

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Télécommunications



MEMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par : **SANCA** Desejado Carlos

Sujet

**ETUDE DES PERFORMANCES
D'UN RESEAU OPTIQUE PAR LA
TECHNIQUE OTDR**

Soutenu publiquement, le 08/07/2021, devant le jury composé de :

Mr. KARIM Fethallah	Prof. Univ. Tlemcen	Président
Mme. DJELTI Hamida	MCB. Univ. Tlemcen	Examinatrice
Mr. BOUREGAA Mouwefek	MCB. Univ. Mascara	Invité
Mr. CHIKH-BLED Mohammed	Prof. Univ. Tlemcen	Encadreur

REMERCIEMENTS

Premièrement je remercie à Dieu pour m'avoir donné la santé et la force nécessaire de surmonter toutes les difficultés et rester concentrée pour relever les défis.

J'adresse tout particulièrement à Mr. CHIKH-BLED Mohammed, mon encadreur pour l'aide et conseils précieux et pour toutes les commodités qu'il m'a apportées durant ma réalisation de ce projet.

Mon remerciement va également aux membres de jury, commençant par Mr. KHARIM, Mme. DJELJI et Mr. BOUREGAA pour l'intérêt d'avoir accepté d'examiner et évaluer mon travail.

Je remercie infiniment à l'Université de Tlemcen, plus spécial à mon département de Télécommunication, une énorme gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont contribues à ma formation dès le début du cycle d'étude jusqu'à la fin.

Mon remerciement va également au père Gérard Jeanningros qui était toujours la moi et au père Jean Foussaint pour l'aide qu'il m'a apporté.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont aidés de près ou de loin et en particulier toute ma famille et amis.

DÉDICACES

Je dédie ce travail

*À mes parentes, qui m'ont doté d'une éducation digne, son amour a fait
de moi ce que je suis aujourd'hui :*

*Particulièrement à mon père Antonio Carlos Sanca, que ton âme repose
paix, t'as beaucoup battu pour que ses enfants aient une formation
académique que t'as pas eu l'opportunité d'avoir.*

*À toi ma chère maman Joaquina Morgado Sampa, pour moi t'es la
femme plus forte et battante dans le monde, toi qui m'as appris à être
un homme de dignité, responsable et fort. Ceci est ma profonde
gratitude pour ton éternel amour, que ce travail soit le meilleur cadeau
que je puisse t'offrir.*

*À vous ma tante Higinia Sanca et oncle Joao Cambanque, qui ont
toujours été présents dans vie.*

*À vous mes frères (Demarbique et Antonio Jr.), qui m'avez toujours
soutenu et encourager durant ces années d'études.*

À tous mes amis et frères de Flençen, qui m'ont soutenue et encouragé.

Les acronymes

ADP: Avalanche Photo Diode

ADM: Add-Drop Multiplexer

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

ADZ : Attenuation Dead Zone

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

CPE : Customer-Premises Equipment

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

DEL ou **LED:** Light Emitting Diode

DL: Diode Laser

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

EDZ: Event Dead Zone

EPON: Ethernet Passive Optique Network

FC: Ferrule Connector

FTTX: Fiber To The X

FTTB: Fiber To The Building

FTTC: Fiber To The Curb

FTTH: Fiber To The Home

FTTLA: Fiber To The Last Amplifier

FTTN: Fiber To The Node

FTTO: Fiber To The Office

FTTZ: Fiber To The Zone

GPON: Gigabit Passive Optique Network

LC: Lucent Connector ou Little Connector

LAN: Local Area Network

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LME: Loi de Modernisation de l'Economie

MAN: Metropolitan Area Network

NRA: Nœud de Raccordement d'Abonnés

NRO: Nœud de Raccordement Optique

OFDR: Optical Frequency Domain Reflectrometer

ON: Ouverture Numerique

ONT: Optical Network Termination

OLT: Optical Line Terminal

ORL: Optical Return Loss

OTDR: Optical Time Domain Reflectrometer

P2P: Peer to Peer

PIN: Positive Intrinsic Negative

PMD: Polarisation Mode Dispersion

PON: Passive Optique Network

ST: Straight Tip

SC: Connector de Suscribor ou Square Connector

UIT: Union Internationale des Télécommunications

UIT-T : Le secteur de la normalisation des Télécommunications de l'UIT

VFL: Visual Fault Locator

WDM: Wavelengt Division Multiplexing

WAN: Wide Area Network

ZWP: Zero Water Peak

Liste de tableaux

Chapitre 1 : Étude générale d'une liaison par fibre optique

Tableau 1: (1.1): Les différents modèles des fibres optiques. 20

Chapitre 2 : Les réseaux de télécommunications par fibres optiques

Tableau 2: (2.1): Les codes de couleurs des câbles à fibres optiques. 42

Tableau 3: (2.2): Les codes de couleurs des fibres optiques selon les normes TIA /EIA-598 (loose tube et tight buffer). 43

Tableau 4: (2.3): Les codes de couleurs des connecteurs. 43

Tableau 5: (2.4): Les codes de couleurs des connecteurs. 44

Chapitre 3 : Étude sur le réflectomètre OTDR et l'analyse du signal rétrodiffusé

Tableau 6: (3.1): Caractéristiques principales de l'OTDR. [6] 63

Tableau 7: (3.2): Réseaux dans les bâtiments (LAN/WAN, Datacenter, Entreprise). 71

Tableau 8: (3.3): Réseaux d'accès point à point/Backhaul. 71

Tableau 9: (3.4) : Réseaux d'accès point à point/FTTH /PON. 72

Tableau 10: (3.5): Réseaux CWDM. 73

Tableau 11: (3.6): Métropolitain, longue distance, ultra longue distance. 73

Tableau 12: (3.7): Usages multiples. 74

Tableau 13: (3.8): Mesures des plages dynamiques et des plages de mesures maximales d'un réflectomètre optique en fonction de la longueur d'onde. 76

Tableau 14: (3.9): Signalisation des événements. 87

Tableau 15: (3.10): Pour la longueur d'onde 1310 nm. 91

Tableau 16: (3.11): Pour la longueur d'onde 1550 nm. 91

Table des équations

Équation 1: (1.1): L'équation de l'ouverture numérique (ON). 15

Équation 2: (1.2): L'équation de l'atténuation. 21

Équation 3: (3.1): L'équation de l'atténuation. 90

Table de figures

Chapitre 1 : Étude générale d'une liaison par fibre optique.

Figure 1: (1.1): Schéma d'un système de transmission optique.	5
Figure 2: (1.2): Spectre d'émission d'une DEL.....	6
Figure 3: (1.3): Spectre d'émission d'une DL.....	6
Figure 4: (1.4): Schémas de principe de laser.	7
Figure 5: (1.5): Modulation directe.	8
Figure 6: (1.6): Modulation externe.....	8
Figure 7: (1.7): Photodiode PIN.	9
Figure 8: (1.8): Structure d'une photodiode à avalanche APD.	10
Figure 9: (1.9): Structure générale de la fibre optique.	13
Figure 10: (1.10): Une section de la fibre optique.....	13
Figure 11: (1.11): Chemin parcouru par onde lumineuse dans une fibre optique.	14
Figure 12: (1.12): Transmission d'une fibre optique.	14
Figure 13: (1.13): Ouverture numérique d'une fibre optique.....	15
Figure 14: (1.14): La propagation du signal dans une fibre multimode à saut d'indice : a) Section de profil d'indice d'une fibre multimode à saut d'indice ; b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux.	16
Figure 15:(1.15): Etalement du signal optique dans une fibre multimodes à saut d'indice.	16
Figure 16: (1.16): La propagation du signal dans une fibre multimode à saut gradient d'indice : a) Section de profil d'indice d'une fibre multimode à gradient d'indice ; b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux.....	17
Figure 17: (1.17): Etalement du signal optique dans une fibre multimodes a gradient d'indice.	17
Figure 18: (1.18): La propagation du signal dans une fibre monomode : a) Section de profil d'indice d'une fibre monomode. b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux est unique.	18
Figure 19: (1.19): Les différents types d'atténuation à la longue de la transmission optique.....	21
Figure 20: (1.20): La dispersion intermodale dans les trois types de fibre.....	23
Figure 21: (1.21): La dispersion chromatique.	24

Chapitre 2 : Les réseaux de télécommunications par fibres optique

Figure 22: (2.1): Topologie en bus.....	29
Figure 23: (2.2): Topologie en étoile.....	30
Figure 24: (2.3): Topologie en anneau.....	30
Figure 25: (2.4): Topologie maillée.....	31
Figure 26: (2.5): Le câble à revêtement lâché et à revêtement serré.....	34
Figure 27: (2.6): La structure du câble à revêtement lâche.....	34
Figure 28: (2.7) : La structure du câble à revêtement serré.....	35
Figure 29: (2.8): L'appareil de soudure de fibre optique.....	36
Figure 30: (2.9): Épissure mécanique de précision de raccordement de fibre optique. ..	36
Figure 31: (2.10): L'anatomie d'un connecteur de fibres optiques.....	37
Figure 32: (2.11): Exemples des connecteurs et raccords.....	37
Figure 33: (2.12): Le connecteur FC de fibres optiques.....	37
Figure 34: (2.13): Le connecteur ST de fibres optiques.....	38
Figure 35: (2.14): Le connecteur LC de fibres optiques.....	38
Figure 36: (2.15): Le connecteur SC de fibres optiques.....	39
Figure 37: (3.16): Dénuder la fibre optique.....	39
Figure 38: (2.17): L'appareil de coupure de fibre optique.....	39
Figure 39: (2.18): Le dépôt des fibres et la fermeture de capot.....	40
Figure 40: (2.19): Le processus de fusion de deux fibres.....	40
Figure 41: (2.20): Armoire de protection des fibres optiques.....	41
Figure 42: (2.21): Les racks de distribution des fibres optiques.....	41
Figure 43: (2.22): Les éléments constituant un lien optique.....	41
Figure 44: (2.23): Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR).....	44
Figure 45: (2.24): Zone tampon.....	45
Figure 46: (2.25): Détecteur de lumière.....	45
Figure 47: (2.26): Microscope optique.....	45
Figure 48: (2.27): Localisateur visuel de défauts.....	46
Figure 49: (2.28): Téléphones optiques.....	46
Figure 50: (2.29): Principe de liaison WDM/DWDM.....	48
Figure 51: (2.30): Architecture de FTTx qui contient quelques systèmes de réseaux tels que FTTN, FTTC, FTTP, FTTB et FTTH.....	50

Figure 52: (2.31): Localisation de NRO.....	52
Figure 53: (2.32): Principe général d'une architecture P2P.....	53
Figure 54: (2.33): Principe général d'une architecture PON.....	53
Figure 55: (2.34): Point d'éclatement GPON: Cassettes d'épissurage.....	54
Figure 56: (2.35): Carte de raccordement au niveau du NRO.....	54
Figure 57: (2.36): Structure de la boucle locale optique.....	56
Figure 58: (2.37): Mutualisation de la partie terminale : Localisations du point de mutualisation.....	56
Figure 59: (2.38): Point de mutualisation dans le sous-sol d'un immeuble (cas des zones très denses).....	57
Figure 60: (2.39): Boite de raccordement immeuble.....	57
Figure 61: (2.40): La méthode d'insertion.....	58
Figure 62: (2.41): La méthode par réflectomètre.....	58
Figure 63: (2.42): L'évènement de l'atténuation et de la réflectance.....	59

Chapitre 3 : Etude sur le réflectomètre OTDR et l'analyse du signal rétrodiffusé

Figure 64: (3.1): Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR).....	62
Figure 65: (3.2): Réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel (OFDR).....	62
Figure 66: (3.3): Le schème du principe de fonctionnement d'OTDR.....	66
Figure 67: (3.4): Le mécanisme de diffusion de Rayleigh et rétrodiffusion.....	67
Figure 68: (3.5): Le mécanisme de coefficient de Fresnel.....	67
Figure 69: (3.6): Trace d'un événement non réfléchissant.....	79
Figure 70: (3.7): Trace d'un événement réfléchissant.....	79
Figure 71: (3.8): Trace du niveau d'injection.....	80
Figure 72: (3.9): Trace d'écho.....	81
Figure 73: (3.10): Trace d'un événement réfléchissant avec la possibilité d'un écho.....	82
Figure 74: (3.11): La courbe des événements d'un OTDR.....	88
Figure 75: (3.12): La liaison par fibre optique.....	91

Sommaire

I. Chapitre :.....	3
Étude générale d'une liaison par fibre optique.....	3
I.1 Introduction	4
I.2 Définition d'une liaison par fibre optique	4
I.2.1 Emetteurs Optique.....	5
I.2.1.1 La diode DEL (électroluminescentes).....	5
I.2.1.2 La diode laser (DL)	6
I.2.2 Modulateurs	7
I.2.2.1 Modulation directe	8
I.2.2.2 Modulation externe.....	8
I.2.3 Répéteur	8
I.2.4 Récepteurs optique.....	9
I.2.4.1 Photodiode PIN.....	9
I.2.4.2 Photodiode APD (Avalanche Photo Diode).....	9
I.3 La généralité sur les fibres optiques.....	10
I.3.1 Définition.....	10
I.3.2 Avantages et inconvénients des fibres optiques.....	10
I.3.2.1 Les avantages	10
I.3.2.2 Les inconvénients	11
I.3.3 Applications de la fibre optique.....	12
I.3.4 Composition d'une fibre optique.....	12
I.3.5 Fonctionnement d'une fibre optique.....	14
I.3.6 Différents types de fibres optiques	15
I.3.6.1 La fibre multimode.....	15
a) La fibre à saut d'indice.....	16
b) La fibre à gradient d'indice.....	17
I.3.6.2 La fibre monomode	18
I.3.7 Les différents caractéristiques des types de fibre optique	18
I.3.7.1 Les fibres monomodes (OS).....	19
I.3.7.2 Les fibres multimodes (OM).....	19

I.3.8	Les principales phénomènes qui caractérisent la fibre optique	21
I.3.8.1	L'atténuation.....	21
a)	Atténuation intrinsèque.....	21
b)	Atténuation extrinsèque.....	22
	L'atténuation extrinsèque est due à des facteurs extérieurs d'une transmission optique.....	22
I.3.8.2	La dispersions	23
a)	Dispersion intermodale.....	23
b)	Dispersion chromatique	24
I.4	Conclusion	25
II.	Chapitre :.....	26
	Les réseaux de télécommunications par fibres optiques.....	26
II.1	Introduction	27
II.2	Définition de réseaux.....	27
II.3	Les différentes types de réseaux.....	27
II.3.1	Le réseau longue distance (WAN)	28
II.3.2	Le réseau métropolitain (MAN).....	28
II.3.3	Le réseau local (LAN).....	28
II.4	Les Topologies des réseaux.....	29
II.4.1	La topologie en bus.....	29
II.4.2	La topologie en étoile.....	29
II.4.3	La topologie en anneau.	30
II.4.4	La topologie maillée.	30
II.5	Les réseaux optiques	31
II.5.1	Normes et structures des fibres optiques.....	31
II.5.1.1	Les normes de l'UIT-T pour les différentes fibres optiques [4].....	31
II.5.2	Le structure des câbles à fibres optiques [8].....	33
II.5.3	Raccordement des fibres optiques	35
II.5.3.1	La soudure de fibre optique ou épissure par fusion	35
II.5.3.2	L'épissure mécanique	36
II.5.3.3	Les différentes types de connecteurs [6]	36
II.5.3.4	La fusion de fibres optiques [7]	39

II.5.3.5	Les Racks de protection et de distribution [7].....	40
II.5.3.6	Le code de couleur des câbles à fibres optiques.....	42
II.5.3.7	Le code de couleur des fibres optiques [7].....	43
II.5.4	Les équipements utilisés dans le déploiement des réseaux optiques.....	44
II.5.5	Les matériels d'essai dans un réseau optique.....	44
II.5.6	Les principaux éléments de sécurité d'un réseau optique.....	46
1.	Assurez-vous suffisamment de mou (en cas du bris des fibres optique, ou dans le cas d'utilisation future) ;	46
II.5.7	Techniques de multiplexage WDM et DWDM	47
II.5.8	Réseaux de longue distance par les fibres optique	48
II.5.8.1	Les réseaux sous-marins	48
II.5.8.2	Réseaux terrestre	49
II.5.9	Réseau d'accès optique	49
II.5.10	Architecture du réseau FTTH	51
II.5.11	Topologies de desserte FTTH [14]	52
II.5.11.1	Architecture Point-à-point (P2P).....	53
II.5.11.2	Architecture PON.....	53
II.5.12	Mutualisation de la partie terminale [14].....	54
II.5.12.1	La boucle locale optique	55
II.5.12.2	Le point de mutualisation	56
II.5.13	Bilan de la liaison optique [14]	57
II.6	Conclusion	59
III.	Chapitre :	60
	Etude sur le réflectomètre OTDR et l'analyse du signal rétrodiffusé.....	60
III.1	Introduction	61
III.2	Définition du OTDR.....	61
III.3	Le réflectomètre OFDR	62
III.3.1	La comparaison entre le OFDR et OTDR	62
III.4	Etude sur le OTDR.....	63
III.4.1	Caractéristiques de OTDR.....	63
III.4.2	Les principes de fonctionnement de OTDR [3].....	65
III.4.3	Les avantages d'un OTDR.....	68

III.4.4	Les types de OTDR [4]	68
III.4.5	Les logiciels utilisés pour visualiser les évènements.....	69
III.5	Performance, et critère pour le choix de OTDR	70
III.5.1	Recommandation de choix d'un réflectomètre optique (OTDR).....	71
III.5.2	Les facteurs à prendre en compte pour choisir un réflectomètre optique :	74
III.6	Compréhension des spécifications technique d'un OTDR [1]	75
III.6.1	La relation entre la plage dynamique et la zone morte.....	77
III.7	Description des évènements dans l'OTDR	78
III.7.1	Début de section	78
III.7.2	Fin de section.....	78
III.7.3	Évènement non réfléchissant.....	79
III.7.4	Evènement réfléchissant.....	79
III.7.5	Niveau d'injection	80
III.7.6	Écho	81
III.7.7	Evènement réfléchissant (écho possible).....	82
III.8	Description des événements dans le réseau optique par le OTDR [4]	82
III.8.1	Paramètres de test de OTDR.....	82
III.8.2	Analogies des tests de réflectométrie optique.....	84
III.8.1	Terminologie des tests de réflectométrie optique	85
III.8.2	Processus de test de réflectométrie optique	86
III.8.3	Réduction de zone morte d'un réflectomètre optique.....	87
III.9	Localisation des événements et mesure de l'atténuation d'une liaison optique	87
➤	Signalisation des différents évènements dans l'OTDR.....	87
	Tableau 14: (3.9): Signalisation des évènements.....	87
III.9.1	Localisation des événements et ses interprétations	88
III.9.2	Mesure de l'atténuation sur une liaison optique [10].....	90
	On parvenir à calculer l'atténuation totale (AT), à partir d'une section élémentaire de câble de :.....	90
IV.	Conclusion.....	92

Résumé

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 mesure de l'atténuation de la fibre et aux pertes différentielles entre deux points choisis de la fibre une impulsion lumineuse suffisamment brève et puissante, qui se réfléchit sur les discontinuités dans la fibre (extrémités, inhomogénéités,...).

Les tests par OTDR recommandés par l'UIT (Union internationale des Télécommunications) constituent un système de surveillance, et d'aide à la maintenance des installations à fibre optiques. C'est dans ce contexte que se situe l'objectif du travail de ce projet de la fin d'étude qui concerne l'étude du principe de fonctionnement d'un réflectomètre optique, en présentant ses principales caractéristiques techniques, ainsi que les critères de choix de ce type d'appareil. 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 optique – Maintenance – Réflectomètre OTDR.

Abstract

The Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) measurement is commonly used to test optical transmission lines. It is a method which makes it possible to characterize the optical fiber simply, from only one of its ends, and leads to the measurement of the attenuation of the fiber and to the differential losses between two chosen points of the fiber a light pulse sufficiently short and powerful, which is reflected on the discontinuities in the fiber (ends, inhomogeneities,...).

The OTDR tests recommended by the International Telecommunications Union (ITU) constitute a system for monitoring and assisting in the maintenance of fiber optic installations. It is in this context that the objective of the work of this end of study project is situated which concerns the study of the operating principle of an optical reflectometer, by presenting its main technical characteristics, as well as the criteria of choice of this type of device. Techniques for locating events and measuring attenuation at junctions are also presented.

Keywords: Optical transmission - Optical access networks - Maintenance - OTDR reflectometer.

ملخص

القياس بال OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

يستخدم عادة لإختبار خطوط النقل البصري

إنها طريقة تجعل من الممكن توصيف الليف البصري، ببساطة من أحد نهاياتها ، والتي تؤدي إلى قياس تخفيف الليف وإلى الخسائر التفاضلية بين نقطتين تم اختيارهما على الليف بواسطة نبضة ضوئية بما فيه الكفاية من القصر و القوة ، والتي تنعكس على الانقطاعات في الليف (الأطراف ، عدم التجانس ، إلخ)

إختبارات OTDR التي أوصى بها الاتحاد الدولي للاتصالات

هي نظام للإشراف والمساعدة في صيانة تركيبات الألياف البصرية

في هذا السياق ، يتم تحديد الهدف من عمل مشروع نهاية الدراسة هذا ، والذي يتعلق بدراسة مبدأ التشغيل لمقياس الانعكاس البصري ، من خلال تقديم خصائصه التقنية الرئيسية ، وكذلك معايير الإختبار من هذا النوع من الجهاز. كما يتم عرض تقنيات لتحديد موقع الأحداث وقياس التخفيف عند التقاطعات

الكلمات المفتاحية: الإرسال البصري - شبكات الوصول البصري - الصيانة - مقياس الانعكاس

OTDR.

Introduction générale

Les réseaux optiques subissent un nombre limité de tests avant leur mise en service effective. À cause de l'augmentation des débits à transmettre, jusqu'à plusieurs dizaines de Gbit/s, le multiplexage a été introduit dans les réseaux, pour élargir la fenêtre spectrale de la transmission. D'où la nécessité impérieuse de faire des mesures de la distance, de l'affaiblissement, en bref des performances de l'infrastructure (réseau). Aujourd'hui un certain nombre d'appareils de mesure permettent la mesure des distances, des affaiblissements des fibres, des pertes d'insertion et des réflectances, de la perte par réflexion optique (**ORL**, **O**ptical **R**eturn **L**oss), de la dispersion chromatique, de la dispersion de mode de polarisation (**PMD**, **P**olarisation **M**ode **D**ispersion) ...

Pour assurer la mesure des performances d'un réseau optique, le réflectomètre OTDR (**O**ptical **T**ime **D**omain **R**eflectrometer) a été choisi pour entretenir les réseaux de télécommunications en fibre optique. Le réflectomètre OTDR est utilisé pour tester une transmission optique. La technique de l'OTDR permet de caractériser la fibre, les connecteurs, les épissures et toutes les autres imperfections en fonction de la lumière dispersée et réfléchi. Pour tester la fibre, l'OTDR injecte une impulsion lumineuse dans une fibre sous essai, à partir d'une seule de ses extrémités, et cette lumière parcourt la fibre jusqu'à son extrémité puis est réfléchi jusqu'à l'OTDR. 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 réfléchi informe sur l'importance et la nature du défaut.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de comprendre les spécifications techniques des réflectomètres optiques basés sur la technique OTDR, et leur utilisation dans le contrôle des performances des réseaux optiques dans les bâtiments (LAN/WAN, Datacenter, entreprise). Cette étude comprend la mise en œuvre des bancs de mesures réflectométriques, l'interprétation des courbes réflectométriques, ainsi que la présentation du traitement des données brutes issues de l'OTDR par des logiciels adaptés.

Ce mémoire est reparti en trois chapitres. Le premier chapitre consiste à étudier le principe d'une liaison par fibre optique : les principaux composants de l'émetteur et du

récepteur et ses caractéristiques, les avantages et les inconvénients de la fibre optique et les principaux phénomènes qui la caractérisent.

Le second chapitre décrit les réseaux par fibre optique : les différents types de réseau optique et leurs composants. Ensuite les matériels utilisés pour le test d'un réseau optique et sa procédure de maintenance. Pour finir le bilan de liaison d'un réseau optique.

Enfin, le troisième chapitre s'intéresse principalement au principe de fonctionnement du réflectomètre OTDR, la performance et les critères de choix d'un OTDR, ainsi que l'interprétation des mesures, la localisation des évènements et la mesure de l'atténuation au niveau des jonctions.

I. Chapitre :

Étude générale d'une liaison par fibre optique.

I.1 Introduction

Ce sont trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, qui produisirent la première fibre optique pouvant être utilisée dans les réseaux de télécommunications. Leur fibre optique était en mesure de transporter 65000 fois plus d'information qu'un simple câble de téléphone. En 1977 au centre-ville de Chicago fut installé le premier système de communication téléphonique par fibre optique. Aujourd'hui, on peut estimer que plus de 80% des communications de longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câble à fibre optique dans le monde.

La transmission par la fibre optique est la technique la plus courante dans le domaine des télécommunications. L'utilisation de guides d'ondes optiques permet un mode de transmission plus fiable et plus économique lorsqu'il s'agit d'acheminer des débits très importants sur de très longues distances, avec un nombre élevé de canaux.

Ce premier chapitre comprend la description d'une liaison par fibre optique, les différentes composantes qui constituent une liaison optique et ses caractéristiques, la composition de la fibre, les avantages ainsi les inconvénients de la fibre optique et les principaux phénomènes qui la caractérisent (tels que l'atténuation et la dispersion).

I.2 Définition d'une liaison par fibre optique

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. À la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur. (À voir par la suite).

Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique (à voir sur la figure ci-dessous).

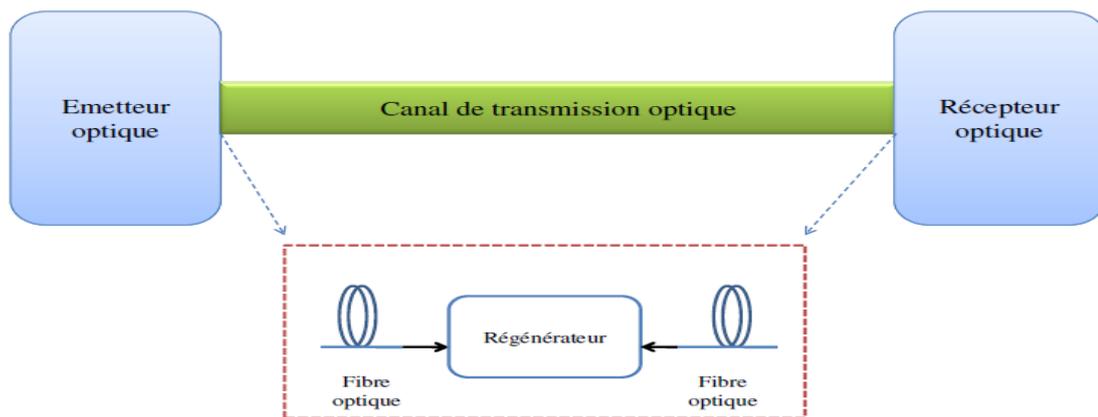


Figure 1: (1.1): Schéma d'un système de transmission optique.

Cependant, pour des grandes distances on utilise des répéteurs ou des régénérateurs pour conserver le niveau du signal nécessaire à la restitution de l'information. Dans ce qui suit nous allons définir chaque élément de cette liaison. [9]

I.2.1 Emetteurs Optique

Au niveau de l'émission d'une liaison optique, nous avons des composants actifs dans le domaine des communications par fibres optiques. Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique). [10]

I.2.1.1 La diode DEL (électroluminescentes)

Les diodes sont constituées suivant le principe de base, d'un cristal semi-conducteur, possédant deux couches dopées: une couche P positive possédant des trous (emplacements où il manque un électron pour que les atomes soient complets) et une couche N négative possédant des électrons libres. La diode DEL est utilisée pour la fibre multimode : 850 nm et 1300 nm.

Une diode semi-conductrice qui émet de la lumière par émission spontanée, est appelée diode électroluminescente. La qualité de conversion du courant électrique en lumière est décrite par le rendement quantique, qui désigne le rapport entre le nombre de photons émis par unité de temps et le nombre de charges transportées à travers la jonction-PN de la diode semi-conductrice.

Les diodes électroluminescentes de structure simple, ou homojonction, présentent deux inconvénients majeurs : la lumière (générée) est émise dans toutes les directions d'où des pertes importantes et la largeur du signal émis est grande, environ 40nm. Par contre, leurs avantages sont une grande facilité de " pilotage " et une durée de vie de l'ordre 10^5 à 10^7 heures, et un faible coût (à voir sur la figure ci-dessous). [2]

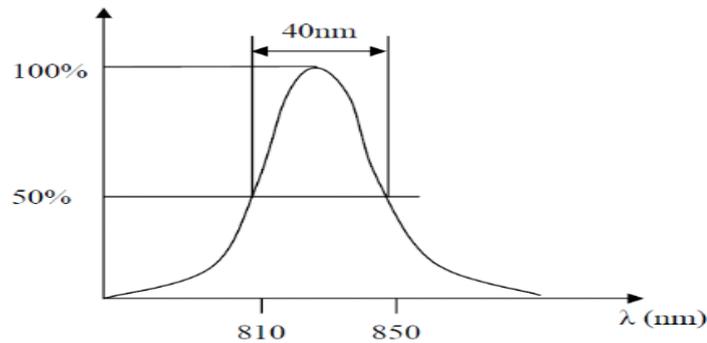


Figure 2: (1.2): Spectre d'émission d'une DEL.

I.2.1.2 La diode laser (DL)

La diode laser est utilisée pour la fibre monomode : 1310 nm ou 1550nm, et est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre. LASER est l'abréviation de **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement). Contrairement à la diode électroluminescente où l'émission est spontanée, les diodes laser se caractérisent par l'étroitesse de la longueur d'onde qu'elles émettent, le spectre émis se composant de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (voir figure 3 : (1.3)). [2]

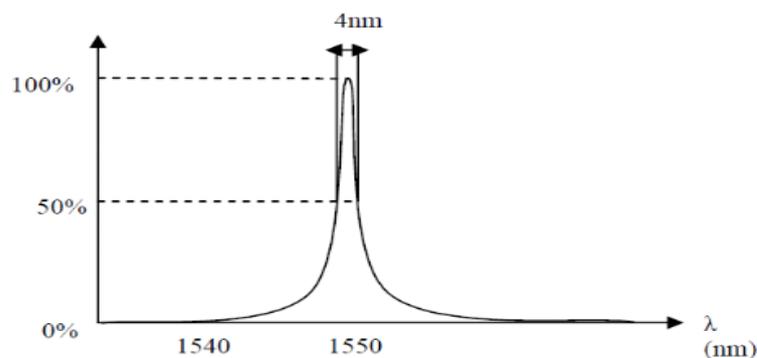


Figure 3: (1.3): Spectre d'émission d'une DL.

Le laser est composé de trois éléments essentiels (à voir figure 3: (1.4)) :

- Le milieu actif.
- La pompe : source énergétique qui réalise l'inversion de population.
- La cavité, limitée par deux surfaces, l'une réfléchissante presque à 100%, l'autre à 98% de façon à laisser sortir le faisceau laser.

Cette cavité forme, avec le milieu actif, un amplificateur (à voir sur la figure ci-dessous).

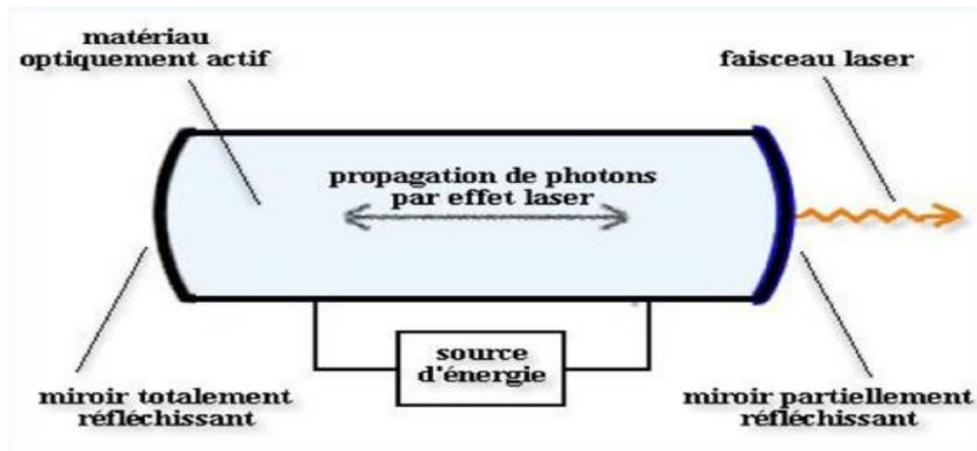


Figure 4: (1.4): Schémas de principe de laser.

Les lasers utilisent l'émission stimulée. On provoque, par l'intermédiaire d'un courant à haute densité, un important excès de porteurs qui rend possible une forte émission stimulée. Cet effet d'amplification est dû à une avalanche de photons.

La diode laser représente les caractéristiques suivantes :

- La source DL est cohérente et monochromatique.
- Largeur de spectre étroite, et la bande passante qui atteint quelques gigahertz.
- Diagramme de rayonnement directif (émissions se font dans la même direction).
- Utilisée dans les systèmes de transmission à grand distance.
- La densité de courant de seuil est de quelque dizaine de milliampères. [7]

I.2.2 Modulateurs

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, qui est une fonction essentielle de tout système de transmission. Pour

réaliser la modulation d'émission, on a deux possibilités: la modulation directe et la modulation externe.

I.2.2.1 Modulation directe

C'est la propre source optique qui réalise la modulation en même temps que la transformation électrique-optique. La modulation du courant qui traverse un laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise. Il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. (À voir sur la figure ci-dessous). [10]

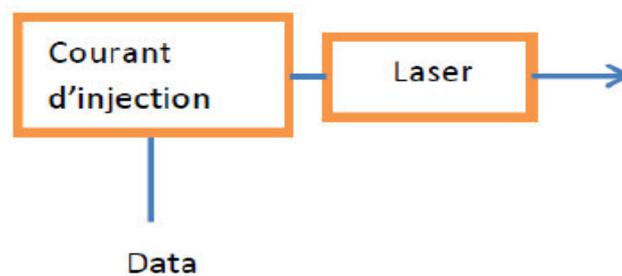


Figure 5: (1.5): Modulation directe.

I.2.2.2 Modulation externe

L'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du laser n'est plus modulé. La modulation externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés (à voir sur la figure ci-dessous). [10]

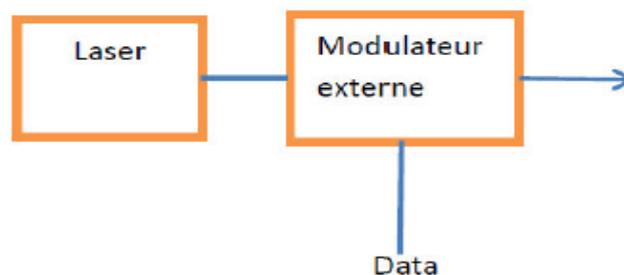


Figure 6: (1.6): Modulation externe.

I.2.3 Répéteur

Un répéteur est un dispositif électronique combinant un récepteur et un émetteur, qui compense les pertes de transmission d'un média (ligne, fibre, radio) en amplifiant et traitant éventuellement le signal, sans modifier son contenu. Dans le domaine des

télécommunications, un **répéteur** (de l'anglais transponder) désigne un canal de modulation exploité dans les transmissions radio, de télévision et de données numériques qui véhicule des signaux exploités dans d'autres fréquences d'émission. [6]

I.2.4 Récepteurs optique

I.2.4.1 Photodiode PIN

PIN est l'abréviation, Positive Intrinsic Négative Photodiodes.

Ce sont également des dispositifs à semi-conducteurs qui possèdent une région intrinsèque (faiblement dopée) prise en sandwich entre une région de type p et une région de type n. Lorsqu'il est polarisé en inverse, ce composant émet un courant proportionnel à la puissance optique incidente. (À voir sur la figure ci-dessous)

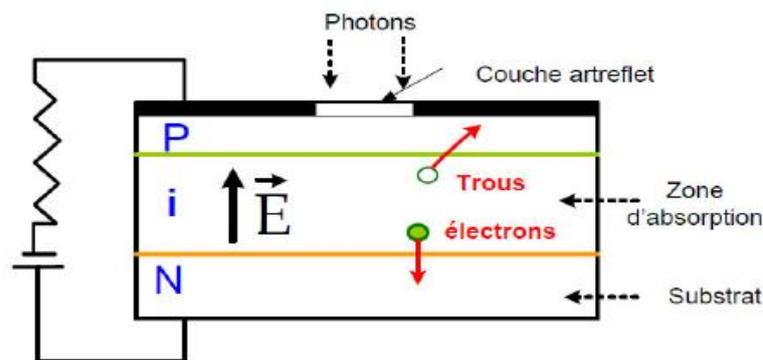


Figure 7: (1.7): Photodiode PIN.

I.2.4.2 Photodiode APD (Avalanche Photo Diode)

APD est l'abréviation de "Avalanche Photo Diode". Ce sont des composants semi-conducteurs qui réagissent à l'intrusion de photon dans la zone de jonction PN par le déclenchement d'une avalanche électronique. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir de très peu de photon incident. Les photodétecteurs de type APD présentent de meilleures performances, à 2,5 et 10 Gb/s, que les types PIN. Leur coût est également plus élevé. Néanmoins, pour les débits élevés à 40Gb/s, des prototypes de photodiodes de type PIN surpassent les types APD (à voir sur la figure ci-dessous). [2]

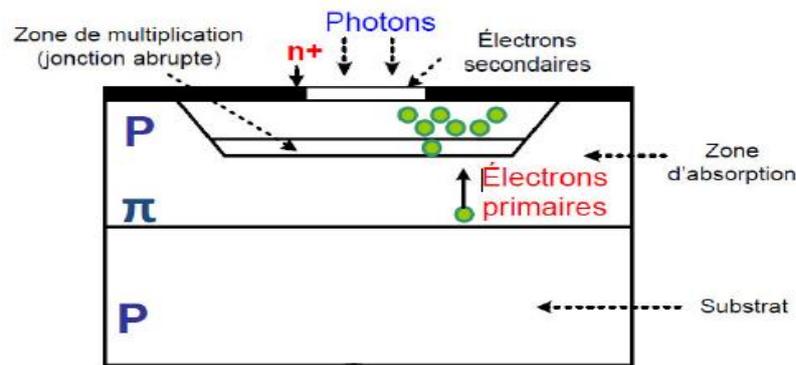


Figure 8: (1.8): Structure d'une photodiode à avalanche APD.

En télécommunications optique les détecteurs doivent :

- Offrir un bon couplage avec la fibre.
- Avoir une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- Avoir une bande passante convenable.
- Avoir une faible exigence du point de vue tension de source.
- Pas d'influence des conditions extérieures sur les caractéristiques.
- Avoir une grande fiabilité (bon rendement quantique) et un faible coût.
- Avoir un temps de réponse très court et un faible bruit additionnel. [3]

I.3 La généralité sur les fibres optiques

I.3.1 Définition

La fibre optique est définie comme étant un support de transmission des signaux numériques sous forme d'impulsions lumineuses. Le signal est codé avant d'être transmis. Il est capable de transmettre une grande quantité d'information, de plusieurs Gigabits/s.

I.3.2 Avantages et inconvénients des fibres optiques

I.3.2.1 Les avantages

Les principaux avantages apportés par la fibre optique sont les suivants :

- ✓ Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée. Le câble à fibre optique prend en charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée, jusqu'à

10 Gbt/s. La quantité d'informations qui peut être transmise par unité de câble à fibre optique est son avantage le plus significatif.

✓ Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la fibre optique est bon marché. Plusieurs kilomètres de câble à fibre optique peuvent être fabriqués pour moins cher que des longueurs équivalentes en fil de cuivre.

✓ Les fibres optiques sont aussi plus minces et plus légères. Ainsi, cela leur permet d'offrir un meilleur ajustement, là où l'espace est un problème.

✓ Une capacité de charge plus élevée. Les fibres optiques étant beaucoup plus minces que les fils de cuivre, davantage de fibres peuvent être regroupées dans un câble d'un même diamètre. Cela permet à plus de lignes téléphoniques de passer par le même câble.

✓ La fibre optique offre moins de dégradation du signal. En effet, la perte de signal dans la fibre optique est inférieure à celle du fil de cuivre. En découle une meilleure qualité pour la connexion internet.

✓ Les données sont transportées par des signaux lumineux. Contrairement aux signaux électriques transmis dans les fils de cuivre, les signaux lumineux d'une fibre n'interfèrent pas avec ceux d'autres fibres du même câble. Ainsi, cela signifie par exemple que les conversations en téléphonie IP sont plus claires. La fibre est aussi utilisée pour le réseau informatique.

✓ La fibre optique a une meilleure durée de vie. Les fibres optiques ont généralement un cycle de vie plus long, plus de 100 ans. C'est pour cela que les fournisseurs d'accès internet investissent autant dans le déploiement de la fibre.

I.3.2.2 Les inconvénients

✓ L'utilisation de la fibre optique est limitée. Le câble à fibre optique ne peut être utilisé qu'au sol. Exception faite sur des poteaux, dans certaines utilisations aériennes.

✓ Les sources d'émission de faible puissance-lumineuse sont limitées à une faible puissance. Des émetteurs de forte puissance sont disponibles pour améliorer l'alimentation électrique, mais cela implique aussi un coût supplémentaire. Cela peut donc induire un coût élevé.

✓ Fragilité : la fibre optique est plutôt fragile et plus vulnérable aux dommages que les fils de cuivre. Mieux vaut ne pas tordre ou plier les câbles à fibres optiques, ce qui n'est pas le cas du câble en fil de cuivre qui est beaucoup plus résistant.

Distance : la distance entre l'émetteur et le récepteur doit rester courte. Sinon, des répéteurs sont nécessaires pour amplifier le signal. [1]

I.3.3 Applications de la fibre optique

La fibre optique est utilisée par de nombreuses sociétés de télécommunications pour transmettre des signaux de téléphone, de la communication Internet, et les signaux de télévision par câble. En raison d'une atténuation et d'une ingérence beaucoup plus faibles, la fibre optique a de gros avantages sur le fil de cuivre dans des applications à forte demande et à longue distance. Cependant, le développement des infrastructures dans les villes a été relativement difficile et de longue haleine, et les systèmes de fibre optique sont complexes et coûteux à installer et à utiliser. En raison de ces difficultés, les systèmes de communication à fibre optique ont été principalement installés dans les applications longues distances, où ils peuvent être utilisés pour leur capacité de transmission complète, compensant l'augmentation des coûts. [11]

I.3.4 Composition d'une fibre optique

Une fibre optique comprend un cœur de silice de haut indice de réfraction, un enveloppement de silice pure de plus faible indice de réfraction, le tout entouré d'une gaine protectrice répartie en plusieurs couches flexibles (à voir sur la figure ci-dessous). Dans le domaine de télécommunication optique, le matériau privilégié est la silice très pure car elle présente des pertes optiques très faibles.

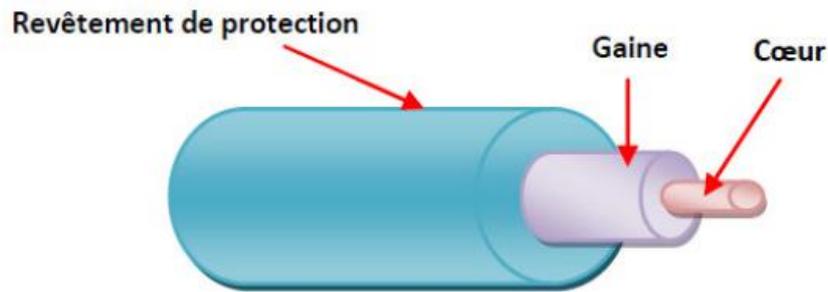


Figure 9: (1.9): Structure générale de la fibre optique.

La fibre optique est composée de deux cylindres transparents. Le cylindre intérieur s'appelle cœur et l'extérieur s'appelle gaine. Ces deux cylindres sont protégés par un revêtement (protection mécanique et chimique). [12]

Le cœur a pour rôle de transporter le signal optique. On appelle n_1 l'indice du cœur. Pour la gaine sa fonction est celle de miroir, elle évite que le signal optique sorte du cœur en gardant les caractéristiques optiques. Pour réaliser cette fonction, il doit avoir un indice n_2 constant et un peu inférieur à l'indice du cœur et la séparation entre cœur et gaine (dioptre) doit être bien définie (à voir sur la figure ci-dessous).

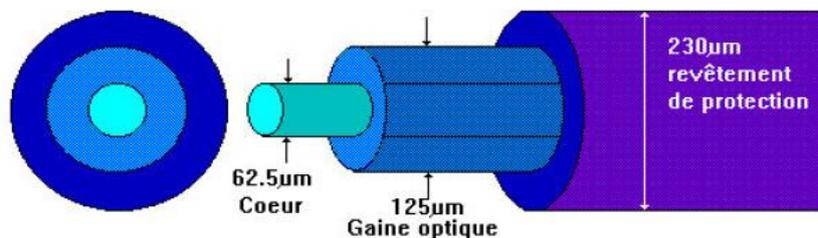


Figure 10: (1.10): Une section de la fibre optique.

Les composantes ne sont pas parfaites. Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface deux milieux, il se divise en deux : une partie est réfléchiée et l'autre est réfractée, c'est-à-dire transmise dans le second milieu en changeant de direction ce qui entraîne des pertes dans la gaine (à voir sur la figure ci-dessous).

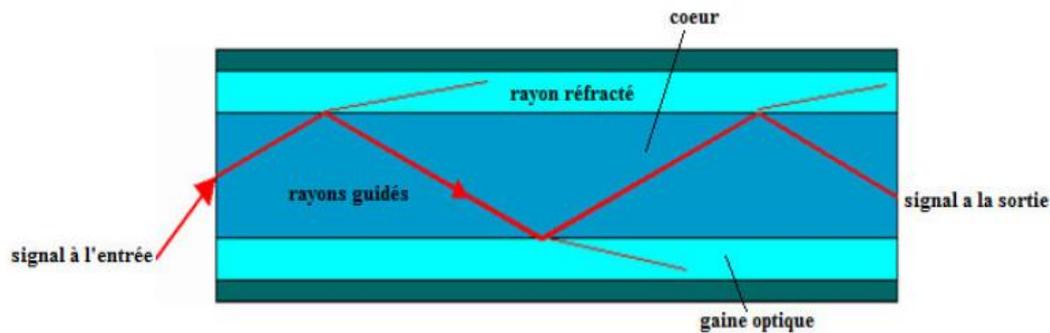


Figure 11: (1.11): Chemin parcouru par onde lumineuse dans une fibre optique.

I.3.5 Fonctionnement d'une fibre optique

La fibre optique est capable de transmettre en un mode (fibre optique monomode) ou en plusieurs modes (fibre optique multimode). On appelle mode chaque angle d'injection du rayon dans la fibre optique (à voir sur la figure ci-dessous). Qu'une fibre optique soit monomode ou multimode dépend de la structure de la fibre et aussi de la longueur d'onde à transmettre. Chaque mode de transmission est indépendant et suit un chemin différent et, par conséquent, différents temps de transmission. [13]

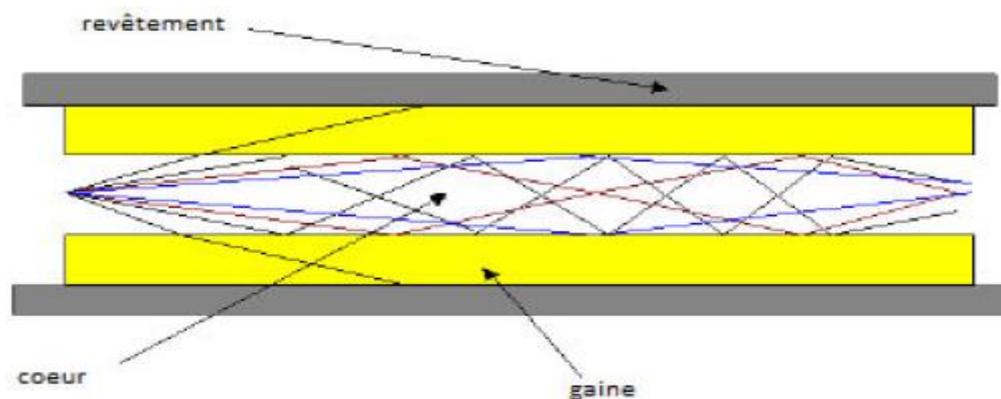


Figure 12: (1.12): Transmission d'une fibre optique.

On peut aussi parler de l'ouverture numérique d'une fibre optique qui est un paramètre très important qui nous renseigne sur la capacité qu'a une fibre à propager les rayons optiques. L'ouverture numérique caractérise le cône d'acceptance de la fibre : lorsque le rayon tente de pénétrer la fibre en provenant de ce cône, le rayon pourra

alors être guidé par réflexion totale interne et dans de cas contraire, le rayon ne pourra pas être guidé.

Soit n_1, n_2 et θ , respectivement les indices du cœur, de la gaine et l'angle d'incidence, l'ouverture numérique s'exprime alors par la formule :

Équation 1: (1.1): L'équation de l'ouverture numérique (ON).

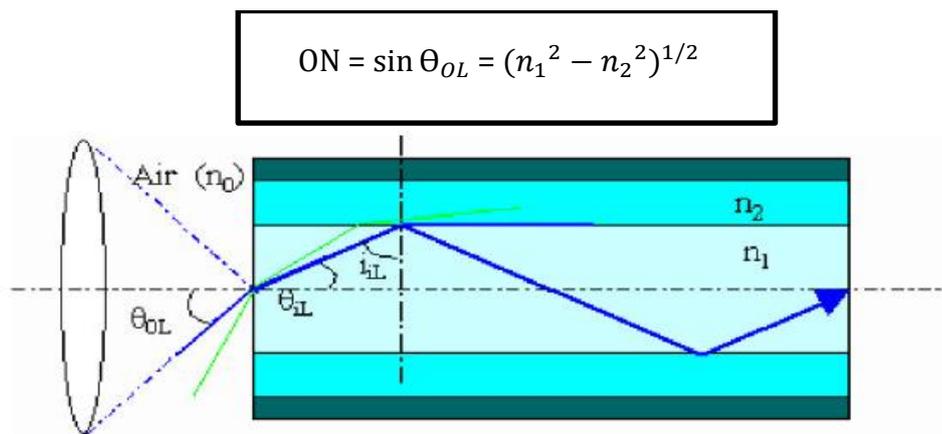


Figure 13: (1.13): Ouverture numérique d'une fibre optique.

I.3.6 Différents types de fibres optiques

Il existe deux types de fibres optiques : la fibre optique monomode et la fibre optique multimode, à son tour divisée en fibre multimode à saut d'indice et fibre multimode à gradient d'indice.

I.3.6.1 La fibre multimode

Ce type de fibre est appelé multimode car elle se propage suivant plusieurs modes de propagation, ce qui veut dire que le signal optique suit plusieurs trajets à l'intérieur du cœur de la fibre optique. La fibre multimode a été la première utilisée. Elle est facile à utiliser (gros cœur) mais a une limitation de bande passante... Elle est donc réservée aux courtes distances : réseaux informatiques. La fibre optique multimode est décomposée en deux parties : la fibre optique multimode à saut d'indice et la fibre optique multimode à gradient d'indice.

a) La fibre à saut d'indice

Le cœur et la gaine présentent des indices de réfraction différents et constants. Le passage d'un milieu vers l'autre est caractérisé par un saut d'indice (fig. 14: 1.14-a). Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des chemins optiques différents (fig.14: 1.14-b), ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis (fig. 14: 1.14), ce phénomène est appelé dispersion modale. [14]

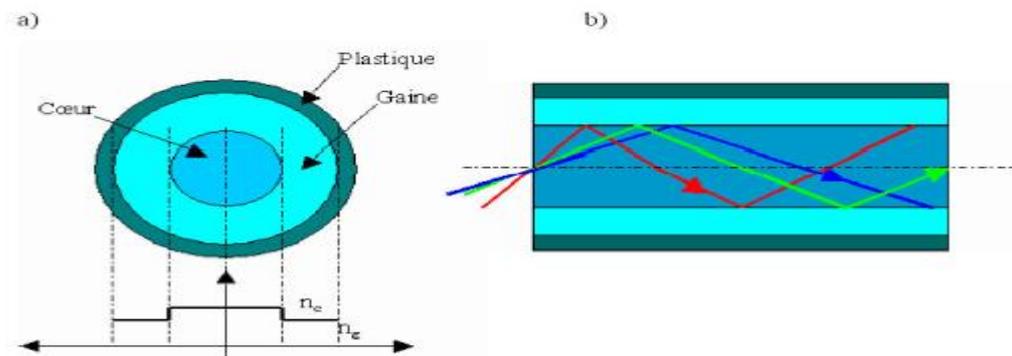


Figure 14: (1.14): La propagation du signal dans une fibre multimode à saut d'indice :a) Section de profil d'indice d'une fibre multimode à saut d'indice ; b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux.

Le spectre d'une fibre multimode à saut d'indice s'élargit à la réception comme le montre la figure 15: (1.15).

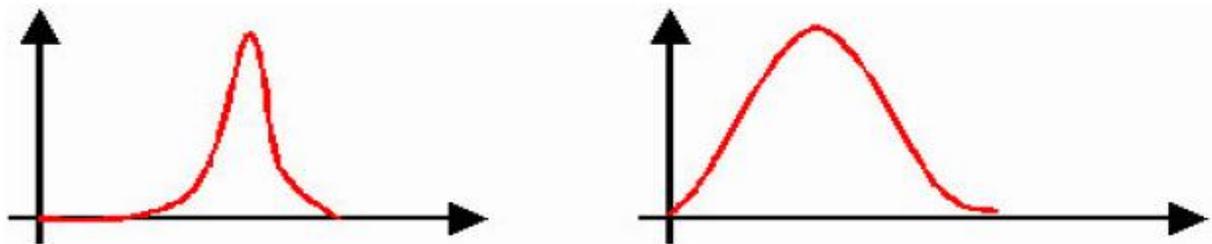


Figure 15:(1.15): Etalement du signal optique dans une fibre multimodes à saut d'indice.

Une fibre optique à saut d'indice a un diamètre du cœur de $50\mu\text{m}$ ou $62.5\mu\text{m}$ le plus souvent. La gaine est de $125\mu\text{m}$, son ouverture numérique est de $ON \approx 0.22$, sa bande passante est inférieure à 60MHz.km et elle a une atténuation faible : 3dB/km à $0.85\mu\text{m}$. [14]

b) La fibre à gradient d'indice

Le cœur se caractérise par un indice variable qui augmente progressivement de l'interface gaine-cœur jusqu'à au centre de la fibre (à voir sur la figure ci-dessous). Là aussi les rayons lumineux vont emprunter des chemins différents, mais un choix judicieux du profil d'indice du cœur permet de tendre vers des temps de parcours voisins et donc réduire l'étalement du signal. [14]

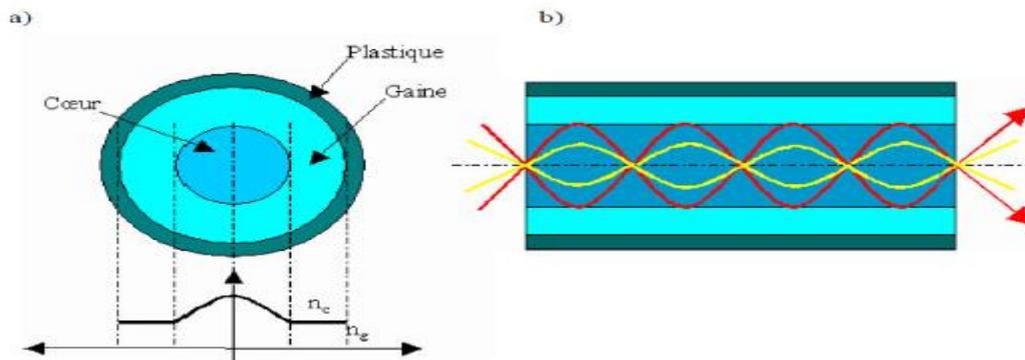


Figure 16: (1.16): La propagation du signal dans une fibre multimode à saut gradient d'indice : a) Section de profil d'indice d'une fibre multimode à gradient d'indice ; b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux.

Le spectre d'une fibre multimode à saut d'indice s'élargie a la réception comme le montre la figure 17: (1.17).

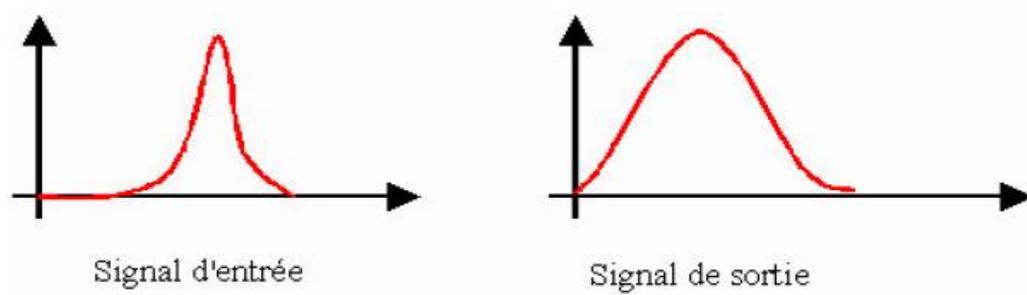


Figure 17: (1.17): Etalement du signal optique dans une fibre multimodes a gradient d'indice.

La fibre à gradient d'indice a un diamètre du cœur $50\mu\text{m}$ ou $62.5\mu\text{m}$ le plus souvent, une gaine $125\mu\text{m}$, une bande passante de plusieurs GHz.km, une atténuation de 3dB/km à $0.85\mu\text{m}$ et 1.5dB/km à $1.3\mu\text{m}$. [14]

I.3.6.2 La fibre monomode

La fibre monomode a un cœur si fin que le chemin de propagation des différents modes est pratiquement direct. La dispersion modale devient quasiment nulle, il n'y a qu'un seul mode de propagation car les dimensions du cœur sont du même ordre que la longueur d'onde du signal et l'ouverture numérique très faible (à voir sur la figure ci-dessous). [14]

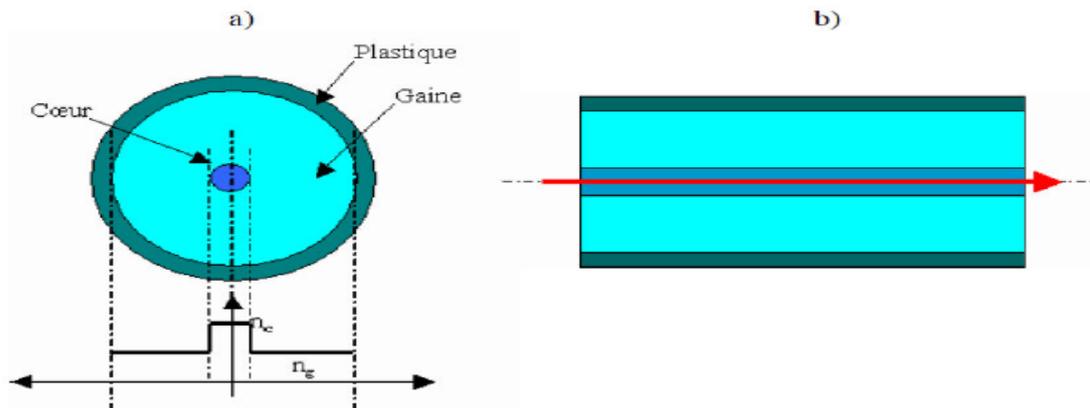


Figure 18: (1.18): La propagation du signal dans une fibre monomode : a) Section de profil d'indice d'une fibre monomode. b) Le chemin optique emprunté par les rayons lumineux est unique.

Pour une fibre monomode son diamètre du cœur est de 5 à 10 μm le plus souvent. La gaine est 125 μm , elle a une bande passante très élevée (de l'ordre du THz.km), son atténuation est 0,5dB/km à 1.3 μm et 0,2dB/km à 1,5 μm , son raccordement très délicat.

Elle est utilisée essentiellement par les opérateurs de télécommunication. Actuellement des liaisons de 100 à 300km sans répéteurs sont possibles. La tendance est de réduire encore le cœur (vers 2 μm), de travailler dans la bande des 1,5 μm avec plusieurs longueurs d'ondes. La silice est dopée à l'ytterbium (qui est un élément chimique de symbole Yb, elle est un métal). [14]

I.3.7 Les différents caractéristiques des types de fibre optique

Il existe deux familles de fibre optique et ses modèles sont de la manière suivante : les fibres monomode (OS) sont divisées en deux parties : OS1 et OS2 et les fibres multimodes sont divisées en quatre parties différentes : OM1, OM2, OM3 et OM4.

I.3.7.1 Les fibres monomodes (OS)

Les fibres monomodes (OS) sont classées selon leur affaiblissement (atténuation) maximale et ils sont de couleur jaune. Les modèles OS1 et OS2 ont les mêmes performances sauf au niveau de leur affaiblissement. Le OS1 a un l'affaiblissement de 1.0 dB/km. Le OS2, le modèle le plus récent, a un affaiblissement de 0.4 dB/km. On peut donc conclure que OS2 est plus performant que OS1.

I.3.7.2 Les fibres multimodes (OM)

Les fibres multimodes sont en ordre croissant de performance OM1, OM2, OM3, OM4. OM1 a une taille de cœur un peu plus grand de 62.5 μm alors que les autres modèles ont la même taille de cœur de 50 μm . OM1 et OM2 sont de couleur orange, ils peuvent être utilisés pour les réseaux de 10 Mbits/s à 1 Gbits/s. OM3 et OM4 sont de couleurs turquoise et magenta, ils sont les plus couramment utilisées de nos jours et sont capables de supporter des débits jusqu'à 100 Gbits/s sur des distances beaucoup plus grandes. OM1 n'est compatible qu'avec lui-même alors que OM2, OM3 et OM4 sont inter-compatibles.

D'une façon plus détaillé voici les caractéristiques de ces différentes modèles de fibre optique (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 1: (1.1): Les différentes modèles des fibres optiques.

TYPE DE FIBRE	OS1/OS2	OM1	OM2	OM3	OM4
	Monomode	Multimode	Multimode	Multimode	Multimode
DOMAINE D'APPLICATION PRINCIPAL	Liaisons bâtiments	Déport Vidéosurveillance Et réseaux	Déport Vidéosurveillance Et réseaux	Déport Gigabit & Datacenter	Datacenter
DÉBIT COURENT	Illimité	100 Mb/s	100 Mb/s & 1 Gb/s	10 Gb/s	10 Gb/s & 10Gb/s
DIAMÉTR E DE LA FIBRE	9/125 μ	62.5/125 μ	50/125 μ	50/125 μ	50/125 μ
DÉPORT	Très longue distance >5km	Longue distance <5km	Longue distance 550m <	Moyenne distance réseau <300m	Moyenne distance réseau <150m
BANDE PASSANT E	Illimitée	200 MHz.km (850nm)	500MHz.km	1500 MHz.km (850nm)	3500 MHz.km (850nm)

Note : Il existe une autre longueur d'onde égale à 1625 nm. Elle est utilisée lorsque le propriétaire du réseau prévoit utiliser du WDM et du DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, en français multiplexage en longueur d'onde).

DEL: Diode Electroluminescent (850 nm, 1300 nm).

LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (1310 nm, 1490 nm 1550 nm, 1625 nm).

I.3.8 Les principales phénomènes qui caractérisent la fibre optique

Les deux principaux phénomènes qui caractérisent la fibre optique sont l'atténuation et la dispersion.

I.3.8.1 L'atténuation

Une atténuation est définie comme étant une perte de puissance dans un signal optique, autrement dit l'affaiblissement de l'amplitude du signal, et cet affaiblissement est mesuré en dB/km. L'atténuation du signal est moins forte dans les systèmes optiques à base de fibre optique que dans les systèmes électriques, cet affaiblissement n'est pas constant avec la fréquence du signal optique à transmettre.

L'atténuation est le rapport de la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimé en unité logarithmique par unité de longueur.

Équation 2: (1.2): L'équation de l'atténuation.

$$A = 10 \log \frac{P_e}{P_s}$$

Il existe deux types d'atténuation, qui seront abordé dans les paragraphes suivants (à voir sur la figure ci-dessous).

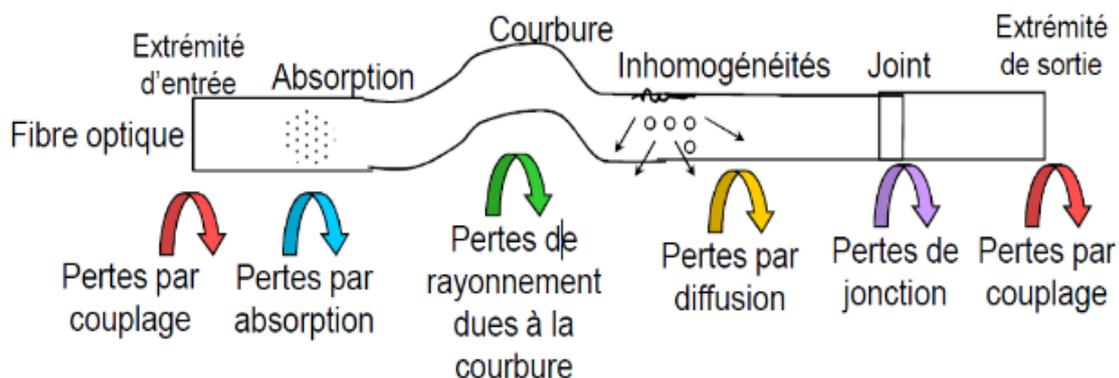


Figure 19: (1.19): Les différents types d'atténuation à la longue de la transmission optique.

a) Atténuation intrinsèque

L'atténuation intrinsèque due à des facteurs internes d'une transmission optique.

✓ **Atténuation par absorption**

L'atténuation par absorption est l'une des causes principales des pertes de fibre optique pendant la transmission. Lorsque le rayon est en interaction avec les composants du verre, un électron ou des ions métalliques, la puissance lumineuse est absorbée et transférée dans d'autres formes d'énergie comme la chaleur, en raison de la résonance moléculaire et des impuretés des longueurs d'onde.

✓ **Atténuation par dispersion**

L'atténuation par dispersion est le résultat de la distorsion du signal optique lors du déplacement le long de la fibre. Les pertes de dispersion dans la fibre optique peuvent être intermodales ou modales. La dispersion intermodale est l'élargissement de l'impulsion dû aux différences de retard de propagation entre les modes dans la fibre multimode. La dispersion modale est l'étalement de l'impulsion dans la fibre monomode, car l'indice de réfraction ou la constante de propagation varie avec la longueur d'onde.

✓ **Atténuation par diffusion**

L'atténuation par diffusion dans la fibre optique est due à des variations microscopiques de la densité du matériau, des fluctuations de composition, des irrégularités structurelles et des défauts de fabrication. [8]

b) Atténuation extrinsèque

L'atténuation extrinsèque est due à des facteurs extérieurs d'une transmission optique.

✓ **Pertes dues aux courbures**

Les obstacles sur terrain peuvent obliger à courber la fibre optique afin de les franchir. A l'intérieur du câble, cette fibre suit un trajet hélicoïdal, c'est une courbure.

✓ **Pertes dues aux micro-courbures**

Dans une transmission par fibre optique, la fibre peut entrer en contact avec les éléments constitutifs du câble, ce qui peut créer des micro-courbures.

✓ **Pertes dues aux connexions**

Les épissures qui relient les extrémités d'une fibre optique d'une façon permanente, ainsi que les raccordements entre la fibre et les équipements d'émission et réception, peuvent introduire des pertes. On peut citer par exemple:

- Décalage axial
- Décalage angulaire
- Distance entre deux fibres [5]

I.3.8.2 La dispersions

Le phénomène de la dispersion se produit quand on veut transmettre une impulsion sur un canal optique. Cette impulsion n'est pas idéale car à la sortie l'impulsion est différente au niveau initial de l'impulsion et l'impulsion de la sortie a une durée plus grande que la durée initiale.

Pour définir ce phénomène, on peut dire en résumé que c'est l'élargissement temporel des impulsions. Nous avons deux types de dispersion : la dispersion modale ou intermodale et la dispersion chromatique.

a) Dispersion intermodale

Dans une fibre optique multimode, l'impulsion se propage en plusieurs modes, chaque mode se propage différemment d'un autre dans le cœur de la fibre et chaque impulsion à une vitesse différente.

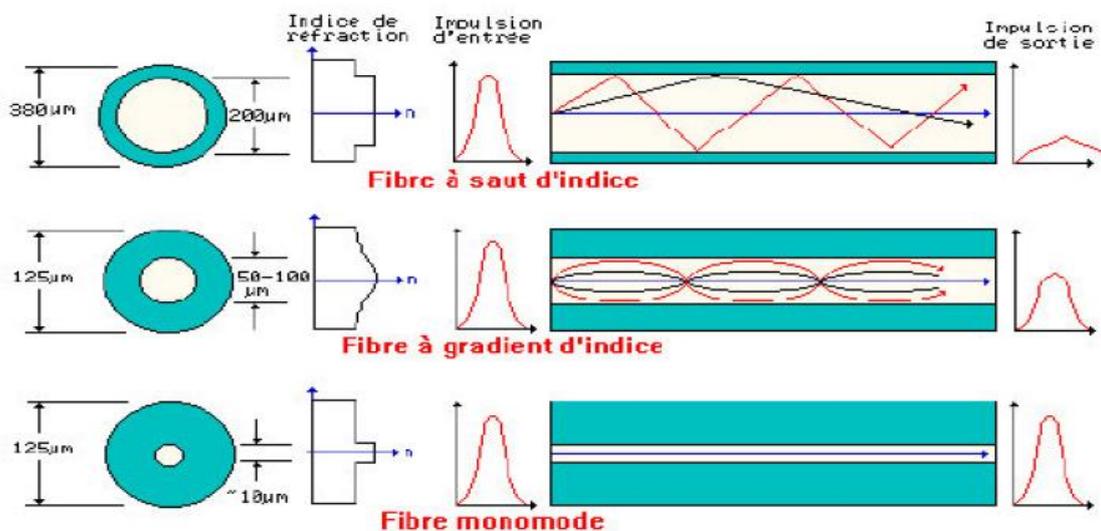


Figure 20: (1.20): La dispersion intermodale dans les trois types de fibre.

La fibre monomodale se propage en un seul mode. Donc il n'y a aucun effet de dispersion intermodale. Une valeur plus typique de dispersion intermodale dans une fibre à saut d'indice est d'environ 30ns/km. Alors que dans les fibres à gradient d'indice, on peut faire varier la vitesse du rayon en fonction du chemin pris, en changeant la valeur de l'indice sur chaque point de la fibre. Une valeur typique pour ce type de fibre est d'environ 60ps/km. [13]

b) Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est définie comme la dérivée du temps de propagation d'un signal quasi-monochromatique sur une unité de longueur en fonction de la longueur d'onde (à voir sur la figure ci-dessous).

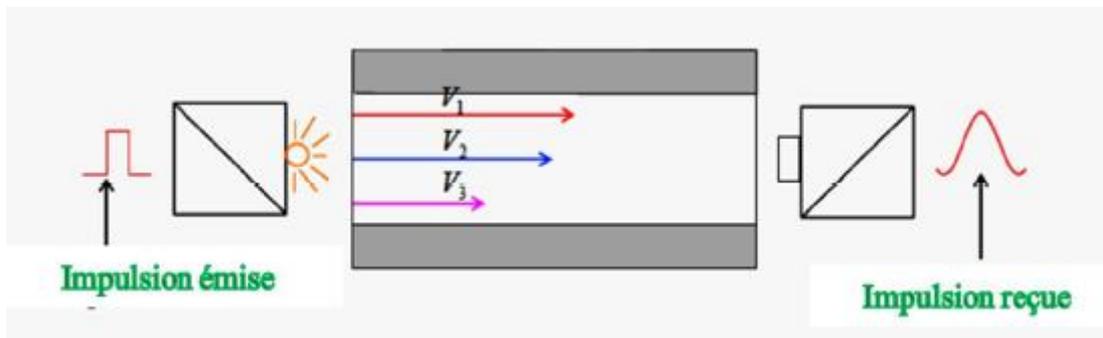


Figure 21: (1.21): La dispersion chromatique.

Pour les fibres **multimodes**, la dispersion chromatique est négligeable par rapport à la dispersion intermodale, beaucoup plus importante.

Les fibres **monomodes**, les plus simples à produire et historiquement les plus utilisées (norme **G.652**), ont une dispersion nulle au voisinage de 1.3 μm de longueur d'onde, et d'environ 17 ps/(nm.km) au voisinage de 1.55 μm . Comme l'atténuation est minimale au voisinage de 1.55 μm , on cherche à utiliser cette plage pour les transmissions à longue distance.

Il est possible de fabriquer des fibres de dispersion s'annulant autour de 1.55 μm (fibres à dispersion décalée, décrites par la norme **G.653**), voire avec une dispersion presque nulle sur une large plage. [4]

I.4 Conclusion

Dans ce premier chapitre, l'étude a présenté la description de la liaison par fibre optique, ses composants et ses caractéristiques, ses avantages et inconvénients... On peut dire que l'utilisation de la fibre optique comme support de transmission est devenue un élément clé des télécommunications.

La fibre comme support de transmission de l'information possède des qualités significatives qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux. Plusieurs de ses défauts semblent pouvoir se corriger (la dispersion, l'atténuation...).

Pour conclure, la liaison par fibre optique est le meilleur moyen de transport de l'information numérique à un très haut débit.

Dans le chapitre suivant, l'étude portera sur les différents réseaux optiques, plus précisément sur le réseau FTTH ainsi que sur sa maintenance et les matériaux d'essai.

II. Chapitre :
Les réseaux de
télécommunications par
fibres optiques.

II.1 Introduction

Les échanges allant être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée, la conception des très grands réseaux par fibres optiques est devenue une nécessité.

Aujourd'hui, le réseau optique est en constante progression. Cette progression est due à l'augmentation de la demande en débit. La nécessité d'une très grande bande passante afin d'accéder à l'information le plus rapidement possible entraîne un changement radical des réseaux de télécommunications existants et la nécessité de mettre en place de nouvelles structures.

Les systèmes actuels doivent répondre à des nouvelles exigences pour faire face à la demande en bande passante et en débit.

Ce chapitre présente les réseaux optiques, les différents types des réseaux optiques et leurs éléments constitutifs. Il présente aussi la description des différents matériels de sécurité d'un réseau optique, ses techniques de multiplexage (WDM et DWDM), ainsi que les matériels utilisés pour tester un réseau et pour sa maintenance.

En particulier, ce chapitre décrit le réseau d'accès optique plus précisément le réseau FTTH, ses architectures (P2P et PON), la répartition de la partie terminale du réseau et son bilan de liaison.

II.2 Définition de réseaux

Un réseau informatique est un ensemble de machines ou d'équipements reliés entre eux pour échanger des informations et partager des données, par un câble ou sans fil, par liaison radio. L'un des réseaux les plus basiques comporte deux ordinateurs reliés par un câble. Les réseaux modernes sont plus complexes, ils comportent bien plus que deux ordinateurs.

II.3 Les différentes types de réseaux

En général le réseau de télécommunication par la fibre optique peut se distinguer en trois types de réseau différents :

- Les réseaux étendus, ou **WAN** (Wide Area Network), qui s'étend sur plus d'un millier de kilomètres.
- Les réseaux métropolitains, ou **MAN** (Métropolitain Area Network), c'est un réseau ayant une dimension de l'ordre d'une centaine de kilomètre.
- Les réseaux locaux, ou **LAN** (Local Area Network), couvrant une dimension de plusieurs centaines de mètre. [1]

II.3.1 Le réseau longue distance (WAN)

Le réseau WAN (Wide Area Network) est un réseau qui couvre des pays, ainsi que des continents. Il ne relie pas que les ordinateurs individuels mais aussi entre eux des LAN ou des MAN, il a un débit plus élevé que celui de MAN et peut être élargi pour des milliers de kilomètres. Les supports de transmission utilisées sont variés (ligne téléphonique, ondes hertziennes, fibre optique, satellites, etc.).

II.3.2 Le réseau métropolitain (MAN)

Aussi appelé réseau intermédiaire, le réseau MAN (Métropolitain Area Network), est un réseau de télécommunication à large bande qui relie plusieurs LAN géographiquement à proximité. Il permet l'interconnexion de plusieurs utilisateurs et d'équipements ainsi que de ressources informatique dans une région plus vaste que celle du LAN et plus petite que celle couverte par un réseau WAN. Il a un débit de 2 Gbits/s et s'étend jusqu'à 200 kilomètres.

II.3.3 Le réseau local (LAN)

Le Réseau LAN (Local Area Network) est aussi appelé réseau de la distribution ou réseau d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Ce réseau s'étend de 1 mètre à 2 kilomètres et peut compter de 2 à 200 abonnés. Son débit courant est de 1 à 100 Mbits/s.

Dans ce réseau il y a toujours une partie constituée par une fibre optique, entre l'autocommutateur (switch) et le terminal réseau, suivie d'une partie conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la consommation d'électricité en allant vers la toute optique, dans le but d'augmenter la disponibilité de débit chez les abonnés. [2]

II.4 Les Topologies des réseaux

Une topologie est la façon dont le câblage d'un réseau est réalisé. Le choix de la topologie d'un réseau informatique est fait selon l'environnement, l'architecture (bâtiment, ...) et les besoins techniques de débit pour l'entreprise.

Les quatre grandes topologies des réseaux câblés sont : La topologie en bus, en anneau, en étoile et maillée. (À voir les figures suivantes ci-dessous)

II.4.1 La topologie en bus.

Dans une topologie en bus, les nœuds du réseau sont reliés les uns aux autres sous forme d'une chaîne. Un bouchon est placé à chaque extrémité du bus, signifiant que le réseau se termine.

Dans la topologie bus, une seule station émet sur le bus. Lorsque celle-ci émet, la trame parcourt tout le bus jusqu'à ce qu'elle arrive au destinataire. Cette topologie fonctionne dans un petit réseau.

La principale inconvénience de la topologie bus est que si l'un des nœuds est déconnecté du réseau, c'est le réseau entier qui tombe.

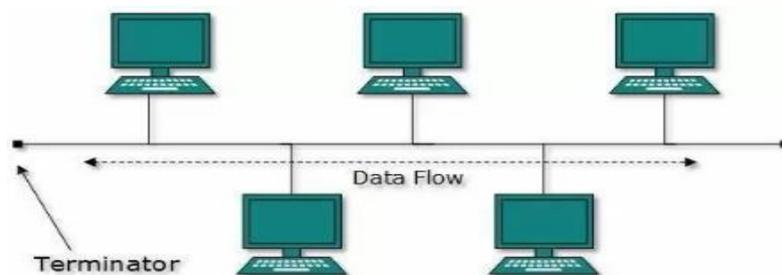


Figure 22: (2.1): Topologie en bus.

II.4.2 La topologie en étoile.

Dans une topologie en étoile, les équipements du réseau sont reliés à un équipement central (hub ou switch) qui a pour rôle d'assurer la communication entre les différents équipements du réseau.

Dans cette topologie, si l'équipement central du réseau (hub ou switch) tombe en panne, le réseau ne peut plus fonctionner. Par contre si une station est retirée du réseau, cela ne crée aucun impact dans le réseau.

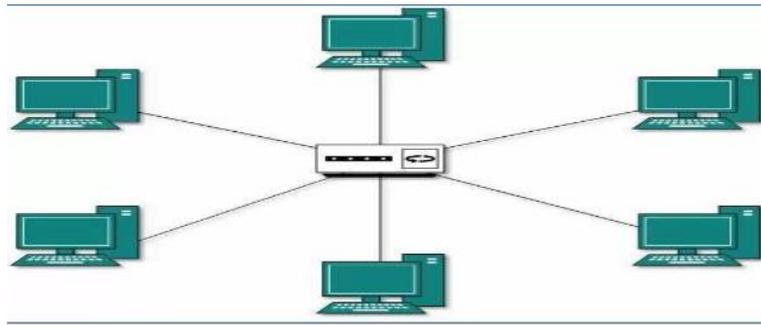


Figure 23: (2.2): Topologie en étoile.

II.4.3 La topologie en anneau.

Dans une topologie en anneau, les données circulent dans une direction unique. Dans cette topologie les stations du réseau ne peuvent communiquer que quand elles possèdent le jeton. Quand la station souhaite émettre ou recevoir des trames, celle-ci intercepte le jeton qui lui permet d'avoir son tour d'exécution.

Les inconvénients le plus fréquent de cette topologie est qu'elle est unidirectionnelle : un paquet de données doit passer par tous les nœuds et quand un nœud tombe en panne, tout le réseau tombe en panne. [3]

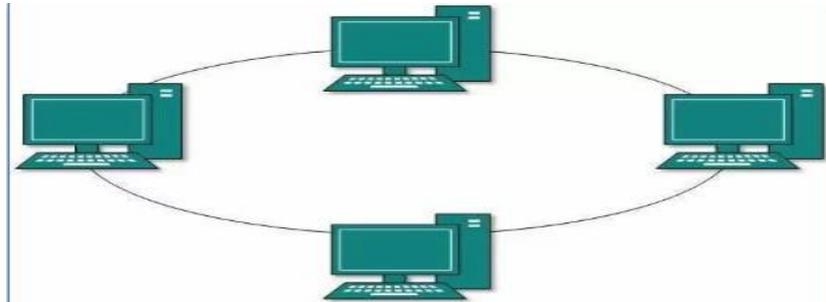


Figure 24: (2.3): Topologie en anneau.

II.4.4 La topologie maillée.

Dans la topologie maillée, tous les nœuds sont connectés les uns avec les autres. Il n'y a pas de commutateur (hub ou switch) central ou d'ordinateur qui serve de point central pour la transmission des données.

On peut conclure que la topologie maillée est plus avantageuse que les autres topologies.

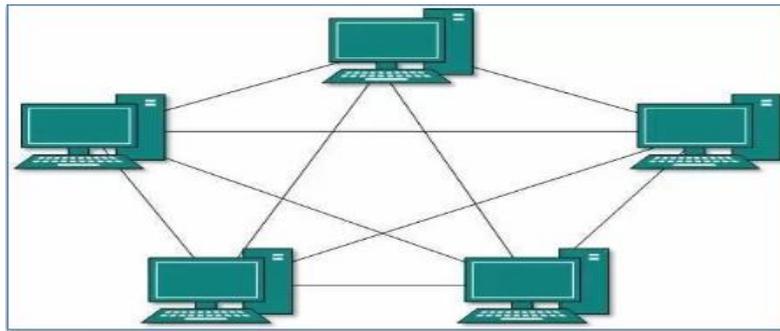


Figure 25: (2.4): Topologie maillée.

II.5 Les réseaux optiques

II.5.1 Normes et structures des fibres optiques

II.5.1.1 Les normes de l'UIT-T pour les différentes fibres optiques [4]

Le secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T), a pour rôle de définir les normes d'exploitation et d'interfonctionnement des réseaux de télécommunications, autrement dit, ils décrivent les propriétés géométriques et de transmission des câbles à fibres optiques multimodes et monomodes. Les sept normes communes recommandées par l'UIT-T sont : G.651.1, G652, G653, G654, G655, G656 et G657.

a) Norme G.651.1

La norme G.651.1 a été développée sur la base de la norme G.651 qui a été retirée en 2008. Le G.651.1 définit la fibre optique multimode à gradient d'indice 50/125 μm pour les systèmes FTTH, dans la zone de la bande 850 nm ou 1300 nm, ou bien elle peut être utilisée dans les deux zones de longueur d'onde simultanément. Le G.651.1 s'utilise principalement pour les immeubles à plusieurs logements pour réseaux FTTH, ainsi que pour des fonctions dans les réseaux d'entreprise, comme l'architecture "Fiber to the Zone" (FTTZ à voir par la suite).

b) Norme G.652

La norme G.652 est la première norme de fibre monomode spécifiée par l'UIT-T. La norme G.652 inclut quatre versions : G.652.A, G.652.B, G.652.C et G.652.D. Aujourd'hui, les fibres G.652.A et G.652.B sont rarement utilisées à cause de leur faible performance dans les applications WDM modernes. Alors que les fibres G.652.C et

G.652.D présentent un faible pic d'eau (ZWP – Zero Water Peak). Cela signifie qu'ils présentent une performance optimale, ce qui leur permet d'être utilisés dans la zone de longueur d'onde comprise entre 1310 nm et 1550 nm en supportant la transmission multiplexée par répartition en longueur d'onde (CWDM). Actuellement la fibre G.652.D est la technologie la plus moderne, qui permet non seulement un rendement maximal des investissements mais aussi la meilleure protection. La fibre G.652.D est recommandée comme fibre de choix lors du déploiement de la fibre optique monomode dans la plupart des cas d'application actuels.

c) Norme G.653

La norme G.653 définit la fibre monomode à dispersion décalée qui présente une valeur de dispersion nulle autour de la longueur d'onde de 1550 nm où l'atténuation est minimale. Elle est notamment utilisée dans les câbles sous-marins. Il y a deux catégories de fibres pour la norme G.653 : G.653.A et G.653.B, les deux fonctionnent dans la zone de longueur d'onde 1550 nm, ils pourraient fonctionner autour de 1310 nm à condition que le coefficient d'atténuation soit inférieur à 0,55 dB/km. Aujourd'hui, la fibre G.653 est rarement déployée et a été remplacée par la fibre G.655 pour les applications WDM.

d) Norme G.654

La norme G.654 définit la fibre à longueur d'onde de coupure décalée prévue pour fonctionner dans la zone de 1500 nm à 1600 nm. La norme G.654 est divisée en cinq versions différentes, qui sont G.654.A, G.654.B, G.654.C, G.654.D et G.654.E. Les fibres G.654.A, G.654.B, G.654.C et G.654.D sont plutôt utilisées dans les applications sous-marines de longue distance. Alors que la fibre G.654.E est conçue pour les réseaux optiques terrestres de longue distance à haut débit. La version G.654.E est considérée comme une solution potentielle pour optimiser les performances de transmission des réseaux optiques longue distance à ultra-haut débit de prochaine génération.

e) Norme G.655

La norme G.655 définit la fibre optique monomode à dispersion décalée non nulle avec une performance spécifiée à 1550 nm et 1625 nm. Cette norme contient cinq catégories : G.655.A, G.655.B, G.655.C, G.655.D et G.655.E. Ces fibres étaient destinées à une utilisation sur des longueurs d'ondes comprises entre 1530 et 1565 nm, mais elles peuvent être prises en charge sur des longueurs d'onde allant jusqu'à 1460 nm et

jusqu'à 1625 nm. Les fibres G.655 étaient adaptées aux applications longue distance et aux réseaux fédérateurs, mais aujourd'hui elles deviennent obsolètes (dépassés) et sont remplacées par la fibre G.655.D.

f) Norme G.656

La norme G.656 définit la fibre monomode à dispersion non nulle pour large bande utilisant à la fois DWDM et CWDM, elle opère dans des zones de longueurs d'onde allant de 1460 nm à 1625 nm. Son atténuation est faible à 1460 nm – 1625 nm, mais la longueur d'onde est inférieure à 1530 nm, sa dispersion est trop faible pour le système WDM. On peut conclure que la fibre n'est pas adaptée aux applications fonctionnant entre 1460 nm et 1530 nm.

g) Norme G.657

L'ITU-T G.657 est la dernière édition des normes sur les fibres optiques monomodes et spécifie les caractéristiques des fibres optiques monomodes insensibles aux courbures. Les fibres G.657 sont principalement utilisées pour les réseaux d'accès optique à large bande dans les bureaux et domiciles (en immeubles et maisons individuelles). Il existe deux catégories G.657 : G.657.A et G.657.B. La fibre G.657.A est conforme à la norme ITU-T G.652.D existante, mais elle offre une performance de macro-courbures environ dix fois supérieure. La fibre G.657.B est une classe vraiment insensible aux courbures, avec une résistance aux courbures des centaines de fois supérieure à celle des fibres monomodes traditionnelles et environ dix fois supérieure à celle de la classe G.657.A. La fibre G.657.B n'est conforme à aucune ancienne norme de l'UIT-T. G.657.A et G.657.B peuvent être subdivisées en G.657.A1, G.657.A2, G.657.B2 et G.657.B3, qui se distinguent par leurs exigences en matière de macro-courbures. Les fibres G.657.A2 et G.657.B3 présentent des performances de macro-courbures supérieures à celles des fibres G.657.A1 et G.657.B2.

II.5.2 Le structure des câbles à fibres optiques [8]

Avant tout nous devons faire la différence entre une fibre optique et un câble à fibres optiques. Un câble à fibre optique est composé d'un nombre de fibres pouvant aller de 2 à plusieurs dizaines de fibres selon le besoin. Dans la plupart des cas de réseau local d'entreprise, ce nombre est de 6 à 24.

Il existe deux grands types de câble à fibres optiques pour le réseau local (à voir sur la figure ci-dessous) :



Figure 26: (2.5): Le câble à revêtement lâché et à revêtement serré.

1. Les câbles à revêtement lâche (loose tube cable), c'est un câble utilisé pour la liaison inter-bâtiment, il est constitué de plusieurs tubes contenant chacun plusieurs fibres optiques (à voir sur la figure ci-dessous).

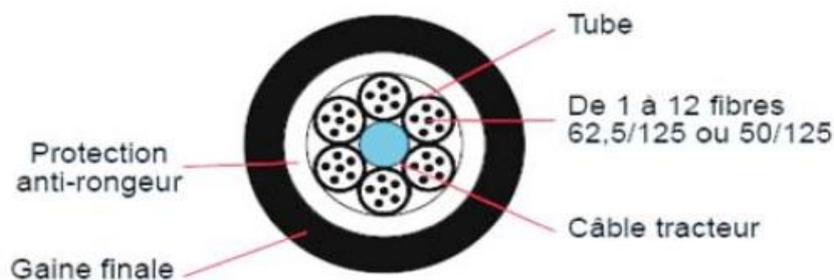


Figure 27: (2.6): La structure du câble à revêtement lâche.

2. Les câbles à revêtement serré (tight buffered) : c'est un câble où une gaine plastique est directement appliquée sur la fibre ce qui la renforce mécaniquement et lui apporte la souplesse nécessaire à la réalisation de cordons. Ce type d'agencement permet le raccordement direct de connecteur.

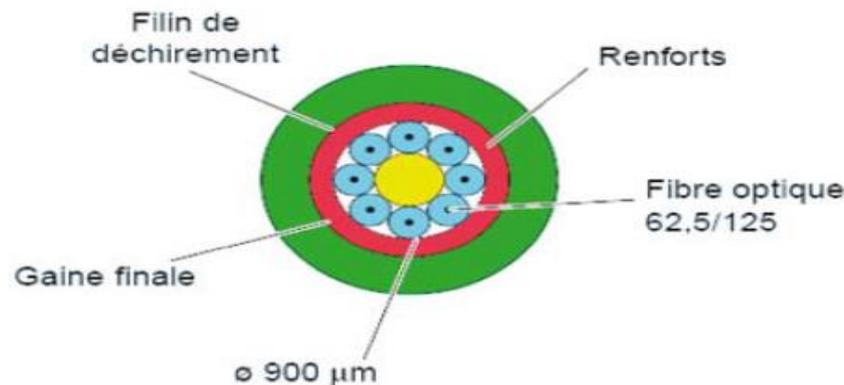


Figure 28: (2.7) : La structure du câble à revêtement serré.

II.5.3 Raccordement des fibres optiques

Le raccordement consiste à raccorder deux fibres selon deux méthodes différentes : par soudure et par un connecteur pour assurer la connexion d'une fibre à une l'autre.

II.5.3.1 La soudure de fibre optique ou épissure par fusion

Le raccordement par soudure consiste à connecter ou à raccorder deux fibres optiques par soudure à l'aide d'un arc électrique, en alignant le mieux possible les deux cœurs de fibre ainsi les deux gaines, celles qu'on appelle alignement cœur à cœur et alignement gaine à gaine.

L'alignement cœur à cœur est privilégié pour la fibre monomode. Il optimise en effet les pertes associées.

L'alignement gaine à gaine est principalement utilisé pour les applications en fibre multimode. Les performances associées sont moindres, mais permettent d'utiliser des équipements moins chers.

Il suppose la préparation du câble avant la soudure afin d'accéder aux fibres optiques et de permettre leur câblage. Cette préparation a pour but de permettre une très bonne connexion de deux fibres en les fusionnant grâce à un arc électrique. (À voir sur la figure ci-dessous)



Figure 29: (2.8): L'appareil de soudure de fibre optique.

II.5.3.2 L'épissure mécanique

L'épissurage mécanique permet de raccorder deux fibres optiques grâce à un kit d'assemblage, la fibre doit-être d'abord coupée à l'aide d'une cliveuse de précision et nettoyée. Quand la procédure d'épissurage est faite, l'atténuation moyenne reste inférieure à 0,1 dB à longueur d'onde 1310 nm, soit très proche d'une épissure fusion. La réflexion typique reste inférieure à 40 dB. [5]

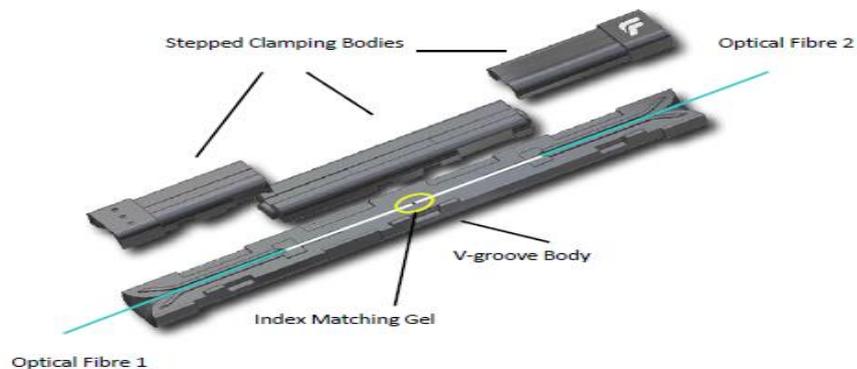


Figure 30: (2.9): Épissure mécanique de précision de raccordement de fibre optique.

II.5.3.3 Les différents types de connecteurs [6]

Il existe plusieurs types de connecteurs pour la fibre optique. Les connecteurs les plus utilisés pour les applications FTTH et les réseaux de communications ont pour acronymes : **SC**, **LC**, **FC** et **ST**. L'image ci-dessous présente l'anatomie d'un connecteur pour fibre optique.

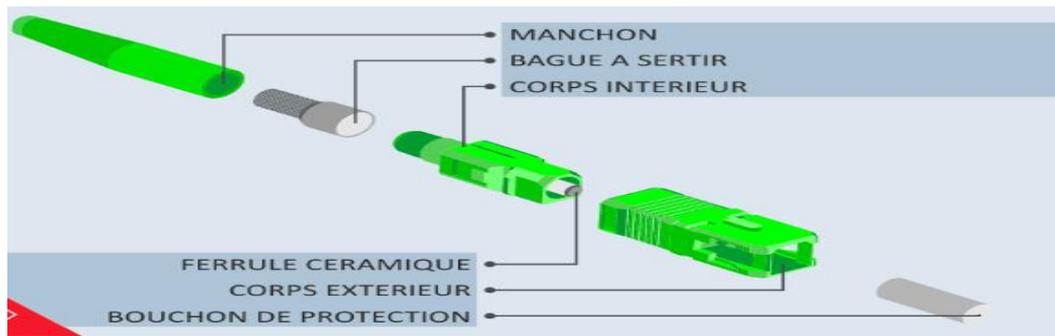


Figure 31: (2.10): L'anatomie d'un connecteur de fibres optiques.

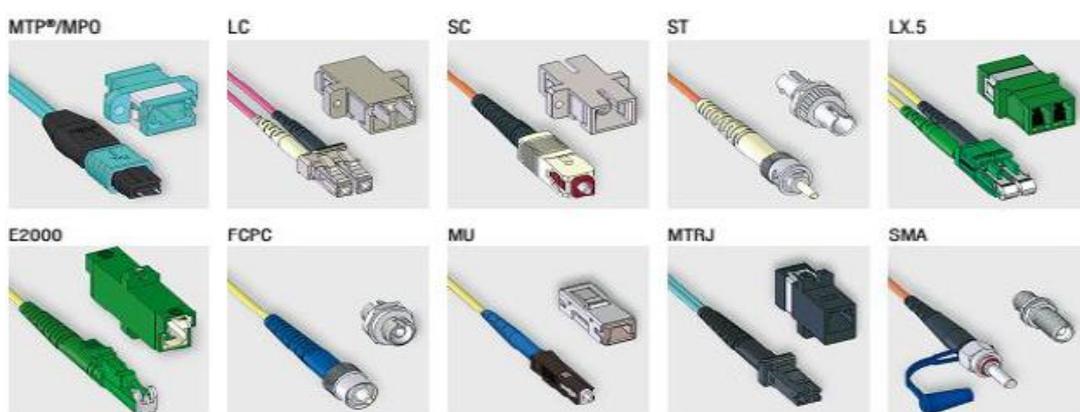


Figure 32: (2.11): Exemples des connecteurs et raccords.

a) Le connecteur FC (Ferrule Connector)

Le connecteur Ferrule Connector (en français, connecteur à ferrule) est le premier connecteur optique utilisant la ferrule céramique, il est développé par " Nippon Téléphone & Telegraph". Il est moins utilisé que les connecteurs SC et LC.

Le FC est résistant aux vibrations, il est pour cela quelque fois utilisé dans des systèmes en mouvement. Il est également utilisé dans des instruments de mesures (comme les OTDR). Le FC est utilisé pour la fibre monomode, avec une perte d'insertion de 0,3 dB en moyenne.



Figure 33: (2.12): Le connecteur FC de fibres optiques.

b) Le connecteur ST (Straight Tip)

ST (en français, traction droite), développé aux USA par AT&T est utilisé dans les environnements professionnels comme les réseaux d'entreprises et les applications militaires. Le connecteur ST est utilisé pour la fibre multimode, le manque de précision axial ne permet pas une bonne reproductibilité en monomode.



Figure 34: (2.13): Le connecteur ST de fibres optiques.

c) Le connecteur LC (Lucent Connector ou Little Connector)

Little Connecteur (en français, Petit Connecteur) est développé par Lucent Technologies et a été mis à disposition en 1997. Le LC est similaire à un RJ45, il a un corps de connecteur plus solide que le SC. Il est utilisé pour améliorer la densité des points de raccordement en façade et pour le FTTH. Le LC est appliqué dans les fibres monomode, avec une atténuation moyenne de 0,1 dB et le diamètre de la fêrûle est de 1,25 mm.



Figure 35: (2.14): Le connecteur LC de fibres optiques.

d) Le connecteur SC (Connector de Suscribor ou Square Connector)

Le Connector de Suscribor ou Square Connector (en français, Connecteur d'abonné ou Connecteur carré), développé par Nippon Telegraph & Téléphone, est le connecteur le plus populaire en raison de ses qualités et de ses coûts de production réduits. Le SC permet une connexion rapide, il est solide permettant une bonne densité de connecteur par équipement. Utilisé en FTTH, réseau télécom, etc.

Le connecteur SC est utilisé pour la fibre monomode et multimode, avec une atténuation moyenne de 0,25 dB.

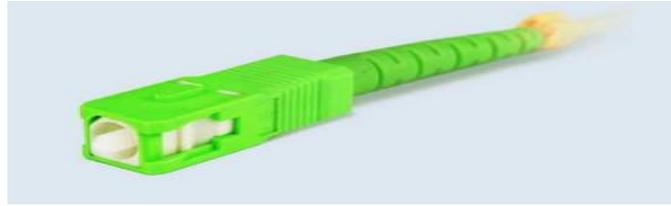


Figure 36: (2.15): Le connecteur SC de fibres optiques.

II.5.3.4 La fusion de fibres optiques [7]

Pour fusionner deux fibres optiques, on doit passer d'abord pour les différentes étapes de préparations de ces fibres.

- a) **Dénuder** : Dénuder la fibre veut dire retirer le vêtement pour exposer le verre nu.



Figure 37: (3.16): Dénuder la fibre optique.

- b) **Nettoyer** : Nettoyer la fibre, essuyer les débris (le restes de morceau) sur le verre ; Utiliser de l'alcool isopropylique pur à 90%. Eviter tout contact avec les sécrétions cutanées sur le verre nu.
- c) **Couper** : Pour la coupure on doit utiliser un couperet de bonne qualité ; Une bonne longueur de coupe ; Couper doucement, laisser l'appareil faire le travail ; Ne pas nettoyer après la coupure.



Figure 38: (2.17): L'appareil de coupure de fibre optique.

- d) **Déposer les fibres** : Pour bien déposer les fibres, il faut éviter de glisser le verre nu dans les rainures ; Eviter que la coupe touche une surface pour ne pas l'endommager et la contaminer.
- e) **Fermer les capots** : Pour éviter d'endommager et de contaminer la fibre et la fusionneuse.



Figure 39: (2.18): Le dépôt des fibres et la fermeture de capot.

- f) **Protéger la fibre fusionnée** : par des manchons thermorétractable ou plastique mis dans un four ; De ne pas toucher directement le manchon avant qu'il ne soit froid.



Figure 40: (2.19): Le processus de fusion de deux fibres.

II.5.3.5 Les Racks de protection et de distribution [7]

Les racks de protection des fibres optiques peuvent être un local, une armoire ou une boîte de connexion qui peut servir à protéger des fibres optiques terminées sur des connecteurs (à voir sur la figure ci-dessous).



Figure 41: (2.20): Armoire de protection des fibres optiques.

Les racks de distribution des fibres optiques sont des panneaux qui sont la plupart du temps prévus pour être intégrés dans des armoires 19 pouces, mais certaines version peuvent être murales.



Figure 42: (2.21): Les racks de distribution des fibres optiques.

D'autres éléments qui font parties des constituants d'un lien optique sont sur l'image ci-dessous.

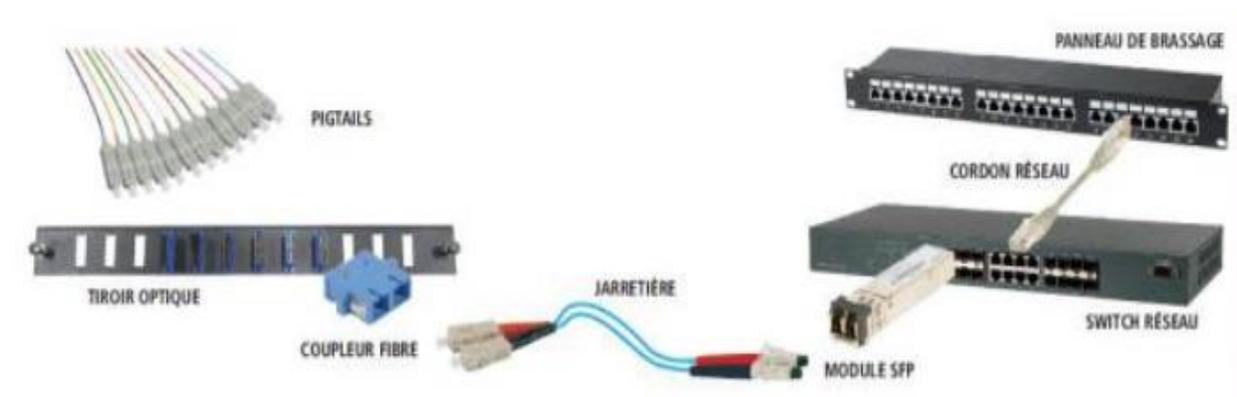


Figure 43: (2.22): Les éléments constituant un lien optique.

II.5.3.6 Le code de couleur des câbles à fibres optiques

Il existe 4 couleurs pour désigner les types de câbles à fibres optiques :

- a) Noir : Câbles Monomodes, pour réseaux extérieurs.
- b) Jaune : Câbles Monomodes, pour réseaux intérieurs.
- c) Orange : Câbles Multimodes de 62,5 μm /125 μm pour réseaux intérieurs.
- d) Bleu(Aqua) : Câbles Multimodes de 50 μm /125 μm pour réseaux intérieurs.

Tableau 2: (2.1): Les codes de couleurs des câbles à fibres optiques.

Tube n°	Couleur	Fibres n ^{OS}	Tube n°	Couleurs	Fibres n ^{OS}
1	Bleu	1 à 12	13	Bleu + traceur noir	145 à 156
2	Orange	13 à 24	14	Orange + traceur noir	156 à 168
3	Vert	25 à 36	15	Vert + traceur noir	169 à 180
4	Brun	37 à 48	16	Brun + traceur noir	180 à 192
5	Gris	49 à 60	17	Gris + traceur noir	192 à 204
6	Blanc	61 à 72	18	Blanc + traceur noir	205 à 216
7	Rouge	73 à 84	19	Rouge + traceur noir	217 à 228
8	Noir	85 à 96	20	Noir + traceur noir	229 à 240
9	Jaune	97 à 108	21	Jaune + traceur noir	241 à 252
10	Violet	109 à 120	22	Violet + traceur noir	253 à 264
11	Rose	121 à 132	23	Rose + traceur noir	265 à 276
12	Bleu(Aqua)	133 à 144	24	Turquoise + traceur noir	277 à 288

II.5.3.7 Le code de couleur des fibres optiques [7]

Tableau 3: (2.2): Les codes de couleurs des fibres optiques selon les normes TIA /EIA-598 (loose tube et tight buffer).

Tube n°	Couleur
1	Bleu
2	Orange
3	Vert
4	Brun
5	Gris
6	Blanc
7	Rouge
8	Noir
9	Jaune
10	Violet
11	Rose
12	Bleu(Aqua)

Tableau 4: (2.3): Les codes de couleurs des connecteurs.

Connecteur ou type de connecteur	Couleur
Multimodes 62,5 µm	Beige
Multimode 50 µm	Noir
Multimode 50 µm Laser-optimized	Aqua
Monomode UPC	Bleu
Monomode APC	Vert

Tableau 5: (2.4): Les codes de couleurs des connecteurs.

			Connecteurs et raccords		Portail		Cordon de brassage	
SM-OS1	9/125 μm	(0° = PC)		bleu		jaune		jaune
SM-OS1	9/125 μm	(8° = APC)		vert		jaune		jaune
MM-OM1	65,5/125 μm	(0° = PC)		beige		bleu		orange
MM-OM2	50/125 μm	(0° = PC)		beige		orange		orange
MM-OM3	50/125 μm	(0° = PC)		beige		turquoise		turquoise
MM-OM4	50/125 μm	(0° = PC)		beige		magenta		magenta

II.5.4 Les équipements utilisés dans le déploiement des réseaux optiques

II.5.5 Les matériels d'essai dans un réseau optique

Après avoir terminé l'installation d'un réseau par fibre optique, il faut réaliser un test d'essai, qui nous permet de tester si le réseau est efficace ou pas. Les équipements utilisés pour tester un réseau optique sont :

- a) **Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR)** Il sert à mesurer la distance, permet de localiser des événements, défauts, perte et de mesurer l'atténuation, etc. L'étude du réflectomètre (OTDR) sera développée dans le prochain chapitre.



Figure 44: (2.23): Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR).

- b) **Source et puissance-mètre optique** sert à mesurer l'atténuation total du système et la vérification de la polarisation.



Figure 45: (2.24): Zone tampon.

- c) **Détecteur de lumière** sert à détecter les fibres actives.



Figure 46: (2.25): Détecteur de lumière.

- d) **Microscope** utilisée pour l'inspection des connecteurs.



Figure 47: (2.26): Microscope optique.

- e) **Localisateur visuel de défauts (Visual Fault Locator= VFL)**. Il sert à localiser les failles et visualiser les courbures et les bris dans une fibre.



Figure 48: (2.27): Localisateur visuel de défauts.

- f) **Téléphones optiques**: Elles permettent de faire un test sous forme de conversation téléphonique full duplex sur une fibre.



Figure 49: (2.28): Téléphones optiques.

II.5.6 Les principaux éléments de sécurité d'un réseau optique

Les considérations générales pour la mise en place de sécurité d'un réseau optique :

1. Assurez-vous suffisamment de mou (en cas du bris des fibres optique, ou dans le cas d'utilisation future) ;
2. Surveiller la tension imposée au câble ;
3. Conservez le rayon de courbure minimum ;
4. Protégez les câbles nus (câble exposée).
 - Installation extérieure (entre bâtiments) : conduits, surélevé, enterré

- Installation intérieure (intra-immeubles) : passerelle verticale, sol / plafond

Toute flexion excessive de fibre optique entrainera la réfraction du signal optique et une fuite à travers la gaine. Lorsqu'une courbure excessive interfère avec la transmission optique, l'atténuation compromet l'intégrité des données.

Deux rayons de courbure minimum de fibre optique applicable doivent être spécifiés dans l'installation : Pour les câbles qui ne sont soumis à aucune traction ou "déchargés", le rayon de courbure minimal correspond à 10 fois le diamètre extérieur du câble (rayon de courbure statique minimal). Dans le cas d'un câble de traction ou de "charge", le comptage est de 15 fois le diamètre extérieur du câble (rayon de courbure dynamique minimum).

Lorsque l'on tire le câble, il convient de ne pas dépasser pas le rayon de courbure maximal spécifiée (dynamique = 20 fois le diamètre du câble) et de ne pas déformer la gaine du câble.

Quelques points essentiels pour mieux sécuriser les matériaux d'un réseau optique :

- Eviter de manger ou de boire durant le câblage ;
- Protégez les yeux des dommages causés par le laser et les débris ;
- Eviter de manipuler des débris et des débris de câbles ;
- Bien ranger et manipuler les outils ;
- Eviter d'utiliser des produits chimiques ;
- Zone de travail – travaillez sur une surface sombre pour voir les fibres cassées;
- Portez des gants lors des activités de câblage ;
- Mettez les bouts des fibres dans le poubelle ;
- Utilisez des pinces ou des chiffons pour recueillir les fibres ;
- Ne regardez pas directement le laser ;
- Travaillez soigneusement.

II.5.7 Techniques de multiplexage WDM et DWDM

WDM (Wavelength Division Multiplexing, en français Multiplexage par division de longueur d'onde) et **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing, en français Multiplexage par division de longueur d'onde dense).

Ces deux techniques ont pour objectif d'envoyer plusieurs signaux simultanément en utilisant différentes longueurs d'onde. En utilisation classique, un seul signal est envoyé. En utilisant le WDM (espacement de 8 nm) et DWDM (espacement entre 0.1 et 0.8nm), les signaux sont envoyés à différentes longueurs d'ondes. On passe de la communication type série (1 seul signal) à la parallèle (plusieurs signaux).

En WDM et DWDM, la fibre sera équipée d'autant d'émetteur et de récepteur que de longueurs d'ondes utilisées. Les signaux lumineux émis par les récepteurs sont regroupés par le biais d'un multiplexeur puis véhiculés sur la fibre optique et suivant la longueur de la fibre, les signaux sont amplifiés par le biais d'amplificateurs (tous les 10 et 40 km selon la technologie) puis sont démultipliés par le biais d'un démultiplexeur pour atteindre les différents récepteurs. (à voir sur la figure ci-dessous) [11]

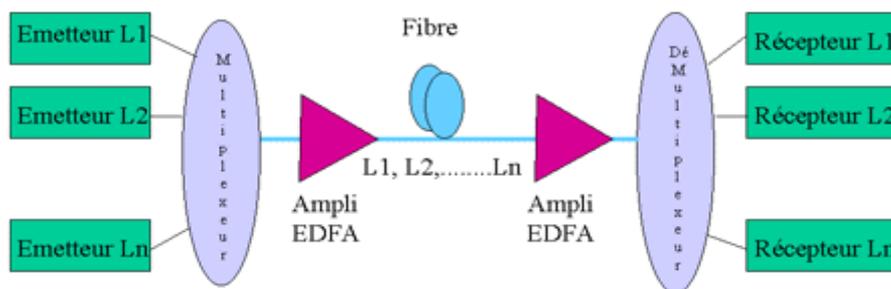


Figure 50: (2.29): Principe de liaison WDM/DWDM.

II.5.8 Réseaux de longue distance par les fibres optiques

Le terme 'backbone' est utilisé pour désigner ce type de liaison, qui concerne les systèmes terrestres ou sous-marins conçus pour transmettre des signaux à grande vitesse sur des longues distances de plus de 1000 km. Cette liaison peut utiliser un répéteur capable de régénérer des signaux optiques, constitué d'un régénérateur photoélectrique 3R (Retiming, Reshaping, Regenerating, en français "Resynchroniser, Remodeler, Régénérer") qui réalise une amplification optoélectronique du signal double conversion : l'appareil convertit le signal optique en un signal électronique, amplifie les signaux électrique et les convertit en signaux optiques. [9]

II.5.8.1 Les réseaux sous-marins

Les réseaux sous-marins sont des réseaux qui peuvent atteindre des milliers de kilomètres, il est également possible de relier des îles ou des pays d'un même continent.

De plus, il est moins coûteux de poser des câbles sous-marins que de les enterrer. Ils utilisent la troisième fenêtre de la fibre optique à $\lambda=1550$ nm, où l'atténuation est minimale. [11]

II.5.8.2 Réseaux terrestre

La vitesse du système de transmission par la fibre optique est de 4 x 140 et 16 x 140 Mbit/s avec une longueur d'onde de 1,3 μm (plus tard 1.55 μm) dans le réseau interurbain au milieu de la décennie 1980-1990.

Par rapport aux systèmes existants sur câbles coaxiaux, ils permettent d'augmenter la vitesse et l'espacement entre répéteurs (les distances sont généralement de 2 à 50 km).

La transmission lumineuse permet de réduire fortement le nombre de répéteurs – régénérateurs, ce qui simplifie la gestion du réseau. Cependant, dans certains cas particuliers, par exemple, dans les zones montagneuses ou plus généralement sur des terrains difficiles, les faisceaux hertziens peuvent se révéler plus intéressants que la fibre et des équipements hertziens compatibles avec la hiérarchie numérique synchrone sont d'ailleurs développés dans tous les pays. [12]

II.5.9 Réseau d'accès optique

Le réseau d'accès optique se compose généralement d'une partie fibre optique, suivie de la partie conductrice métallique connectée au terminal d'utilisateur.

Ce réseau peut assurer l'accès au réseau téléphonique public pour les applications de transfert vocales, ainsi il permet l'application de transfert de données (vocal et vidéo) grâce à l'emploi des techniques numériques.

La diversification des services offerts aux abonnés et l'augmentation de l'interactivité font que la demande au niveau des terminaux est en forte augmentation, pouvant nécessiter l'emploi de fibre optique.

On peut distinguer les techniques FTTx (Fiber to the X), qui consistent à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur afin d'améliorer ou augmenter la qualité de service, en particulier le débit. [2]



Figure 51: (2.30): Architecture de FTTx qui contient quelques systèmes de réseaux tels que FTTN, FTTC, FTTP, FTTB et FTTH.

Afin de mieux comprendre le réseau d'accès par la fibre optique, citons les types de réseau d'accès optique les plus répandus, selon la localisation de la terminaison du réseau optique :

- **FTTLA : Fiber to the Last Amplifier** (Fibre jusqu'au dernier amplificateur). Ce sont des réseaux HFC (Hybrid Fiber Coaxial). Le déploiement de la fibre optique remplace le câble coaxial jusqu'au dernier amplificateur (situé à quelques centaines de mètres des logements), puis est prolongé sur la partie terminale par le câble coaxial.

a) **FTTB : Fiber to the Building** (Fibre jusqu'au bâtiment), la fibre optique atteint le bas des immeubles commerciaux. Ce type existe principalement dans les zones urbaines, il convient au réseau MAN. Il utilise le cuivre et la fibre optique pour que chaque abonné ait un très haut débit. Cette solution est moins coûteuse à mettre en œuvre, mais elle ne permet pas d'ajuster facilement le débit.

b) **FTTC: Fiber to the Curb** (Fibre jusqu'au trottoir). Dans ce réseau, chaque nœud local possède un ADM qui prélève l'optique sur la boucle et est également utilisé pour d'autres services. La fibre optique fait partie d'un nœud local qui dessert un groupe d'utilisateurs. [2]

c) FTTN : Fiber to the Node (Fibre jusqu'au quartier ou jusqu'au répartiteur) : la fibre optique est reliée au central télécom du fournisseur d'accès (liaison habituelle des opérateurs avec un box ADSL).

d) FTTO : Fiber to the Office (Fibre jusqu'au bureau-entreprises), il s'agit d'une offre de fibre optique spécialement dédiée aux professionnels, comme les entreprises ou les administrations. Les postes de travail (PC) se voient donc attribuer une liaison fibre optique à la place d'une liaison câble de cuivre.

e) FTTH : Fiber to the Home (Fibre jusqu'au domicile ou jusqu'à la maison), l'abonné est directement raccordé par fibre optique jusqu'au répartiteur dont il dépend.

Le FTTH devrait fournir plus de capacité, beaucoup plus puissant que le système DSL. Le problème qui se pose est le coût du système optique. La solution consiste à mettre en œuvre des réseaux optiques passifs peu coûteux : PON Passive Optical Network. Les progrès de la fibre optique plastique dans l'atténuation et la dispersion devraient également contribuer au développement du réseau d'accès optique. Il en existe deux types :

- **FTTH dédié** (point à point ou P2P). Il permet à chaque utilisateur d'accéder à sa propre fibre optique à domicile pour son fournisseur d'accès équipé d'un nœud de connexion optique. Techniquement c'est la solution la plus évolutive car elle peut contrôler plus de débit et augmenter la bande passante si nécessaire. Par contre, le coût du FTTH dédié est plus élevé et des barrières de gestion peuvent gêner son déploiement.
- **FTTH partagé** (point à multipoint ou GPON) est un dispositif différent. Le partage de la fibre optique est fait grâce à un répartiteur supplémentaire installé, la fibre peut être partagée en amont, puis divisée pour que chaque abonné obtienne un débit. Cette solution est moins coûteuse à mettre en œuvre mais elle ne permet pas d'ajuster facilement le débit. [10]

II.5.10 Architecture du réseau FTTH

On distingue deux principales architecture du réseau FTTH : Architecture Ethernet point-à-point (P2P) et l'architecture point-multipoint (P2M) ou PON (Passive Optical

Network), qui est basée sur les différents standards (GPON, EPON), et pour laquelle une fibre optique peut desservir plusieurs abonnés.

Les équipements actifs du réseau FTTH de ces deux architectures se trouvent uniquement au niveau du NRO (typiquement, un commutateur Ethernet) et du logement de l'abonné.

Le terme « PON » est uniquement utilisé pour désigner les architectures Point-Multipoint (EPON, GPON) et les distinguer de l'architecture Ethernet P2P.

II.5.11 Topologies de desserte FTTH [14]

Les réseaux FTTH sont structurés en plaques organisées autour d'un Nœud de Raccordement Optique (NRO).

Le NRO a un rôle équivalent dans le réseau de desserte optique à celui réalisé par le NRA (Nœud de Raccordement d'Abonnés) dans la boucle locale cuivre.

Il s'agit d'un local technique qui abrite les équipements mobiles de l'opérateur et concentre les fibres optiques provenant des utilisateurs. Un NRO peut desservir des milliers, voire des dizaines de milliers de foyers. Par conséquent, dans la topologie du réseau de l'opérateur, le NRO marque la frontière entre son réseau de collecte (en amont) et son réseau de desserte (en aval). (À voir sur la figure ci-dessous)[13]

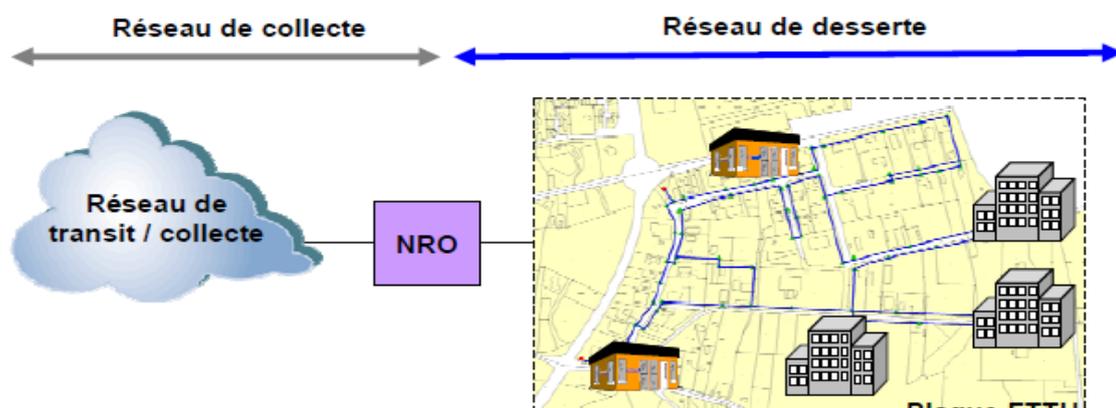


Figure 52: (2.31): Localisation de NRO

On distingue deux principaux d'architecture FTTH : L'architecture point à point (P2P) et l'architecture point-multipoint (P2M) ou PON (Passive Optical Network).

II.5.11.1 Architecture Point-à-point (P2P)

L'architecture P2P nécessite d'un investissement initial important mais sa gestion est simplifiée: gestion souple (flexible) de qualité de service vis-à-vis du client.

En théorie, la technologie P2P permet à chaque abonné d'obtenir un débit très élevé de 100 Mb/s ou plus, dans la pratique, ce débit va dépendre de la capacité des liaisons de l'opérateur en amont du commutateur Ethernet situé dans le NRO. [14]

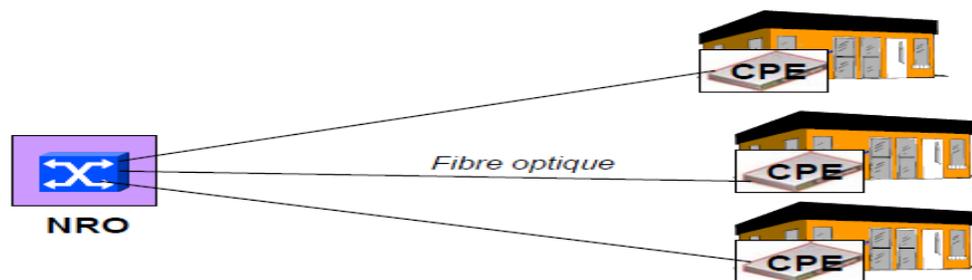


Figure 53: (2.32): Principe général d'une architecture P2P.

II.5.11.2 Architecture PON

L'architecture PON permet de partager la fibre sur une longue portion du réseau optique, puis de la diviser en plusieurs fibres avec des distances plus courtes pour desservir plusieurs abonnés. Les architectures PON peuvent être organisées en Etoile, en arbre ou en bus. (À voir sur la figure ci-dessous).

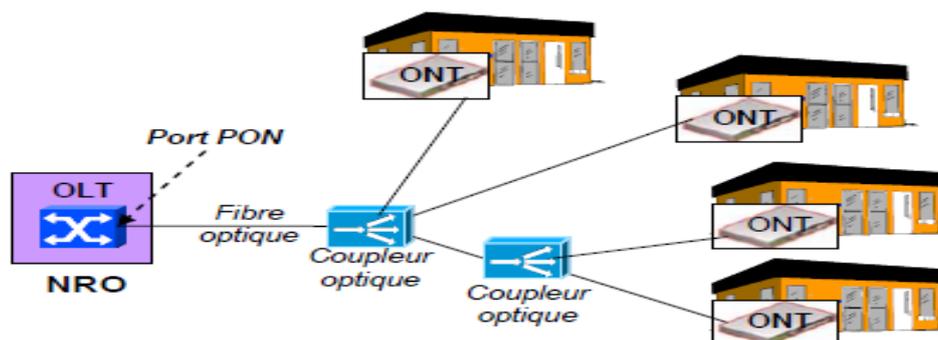


Figure 54: (2.33): Principe général d'une architecture PON.

En fait, les équipements actifs au niveau NRO (OLT-Optical Line Terminal) disposent de ports PON permettant d'émettre/recevoir des flux a/de plusieurs équipements terminaux d'abonnés (ou ONT-Optical Network Terminal) sur une unique fibre optique.

Les coupleurs optiques sont des équipements passifs, déployés le long du parcours, qui permettent de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant. (À voir sur la figure ci-dessous).



Figure 55: (2.34): Point d'éclatement GPON: Cassettes d'épissure.

Les structures GPON (Gigabit Passive Optique Network), chaque fibre tirée depuis le NRO alimente au maximum 64 abonnés.

Le standard GPON (reposant sur le protocole Ethernet) offre le débit maximal de 2,5 Gbit/s (sens descendant) et 1,25 Gbit/s (sens montant) par port, divisé pour un maximum de 64 abonnés, sur une distance de 60 km environ.

Donc son débit descendant par abonné sera donc typiquement supérieur à 30 Mbit/s, c'est-à-dire plus de 2 à 3 fois le débit moyen constaté en ADSL. (À voir sur la figure ci-dessous).



Figure 56: (2.35): Carte de raccordement au niveau du NRO.

II.5.12 Mutualisation de la partie terminale [14]

La construction des infrastructures d'un réseau FTTH coût plus de la moitié de sa réalisation, particulièrement dans la partie terminale du réseau.

Pour éviter la discrimination, la Loi de Modernisation de l'Economie (LME) du 4 août 2008 a dompté le principe de mutualisation (répartition solidaire), qui oblige l'opérateur, chargé d'installer la fibre dans un immeuble, à donner accès à son réseau, aux opérateurs tiers (la troisième personne).

II.5.12.1 La boucle locale optique

Elle peut être structurée en 3 segments :

- Le réseau de distribution situé entre le NRO et le dernier local technique de l'opérateur situé sur le domaine public (il peut s'agir d'une chambre de raccordement).
- L'adduction en domaine privé, entre la dernière chambre de raccordement et le local technique du logement, situé sur le domaine privé. Le local technique peut être un local à usage privatif (cas d'une résidence individuelle) ou un point de raccordement collectif (cas d'un immeuble).
- La desserte interne dans le cas d'un immeuble collectif, comprenant la colonne montante à l'intérieur de l'immeuble et le raccordement des logements.

En général les opérateurs déploient à l'intérieur des immeubles d'habitation, leur réseau optique en deux étapes :

1. La colonne montante qui dessert chaque étage à partir d'un boîtier d'étage.
2. Le raccordement des foyers, depuis le boîtier d'étage jusqu'au logement de l'utilisateur, réalisé progressivement en fonction des abonnements souscrits.

Le réseau de distribution et l'adduction en domaine privé sont également nommés « déploiement horizontal », alors que la desserte interne des immeubles est appelée « déploiement vertical ». (À voir sur la figure ci-dessous).

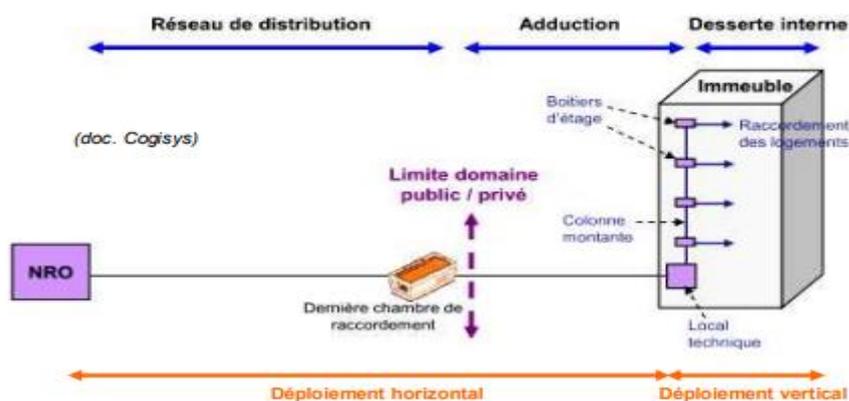


Figure 57: (2.36): Structure de la boucle locale optique.

II.5.12.2 Le point de mutualisation

Il sépare les différents réseaux d'opérateurs déployés sur le domaine public et l'infrastructure unique qui dessert un immeuble.

En amont du point de mutualisation, chaque opérateur dispose de son réseau de desserte en fibre optique, soit via une infrastructure propre, soit en achetant du service (fibre noire ou bande passante) à un opérateur d'opérateurs.

En aval du point de mutualisation, un seul réseau de fibre optique est déployé, typiquement celui du premier opérateur desservant un usager, et mutualisé à tous les opérateurs souhaitant offrir des services aux usagers. (À voir sur la figure ci-dessous).

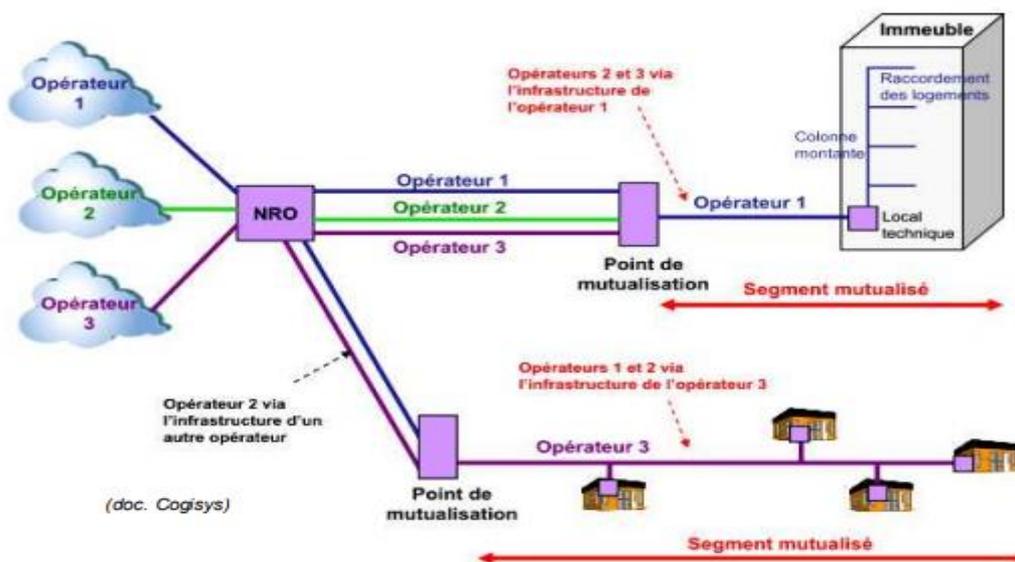


Figure 58: (2.37): Mutualisation de la partie terminale : Localisations du point de mutualisation.

Le point de mutualisation peut être situé sur le domaine privé, en pied d'immeuble par exemple, dans le cas des zones très denses.



Figure 59: (2.38): Point de mutualisation dans le sous-sol d'un immeuble (cas des zones très denses).



Figure 60: (2.39): Boite de raccordement immeuble.

II.5.13 Bilan de la liaison optique [14]

Après les raccordements et l'installation, il convient de vérifier l'ensemble des prestations : qualité de la fibre, pose du câble, composants de la liaison.

Les mesures en fibre optique comprennent deux types de méthode : la mesure par insertion et la mesure par réflectométrie.

- **La méthode d'insertion**

Elle 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.

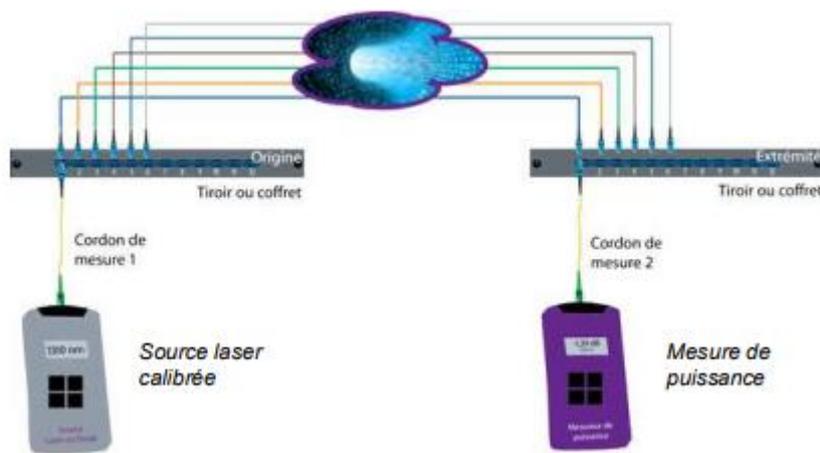


Figure 61: (2.40): La méthode d'insertion.

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

- **La méthode par réflectométrie**

La mesure par réflectométrie, permet aux constructeurs de réseaux de valider leur prestation auprès de leurs clients. Cette méthode, qui se traduit par une courbe, permet de : localiser et valoriser chaque évènement (fibre, soudure, connecteur...), vérifier les réflectances de connecteurs et rechercher des défauts (cassures, pliures...).

Le réflectomètre affiche le résultat sous forme d'une courbe atténuation-distance qui a l'assure ci-dessous :

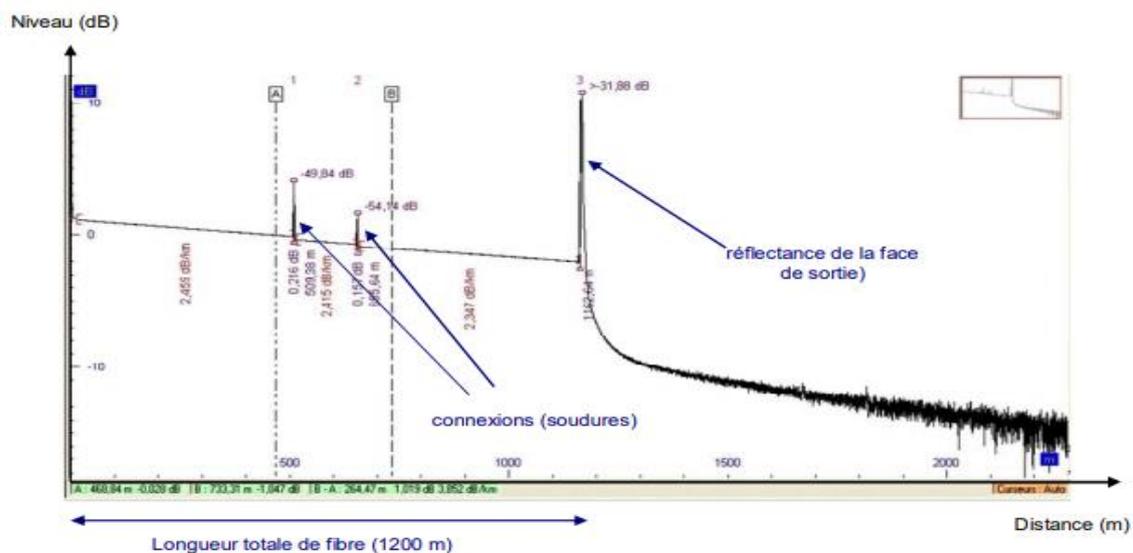


Figure 62: (2.41): La méthode par réflectomètre.

Interprétation des évènements aux connexions :

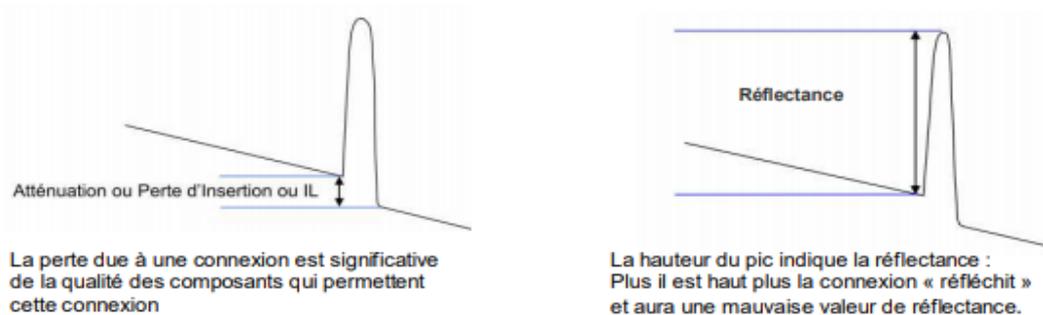


Figure 63: (2.42): L'évènement de l'atténuation et de la réflectance.

II.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de situer le contexte des différents types de réseau optique. Dans un premier temps sont décrits les matériels utilisés pour le déploiement d'un réseau optique ainsi que les matériels utilisés pour sa maintenance.

Dans un deuxième temps, plusieurs techniques ont été décrites qui consistent à amener la fibre au plus près de l'utilisateur tel que FTTH, et les différentes topologies utilisées pour ce déploiement : point à point et point à multipoint.

On peut conclure que le réseau par fibre optique est plus fiable et répond aux exigences pour faire face à la demande en bande passante et en débit.

Le chapitre qui suit présentera la mesure des performances d'un réseau optique et la description d'un réflectomètre OTDR, ses caractéristiques et ses principes de fonctionnement. Enfin, on présentera les mesures des évènements dans un réseau optique et l'interprétation des courbes réflectométriques.

III. Chapitre :

Etude sur le réflectomètre
OTDR et l'analyse du signal
rétrodiffusé.

III.1 Introduction

La mesure des performances d'un réseau optique par l'OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) est habituelle pour le test d'une liaison optique. La méthode de mesure par l'OTDR permet de caractériser les réseaux optiques utilisés dans les télécommunications. La mesure se fait à partir d'une seule des extrémités de la ligne de transmission, et conduit à la détection et la localisation précise des défauts, à la mesure de l'atténuation et des pertes différentielles entre deux points choisis dans tous les points au long d'une liaison optique.

La mesure par l'OTDR a un principe qui consiste à injecter dans la fibre une impulsion lumineuse puissante qui va se propager dans le guide d'onde diélectrique qu'est la fibre optique. La position des défauts au long de la fibre se détecte à partir du temps qui sépare l'émission de l'impulsion et la réception du signal réfléchi. La nature des défauts se définit à partir de la hauteur de l'impulsion réfléchie. De plus la rétrodiffusion par la diffusion Rayleigh de la lumière mesurée en direction du détecteur, même en l'absence de défauts réfléchissants au long de la fibre, permet de connaître l'absorption de la fibre et la longueur d'onde de l'impulsion injectée.

III.2 Définition du OTDR

Le réflectomètre optique (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) 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 la fibre. (À voir sur la figure ci-dessous). [1]



Figure 64: (3.1): Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR).

III.3 Le réflectomètre OFDR

Le réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel (Optical Frequency Domain Reflectometer, **OFDR**) est un appareil de mesure à fibre optique qui a été développé progressivement dans les années 90. Le signal d'impulsion dans le domaine temporel est différent du réflectomètre optique OTDR. L'OFDR est transmis au système à l'aide d'un laser à bande étroite et d'un modulateur acousto-optique pour générer un signal optique balayé, qui est ensuite transmis à la technologie de détection optique hétérodyne. Un algorithme spécialisé analyse le signal détecté. Indépendamment de la structure ou de l'algorithme, l'OFDR est plus complexe que l'OTDR. [2]



Figure 65: (3.2): Réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel (OFDR).

La définition détaillée sur le réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR) est ci-dessus.

III.3.1 La comparaison entre le OFDR et OTDR

Le mode OFDR a une sensibilité plus élevée dans les mêmes conditions environnementales. Dans la même plage dynamique, la puissance lumineuse requise par

la source lumineuse est faible, ce qui peut efficacement surmonter les caractéristiques dynamiques de résolution spatiale et de rapport signal sur bruit du réflectomètre optique. Il y a une contradiction entre les portées. La résolution spatiale de l'OFDR est inversement proportionnelle à la largeur de bande du récepteur et le bruit est directement proportionnel à la largeur de bande du récepteur, ce qui se traduit par un rapport signal sur bruit très élevé.

La zone morte des événements de mesure OTDR est généralement d'environ une dizaine de mètres, tandis que l'OFDR peut atteindre des micromètres. L'OTDR est généralement utilisé pour tester les réseaux de câbles optiques à longue distance pour approximer les défaillances d'ingénierie, tandis que l'OFDR est généralement utilisé pour les applications de détection de haute précision dans les réseaux d'accès et le système de détection. [2]

III.4 Etude sur le OTDR

III.4.1 Caractéristiques de OTDR

Pour caractériser un OTDR, on distingue ses principales caractéristiques en fonction des deux types des fibres, monomodes et multimodes. Les différentes caractéristiques de l'OTDR sont : sa longueur d'onde, les types de fibre compatibles, la zone morte d'événement, la zone morte d'atténuation, la gamme dynamique, le réglage de portée maximale, la distance de plage de mesure, la portée du facteur de réflexion, la résolution d'échantillon, la largeur d'impulsion et la durée de test (par longueur d'onde).

Tableau 6: (3.1): Caractéristiques principales de l'OTDR. [6]

	Module Multimode	Module Monomode
Longueurs d'onde	850 nm +/- 10 nm 1300 nm +/- 15 nm	1310 nm +/- 25 nm 1550 nm +/- 30 nm
Types de fibre compatibles	50/125 µm 62,5/125 µm	Monomode
Zone morte d'événement	850 nm : 0,5 m (standard) 1300 nm : 0,7 m (standard)	1310 nm : 0,6 m (standard) 1550 nm : 0,6 m (standard)

Zone morte d'atténuation	850 nm : 2,5 m (standard) 1300 nm : 4,5 m (standard)	1310 nm : 3,6 m (standard) 1550 nm : 3,7 m (standard)
Gamme dynamique	850 nm : 28 dB (standard) 1300 nm : 30 dB (standard)	1310 nm : 32 dB (standard) 1550 nm : 30 dB (standard)
Réglage de portée maximum	40 km	130 km
Distance Plage de mesure	850 nm : 9 km 1300 nm : 35 km	1310 nm : 80 km 1550 nm : 130 km
Portée du facteur de réflexion	850 nm : -14 dB à -57 dB (standard) 1300 nm : -14 dB à -62 dB (standard)	1310 nm : -14 dB à -65 dB (standard) 1550 nm : -14 dB à -65 dB (standard)
Résolution d'échantillon	3 cm à 400 cm	3 cm à 400 cm
Largeurs d'impulsion (nominales)	850 nm : 3, 5, 20, 40, 200 ns 1300 nm : 3, 5, 20, 40, 200, 1000 ns	3, 10, 30, 100, 300, 1000, 3000, 10000, 20000 ns
Durée de test (par longueur d'onde)	Réglage automatique : 5 secs (standard)	Réglage automatique : 10 secs (standard)
	Réglage de test rapide : 2 secs (standard)	Réglage de test rapide : 5 secs (standard)
	Meilleur réglage de résolution : 2 à 180 secs	Meilleur réglage de résolution : 5 à 180 secs
	Réglage de FaultMap : 2 secs (standard), 180 secs (max)	Réglage de FaultMap : 10 secs (standard), 180 secs (max)
	Réglage du centre de données OTDR : 1 sec (standard à 850 nm), 7 secs (max)	Réglage du centre de données OTDR : 20 secs (standard), 40 secs (max)
	Réglage manuel : 3, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 180 secs	Réglage manuel : 3, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 180 secs

III.4.2 Les principes de fonctionnement de OTDR [3]

Comprendre le fonctionnement d'un réflectomètre optique nécessite certaines connaissances scientifiques.

Lorsqu'Albert Einstein a émis l'hypothèse que des électrons pouvaient être stimulés pour émettre une forme d'onde spécifique, il a planté une graine qui a permis la création du premier rayon laser opérationnel dans les années 1960. Bien que les applications envisagées à cette époque n'incluent probablement pas l'utilisation de fibres optiques dans le cadre des télécommunications, cette technologie constitue désormais une des principales avancées du 21^e siècle en termes de connectivité.

Au fil des années, de nombreuses découvertes révolutionnaires ont été faites dans le cadre du développement des réflectomètres optiques.

Le réflectomètre optique est constitué d'une diode laser, d'une photodiode et d'un circuit de chronométrage ultra-précis (ou base de temps). Le laser émet des impulsions lumineuses d'une longueur d'onde spécifique. L'impulsion lumineuse traverse la fibre testée, ce qui fait qu'une petite quantité de lumière diffusée est réfléchi ou rétrodiffusée vers la photodiode de l'OTDR. L'intensité de la lumière renvoyée et le temps nécessaire pour retourner au détecteur indiquent la valeur de l'affaiblissement (d'insertion et de réflectance), l'évènement dans le réseau optique, le type et le lieu de l'évènement.

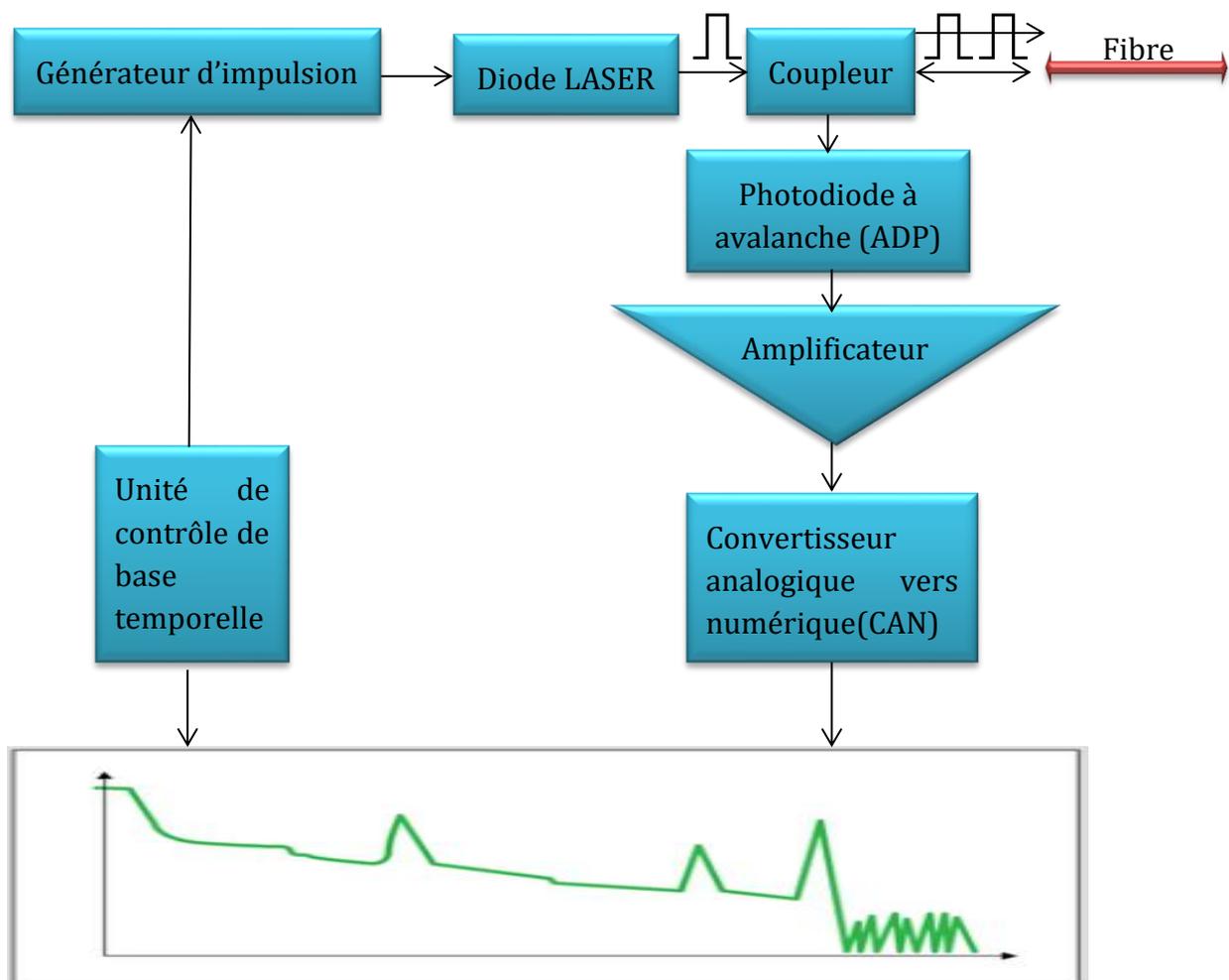


Figure 66: (3.3): Le schème du principe de fonctionnement d'OTDR.

Après la diffusion de l'impulsion par la diode LASER, la lumière est renvoyée vers la photodiode par différents mécanismes, qui sont : Le mécanisme de diffusion de Rayleigh et rétrodiffusion, le mécanisme de coefficient de Fresnel et le mécanisme d'Absorption.

➤ **Le mécanisme de diffusion de Rayleigh et rétrodiffusion**

Lors de l'injection de la lumière dans la fibre optique, en raison de la présence de particules microscopiques dans la fibre optique, certains photons seront diffusés dans des directions aléatoires. C'est ce qu'on appelle la diffusion de Rayleigh. De plus, une partie de la lumière est renvoyée dans le sens opposée à celle de la transmission de la lumière. On appelle ce phénomène rétrodiffusion.

Lumière transmise. \longrightarrow

Lumière diffusée 5%/km à 1550 nm. \longrightarrow

Lumière rétrodiffusée 1/1000 des effets de diffusion et rétrodiffusion Rayleigh dans une fibre.

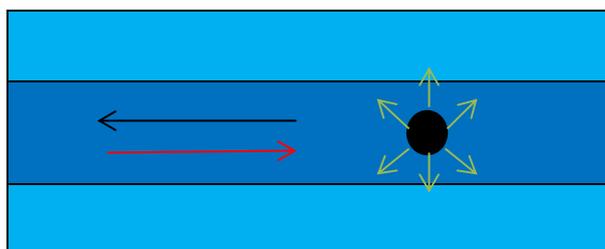


Figure 67: (3.4): Le mécanisme de diffusion de Rayleigh et rétrodiffusion.

La nature prévisible de la diffusion Rayleigh est utilisée comme principe de fonctionnement de base par les techniques de réflectométrie. Le volume d'énergie lumineuse de la source lumineuse et rétrodiffusée vers le détecteur fournit un indicatif fiable de l'affaiblissement du signal (ou perte optique) au sein de la liaison par fibre.

➤ **Le mécanisme de coefficient de Fresnel**

La réflexion de Fresnel se produit lorsque la lumière est réfléchi à la frontière entre deux matériaux optiquement transmissifs avec des indices de réfraction différents. Dans les fibres optiques, ce phénomène se produit lorsque deux connecteurs optiques sont connectés, mais également au niveau d'une épissure mécanique, d'un connecteur optique ouvert (non connecté) ou lorsque la fibre est cassée.

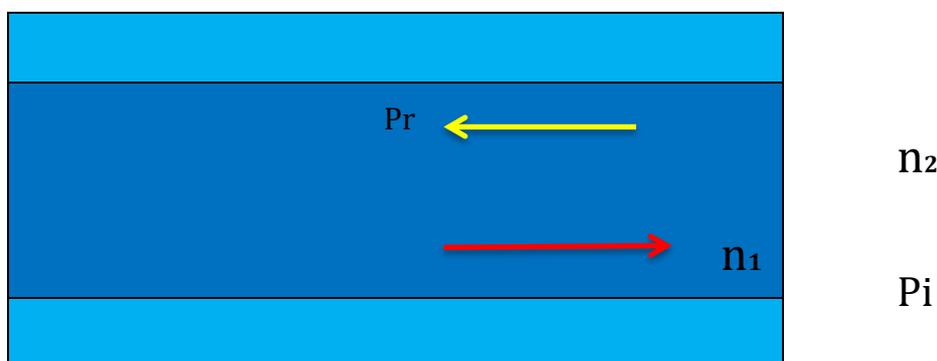


Figure 68: (3.5): Le mécanisme de coefficient de Fresnel.

Chaque fois que l'extrémité d'une fibre optique (en verre) est en contact avec l'air, les coefficients de Fresnel peuvent être utilisés pour déterminer le type, l'emplacement et l'intensité des éléments réfléchissants.

➤ Le mécanisme d'absorption

Une autre propriété physique propre aux performances des fibres optiques est l'absorption par les fibres optiques. Comme son nom l'indique, une petite partie de l'intensité lumineuse est absorbée par les impuretés internes tout au long du cœur de la fibre optique. Plus la fibre est pure, moins l'absorption est importante, ce qui signifie une meilleure qualité de matériau et une atténuation du signal (ou perte optique) réduite.

Étant donné que les éléments qui provoquent l'absorption sont fondamentalement non réfléchissants, ils ne peuvent pas être détectés grâce à l'aide des coefficients de Fresnel. Par conséquent, les effets d'absorption sont donc capturés par l'effet de rétrodiffusion, car la lumière réfléchie vers la source lumineuse est absorbée de manière proportionnelle à celle de la lumière incidente.

III.4.3 Les avantages d'un OTDR

- L'utilisation d'un OTDR fait gagner du temps à tous ses utilisateurs
- L'OTDR permet une teste et une certification d'une installation à fibres optiques.
- 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 fibre optique est posé.
- L'OTDR donne une information sur l'uniformité longitudinale de la fibre, au contraire d'autres méthodes de mesure.

III.4.4 Les types de OTDR [4]

Les trois grandes catégories d'équipements de test OTDR disponibles sur le marché peuvent être très variées selon les coûts et la taille.

a) Réflectomètre optique de table

Le terme décrit généralement l'équipement de test OTDR utilisé dans les laboratoires et les installations de production. L'équipement de test OTDR s'utilise lorsqu'un haut niveau de précision ou de sensibilité, ou des mesures sur de longues distances (avec la haute intensité d'impulsion qui leur est propre), sont requis.

b) Réflectomètre optique de portable

Comme son nom l'indique, l'équipement de test OTDR portable est léger (moins d'un kilogramme), portable, généralement alimenté par batterie et optimisé pour une utilisation sur le terrain. Les options de connexion (telles que Wi-Fi ou Bluetooth) peuvent être utilisées pour transmettre rapidement les résultats des tests et les instructions du travail.

c) Réflectomètre optique intégré ou monte en rack

Les OTDR montés en rack sont associés à des commutateurs optiques, de sorte qu'ils peuvent passer automatiquement d'une fibre à une autre. Les routines de test programmées peuvent donner la priorité aux fibres critiques et aux clients importants. Ces applications de surveillance de la fibre peuvent être utilisées pour la surveillance de fibre en service ou hors service (fibre noire).

III.4.5 Les logiciels utilisés pour visualiser les événements.**➤ Fibercable 2.0**

C'est un logiciel utilisé sur le PC pour visualiser, modifier, analyser les mesures optiques et de générer des rapports.

- Elle améliore la productivité en réduisant considérablement le temps de post-traitement des données en automatisant les actions répétitives.
- Elle permet une analyse dans le détail des données acquises sur le terrain, en effectuant automatiquement l'alignement et l'analyse bidirectionnelles de courbes OTDR multiples.
- Génération de rapports professionnels (format de rapport configurable). [8]

➤ AQ7933

C'est un logiciel qui effectue l'analyse des données de trace mesurées avec les réflectomètres AQ7270, AQ7275, AQ1200, AQ72800, AQ1210 OTDR sur un PC, et crée des rapports.

La fonction d'assistant de création de rapports simplifie cette tâche. Les données peuvent être facilement changées sur un PC en utilisant une clé USB ou autre appareil de stockage.

L'AQ7933 est utilisé pour faire plusieurs tâches, que sont :

- **Analyse des traces**

Permet de modifier les conditions de recherche des événements, les paramètres approximatifs de la ligne de courbe, et répéter l'analyse.

- **Variété de fonctions d'analyse**

Elle effectue diverses analyse et elle peut afficher jusqu'à vingt traces a l'écran, notamment elle analyse multi-traces, et utilise la fonction d'analyse des traces a deux voies pour analyser les valeurs moyennes des données mesurées dans les deux directions de la fibre optique.

- **Editeur de fichier de projet OTDR pour la mesure multi-fibres**

En enregistrant un commentaire, le nombre de noyaux, l'ID de la bande, la longueur d'onde, etc...

- **Création de rapports**

Vous pouvez compiler des valeurs de trace et de mesure à partir du fichier de trace et créer un rapport. [7]

III.5 Performance, et critère pour le choix de OTDR

Avant de passer au choix d'OTDR, évaluez d'abord vos besoins. Assurez-vous que le produit correspond à la longueur d'ondes et à la portée de votre système. Vérifiez ensuite les spécifications de zone morte et estimez leur importance pour votre système. Si vous testez un réseau local, choisissez un réflectomètre optique avec une petite zone morte. Si vous testez une longue ligne, optez pour la plage dynamique. Choisissez ensuite un équipement qui ne rendra pas votre travail fatigant ou ennuyeux, Recherchez plutôt un ensemble léger, conforme à l'ergonomie (à l'environnement), et très maniable. [5]

Avant d'acheter un réflectomètre optique, vous devez répondre à quelques questions.

- Quel type de réseau allez-vous tester ? LAN, 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 ?

III.5.1 Recommandation de choix d'un réflectomètre optique (OTDR)

Tableau 7: (3.2): Réseaux dans les bâtiments (LAN/WAN, Datacenter, Entreprise).

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

Tableau 8: (3.3): Réseaux d'accès point à point/Backhaul.

Type de fibre optique	Monomode
Longueurs d'onde	1 310/1 550 nm
Principales spécifications	Plage dynamique <= 35 dB a 1 550 nm
	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les évènements rapprochés

Tableau 9: (3.4) : Réseaux d'accès point à point/FTTH /PON.

Type de fibre optique	Installation-Test avant et après un ou des coupleurs	Installation-Test à travers un ou des coupleurs	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 a 1 550 nm	Plage dynamique \geq 35 dB a 1 550 nm pour des tests à travers un coupleur de type 1/32	Plage dynamique non pertinente
		Plage dynamique \geq 40 dB a 1 550 nm pour des tests à travers un coupleur de type 1/64	
	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les évènements rapprochés	Zones mortes PON les plus courtes possibles	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les évènements rapprochés

Tableau 10: (3.5): Réseaux CWDM.

Type de fibre optique	Installation, mise en service de longueur d'onde ou recherche de panne
Longueurs d'onde	De 1 271 nm à 1 611 nm avec un espacement des canaux de 20 nm
Principales spécifications	Plage dynamique ≥ 40 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 évènements rapprochés
	Fonction de source optique continue intégrée pour vérifier la continuité de bout en bout

Tableau 11: (3.6): Métropolitain, longue distance, ultra longue distance.

Type de fibre optique	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 ≥ 40 dB a 1 550 nm	Plage dynamique ≥ 45 dB a 1 550 nm	Plage dynamique ≥ 50 dB
	Zones mortes les plus courtes possibles pour localiser et caractériser les évènements rapprochés		

Tableau 12: (3.7): Usages multiples.

Type de fibre optique	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 ; ≤ 35 dB a 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	

III.5.2 Les facteurs à prendre en compte pour choisir un réflectomètre optique :

- **Dimensions et poids** - est un aspect important à prendre en compte lorsqu'il faut monter jusqu'à une antenne cellulaire ou travailler dans un bâtiment.
- **Taille de l'affichage** - c'est indispensable d'avoir au moins un écran de 5 pouces; les réflectomètres optiques dont l'écran est plus petit sont moins en charge, 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 au minimum de 8 heures.
- **Stockage des traces ou résultats** - le réflectomètre 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** – avoir une connectivité sans fil permet une exploitation de résultats des tests plus facile vers des PC, ordinateurs portables ou tablettes.
- **Modularité/Evolutivité** – 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 en vrai 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.

III.6 Compréhension des spécifications technique d'un OTDR [1]

Les principales spécifications techniques d'un réflectomètre optique sont au nombre de quatre : Longueurs d'onde, plage dynamique, zones mortes et largeur d'impulsion.

➤ **Longueur 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 de 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 1 490 nm, mais également à 1 550 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.

➤ **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.

Tableau 13: (3.8): Mesures des plages dynamiques et des plages de mesures maximales d'un réflectomètre optique en fonction de la longueur d'onde.

Longueur d'onde	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1550 nm	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm
Plage dynamique	35 dB	35 dB	40 dB	40 dB	45 dB	45 dB	50 dB	50 dB
Plage de mesure maximale typique d'un réflectomètre optique	80 km	125 km	95 km	150 km	110 km	180 km	125 km	220 km

La plage de mesures réelle d'un réflectomètre optique dépend de la fibre optique même et des événements dans le réseau.

➤ **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'évènement (EDZ) correspond à la distance minimale à laquelle deux évènements réfléchifs consécutifs (comme deux paires de connecteurs) peuvent être distinguées par le réflectomètre optique.
- La zone morte d'atténuation (ADZ) est la distance minimale après un évènement réfléchif (par exemple, une paire de connecteurs) à laquelle un évènement non réfléchif (par exemple, une épissure) peut être mesuré.

➤ **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 évènements 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 (μ s).

III.6.1 La relation entre la plage dynamique et la zone morte

La relation entre la plage dynamique et la zone morte est directement proportionnelle. Dès que la plage dynamique augmente, la zone morte augmente également. Cela signifie que si une plage dynamique plus importante est nécessaire au test d'une fibre plus longue, une impulsion de test plus large est obligatoire. Cette impulsion de test plus large génère une zone morte plus large. Un réflectomètre optique ne proposera pas de « large plage dynamique » pour des courtes longueurs de fibre.

III.7 Description des évènements dans l'OTDR

Les descriptions de tous ces différents types d'évènements qui vous seraient présentés ci-dessous à l'aide de l'application qui génèrent les évènements en les affichant dans le tableau. 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 réfléchi vers la source en fonction de la distance.
- Une flèche pointe vers l'emplacement du type d'évènement dans la trace.
- La plupart des graphiques affichent 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.

III.7.1 Début de section

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

Remarque : Vous pouvez définir un autre évènement comme étant le début de la section sur laquelle vous souhaitez concentrer votre analyse et cela définira le début du tableau des évènements au niveau d'un évènement spécifique sur la trace.

III.7.2 Fin de section

La fin de section d'une trace correspond à l'évènement marquant la fin de section de la 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 faire la même remarque que celle de début de section par rapport à la définition d'un autre évènement.

III.7.3 Événement non réfléchissant

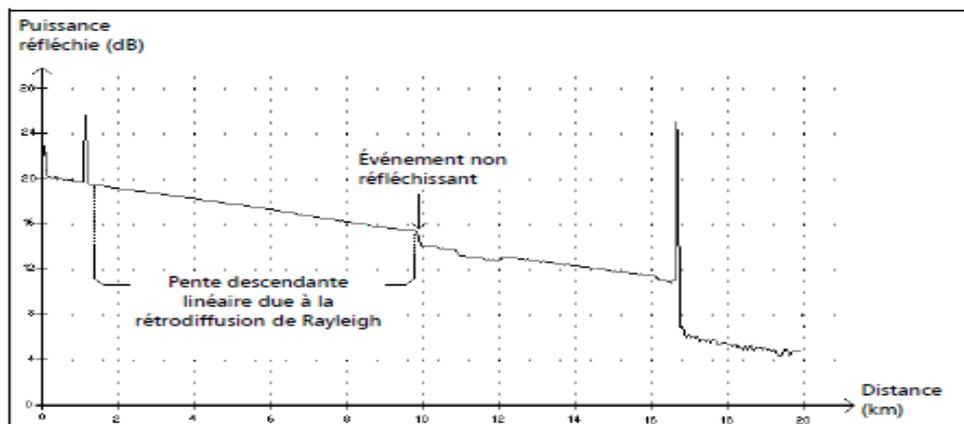


Figure 69: (3.6): Trace d'un événement non réfléchissant.

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 perte de valeur est affichée pour les événements non réfléchissants. Cependant, aucune réflectance n'est spécifiée pour ce type d'événement.
- Si vous définissez des seuils, l'application indique un défaut non réfléchissant dans le tableau des événements chaque fois qu'une valeur dépasse le seuil de perte.

III.7.4 Événement réfléchissant

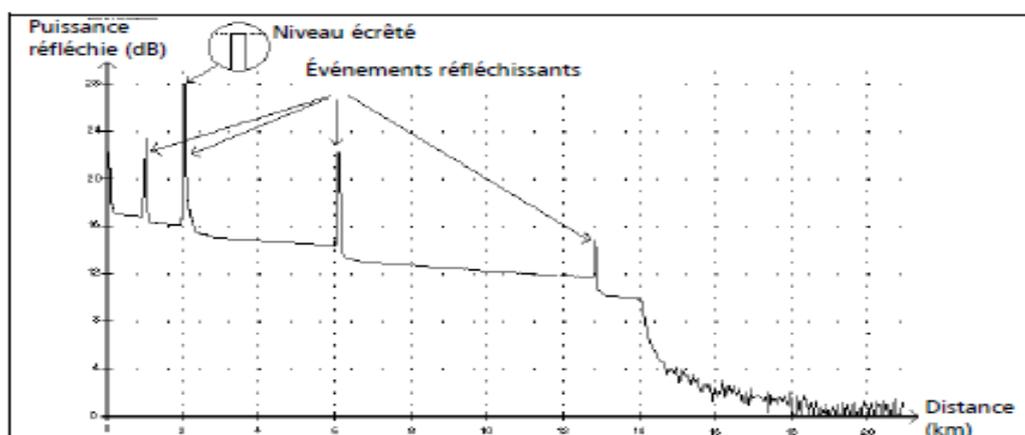


Figure 70: (3.7): Trace d'un événement réfléchissant.

Les avènements réfléchissant apparaissent comme des pics sur la trace. Ils sont causés par une discontinuité abrupte dans l'indice de réfraction.

- Ces évènements réfléchissants produisent la réflexion d'une portion importante de l'énergie initialement injectée dans la fibre vers la source.
- Ces évènements peuvent indiquer la présence de connecteurs, d'épissures mécaniques, voire de fissures ou d'épissures par fusion de mauvaise qualité.
- Les valeurs de perte et de réflectance sont généralement indiquées pour les évènements réfléchissants.
- Lorsque le pic de réflexion atteint le niveau maximal, le détecteur devient saturé, ceci provoque l'écrêttement du signal. Par conséquent, la zone morte (ou la distance minimale pour effectuer une mesure de détection ou d'atténuation entre cet évènement et un autre situé à proximité) peut être augmentée.
- Quand vous définissez des seuils, l'application indique un défaut réfléchissant dans le tableau des évènements chaque fois qu'une valeur dépasse les seuils de perte du connecteur ou de réflectance.

III.7.5 Niveau d'injection

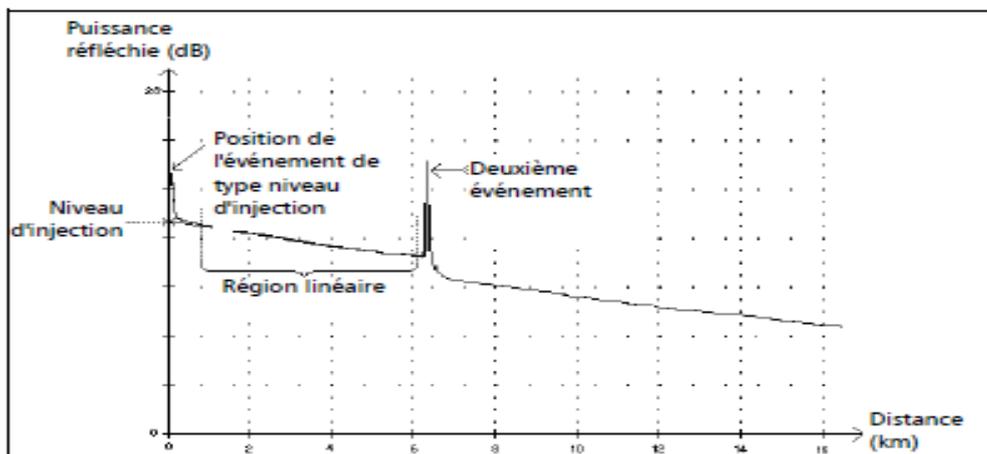


Figure 71: (3.8): Trace du niveau d'injection.

Le niveau d'injection de cet évènement indique la puissance du signal injecté dans la fibre.

- Le graphique ci-dessus démontre comment est mesuré le niveau d'injection. Une ligne droite est tracée à partir de tous les points de trace de la région linéaire

comprise entre le premier et le deuxième évènement détectés, selon la méthode d'approximation par les moindres carrés.

La ligne droite est projetée vers l'axe Y (dB) jusqu'à ce qu'elle croise l'axe.

Le niveau d'injection est indiqué par le point de croisement

- Le niveau d'évènement indiqué dans le tableau est trop bas.

III.7.6 Écho

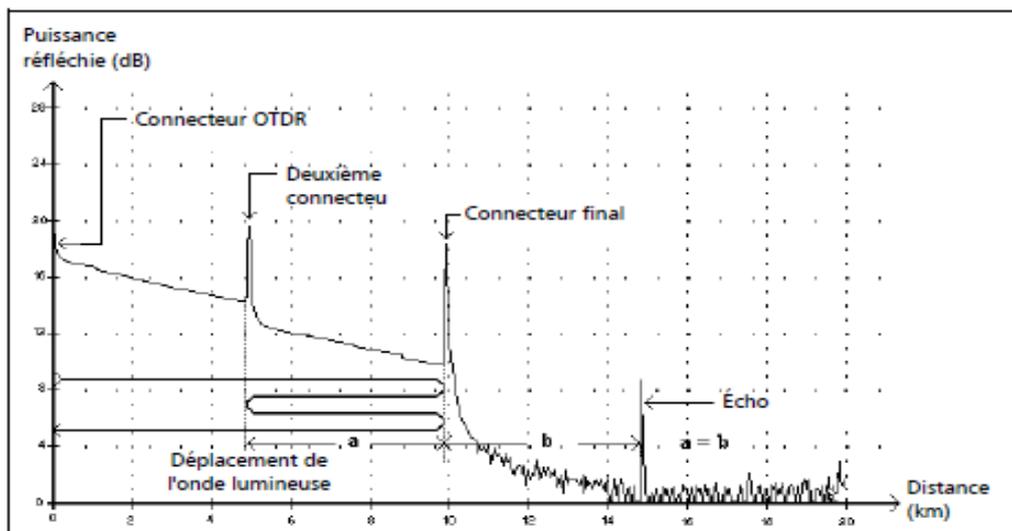


Figure 72: (3.9): Trace d'écho.

Ce symbole indique qu'un évènement réfléchissant 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 elle est réfléchi 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 la réflexion du connecteur final équivaut à la distance entre la réflexion du connecteur final et l'écho.
- Aucune perte n'est spécifiée pour les évènements de type écho.

III.7.7 Évènement réfléchissant (écho possible)

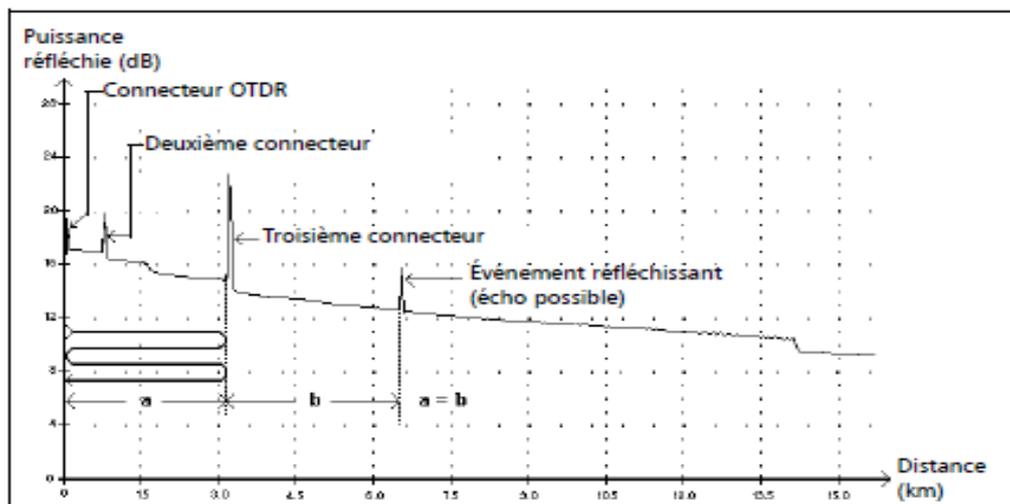


Figure 73: (3.10): Trace d'un événement réfléchissant avec la possibilité d'un écho.

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 le troisième connecteur une deuxième fois 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).

III.8 Description des événements dans le réseau optique par le OTDR [4]

III.8.1 Paramètres de test de OTDR

L'utilisation de tests automatique peut suffire dans certains cas, il est nécessaire de configurer manuellement les paramètres en fonction de la longueur, du type et de la complexité du réseau optique testé. Une fois les paramètres correctement configurés

dans le réflectomètre pour un certain type de réseau, vous pouvez les enregistrer dans la mémoire de l'instrument et les réutiliser lors de la prochaine évaluation du même réseau ou d'un réseau similaire.

➤ **Larguer d'impulsion**

La configuration d'une larguer d'impulsion réglable détermine la durée de l'impulsion émise dans la liaison fibre optique, on peut distinguer deux différents largeurs d'impulsion : largeur d'impulsion courte et la largeur d'impulsion longue.

- **Une largeur d'impulsion courte** est généralement choisie pour les câbles plus courts, ce qui permet d'optimiser la résolution. Les largeurs d'impulsion courtes sont aussi utiles pour tester des portions de câbles situées à proximité du réflectomètre. Puisque les largeurs d'impulsion plus courtes produisent également des zones mortes plus courtes, vous serez en mesure de détecter des évènements proches (par exemple, deux épissures espacées de 3 mètres).
- **Les largeurs d'impulsion plus longues** sont nécessaires pour tester des câbles plus longs, car une plus grande quantité d'énergie optique est nécessaire pour détecter la fin de fibre éloignée.

➤ **Zones mortes**

Lorsque la photodiode de l'OTDR est saturée par une interface hautement réfléchive dans la liaison fibre optique, le temps de récupération de l'OTDR se traduit par une distance juste après l'évènement réfléchif qu'on appelle zone morte, et qui est en fait une portion du câble pour laquelle aucune donnée n'est disponible. L'espace d'air provoqué par un connecteur (par exemple un connecteur PC), les connecteurs ouverts à l'extrémité de la fibre et tout autre évènement produisant une réflexion de Fresnel élevée constituent les causes habituelles de zones mortes.

➤ **Plage de distance**

Le contrôle de la plage d'affichage de la courbe OTDR à l'écran est assuré par le paramètre de plage de distance. Il permet surtout à l'OTDR de sélectionner les impulsions appropriées en fonction de la distance totale du lien.

Le bon réglage de paramètre de plage de distance nécessite une documentation détaillée et exacte sur la liaison fibre optique. Si l'OTDR dispose de configuration de plage de distance pré-réglée, c'est conseillé de choisir la configuration la plus courte supérieure à la longueur maximale de la fibre. Par exemple, si l'instrument propose des paramètres de 10, 100, 200 et 500 kilomètres, vous devrez sélectionner l'option 200 kilomètres.

➤ **Durée moyenne des tests**

En général on obtient des mesures plus exactes en calculant une moyenne de toutes les répétitions d'un même test. Ce même principe s'applique aux mesures de réflectométrie optique. Des temps de moyennage plus longs, qui se traduisent par davantage de répétitions du même test, permettront d'obtenir des mesures plus précises grâce au meilleur rapport signal/bruit, mais qui seront plus longues à obtenir. Pour les cas où la précision n'est pas critique, des « mesures en temps-réel », sans moyennage, peuvent suffire. Dans les situations où les données telle que la distance et les mesures d'affaiblissement doivent être aussi exactes que possible des temps de mesure (et donc de moyennage) plus longs constituent la meilleure option.

III.8.2 Analogies des tests de réflectométrie optique

Il existe des points de comparaison évidents entre les tests de réflectomètre optique et les tests de signal des câbles en cuivre, et ces tests sont progressivement remplacés lorsque les réseaux de communication sont passés aux fibres optiques. Une autre analogie de la technologie des ultrasons est également utile.

III.8.1 Terminologie des tests de réflectométrie optique

Vis-à-vis du processus de test de réflectomètre OTDR, il faut commencer par assimiler quelques concepts de base qui sont : Atténuation, rétrodiffusion, réflectance et la réfraction.

➤ Atténuation

Il s'agit de la diminution de la puissance optique du signal lumineux lors de sa transmission. L'atténuation de la fibre est exprimée en décibel par kilomètre (dB/km). L'atténuation du signal peut être causée par la contrainte, par des épissures, par des connecteurs/connexions ou les caractéristiques d'absorption et de rétrodiffusion de la fibre elle-même.

➤ Rétrodiffusion

Le terme rétrodiffusion est utilisé pour décrire la réflexion dispersée, des ondes lumineuses qui retournent vers leur point d'origine. La valeur de rétrodiffusion est un indicateur de l'atténuation totale d'une fibre, car la lumière qui retourne à sa source représente la perte d'intensité du signal en aval. Dans le test de réflexion optique, la quantité de lumière rétrodiffusée n'est que d'environ un millionième de l'impulsion de test.

➤ Réflectance

C'est une mesure de la proportion de lumière qui éteint la surface réfléchissante. Contrairement à la lumière rétrodiffusée, la lumière réfléchie retourne directement à la source lumineuse. Les connecteurs/connexions et les épissures réfléchiront la lumière vers la source lumineuse afin que l'OTDR puisse déterminer la position, la condition et la perte de signal de ces composantes.

➤ Réfraction

La réfraction est la déviation qui se produit lorsque les ondes lumineuses passent d'un type de matériau transparent à un autre type de matériau transparent. La quantité de lumière réfléchie dépend de la différence entre l'indice de réfraction

des deux fibres optiques connectées à travers les épissures, les impuretés sur la fibre de verre et le changement de matériau dans le connecteur ou le câble.

III.8.2 Processus de test de réflectométrie optique

L'exécution d'un test OTDR doit suivre les procédures de configuration, de programmation, d'exécution de test et de rapport de base suivantes.

- Allumer l'OTDR et vérifier que la batterie est chargée et que l'écran de test fonctionne correctement.
- Nettoyez et inspecter les extrémités de toutes les fibres optiques à tester, les bobines amorces, les connecteurs et les adaptateurs.
- Connectez soigneusement la bobine amorce au port de sortie de l'OTDR à une extrémité et la fibre optique à tester à l'autre extrémité.
- Selon le type de réseau et les conditions de test, sélectionnez un programme de test programmé ou configurez/ajustez les paramètres de test selon vos besoins. Certains paramètres de test manuel OTDR incluent généralement les éléments suivants :
 - **La portée** : ajuster la portée appropriée (distance) en fonction de la longueur totale de la fibre
 - **La largeur d'impulsion** : permet de définir la durée de chaque impulsion laser émise.
 - **Le Temps d'acquisition** : permet de définir la durée pour calculer la valeur moyenne des mesures de la lumière réfléchi.
 - **L'indice de réfraction** : correspond à l'indice du matériau du câble testé.
 - Paramètres du seuil de perte du système et les éléments individuels ou « évènements ».
- Utilisez l'OTDR suffisamment longtemps pour obtenir les résultats des tests et le trace.
- Stockez et/ou chargez les résultats de test selon vos besoins.
- Débranchez soigneusement tous les câbles, connecteurs et adaptateurs.

III.8.3 Réduction de zone morte d'un réflectomètre optique

Il y a toujours au moins une zone morte dans chaque fibre. L'existence de zones mortes est un inconvénient important pour OTDR. Il est donc important de minimiser les effets des zones mortes dans la mesure du possible.

Les zones mortes peuvent être réduites en utilisant une largeur d'impulsion dynamique. Une faible largeur d'impulsion, une zone morte courte et une faible puissance sont utilisées pour les tests et le dépannage de fibres afin de tester les liaisons courtes lorsque les évènements sont peu espacés, tandis qu'une grande largeur d'impulsion, une zone morte longue et une puissance élevée sont utilisées pour les tests et les communications par fibres longue distance afin d'atteindre de plus grandes distances pour les réseaux plus étendus ou a pertes élevées. On peut conclure qu'il est préférable de choisir des OTDR de grandes marques ou entreprises. [9]

III.9 Localisation des évènements et mesure de l'atténuation d'une liaison optique

➤ **Signalisation des différents évènements dans l'OTDR.**

Tableau 14: (3.9): Signalisation des évènements.

L'évènement	Le symbole
Début de section	
Niveau d'injection	
Fibre continue	
Evènement non réfléchissants	
Evènement réfléchissant	
Fusionné	Σ
Evènement réfléchissant (écho possible)	
Evènement positif	

Écho	
Fin d'analyse	→
Fin de section	

III.9.1 Localisation des événements et ses interprétations

L'interprétation de trace OTDR peut sembler insurmontable. La trace OTDR raconte une histoire sur chaque fibre optique étant testée. Un creux ou pic connu sous le nom d'évènement peut révéler le type de connexion, par exemple la courbe ci-dessous d'un OTDR avec une longueur d'onde de 850 nm.

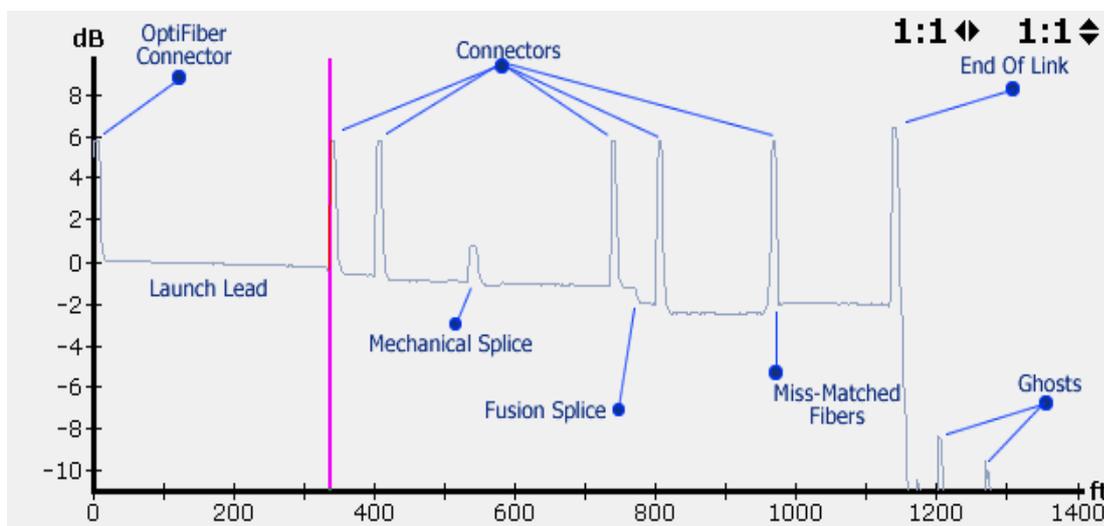


Figure 74: (3.11): La courbe des événements d'un OTDR.

Dans cette courbe vous avez à peu près tous les types d'évènements qu'on va analyser un par un :

➤ **Connecteur OptiFiber (OptiFiber Connector)**

Il s'agit d'un évènement de réflexion et doit être présent dans toutes les traces. La réflexion est causée par la réflexion de Fresnel. Si vous regarder par la fenêtre la nuit, vous verrez votre image et des objets à l'extérieur sur la fenêtre. C'est un reflet de Fresnel. Tout comme votre fenêtre, vous ne pouvez presque rien voir à l'extérieur de la fenêtre. C'est exactement la même chose que l'OTDR. Il est très important de garder ce port fibre optique propre.

➤ **Câble d'injection (Launch Lead)**

Le terminal après OptiFiber peut parfois être grande, nous avons donc besoin d'une ligne d'injection pour nous assure de voir le premier évènement. La diffusion de Rayleigh permet de mesurer la perte de la fibre du câble.

➤ **Connecteurs (Connectors)**

On peut dire que les événements sont des connecteurs car ce sont des événements de réflexion avec une quantité significative de réflexion de Fresnel avant une perte.

➤ **Épissure Mécanique (Mechanical Splice)**

Il y a une réflexion sur cet incident, mais la réflexion n'est pas si importante. Ceci indique qu'il s'agit d'une épissure mécanique. La réflexion est causée par le gel d'adaptation à l'indice dans l'épissure mécanique.

➤ **Épissure de Fusion ou de soudage (Fusion Splice)**

Ici on ne voit pas de reflet, juste une perte. Le soudage est le meilleur moyen d'obtenir une connexion presque sans perte, mais le soudage de haute qualité est requis pour cela. L'évènement affiché ici est bien en deçà des 0,3 dB autorisés par les normes de câblage.

➤ **Fibres optiques mal appariées (Miss-Matched Fibers)**

On parle souvent d'amplification. Bien sûr, ce n'est pas un gain réel puisque tous les composants ici sont passifs. Voilà à quoi cela ressemble à premier vue. Dans cet exemple, une fibre optique de 50 mètre est connectée à une fibre optique de 62,5 mètre. La raison de cette augmentation est que les niveaux de signal de diffusion des fibres avec des cœurs plus gros sont plus élevés.

➤ **Terminaison de la liaison (End Of Link)**

Il s'agit d'un très grand évènement de réflexion, la terminaison tombant en bas de la trace.

Attention : ce n'est peut-être pas la terminaison de la liaison, c'est peut-être là où la fibre est déconnectée ou cassée. C'est pourquoi vous devez effectuer un OTDR sur une liaison dans les deux sens (liaison bidirectionnelle). Si vous effectuer un OTDR

dans un sens et signalez 75 mètre et l'autre sens signale 62 mètre, alors vous savez qu'il y a une rupture dans le câble.

➤ Effets d'ombre (Ghosts)

Ce ne sont pas des événements réels, ce sont des effets d'ombre. Il est facile de prédire où les effets d'ombre apparaîtront sur la trace et ils peuvent donc être ignorés. De plus, l'effet d'ombre n'aura aucun recul associé au niveau de la trace car il n'y a pas de perte à ce niveau. Cela lui permet d'être reconnu comme un effet d'ombre. Avec OptiFiber, la plupart des effets d'ombre apparaîtront après la fin de la liaison.

III.9.2 Mesure de l'atténuation sur une liaison optique [10]

On parvient à calculer l'atténuation totale (AT), à partir d'une section élémentaire de câble de :

Équation 3: (3.1): L'équation de l'atténuation.

$$AT = n \times C + J + L \times a \times M$$

Où :

- n : nombre de connecteurs
- C : atténuation pour un connecteur optique (dB)
- J : atténuation pour une épissure (dB)
- M : marge de système (les cordons de raccordement, courbures de câble, événements imprévisibles d'atténuation optique, et ainsi de suite, devraient être considérés autour de 3dB)
- a : atténuation pour le câble optique (dB/km)
- Longueur totale du câble optique

Les tableaux 1 et 2 pour les deux longueurs d'onde différentes (1310 nm et 1550 nm) présentent les valeurs des atténuations par kilomètre, par connecteur et par joint.

Tableau 15: (3.10): Pour la longueur d'onde 1310 nm.

	Atténuation/kilomètre (dB/km)	Atténuation/connecteur (dB)	Atténuation/joint	
Minute	0,3	0,4	0,02	Meilleures conditions
Moyenne	0,38	0,6	0,1	Normal
Maximum	0,5	1	0,2	La plus mauvaise situation

Tableau 16: (3.11): Pour la longueur d'onde 1550 nm.

	Atténuation/kilomètre (dB/km)	Atténuation/connecteur (dB)	Atténuation/joint	
Minute	0,17	0,2	0,01	Meilleures conditions
Moyenne	0,22	0,35	0,05	Normal
Maximum	0,4	0,7	0,1	La plus mauvaise situation

Voici ci-dessous l'exemple d'une liaison optique :

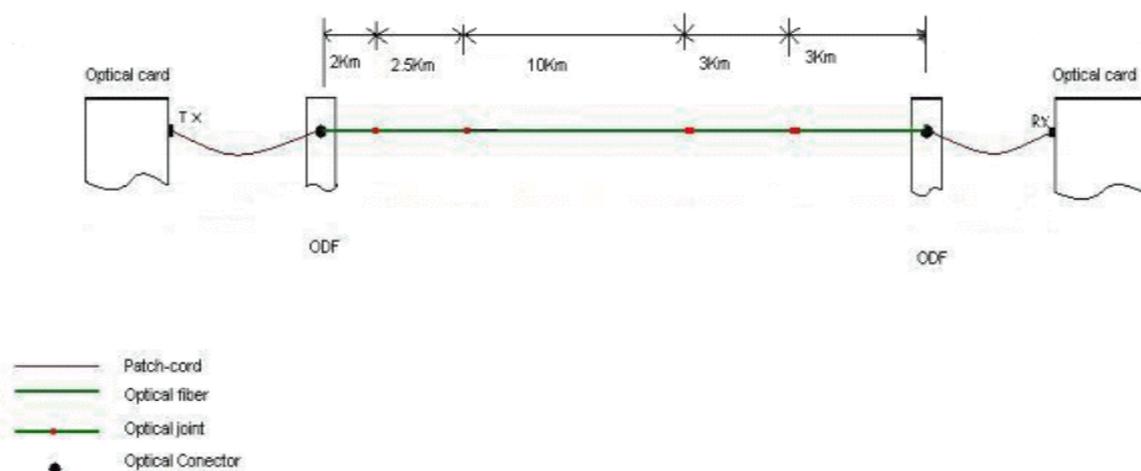


Figure 75: (3.12): La liaison par fibre optique.

Calcule de l'atténuation totale dans les différentes situations :

- Pour la longueur d'onde 1310 nm : Dans une situation normal.

$$\begin{aligned} \mathbf{AT} &= \mathbf{n} \times \mathbf{C} + \mathbf{c} \times \mathbf{J} + \mathbf{L} \times \mathbf{a} \times \mathbf{M} = 2 \times 0,6 \text{ dB} + 4 \times 0,1 \text{ dB} + 20,5 \text{ km} \times \frac{0,38\text{dB}}{\text{km}} + 3\text{dB} \\ &= 12,39\text{dB} \end{aligned}$$

- Pour la longueur d'onde 1310 nm : Dans une situation plus mauvaise.

$$\begin{aligned} \mathbf{AT} &= \mathbf{n} \times \mathbf{C} + \mathbf{c} \times \mathbf{J} + \mathbf{L} \times \mathbf{a} \times \mathbf{M} = 2 \times 1 \text{ dB} + 4 \times 0,2 \text{ dB} + 20,5 \text{ km} \times \frac{0,5\text{dB}}{\text{km}} + 3\text{dB} \\ &= 16,05\text{dB} \end{aligned}$$

- Pour la longueur d'onde 1550 nm : Dans une situation normal.

$$\begin{aligned} \mathbf{AT} &= \mathbf{n} \times \mathbf{C} + \mathbf{c} \times \mathbf{J} + \mathbf{L} \times \mathbf{a} \times \mathbf{M} \\ &= 2 \times 0,35 \text{ dB} + 4 \times 0,05 \text{ dB} + 20,5 \text{ km} \times \frac{0,22\text{dB}}{\text{km}} + 3\text{dB} = 8,41\text{dB} \end{aligned}$$

- Pour la longueur d'onde 1550 nm : Dans une situation plus mauvaise.

$$\begin{aligned} \mathbf{AT} &= \mathbf{n} \times \mathbf{C} + \mathbf{c} \times \mathbf{J} + \mathbf{L} \times \mathbf{a} \times \mathbf{M} = 2 \times 0,7 \text{ dB} + 4 \times 0,1 \text{ dB} + 20,5 \text{ km} \times \frac{0,4\text{dB}}{\text{km}} + 3\text{dB} \\ &= 13\text{dB} \end{aligned}$$

Si on considère que la plus mauvaise situation de la liaison dispose d'une charge utile à 17 dB à 1310 nm, et la plus mauvaise situation pour le lien optique à 16,05 dB à 1310 nm, on peut considérer que le lien optique fonctionnera sans problème.

IV. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, l'étude sur le réflectomètre optique OTDR est faite pour un but : détecter, localiser et mesurer les différents événements n'importe où au long d'une liaison par fibre optique.

L'objectif d'implémentation de la technique OTDR est détecter les différents anomalies perturbatrices dans une liaison optique et d'améliorer la performance de nos liaisons.

Dans le premier temps, nous avons étudié les différentes caractéristiques de l'OTDR, ses principes de fonctionnement, ses performances et le critère de choix d'un OTDR pour l'utilisation des mesures optiques. Dans le deuxième temps, la description des différents événements, le processus de test de réflectomètre et la localisation des événements et la mesure de l'atténuation au long d'une liaison optique.

Conclusion générale et perspectives

L'installation d'un réseau par la fibre optique doit impérativement passer par un test. Le test d'une liaison optique a pour objectif d'assurer la fiabilité et d'avoir une liaison efficace. Dans un réseau à fibre optique, chaque fibre doit passer par un test à l'aide d'un réflectomètre optique OTDR (Optical Time Domain Réflectomètre) pour s'assurer que le réseau fonctionne d'une manière adéquate.

La conclusion qu'on peut tirer de ce travail est que l'utilisation de la technique OTDR pour mesurer des performances d'un réseau par fibre optique est indispensable. Le résultat du test de l'ensemble des évènements ou plutôt les défauts de la liaison optique sont représentés graphiquement. L'objectif de ce travail est d'améliorer la performance d'un réseau optique, en commençant par bien comprendre le principe de fonctionnement d'un OTDR, puis ses spécifications techniques, ses performances et les critères pour bien le choisir, enfin la localisation et la mesure des évènement, ainsi que la mesure de l'atténuation au long de la fibre, afin de les interpréter et d'améliorer la performance de la liaison optique.

Annexe

Rapport iOLM

Information générales

Nom de fichier : Deir El Kamar feeder#1 F103.iolm
Date de test : 18/08/2020 Client : MOT-Ogero
Heure du test : 12 :16 :57 PM (UTC) Société : BMB
ID de la tâche : Feeder 1
Commentaires : Deir El Kamar (15307)

Emplacement

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement	ODF 1-144	Spare (103-105) POLE#02
Operateur	MAX-730C-SM2-EA	
Modelé	1274509	
Numéro de série	12-08-2019 (UTC)	

Identifiants

ID du câble	ID de fibre	Echange
F01	103	Deir El Kamar

Résultat iOLM

Longueur de la liaison : 3.1630 km
Statut d'acquisition : Complété

Longueur d'onde (nm)	Perte de liaison (dB)	Perte ORL
1310	1.327	32.87
1550	0.968	35.10

EXFO

Signature_____

Date 18/08/2020

Vue de la liaison



Éléments du tableau

Type	N°	Position (Km)	Perte (dB)		Réflectance (dB)		
			1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm	
Connecteur		-0.4989	0.483	0.443	-48.8	-54.5	
Connecteur	A	1	0.0000	0.046	0.132	-81.2	
Épissure		2	0.8539	0.072	0.037	---	
Épissure		3	2.1066	0.064	0.098	---	
Épissure		4	2.7001	0.015	0.076	---	
Épissure		5	2.9765	0.134	0.114	---	
Connecteur	B	6	3.1630	---	---	-39.4	-45.6
Pour caractériser la perte et inclure l'élément dans la perte de la liaison et l'ORL. Une fibre réceptrice est requise.							

Seuils succès/échec d'iOLM

	Longueur d'onde (nm)	atténuation de section de fibre (dB/km)	Perte de la liaison (dB)		Max. ORL (km)	Longueur de la liaison (km)	
			Min.	Max.		Min.	Max.
Seuils de réussite/échec personnalisés	1310	---	0.000	25.000	25.00	0.0000	20.000
	1550	---	0.000	25.000			

Seuils de réussite/échec personnalisés sur les éléments

	Perte Max. (dB)		Réflectance Max. (dB)	
	1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
Épissure	0.300	0.300	---	---
Connecteur	0.750	0.750	-60.0	-60.0

Paramètres et réglages de l'iOLM

Configuration du test :	Ogero Liban	IRO (1550 nm) :	1.468000
Taille du cœur de la fibre :	9µm	Rétrodiffusion (1550 nm) :	-79.00 dB
Lancer la fibre :	0.5014 km		
Recevoir la fibre :	0.0000 km		

EXFO

Signature_____

Date 18/08/2020

Rapport OTDR (1550 nm)

Information générales

Nom de fichier : Loop FAT B01-B05.trc
Date de test : 3/15/2017 Client :
Heure du test : 15 :24 :23 Société :
ID du câble : ID de la fibre : Fiber5
ID de la tâche :
Commentaires :

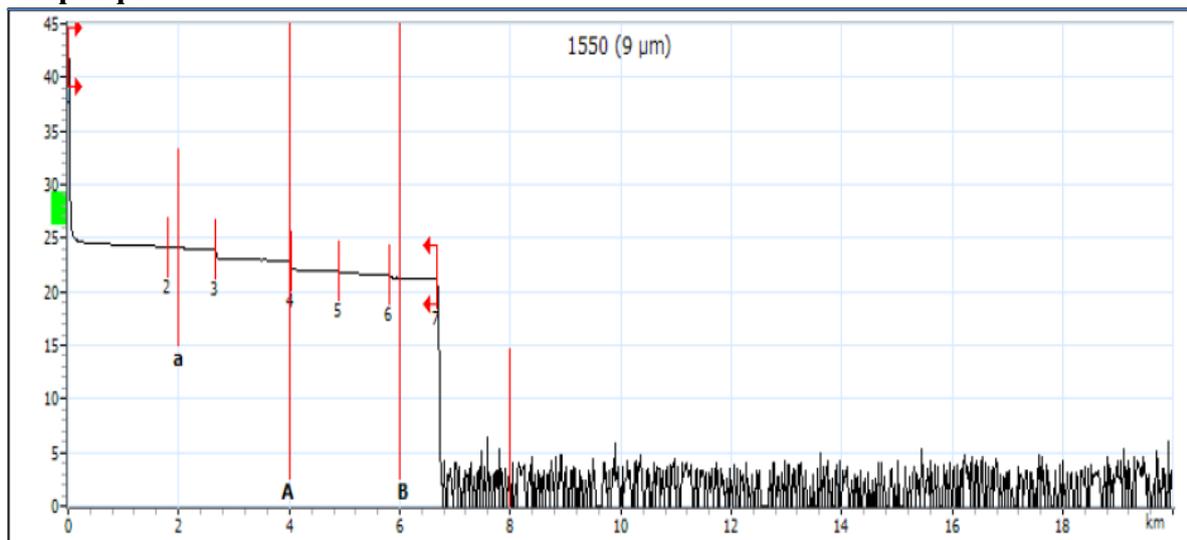
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Operateur		
Modelé	MAX-730B-M2-EA	
Numéro de série	839626	
Date d'étalonnage	6/21/2015 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section : 6.6790 km Perte moyenne : 0.522 dB/km
Perte de la section : 3.488 dB Perte d'épissure moyenne : 0.406dB
ORL de la section : <18.64 dB Perte d'épissure maximale : 0.801 dB
Niveau d'injection : 24.6 dB

Graphique



EXFO

Signature _____

Date 16/4/2017

Marqueurs

Marqueur	Position (km)	Valeur (dB)
a	1.9996	24.084
A	4.0005	22.885
B	6.0001	21.286
b	7.9998	5.551

Atténuation LSA A-B : 0.414 dB/km

Perte moyenne A-B : 0.799 dB/km

Perte LSA A-B : 0.827 dB

Perte d'évènement 4 points : -0.191 dB

ORL A-B 41.11 dB

Reflectance maximale: -659 dB

Rapport OTDR (1550 nm)

Tableau des évènements

Type	N°	Position/ Longueur (km)	Perte (dB)	Réfléctanc e (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumul é (dB)
Premier connecteur	1	0.0000	---	>-26.9		0.000
Section		1.7903	0.513		0.287	0.513
Non réfléchissant	2	1.7903	0.024			0.537
Section		0.8805	0.171		0.195	0.708
Non réfléchissant	3	2.6708	0.810			1.519
Section		1.3539	0.275		0.203	1.794
Non réfléchissant	4	4.0248	0.795			2.589
Section		0.8614	0.169		0.197	2.758
Non réfléchissant	5	4.8861	0.158			2.916
Section		0.9379	0.172		0.183	3.088
Non réfléchissant	6	5.8240	0.245			3.332
Section		0.8550	0.156		0.182	3.488
Réfléchissant	7	6.6790	---	-62.0		3.488

Macrocourbure

Position (km)	Perte delta (dB)
Aucune macro courbure détectée.	

Seuils succès/échec

	1550 nm
Perte d'épissure (dB)	0.300
Perte du connecteur (dB)	0.750
Réflectance (dB)	-40.0
Atténuation de la section de fibre (dB/km)	0.400
Perte de la section (dB)	20.000
Longueur de la section (dB)	0.0000
ORL de la section (dB)	15.00

Paramètre du test

	A → B
Longueur d'onde (nm)	1550 (9µm)
Plage (km)	20.0000
Impulsion (ns)	275
Durée (s)	10

Réglages du test

	A → B	Longueur d'onde de la Macro courbure	Perte delta de Macro courbure (dB)
IR	1.468325		
Rétrodiffusion (dB)	-81.87		
Facteur hélicoïdal (%)	0.00		
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0.020		
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72.0		
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5.000		

Références bibliographiques

Chapitre 1

- [1] Fibre-pro, « *avantages et inconvénients de la fibre optiques* », 10/07/2018.
- [2] Kafte Djogoo Kungwa, « *Mémoire Online - Etude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau* », Initelematique - télécommunications 2016.
- [3] Piere Lecoy, « *Télécom sur fibres optiques* », 3ème édition revue et augmentée.
- [4] Pierre Lecoy, « *Telecoms sur fibre optique* », hermes, 1997.
- [5] R. BOUABDALLAH et N. DAOUD, « *Etude des caractéristiques et des performances d'une liaison par fibre optique haut débit* », diplôme de MASTER En Télécommunications, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2017.
- [6] Répéteur — Wikipédia (wikipedia.org)
- [7] H. BILLAMI et R. BENDAHMANE, « *Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s* », diplôme de MASTER En Télécommunications, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2013.
- [8] Worton, « *comment réduire les différents types de pertes dans la fibre optique* », 3 juin 2019 FS communauté
- [9] S.Haroun Ibrahim et M.Ould1 Mahmoud, « *Etude du budget optique d'une liaison longue et à haut débi* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut des télécommunications Abdelhafid Boussouf-Oran, Promotion 2005/2006.
- [10] A.Belkhira et S .Mokrani, « *L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, Promotion juin 2010.
- [11] M.Aichi et W.Aichi, « *les solutions WDM /DWDM pour les télécoms haut débit* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2011.
- [12] A.Dellal et E.Essafi, « *Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, Promotion juin 2010.
- [13] M.Hamroune et A.Harhouz , « *Etude et caractérisation de la commutation optique* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en

télécommunication, Institut des télécommunications Abdelhafid Boussouf-Oran, Promotion 2005.

[14] H.Habbar et K.Djelidi, « *Liaison optique à haut débit* », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, Promotion juin 2004.

Chapitre 2

[1] M. LOUAZINI et S. MEDDANE, « *Étude des réseaux d'accès optique exploitante le multiplexage en longueur d'onde* », diplôme de master en Télécommunications, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2017.

[2] H. BILLAMI et R. BENDAHMANE, « *Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s* », diplôme de master en Télécommunications, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2013.

[3] RezalFR – *Les topologies en bus, anneau, étoiles* – 01/02/2004

[4] Worton, « *comprendre les normes de l'UIT-T pour les différentes fibres optiques* », 4 mai 2020 FS communauté.

[5] NEXANS, « *épissure mécanique* », 12/02/2019.

[6] POMAX, « *les types de connecteurs pour fibre optique* », 26 septembre 2019.

[7] Prof. Asseu Olive Pascal, *Formation fibre optique FTTx*.

[8] Technifutur, « *câblage fibre optique pour réseaux locaux* », 2005.

[9] Zeno Toffano, « *Composants photoniques et fibres optiques* », Ellipses édition Karketing S.A., 2001.

[10] <http://www.ariase.com/fr/guides/fibre-optique.html>.

[11] B.ABDOULAYE HALIDOU et S. KANTE, « *Etude et planification de réseau FTTH pour les transmissions optiques à haut débit* », diplôme de master en télécommunications, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2018.

[12] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « *Les télécommunications par fibres Optiques* ».

[13] Cogisys, « *Mémo sur les réseaux FTTH* », juillet 2009.

[14] Claude Lahache, « *Le déploiement de la fibre optique FTTH (Fiber to Home)* », Étude menée en 2014 à la demande de l'ARCEP.

Chapitre 3

- [1] VIAVI solutions, livre blanc, « *comment bien choisir son réflectomètre optique (OTDR)* », 2015.
- [2] Optico Shenzhen, « *Réflectomètre de domaine de fréquence optique OFDR* », 28 février 2019.
- [3] VIAVI, « *Principe de fonctionnement et caractéristiques des réflectomètres optiques (OTDR)* ».
- [4] VIAVI solutions, « *Tests de réflectométrie optique* ».
- [5] Seymour Goldstein, « *Choix d'un réflectomètre optique (OTDR) adapté à vos besoins* », Fluke Networks.
- [6] Flukenetworks, « *Fiche technique: OTDR OptiFiber Pro-Distrame* », 2013
- [7] AQ7933 Logiciel post traitement de données OTDR / réflectomètre par wevetel.
- [8] Itochu High Tech, OFS 200 Fibercable 2.0
- [9] Jason, « *Explication de la zone morte OTDR : Comment éliminer les effets ?* », 19 janvier 2021.
- [10] Cisco, « *Calcul de l'atténuation maximale pour les liaisons à fibre optique* », 30 mars 2005