

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة ابو بكر بلقايد - تلمسان-  
Université Aboubekr Belkaïd-Tlemcen-  
Faculté De Technologie



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de **Master**

**En** : Systèmes des Télécommunications

**Présenté Par** : **BELHADI** Mohammed benabdellah

et **BOUCHENAK TALET** Abdelhak.

**Sujet** :

### **Techniques instrumentales dédiées aux communications optiques**

Soutenu par Visioconférence, le **30 / 09 / 2020**, devant le jury composé de :

**Président** : **Mr. KARIM Fethallah** MCA  
Université de Tlemcen

**Examineur** : **Mr. DEBBAL Mohammed** MCA  
Centre universitaire Ain-Témouchent

**Encadreur** : **Mr. CHIKH-BLED Mohammed** Prof  
Université de Tlemcen

**Année Universitaire: 2019-2020**

## **Remerciements**

*Avant tout, nous tenons à exprimer notre  
remerciements à*

*« **ALLAH** » le tout puissant et miséricordieux, qui nous a  
donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*Ce PFE ne serait pas aussi riche et n'aurait pu voir le  
jour sans l'aide de Monsieur CHIKH BLED Mohammed  
qui a accepté d'être notre encadreur durant cette  
année. Ses précieux conseils et son aide durant cette  
période de travail, ont contribué efficacement à  
l'avancement de ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres  
du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche  
en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir  
par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les  
personnes qui nous ont aidés de près ou de loin et en  
particulier tous nos amis de la promotion ST.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail  
Aux êtres les plus chers au monde  
A « Mes Parents » qui ont été toujours là  
pour moi et pour tous ses efforts et sacrifices  
qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir.  
A mon frère, mes sœurs et toute la famille,  
Pour l'amour,  
L'attention, l'aide et le soutien qu'ils m'ont  
apporté.  
A mes amies  
A tous ceux qui m'aiment  
A tous ceux que j'aime*

*Mohammed Benabdellah*

## *Dédicaces*

*A mes très chers parents et mes  
grands-parents.*

*A mes frères et à mes sœurs.*

*A tous mes amis qui m'aiment et qui  
m'apprécient.*

*Je dédie ce modeste projet.*

*Abdelhak*

## **Table des matières**

Introduction générale .....	XIV
1 Généralités sur les réseaux optiques .....	1
1.1 Introduction .....	1
1.2 Etat de l'Art de fibre optique .....	1
1.2.1 Définition .....	1
1.2.2 Le matériau de base (la silice).....	2
1.2.3 Structure .....	3
1.2.4 Classification.....	3
1.2.5 Le principe de propagation.....	9
1.2.6 Loi de Snell-Descartes .....	10
1.2.7 Caractéristiques de la fibre optique .....	11
1.3 Introduction aux réseaux de fibre optique .....	15
1.3.1 Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution [7] .....	15
1.3.2 Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur [8].....	16
1.4 Les couches du réseau d'accès .....	18
1.4.1 Différents Composants d'un réseau optique [9].....	19
1.4.2 Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH.....	22
1.4.3 Architecture du réseau d'accès optique FTTH.....	23
1.4.4 Les catégories du PON [14] .....	28
1.4.5 WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing PON).....	30
1.4.6 OFDMA-PON .....	30
1.4.7 Comparaison entre xDSL et FTTH .....	32
1.5 Conclusion .....	32
2 <i>Les équipements de maintenance optiques</i> .....	34
2.1 Introduction sur la maintenance d'un réseau optique .....	34
2.2 L'essentiel des matérielles fibres optique .....	34
2.2.1 Le brassage optique .....	34
2.2.2 Le repérage .....	35
2.3 Dénudage .....	37
2.3.1 Dénudeuses.....	37
2.4 Mesures de la manipulation .....	38
2.4.1 Mesures sur touret avant pose .....	38
2.4.2 Mesures après pose.....	38

## **Table des matières**

2.4.3	Mesures après raccordement .....	38
2.4.4	Mesures de recette de la liaison.....	39
2.4.5	Calcul de bilan de liaison .....	39
2.4.6	Mesures d'insertion .....	40
2.5	Mesure de réflectométrie .....	41
2.6	Le réflectomètre.....	42
2.6.1	Description d'un réflectomètre JDSU .....	43
2.6.2	Description d'un OTDR (OFL250).....	43
2.7	La soudure optique .....	45
2.7.1	Caractéristiques d'une Soudeuse optique.....	46
2.8	Clivage optique.....	46
2.8.1	Cliveuse.....	47
2.9	Protections d'épissures (smouves).....	48
2.10	Les photomètres (Wattmètre Optique) .....	49
2.10.1	OPM1 « mesure de puissance en dB ».....	49
2.10.2	OPM4 « mesure directe de l'atténuation ».....	49
2.10.3	OPM5 « pour stocker les résultats ».....	50
2.11	Téléphones Optiques .....	50
2.12	Sonde d'inspection fibre optique.....	52
2.13	Conclusion.....	53
3	<i>La réflectométrie optique (OTDR)</i> .....	59
3.1	Introduction .....	59
3.2	Les signaux de la réflectométrie résolue en temps .....	59
3.3	Pertes et atténuation dans une fibre optique .....	61
3.3.1	Diffusion Rayleigh .....	61
3.3.2	Rétrodiffusion.....	62
3.3.3	Evaluation de la puissance rétrodiffusée .....	63
3.4	Schéma interne d'un OTDR .....	65
3.5	Signatures observables sur un OTDR.....	65
3.6	Réaliser une mesure de réflectométrie optique en 5 étapes.....	66
3.6.1	Le choix des bobines amorces.....	66
3.6.2	La préparation du matériel .....	66
3.6.3	Le choix des paramètres de mesure.....	67
3.6.4	La mesure .....	68
3.6.5	Analyse de la courbe .....	68

## **Table des matières**

3.7	Choix et rôle d'un réflectomètre dans les différentes installations .....	68
3.7.1	Installations extérieures .....	68
3.7.2	Réseaux dans les bâtiments (LAN/WAN, Datacenter, entreprise) .....	69
3.8	Compréhension les principales spécifications des réflectomètres optiques .....	69
3.8.1	Longueurs d'onde .....	69
3.8.2	Plage dynamique .....	70
3.8.3	Zones mortes .....	71
3.8.4	Largeurs d'impulsion .....	71
3.8.5	Connaître l'usage prévu .....	71
3.8.6	Réflectomètres optiques recommandés en fonction de l'usage prévu .....	72
3.8.7	Autres spécifications d'OTDR importantes lors de tests de réseaux FTTH/PON 73	
3.8.8	Résultats de tests d'OTDR .....	73
3.9	Facteurs à prendre en compte pour choisir un réflectomètre optique : .....	74
3.10	Bonnes pratiques en matière de réflectométrie optique .....	75
3.10.1	Utilisation des bobines amorces .....	75
3.10.2	Inspection proactive des connecteurs .....	76
3.11	Description des évènements dans les fibres .....	77
3.11.1	Début de section .....	77
3.11.2	Fin de section .....	77
3.11.3	Fibre continue .....	78
3.11.4	Fin d'analyse .....	79
3.11.5	Événement non réfléchissant .....	80
3.11.6	Événement réfléchissant .....	81
3.11.7	Événement positif .....	82
3.11.8	Niveau d'injection .....	83
3.11.9	Section de fibre .....	84
3.11.10	Événement réfléchissant fusionné .....	85
3.11.11	Écho .....	86
3.11.12	Événement réfléchissant (écho possible) .....	87
3.12	Conclusion .....	88

# Table des figures

## Chapitre I

Figure 1:(1.1): présentation d'une fibre optique .....	3
Figure 2:(1:2): Fibre multimode à saut d'indice [3].....	5
Figure 3:(1:3): principe de base d'une fibre à saut d'indice .....	5
Figure 4:(1:4): présentation d'un cône d'acceptance d'une fibre optique.....	5
Figure 5:(1:5): Fibre multimode à gradient d'indice.....	6
Figure 6:(1:6): Fibre optique à gradient d'indice.....	7
Figure 7:(1:7): Fibre optique monomode [5] .....	7
Figure 8:(1:8): Performance des trois types fibres .....	9
Figure 9:(1:9): Propagation du signal lumineux dans le cœur .....	10
Figure 10:(1:10): Principe de la réfraction de la lumière.....	11
Figure 11:(1:11): L'ouverture numérique de fibre optique.....	11
Figure 13:(1:13): schéma des pertes et atténuation qui existent au sein d'une fibre optique.....	14
Figure 12:(1:12): Type de perte connectique.....	14
Figure 14:(1:14): Réseaux optique jusqu'au point de distribution.....	15
Figure 15:(1:15): Réseaux optique jusqu'à l'utilisateur .....	17
Figure 16:(1:16): Différentes technologies FTTH .....	18
Figure 17:(1:17): Les couches d'un réseau d'accès.....	19
Figure 18:(1:18): Equipement OLT.....	20
Figure 19:(1:19): Equipement ONT.....	20
Figure 21:(1:21): Les différentes parties du réseau FTTH.....	21
Figure 20:(1:20): Equipement ONU .....	21
Figure 22:(1:22): chemin de la fibre .....	22
Figure 23:(1:23): Topologie général du réseau FTTH .....	23
Figure 24:(1:24): Architecture P2P .....	24
Figure 25:(1:25): Architecture PON.....	25
Figure 26:(1:26): Différents architecture utilisé en PON.....	26
Figure 27:(1:27): PON en sens montant.....	26
Figure 29:(1:29): Architecture PON unidirectionnelle .....	27
Figure 28:(1:28): Architecture PON Sens descendant .....	27
Figure 30:(1:30): Architecture PON bidirectionnelle.....	28
Figure 31:(1:31): Architecture G-PON .....	29
Figure 32:(1:32): Schéma de principe de l'OFDMA-PON .....	31

## Table des figures

### Chapitre II

Figure 33:(2:1): Tiroir optique 19" avec 24 SC duplex monomode .....	35
Figure 34:(2:2): câble à 72 fibres optiques .....	35
Figure 35:(2:3): structure de câble optique.....	36
Figure 36:(2:4): liaison par jarretière .....	40
Figure 37:(2:5): liaison après démontage de connexion .....	40
Figure 38:(2:6): liaison à tester .....	41
Figure 39:(2:7): forme d'un signal dans un réflectomètre .....	42
Figure 40:(2:8): réflectomètre JDSU .....	43
Figure 41:(2:9): réflectomètre OFL250 .....	44
Figure 42:(2:10): le résultat d'OTDR sous la forme d'une courbe atténuation-distance .	45
Figure 43:(2:11): opération de soudure.....	45
Figure 44:(2:12): soudeuse optique.....	46
Figure 45:(2:13): cliveuse FC-7R.....	47
Figure 47:(2:15): quelques types de dénudeuses.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 46:(2:14): protections d'épissures (smouves).....	48
Figure 48(2:16): photomètre de type OPM1 .....	49
Figure 49:(2:17): photomètre de type OPM4 .....	50
Figure 50:(2:18): photomètre de type OPM5 .....	50
Figure 51:(2:19): le téléphone optique et ses accessoires .....	51
Figure 52:(2:20): FIP-400B USB - Sonde d'inspection de fibre .....	53

### Chapitre II

Figure 53:(3:1): Exemple de courbe obtenue avec un OTDR commercial .....	59
Figure 54:(3:2): Pertes dans une fibre optique en silice en fonction de la longueur .....	61
Figure 56:(3:4): Rétrodiffusion d'une portion z dans une fibre.....	62
Figure 55:(3:3): Une fibre optique avec le cœur inhomogène.....	62
Figure 57:(3:5): Impulsion rétrodiffusée.....	63
Figure 58:(3:6): Schéma fonctionnel du réflectomètre .....	65
Figure 59:(3:7): Vue d'OTDR classique .....	74
Figure 59:(3:7): Vue d'OTDR classique .....	74
Figure 60:(3:8): Représentation à base d'icônes .....	74
Figure 61:(3:9): Processus (inspecter avant connecter) .....	76
Figure 62:(3:10): Trace d'une fibre continue .....	78
Figure 63:(3:11): Trace pour la fin d'analyse.....	79
Figure 64:(3:12): d'un événement non réfléchissant.....	80
Figure 65:(3:13): Trace d'un événement réfléchissant .....	81
Figure 66:(3:14): Trace d'un événement positif .....	82
Figure 67:(3:15): Trace du niveau d'injection .....	83
Figure 68:(3:16): Trace d'une section de fibre .....	84
Figure 69:(3:17): Trace d'un événement réfléchissant fusionné.....	85
Figure 70:(3:18): Trace d'écho.....	86
Figure 71:(3:19): Trace d'un événement réfléchissant avec la possibilité d'un écho.....	87

## *Liste des tableaux*

### *Chapitre I*

Tableau 1:(1:1): L'utilisation de la fibre optique est classifiée en fonction de la matière ..4	
Tableau 2:(1:2): comparaison entre (monomode / multimode).....9	9
Tableau 3:(1:3): Comparaison entre les trois catégories de PON ..... 30	30
Tableau 4:(1:4): Comparaison du débit entre FTTH et ADSL ..... 31	31
Tableau 5:(1:5): Comparaisons entre xDSL et FTTH..... 32	32

### *Chapitre II*

Tableau 6:(2:1): Code de couleur France Telecom..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tableau 7:(2:2): Code couleur FOTAG 802.8 ..... 37	37
Tableau 8:(2:3): caractéristiques des pertes ..... 38	38
Tableau 9:(2:4): spécification des téléphones optiques de type FTS..... 51	51

### *Chapitre III*

Tableau 10:(3:1): Traces observées sur un OTDR..... 65	65
Tableau 11:(3:2): La plage de mesures d'un réflectomètre optique ..... 70	70

## **Table des équations**

### **Chapitre I**

Équation 1:(1:1): L'indice de réfraction absolu.....	10
Équation 2:(1:2): L'angle d'incidence I1 et l'angle de réfraction I2.....	11
Équation 3:(1:3): l'ouverture numérique .....	12
Équation 4:(1:4): la différence entre la puissance en entrée de la fibre et la puissance en sortie.....	13
Équation 5:(1:5): L'atténuation dans une fibre optique.....	13
Équation 6:(1:6): La bande totale .....	14

### **Chapitre II**

Équation 7:(2:1): bilan de liaisons.....	39
--	----

### **Chapitre III**

Équation 8:(3:1): le signal reçu.....	60
Équation 9:(3:2): la puissance lumineuse dans une ligne de transmission optique .....	60
Équation 10:(3:3): la puissance en exponentielle .....	61
Équation 11:(3:4): le flux.....	61
Équation 12:(3:5): moyen d'un coefficient de capture S.....	63
Équation 13:(3:6): les equations de puissance rétrodiffusée .....	64
Équation 14:(3:7): la puissance rétrodiffusée lorsque l'impulsion est très faible ( $v_g \ll 1$ ). .....	64
Équation 15:(3:8): le coefficient de rétrodiffusion.....	64

## *Liste des acronymes*

**A-PON:** Asynchronous Transfert Mode Passive Optical Network.

**ATM:** Asynchronous Transfert Mode.

**ADSL:** Asymetrique Digital Subscriber Line.

**BER:** Bit Error Rate.

**B-PON:** Broadband Passive Optical Network.

**DSLAM:** Digital Subscriber Line Acces Multiplexing.

**DWDM:** Dense Wavelengh Division Multiplexing.

**E-PON:** Ethernet Passive Optical Network.

**FTTB:** Fiber To The Building.

**FTTC:** Fiber To The Curb.

**FTTH:** Fiber To The Home.

**HFC:** Hybrid Fiber Coaxial.

**IP:** Internet Protocol.

**LED:** Light Emitting Diode.

**Mn:** Magnésium.

**MCVD:** Modofied Chemical Vapor Déposition.

**NC :** Nombre de Connecteur.

**NT:** Network Termination.

**NGN:** Next Generation Network.

**NRO:** Nœud de Raccordement Optique.

**NRZ:** Non-Return-to-Zero.

**ONT:** Optical Network Termination.

**OLT:** Optical Line Terminal.

**ONU:** Optical Network Unit.

**OptiSystem:** Optical Communication System Design.

**P2P:** Point to Point.

**POP:** Point Of Presence.

**PTO:** Point de Terminaison Optique.

## *Liste des acronymes*

**PBO:** Point du **B**ranchement **O**ptique.

**PCVD:** Plasma Chemical Vapor **D**éposition.

**RZ:** Return-to-**Z**ero.

**RN:** Remote Node.

**RTC:** Réseau **T**elephonique **C**ommuté.

**SRO:** Sous-**R**épartiteur **O**ptique.

**SDH:** Synchronous **D**igital **H**ierarchy.

**SONET:** Synchronous **O**ptical **N**etwork.

**VAD:** Vapor **A**xcial **D**éposition.

**VDSL:** Very high bit rate **D**igital **S**ubscriber **L**ine (Ligne Numérique d'Abonné très haut débit).

**WDM:** Wavelength **D**ivision **M**ultiplexing.

## *Introduction générale*

### *Introduction générale*

La mesure par OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) est couramment utilisée pour tester les lignes de transmission optique. C'est une technique qui permet de caractériser la fibre optique simplement, à partir d'une seule de ses extrémités, et conduit à la localisation précise des défauts, à la mesure de l'atténuation de la fibre et aux pertes différentielles entre deux points choisis de la fibre. Son principe consiste à injecter dans la fibre une impulsion lumineuse suffisamment brève et puissante, qui se réfléchit sur les discontinuités dans la fibre (extrémités, inhomogénéités, . . .). Le temps qui sépare l'émission de l'impulsion de la réception du signal réfléchi donne la position du défaut dans la fibre. La hauteur de l'impulsion réfléchie informe sur l'importance et la nature du défaut. De plus, la mesure de la lumière rétrodiffusée par diffusion Rayleigh en direction du détecteur, même en l'absence de défauts réfléchissants le long de la fibre, permet de connaître l'absorption de la fibre à la longueur d'onde de l'impulsion injectée.

Les objectifs visés dans le cadre de ce mémoire est d'étudier, et de comparer les différents types d'instruments utilisés par les équipementiers dans le déploiement des réseaux optiques de télécommunications. L'instrumentation optique (Wattmètres optiques, réflectomètres, d'analyseurs de spectres optiques) permettant de contrôler les performances, ainsi que les caractéristiques de ces réseaux. Les principaux objectifs de ce travail de PFE sont les suivants :

- Compréhension des concepts techniques de la métrologie des fibres optiques.
- Performances/ coûts, et critères pour le choix d'un instrument.
- Localisation des événements et mesure de l'atténuation des jonctions des connecteurs
- Exploitation, interprétation, et présentation des courbes ou spectres optiques.

Le mémoire se décline en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux réseaux optiques de télécommunications. Après une description de la structure d'une fibre optique, ainsi que de ses caractéristiques, une présentation des réseaux d'accès optiques est présentée avec différentes topologies et configurations.

## ***Introduction générale***

Le chapitre deux s'intéresse à la maintenance des réseaux optiques avec une présentation des équipements, et instruments permettant de contrôler, et tester leur faisabilité.

Enfin, le dernier chapitre est dédié à la technique OTDR (Optical Time Domain Reflectometry). Il a pour objectifs la compréhension des concepts techniques, les performances, et les critères qu'on peut retenir pour le choix d'un réflectomètre. Les techniques de localisation des évènements, et de mesure de l'atténuation au niveau des jonctions sont également étudiées.

# Chapitre I :

# Généralités sur les réseaux optiques

## **1.1 Introduction**

Une des grandes tendances de la fin des années 90 est la demande croissante en bande passante des réseaux d'entreprises et d'opérateurs. Plusieurs facteurs induisent cette demande : de plus en plus d'utilisateurs de l'Internet, les applications de calcul incluant les bases de données distribuées, les communications multimédia, le commerce électronique... L'évolution des capacités de transport des fibres optiques permet de reconsidérer complètement les infrastructures physiques actuellement à 2,5Gb/s ATM et 10 Gb/s SONET-SDH. Les réseaux optiques basés sur l'émergence d'une couche de transport optique fournissent une plus grande capacité et réduisent les coûts pour la mise en œuvre des nouvelles applications. La venue des technologies basées sur la fibre optique a intégralement révolutionné l'univers des télécommunications.

Ce chapitre sera consacré à l'état de l'art de la fibre optique, les caractéristiques d'une liaison optique, avantages et inconvénients ainsi les différentes architectures des réseaux d'accès optiques.

## **1.2 Etat de l'Art de fibre optique**

Actuellement, dans l'environnement des télécommunications, la fibre optique est le support de transmission idéal et le plus fiable, le plus sécurisée et plus rapide.

### **1.2.1 Définition**

Depuis l'apparition du laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), source de lumière très directive, on assiste à un regain d'intérêt pour la transmission optique. La première idée fut de transmettre la lumière en atmosphère libre, celle-ci fut très vite abandonnée en raison des problèmes d'absorption de lumière par l'atmosphère, de plus le faisceau origine directif devenait à l'arrivée très divergent. Il était donc nécessaire de guider la lumière dans un milieu plus approprié. C'est la fibre optique qui a été retenue comme étant le guide de lumière le plus adapté.

### **1.2.2 Le matériau de base (la silice)**

Le verre est utilisé par l'homme depuis plusieurs millénaires. C'est un matériau dont les propriétés ont pu être considérablement améliorées au cours du temps en jouant d'abord sur la composition, la microstructure et la maîtrise de la surface, puis, plus récemment.

Un des paramètres importants qu'il faut considérer dans le choix d'un matériau pour réaliser une fibre optique, c'est son niveau de pertes en transmission à la longueur d'onde de travail.

Ces pertes doivent être les plus faibles possibles. Ce matériau doit résister à de nombreuses contraintes : il doit notamment avoir une bonne résistance chimique, thermique et conserver ses propriétés au fil du temps, c'est-à-dire résisté au vieillissement.

Quelques exemples de matériaux candidats à la « transparence » :

- La silice dopée avec divers ions métalliques alcalins et simultanément du fluor
- Germanates, verres d'oxydes de germanium

Jusqu'à aujourd'hui, pour les transmissions à longue distance, seule la silice vitreuse est utilisée. Le verre de silice a été le premier matériau à permettre la fabrication de fibres présentant de faibles pertes. Le problème qui apparaît est qu'il est très peu compatible avec les terres-rares, c'est à dire les produits dopants. Il existe plusieurs méthodes de fabrication des fibres en verre de silice : les méthodes en phase vapeur (PCVD, VAD, MCVD).

### 1.2.3 Structure

La partie optique de la fibre est constituée d'un cœur, d'indice de réfraction  $n_c(r)$ , centré sur l'axe de la fibre et entourée d'une gaine annulaire, d'indice de réfraction  $n_g(r)$  inférieur à  $n_c(r)$ . [2]

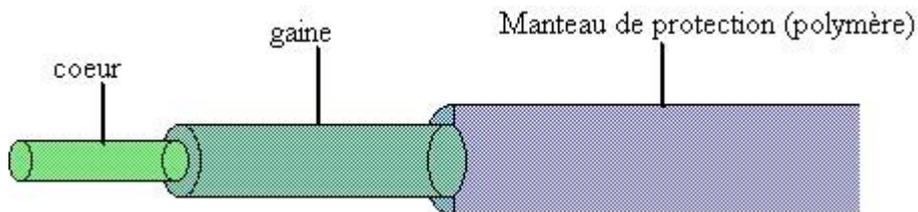


Figure 1:(1.1): présentation d'une fibre optique

Schématiquement, en partant de l'extérieur on rencontre successivement :

- ♣ Une couche de protection mécanique en matière plastique. En effet, la fibre de silice est protégée par un revêtement de quelques dizaines de micromètres, qui l'isole des agents corrosifs du milieu extérieur et lui confère sa très grande flexibilité. Les matériaux le plus souvent utilisés pour ce revêtement protecteur sont des polymères (polyuréthane...)
- ♣ Une gaine optique, zone où  $n_g(r)$  reste constant.

Le diamètre externe d'une fibre de silice peut varier entre quelques dizaines et plusieurs centaines de micromètres (typiquement de 125  $\mu\text{m}$ ). Le diamètre du cœur, constant sur la longueur de la fibre, varie de quelques micromètres pour les fibres unies modales jusqu'à plusieurs centaines de micromètres pour les fibres multimodales

### 1.2.4 Classification

Selon le mode de propagation des modes on distingue deux grandes familles de fibres optiques :

- ♣ Les fibres optiques multimodes peuvent être à saut d'indice et celle de gradient d'indice.
- ♣ Les fibres optiques monomodes

L'utilisation de la fibre optique est classifiée en fonction de la matière dont elle a été façonnée comme illustré dans le **tableau** suivant :

Tableau 1:(1:1): L'utilisation de la fibre optique est classifiée en fonction de la matière

Type	Caractéristique	Utilisation
<b>Fibre plastique</b>	Bon marché	Lampe décorative
	Vieillesse mal	Commande thyristor sous haute tension
	Supporte mal d'échauffement	
	Atténuation importante	Liaison audio à Hi-Fi
<b>Fibre de verre</b>	Atténuation importante	Eclairage en milieu explosif Signalisation routière
<b>Fibre de silice</b>	Atténuation faible	Eclairage à grande distance
		Détection de brouillarde
		Transmission des données

#### 1.2.4.1 Fibre multimode à saut d'indice

Le terme multimode signifie que nous avons plusieurs modes de propagation. De plus c'est une fibre pour laquelle l'indice du cœur est constant, on l'appellera  $n_1$  cet indice  $n_1$  passe brutalement à la valeur  $n_2$  dans la gaine. Le diamètre du cœur est assez grand, les rayons lumineux qui sont injectée ensemble peuvent emprunter des chemins différents (multimode) avec une vitesse de propagation et ont donc des temps de propagation différente. Le signal étant transporté par plusieurs rayons lumineux subira une déformation du fait que des rayons injectés en même temps arrivent en rangs dispersés. Cette déformation du signal sera en fonction de la longueur de la liaison optique. Par ailleurs, on minimisera les déformations en espaçant l'injection des rayons dans la fibre d'où la limitation de la bande passante de ce type de fibre.

- **Avantages**

Avec une fibre multimode à saut d'indice on peut bénéficier :

- ✓ Faible prix
- ✓ Facilité de mise en œuvre
- ✓ Débit : environ 100 Mbit/
- ✓ Portée maximale : environ 2 Km

✓ Affaiblissement : 10 dB/Km

• Inconvénients

L'inconvénient d'une fibre multimode à saut d'indice est la perte et distorsion importante du signal optique.

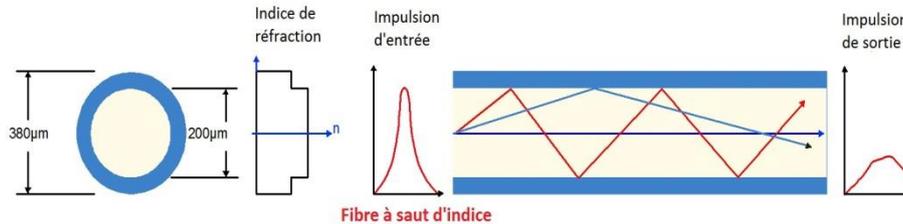


Figure 2:(1:2): Fibre multimode à saut d'indice [3]

• Principe de base

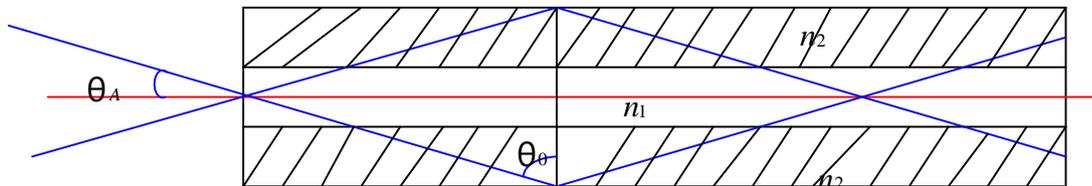


Figure 3:(1:3): principe de base d'une fibre à saut d'indice

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice  $n_1$  dans un milieu d'indice  $n_2 < n_1$ , il existe un angle limite d'incidence, se calculant par  $\sin(\theta_A) = \frac{n_2}{n_1}$  tel que l'angle de réfraction n'existe plus : Il y a réflexion totale. Si ce phénomène se produit à l'interface entre le cœur de la fibre et la gaine, la lumière peut être guidée tout au long de celle-ci, avec très peu d'atténuation.

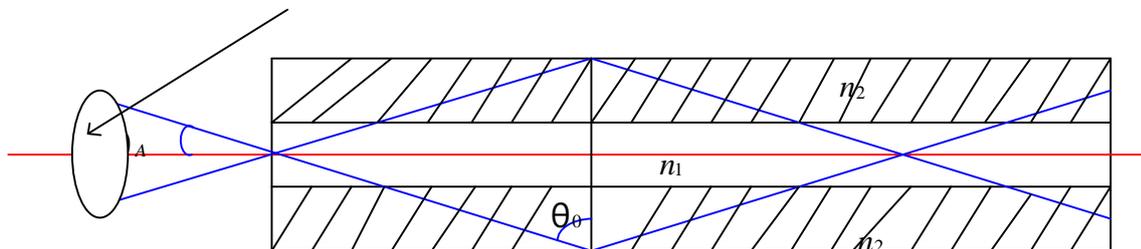


Figure 4:(1:4): présentation d'un cône d'acceptante d'une fibre optique

Le cône d'acceptance, représente l'angle dans lequel un rayon incident est transmis dans la fibre. Il est défini par son sinus, appelé "ouverture numérique". Cette quantité ne dépend que des indices extrêmes  $n_2$  et  $n_1$ .

### 1.2.4.2 Fibre multimode à gradient d'indice

Pour améliorer les performances en bande passante et donc diminuer la dispersion intermodale. Le caractère multimodal de la fibre impose que l'on ait des trajets différents. Cependant si l'énergie qui s'écoule loin de l'axe (trajets longs) a une vitesse de propagation plus élevée que celle qui s'écoule près de l'axe (trajets courts), les temps de propagation seront sensiblement équivalents.

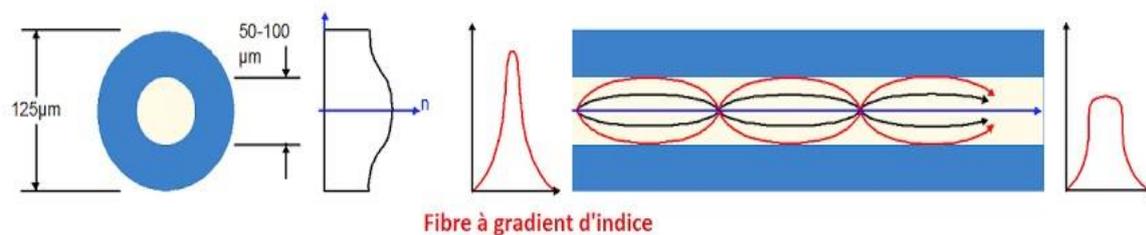


Figure 5:(1:5): Fibre multimode à gradient d'indice

- **Avantages**

L'avantage d'une Fibre multimode à gradient d'indice est :

- ✓ Bande passante raisonnable
- ✓ Bonne qualité de transmission
- ✓ Débit : environ 1 Gbit/s
- ✓ Portée maximale : environ 2 Km
- ✓ Affaiblissement : 10 dB/Km

- **Inconvénients**

Une fibre multimode à gradient d'indice est difficile à mettre en œuvre.

- **Principe de base**

C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de

réfraction entre cœur et gaine. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

- Ces fibres sont spécialement conçues pour les télécommunications. Leur cœur n'est plus homogène : la valeur de l'indice de réfraction décroît depuis l'axe jusqu'à atteindre la valeur de l'indice de la gaine. Par conséquent, le principe de propagation dans une fibre à gradient d'indice repose sur un effet de focalisation : le faisceau lumineux est continuellement dévié vers l'axe optique de la fibre. Par ailleurs, cette déviation oblige le signal optique à une forme d'un signal sinusoïdal.

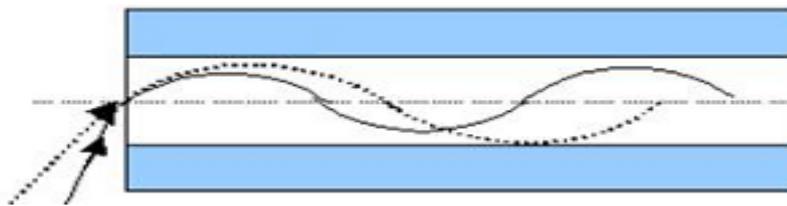


Figure 6:(1:6): Fibre optique à gradient d'indice

### 1.2.4.3 Les fibres optiques monomodes

Le cœur très fin permet une propagation du faisceau laser presque en ligne droite dans une fibre monomode. De cette façon, elle offre peu de dispersion du signal et celle-ci peut être considérée comme nulle. La bande passante est presque infinie, supérieure à 10 GHz/km avec une longueur d'onde de coupure 1.2  $\mu$  m. Le diamètre du cœur (9.  $\mu$  m) et l'ouverture numérique sont si faibles que les rayons lumineux se propagent parallèlement avec des temps de parcours égaux. Ce type de fibre est surtout utilisé en liaison longue distance. Le petit diamètre du cœur des fibres nécessite une grande puissance d'émission qui est délivrée par des diodes laser. Les longueurs d'onde employées sont 1310, 1550 et 1625 nm.

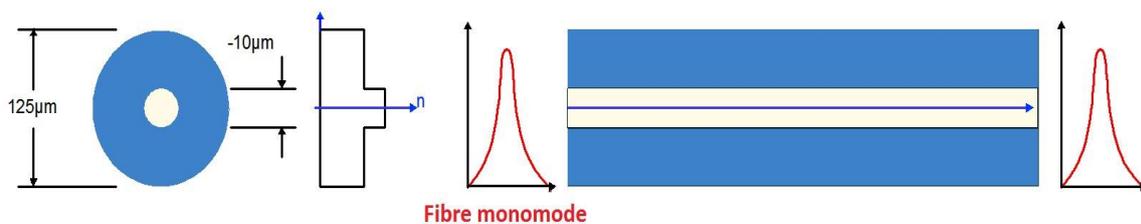


Figure 7:(1:7): Fibre optique monomode [5]

En utilisant une fibre monomode on peut souligner les avantages suivants :

- ✓ Débit : environ 100 Gbit/s
- ✓ Portée maximale : environ 100 Km
- ✓ Affaiblissement : 0,5 dB/Km

- **Principe de base**

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour *Single Mode Fiber*), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre.

Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très haut débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin).

Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. (Dans un guide d'onde, aussi bien en acoustique qu'en électromagnétisme, la dispersion intermodale est un phénomène correspondant à l'existence de différentes vitesses possibles pour la propagation des ondes. Il existe en effet fréquemment plusieurs modes dans un guide d'onde, soit différentes solutions aux équations de propagation).

En revanche, il existe un autre type de dispersion : la dispersion intra modale. Son origine est la largeur finie du train d'onde d'émission qui implique que l'onde n'est pas strictement monochromatique : toutes les longueurs d'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans le guide ce qui induit un élargissement de l'impulsion dans la fibre optique.

On l'appelle aussi dispersion chromatique (La dispersion chromatique est exprimée en ps/(nm·km) et caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310  $\mu\text{m}$ ).

Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de 9 μm pour le haut débit).

### 1.2.4.4 Comparaison des performances des trois types de fibres [5]

La figure suivante montre les performances des trois types de la fibre optique, l'atténuation est constante quelle que soit la fréquence, seule la dispersion lumineuse limite la largeur de la bande passante.

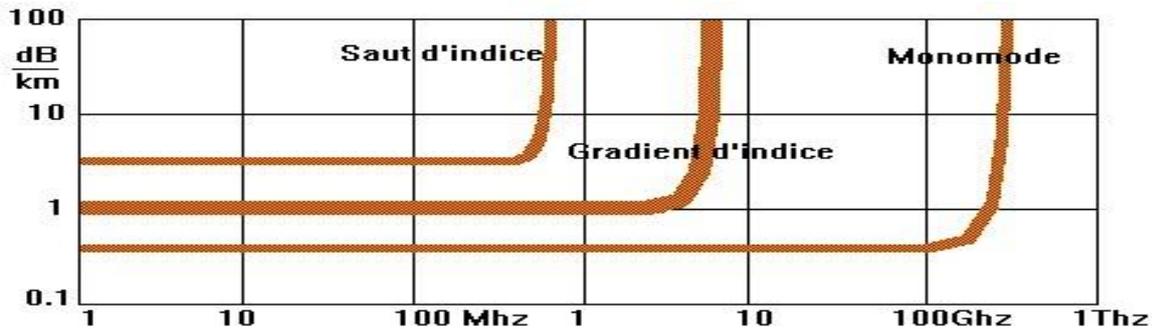


Figure 8:(1:8): Performance des trois types fibres

Le **tableau** suivant résume une comparaison entre la fibre monomode et multimode :

Tableau 2:(1:2): comparaison entre (monomode / multimode)

Fibre monomode	Fibre multimode
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Haut débit, longue distance	Réseau locaux

### 1.2.5 Le principe de propagation

La propagation du signal lumineux dans les fibres optiques repose sur le principe de la réflexion totale. Les rayons lumineux qui se propagent le long du cœur de la fibre heurtent sa surface avec un angle d'incidence supérieur à l'angle critique : la totalité de la lumière est alors réfléchi dans la fibre. La lumière peut ainsi se propager sur de longues distances, en se réfléchissant des milliers de fois. Afin d'éviter les pertes de lumière liées à son absorption par les impuretés à la surface

de la fibre optique, le cœur de celle-ci est revêtu d'une gaine en verre d'indice de réfraction beaucoup plus faible ; les réflexions se produisent alors à l'interface cœur-gaine.

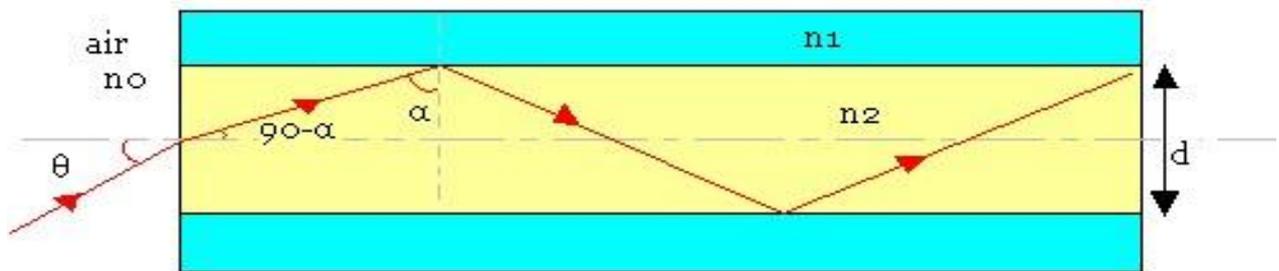


Figure 9:(1:9): Propagation du signal lumineux dans le cœur

### 1.2.6 Loi de Snell-Descartes

La vitesse de la lumière dans le vide ( $C=3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) varie sensiblement selon les différentes densités des matériaux qu'elle traverse. Pour caractériser la densité des matériaux, on définit le paramètre « indice de réfraction absolu » exprimé par le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide, et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré ( $v$ ).

L'indice de réfraction absolu est donné par :

**Équation 1:(1:1): L'indice de réfraction absolu**

$$n = \frac{c}{v}$$

Lorsque le rayon lumineux frappe la surface de séparation de deux milieux différents, il se divise en deux rayons :

- **Un rayon réfléchi** qui se propage encore dans le premier milieu.
- **Un rayon réfracté** qui se propage dans le second milieu.

La figure suivant montre ces deux phénomènes :

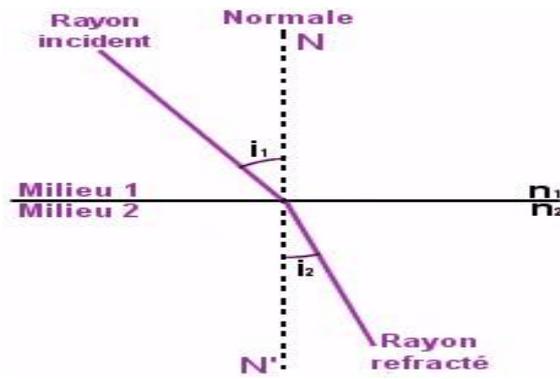


Figure 10:(1:10): Principe de la réfraction de la lumière

L'angle d'incidence  $I_1$  et l'angle de réfraction  $I_2$  sont liés par la relation :

Équation 2:(1:2): L'angle d'incidence  $I_1$  et l'angle de réfraction  $I_2$

$$n_1 \cdot \sin(I_1) = n_2 \cdot \sin(I_2)$$

### 1.2.7 Caractéristiques de la fibre optique

La fibre optique est caractérisée par certains paramètres qui sont déterminés à partir de ses différents types. Les paramètres les plus remarquables sont l'ouverture numérique, l'atténuation, la bande passante et la dispersion.

#### 1.2.7.1 L'ouverture numérique

L'ouverture numérique d'une fibre optique caractérise le cône d'acceptance de la fibre : si un rayon lumineux tente de pénétrer la fibre en provenant de ce cône, alors le rayon sera guidé par réflexion totale interne ; dans le cas contraire, le rayon ne sera pas guidé.

En posant  $n_c$ ,  $n_g$  et  $\theta$  respectivement les indices du cœur, de la gaine et l'angle d'incidence, comme le montre la figure suivante :

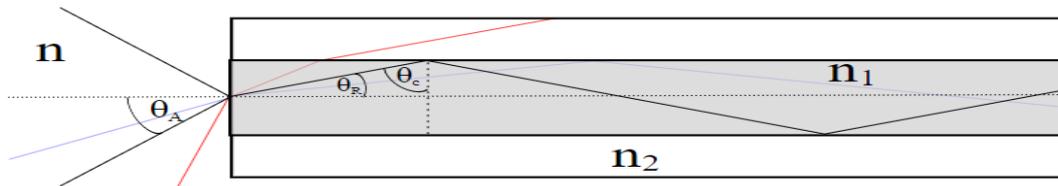


Figure 11:(1:11): L'ouverture numérique de fibre optique

Alors l'ouverture numérique de la fibre s'exprime par la formule :

**Équation 3:(1:3): l'ouverture numérique**

$$\text{O.N} = \text{SIN}(\theta) = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} < 1$$

### 1.2.7.2 L'atténuation

Trois phénomènes, explicités ci-dessous et dont les effets se cumulent, participent à

l'atténuation de la lumière dans une fibre optique : [6]

- ✓ L'absorption
- ✓ Les pertes (Diffusion, couplage des modes, imperfections de la fibre)
- ✓ Les pertes d'insertion

#### ➤ L'absorption

Sous l'influence d'un photon d'énergie suffisante, un électron peut être porté à un niveau d'énergie supérieur à celui où il se trouvait. Une partie de l'énergie du rayonnement incident est ainsi absorbée par le matériau. Cette interaction rayonnement-matière s'applique au matériau constituant la fibre (absorption intrinsèque), mais aussi aux impuretés qu'elle contient et qui sont la conséquence du mode de fabrication (ion  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{OH}^-$ , etc.) (absorption extrinsèque). A titre d'exemple, un taux d'impuretés de quelques ppm d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  entraîne, à 850 nm, une atténuation de 130 dB/km ; on comprend donc la nécessité d'utiliser des matériaux qui soient les plus purs possible pour la fabrication de fibre optique.

#### ➤ Pertes

Diffusion de RAYLEIGH : Elle provient des variations de l'indice de réfraction du matériau sur des longueurs inférieures à la longueur d'onde de la lumière ; elle se traduit par une perte de puissance lumineuse inversement proportionnelle à  $\lambda^4$  (loi de Rayleigh).

Défaut de la fibre : Les variations locales du diamètre du cœur, micro-courbures, vont faire qu'un certain nombre de rayons vont subir une réfraction dans la gaine, entraînant une perte d'énergie. Cette perte d'énergie est d'autant plus grande que les rayons sont plus inclinés par rapport à l'axe ; on définit "l'atténuation différentielle" comme la différence d'atténuation entre un rayon axial et un rayon incliné de  $\theta$  par rapport à l'axe.

Couplage de modes : Il s'agit de l'ensemble des phénomènes qui entraînent des échanges d'énergie entre les différentes directions de propagation des rayons. Prenons par exemple

un rayon qui arrive avec l'inclinaison  $\theta$  dans une zone où existent des micro-courbures ; il peut alors se réfléchir suivant un angle  $\theta'$  différent de  $\theta$ . En pratique, tous les rayons échangent de l'énergie entre eux, en particulier les rayons guidés et non guidés, d'où un facteur d'atténuation supplémentaire.

➤ **Pertes d'insertion / de connections**

Une liaison à fibre optique nécessite toujours un couplage source-fibre ou fibre-détecteur ; celui-ci est réalisé par des connecteurs. Une liaison peut également nécessiter le raccordement de fibres entre elles. Cette connexion peut être démontable (connecteurs fibre à fibre) ou permanente (soudure). Toute interconnexion doit causer le minimum de pertes. La détermination des pertes sur un tronçon de fibre s'obtient généralement en calculant la différence entre la puissance en entrée de la fibre et la puissance en sortie.

**Équation 4:(1:4): la différence entre la puissance en entrée de la fibre et la puissance en sortie.**

$$\eta \text{ (fibre)} = P_e \text{ (dBm)} - P_s \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log(P_e \text{ (mW)}) - 10 \cdot \log(P_s \text{ (mW)})$$

L'atténuation dans une fibre optique est définie comme étant le rapport de la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimée en unité logarithmique par unité de longueur.

**Équation 5:(1:5): L'atténuation dans une fibre optique**

$$A[\text{dB}] = 10 \log\left(\frac{p_e}{p_r}\right)$$

Avec :  $P_e$  : la puissance lumineuse à l'entrée,

$P_r$  : est la puissance lumineuse à la sortie

L'atténuation du signal à l'intérieur de la fibre peut être due spécialement à :

- Séparation longitudinale
- Désalignement radial ou angulaire
- Excentricité ou ellipticité des cœurs

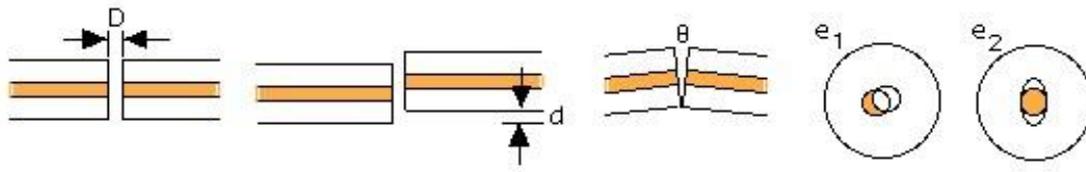


Figure 12:(1:12): Type de perte connectique

Pour résumer toutes ces pertes et atténuation qui existent au sein d'une fibre optique, voici un schéma récapitulatif :

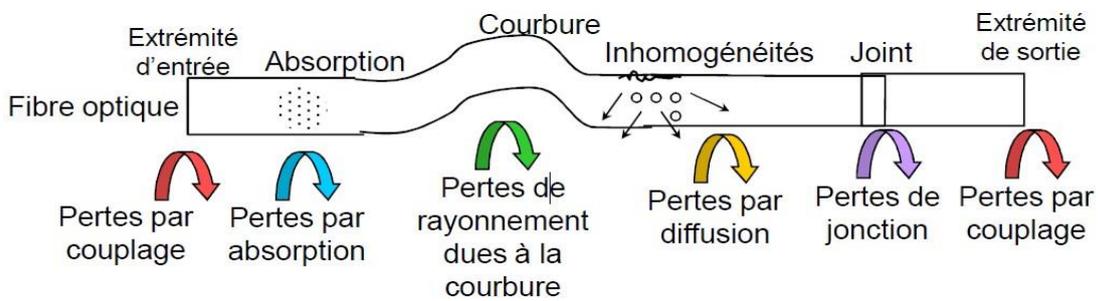


Figure 13:(1:13): schéma des pertes et atténuation qui existent au sein d'une fibre optique

### 1.2.7.3 La bande passante

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique. La définition de la bande passante totale (BT) qui dépend de l'effet conjonctif des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique, permettra de stabiliser la fréquence maximale transmissible en ligne. La bande totale est définie par l'expression :

Équation 6:(1:6): La bande totale

$$BT = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{B_m^2} + \frac{1}{B_c^2}}}$$

Avec  $B_m$  : bande résultante de la dispersion modale et  $B_c$  : bande passante due à la la dispersion chromatique.

### 1.3 Introduction aux réseaux de fibre optique

Aujourd'hui, les réseaux optiques arrivent tout naturellement en périphérie jusqu'à l'abonné, où les besoins grandissant en bande passante se font sentir (TV HD et bientôt UHD, applications de jeu en ligne, partage de fichiers, multiplicité des ordinateurs dans un même foyer, visioconférence, applications temps réel...)

Les réseaux FTTx peuvent être classés en deux grandes catégories :

- ✓ Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution.
- ✓ Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur.

#### 1.3.1 Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution [7]

La fibre optique est déployée jusqu'au point de distribution puis la distribution terminale des usagers est réalisée par une autre technologie (câble, ADSL, réseaux hertziens, ...). C'est le cas des technologies FTTL, FTTC, FTTN.

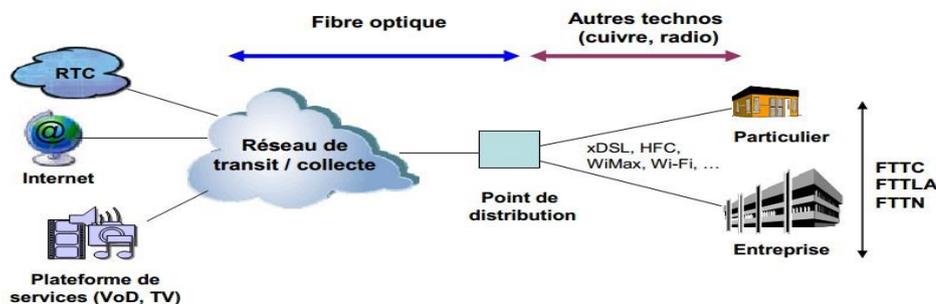


Figure 14:(1:14): Réseaux optique jusqu'au point de distribution

##### 1.3.1.1 Fibre au bord (FTTC)

Chaque commutateur / DSLAM (multiplexeur d'accès DSL), souvent trouvé dans une armoire de rue, est connecté au **POP** via une fibre unique ou une paire de fibres, transportant le trafic agrégé du quartier via Gigabit Connexion Ethernet ou 10 Gigabit Ethernet. Les commutateurs dans l'armoire de rue ne sont pas fibre mais peuvent être basés sur le cuivre en utilisant VDSL2 ou Vectorisation VDSL2. Cette architecture est parfois appelée "Active Ethernet" car elle nécessite des éléments de réseau actifs sur le terrain.

### **1.3.1.2 FTTN (fiber to the neighborhood)**

La fibre est déployée dans le quartier, elle correspond à une installation dans laquelle la fibre arrive à un point de distribution (sous-répartiteur) desservant un ensemble de bâtiments. Le raccordement d'abonné s'effectue ensuite sur le réseau cuivre ou par liaison radio (Wifi – Wimax).

### **1.3.1.3 -Fibre au point de distribution (FTTD)**

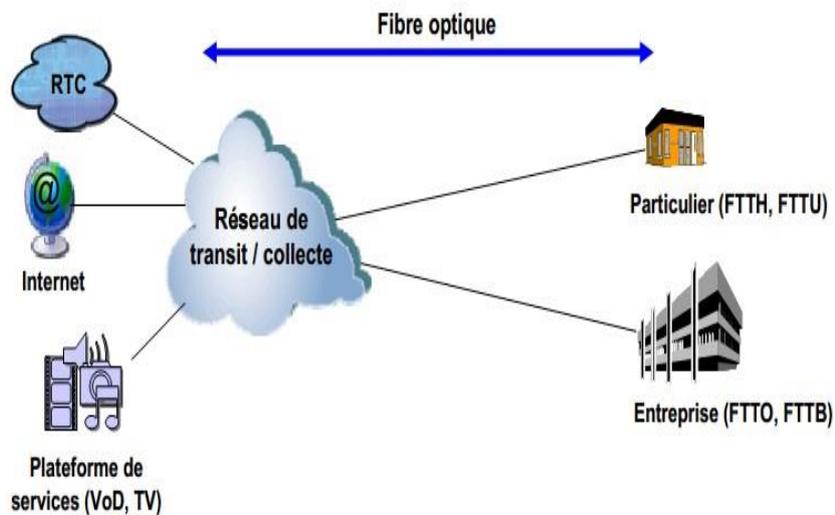
Cette solution a été proposée au cours des deux dernières années. Connexion du POP au point de distribution via le câble optique, puis du point de distribution vers les locaux du client via l'infrastructure cuivre existante. Les points de distribution pourraient être un trou de main, une boîte de dépôt sur le poteau ou situé dans le sous-sol d'un bâtiment. Cette architecture pourrait supporter la technologie VDSL ou G.Fast pour un dernier kilomètre court, normalement inférieur à 250m.

### **1.3.1.4 -FTTLA**

Du dernier amplificateur dans le cas des réseaux des câblo-opérateurs (FTTLA, pour « Fiber to the Last Amplifier ») : On parle alors de réseaux HFC (Hybrid Fiber Coaxial), la fibre optique étant déployée en remplacement du câble jusqu'au dernier amplificateur (situé à quelques centaines de mètres des logements), puis prolongée sur la partie terminale par le câble coaxial.

## **1.3.2 Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur [8]**

La fibre optique est déployée jusqu'au point de distribution puis jusqu'à la distribution terminale des usagers.



**Figure 15:(1:15): Réseaux optique jusqu'à l'utilisateur**

- ✓ Les réseaux de desserte optique déployés jusqu'au bâtiment d'une entreprise, ou au pied d'un immeuble (FTTO / FTTB, pour Fiber to the Office / Building). La desserte interne de l'entreprise ou des foyers au sein de l'immeuble est ensuite réalisée généralement via un réseau « cuivre ».
- ✓ Les réseaux de desserte optique jusqu'au foyer de l'abonné (FTTU / FTTH, pour Fiber to the User / Home) ou la fibre arrive jusqu'aux utilisateurs.

La figure ci-dessous représente les différentes technologies FTTX :

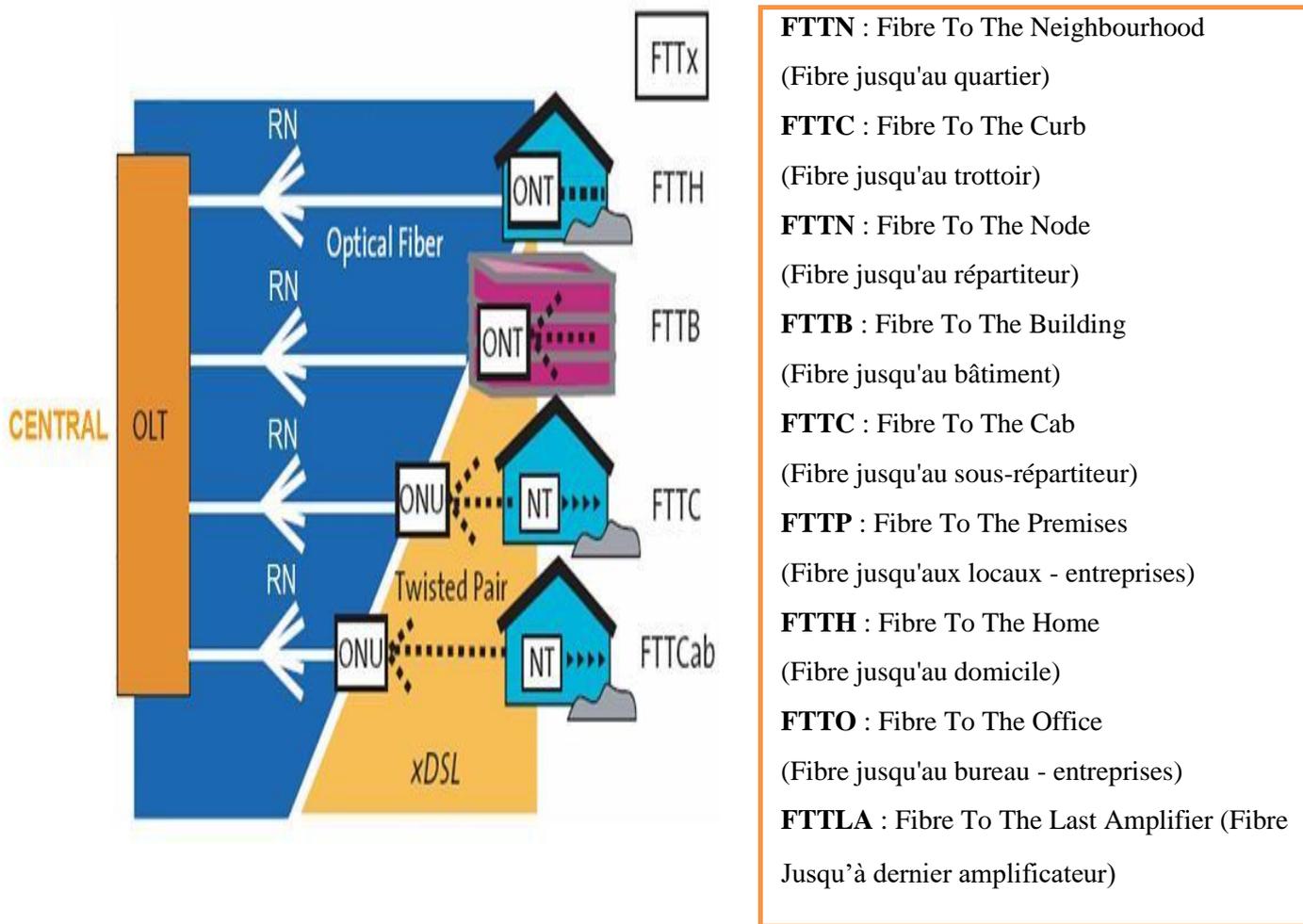


Figure 16:(1:16): Différentes technologies FTTX

## 1.4 Les couches du réseau d'accès

Afin de concevoir et de dimensionner les différents éléments qui constituent un réseau à très haut débit, il convient de structurer les différentes composantes dans une description en trois couches (voir figure II.6) :

- ✓ **La couche d'infrastructure**, composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques,
- ✓ **La couche optique passive**, comprenant notamment les câbles optiques, les boîtiers d'épissurage et les baies de brassage.
- ✓ **La couche optique active** qui transporte les services. Elle est constituée des équipements actifs.

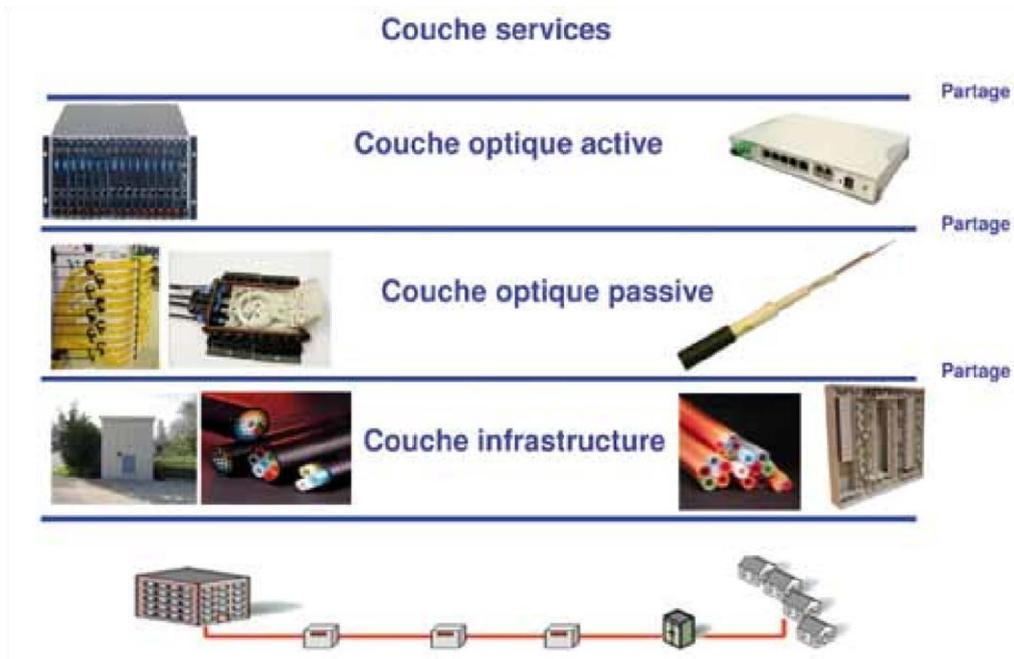


Figure 17:(1:17): Les couches d'un réseau d'accès

## 1.4.1 Différents Composants d'un réseau optique [9]

### 1.4.1.1 OLT (Optical Line Terminal)

L'équipement réseau situé au central qui gère les flux de trafic vers les abonnés ou provenant des abonnés. Il assure l'interfaçage avec les équipements du réseau de collecte. L'OLT est le gestionnaire de services. C'est sur cet équipement qu'est configurée la ligne du client, Elle est Située dans un **NRO** (**N**œud de **R**accordement **o**ptique). De l'OLT, la fibre arrive sur un **répartiteur numérique**, point final de l'installation dans les centraux téléphoniques et point de départ vers les immeubles et domiciles des clients. L'image de la figure désigne l'équipement OLT dans le réseau :

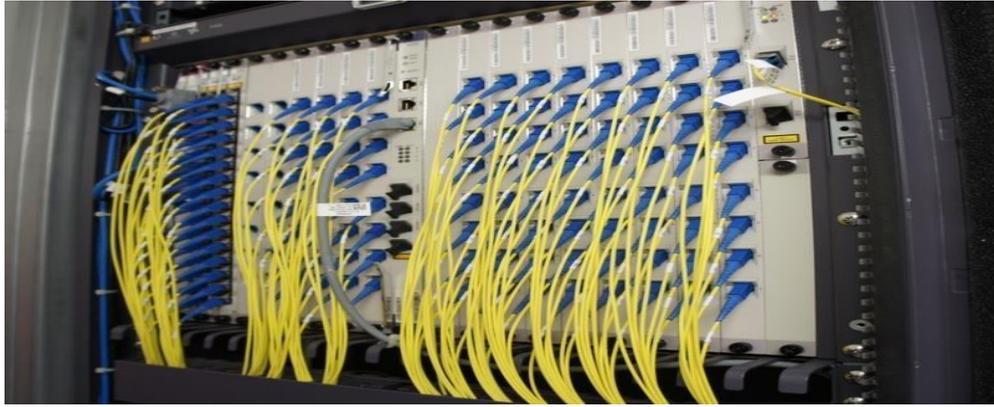


Figure 18:(1:18): Equipment OLT

#### 1.4.1.2 RN (Remote Node)

Point de répartition qui répartit le signal optique provenant de l'OLT vers plusieurs abonnés et combine les signaux optiques provenant des abonnés à destination de l'OLT.

#### 1.4.1.3 ONT (Optical Network Termination)

C'est un équipement actif, situé chez les abonnés, qui transforme le signal optique de la fibre optique en signal électrique sur le câble RJ45 et vice-versa. Il assure les fonctions d'émission/réception des signaux optiques vers l'OLT ou provenant de l'OLT et la conversion entre les interfaces optiques avec le réseau et les interfaces d'utilisateur. C'est le point d'extrémité en aval du réseau d'accès. L'ONT peut-être considéré comme un modem optique auquel le client vient connecter sa passerelle d'accès au haut débit.



Figure 19:(1:19): Equipement ONT

### 1.4.1.4 ONU (Optical Network Unit)

L'équipement comme l'ONT mais situé dans le réseau dans le cas où la fibre ne pénètre pas jusqu'à chez les abonnés. La transmission entre les ONU et les abonnés est réalisée sur les paires de cuivre comme la technologie xDSL.



Figure 20:(1:20): Equipement ONU

### 1.4.1.5 NT (Network Termination)

Le module chez les abonnés dans le cas où la fibre ne pénètre que jusqu'à l'ONU. La figure 4.1.4 suivante montre les différentes parties (distribution, terminaison et accès) du réseau FTTH ainsi que les composants.

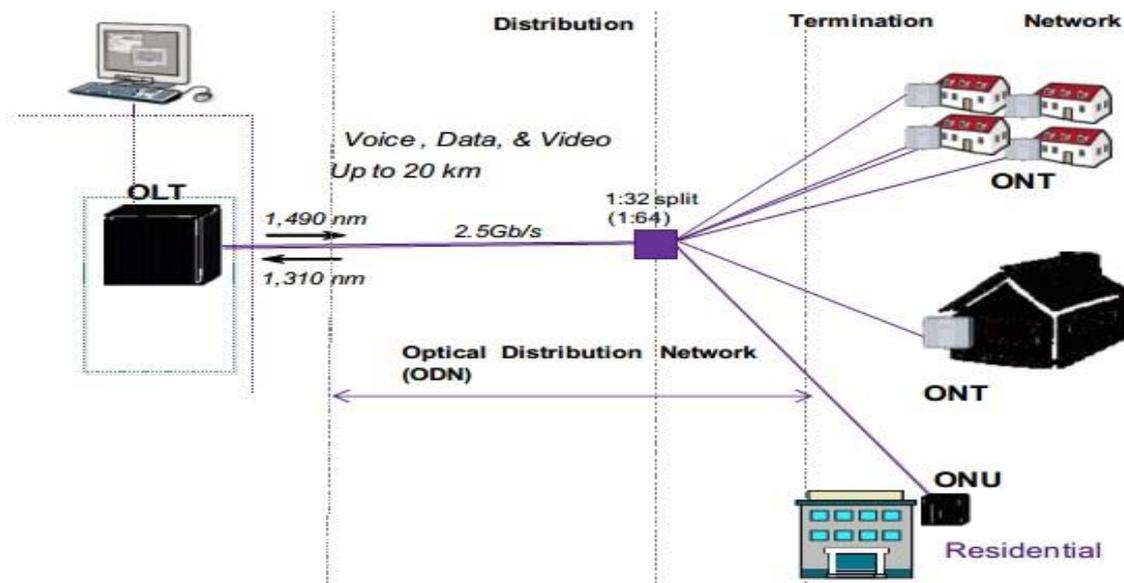


Figure 21:(1:21): Les différentes parties du réseau FTTH

### 1.4.2 Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH

Du NRO partent donc les milliers de câbles en direction des domiciles des abonnés. Mais avant de parvenir jusqu'à eux, il y a plusieurs étapes comme on peut le voir dans le dessin ci-dessus. Avant le NRO, en rouge, c'est le réseau de collecte de l'opérateur. Le premier parti du réseau d'accès, en violet est appelé "transport" et va du NRO jusqu'au SRO (Sous-Répartiteur Optique). La seconde, en bleue, est nommée "distribution" et va de SRO au PTO (Point de Terminaison Optique situé chez l'abonné). En chemin, la fibre transite par le PBO (Point du Branchement Optique) généralement placé sur le palier [10].

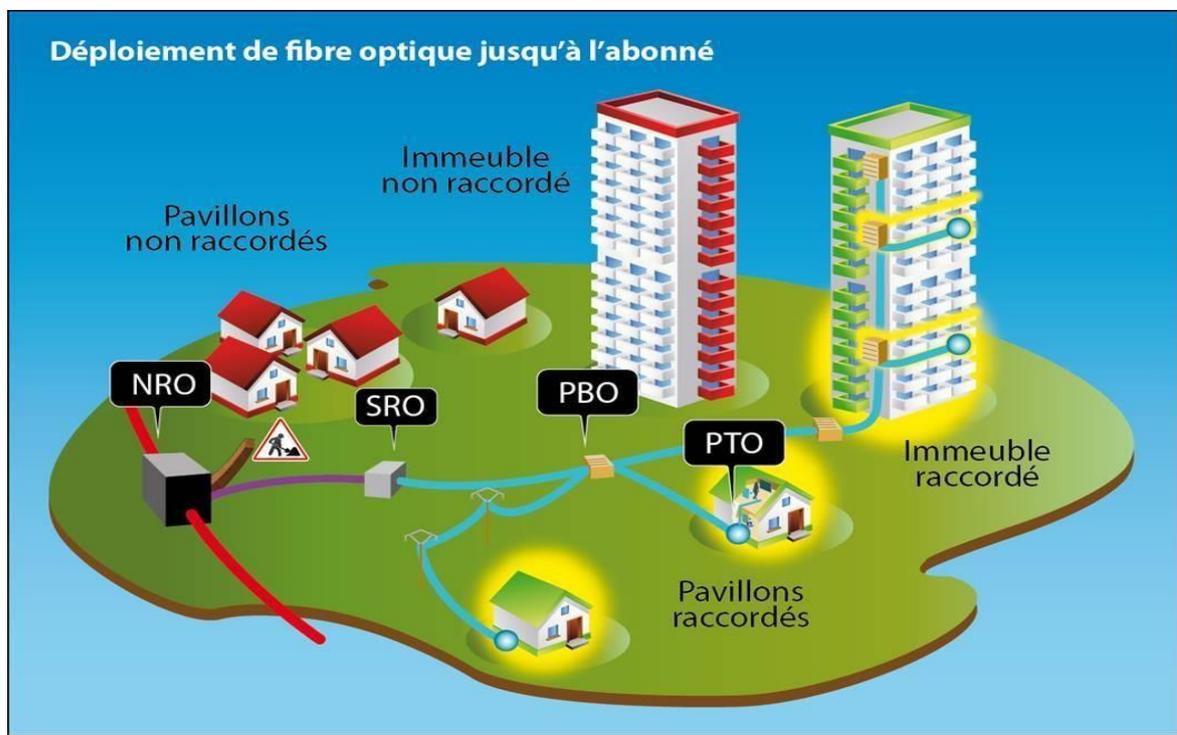


Figure 22:(1:22): chemin de la fibre

### 1.4.3 Architecture du réseau d'accès optique FTTH

On distingue deux principaux types d'architecture FTTH :

- **L'architecture Ethernet point-à-point (P2P)**, pour laquelle une fibre optique par abonné est déployée du NRO jusqu'au foyer de l'utilisateur.
- **L'architecture point-multipoint (P2MP) ou PON (Passive Optical Network)**, basée sur différents standards (GPON, EPON) et pour laquelle une fibre optique peut desservir plusieurs abonnés.

#### 1.4.3.1 - Différentes topologie FTTH

La figure II.12 ci-dessous regroupe les différentes topologies utilisées dans les réseaux d'accès FTTH.

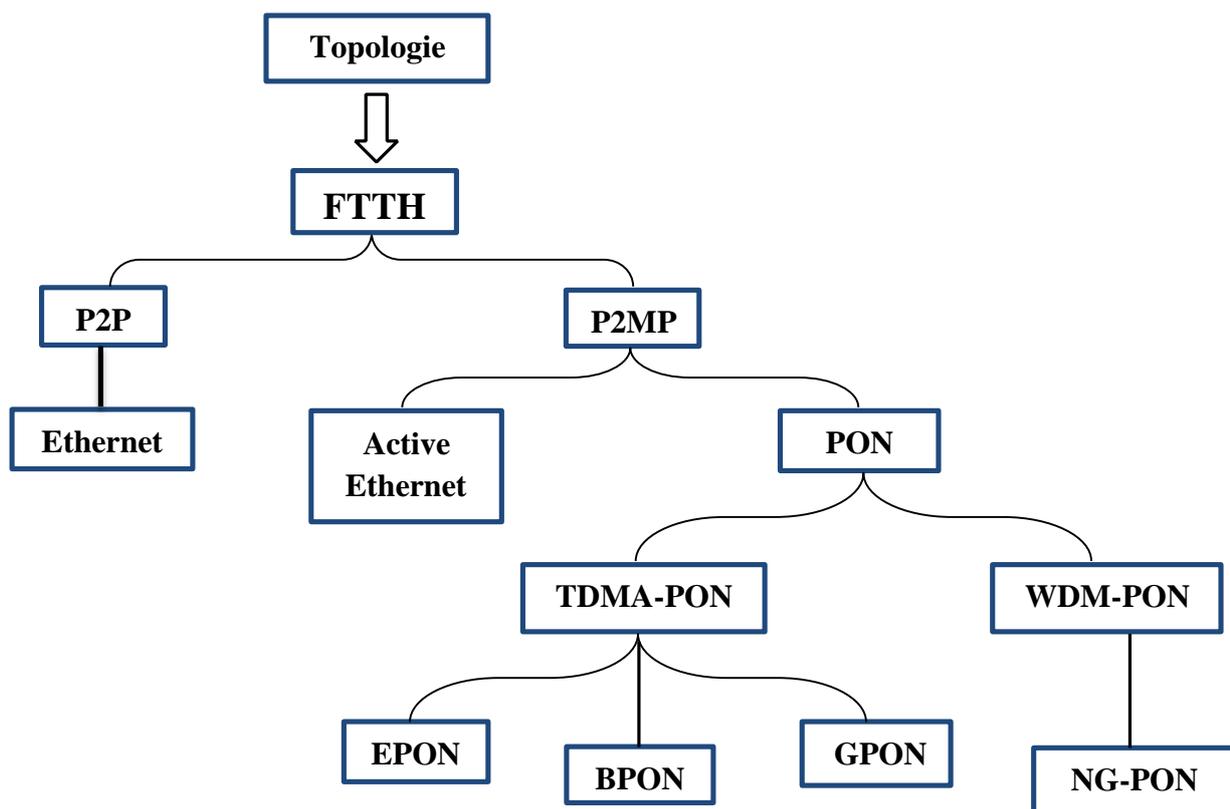
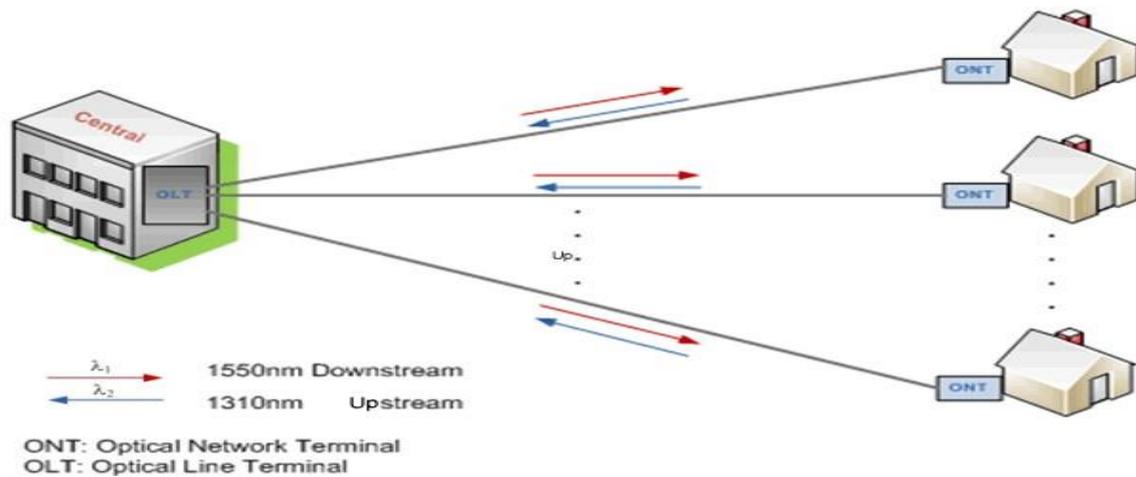


Figure 23:(1:23): Topologie général du réseau FTTH

### 1.4.3.1.1 La technologie P2P

La topologie P2P aussi appelé l'architecture de type "home run » contient un élément actif, un commutateur entre le Central Optique et l'équipement du client ONU ainsi qu'un convertisseur de fibre optique en câble Ethernet pour permettre de relier le lien au modem. Elle est généralement utilisée pour les grandes entreprises. Dans cette configuration, chaque abonné possède sa propre fibre optique le reliant directement aux équipements de l'opérateur comme l'illustre la figure suivante : [11]



**Figure 24:(1:24): Architecture P2P**

Le premier avantage de l'architecture point à point est la possibilité de monter le débit par utilisateur en absence de partage de ressource matérielle en termes de la fibre optique et de l'émetteur-récepteur optique à l'OLT. La portée peut être augmentée grâce à l'absence de composants optiques atténuants dans le réseau, la sécurité des données d'utilisateur est bien garantie, la communication entre chaque abonné avec l'OLT est indépendante d'un utilisateur à un autre. En termes de performances (débit, portée), l'architecture point à point est considérée comme la meilleure solution. Mais le coût très élevé est un problème majeur pour cette architecture.

### 1.4.3.1.2 L'architecture PON [12]

L'acronyme PON (Passive Optical Network) se traduit par « réseau d'accès optique passif ». L'appellation "Passive" vient du fait que l'on n'utilise que des équipements passifs dans l'infrastructure. Un coupleur optique passif 1 vers N, qui divise la puissance optique vers autant de port de sortie, est l'élément clé de

l'architecture. C'est la solution la plus rentable actuellement dans les réseaux d'accès si on veut déployer la fibre à l'abonné. L'architecture PON permet de répartir une fibre optique sur une longue portion du réseau, puis de la décomposer en plusieurs fibres sur des distances plus courtes pour desservir plusieurs abonnés. Dans la pratique, les équipements actifs au niveau du NRO (OLT – Optical Line Terminal) disposent de ports PON permettant d'émettre/recevoir des flux à/de plusieurs équipements terminaux d'abonnés (ou ONT– Optical Network Terminal) sur une unique fibre optique. Des coupleurs optiques (il s'agit d'équipements passifs de petite taille hébergés dans les boîtiers d'épissurage), déployés le long du parcours, permettent de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant.

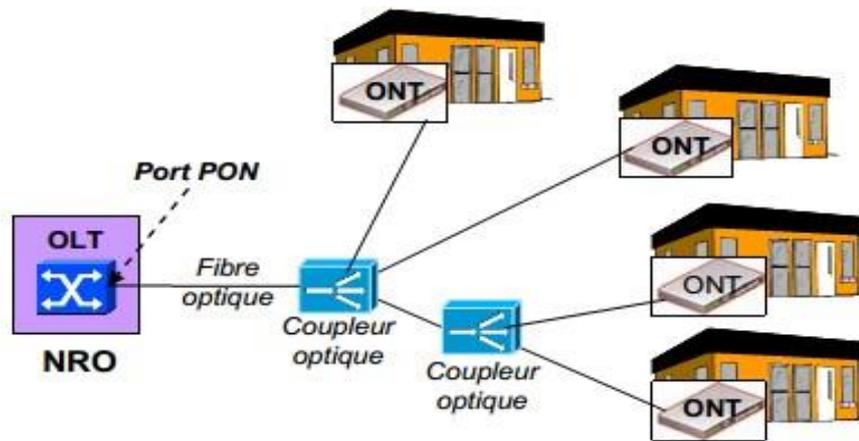


Figure 25:(1:25): Architecture PON

Les architectures PON peuvent être organisées en :

- a-Étoile** (un coupleur en sortie de chaque port PON de l'OLT dessert n ONT),
- b-Arbre** (en cascade des coupleurs, un coupleur pouvant desservir plusieurs sous-branches),
- c-Bus** (sérialisation des coupleurs).

C'est l'architecture en arbre qui est la plus souvent déployée, avec deux niveaux de coupleurs optiques (par exemple, un coupleur situé au NRO ou dans un sous-répartiteur optique, et un deuxième coupleur situé au plus près des abonnés, (i.e. dans l'immeuble desservi).

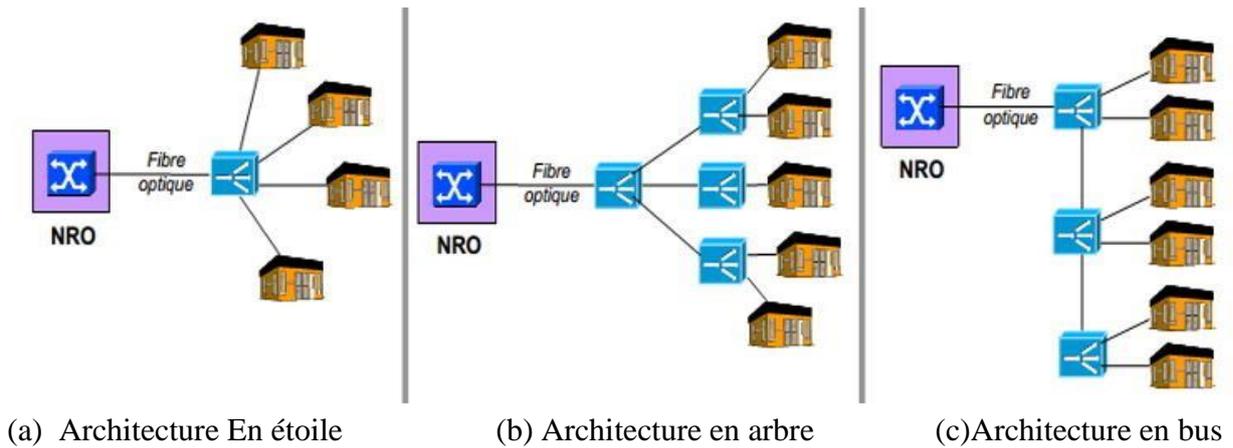


Figure 26:(1:26): Différents architectures utilisées en PON

### 1.4.3.1.3 Sens montant du type PON

Les ONT émettent dans la même longueur d'onde et les coupleurs sont passifs, Si les signaux parviennent simultanément au coupleur, issues de deux ONT, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. C'est pourquoi on utilise un partage de temps de parole TDM (Time Division Multiplexing), l'OLT attribue à chaque ONT un intervalle de temps pendant lequel celui-ci est le seul autorisé à émettre, s'il y a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui attribue davantage de temps de parole, inversement réduit pour les ONT qui émettent peu.

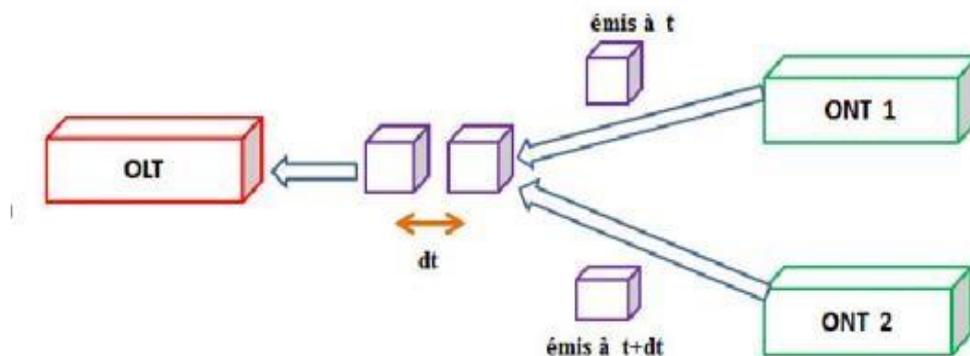


Figure 27:(1:27): PON en sens montant

### 1.4.3.1.4 Sens descendant du PON

Chaque abonné reçoit les informations qui le concernent, tous les ONT reçoivent l'ensemble de données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné comme indiqué sur la figure suivante ce principe : [13]

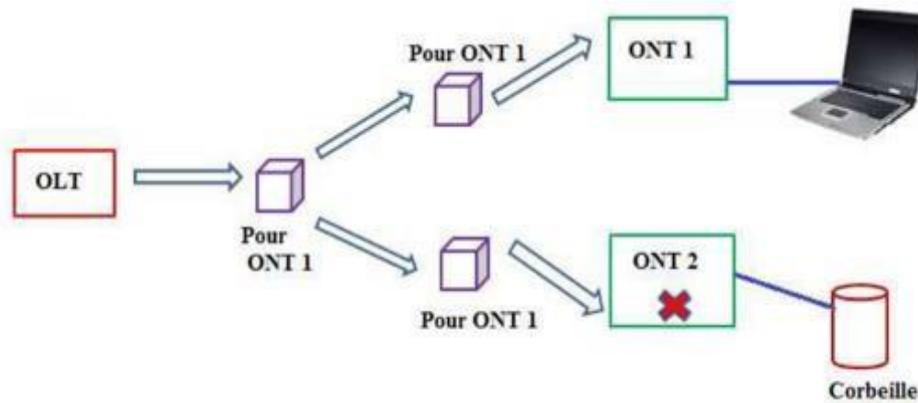


Figure 28:(1:28): Architecture PON Sens descendant

### 1.4.3.1.5 Architecture PON unidirectionnelle

L'architecture PON unidirectionnelle est essentiellement composée d'un émetteur OLT (Optical Line Terminal), coupleurs optiques généralement passifs et ONT (Optical Network Terminaison), ONUs (Optical Network Unit) et chaque ONU reçoivent seulement les données qui lui sont destinées autrement, chaque client a un intervalle de temps bien précis pour émettre afin de ne pas interférer avec un autre client. La figure II.18 illustre une liaison unidirectionnelle où une fibre est dédiée dans le sens montant et une autre dans le sens descendant.

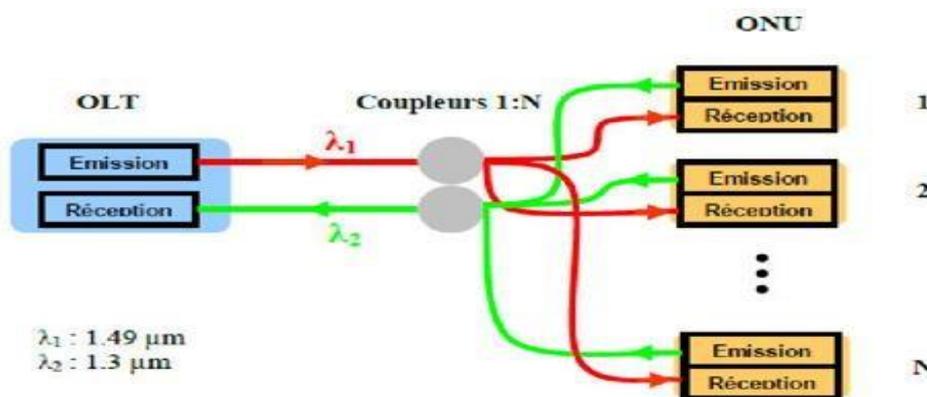


Figure 29:(1:29): Architecture PON unidirectionnelle

Elle est utilisée afin de simplifier le réseau, économiser la fibre et limiter les points de raccordement et qui nécessite donc un multiplexeur en longueur d'onde généralement intégré aux modules d'émission et de réception.

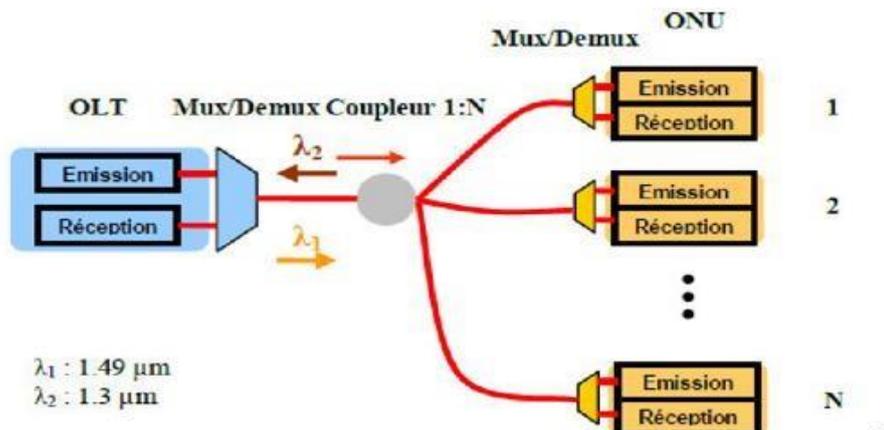


Figure 30:(1:30): Architecture PON bidirectionnelle

#### 1.4.4 Les catégories du PON [14]

Les architectures passives PON se déclinent ensuite en plusieurs catégories :

##### 1.4.4.1 A-PON (ATM PON)

Il est issu des techniques PON associées à l'ATM. Il offre un débit 155/622 Mbit/s (sens descendant) et 155 Mbit/s (sens montant) pour 32 abonnés. La solution APON est complexe et coûteuse. Elle ne peut pas offrir de services vidéo. Le débit est limité et la récupération d'horloge peut poser des difficultés.

##### 1.4.4.2 B-PON Broadband PON (évolution de la norme APON)

C'est une technologie APON modifiée pour permettre la diffusion de la vidéo. Elle supporte le WDM et possède une allocation de bande passante dynamique. Le BPON transmet sur la même fibre la voix et les données, et réserve des fréquences pour la télévision numérique et analogique (overlay wavelength). Le BPON autorise des débits de 1Gb/s dans le sens descendant et 622Mb/s dans le sens remontant mais son utilisation est usuellement vue pour des débits de 622Mb/s descendant et 155Mb/s remontant.

##### 1.4.4.3 E-PON

Ce standard utilise le protocole Ethernet comme protocole de transport. Il présente un débit symétrique maximal de 1,25 Gb/s par port, partagé pour un maximum de 64 abonnés, et disposant d'une portée d'environ 20 km, dans ce réseau

une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT.

#### 1.4.4.4 Architecture G-PON (Gigabit PON)

La technique de ce réseau est basée sur le multiplexage temporel. Une longueur d'onde est utilisée pour le sens montant et une autre pour le sens descendant. GPON se différencie de BPON par sa capacité à transporter des paquets et des trames Ethernet de longueurs variables. Le GPON offre un débit de 1.2-2,4 Gbit/s (débit asymétrique). De plus, GPON permet une plus grande distance de déploiement, jusqu'à 60 km, avec 20 km maximum entre les ONT. Enfin, le GPON permet jusqu'à 64 lignes sortantes d'un coupleur optique (splitter).

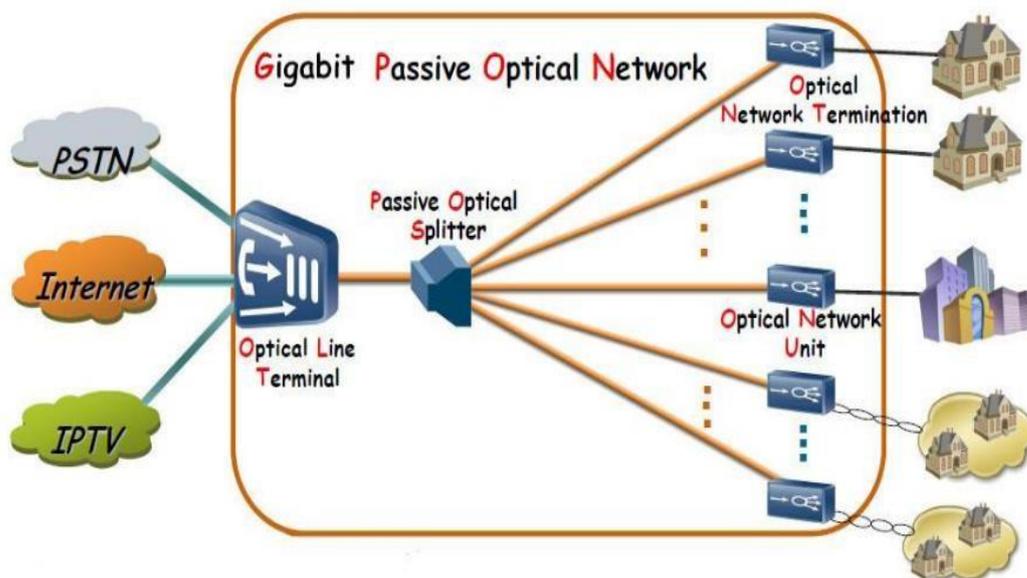


Figure 31:(1:31): Architecture G-PON

Le tableau suivant illustre une comparaison de débit entre B-PON E-PON et G-PON.

**Tableau 3:(1:3): Comparaison entre les trois catégories de PON**

	B-PON	E-PON	G-PON
Taux des données au sens descendants	600 Mbit/s	1 Gbit/s	2.4 Gbit/s
Taux des données au sens montant	150 Mbit/s	1 Gbit/s	1.2 Gbit/s
Format de transmission	Ethernet	ATM	ATM+TDM+Ethernet

#### 1.4.5 WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing PON)

La technologie WDM consiste à illuminer la fibre optique, non pas avec une seule source laser, mais simultanément avec plusieurs sources en utilisant pour chacune d'entre elles une longueur d'onde différente, ce qui permet le transport en parallèle (et non pas séquentiellement comme dans le PON classique) d'autant de flux de données, chacun d'entre eux avec un débit identique à celui qui serait possible sans cette technologie.

#### 1.4.6 OFDMA-PON

Pour le système de transmission à ultra haut-débit dans le réseau cœur, cette technologie OFDM est aussi considérée comme un candidat au fort potentiel pour monter en débit jusqu'à l'ordre du Tbit/s. La Figure 4.6.1 ci-dessous qui donne un exemple d'utilisation de l'OFDM dans le PON, à chaque abonné est attribué un certain nombre de sous-porteuses spécifiques. Pour la voie descendante, l'OLT procède avec l'ensemble des porteuses et les ONUs extraient les sous porteuses qui leur sont destinées en fréquence et dans le temps [15]. Pour la voie montante, chaque abonné émet son trafic sur une gamme de fréquence et de temps comme nous le montre la Figure suivante.

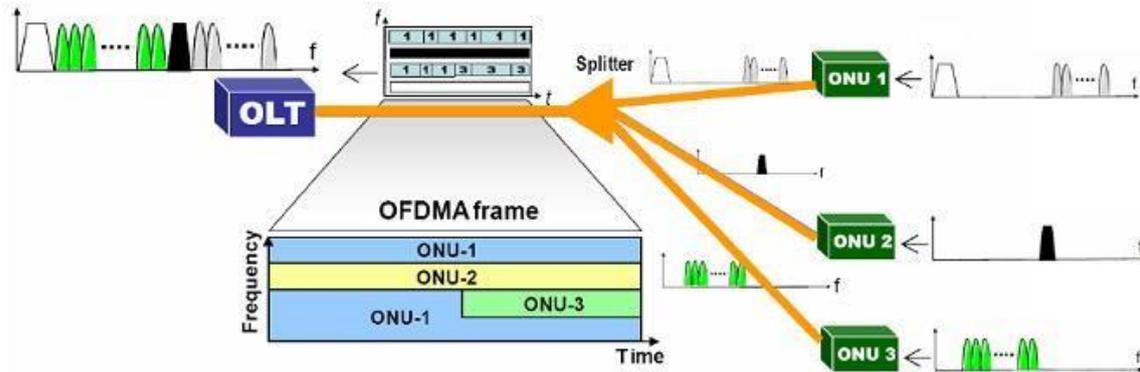


Figure 32:(1:32): Schéma de principe de l'OFDMA-PON

Les architectures PON sont évolutives et permettront d’augmenter les débits avec des nouvelles générations de terminaison actives. Des liaisons PON dédiées pourront également être proposées aux utilisateurs en cas de besoin avec l’introduction du DWDM et l’affectation d’une longueur d’onde par utilisateur. En termes de débit l’optique dépasse largement le cuivre selon le tableau I.4.2 suivant en comparant les deux réseaux d’accès FTTH et ADSL.

Tableau 4:(1:4): Comparaison du débit entre FTTH et ADSL

		FTTH		ADSL	
		Débit symétriques (Montant et Descendant 100Mbps)		Débit Descendant	Débit Montant
Type de Fichier	Taille moyenne	Durée Download	Durée upload	Durée Download	Durée upload
Film en HD	30 Go	40min		>8h	>66h
Film DVD	4,8 Go	6 min		1h20min	>10h
Film DivX	800 Mo	1 min		13min	1h40min
20 photos 8 Méga pixels non compressé	480 Mo	40s		8min	>1h

10 fichiers Audio MP3	40 Mo	3s	40s	5min
--------------------------	-------	----	-----	------

### 1.4.7 Comparaison entre xDSL et FTTH

Le tableau I.4.3 indique l'évolution de la technologie xDSL en en fonction de sa bande passante et de la distance ; ainsi que sa comparaison avec FTTH.

**Tableau 5:(1:5): Comparaisons entre xDSL et FTTH**

Transport	ADSL	ADSL2	ADSL2+	VDSL	VDSL2	FTTH PON
Bande Passante	D : 8M	12M	24M	55M	100M	100+
	U : 1M	3.5M	1M	19M	100M	100+
Distance	3-5km			<= 1.3km		<=100km

## 1.5 Conclusion

La principale technologie permettant d'offrir à l'utilisateur une connexion à très haut débit est la fibre optique jusqu'au domicile (FTTH, fibre to the home). Sur le plan des usages, on distingue deux tendances : d'une part, les volumes de données augmentent, notamment en raison d'éléments multimédia (son, vidéo) de plus en plus nombreux, d'autre part, les applications interactives (nécessitant des temps de réponse courts) se multiplient, tant pour le grand public (téléphonie sur IP, sites web interactifs...) que pour les professionnels (e-médecine, télétravail, entreprise en réseau...). Les échanges sont donc non seulement plus volumineux, mais exigent aussi d'être plus rapides et symétriques (débits montant et descendant équivalents).

# Chapitre II :

## Les équipements de maintenance optiques

## 2.1 Introduction sur la maintenance d'un réseau optique

La maintenance d'un réseau optique peut être préventive ou curative.

Préventive, la maintenance se traduit par un contrôle des performances du réseau, notamment par un test de débit et un test de QoS (qualité de service). Elle peut également se faire au niveau du média, en contrôlant l'évolution de la liaison dans le temps, afin de s'assurer du maintien de la performance du réseau pour en garantir la pérennité.

Curative, la maintenance est réalisée lorsqu'une panne ou un dysfonctionnement est constaté. Le défaut peut se situer au niveau du paramétrage du réseau, au niveau des équipements actifs ou au niveau du support physique (la fibre optique).

Dans ce dernier cas, la panne peut être due à une cassure ou à un affaiblissement fort. La maintenance curative fait appel à la mesure optique par réflectométrie et/ou à un contrôle des faces optiques qui peut être associé, selon les résultats, à un nettoyage. En cas de cassure ou de coupure de câble, la maintenance peut nécessiter une réparation et donc la réalisation d'un nouveau raccordement avec boîtier étanche, soudeuse, etc.

Pour vérifier les performances d'un émetteur, on utilisera un mesureur de puissance qui permettra de vérifier la puissance de sortie de l'équipement.

## 2.2 L'essentiel des matérielles fibres optique

Qu'il s'agisse de la mise en place des réseaux de télécommunication fibre optique ou de leur maintenance, il est nécessaire d'en connaître le matériel indispensable. En passant par les câbles de fibre optique aux soudeuses optiques et les solutions de raccordement abonné, il existe un bon nombre d'outils spécifiques à la fibre optique à maîtriser. [1]

### 2.2.1 Le brassage optique

Un tiroir optique permet de raccorder des câbles pour ainsi en assurer leur distribution vers du matériel actif ou d'autres câbles. Les tiroirs optiques sont à installer dans les baies ou répartiteurs et répondent à diverses applications des réseaux fibrés.

- **Les tiroirs coulissants** sont dotés d'un système de retenue de fin de course pour faciliter le raccordement en baie.

Les tiroirs télescopiques offrent un accès facilité aux cassettes et aux pigtails, simplifiant les interventions et maintenances.

- **Les tiroirs pivotants** conviennent parfaitement à une utilisation en armoire de rue. Ils laissent un libre accès à l'arrière du tiroir ce qui permet de faciliter l'installation et la maintenance des équipements.[2]



Figure 33:(2:1): Tiroir optique 19" avec 24 SC duplex monomode

### 2.2.2 Le repérage

Le repérage de la fibre consiste à localiser la fibre qui présente un défaut afin de réaliser la maintenance. Les fibres optiques sont ensuite placées dans des câbles qui en assurent le conditionnement (plus ou moins de fibres enrobées dans des tubes ou des rubans), la protection mécanique et chimique. La taille et le poids réduit des câbles à fibres optiques permettent des poses d'un seul tenant pouvant dépasser 4800 m contre seulement 300 m avec un câble coaxial en cuivre. Pour tenir compte des contraintes de déroulage sur les voies ferrées, les tourets de câbles optiques de Telcité sont limités à 2100m



- coupe schématique -

Figure 34:(2:2): câble à 72 fibres optiques

Les principales structures de câble à fibres optiques sont :

- Le câble à structure libre tubée (n fibres dans m tubes de protection libres en hélice autour d'un porteur central). La capacité type est de 2 à 432 fibres ;
- Le câble à tube central (n fibres libres dans 1 tube central, la rigidité étant assurée par des mini-porteurs placés dans la gaine) ;
- Le câble ruban à tube central (n fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans 1 tube central). La capacité type est de 12 fibres par 18 rubans, soit 216 fibres.  
L'avantage de ce type de câble est de pouvoir souder simultanément la totalité des fibres d'un même ruban ;
- Le câble ruban à tubes libres (n fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans p tubes libres en hélice autour d'un porteur central)



**Figure 35:(2:3): structure de câble optique**

Après avoir connu les structures des câbles, il reste donc à faire le repérage de la fibre. Pour faire ce repérage, il faut savoir qu'il des configurations à maîtriser ou simplement des codes de couleurs. Avant on utilisait des câbles à 2 fibres distinguées par la couleur rouge et blanc. Ici le travail n'était pas difficile à réaliser. Actuellement certains opérateurs font le choix sur des câbles 6 à 12 fibres selon le besoin. Ce qui fait que le repérage n'est pas facile à réaliser face à 6, 12 ou plus de fibre optique. Raison pour laquelle des configurations sont définies :

la configuration FOTAG IEEE 802.8

**Tableau 6:(2:2): Code couleur FOTAG 802.8**

1	<b>Bleu</b>
2	<b>Orange</b>
3	<b>Vert</b>
4	<b>Marron</b>
5	<b>Gris</b>
6	<b>Blanc</b>
7	<b>Rouge</b>
8	<b>Noir</b>
9	<b>Jaune</b>
10	<b>Violet</b>
11	<b>Rose</b>
12	<b>Bleu turquoise</b>

## 2.3 Dénudage

Le dénudage de la fibre est une technique qui permet d'ôter la gaine de la fibre afin de procéder à la soudure. Cette technique demande trop d'attention. En effet, une fibre est très fine, enlever la gaine demande trop de précision car une fausse manipulation peut entraîner des coupures de la fibre.

### 2.3.1 Dénudeuses

Les dénudeuses sont des pinces qui servent ôter la gaine d'une fibre afin de procéder à la soudure. Ils possèdent un outil léger mais de conception rigoureuse, permettant un dénudage précis de fils fins ou des fibres optiques. Comme les autres appareils cités ci-dessus, on peut avoir actuellement dans le marché plusieurs types de dénudeuses.



## 2.4 Mesures de la manipulation

Les mesures sont nécessaires pour qualifier le support optique. Elles sont employées à toutes les étapes de la manipulation de fibre (contrôle sur touret, tirage, raccords, recette ; localisation et qualification des défauts, maintenance préventive). En effet les pertes dans les fibres optiques peuvent se répartir en trois grandes familles :

- Les pertes à l'injection
- Les pertes pendant la transmission (absorption, diffusion, (impuretés, et structure hétérogène), macro ou micro courbures, couplage) [1]

### 2.4.1 Mesures sur touret avant pose

Ce sont des mesures de rétrodiffusion dans un sens dont l'objectif est :

- ✓ La mise en évidence des problèmes de transport
- ✓ La mise en évidence des problèmes des stockages
- ✓ La vérification d'absence de contraintes et d'accidents ponctuels
- ✓ Le transport de responsabilités

### 2.4.2 Mesures après pose

Ce sont des mesures de rétrodiffusion dans un sens dont le but est de :

- ✓ Vérifier l'état des fibres
- ✓ Mesurer la longueur des sections élémentaires

### 2.4.3 Mesures après raccordement

Ce sont des mesures de rétrodiffusion dans les deux sens, aux longueurs d'onde de 1300 et 1550 nm dont le but est de ;

- ✓ Vérifier la quantité des connexions
- ✓ Caractériser chaque connexion

**Tableau 7:(2:3): caractéristiques des pertes**

EVENEMENT	1300 nm	1550
$\alpha F(\text{Fb/km})$	0,45	0,30
$\alpha E(\text{dB})$	0,20	0,20
$\alpha C(\text{dB})$	1	1

2.4.4

Mes

### ures de recette de la liaison

Ce sont :

- ✓ Les mesures de rétrodiffusion dans les deux sens, aux longueurs de d'onde de 1300 et 1550 nm et avec une fibre amorce.
- ✓ Les mesures d'insertion dans les deux sens, aux longueurs d'onde de 1300 et 1550 nm

Le but de ces mesures est d'établir une cartographie complète de la liaison (longueur, atténuation, caractérisation des différents éléments de la liaison) et de rendre un cahier de recette complet.

### 2.4.5 Calcul de bilan de liaison

$$a(\text{DB}) = (l \times \alpha F) + (NE \times \alpha E) + (NC \times \alpha C)$$

Équation 7:(2:1): bilan de liaisons

Ou :

$l$ =longueur de la fibre en km

$\alpha F$ =Affaiblissement linéique de la fibre en dB/km

$NE$ =Nombre d'épaisseurs

$\alpha E$ =valeur moyenne d'affaiblissement des épaisseurs en dB

$NC$ =Nombre de connecteurs optiques

$\alpha C$ =Affaiblissement moyen d'un connecteur

### 2.4.6 Mesures d'insertion

La mesure du bilan de liaison est effectuée suivant la technique d'insertion. Cette mesure est effectuée sur toutes les fibres montées sur connecteurs. Les matériels que nous pouvons avoir sont :

- ✓ 1 Emetteur optique (laser)
- ✓ 1 Récepteur optique (radiomètre)
- ✓ 2 Jarretières optique

L'émetteur et le récepteur seront associés à une jarretière, la connexion reliant la jarretière à l'appareil ne sera jamais démontée pendant toute la durée de la mesure.

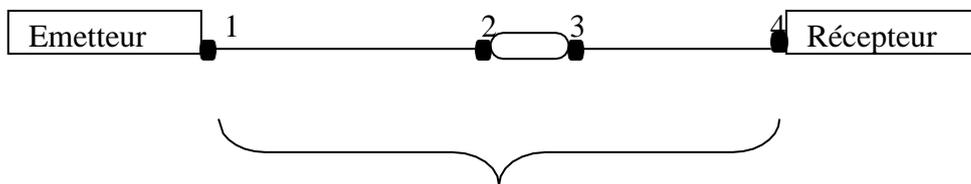


Figure 36:(2:4): liaison par jarretière

Les connexions 1 et 4 sont fixées et ne doivent pas être démontées après étalonnage. Seules les fiches 2 et 3 sont démontées pour permettre l'insertion sur la liaison.

Coté mesure, l'émetteur reste sous tension. Le récepteur est transporté à l'extrémité de la liaison après démontage de connexions 2 et 3. La liaison se trouve alors insérée selon le schéma suivant :

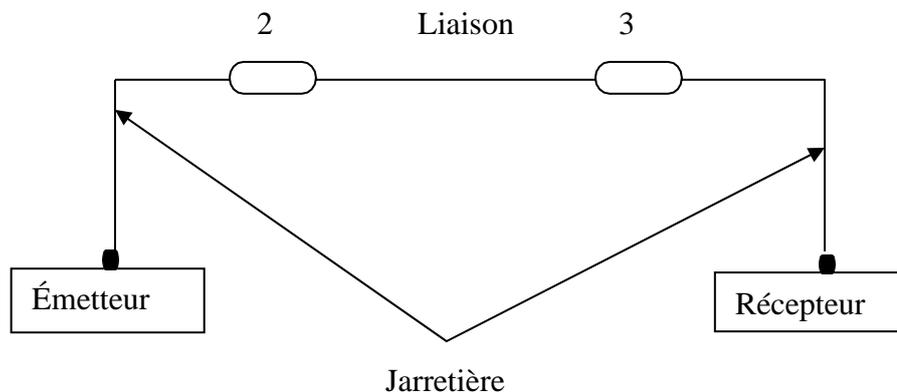


Figure 37:(2:5): liaison après démontage de connexion

Cette méthode utilise un mesureur de puissance (ou radiomètre ou power meter) et une source calibrée. Elle permet de mesurer une perte en dB entre la source et le récepteur.

Cette méthode n'est employée que sur courtes distances (quelques dizaines de mètres)

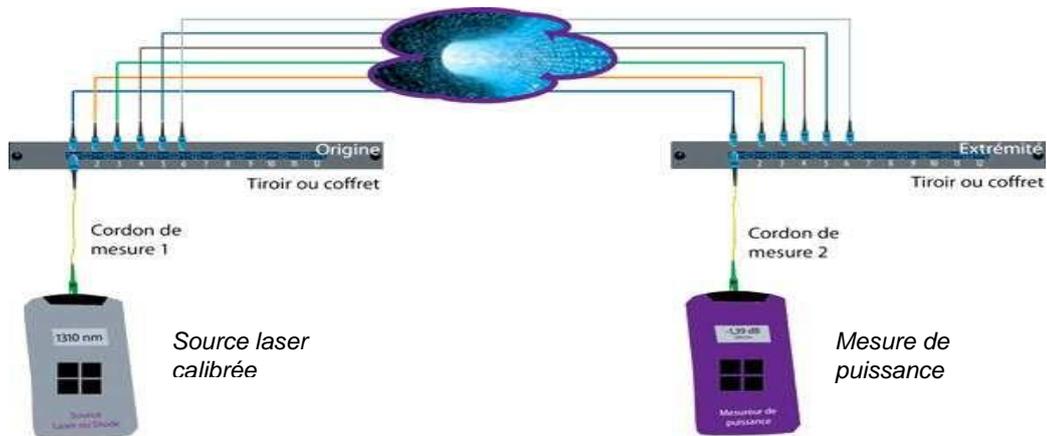


Figure 38:(2:6): liaison à tester

(Si la liaison à tester est déjà reliée au réseau, le mesureur de puissance affichera le niveau en dBm du signal optique reçu)

## 2.5 Mesure de réflectométrie

Toutes les fibres du câble sont mesurées :

- ✓ Avec une largeur d'impulsion de 500 ns au plus
- ✓ Avec un indice de réfraction de 1,465 ou 1,480
- ✓ Avec une échelle verticale de 5 dB et une échelle horizontale sur laquelle la longueur à mesurer occupe les 2/3 de l'écran

Une première mesure est effectuée sur la fibre à la longueur d'onde de 1550 nm. Sur un tableau est consignée la valeur d'affaiblissement du « GTE ». Cette mesure peut être enregistrée sur disquette, clé USB ou disque amovible ou sur support papier.



### Caractéristiques du signal

Figure 39:(2:7): forme d'un signal dans un réflectomètre

## 2.6 Le réflectomètre

Le réflectomètre est un appareil essentiel de la mesure sur la fibre optique. Avec lui, longueurs, pertes, défauts, sont analysable. Que ce soit avant pose, après pose, en cours de raccordement, on a besoin de connaître les caractéristiques des fibres, et qualifier : atténuation au Km, irrégularité, changement de pente, épissures et connecteur, localiser les défauts éventuels.

Les bobines amorces sont les accessoires impératifs de la mesure de rétrodiffusion. Les fibres des bobines doivent avoir les mêmes caractéristiques que les fibres de la liaison à mesurer à savoir les monomodes 9,5/125/250, les multimodes 50/125/250 ou 62,5/125/250. Les fibres doivent être équipées des connecteurs standards rencontrés sur la liaison à mesurer.

Il existe plusieurs types de réflectomètre tels que le réflectomètre de type JDSU, le réflectomètre de type OTDR.

### 2.6.1 Description d'un réflectomètre JDSU

Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

- ✓ Module Monomode Ref. E8126VSRe (très courte distance)
- ✓ Bi-longueur d'ondes : 1310/1550 Nm
- ✓ Dynamique : 32/30dB ; PSE : 2,5m ; PSA : 8m
- ✓ Largeurs d'impulsion : 10ns, 30ns, 100ns, 300ns, 1µs, 3µs et 10µs
- ✓ Grand écran TFT couleur 8,4 pouces
- ✓ Interface intuitive
- ✓ Stockage des données sur clé USB
- ✓ Logiciel d'édition des courbes OFS-100 [3]



Figure 40:(2:8): réflectomètre JDSU

### 2.6.2 Description d'un OTDR (OFL250)

Le réflectomètre OFL250 définit de nouveaux standards en termes de taille, de poids, de simplicité d'utilisation et de valeur ajoutée. Plus petit que beaucoup d'autres appareils de mesure optique, l'OFL250 possède la dynamique, les fonctionnalités et le prix pour en faire l'outil idéal des équipes terrain qui assurent le déploiement et la maintenance de câbles à fibre optique monomode.



Figure 41:(2:9): réflectomètre OFL250

Contrairement aux localisateurs de défauts qui ne détectent que les événements réfléchissants, l'OFL250 est un vrai OTDR qui mesure à la fois la rétrodiffusion de la fibre et les réflexions de Fresnel. Il permet donc de détecter et de localiser tous les événements tels qu'une cassure, une contrainte, une épissure, un connecteur. De plus, l'OFL250 intègre un Laser visible à 650nm pour la détection de défauts sur les très courtes distances et l'identification de fibres.

Dans le mode automatique, l'OFL250 mesure la longueur de la fibre et ajuste automatiquement la portée, la largeur d'impulsion et le temps d'acquisition. Ce mode est idéal pour les utilisateurs qui ne sont pas familiers avec les mesures de réflectométrie. Un mode semi-automatique permet de fixer la portée, les autres paramètres sont ajustés automatiquement. Un mode manuel est disponible pour les techniciens expérimentés. Il affiche le résultat sous la forme d'une courbe atténuation-distance qui a l'allure ci-dessous :

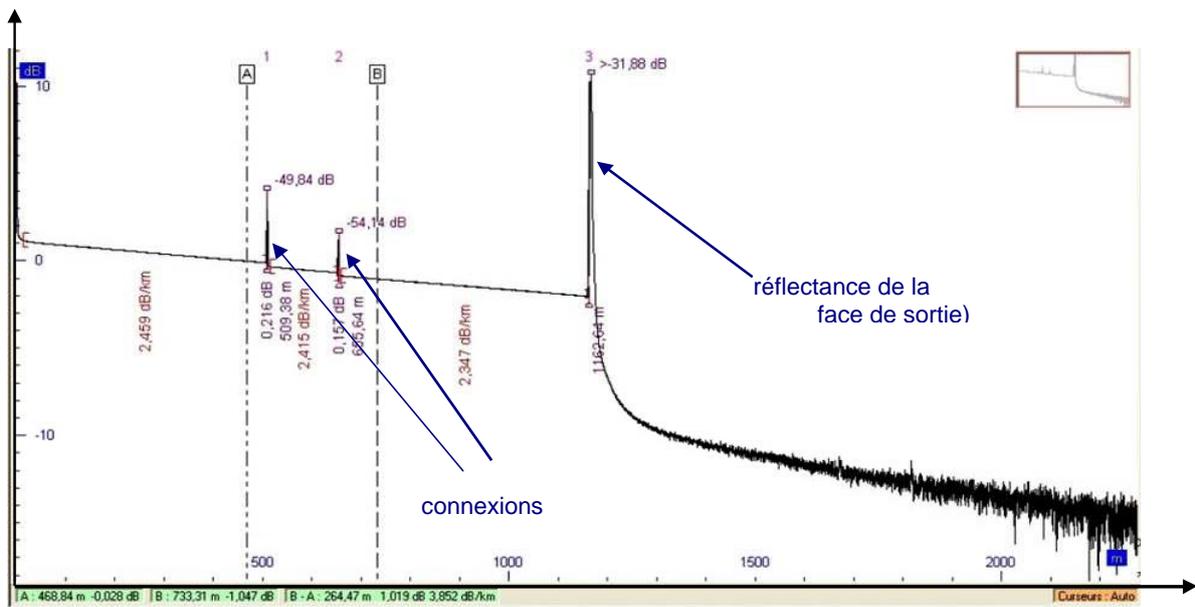


Figure 42:(2:10): le résultat d'OTDR sous la forme d'une courbe atténuation-distance

## 2.7 La soudure optique

Une soudure optique est un joint permanent qui permet d'établir une connexion entre deux fibres optiques. L'épissure par fusion localise une forte source de chaleur et fusionne deux fibres côte à côte. Les deux systèmes visent à réduire au maximum les pertes et à optimiser les performances de la fibre optique. La soudure de fibre optique peut impliquer l'alignement de fibre actif ou passif. La fibre obtenue suite à l'épissure est mesurée pour un suivi des pertes.

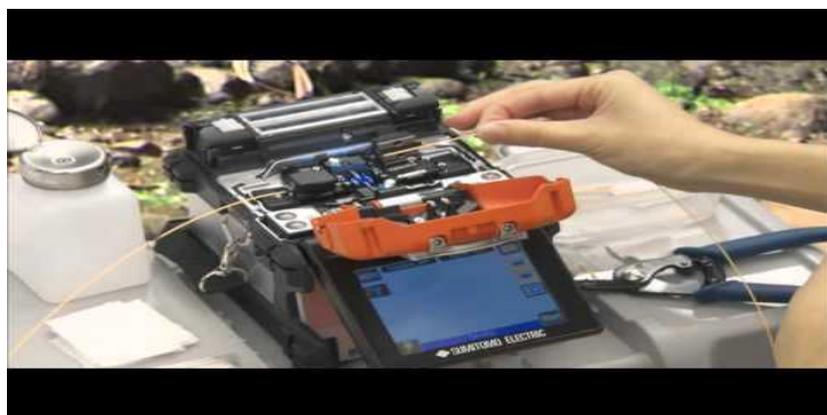


Figure 43:(2:11): opération de soudure

### 2.7.1 Caractéristiques d'une Soudeuse optique



Figure 44:(2:12): soudeuse optique Fujikura FSM 60S

Les soudeuses optiques varient d'un modèle à l'autre selon le constructeur. Ces genres des soudeuses ont comme caractéristiques :

- ✓ Alignement gaine à gaine
- ✓ Gorges en V gravées
- ✓ Encore plus résistante aux chocs, à la poussière et à la pluie ;
- ✓ Support de travail détachable ;
- ✓ Utilisation avec supports de fibre en option ;
- ✓ Rechargez la batterie en plein travail ;
- ✓ Déclenchement du four automatisé ;
- ✓ Electrodes longue vie ;
- ✓ Changement automatique de position de l'écran couleur 4,1" ;
- ✓ Connexion internet pour mise à jour aisée ;

## 2.8 Clivage optique

Le clivage est une opération nécessaire pour réussir une épissure. Cliver consiste à sectionner de façon propre, nette et précise le bout d'une fibre optique pour permettre la soudure. Chaque cycle d'épissure requiert deux clivages : un pour chaque fibre. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir une cliveuse en bon état dont la lame coupe efficacement; dans le cas contraire il

faudra réitérer le clivage jusqu'à obtenir une section nette et donc perdre de la longueur de fibre sur chacun des clivages.

## **2.8.1 Cliveuse**

La cliveuse est l'accessoire permettant de cliver la fibre optique. Il en existe plusieurs sortes, possédant des lames rotatives ou non. On retiendra que les cliveuses à lame rotative sont plus onéreuses, mais demandent moins de maintenance et sont plus simples d'utilisation, ce qui compense le coût à l'achat de la cliveuse.

### **2.8.1.1 Cliveuse FC-7R**

Il existe plusieurs types de cliveuse. Il reste à l'opérateur de décider le type qu'il veut ou au constructeur avec qui il a des partenariats. Ici nous allons montrer leur fonctionnement en générale en prenant par exemple une cliveuse de famille FC-7.

Dans cette famille on peut trouver une cliveuse de type FC-R est une cliveuse portable « tout-en-un clic » avec ajustage automatique de la lame. Pour les travaux d'épissurage et de « système de connexion », cette cliveuse fait gagner le temps que nous devons passer à corriger les erreurs de coupe ainsi que le temps que nous passons habituellement à ajuster la cliveuse. Son mécanisme entraîne automatiquement la rotation de la lame de coupe après chaque clivage et on ne procède alors à aucun réglage de la cliveuse avant 24000 utilisations.

- Rotation automatique de la lame (modèle FC-7R)
- Tout-en-un clic
- Simple d'utilisation, et légère
- Clive les brins monofibres de 250 à 900  $\mu\text{m}$  et jusqu'à 4 fibres en ruban
- Evite le double marquage de la fibre [4]



**Figure 45:(2:13): cliveuse FC-7R**

## 2.9 Protections d'épissures (smouves)

La protection d'épissure ou smouve est nécessaire pour protéger la zone de l'épissure par fusion, rendue cassante en l'absence de tout revêtement. Ces manchons sont constitués d'une double gaine thermo rétractable transparente.

- **Principe de fonctionnement**

Avant la soudure, le manchon doit être placé sur une des deux fibres à épissurer ensemble. Une fois les deux fibres raccordées, le manchon est glissé jusqu'à la zone dénudée. Grâce à sa transparence, il est facile de centrer l'épissure. Pour une protection efficace, la longueur du manchon doit être supérieure d'au moins 20 mm à la zone dénudée. Le rétreint s'effectue de façon uniforme dans un four spécial, souvent solidaire de la soudeuse. Lorsque l'opération est terminée, l'épissure est protégée et la fibre immobilisée.

Il présente comme avantage :

- Compatibles avec la plupart des fours de rétreint standard
- Compatibles avec les supports d'épissure standard Simple à mettre en œuvre



**Figure 46:(2:14): protections d'épissures (smouves)**

## 2.10 Les photomètres (Wattmètre Optique)

Un appareil de mesure de puissance optique (OPM) est un dispositif utilisé pour mesurer la puissance dans une optique de signal. Le terme se réfère généralement à un dispositif pour tester la puissance moyenne à fibres optiques systèmes.

D' autres dispositifs à usage général puissance lumineuse de mesure sont généralement appelés radiomètres , photomètre , laser mesureurs de puissance (peut être photodiodes capteurs ou capteurs laser thermopile ), posemètres ou mètres lux.

C'est un appareil typique qui se compose d'un calibré capteur , Le capteur est constitué essentiellement d'une photodiode sélectionnés pour la gamme appropriée de longueurs d'onde et de niveaux de puissance. Sur l'unité d'affichage, la puissance optique mesurée et la longueur d'onde réglée est affichée. Les Wattmètres sont calibrés à l'aide d'une norme d'étalonnage traçable comme un NIST standard.

### 2.10.1 OPM1 « mesure de puissance en dB »

Avec uniquement deux boutons – Marche/Arrêt et Longueur d'onde – l'OPM1 est le photomètre le plus simple. La puissance optique en dBm ainsi que la longueur d'onde sont affichées sur l'écran LCD.



Figure 47(2:16): photomètre de type OPM1

### 2.10.2 OPM4 « mesure directe de l'atténuation »

Facile à utiliser, l'OPM4 stocke une référence pour chacune des longueurs d'onde calibrées. Sur l'écran sont affichés la puissance optique (en dBm ou  $\mu\text{W}$ ) ou l'atténuation (en dB) ainsi que la longueur d'onde.



Figure 48:(2:17): photomètre de type OPM4

### 2.10.3 OPM5 « pour stocker les résultats »

La mémoire non volatile permet de stocker 500 résultats de mesure par longueur d'onde pour un transfert ultérieur sur PC via USB. L'appareil est livré avec un cordon de transfert et le logiciel WinTest qui permet de visualiser, d'imprimer et d'archiver les résultats.



Figure 49:(2:18): photomètre de type OPM5

## 2.11 Téléphones Optiques

Les téléphones optiques sont des solutions économiques permettant de répondre aux besoins de communication lors du test de fibre optiques. Utilisés sur une fibre libre, ils

assurent une communication bidirectionnelle mains libres. Simples d'utilisation et compacts, ils permettent à l'utilisateur de pouvoir se focaliser sur son travail.

Il existe des téléphones optiques de type FTS1 pour une communication sur fibres multimodes et monomodes et le FTS2 pour les applications monomodes longues distance. Ce dernier est équipé d'une fonctionnalité de conférences entres plusieurs appareils.



Figure 50:(2:19): le téléphone optique et ses accessoires

**Les caractéristiques :**

- ✓ Communication Full Duplex sur une seule fibre
- ✓ Mains libres
- ✓ Modèles Multimodes et Monomodes
- ✓ Compacts
- ✓ Connexion Automatique
- ✓ Conférence à plusieurs appareils
- ✓ Technologie Numérique
- ✓ Fonctionnalité de sonnerie / rappel (FTS2)

**Spécifications**

Tableau 8:(2:4): spécification des téléphones optiques de type FTS

<b>Optiques</b>		
<b>Types de fibre</b>	<b>Multimodes et monomode</b>	<b>Monomode</b>

<b>Emetteur</b>	<b>LED</b>	<b>Laser</b>
<b>Longueur d'onde</b>	<b>1300 nm</b>	<b>1310 nm/1550 nm</b>
<b>Dynamique</b>	<b>12 dB MM/ 20 dB SM</b>	<b>45 dB/ 45 dB</b>
<b>Connecteurs</b>	<b>Fixe FC, SC ou ST</b>	
<b>Alimentation</b>	<b>Pile 9V</b>	<b>4 piles AA</b>
<b>Températures de fonctionnement</b>	<b>0 à 40°C</b>	

## 2.12 Sonde d'inspection fibre optique

- **Description d'une sonde FIP-400B / EXFO**

La sonde d'inspection de fibres USB, FIP-400B, simplifie la méthode d'inspection et peut réduire jusqu'à 57% le délai de certification des connecteurs, protégeant ainsi le réseau des problèmes associés aux connecteurs sales ou endommagés.

- Fournit des images numériques nettes de connecteurs optiques avec 3 niveaux de grossissement.
- Optimisée pour les utilisateurs droitiers ou gauchers grâce à sa conception ergonomique (brevet en instance)
- Destinée à simplifier et accélérer les inspections :
- Dispositif haute performance de centrage de l'image de la fibre. Ce dispositif élimine l'étape pénible de localisation de la fibre dans l'image.
- ConnectorMax2, analyse réussite/échec des extrémités de connecteurs, basée sur des normes CEI ou des normes personnalisées
- Indicateur à LED intégré sur la sonde pour diagnostic réussite/échec du connecteur à l'essai.

### Applications :

Cette sonde permet aux opérateurs de minimiser les répercussions des connecteurs sales ou défectueux sur leurs réseaux, éliminant ainsi une des principales causes de défaillance. [5]



**Figure 51:(2:20): FIP-400B USB - Sonde d'inspection de fibre**

## 2.13 Conclusion

Ce chapitre a permis de situer le contexte de la description d'une liaison optique. Le concept et les différentes techniques la maintenance des réseaux optiques. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter le principe, et les caractéristiques du réflectomètre (OTDR).

# Chapitre III :

## La réflectométrie optique (OTDR)

### 3.1 Introduction

La mesure par OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) est couramment utilisée pour tester les lignes de transmission optique. C'est une méthode qui permet de caractériser la fibre optique simplement, à partir d'une seule de ses extrémités, et conduit à la localisation précise des défauts, à la mesure de l'atténuation de la fibre et aux pertes différentielles entre deux points choisis de la fibre. Le principe consiste à injecter dans la fibre une impulsion lumineuse suffisamment brève et puissante, qui se réfléchit sur les discontinuités dans la fibre (extrémités, inhomogénéités, . . .). Le temps qui sépare l'émission de l'impulsion de la réception du signal réfléchi donne la position du défaut dans la fibre. La hauteur de l'impulsion réfléchie informe sur l'importance et la nature du défaut. De plus, la mesure de la lumière rétrodiffusée par diffusion Rayleigh en direction du détecteur, même en l'absence de défauts réfléchissants le long de la fibre, permet de connaître l'absorption de la fibre à la longueur d'onde de l'impulsion injectée.

La réflectométrie optique possède de nombreux avantages, par exemple :

- L'accès à une seule extrémité de la fibre est suffisant pour la mesure
- Le dispositif de mesure est relativement simple
- Les mesures peuvent être effectuées sur site lorsque le câble à fibres optiques est posé
- Elle donne une information sur l'uniformité longitudinale de la fibre, au contraire d'autres méthodes de mesure.

### 3.2 Les signaux de la réflectométrie résolue en temps

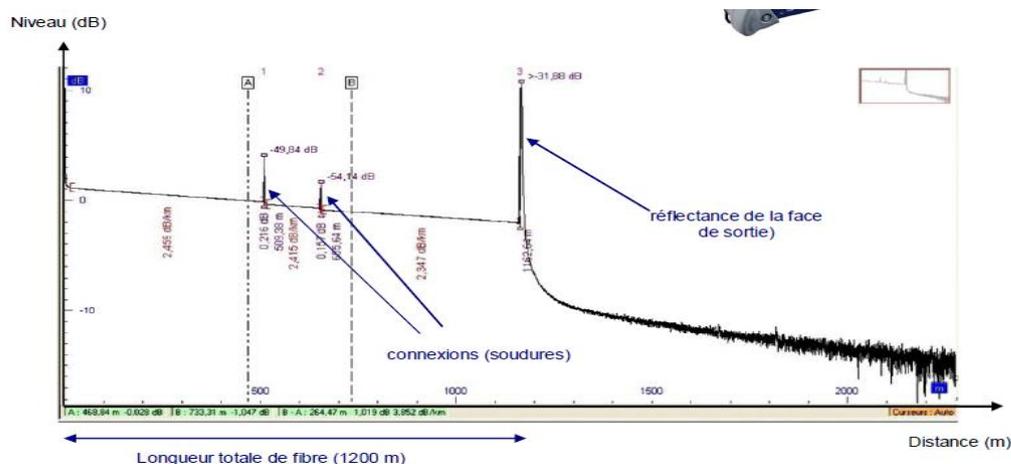


Figure 52:(3:1): Exemple de courbe obtenue avec un OTDR commercial.

On observe sur une courbe typique d'OTDR comme celle de la figure 3.1 ci-dessus le signal reçu. La réflexion de l'impulsion émise sur des défauts locaux (connecteurs ou fissures) caractérisée par un coefficient  $R$ . Le signal détecté à l'instant  $T$  s'écrit :

$$P_R(T) = R \cdot P_{in}(T = 0) \cdot e^{-\alpha \cdot v_g T} = R \cdot P_{in}(T = 0) \cdot e^{-2\alpha z}$$

**Équation 8:(3:1): le signal reçu**

Où :

$z$  Est la position du défaut,

$P_{in}(T = 0)$  Est la puissance optique transmise à l'entrée de la fibre,

$v_g = \frac{c}{n}$  Est la vitesse de groupe,

$\alpha$  Est le coefficient d'atténuation linéique de la fibre. Il faut garder en permanence à l'esprit que les signaux obtenus par réflectométrie résolue en temps sont atténués à l'aller et au retour (d'où un facteur 2 dans l'exponentielle).

**La rétrodiffusion** d'une très faible part de la puissance optique au fur et à mesure de la propagation de l'impulsion. Cette rétrodiffusion permet de mesurer :

- Des défauts locaux du type courbure excessive ou épissure (par fusion) qui provoquent une atténuation localisée. Et l'atténuation linéique dans la fibre.
- la puissance lumineuse dans une ligne de transmission optique subit une atténuation au cours de la propagation selon :

$$dP_{in}(z) = -\alpha P_{in}(z) dz$$

**Équation 9:(3:2): la puissance lumineuse dans une ligne de transmission optique**

Où  $\alpha$  est le coefficient d'atténuation linéique, qui s'exprime en  $m^{-1}$  ou en  $Km^{-1}$ . Ce coefficient regroupe l'ensemble des pertes par absorption et diffusion.

On obtient donc une décroissance exponentielle de la puissance :

$$P_{in}(z) = P_{in}(z = 0) e^{-\alpha z}$$

Équation 10:(3:3): la puissance en exponentielle

Sur une échelle **log**, elle apparaît par la décroissance linéaire du signal entre deux défauts. La pente de ce signal permet d'obtenir l'atténuation dans la fibre. Dans le domaine des télécoms, le flux est exprimé en **dBm** et l'atténuation est exprimée en **dB/Km** c'est à dire :

$$\alpha_{dB} = 10 \log \frac{P(z)}{P(z + 1km)}$$

Équation 11:(3:4): le flux

### 3.3 Pertes et atténuation dans une fibre optique

#### 3.3.1 Diffusion Rayleigh

La figure suivante montre bien que la diffusion Rayleigh induite par des inhomogénéités microscopiques d'indice est la principale source d'atténuation dans les fibres dans le domaine des télécommunications optiques autour de 1,5  $\mu\text{m}$ .

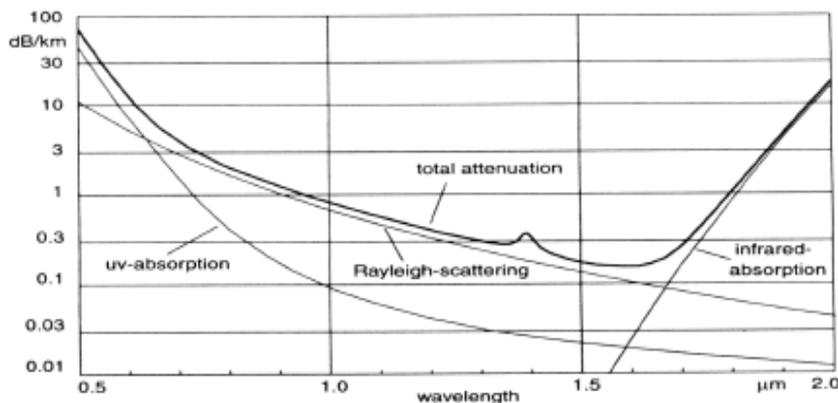
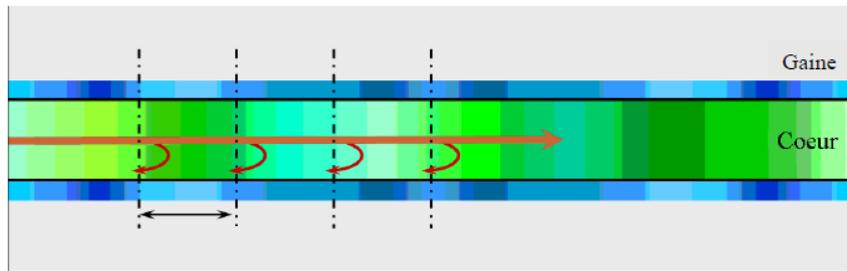


Figure 53:(3:2): Pertes dans une fibre optique en silice en fonction de la longueur

Dans ce domaine de longueurs d'onde, le coefficient de diffusion est égal à  $\alpha = 0.14 \text{ dB/Km}$ .

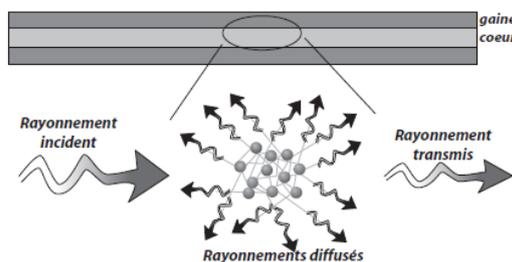
### 3.3.2 Rétrodiffusion

La fibre optique est constituée d'un cœur entouré par une gaine optique. Dans le cas idéal la fibre est considérée comme homogène, c'est-à-dire son cœur et sa gaine présentent les mêmes caractéristiques selon l'axe de la fibre. Or, pendant le processus de fabrication de la fibre optique des micro-défauts se produisent inévitablement dans le cœur et la gaine, ce qui crée des inhomogénéités (**fig. 3. 3**).



**Figure 54:(3:3): Une fibre optique avec le cœur inhomogène**

La présence des inhomogénéités provoque la diffusion élastique de lumière qui porte le nom de diffusion de Rayleigh. Puisqu'elle est liée aux défauts de la structure de la fibre optique, la diffusion de Rayleigh est répétitive pour une fibre optique donnée. Si la fibre est affectée par un paramètre physique externe (par exemple, changement de température, pression ou déformation) le spectre de sa diffusion de Rayleigh se décale. Ainsi en mesurant ce décalage du spectre il est *a priori* envisageable de mesurer l'effet appliqué. Seule une partie de la lumière diffusée est rétrodiffusée et se propage dans le cœur en sens inverse du faisceau injecté.



**Figure 55:(3:4): Rétrodiffusion d'une portion  $z$  dans une fibre**

La proportion de lumière rétrodiffusée peut être évaluée à partir de la lumière globalement diffusée en un point dans la fibre, au moyen d'un coefficient de capture  $S$ , dont l'expression

dépend des grandeurs géométriques de la fibre (ouverture numérique ON, indice moyen  $n$ ) et de son profil d'indice (gradient d'indice, saut d'indice).

$$S = \frac{1}{m} \left( \frac{ON}{n} \right)^2$$

Équation 12:(3:5): moyen d'un coefficient de capture  $S$

Valeur typique pour une fibre monomode,  $m = 4.55$ .

### 3.3.3 Evaluation de la puissance rétrodiffusée

Considérons une impulsion rectangulaire de durée  $\tau$  injectée dans la fibre à l'instant  $t = 0$  selon le schéma de la figure suivante :

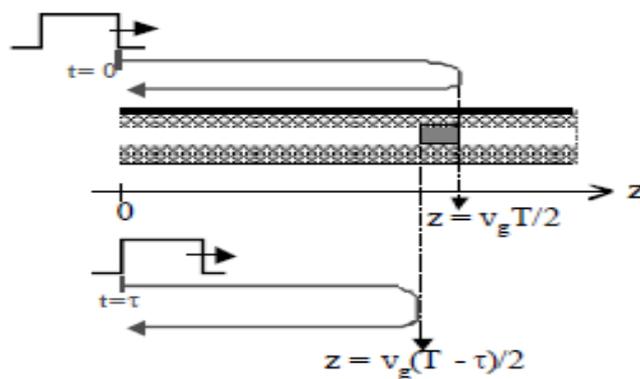


Figure 56:(3:5): Impulsion rétrodiffusée

Le signal détecté à l'instant  $t = T$  est la somme des signaux rétrodiffusés dans la fibre correspondant à des portions différentes de l'impulsion lumineuse : le début de l'impulsion lumineuse est rétrodiffusé en  $z = vg \cdot T/2$ , tandis que la fin de l'impulsion, injectée plus tard dans la fibre, est rétrodiffusée en  $z = vg \cdot T/2 - vg \cdot \tau/2$  :  $vg$  est la vitesse de groupe dans la fibre ( $c/n$ ). La lumière rétrodiffusée s'est propagée à l'aller et au retour dans la fibre. Le flux rétrodiffusé à détecter est donc :

$$P_{rd}(T) = \int_{v_g(T/2-r/2)}^{v_g T/2} S \cdot \alpha_{diff} \cdot P_{in}(z=0) \cdot e^{-2\alpha z} \cdot dz$$

Soit :

$$P_{rd}(T) = S \cdot \frac{\alpha_{diff}}{2\alpha} \cdot P_{in}(z=0) \cdot e^{-\alpha v_g T} (e^{\alpha v_g \tau} - 1)$$

Équation 13:(3:6): les equations de puissance rétrodiffusée

L'atténuation que subit la lumière pendant la durée de l'impulsion est très faible ( $v_g \ll 1$ ), la puissance rétrodiffusée est donc :

$$P_{rd}(T) = S \cdot \frac{\alpha_{diff}}{2} \cdot v_g \tau \cdot P_{in}(z=0) \cdot e^{-\alpha v_g T}$$

$$P_{rd}(z) = S \cdot \frac{\alpha_{diff}}{2} \cdot v_g \tau \cdot P_{in}(z=0) \cdot e^{-2\alpha z}$$

Équation 14:(3:7): la puissance rétrodiffusée lorsque l'impulsion est très faible ( $v_g \ll 1$ ).

On appelle le coefficient de rétrodiffusion,  $R_d$  :

$$R_d = S \cdot \frac{\alpha_{diff}}{2} \cdot v_g \tau$$

Équation 15:(3:8): le coefficient de rétrodiffusion

### 3.4 Schéma interne d'un OTDR

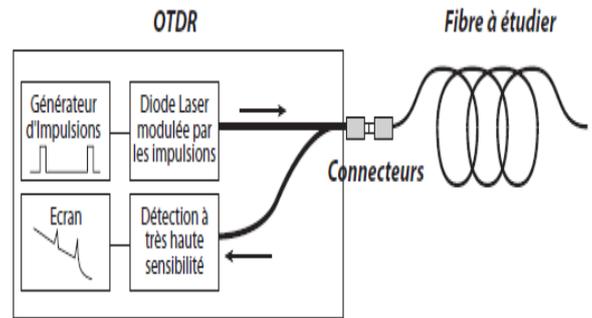
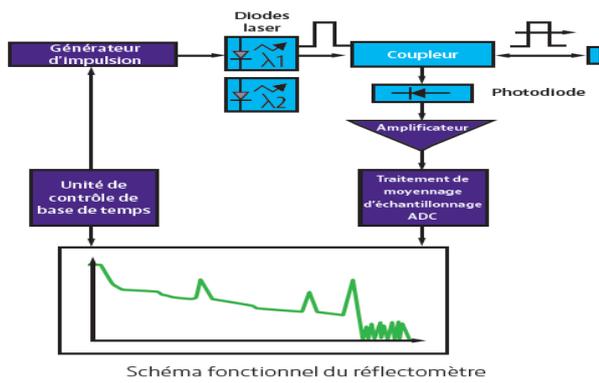


Figure 57:(3:6): Schéma fonctionnel du réflectomètre

### 3.5 Signatures observables sur un OTDR

Tableau 9:(3:1): Traces observées sur un OTDR

Trace Observée	Explication
	<p>Pertes par diffusion et/ou absorption. C'est ce qui est décrit depuis le début de ce TP. Ce type de trace est intéressant car il permet de mesurer l'atténuation par <i>m</i> ou par <i>km</i> des fibres.</p>
	<p>Perte optique localisée. Ce type de trace est observé parce que la fibre a localement des pertes. En pratique, on rencontre ce genre de signature au niveau d'une soudure.</p>
	<p>Pertes optique localisée avec réflexion. Ce type de trace est observé parce qu'une grande quantité de lumière revient vers l'OTDR. Ceci est généralement dû à une réflexion localisée due à la réflexion de Fresnel :</p> $R = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$ <p>En pratique, on rencontre ce genre de signature au niveau d'un connecteur.</p>
	<p>Fin de fibre. Généralement, on observe en fin de fibre un fort pic par réflexion de Fresnel (différence d'indice verre-air), suivi d'une perte de signal très forte (fin de la diffusion). On observe la plupart du temps un pic supplémentaire qui serait "dans l'air" que l'on appelle "pic fantôme". Ce pic s'explique par le fait que la réflexion en bout de fibre peut faire un ou plusieurs allers-retours dans la fibre, et donc subir à nouveau une deuxième réflexion en fin de fibre qui sera perçue par l'OTDR.</p>

### 3.6 Réaliser une mesure de réflectométrie optique en 5 étapes

- Liste du matériel nécessaire :

Bobines amorces x2



Cassette de nettoyage

Réfectomètre



Stylo de nettoyage

#### 3.6.1 Le choix des bobines amorces

Les bobines amorces sont des éléments importants de la mesure de réflectométrie optique, en effet elles ont plusieurs utilités :

- Sortir de la zone morte de départ (zone située à la sortie du réflectomètre dans laquelle la mesure est impossible).
- Caractériser les connecteurs d'entrée et de sortie du réseau optique dont on souhaite connaître les valeurs de pertes et de réflexion.

Pour bien choisir les bobines, il faut tout d'abord que les connecteurs présents sur les bobines soient les mêmes que ceux présents sur le réseau ainsi que sur le réflectomètre bien que ces derniers soient interchangeables. Bien entendu on prendra une bobine de même nature que le réseau à mesurer (monomode ou multimode). Ensuite viens le choix de la longueur, là il existe certaines règles mais qui ne sont pas stricte, il sera conseillé une longueur de 500m pour de la fibre multimode, 1km pour des réseaux court (<10km) en monomode et 2km (>10km) pour les réseaux plus long de fibre monomode.

#### 3.6.2 La préparation du matériel

La préparation est une étape cruciale de la mesure, de la bonne préparation va découler la qualité de la mesure et donc sa fiabilité. Cette préparation consiste en un repérage des différentes connexions à réaliser et au nettoyage minutieux de ces dernières. Dès qu'un élément est propre on le met en position (connexion dans une traversée ou sur le réflectomètre), dans le cas d'une fiche placée dans une traversée on nettoiera ensuite la

deuxième fiche de cette traversée. Le réseau est prêt à être mesuré il faut maintenant choisir les paramètres de mesure adéquats.

### 3.6.3 Le choix des paramètres de mesure

Pour la réflectométrie, il existe différents paramètres qu'il faut savoir choisir pour pouvoir faire une bonne mesure.

- **La longueur d'onde** : Il s'agit de la « couleur » de la lumière que l'on va émettre dans la fibre pour mesurer ses caractéristiques. 850nm et 1300 nm pour des mesures sur des fibres multimodes, 1310 nm et 1550 nm pour des mesures sur des fibres monomodes. Il existe aussi d'autres longueurs d'onde telles que 1490 nm et 1625 nm utilisées pour les fibres monomodes mais sur des applications plus particulières. On mesurera avec les deux longueurs d'onde principales pour chaque type de fibre car chaque longueur d'onde ne donne pas les mêmes indications
- **La distance de mesure** : Il s'agit de la distance sur laquelle la mesure va être effectuée, en règle générale on prend la valeur tout de suite supérieure au double de la longueur du réseau. Par exemple mes réseaux fait 10 km j'ai deux bobines amorces de 1km chacune ce qui me fait une longueur totale de 12km il faut donc prendre une distance de mesure minimum de 24km.
- **La largeur d'impulsion** : c'est le temps pendant lequel on émet de la lumière dans la fibre optique. Plus cette largeur sera importante plus le signal émis ira loin dans la fibre mais au détriment de la précision de la mesure en revanche une petite largeur d'impulsion permettra d'avoir plus de détail sur la mesure mais ira moins loin. Il faut donc adaptée la largeur d'impulsion de façon à avoir le plus de précision possible tout en allant au bout de la mesure.
- **L'indice de réfraction** : Il s'agit d'une valeur intrinsèque de la fibre mesurée, il est nécessaire de la connaître et de la renseigner pour que les distances affichées par le réflectomètre soient juste.

Une fois les paramètres choisis il est désormais possible de lancer la mesure.

### **3.6.4 La mesure**

Pour lancer la mesure, on choisit soit une mesure simple, soit une mesure par moyenne. Cette dernière permet une meilleure précision en multipliant le nombre de mesure et en faisant une moyenne des valeurs obtenue. Sur la plupart des appareils il suffit d'appuyer sur le bouton Start pour lancer la mesure, attention sur certain modèles cette action lance une mesure automatique qui ne prend pas en compte les paramètres choisis précédemment, il faut donc trouver le bon bouton qui permet de lancer la mesure avec les paramètres définis.

### **3.6.5 Analyse de la courbe**

La courbe obtenue représente les caractéristiques de transmission de la fibre mesurée. Sur la courbe on peut voir différentes forme d'une part des pic et d'autre part des marches. Les pics sont appelés « pics de Fresnel ». Ils représentent des réflexions sur des « lames d'air », en effet lorsque la lumière change de milieu comme dans un connecteur (passage de la fibre à l'air puis de l'air à la fibre) il y a réflexion ce qui se traduit par un pic sur la courbe. Plus le pic est bas, meilleur est le connecteur. Les marches sont des pertes dues en règle générales à une fusion. Plus la marche est haute plus la fusion est de mauvaise qualité. Il est possible que certaines marches représentent en fait un connecteur, on ne peut le savoir que lorsque l'on connaît parfaitement le réseau que l'on mesure. Dans ce cas il s'agit alors d'un connecteur de très bonne qualité (pas de pic de Fresnel).

## **3.7 Choix et rôle d'un réflectomètre dans les différentes installations**

Il est indispensable de tester la fibre optique pour s'assurer que le réseau est optimisé et peut fournir des services fiables et efficaces sans défaut.

### **3.7.1 Installations extérieures**

Les fournisseurs de services de télécommunications, de vidéos et de données, et les opérateurs réseau veulent la garantie que leurs investissements dans des réseaux optiques sont protégés. Dans les installations de fibre optique à l'extérieur, chaque câble doit faire l'objet de tests à l'aide d'un réflectomètre optique pour confirmer que l'installation a été effectuée correctement. Il sera demandé aux techniciens d'utiliser des kits de tests de perte (source optique et photomètre) et des réflectomètres optiques pour établir un cahier de recette qui

atteste de la conformité de leur travail. Plus tard, les réflectomètres optiques pourront servir à rechercher les pannes telles que des ruptures provoquées par des travaux de terrassement.

### **3.7.2 Réseaux dans les bâtiments (LAN/WAN, Datacenter, entreprise)**

De nombreux sous-traitants et propriétaires de réseaux se demandent pourquoi ils devraient tester le câblage fibre avec des réflectomètres optiques. Ils veulent également savoir si les tests avec un OTDR pourraient remplacer les tests traditionnels effectués avec un photomètre et une source optique. Les réseaux optiques dans les bâtiments ont des tolérances de pertes et des marges d'erreur faibles. Les installateurs doivent tester le budget de perte sur l'ensemble du système avec une source optique et un photomètre (certification de niveau 1 imposée par les normes TIA-568C). Les tests par réflectomètre optique (certification de niveau 2) constituent une bonne pratique, capable d'identifier précisément les causes d'une perte excessive et de vérifier que les épissures et les connexions respectent les tolérances appropriées. En outre, eux seuls permettent d'identifier l'emplacement exact d'un défaut ou d'une cassure. Les tests de liaisons fibre optique à l'aide d'un réflectomètre optique permettent également de documenter le système en vue de vérifications ultérieures.

## **3.8 Compréhension les principales spécifications des réflectomètres optiques**

### **3.8.1 Longueurs d'onde**

En général, la fibre optique doit être testée avec la même longueur d'onde que celle utilisée pour la transmission.

- Longueurs d'ondes de 850 nm et/ou 1 300 nm pour les liaisons fibre optique multimodes.
- Longueurs d'ondes de 1 310 nm et/ou 1 550 nm et/ou 1 625 nm pour les liaisons fibre optique monomodes.
- Longueur d'onde filtrée de 1 625 nm ou 1 650 nm pour la recherche de panne des liaisons fibre optique monomodes en trafic.

- Longueur d'onde CWDM (de 1 271 nm à 1 611 nm avec un espacement des canaux de 20 nm) pour la mise en service et la recherche de panne des liaisons fibre optique monomodes assurant la transmission CWDM.
- Longueur d'onde de 1 490 nm pour les systèmes FTTH (pas obligatoire - les tests peuvent s'effectuer à 1490 nm, mais également à 1550 nm pour réduire les investissements supplémentaires).

Effectuer des tests à une seule longueur d'onde permettra uniquement de localiser les défauts. Il est recommandé de procéder à des tests à deux longueurs d'ondes pendant la phase d'installation et de recherche de panne car cela permet de détecter les courbures de la fibre optique.

### 3.8.2 Plage dynamique

La plage dynamique est une caractéristique importante car elle détermine la portée des mesures du réflectomètre optique. La plage dynamique indiquée par les fournisseurs de réflectomètres optiques est obtenue avec la plus grande largeur d'impulsion possible ; elle est exprimée en décibels (dB). La plage de distances ou plage d'affichages parfois spécifiée peut être trompeuse car elle correspond à la distance maximale que le réflectomètre optique peut afficher, pas à celle qu'il peut mesurer. La plage de mesures réelle d'un réflectomètre optique dépend de la fibre optique même et des événements dans le réseau.

**Tableau 10:(3:2): La plage de mesures d'un réflectomètre optique**

Longueur d'onde	1 310 nm	1 550 nm						
Plage dynamique	35 dB	35 dB	40 dB	40 dB	45 dB	45 dB	50 dB	50 dB
Nominal Plage de mesure maximale d'un réflectomètre optique	80 km	125 km	95 km	150 km	110 km	180 km	125 km	220 km

### 3.8.3 Zones mortes

Les zones mortes sont une caractéristique importante car elles déterminent la capacité d'un réflectomètre optique à détecter et mesurer deux événements à faible espacement sur des liaisons fibre optique. Les zones mortes spécifiées par les fournisseurs de réflectomètres optiques correspondent à la largeur d'impulsion la plus courte et sont exprimées en mètres (m). La zone morte d'événement (EDZ) correspond à la distance minimale à laquelle deux événements réfléchifs consécutifs (comme deux paires de connecteurs) peuvent être distingués par le réflectomètre optique. La zone morte d'atténuation (ADZ) est la distance minimale après un événement réfléchif (par exemple, une paire de connecteurs) à laquelle un événement non réfléchif (par exemple, une épissure) peut être mesuré.

### 3.8.4 Largeurs d'impulsion

La relation entre la plage dynamique et la zone morte est directement proportionnelle. Les tests sur des fibres optiques de longue distance nécessitent une plage dynamique plus grande, de sorte qu'une impulsion optique plus large est requise. Lorsque la plage dynamique augmente, la largeur d'impulsion augmente ainsi que la zone morte (le réflectomètre optique ne détectera pas les événements rapprochés). Sur de courtes distances, il convient d'utiliser des largeurs d'impulsion courtes pour réduire les zones mortes. La largeur d'impulsion est exprimée en nanosecondes (ns) ou microsecondes ( $\mu$ s).

### 3.8.5 Connaître l'usage prévu

Il existe un large choix de modèles de réflectomètres optiques répondant à différents besoins en termes de tests et de mesures. Posséder une bonne compréhension des principales caractéristiques d'un réflectomètre optique et de l'usage auquel il est destiné aidera les acheteurs à faire le bon choix en fonction de leurs besoins spécifiques. Avant d'acheter un réflectomètre optique, il convient de répondre à plusieurs questions.

- Quel type de réseau allez-vous tester ? LAN, FTTH/PON, métropolitain, longue distance
- Quel type de fibre optique allez-vous tester ? Monomode ou multimode ?
- Quelle est la distance maximale que vous pourrez être amené à tester ? 700 m, 25 km, 150 km ?

- Quel type de mesure effectuerez-vous ? Construction (tests d'acceptation), recherche de panne, en service ?

### 3.8.6 Réflectomètres optiques recommandés en fonction de l'usage prévu

#### Réseaux dans les bâtiments (LAN/WAN, datacenter, entreprise)

Type de fibre optique	Multimode	Monomode	Monomode et multimode
Longueurs d'onde	850/1 300 nm	1 310/1 550 nm	850/1 300/1 310/1 550 nm
Principales spécifications	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés		

#### FTTA, DAS et réseau d'accès sans fil dans le cloud (C-RAN)

Type de fibre optique	Multimode	Monomode	Monomode et multimode
Longueurs d'onde	850/1 300 nm	1 310/1 550 nm	850/1 300/1 310/1 550 nm
Principales spécifications	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés		

#### Réseau d'accès point à point/Backhaul

Type de fibre optique	Monomode
Longueurs d'onde	1 310/1 550 nm
Principales spécifications	Plage dynamique $\leq 35$ dB à 1 550 nm Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés

#### Réseaux d'accès point à point/FTTH/PON

Type de test	Installation - Test avant et après un ou des coupleurs	Installation avec coupleur(s) unique ou en cascade	Recherche de panne en service
Longueurs d'onde	1 310/1 550 nm	1 310/1 550 nm	1 625 nm ou 1 650 nm filtrée
Principales spécifications	Plage dynamique $\leq 35$ dB à 1 550 nm	Plage dynamique $\geq 35$ dB à 1 550 nm pour des tests à travers un coupleur de type V32	Plage dynamique non pertinente
		Plage dynamique $\geq 40$ dB à 1 550 nm pour tester les fibres avec un coupleur de type V64	
	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés	Zones mortes PON/coupleurs les plus courtes possibles + acquisition à impulsions multiples automatique	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés + acquisition à impulsions multiples automatique

#### CWDM et DWDM

Type de test	Installation, mise en service de longueur d'onde ou recherche de panne
Longueurs d'ondes CWDM	De 1 271 nm à 1 611 nm avec un espacement de canaux de 20 nm
Longueurs d'ondes DWDM	Réglage bande C – de C62 à C72 (1 527,99 nm – 1 567,95 nm)
Principales spécifications	Plage dynamique $\geq 35$ dB pour les tests à travers les mux, les multiplexeurs optiques d'insertion-extraction (OADM) et les demux Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés Fonction de source optique continue intégrée pour vérifier la continuité de bout en bout

#### Métropolitain, longue distance, ultra longue distance

Type de réseau	Réseau métropolitain, longue distance	Très longue distance	Ultra longue distance
Longueurs d'onde	1 310/1 550/1 625 nm	1 310/1 550/1 625 nm	1 550 nm/1 625 nm
Principales spécifications	Plage dynamique $\geq 40$ dB à 1 550 nm	Plage dynamique $\geq 45$ dB à 1 550 nm	Plage dynamique $\geq 50$ dB
	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les événements rapprochés		

#### Usages multiples

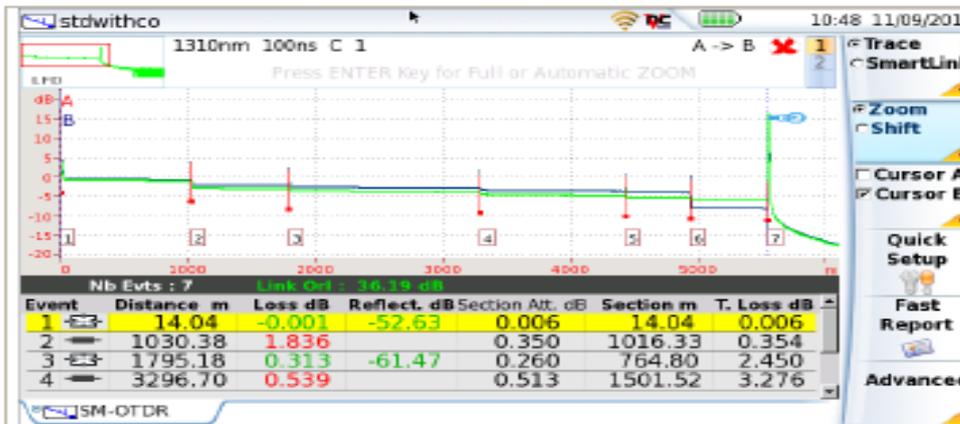
Type de réseau	Réseau local/d'accès	Réseaux métropolitain jusqu'à très longue distance
Longueurs d'onde	850/1 300/1 310/1 550 nm (1 625 nm en option)	1 310/1 550/1 625 nm (avec l'ajout d'un filtre externe sur la longueur d'onde de 1 625 nm, le réflectomètre optique devient adapté à la recherche de panne sur un réseau FTTH/PON)
Principales spécifications	Plage dynamique : Peu importe pour le multimode ; $\leq 35$ dB à 1 550 nm pour le monomode	Plage dynamique la plus élevée
	Zones mortes les plus courtes possible	
	Plate-forme modulaire évoluant en fonction des besoins en tests et fournissant la flexibilité maximale	

### **3.8.7 Autres spécifications d'OTDR importantes lors de tests de réseaux FTTH/PON**

Pour pouvoir mesurer chaque segment d'un réseau PON et détecter tous les « événements » ayant lieu sur la liaison fibre optique, de l'ONT (client) à l'OLT (central), un réflectomètre traditionnel exigera la réalisation de multiples tests manuels (acquisitions) en utilisant pour chacun d'eux des paramètres différents. Les réflectomètres PON les plus récents ajustent les paramètres de test et réalisent automatiquement de multiples acquisitions à différentes largeurs d'impulsion, afin d'obtenir des résultats de tests optimaux et pour détecter tous les « événements » (courbures, épissures, connexions) situés avant et après le(s) coupleur(s) PON. Il est fortement recommandé de vérifier si un réflectomètre (OTDR) peut être équipé de ce type de fonctionnalité avant de le choisir pour la réalisation de tests avec coupleur(s) optique(s) unique ou en cascade.

### **3.8.8 Résultats de tests d'OTDR**

L'utilisation d'un réflectomètre optique n'est pas particulièrement compliquée, mais elle exige de se familiariser avec les bonnes pratiques en matière de tests de la fibre optique pour effectuer correctement des mesures. Seuls des techniciens dûment formés et expérimentés peuvent correctement analyser et interpréter les traces OTDR. Il sera difficile pour un technicien peu qualifié d'utiliser un réflectomètre optique et de comprendre les résultats obtenus. Une application logicielle intelligente, intégrée à l'instrument, peut aider les techniciens à utiliser plus efficacement l'OTDR en mettant la réflectométrie optique à la portée de tous. Elle présente la liaison fibre optique testée sur un schéma, reconnaît et interprète automatiquement chaque événement détecté par l'OTDR et le représente simplement par une icône pour une meilleure compréhension des résultats. Il est cependant indispensable de pouvoir corréler les résultats à la trace OTDR si cela est nécessaire.



Vue OTDR classique

Figure 58:(3:7): Vue d'OTDR classique

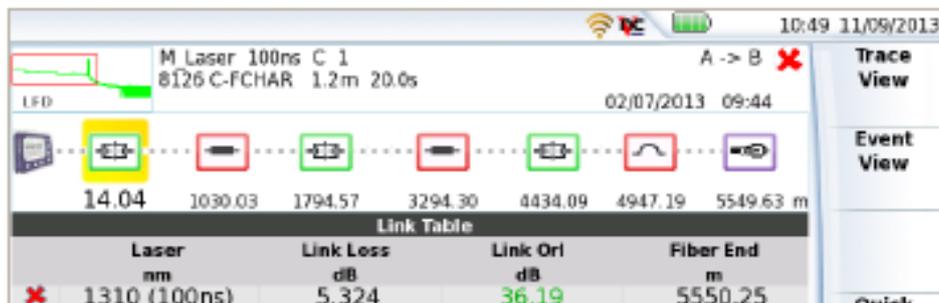
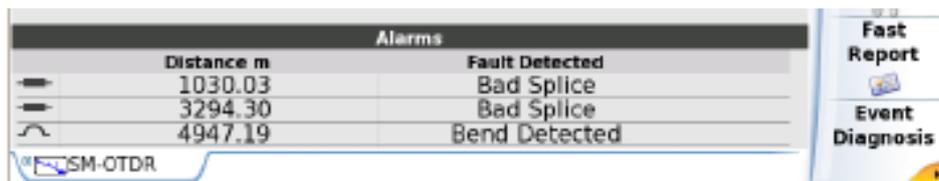


Figure 59:(3:7): Vue d'OTDR classique



Représentation à base d'icônes

Figure 60:(3:8): Représentation à base d'icônes

### 3.9 Facteurs à prendre en compte pour choisir un réflectomètre optique :

- **Dimensions et poids** - c'est un aspect important lorsqu'il faut grimper jusqu'à une antenne cellulaire ou travailler dans un bâtiment.
- **Taille de l'affichage** - un écran de 5 pouces au moins est indispensable ; les réflectomètres optiques dont l'écran est plus petit sont moins onéreux, mais ils rendent l'analyse de la trace OTDR plus difficile.
- **Autonomie de la batterie** - un réflectomètre optique doit pouvoir s'utiliser pendant une journée entière sur le terrain ; une autonomie de 8 heures est un minimum.
- **Stockage des traces ou résultats** - l'appareil doit disposer d'une mémoire interne d'au moins 128 Mo, avec options de stockage externe (clés USB, par exemple).
- **Technologie sans fil Bluetooth et/ou Wi-Fi** - une connectivité sans fil permet l'exportation aisée des résultats des tests vers des PC, ordinateurs portables ou tablettes.
- **Modularité/Évolutivité** - une plateforme modulaire/évolutive vous permettra de suivre plus facilement l'évolution de vos besoins en tests ; ce type de plateforme est plus coûteux à l'achat mais s'avère plus rentable sur le long terme
- **Disponibilité d'un logiciel de post-traitement** - bien qu'il soit possible de modifier et de générer des rapports de mesure sur l'instrument de test, il est souvent plus facile et pratique d'analyser les résultats de tests et de créer des rapports à l'aide d'un logiciel de post-traitement.

### 3.10 Bonnes pratiques en matière de réflectométrie optique

Plusieurs bonnes pratiques garantissent la fiabilité des tests par OTDR.

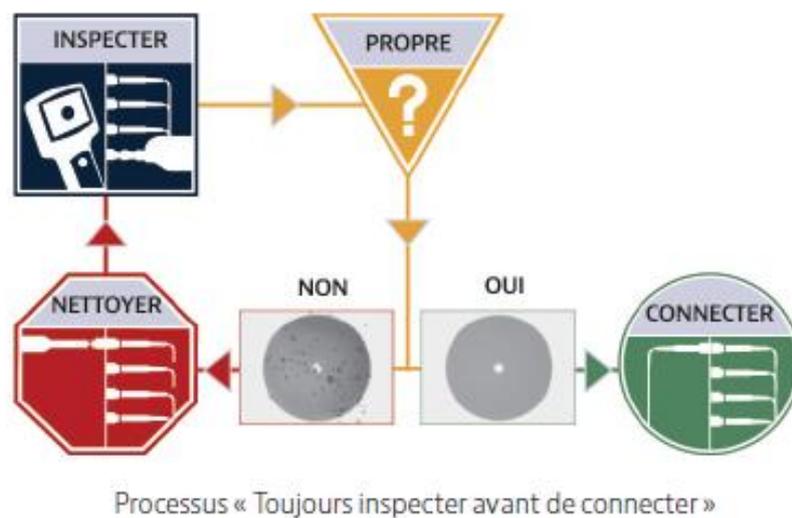
#### 3.10.1 Utilisation des bobines amorces

Des bobines amorces, composées de bobines de fibre optique avec des distances spécifiques, doivent être connectées aux deux extrémités de la liaison fibre optique testée afin de qualifier les connecteurs d'extrémités proches et distantes à l'aide du réflectomètre optique. La longueur des bobines amorces dépend de la liaison testée, mais elle est généralement de 300 m à 500 m pour les tests multimodes, et de 1 000 m à 2 000 m pour les tests monomodes. Pour les très longues distances, il est recommandé d'utiliser des bobines de 4 000 m. La longueur de la bobine dépend fortement de la zone morte d'atténuation du réflectomètre optique, laquelle dépend de la largeur d'impulsion. Plus la largeur d'impulsion utilisée est large, plus les bobines amorces doivent être longues. Néanmoins, si une fonction d'impulsions

multiples est disponible sur le réflectomètre, la longueur de la bobine amorce peut être réduite à 20 m. Les bobines amorces doivent être du même type que la fibre optique testée.

### 3.10.2 Inspection proactive des connecteurs

Une seule connexion de fibre optique sale suffit à affecter la performance générale du signal. Inspecter pro activement chaque connecteur optique à l'aide d'un microscope pour fibre optique réduira considérablement le temps d'indisponibilité du réseau et celui consacré à la recherche de panne. Respectez systématiquement la procédure « Toujours inspecter avant de connecter » pour vous assurer que les connecteurs optiques sont propres avant leur couplage. Si le port du réflectomètre optique ou les connecteurs de la bobine amorce sont sales, cela aura un impact négatif sur les mesures du réflectomètre. Il faut donc toujours inspecter et nettoyer les connecteurs optiques avant de connecter une bobine amorce.



**Figure 61:(3:9): Processus (inspecter avant connecter)**

Une infrastructure de réseau optique optimisée garantit des services robustes et fiables pour les clients. Une expérience client positive renforce la fidélité, ce qui assure un retour sur investissement rapide et une rentabilité constante. Un réflectomètre optique est un appareil de test sur le terrain essentiel pour entretenir les infrastructures de fibre optique et y rechercher des pannes. Avant de sélectionner un réflectomètre optique, réfléchissez aux applications pour

lesquelles il sera utilisé et examinez ses spécifications pour vous assurer qu'il convient à l'usage prévu.

### 3.11 Description des évènements dans les fibres

Dans cette partie on décrit tous les types d'évènements pouvant s'afficher dans le tableau des évènements généré par l'application. Ces descriptions sont les suivantes :

- Chaque type d'évènement a son propre symbole.
- Chaque type d'évènement est représenté par le graphique d'une trace de fibre, qui présente la puissance réfléchiée vers la source en tant que fonction de distance.
- Une flèche pointe vers l'emplacement du type d'évènement dans la trace.
- La plupart des graphiques affiche une trace complète, c'est-à-dire une plage d'acquisition complète.
- Certains affichent uniquement une partie de la plage afin de visualiser de plus près les évènements présentant un intérêt.

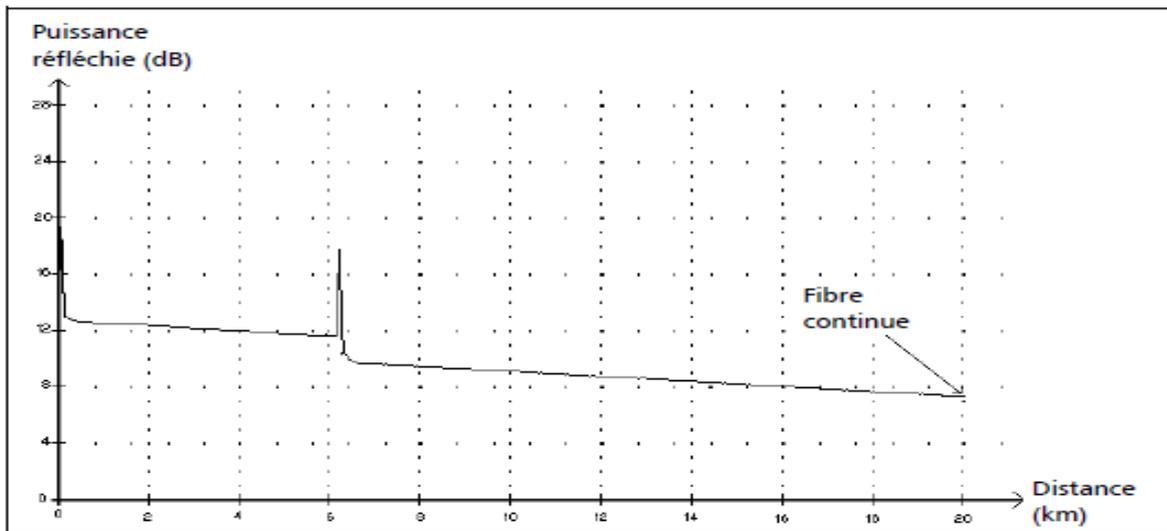
#### 3.11.1 Début de section

Le début de section d'une trace correspond à l'évènement marquant le début de la section de fibre. Par défaut, le début de section est placé sur le premier évènement d'une fibre testée (généralement le premier connecteur de l'OTDR lui-même).

#### 3.11.2 Fin de section

La fin de section d'une trace correspond à l'évènement marquant la fin de la section de fibre. Par défaut, la fin de section est placée sur le dernier évènement d'une fibre testée, et est appelée évènement de fin de fibre. On peut également définir un autre évènement comme fin de la section sur laquelle on souhaite concentrer notre analyse. Cela définira la fin du tableau des évènements à un évènement spécifique sur la trace.

### 3.11.3 Fibre continue

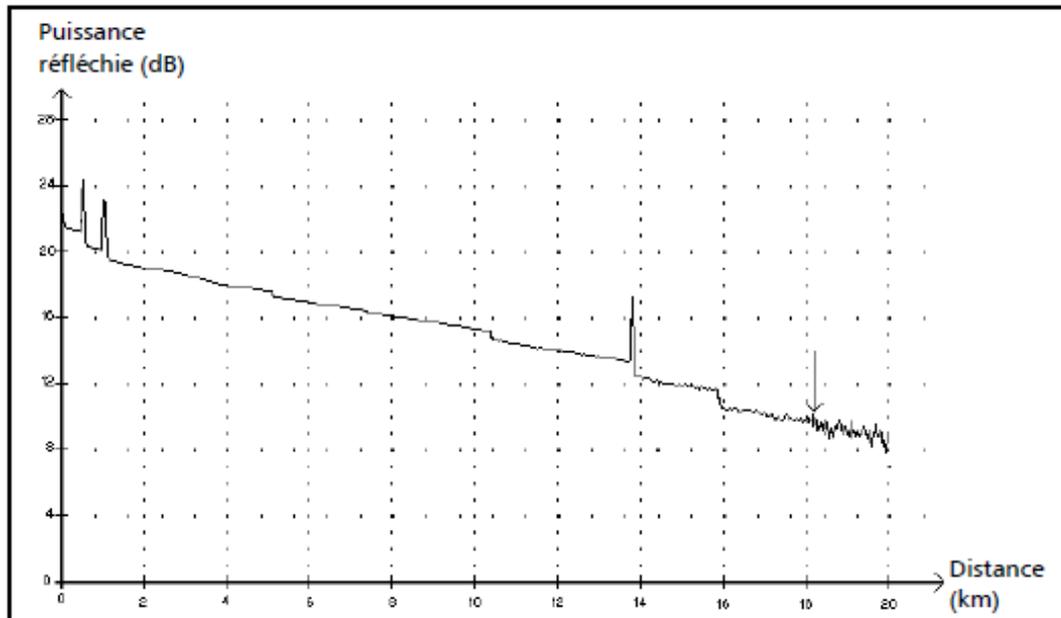


**Figure 62:(3:10): Trace d'une fibre continue**

Cet événement indique que la plage d'acquisition sélectionnée était plus courte que la longueur de la fibre.

- ✓ L'analyse de la fibre s'est terminée avant d'atteindre la fin de la fibre et, par conséquent, la fin de la fibre n'a pas été détectée.
- ✓ Pour résoudre ce problème, il faut configurer la portée du test sur une valeur supérieure à la longueur de la fibre.
- ✓ Aucune perte ni réflectance n'est spécifiée pour les événements de type fibre continue.

### 3.11.4 Fin d'analyse



**Figure 63:(3:11): Trace pour la fin d'analyse**

Cet événement indique que la durée d'impulsion du test n'a pas produit une plage de mesure assez large pour atteindre la fin de la fibre.

- L'analyse de la trace s'est terminée avant d'atteindre la fin de la fibre, car le rapport signal sur bruit était trop bas.
- Pour résoudre ce problème, il faut augmenter la durée d'impulsion du test, de façon à injecter suffisamment d'énergie pour atteindre la fin de la fibre.
- Aucune perte ni réflectance n'est spécifiée pour les événements de type fin d'analyse.

### 3.11.5 Événement non réfléchissant

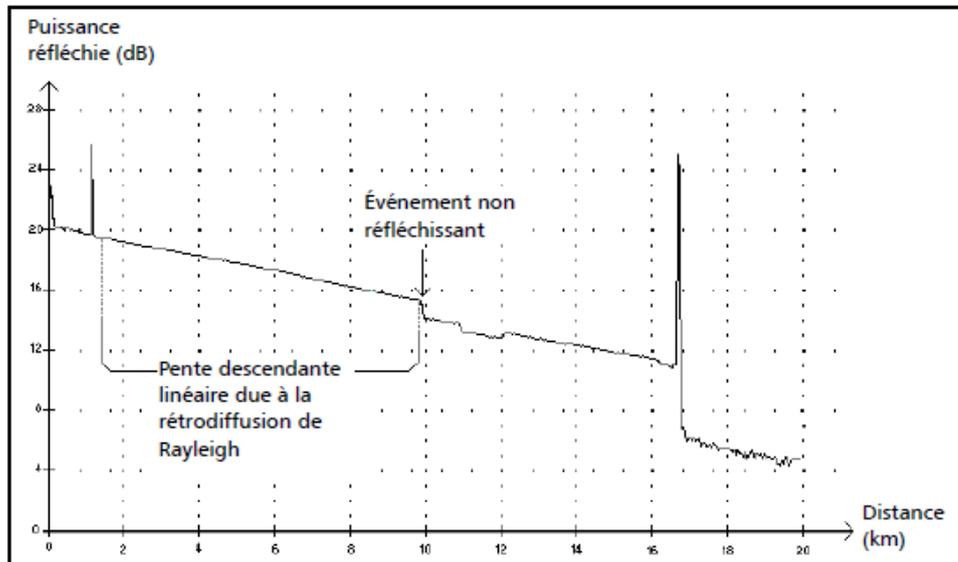


Figure 64:(3:12): d'un événement non réfléchissant

Cet événement est caractérisé par une subite diminution du niveau de signal de l'indice de rétrodiffusion de Rayleigh. Il apparaît comme une discontinuité dans la pente descendante du signal de trace.

- ✓ Cet événement est souvent causé par des épissures, macro courbures ou micro courbures dans la fibre.
- ✓ Une valeur de perte est indiquée pour les événements non réfléchissants. Aucune réflectance n'est spécifiée pour ce type d'événement.
- ✓ Indique un défaut non réfléchissant dans le tableau des événements, chaque fois qu'une valeur dépasse le seuil de perte.

### 3.11.6 Événement réfléchissant

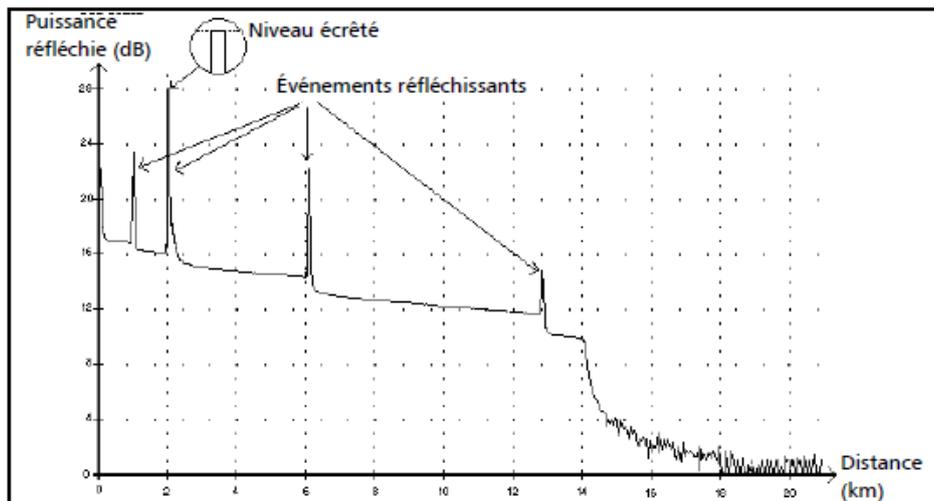


Figure 65:(3:13): Trace d'un événement réfléchissant

Les défauts réfléchissants apparaissent sous la forme de pics sur la trace. Ils sont causés par une discontinuité abrupte dans l'indice de réfraction.

- ✓ Les événements réfléchissants produisent une réflexion vers la source d'une portion de l'énergie initialement injectée dans la fibre.
- ✓ Ils peuvent indiquer la présence de connecteurs défectueux, d'épissures mécaniques, voire de fissures ou d'épissures par fusion de mauvaise qualité.
- ✓ Une valeur de perte et de réflectance est généralement spécifiée pour les événements réfléchissants.
- ✓ Lorsque le pic de réflexion atteint le niveau maximal, cela peut provoquer l'écrêtage du signal en raison de la saturation du détecteur. Par conséquent, la zone morte (ou distance minimale pour effectuer une mesure de détection ou d'atténuation entre cet événement et un autre situé à proximité) peut être augmentée.
- ✓ indique un défaut réfléchissant dans le tableau des événements chaque fois qu'une valeur dépasse les seuils de perte de connecteur ou de réflectance.
- ✓ Une valeur de perte et de réflectance est généralement spécifiée pour les événements réfléchissants.
- ✓ Lorsque le pic de réflexion atteint le niveau maximal, cela peut provoquer l'écrêtage du signal en raison de la saturation du détecteur. Par conséquent, la zone morte (ou distance minimale pour effectuer une mesure de détection ou d'atténuation entre cet événement et un autre situé à proximité) peut être augmentée.

- ✓ Indique un défaut réfléchissant dans le tableau des événements chaque fois qu'une valeur dépasse les seuils de perte de connecteur ou de réflectance.

### 3.11.7 Événement positif

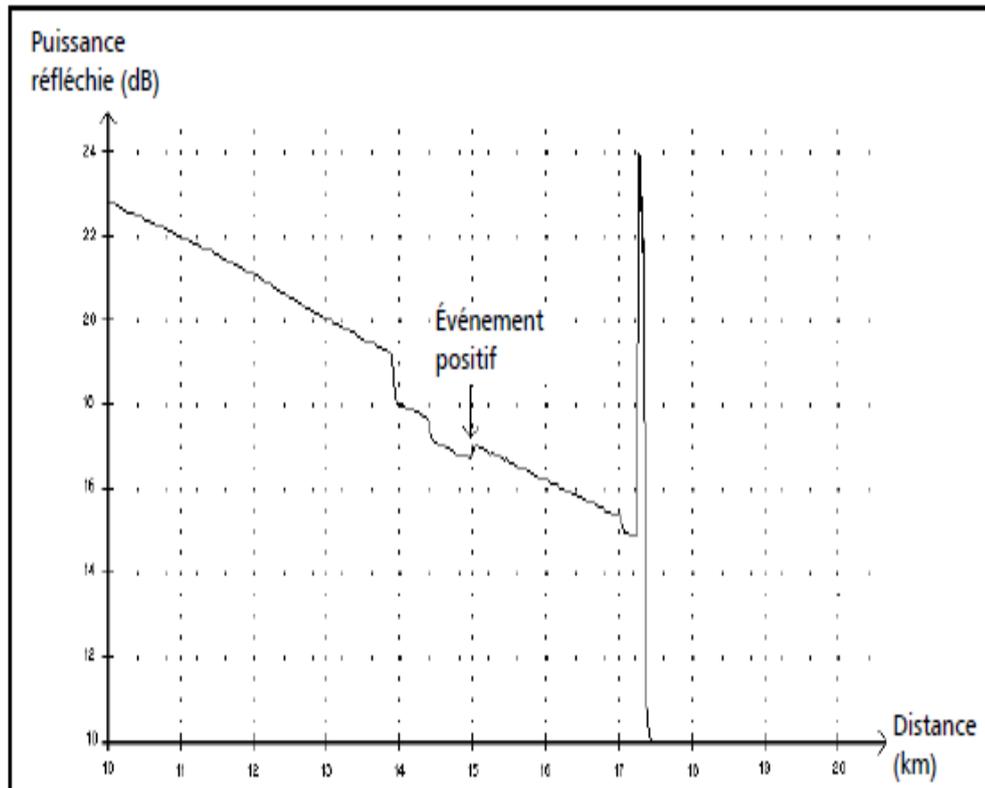


Figure 66:(3:14): Trace d'un événement positif

Cet événement indique une épissure qui produit un gain apparent causé par la jonction de deux sections de fibre présentant des caractéristiques de rétrodiffusion différentes (indices de rétrodiffusion et de capture).

- ✓ Une valeur de perte est spécifiée pour les événements positifs. Elle ne correspond pas à la perte réelle de l'événement.
- ✓ La perte réelle doit être calculée par des mesures de fibre et une analyse bidirectionnelles.

### 3.11.8 Niveau d'injection

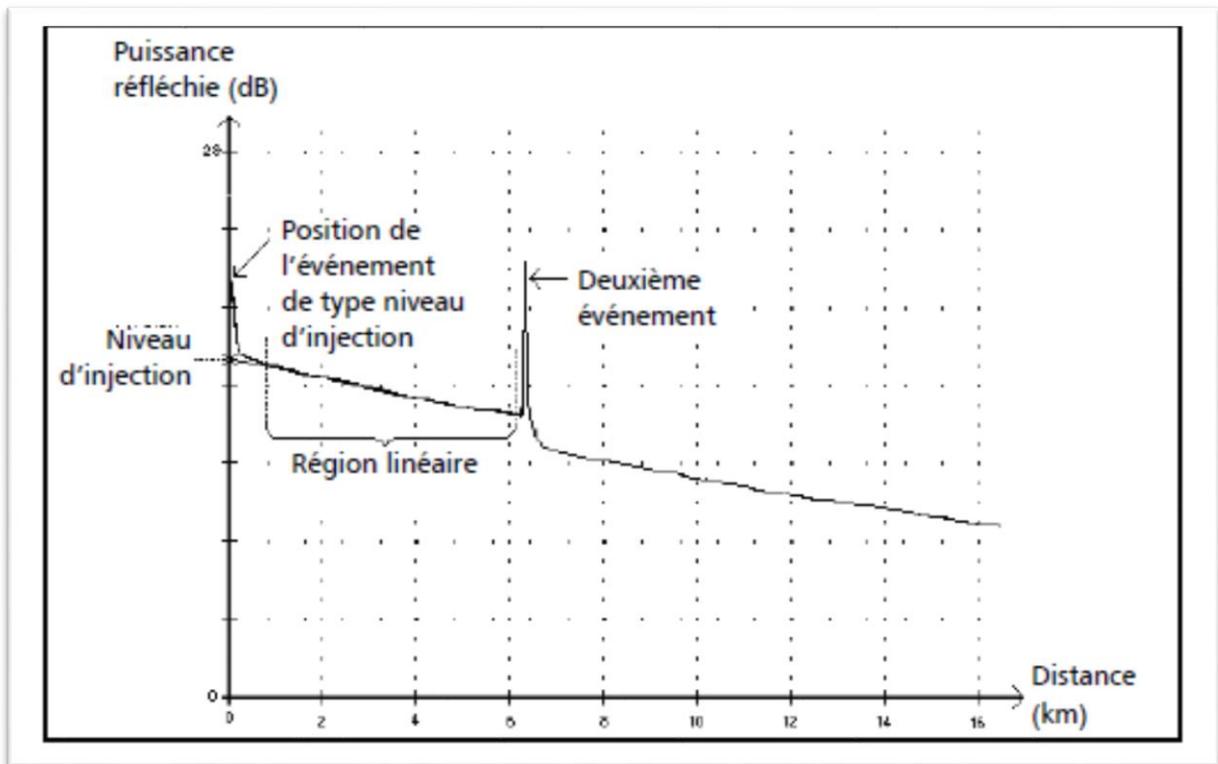


Figure 67:(3:15): Trace du niveau d'injection

Cet événement indique le niveau du signal injecté dans la fibre.

- ✓ La figure ci-dessus explique comment le niveau d'injection est mesuré. Une droite est tracée à partir des points de la région linéaire comprise entre le premier et le deuxième événement détecté, selon la méthode d'approximation par les moindres carrés. La droite est projetée vers l'axe Y (dB) jusqu'à ce qu'elle le croise.

Le point où la droite croise l'ordonnée indique le niveau d'injection.

- ✓ Ce symbole indique, dans le tableau des événements, que le niveau d'injection est trop bas.

## 3.11.9 Section de fibre

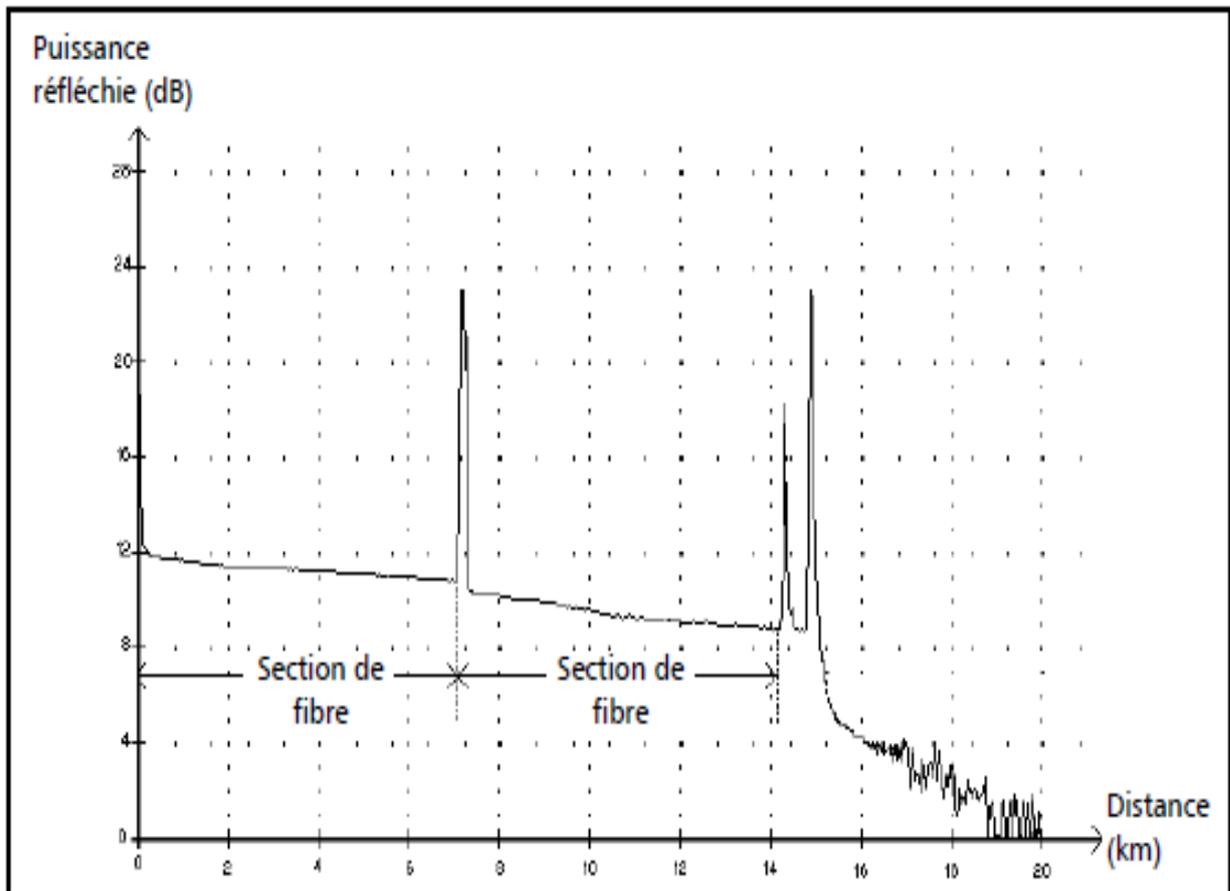


Figure 68:(3:16): Trace d'une section de fibre

Ce symbole désigne une section de fibre sans événement.

- ✓ La somme de toutes les sections de fibre d'une trace entière est égale à la longueur totale de la fibre. Les événements détectés sont distincts, même s'ils couvrent plusieurs points sur la trace.
- ✓ Une valeur de perte est indiquée pour les événements de section de fibre. Aucune réflectance n'est spécifiée pour ce type d'événement.
- ✓ Chaque section de fibre a une longueur, atténuation et valeur de perte spécifique.

### 3.11.10 Événement réfléchissant fusionné

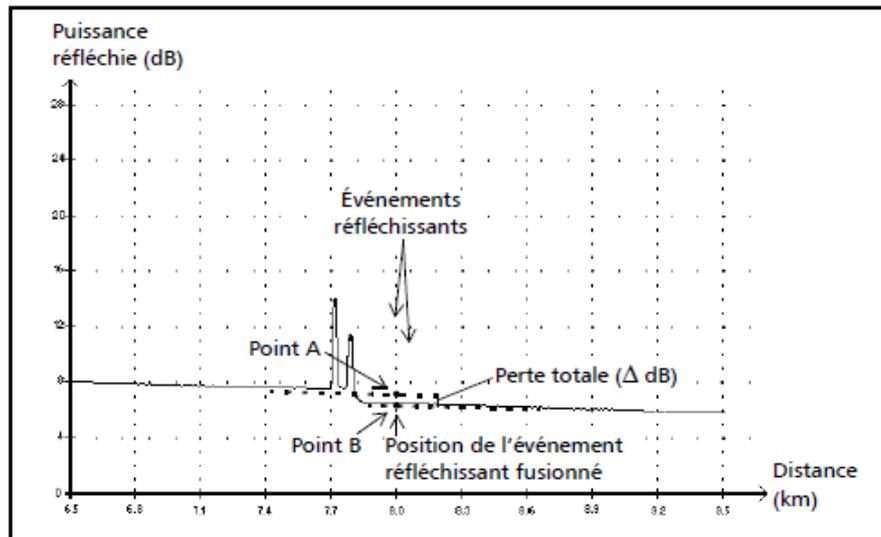


Figure 69:(3:17): Trace d'un événement réfléchissant fusionné

Ce symbole désigne un événement réfléchissant combiné à un ou plusieurs autres événements. Il indique également la perte totale générée par les événements réfléchissants fusionnés indiqués à la suite de celui-ci dans le tableau des événements.

- Un événement réfléchissant fusionné et composé d'événements réfléchissants. Seuls les événements réfléchissants fusionnés s'affichent dans le tableau ; les sous-événements réfléchissants qui le composent ne sont pas visibles.
- Les événements réfléchissants peuvent indiquer la présence de connecteurs défectueux, d'épissures mécaniques, voire de fissures ou d'épissures par fusion de mauvaise qualité.
- Une valeur de réflectance est spécifiée pour l'ensemble des événements réfléchissants fusionnés, et indique la réflectance maximale pour l'événement fusionné. Une valeur de réflectance, correspondant à la celle la plus haute parmi tous les sous-événements composant l'événement réfléchissant fusionné, s'affiche également.
- La perte totale ( $\Delta$  dB) produite par ces événements est mesurée à partir de deux droites tracées.

- ✓ La première est tracée en plaçant, selon la méthode d'approximation par les moindres carrés, les points dans la région linéaire précédant le premier événement.
- ✓ La deuxième est tracée en plaçant, selon la méthode d'approximation par les moindres carrés, les points dans la région linéaire précédant le deuxième événement. S'il y avait plus de deux événements fusionnés, cette droite serait tracée dans la région linéaire suivant le dernier événement fusionné. Cette ligne est par la suite projetée en direction du premier événement fusionné.
- ✓ La perte totale ( $\Delta$  dB) est égale à la différence de puissance entre le point de départ du premier événement (point A) et le point de la droite projetée situé juste au-dessous du premier événement (point B).
- ✓ Aucune valeur de perte ne peut être spécifiée pour les sous-événements.

### 3.11.11 Écho

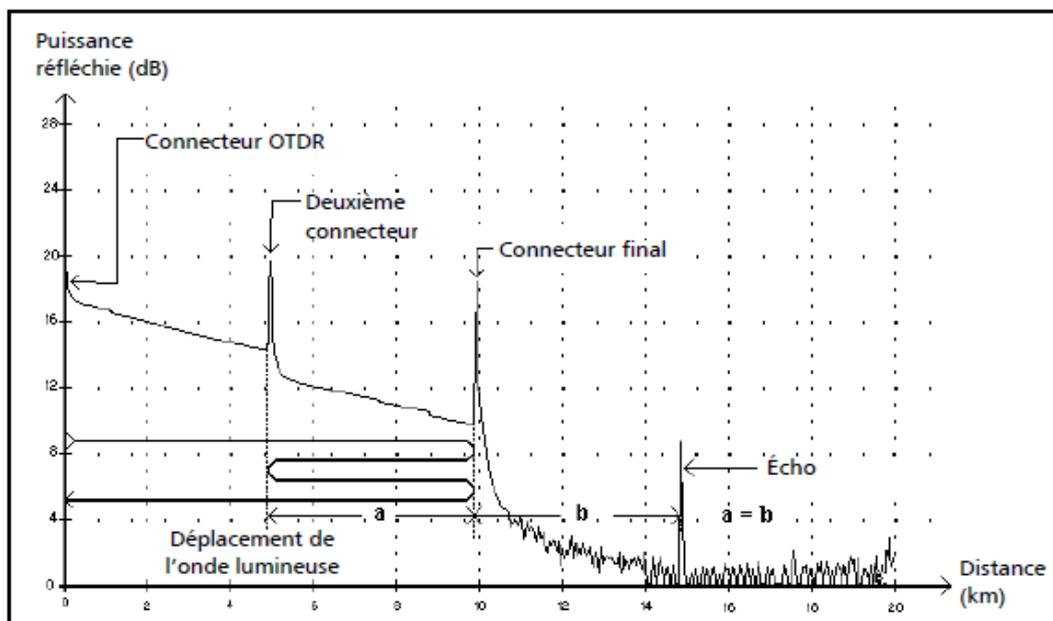


Figure 70:(3:18): Trace d'écho

Ce symbole indique qu'un écho a été détecté après la fin de la fibre.

- Dans l'exemple ci-dessus, l'impulsion injectée se déplace jusqu'au connecteur final et est réfléchi vers l'OTDR. Elle atteint ensuite le deuxième connecteur et est à nouveau réfléchi vers le connecteur final, puis vers l'OTDR.

- L'application interprète cette nouvelle réflexion comme un écho en raison de ses caractéristiques (réflectance et position particulière par rapport aux autres réflexions).
- La distance entre la réflexion du deuxième connecteur et celle du connecteur final est égale à la distance entre la réflexion du connecteur final et l'écho.
- Aucune perte n'est spécifiée pour les événements de type écho.

### 3.11.12 Événement réfléchissant (écho possible)

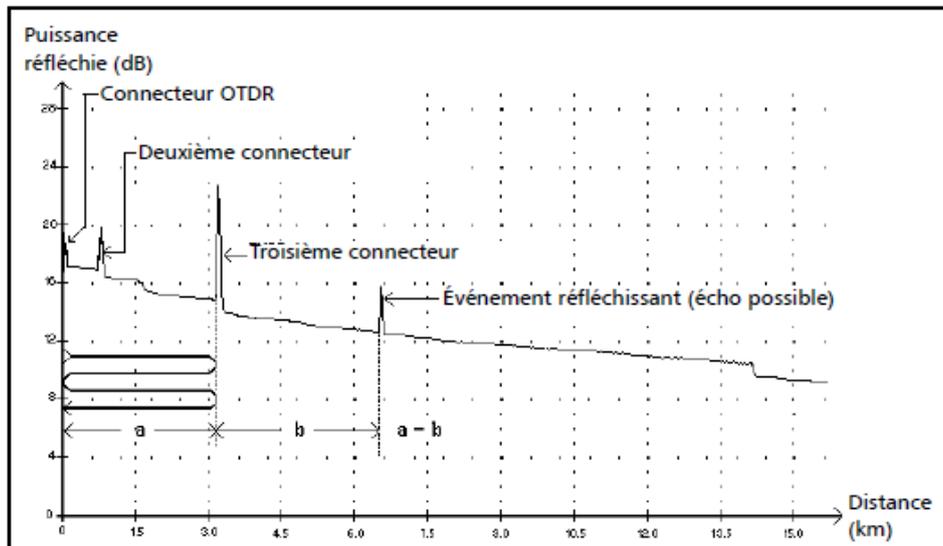


Figure 71:(3:19): Trace d'un événement réfléchissant avec la possibilité d'un écho

Ce symbole désigne un événement réfléchissant qui peut être une réflexion réelle ou un écho généré par une autre réflexion plus forte située plus près de la source.

- Dans l'exemple ci-dessus, l'impulsion injectée atteint le troisième connecteur, est réfléchi vers l'OTDR et à nouveau dans la fibre. Elle atteint ensuite une nouvelle fois le troisième connecteur et est à nouveau réfléchi vers l'OTDR. L'application détecterait donc un événement réfléchissant situé à deux fois la distance du troisième connecteur. Cet événement étant quasiment nul (aucune perte), et sa distance étant un multiple de celle du troisième connecteur, l'application l'interpréterait comme un écho possible.

- Une valeur de réflectance est spécifiée pour les événements réfléchissants (écho possible).

### **3.12 Conclusion**

Afin d'obtenir les meilleures performances d'une fibre optique en matière de transmissions, des mesures sont effectuées pour détecter les différentes anomalies qui perturbent la transmission.

Dans ce chapitre nous avons étudié l'un des appareils de mesure les plus performants, qui est le réflectomètre optique OTDR. Nous avons présenté le principe de son fonctionnement et son rôle dans les diverses installations, ses spécifications les plus importantes ainsi que la description de ses multiples événements.

## *Conclusion générale et perspectives*

### *Conclusion générale et perspectives*

Il est indispensable de tester la fibre optique pour s'assurer que le réseau est optimisé et peut fournir des services fiables et efficaces sans défaut. Dans les installations de fibre optique à l'extérieur, chaque câble doit faire l'objet de tests à l'aide d'un réflectomètre optique pour confirmer que l'installation a été effectuée correctement. Les réflectomètres optiques permettent d'établir un cahier de recette qui atteste de la conformité de leur travail. De plus, ils pourront servir à rechercher les pannes telles que des ruptures provoquées par des travaux de terrassement.

On a montré qu'il est possible d'analyser avec un OTDR, une représentation graphique de l'ensemble de la liaison de fibre optique. Les objectifs recherchés à travers cette contribution sont la compréhension des concepts techniques, des performances, et les critères qu'on peut retenir pour le choix d'un réflectomètre optique. Les techniques de localisation des événements, et de mesure de l'atténuation au niveau des jonctions ont été également étudiées.

## *Références bibliographiques*

### **Bibliographie**

#### **Chapitre 1**

- [1] Techniques de l'Ingénieur « Télécommunications optiques » Réf. Internet : 42454 | 4e édition <http://www.techniques-ingenieur.fr>. \*
- [2] La fibre optique : application technologique récente et impact sur les réseaux de transmission
- [3] HADJERES Ismail et Noura Imad, Mémoire Master, Thème « Etude et Simulation de la technique CDMA appliqué à la transmission optique utilisant les réseaux de Bragg », Université Djillali Bounaama Khemis-Miliana année 2016.
- [4] White Paper Mars 2010 « Réseaux Optique Classification des fibres optiques suivant l'ISO »
- [5] [www.worl-telecommunication.blogspot.com](http://www.worl-telecommunication.blogspot.com); [www.reseau-telecom10.over-blog.com](http://www.reseau-telecom10.over-blog.com)
- [6] Pierre Lecoy « Communications sur fibres optiques » 4e édition année 2015
- [7] Cogisys : Architectures des systèmes de communication « MEMO SUR LES RESEAUX FTTH » - Juillet 2009 -
- [8] Fibre to the home Council Europe FTTH Handbook Edition 6, par Eileen Connolly Bul, année 2014
- [9] [http://www.orange.com/sirius/reseau/cartes\\_reseaux/carte.html](http://www.orange.com/sirius/reseau/cartes_reseaux/carte.html) Visite du showroom sur la fibre optique de Orange, Orléans, 2011. [www.exfiber.com/Optical-Network-Unit-list1.html](http://www.exfiber.com/Optical-Network-Unit-list1.html)
- [10] [www.charlieubelmont.com](http://www.charlieubelmont.com)
- [11] Mlle LOUAZANI Marwa et Mlle MEDDANE Samira THEME « ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE » Mémoire de Master Université de Tlemcen, année 2017.
- [12] « Livre Blanc » -Les réseaux PON « Passive Optical Network » éléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaire 18 Décembre 2006 Extrait N° 801 de la Revue Générale des Routes
- [13] Mlle : FEROUÏ Sarah, THEME « Etude D'un Réseau B-PON Bidirectionnel » Mémoire de MASTER université de Tlemcen, année 2013
- [14] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.

## *Références bibliographiques*

- [15] D. Qian, N. Cvijetic, J. Hu, and T. Wang, 108 Gb/s OFDMA-PON With Polarization Multiplexing and Direct Detection, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 28, no. 4, pp. 484-493, 2010

## **Chapitre 2**

[1] Thèse : La fibre optique : application technologiques récentes et impact sur les réseaux de transmission

[2] [https://www.nexans.com/France/publication/img/mob36\\_fr.pdf](https://www.nexans.com/France/publication/img/mob36_fr.pdf)

[3] <https://fr.c3comunicaciones.es/letalonnage-calibration-des-equipements-de-mesure/jdsu-mts-6000/>

[4] <https://thd-optic.com/cliveuse-fibre-optique/538107-cliveuse-fibre-optique-automatique-sumitomo-fc-7r-f-0101043>

[5] <https://www.exfo.com/fr/produits/tests-reseaux-terrain/inspection-fibres/fip-400b-usb/>

## **Chapitre 3**

[1] Livre blanc VIAVI Solutions Certifier de manière systématique et proactive les connecteurs optiques selon la norme IEC à l'aide d'un test d'acceptation automatisé

[2] Livret VIAVI : Guide de référence de VIAVI pour les tests de la fibre optique, Volume 1

[3] Poster VIAVI : Comprendre la réflectométrie optique (OTDR)

## *Résumé*

### **Résumé**

L'objectif de ce mémoire de fin d'études est d'étudier le principe de fonctionnement d'un réflectomètre optique (Optical Time Domain reflectometer, OTDR) qui est un appareil de test de fibre optique utilisé pour caractériser les réseaux optiques utilisés dans les télécommunications. L'objectif d'un OTDR est de détecter, localiser et mesurer les éléments n'importe où le long d'une liaison de fibre optique. Un réflectomètre n'a besoin que d'un accès à une extrémité de la liaison et fonctionne comme un système radar à une dimension. Avec un OTDR, il est possible d'obtenir une représentation graphique de l'ensemble de la liaison de fibre optique. Il a pour objectifs la compréhension des concepts techniques, des performances, et les critères qu'on peut retenir pour le choix d'un réflectomètre sont abordés. Les techniques de localisation des événements, et de mesure de l'atténuation au niveau des jonctions sont également présentées.

**Mot clés :** Transmission optique - Réseaux d'accès optiques – Maintenance – Réflectométrie OTDR

## Résumé

Résumé (en arabe)

الملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو دراسة مبدأ التشغيل لمقياس انعكاس المجال الزمني البصري وهو جهاز اختبار خاص بالألياف الضوئية يستعمل لوصف الشبكات الضوئية المستخدمة في مجال الاتصالات. يتمثل دور الجهاز في اكتشاف العناصر وتحديد موقعها وقياسها في أي مكان على طول رابط الألياف البصرية. يحتاج جهاز مقياس الانعكاس إلى الوصول إلى أحد طرفي الوصلة ويعمل كنظام رادار أحادي البعد.

باستخدام من الممكن الحصول على تمثيل بياني لرابط الألياف البصرية بأكمله. وتتمثل أهدافه في استيعاب المفاهيم التقنية والأداء وتحديد المعايير التي يمكن استخدامها لاختيار الجهاز. كما يتم عرض التقنيات لتحديد موقع الأحداث وقياس التوهين عند التقاطعات.

**الكلمات المفتاحية:** الإرسال البصري -- شبكات الوصول البصرية – الصيانة – مقياس انعكاس المجال الزمني البصري.

## Abstract

The objective of this thesis is to study the operating principle of an optical time domain reflectometer (OTDR) which is an optical fiber test device used to characterize optical networks used in telecommunications. The goal of an OTDR is to detect, locate and measure items anywhere along a fiber optic link. A reflectometer only needs access to one end of the link and functions as a one-dimensional radar system. With an OTDR, it is possible to obtain a graphical representation of the entire fiber optic link. Its objectives are the understanding of technical concepts, performance, and the criteria that can be retained for the choice of a reflectometer are discussed. Techniques for locating events and measuring attenuation at junctions are also presented.

**Key words:** Optical transmission – optical access networks – maintenance – reflectometry OTDR.