km	2.30
2	Connecteur	Soudure	0.1	9	U	0.90
		Connecteur AC/APC	0.3	7	U	2.10
		Connecteur à montage Rapide	0.5	0	U	0.00
3	Coupleur Optique		10.6	2	U	21.20
4	Marge (vieillessement +Maintenance)	/	/	/	U	1.50
TOTAL						28.00

NB : Le Calcul de l'atténuation Totale de la Liaison se fait comme suit

$$\Sigma \text{Atténuation} = [\text{Affaiblissement à 1310 nm } (\lambda 1) \times (\text{Longueur du Câble en Km})] + \text{Atténuation Coupleur 1:8 (SRO)} + [\text{Atténuation des soudures} \times (\text{Nbre de Soudure})] + \text{Atténuation Coupleur 1:8(PBO)} + \text{Connectique APC} \times (\text{Nbre de connecteur}) \quad \text{(III-5)}$$

Le budget Optique (bilan optique) du même exemple peut être calculé grâce à un service fourni par Huawei via son site Web, appelé PON Link Budget Calculator (voir la figure ci-dessous).



PON Link Budget Calculator Fast calculate budget of PON links, high efficient and continent.

OLT optical module type *		GPON - Class B+	ONU optical module type *		GPON - Class B+
Split ratio of the level-1 optical splitter *		1:8	Split ratio of the level-2 optical splitter		1:8
Enable WDM1r ?		No	Enable EDFA ?		No

OLT


ODF


SSC


FDT


SSC


FAT


TB


ATB


ONU


Feeder fiber section ?		Distribution fiber section ?		Drop fiber section ?	
Optical fiber length *	5.5 km	Optical fiber length	0.5 km	Optical fiber length	0.04 km

Number of optical connectors *		Number of optical connectors		Number of optical connectors	
Fusion splicing ?	- 4 +	Fusion splicing	- 3 +	Fusion splicing	- 3 +
Mechanical splicing ?	- 2 +	Mechanical splicing	- 2 +	Mechanical splicing	- 3 +
Connector ?	- +	Connector	- 1 +	Connector	- 1 +
FMC ?	- +	FMC	- +	FMC	- +

Calculate

Reset

Downstream link attenuation (OLT to ONU)			
Link attenuation	27.41 dB	Normal	Normal range: 13 dB - 28 dB
Upstream link attenuation (ONU to OLT)			
Link attenuation	28.02 dB	Abnormal	Normal range: 13 dB - 28 dB
Suggestion: If the optical attenuation is over-large, click Query Detailed Budget , and then decrease the optical attenuation according to the displayed optical attenuation parameters.			

Query Detailed Budget

Export Detailed Budget

Figure III-18: Calculateur de budget de liaison PON [16].

III.4. Conclusion.

Ce chapitre a permis de présenter la phase de recette d'une installation FTTH, On a commencé par les outils de vérification et de mesure tel que Stylo optique laser, Photomètres, réflectomètre, Bobines amorce, Microscope d'inspection, Détecteur de fibre active et Atténuateurs

Ensuite nous avons abordé les mesures possibles ; contrôles visuels, Contrôle de continuité, Mesure de l'affaiblissement perte par insertion et par rétrodiffusion.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire nous sommes intéressés à la recette et test de conformité d'une installation FTTH. La recette d'une installation est la phase terminale, dont le but est de vérifier la conformité de l'installation par rapport aux spécifications techniques initiales.

Cette dernière permet de s'assurer la qualité du réseau et garantir la satisfaction des clients. Notre étude est focalisée sur les outils et normes utilisés pour tester les composants optiques, les liaisons à fibre optique et les réseaux optiques déjà déployés.

Tout d'abord ce travail nous a permis de renforcer et enrichir nos connaissances dans le domaine de communications optique.

Nous avons abordé plusieurs méthodes de mesure utilisées pour déterminer l'affaiblissement (ou l'atténuation) de la fibre optique, dont notamment : la méthode de perte par insertion (ou photométrie). et la méthode par rétrodiffusion (ou réflectométrie).

À la fin nous avons conclu que les tests de fibre optique sont essentiels pour s'assurer que le réseau est optimisé et peut fournir des services fiables et efficaces sans défaillance.

Bibliographie et webographie

- [1] B. Saley et M. Teich, Fundamentals of Photonics, A wiley-interconnection publication, (1991).
- [2] ET M. Joindot, Les télécommunications par fibres optiques, Dunod, (1996).
- [3] J.-P. Perez, Optique géométrique et ondulatoire, Masson, (1994).
- [4] G.P. Agrawal, Fiber optic communication systems, Wiley & Sons, New York (2002)
- [5] Assad Cours Télécommunications Optiques. 2008
- [6] J. Bures “ Optique guidée “ Presses internationales Polytechniques, (2008).
- [7] Marcuse, Theory of dielectric optical waveguides, Academic press, (1974).
- [8] Othonos and K. Kalli, Fiber Bragg Grating, Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing. Boston: Artech House, (1999).
- [9] Viavi Reference Guide to Fiber Optic Testing Volume 1.
- [10] C.R.E.D.O La fibre optique dans les réseaux d'entreprise .
- [11] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html
Université Paris Est-Marne la vallée.
- [12] Réseaux industriels et de télécommunications, Salem Hasnaoui, Centre de publication Universitaire, Tunis. 2003.
- [13] www.ieee.org Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [14] Course Code: ONU101102 ; Product:iManager U2000-T ; Product Version:V100R001, V100R002 by Huawei.
- [15] Documents internes d'Algérie Télécom (CPT FTTH Partie ODN version 1.0 septembre 2018)
- [16]https://info.support.huawei.com/AccessInfoTool/PON_Budget_Tool/index?language=en&do_main=0

Annexe 1 :

les caractéristiques techniques de la fibre monomode SMF-28 de CORNING.

Fibre optique ULL SMF-28 Corning

Avec technologie Ultra-Low Loss (pertes ultra-faibles) Corning®

Fiche produit

CORNING



La fibre SMF-28® ULL est un produit issu de la longue lignée de fibres optiques innovantes de Corning. Avec une atténuation maximum de 0,17 à 0,18 dB/km à 1550 nm, la SMF-28® ULL possède le taux le plus bas de perte de toutes les fibres monomodes terrestres existantes. De plus avec une valeur de la PMD d'une liaison raccordée PMD_q spécifiée à $\leq 0,04$ ps/√km, la fibre SMF-28® ULL présente la plus faible valeur de PMD (dispersion de mode de polarisation) de toutes les fibres conformes à la Recommandation UIT-T G.652. La combinaison de ces caractéristiques permet de générer des marges supplémentaires de réseau qui peuvent être utilisées pour étendre les distances de transmission, éliminer des sites d'amplification, migrer vers de plus hauts débits, ajouter des composants réseau pour une meilleure flexibilité ou augmenter la distance entre les régénérateurs. Il en résulte des réseaux longues distances et régionaux évolutifs pour le transport de capacités toujours plus grandes nécessaires pour répondre à la demande globale, sans cesse croissante, de bande passante.

Caractéristiques optiques

Atténuation maximum

longueur d onde (nm)	Valeur maximale* (dB/km)
1310	0,28 0,31
1550	0,17 0,18
1625	0,20 0,21

*Atténuation maximale spécifiée à disposition dans les plages indiquées. Possibilités d'atténuation alternatives disponibles sur demande.

Rapport atténuation / longueur d'onde

Port e (nm)	R f. λ (nm)	Diff rence α max (dB/km)
1285 1330	1310	0,03
1525 1575	1550	0,02
1625	1550	0,03

L'atténuation dans une plage de longueur d'onde donnée ne dépasse pas l'atténuation de la longueur d'onde de référence (λ) de plus de α.

Pertes dues à la macrocourbure

Diam tre du mandrin (mm)	Nombre de tours	longueur d onde (nm)	Att nuation induite* (dB)
32	1	1550	$\leq 0,1$
50	100	1310	$\leq 0,05$
50	100	1550	$\leq 0,05$
60	100	1625	$\leq 0,05$

*Atténuation induite provoquée par l'enroulement de la fibre autour d'un mandrin d'un diamètre spécifié

Discontinuité ponctuelle

longueur d onde (nm)	Discontinuit ponctuelle (dB)
1310	$\leq 0,05$
1550	$\leq 0,05$

Longueur d'onde critique du câble (λ_{cc})

λ_{cc} ≤ 1260 nm

Diamètre de champ de mode (MFD)

longueur d onde (nm)	MFD (μm)
1310	9,2 ± 0,5
1550	10,5 ± 0,5

Dispersion

longueur d onde (nm)	Valeur de dispersion [ps/(nm·km)]
1550	$\leq 18,0$
1625	$\leq 22,0$

Longueur d'onde de dispersion nulle (λ₀):

1300 nm $\leq \lambda_0 \leq 1324$ nm

Pente la longueur d'onde de dispersion nulle

(S₀): $\leq 0,092$ ps/(nm²·km)

Dispersion modale de polarisation (PMD)

	Value (ps/√km)
Valeur d une liaison raccordée PMD	$\leq 0,04^*$
Fibre individuelle maximum	$\leq 0,1$

*Conforme à la norme IEC 60794-3 : 2001, Section 5.5, méthode 1, (m = 20, Q = 0,01 %), septembre 2001.

La valeur d'une liaison raccordée décrit la PMD de plusieurs longueurs de fibre concaténées (également appelée PMD_Q). Cette valeur représente une limite maximale statistique pour la liaison PMD totale. Les valeurs PMD individuelles peuvent changer lorsque la fibre est connectée. Les spécifications des fibres Corning répondent aux exigences des réseaux pour des systèmes haut débit à 10 Gbits/s ou plus.

Comment commander

Contactez votre représentant commercial ou le service clientèle spécialisé dans la fibre optique :

Téléphone : 1-607-248-2000 (États-Unis et Canada)
+441244525320 (Europe)

E-mail : cofic@corning.com

Veuillez mentionner le type de fibre, le niveau d'atténuation, et la quantité lors de la commande.

Caractéristiques dimensionnelles

Géométrie du verre		Géométrie du revêtement	
Courbure de la fibre	Rayon de courbure de $\geq 4,0$ m	Diamètre du revêtement	$242 \pm 5 \mu\text{m}$
Diamètre de la gaine	$125,0 \pm 0,7 \mu\text{m}$	Concentricité revêtement-gaine	$< 12 \mu\text{m}$
Concentricité cœur-gaine	$\leq 0,5 \mu\text{m}$		
Non-circularité de la gaine	$\leq 0,7\%$		

Caractéristiques environnementales

Test environnemental	Conditions d'essai	Atténuation induite 1310 nm, 1550 nm et, 1625 nm (dB/km)
Temperature Dependence	-60 °C à +85 °C*	$\leq 0,05$
Cycle température/humidité	-10 °C à +85 °C* jusqu'à 98% d'humidité relative	$\leq 0,05$
Immersion dans l'eau	23 $\pm$ 2 °C	$\leq 0,05$
Vieillessement dans la chaleur	85 $\pm$ 2 °C*	$\leq 0,05$
Chaleur humide	85 °C à 85% d'humidité relative	$\leq 0,05$

*Température de référence = +23°C

Plage de température de fonctionnement : -60°C à +85°C

Caractéristiques mécaniques

Test de résistance

La fibre entière est soumise à une contrainte de traction supérieure ou égale à 100 kpsi (0,7 GPa)*.

*Des fibres soumises à des contraintes plus élevées sont disponibles sur demande.

Longueur

Longueurs de fibres jusqu'à 25,2* km/bobine.

*Des fibres épaissies plus longues sont disponibles sur demande.

Annexe 2

Rapport OTDR

(1310/1550 nm (9 μm))

Rapport OTDR (1550 nm (9 μm))

Informations générales

Nom de fichier :	Fiber13.trc	Client :	
Date du test :	03/06/2019	Société :	
Heure du test :	09:02:34	ID de la fibre:	Fiber13
ID du câble :			
ID de la tâche:			
Commentaires :			

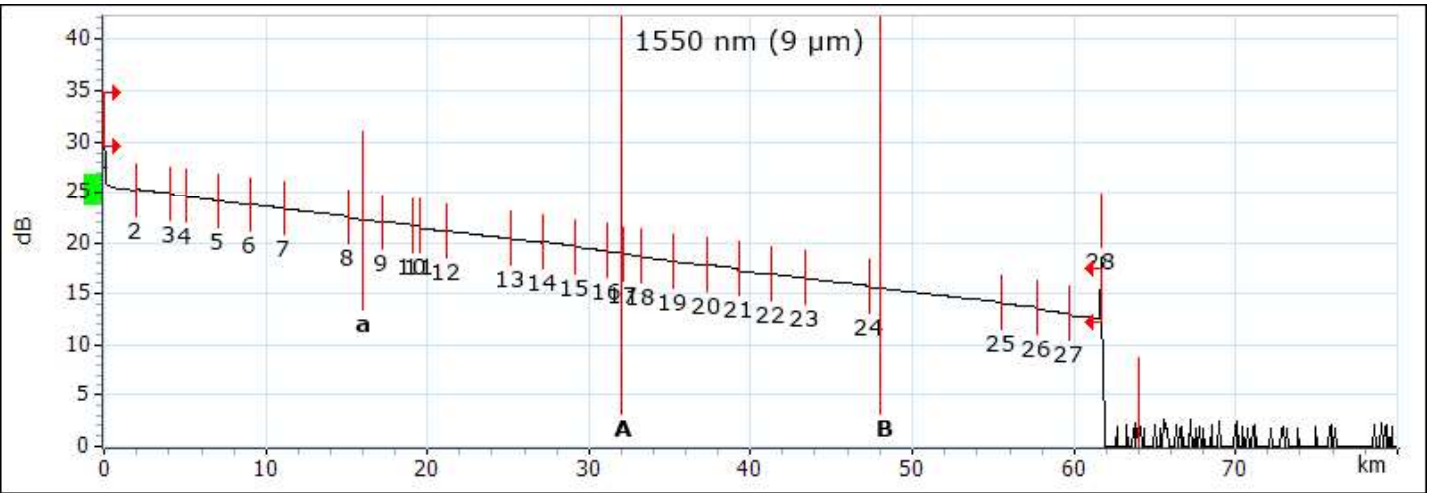
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Opérateur		
Modèle	FTB-735C-SM1-EI	
Numéro de série	1135866	
Date d'étalonnage	25/06/2018 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section :	61,6973 km	Perte moyenne :	0,223dB/km	Niveau d'injection:	26,1dB
Perte de la section :	13,742 dB	Perte d'épaisseur moyenne :	0,058 dB		
ORL de la section :	<23,14 dB	Perte d'épaisseur maximale :	0,266 dB		

Graphique



Marqueurs

Marqueur	Position (km)	Valeur (dB)	Atténuation LSA A-B :	0,205dB/km	Perte moyenne A-B:	0,213 dB/km
a	15,9995	22,269	Perte LSA A-B:	3,282dB	Perte d'événement 4 points:	-4,575 dB
A	32,0003	18,993	ORL A-B:	33,01dB	Réflectance maximale:	---
B	47,9998	15,592				
b	64,0006	0,000				

Rapport OTDR (1550 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-23,9		0,000
Section		2,0175	1,142		0,566	1,142
Positif	2	2,0175	-0,213			0,929
Section		2,0251	0,381		0,188	1,310
Non réfléchissant	3	4,0426	0,119			1,429
Section		0,9979	0,189		0,189	1,618
Non réfléchissant	4	5,0405	0,066			1,684
Section		2,0188	0,380		0,188	2,064
Non réfléchissant	5	7,0593	0,048			2,112
Section		2,0392	0,381		0,187	2,493
Positif	6	9,0985	-0,036			2,457
Section		2,0213	0,380		0,188	2,837
Non réfléchissant	7	11,1198	0,052			2,889
Section		4,0452	0,749		0,185	3,637
Non réfléchissant	8	15,1650	0,179			3,816
Section		2,0213	0,384		0,190	4,200
Positif	9	17,1863	-0,079			4,122
Section		1,9192	0,367		0,191	4,489
Non réfléchissant	10	19,1055	0,056			4,545
Section		0,4313	0,079		0,184	4,624
Non réfléchissant	11	19,5368	0,186			4,811
Section		1,6219	0,299		0,185	5,110
Positif	12	21,1587	-0,032			5,078
Section		3,9992	0,748		0,187	5,826
Non réfléchissant	13	25,1580	0,024			5,850
Section		1,9550	0,374		0,191	6,224
Positif	14	27,1129	-0,087			6,137
Section		2,0239	0,383		0,189	6,520
Non réfléchissant	15	29,1368	0,131			6,652
Section		2,0354	0,386		0,190	7,038
Non réfléchissant	16	31,1721	0,061			7,099
Section		0,9277	0,176		0,189	7,275
Non réfléchissant	17	32,0998	0,064			7,339
Section		1,1102	0,206		0,185	7,544
Non réfléchissant	18	33,2100	0,110			7,654
Section		2,0328	0,380		0,187	8,034
Non réfléchissant	19	35,2428	0,050			8,084
Section		2,0251	0,386		0,190	8,470
Positif	20	37,2680	-0,102			8,368
Section		2,0175	0,375		0,186	8,742
Non réfléchissant	21	39,2855	0,266			9,008
Section		2,0124	0,367		0,182	9,374
Positif	22	41,2978	-0,086			9,289
Section		2,0315	0,390		0,192	9,678
Non réfléchissant	23	43,3294	0,050			9,729
Section		4,0490	0,712		0,176	10,440

Rapport OTDR (1550 nm (9 µm))

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Non réfléchissant	24	47,3784	0,131			10,571
Section		8,0942	1,460		0,180	12,031
Non réfléchissant	25	55,4726	0,138			12,169
Section		2,1936	0,359		0,164	12,527
Non réfléchissant	26	57,6661	0,241			12,768
Section		2,0226	0,379		0,187	13,147
Non réfléchissant	27	59,6887	0,176			13,323
Section		2,0086	0,418		0,208	13,742
Réfléchissant	28	61,6973	---	-15,4		13,742

Macrocourbure

Aucune macro courbure détectée.

Seuils succès/échec

	1550 nm (9 µm)
Perte d'épissure (dB)	0,300
Perte du connecteur (dB)	0,750
Réflectance (dB)	-40,0
Atténuation de la section de fibre (dB/km)	0,400
Perte de la section (dB)	20,000
Longueur de la section (km)	0,0000
ORL de la section (dB)	15,00

Paramètres du test

	A → B
Longueur d'onde (nm)	1550 nm (9 µm)
Plage (km)	80,0000
Impulsion (ns)	100
Durée (s)	30

Réglages du test

	A → B	Longueurs d'onde de la Macro courbure	Perte delta de Macro courbure (dB)
IR	1,468325		
Rétrodiffusion (dB)	-81,87	1310 nm - 1550 nm	0,500
Facteur hélicoïdal (%)	0,00		
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0,020		
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72,0		
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5,000		

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Informations générales

Nom de fichier : Fiber13.trc
Date du test : 03/06/2019
Heure du test : 09:03:04
ID du câble :
ID de la tâche :
Commentaires :
Client :
Société :
ID de la fibre: Fiber13

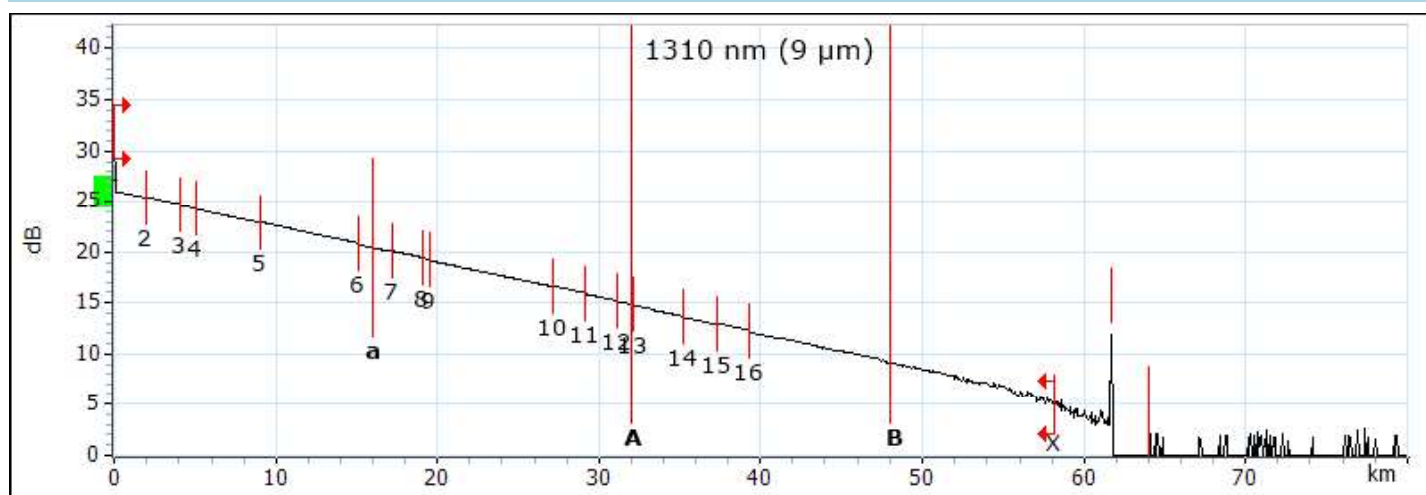
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Opérateur		
Modèle	FTB-735C-SM1-EI	
Numéro de série	1135866	
Date d'étalonnage	25/06/2018 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section : 58,1643 km
Perte de la section : 20,893dB
ORL de la section : <21,14 dB
Perte moyenne : 0,359dB/km
Perte d'épaisse moyenne : 0,040 dB
Perte d'épaisse maximale : 0,218 dB
Niveau d'injection: 26,2dB

Graphique



Marqueurs

Marqueur	Position (km)	Valeur (dB)	Atténuation LSA A-B :	0,348dB/km	Perte moyenne A-B:	0,357 dB/km
a	15,9995	20,398	Perte LSA A-B:	5,565dB	Perte d'événement 4 points:	-1,694 dB
A	32,0003	14,880	ORL A-B:	32,10dB	Réflectance maximale:	---
B	47,9998	9,163				
b	64,0006	0,000				

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-21,3		0,000
Section		2,0260	0,936		0,462	0,936
Positif	2	2,0260	-0,167			0,769
Section		2,0171	0,670		0,332	1,439
Non réfléchissant	3	4,0431	0,124			1,563
Section		1,0022	0,338		0,337	1,901
Non réfléchissant	4	5,0452	0,063			1,964
Section		4,0392	1,353		0,335	3,317
Positif	5	9,0845	-0,054			3,263
Section		6,0742	2,066		0,340	5,329
Non réfléchissant	6	15,1586	0,173			5,502
Section		2,0196	0,670		0,332	6,172
Positif	7	17,1783	-0,074			6,097
Section		1,9239	0,641		0,333	6,739
Non réfléchissant	8	19,1021	0,053			6,792
Section		0,4417	0,152		0,345	6,944
Non réfléchissant	9	19,5439	0,115			7,059
Section		7,5857	2,520		0,332	9,579
Positif	10	27,1296	-0,066			9,514
Section		2,0081	0,662		0,330	10,176
Non réfléchissant	11	29,1377	0,134			10,310
Section		2,0362	0,672		0,330	10,982
Non réfléchissant	12	31,1739	0,058			11,040
Section		0,9090	0,300		0,331	11,341
Non réfléchissant	13	32,0829	0,065			11,405
Section		3,1596	1,124		0,356	12,530
Non réfléchissant	14	35,2425	0,088			12,618
Section		2,0273	0,664		0,328	13,283
Positif	15	37,2698	-0,128			13,154
Section		2,0209	0,682		0,338	13,837
Non réfléchissant	16	39,2907	0,218			14,054
Section		18,8736	6,839		0,362	20,893
Fin de l'analyse	17	58,1643	---			20,893
Section		3,5439	---		---	---
Réfléchissant		61,7082	---	-15,1		---

Macrocourbure

Aucune macro courbure détectée.

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Seuils succès/échec

	1310 nm (9 µm)
Perte d'épissure (dB)	0,300
Perte du connecteur (dB)	0,750
Réflexance (dB)	-40,0
Atténuation de la section de fibre (dB/km)	0,400
Perte de la section (dB)	20,000
Longueur de la section (km)	0,0000
ORL de la section (dB)	15,00

Paramètres du test

	A → B
Longueur d'onde (nm)	1310 nm (9 µm)
Plage (km)	80,0000
Impulsion (ns)	100
Durée (s)	30

Réglages du test

	A → B	Longueurs d'onde de la Macro courbure	Perte delta de Macro courbure (dB)
IR	1,467700		
Rétrodiffusion (dB)	-79,45	1310 nm - 1550 nm	0,500
Facteur hélicoïdal (%)	0,00		
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0,020		
Seuil de détection de réflexion (dB)	-72,0		
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5,000		

Résumé

Ces dernières années, la demande de réseaux de télécommunications à large bande a augmenté. L'une des stratégies utilisées par les entreprises de télécommunications pour augmenter la bande passante applique l'approche FTTH (Fiber to the Home) et en utilisant la topologie PON (Passive Optical Network).

L'objectif de ce travail est de répondre à plusieurs questions, telles que : Qu'est-ce que les réseaux PON et quels sont leurs avantages ?, Quelles sont les étapes de la recette et tests de conformité d'une installation FTTH?

La phase de recette a pour but de vérifier que l'installation FTTH est conforme aux spécifications techniques. Une spécification de recette doit préalablement définir les différents contrôles à effectuer, les appareils de mesure nécessaires, les résultats à obtenir, ainsi que leur présentation à l'intérieur du cahier de recette.

Mots clés : fibre optique, PON, FTTH, OTDR, Cahier de recette.

Abstract

In recent years, the demand for broadband telecommunications networks has increased. One of the strategies used by telecommunication companies to increase bandwidth applies the FTTH (Fiber to the Home) approach and using the PON (Passive Optical Network) topology.

The objective of this thesis is to answer several questions, such as: What are PON networks, and what are their advantages ?, What are the steps in the acceptance and compliance testing of an FTTH installation?

The purpose of the acceptance phase is to check that the FTTH installation complies with the technical specifications. An acceptance specification must first define the various checks to be carried out, the measuring equipment required, the results to be obtained and their presentation in the measurement report.

Key words : Optical fibre, PON, FTTH, OTDR, Measurement report.

ملخص

في السنوات الأخيرة ازداد الطلب على شبكات الاتصالات ذات النطاق العريض ، إحدى الاستراتيجيات التي تستخدمها شركات الاتصالات لزيادة عرض النطاق الترددي هي شبكات الألياف البصرية إلى المنازل (FTTH) واستخدام طبولوجيا الشبكة الضوئية السلبية (PON).

إن الهدف من هذا العمل هو الإجابة على العديد من الأسئلة مثل: ما هي شبكات PON وما هي مزاياها ؟ و ما هي خطوات قبول واختبار الامتثال لتركيب شبكة FTTH ؟

الغرض من مرحلة القبول هو التحقق من أن تركيب شبكة FTTH يتوافق مع المواصفات الفنية حيث يجب أن تحدد مواصفات القبول التي يتعين إجراؤها ، وأجهزة القياس اللازمة ، والنتائج التي تم الحصول عليها في كتيب القبول.

الكلمات المفتاحية: الألياف البصرية، شبكة PON، شبكة FTTH ، كتيب القبول.