

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلكايد
تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département de Télécommunications



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**
En : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**
Par:
FEKHAR Mohamed Nadir.
BOUYAKOUB Sidi Mohammed.

Sujet :

**Gestion de la problématique de surveillance des réseaux optiques
passifs PON**

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

Mr. Bahri Sidi- M.C.B	Univ. Tlemcen	Président
Mohammed		
Mr. Karim PROF	Univ. Tlemcen	Examinateur
Fethallah		
Mr.CHIKH-BLED MCB.	Univ. Tlemcen	Encadreur
Hicham		

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années

Nous tenons également à remercier notre encadreur Mr Chikh-bled Hicham qui a assuré la direction de ce travail, ses conseils prestigieux et ses encouragements sans relâche, sa disponibilité et la confiance qu'il nous a accordée de nous initier à ce travail dans les meilleures conditions.

Nos sincères remerciements vont aux membres de jury Mr Bahri Sidi-Mohammed et Mr Karim Fethallah qui ont bien voulu accepter de juger notre travail dans lequel nous avons mis tout notre cœur et toute notre énergie dans l'espoir d'être à la hauteur des attentes.

Nous remercierons :

L'ensemble des enseignants de département de Télécommunications ayant consacré leurs vies sur la voie noble de l'enseignement

Enfin, mes remerciements à toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont passé leur vie rêvant de voir ce jour-ci,
à ceux qui m'ont entouré d'amour et de tendresse :*

*A un grand homme pour lequel je garde une estime particulière ...
Chère père, celui qui tant sacrifié pour que j'arrive à un avenir florissant : je lui
dois énormément, l'homme qui m'a enseigné, par son amour et son expérience, tout
ce qui fait que je suis, et ce qui me donne la force de croire en moi.*

*Au symbole de la tendresse et l'affection, à celle s'est privée de tous pour me
combler, à ma mère, l'être le plus chère du monde, quoique je dise ou je fasse, cela
n'exprime par le degré de ma gratitude et mon amour vers elle.*

Mes très chers frères et toute ma famille.

*A Imane qui n'a pas cessé de m'encourager afin de réaliser parfaitement ce
projet.*

A tous mes amis, avec lesquelles j'ai partagé mes meilleurs moments.

A tous mes professeurs de Réseaux et télécommunications.

A tous les collègues de ma promo.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible,
je vous dis merci.*

Nadir

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde.

A l'âme de mon chère père qu'Allah l'accepte dans ses vastes paradis. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.

Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde

A mes chers frères, et mes chères sœurs pour leur affection, compréhension et patience.

A tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin avec la réalisation du présent projet.

Sidi Mohammed

Résumé

Les solutions de monitoring, et de surveillance des réseaux optiques sont d'un intérêt capital afin d'offrir une qualité de service optimale aux utilisateurs. Elles sont conçues en fonction des équipements de test OTDR fixes positionnés stratégiquement dans le réseau, mais également par l'utilisation de logiciels spécialisés. L'état des installations optiques est constamment vérifié, et les dégradations ou coupures sont signalées en quelques minutes. Grâce à ces techniques, ces solutions automatisent et accélèrent les tests aux différentes étapes du cycle de vie du réseau. Ce mémoire présente une contribution à l'étude des solutions envisagées. On s'intéressera à l'architecture client/serveur, la gestion de la surveillance de fonctionnement des alarmes, la programmation et le suivi des appareils. En particulier, l'une des solutions pour l'évaluation continue de la qualité de ces réseaux consiste à l'utilisation d'outils logiciels qui comprennent un système intégré de surveillance et de gestion des fibres. Les logiciels concernés dans cette partie sont iManager U2000 et Optical Network Management System (ONMS) qui sont utilisés actuellement par Algérie Télécoms dans la surveillance, et la gestion des réseaux PON.

Mots clés : fibre optique , PON, FTTH, Mesures sur fibre optique

Abstract

Optical network monitoring and surveillance solutions are of major interest in order to provide optimal quality of service to users. They are designed based on fixed OTDR test equipment strategically positioned in the network, but also through the use of specialized software. The condition of optical installations is constantly checked, and damage or cuts are reported within minutes. Using these techniques, these solutions automate and accelerate testing at different stages of the network lifecycle. This thesis presents a contribution to the study of the solutions envisaged.

We will focus on the client / server architecture, management of alarm operation monitoring, programming and monitoring of devices. In particular, one of the solutions for the continuous assessment of the quality of these networks is the use of software tools that include an integrated fiber monitoring and management system. The software concerned in this part are iManager U2000 and Optical Network Management System (ONMS) which are currently used by Algérie Télécoms in the monitoring and management of PON networks.

ملخص

تعتبر حلول مراقبة ومراقبة الشبكة البصرية ذات أهمية كبيرة من أجل توفير الجودة المثلى للخدمة للمستخدمين. لقد تم تصميمها على معدات اختبار بناء الثابتة الموضوعية بشكل استراتيجي في ا من خلال استخدام البرامج ولكن أيضا ، الشبكة المتخصصة. يتم فحص حالة التركيبات الضوئية OTDR باستمرار ، ويتم الإبلاغ عن التلف أو الجروح في غضون دقائق. باستخدام هذه التقنيات ، تعمل هذه الحلول على أتمتة الاختبارات وتسريعها في مراحل مختلفة من دورة حياة الشبكة. تقدم هذه الرسالة مساهمة في دراسة الحلول المتوخاة. سنركز على بنية العميل / الخادم ، وإدارة مراقبة عمليات الإنذار ، وبرمجة الأجهزة ومراقبتها. أ يتمثل أحد حلول التقييم المستمر لجودة هذه الشبكات في استخدام أدوات البرامج التي تتضمن نظام ، على وجه الخصوص ا شركة اللذين (ONMS) ونظام إدارة الشبكة الضوئية iManager U2000 لمراقبة وإدارة الألياف. البرنامج المعني في هذا الجزء هو متكاملًا PON. في مراقبة وإدارة شبكات Algérie Télécoms تستخدمها حالي

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre 1 : Généralité sur les réseaux d'accès optique passifs

I.1 Introduction 3

I.2 La fibre optique 3

 I.2.1 Définition 3

 I.2.2 Structure de la fibre optique 4

 I.2.3 Les types de fibre optique 5

 I.2.4 Comparaison entre fibre monomode et multimode 7

 I.2.5 Spectre de la lumière 8

I.3 Différents effets sur la transmission optique (l'origine de l'atténuation) 9

 I.3.1 L'Atténuation 10

 I.3.2 Les fenêtres de transmission en optique 11

I.4 Les réseaux optiques passifs (Passive Optical Network, PON) 12

 I.4.1 Introduction 12

 I.4.2 Les réseaux optiques 13

 I.4.3 Les réseaux d'accès optiques 13

 I.4.4 Architecture des réseaux FTTH 15

 I.4.5 Architecture point à point 16

 I.4.6 L'architecture point à multipoint passive ou PON (Passive Optical Network) 16

 I.4.7 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON 18

I.5 Architecture d'un réseau optique passif (PON) 18

 I.5.1 Etude des éléments d'un réseau optique passif 19

 I.5.2 Principe de fonctionnement d'un réseau PON 21

 I.5.3 Les différents standards d'un réseau PON 22

 I.5.4 Comparaison des standards d'un réseau PON 24

 I.5.5 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON 25

I.6 Conclusion 25

Chapitre II : Mesures et performances d'une liaison optique

II.1 Introduction : 26

II.2 Raccordement des fibres optiques 26

 II.2.1 Le montage de connecteurs sur le terrain 26

 II.2.2 La soudure fibre optique ou épissurage par fusion 29

 II.2.3 Comment effectuer une bonne soudure 29

Trois critères permettent d'évaluer la qualité de la soudure	33
II.3 Instrument de mesure pour fibres optiques	34
II.3.1 Mesure de perte de puissance optique (photométrie).....	34
II.3.2 Modes d'utilisation.....	36
II.3.3 Le choix des paramètres de mesure.....	37
II.3.4 Mesure OTDR :.....	38
II.3.5 Vérification de l'analyse.....	40
II.3.6 Les avantages d'OTDR	47
II.4 La Réflectométrie fréquentielle :.....	47
II.4.1 Principe de base de l'OFDR	47
II.4.2 Limites de cette méthode	48
II.5 Conclusion.....	25
 Chapitre III : Surveillance des réseaux PON	
III.1 Introduction	49
III.2 Objectif du système	49
III.3 L'architecture du système	49
III.4 Architecture client/serveur	51
III.5 Gestion de la surveillance de fonctionnement et des alarmes	52
III.6 Programmation et suivi des appareils	53
III.7 U2000 : logiciel de gestion/supervision FTTH	53
III.7.1 Aperçu sur la société HUAWEI	53
III.7.2 Description du logiciel U2000	53
III.7.3 Les principales caractéristiques de l'U2000.....	55
III.7.4 Position de U2000 dans le RGT (réseau gestion de télécommunications)	55
III.7.5 Gestion de la localisation des pannes	55
III.8 ONMS (Optical Network Management System)	57
III.8.1 Caractéristiques principales.....	59
III.8.2 Gestion exhaustive des alarmes.....	59
Conclusion générale	61
Bibliographie	62

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur les réseaux d'accès optique passifs

FIGURE I-1: L'UTILISATION DE LA FIBRE OPTIQUE..... 3

FIGURE I-2:STRUCTURE DE LA FIBRE OPTIQUE. 4

FIGURE I-3: PROFIL D'INDICE DE REFRACTION ET VUE EN COUPE D'UNE FIBRE OPTIQUE MULTIMODE A SAUT D'INDICE. 6

FIGURE I-4: PROFIL D'INDICE DE REFRACTION ET VUE EN COUPE D'UNE FIBRE OPTIQUE MULTI-MODE A GRADIENT D'INDICE..... 6

FIGURE I-5:PROFIL D'INDICE DE REFRACTION ET VUE EN COUPE D'UNE FIBRE OPTIQUE MONOMODE..... 7

FIGURE I-6:LE SPECTRE DE LA LUMIERE ET LES LONGUEURS D'ONDE UTILISEES POUR LA FIBRE OPTIQUE..... 9

FIGURE I-7:LA PERTE D'ENERGIE LUMINEUSE DANS LA FIBRE 10

FIGURE I-8: LES CAUSES D'ATTENUATION..... 11

FIGURE I-9: STRUCTURE D'UN RESEAU FTTH 14

FIGURE I-10:STRUCTURE D'UN RESEAU FTTB..... 14

FIGURE I-11:STRUCTURE D'UN RESEAU FTTC/FTTCAB 14

FIGURE I-12:STRUCTURE D'UN RESEAU FTTN..... 15

FIGURE I-13: POINT TO POINT (P2P) // POINT TO MULTI-POINT (P2MP)..... 16

FIGURE I-14:ARCHITECTURE POINT A POINT..... 16

FIGURE I-15:ARCHITECTURE POINT A MULTIPPOINT..... 17

FIGURE I-16:ARCHITECTURE D'UN RESEAU OPTIQUE PASSIF (PON). 19

FIGURE I-17:LIGNE OPTIQUE TERMINAL OLT 20

FIGURE I-18:TERMINAL DE RESEAU OPTIQUE ONT 21

FIGURE I-19:COUPLEUR OPTIQUE (SPLITTER) 21

FIGURE I-20:ARCHITECTURE DU SENS DESCENDANT. D'UN RESEAU PON 22

FIGURE I-21:ARCHITECTURE DU SENS MONTANT D'UN RESEAU PON..... 22

Chapitre II : Mesures et performances d'une liaison optique

FIGURE II-1: CONNECTEURS OPTIQUES LES PLUS UTILISES	27
FIGURE II-2: CONNECTEUR OPTIQUE ST	27
FIGURE II-3: CONNECTEUR OPTIQUE SC.....	28
FIGURE II-4: CONNECTEUR OPTIQUE FC.....	28
FIGURE II-5: CONNECTEUR OPTIQUE LC.....	29
FIGURE II-6: RETIRER LA PROTECTION PLASTIQUE (COATING) DE LA FIBRE	30
FIGURE II-7: NETTOYER LES FIBRES AVEC UN PAPIER NON PELUCHEUX, IMBIBE D'ALCOOL	30
FIGURE II-8: CLIVER LES FIBRES OPTIQUES AVEC UNE CLIVEUSE DE PRECISION	31
FIGURE II-9: REALISATION DE LA SOUDURE.....	32
FIGURE II-10: PLACER LE MANCHON DE PROTECTION.....	32
FIGURE II-11: EVALUATION DE LA PROTECTION D'EPISSURE	33
FIGURE II-12: EVALUATION DE LA QUALITE DE LA SOUDURE.....	33
FIGURE II-13: LA FIN DU TUTO CONCERNANT LA SOUDURE OPTIQUE.	33
FIGURE II-14: UN REFLECTOMETRE OPTIQUE.....	34
FIGURE II-15: TRACE OTDR TYPIQUE	38
FIGURE II-16: SIGNAL RETRODIFFUSE	38
FIGURE II-17: RETRODIFFUSION DE RAYLEIGH ET REFLEXIONS DE FRESNEL.....	39
FIGURE II-18: TRACE LIAISON COMPLETE.....	40
FIGURE II-19: LES EVENEMENTS REFLECHISSANTS.....	41
FIGURE II-20: DEBUT DE LA FIBRE DANS OTDR.....	41
FIGURE II-21: UNE FISSURE	42
FIGURE II-22: CONNECTEUR OU EPISSURE MECANIQUE.....	42
FIGURE II-23: LA FIN DE FIBRE.....	43
FIGURE II-24: UNE RUPTURE DE FIBRE.....	43
FIGURE II-25: EVENEMENT NON REFLECHISSANT	44
FIGURE II-26: SCHEMA DE L'EVENEMENT NON REFLECHISSANT	44
FIGURE II-27: TRACE CARACTERISTIQUE D'UN OFDR	47

Chapitre III : Surveillance des réseaux PON

FIGURE III-1: ARCHITECTURE DE SYSTEME. 50

FIGURE III 2: ARCHITECTURE CLIENT/SERVEUR 51

FIGURE III-3: SCHEMA DE SYSTEME DE SUPERVISION..... 53

FIGURE III-4: INTERFACE DU L’U2000 54

FIGURE III-5: BASE DE DONNEES DE L'APPLICATION U2000..... 54

FIGURE III-6: HIERARCHIE DE L'U2000. 55

FIGURE III-7: DIFFERENT ALARME SUR U2000..... 56

FIGURE III-8: ONMSI OFFERS A COMPREHENSIVE FIBER MONITORING SOLUTION:
IT SUPPORTS METRO, CORE, ACCESS, AND PON NETWORKS.....58

FIGURE III-9: EQUIPEMENT RTU 58

FIGURE III-10: CARTOGRAPHIE GEOGRAPHIQUE D’ONMS 59

FIGURE III-11: GESTION DES ALARMES D’ONMS 60

Liste des tableaux

Chapitre I: Généralité sur les réseaux d'accès optique passifs

TABLEAU I-1:COMPARAISON ENTRE FIBRES MONOMODES ET FIBRES MULTIMODES.....7

TABLEAU I-2: LES DIFFÉRENTES CAUSES D'ATTÉNUATION.11

TABLEAU I-3 : LES FENETRES DE TRANSMISSION OPTIQUE.....12

TABLEAU I-4:COMPARAISON ENTRE P2P ET PON.18

TABLEAU I-5: RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES DES PON NORMALISÉS24

Chapitre II : Mesures et performances d'une liaison optiques

TABLEAU II.1: PRESENTATION DES TRACES CORRESPONDANT A LA PLUPART DES EVENEMENTS NON-R.....45

Liste des acronymes

APON « ATM-PON » : Asynchrones Transfert Mode Passive Optical Network

BPON : Broadband Réseau Optique Passif

CSMA/CD: Carrier Sens Multiple Access with Collision Detect

EPON: Ethernet Passif Optical Network

FSAN: Full Service Access Network

FTTB: Fiber To The Building

FTTC: Fiber ToThe Curb .fiber to the Cabinet

FTTH : Fiber to the Home.

FTTN: Fiber To The Node

GPON: Gigabit Passive Optical Network

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

LAN: Local Area Network

MAN: Metropolitan Area Network

MMF: Multi Mode Fiber.

OFDR: Optical Frequency Domain Reflectometry

OLT: Optical Link Terminal

ONMS: Optical Network Management System

ONT : Optical Network Terminal

ONU: Optical Network Unit

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer

OTM: Optical Testing Module

OTU: Optical Testing Unit

P2MP: Point to Multi-Point.

P2P: Point to Point

PON: Passive Optical Network

RCD : Réseaux de Communication de Données

RT U: Remote Test Unit

TIC: technologies de l'information et de la communication

A decorative graphic of a scroll with an orange border and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

Introduction générale

Introduction générale

Les réseaux en fibre optique se sont imposés comme le support de transmission par excellence. Ainsi, les différentes techniques d'accès haut débit, comme l'asymétrique « Digital Subscriber Line (ADSL) » développé sur le réseau cuivre, utilisent récemment la fibre optique comme support de transmission ceci pour un nombre d'utilisateurs de plus en plus élevé. La fibre optique, initialement déployée dans les réseaux très longue distance et très fort débit tend aujourd'hui à se généraliser pour offrir des services plus consommateur en terme de bande passante. Il s'agit des technologies FTTH ou bien (Fiber to the Home). Par conséquent, les opérateurs télécoms essaient de raccourcir le plus possible les délais. Paires de fils de cuivre existantes qui connectent les clients au réseau.

L'architecture FTTH (Fibre To The Home) constitue l'une des alternatives offertes. Aux opérateurs de télécommunications leur permettant de délivrer des services interactifs à haut débit en amenant la fibre optique jusqu'au domicile. Parmi ces différentes implémentations on trouve le réseau optique passif PON (Passive Optical Network), qui est défini comme étant le segment réseau entre le premier équipement d'agrégation de l'opérateur d'accès et l'utilisateur. Plusieurs standards PON existent, soutenus par des organismes de normalisation: le FSAN « Full Service Access Network » et l'IEEE « Institute of Electrical and Electronics Engineers ».

Les solutions de monitoring, et de surveillance des réseaux optiques sont d'un intérêt capital afin d'offrir une qualité de service optimale aux utilisateurs. Elles sont conçues en fonction des équipements de test OTDR fixes positionnés stratégiquement dans le réseau, mais également par l'utilisation de logiciels spécialisés. L'état des installations optiques est constamment vérifié, et les dégradations ou coupures sont signalées en quelques minutes. Grâce à ces techniques, ces solutions automatisent et accélèrent les tests aux différentes étapes du cycle de vie du réseau. Ce mémoire présente une contribution à l'étude des solutions envisagées. On s'intéressera à l'architecture client/serveur, la gestion de la surveillance de fonctionnement des alarmes, la programmation et le suivi des appareils. En particulier, l'une des solutions pour l'évaluation continue de la qualité de ces réseaux consiste à l'utilisation d'outils logiciels qui comprennent un système intégré de surveillance et de gestion des fibres.

Les logiciels concernés dans cette partie sont iManager U2000 et Optical Network Management System (ONMS) qui sont utilisés actuellement par Algérie Télécoms dans la surveillance, et la gestion des réseaux PON.

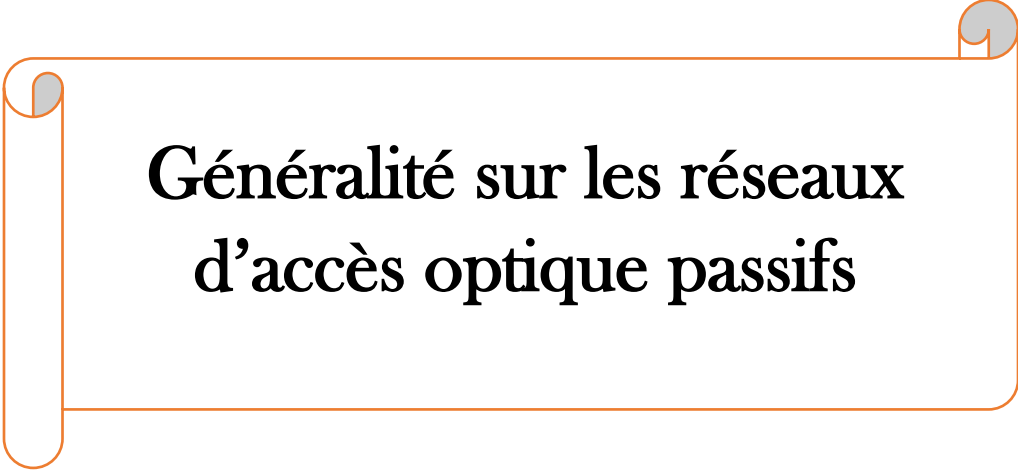
Le présent projet de fin d'études est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur la propagation de la lumière dans les fibres optiques. Nous présentons ensuite les différents types de fibres existantes : monomodes et multimodes à saut d'indice et à gradient d'indice. Ce chapitre introduit les réseaux optiques, en particulier les réseaux optiques passifs, ses éléments constitutifs, son principe de fonctionnement. Nous décrivons aussi deux principales catégories d'architecture de réseau PON : point à point, point à multipoints passif, FTTH (Fibre To The Home), avec ses différents éléments tels que L'ONT, L'ONU, et le coupleur et on finira notre chapitre par présente quelques avantages et inconvénients du réseau PON « Passive Optical Network ».

Le second chapitre présente les différentes techniques utilisées pour la surveillance des réseaux optiques et le principe de fonctionnement des instruments utilisés pour le test de continuité (à titre d'exemple OTDR, OFDR émetteur récepteur). Pour chacune d'elles on donnera les avantages et les limitations qui sont dépendantes. Ensuite on étudiera l'influence de la connectique et comment intervenir au niveau d'une panne dans un réseau en particulier au niveau du coupleur ou diviseur de puissance

Enfin, le dernier chapitre, est consacré à l'étude et à la mise en œuvre des solutions pour la surveillance des réseaux PON. En particulier la présentation du logiciel de surveillance des pannes U2000.

Chapitre I



**Généralité sur les réseaux
d'accès optique passifs**

I.1 Introduction

Nous sommes maintenant dans une période de développement continu d'internet et du moyen de transmission d'informations le plus rapide. Lorsqu'il s'agit de transmettre des débits de données élevés sur de longues distances, avec un grand nombre de canaux, l'utilisation de la fibre optique représente le moyen de transmission le plus fiable et le plus rapide. Le réseau d'accès optique est basé sur l'utilisation des fibres optiques. Ils remplaceront les fils de cuivre qui ne peuvent pas répondre aux besoins des clients. Ensuite, les caractéristiques, les défauts et les différentes utilisations des fibres optiques seront présentés. Nous nous intéresserons à proposer différents standards d'accès optique.

I.2 La fibre optique

I.2.1 Définition

La fibre optique désigne le support de transmission où les informations se propagent sous forme d'impulsions lumineuses dans une fibre en verre, ou de plastique. Elle est capable de transmettre des ondes lumineuses pendant de longues distances avec une perte minimale, elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et prend en charge un réseau «haut débit», comme la télévision, le téléphone ou les données informatiques. Les fibres optiques sont couramment utilisées en informatique pour transmettre des données à des vitesses très élevées et sur de longues distances. Toutefois, elle possède d'autres applications répandues comme en médecine on parle alors de fibroscopie (en temps réel un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie). En automatisation (pour la mesure de capteurs en temps réel) ou en éclairage décoratif.



Figure I.1 : L'utilisation de la fibre optique

I.2.2 Structure de la fibre optique

La fibre optique se présente sous forme d'un cylindre de verre de quelques centaines de micromètres de diamètre. La fibre optique est constituée d'un cœur de silice de haut d'indice de réfraction et une gaine avec un indice de réfraction plus faible que celui du cœur, le tout enveloppé d'un revêtement protecteur (une gaine en plastique) (Figure I.2).

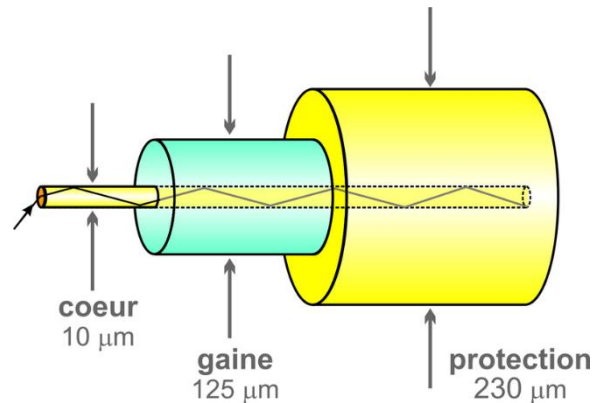


Figure I.2 : Structure de la fibre optique

D'une manière générale, le câble à fibre optique a trois éléments principaux :

- **Le cœur**

Le cœur de la fibre est un milieu diélectrique intérieur, composé de silice très pure et à un diamètre compris entre 10 à 85µm selon le type de fibre et peut varier en fonction des constructeurs.

Le cœur permet de transporter un signal optique, il est caractérisé par un indice de réfraction noté n_1 .

- **La gaine**

La gaine entoure le cœur d'un milieu diélectrique, permet d'éviter que le signal optique sorte du cœur (elle se comporte comme un miroir), elle est caractérisée par indice de réfraction n_2 . Il faut que n_1 soit supérieur n_2 ($n_1 > n_2$) pour que la lumière soit confinée à l'intérieur du cœur

- **La gaine plastique**

Aussi appelé la gaine protectrice, C'est une couche qui permet de couvrir la fibre optique contre les parasites (pluie, orage, humidité...) elle est de l'ordre de 230µm.

I.2.3 Les types de fibre optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories :

- **Multimode:** dans lequel il existe différents modes de propagation dans le cœur de la fibre.
- **Monomode:** où il n'y a qu'un seul mode de propagation .

I.2.3.1 Fibres multimodes

La fibre optique multimode est une fibre dont le diamètre important permet à plusieurs ondes lumineuses d'y voyager en même temps. Plusieurs informations peuvent donc être transmises via ces câbles mais elles peuvent arriver au bout de la ligne à des moments différents selon leur angle de réfraction à l'intérieur de la fibre.

Elle est employée pour de courtes distances et est la plus répandue pour les réseaux privés. Parmi les fibres multimodes, Nous trouvons deux sous catégories:

Les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gb/s) et les fibres à saut d'indice ou faible d'indice (Débit limité à 50 Mb/s).

A. Fibres optiques multimodes à saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire, un grand nombre de rayons lumineux se propage par réflexion totale. Le nombre de rayons est fonction de l'angle d'incidence de la lumière. La réflexion totale interne en "dent de scie" est assurée par les valeurs des indices de réfraction n_1 (cœur) et n_2 (gaine) avec toujours $n_1 > n_2$. Ces rayons arrivent au récepteur avec des retards différents, mais ils deviennent importants pour des grandes distances qui engendrent une dispersion de l'énergie du signal. Ce sont bien entendu des informations non quantitatives, elles utilisent les longueurs d'onde 850nm et 1300nm.

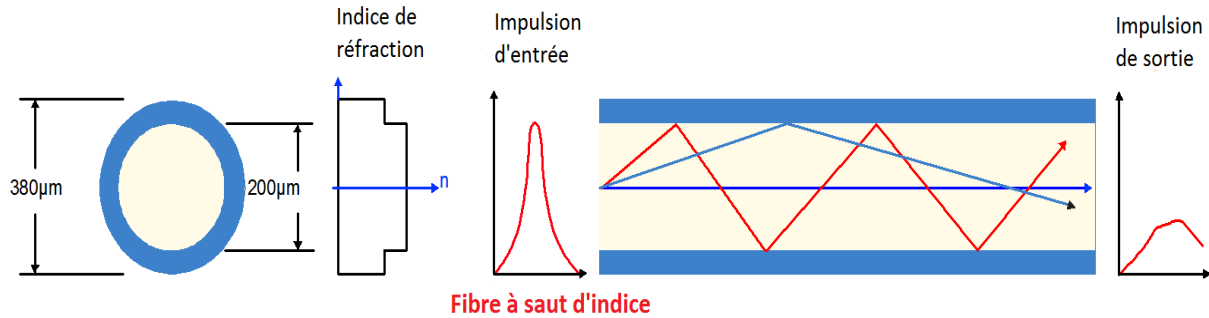


Figure I.3 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multimode à saut d'indice.

B. Fibres optiques multimodes à gradient d'indice

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire, elle aussi utilisée dans les réseaux locaux et elle est caractérisée par un faible diamètre du cœur, les rayons lumineux à l'intérieur d'une fibre à gradient d'indice suivent un parcours sinusoïdal. La variation de l'indice de réfraction du cœur est très faible autour d'une valeur n_1 égal $1.48 \mu\text{m}$, ce type de fibre permet de minimiser le débandement modal.

La figure I.4 montre les trajets sinusoïdaux de la fibre à gradient d'indice.

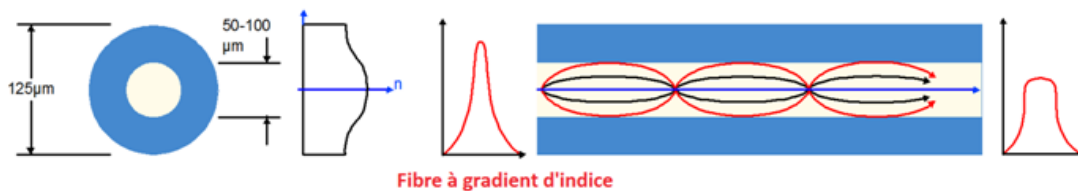


Figure I.4 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Multi-mode à gradient d'indice

Les fibres à gradient d'indice sont les plus utilisées pour les moyennes distances, l'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faibles que dans la fibre à saut d'indice.

I.2.3.2 Fibres monomodes

La fibre optique monomode possède un diamètre inférieur à la précédente, se qui a pour conséquence qu'une seule longueur d'onde peut traverser la fibre d'un bout à l'autre. Toutefois, cela permet en échange une déformation très faible du signal en raison de sa dispersion quasi nulle, ce qui a pour conséquence des performances 50 à 100 fois plus importantes que le multimode.

En raison de ses performances accrues, la fibre monomode est plus coûteuse que la multimode. C'est pour cette raison qu'elle est employée pour des connexions réseau longue et très longue distance.

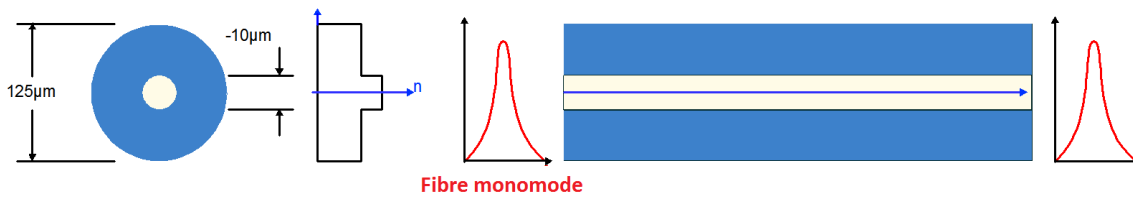


Figure I.5 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Monomode

I.2.4 Comparaison entre la fibre monomode et multimode

Le tableau suivant compare les caractéristiques de ces deux familles de fibres optiques :

Fibre Monomode	Fibre Multi-mode
Ouverture numérique faible (connexion délicate)	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (qlq dixième de dB/Km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
Haut débit pour des longues distances	Réseaux locaux
Bande passante très grande	Bande passante raisonnable
Prix très élevé	Faible prix
Diamètre du cœur 5 à 10 (µm)	Diamètre du cœur 50 (µm)
Diamètre de la gaine 125 (µm)	Diamètre de la gaine 125 (µm)

Tableau I.1: Comparaison entre fibres monomodes et fibres multimodes [2].

D'après le tableau I.1 on note que le diamètre du cœur d'une fibre monomode est inférieur à celui de la fibre multimode car il y'a un seul signal qui se propage à l'intérieur de la fibre monomode. Tandis que dans la fibre multimode elle contient plusieurs signaux. On constate aussi que l'atténuation de la fibre monomode est inférieure à celle de la fibre multimode.

I.2.5 Spectre de la lumière

Il faut toutefois rappeler que la lumière est une onde électromagnétique qui se caractérise par une longueur d'onde ; déplacement de l'onde pendant un cycle de vibrations et par une fréquence f (nombre de cycles par seconde). La fréquence et la longueur d'onde sont liées par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{I.1})$$

La lumière visible c'est une petite partie de ce qu'on appelle le spectre électromagnétique.

- Dans le spectre visible, le spectre s'étend du violet au rouge, ce qui correspond dans l'air ou dans le vide aux longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm.
- La communication par fibre optique utilise les longueurs d'onde comprises entre 800 et 1600 nm, dans le domaine de l'infrarouge, située dans l'invisible.

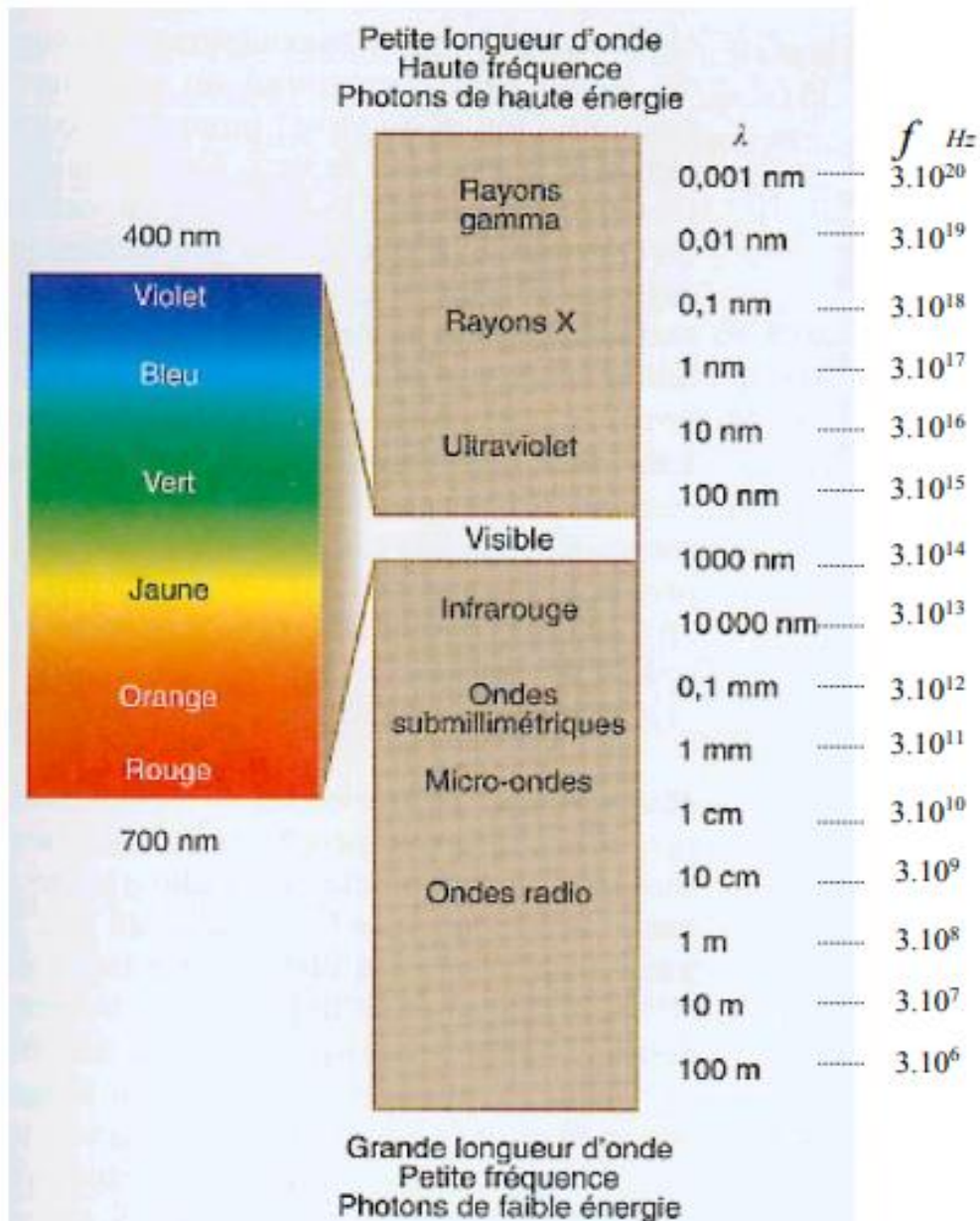


Figure I.6 : Le spectre de la lumière et les Longueurs d'onde utilisées pour la fibre optique.

I.3 Différents effets sur la transmission optique (l'origine de l'atténuation)

La fibre optique est caractérisée par plusieurs paramètres tel que : l'atténuation.

I.3.1 L'atténuation

Une perte, ou atténuation se traduit en fibre optique par la perte d'énergie lumineuse dans la fibre. La lumière, lorsqu'elle se propage le long de la fibre, s'affaiblit progressivement. Cette atténuation s'exprime par une valeur en dB/km (décibel par kilomètre). Cette atténuation dépend de la longueur d'onde (λ), c'est à dire de la couleur (fréquence) de la lumière. En conséquence la longueur d'onde de la lumière utilisée pour transmettre un signal dans une fibre optique n'est pas choisie au hasard.

Les longueurs d'onde utilisées sont :

- 850 nm (nanomètres) et 1300 nm en multimode.
- 1310 nm et 1550 nm en monomode.

L'atténuation provient principalement des phénomènes résumés dans le tableau et la figure suivantes : [3]

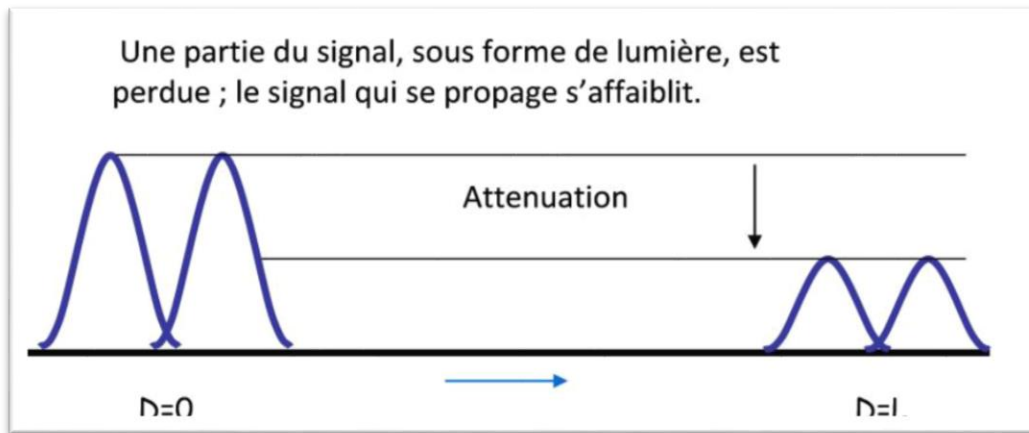


Figure I.7 : La perte d'énergie lumineuse dans la fibre

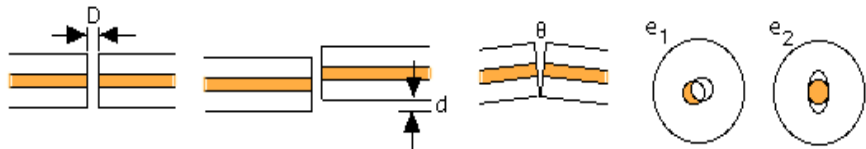
Type de pertes	Explications
Absorption	Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
Diffusion	Variation locale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. Changements de densité ou de composition dans la matière
Courbures	lorsqu'on courbe une fibre, l'angle d'incidence diminue, ce qui a pour conséquence soit une conversion de mode, soit un rayonnement dans la gaine
Pertes de connections	Séparation longitudinale Désalignement radial/angularaire Excentricité/ellipticité des cœurs 

Tableau I.1: Les différentes causes d'atténuation.

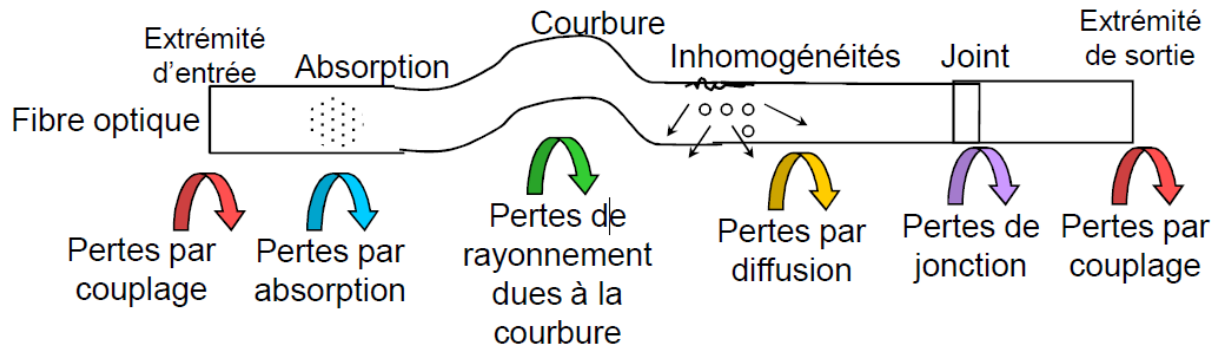


Figure I.8 : Les causes d'atténuation.

Les pertes introduites par couplage sont en général d'environ 0,2 dB.

I.3.2 Les fenêtres de transmission en optique

Nous présenterons dans le tableau I.3 les fenêtres de transmission optique.

Fenêtre	Première	Deuxième	Troisième
Longueur d'onde	850nm	1300nm	1550nm
Type de fibre Optique	Multimode	Multimode et monomode	Monomode
Atténuation	Forte (2 à 4 dB/km)	Faible (0,4 à 1 dB/km)	Très faible (0,2dB/km)
Emetteurs	DEL, Lasers (très hauts débits)	DEL	Diodes laser DFB (monochromatique)
Récepteurs (Matériaux)	Silicium	GaInASP/InPGe,HgCdte (très peu employés)	
Applications	Transmissions courtes distances, réseaux locaux, gigabit à très courtes distance	Transmissions moyennes et longues distances MAN et LAN haut débit	Transmissions très longues distances (WAN) et amplification optique

Tableau I.3 : les fenêtres de transmission optique [14].

La première fenêtre à 850 nm (3,53.105 GHZ) correspond à l'utilisation de coupleurs à coût minimal. Ce n'est pas l'optimum d'utilisation des fibres, mais dans les liaisons à faible distance, comme dans les réseaux locaux, cette fenêtre est parfaitement adaptée. Généralement, on lui préfère la fenêtre de 1300 nm (2,3.105 GHz), l'atténuation n'est alors que l'environ 0,5 dB/km. La fenêtre située à 1550 nm (1,93.105 GHz) a l'avantage de ne présenter qu'une atténuation d'environ 0,2 dB/km, mais les coupleurs sont plus coûteux.

I.4 Les réseaux optiques passifs (Passive Optical Network, PON)

I.4.1 Introduction

Les réseaux optiques ont connu un développement rapide ces dernières années. Ce développement est dû à l'augmentation de la demande en débit. Téléchargement, vidéos et images en haute-définition et visioconférence, Toutes ces applications nécessitent une grande bande passante afin d'accéder à l'information le plus rapidement possible.

La demande d'une bande passante plus élevée a provoqué la mise en place des réseaux d'accès de type FTTH (Fiber To The Home) à base large bande. Parmi les différentes implémentations FTTH on trouve le réseau optique passif PON (Passive Optical Network) connu aussi sous le nom.

Un réseau point-à-multipoint (P2M), qui peut fournir des débits très élevés aux clients, une grande zone de couverture, un déploiement de la fibre réduit à la suite de son architecture point-à-multipoint, et un coût réduit de l'entretien grâce à l'utilisation de composants passifs dans le réseau.

I.4.2 Les réseaux optiques

D'une manière générale, un réseau de télécommunication par fibre optique peut être décomposé en deux catégories:

- Le réseau d'accès - couvrant des dimensions de l'ordre de quelques kilomètres, aussi appelé réseau local (Local Area Network : LAN),
- Le réseau métropolitain (Métropolitain Area Network : MAN), ayant des dimensions de l'ordre de la centaines de kilomètres,

I.4.3 Les réseaux d'accès optiques

Le réseau d'accès optique est souvent constitué par une partie en fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

Ce réseau assure l'accès au réseau téléphonique public pour les applications vocales, comme il permet l'accès aux applications de transfert de données (voix et vidéo) grâce à l'emploi des techniques numériques.

On distingue les techniques FTTx (Fiber To The x) qui consistent à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur afin d'augmenter la qualité de service en particulier le débit. Nous citons ici les configurations les plus répandues, selon la localisation de la terminaison de réseau optique:

✚ FTTH (Fiber To The Home)

Il s'agit d'une technologie qui apporte de la fibre optique jusqu'à l'abonné, permettant l'accès à l'internet et aux services à des débits de 10Mbit/s à 1Gbit/s.



Figure I.9 : Structure d'un réseau FTTH

✚ FTTB (Fiber To The Building)

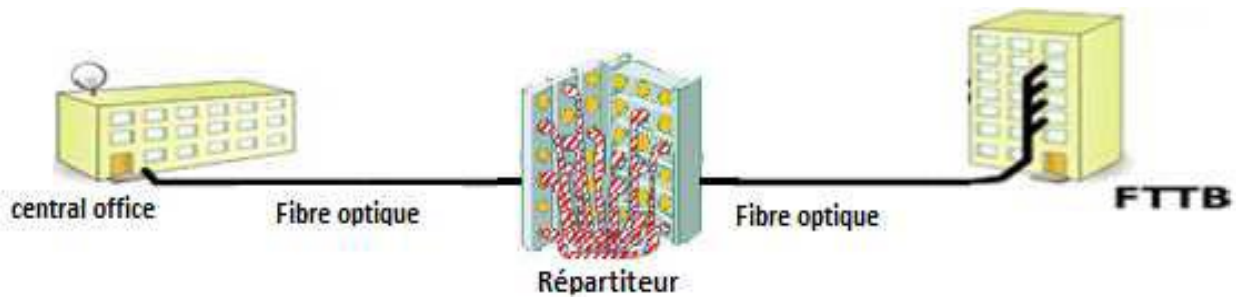


Figure I.10 : Structure d'un réseau FTTB.

C'est une technique de raccordement avec laquelle la fibre optique arrive jusqu'au bâtiment de l'abonné mais où on retrouve un autre type de câble sur les derniers mètres (cuivre, coaxial). Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.

✚ FTTC(Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau.

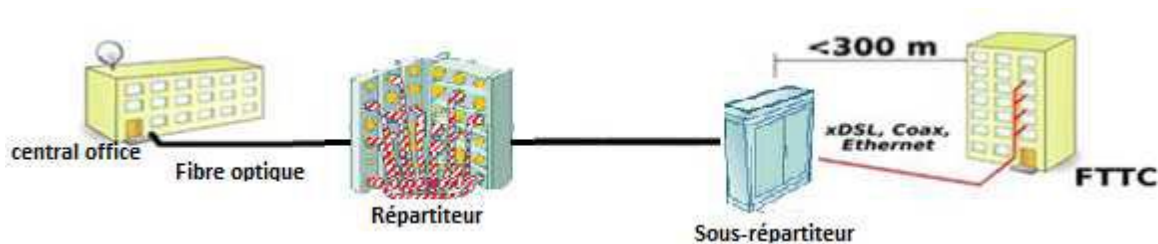


Figure I.11 : Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.

✚ FTTN (Fiber To The Node)

Le raccordement par fibre s'effectue jusqu'au répartiteur. Au-delà de ce point, la liaison se fait par un câble coaxial, ou paire cuivrée.

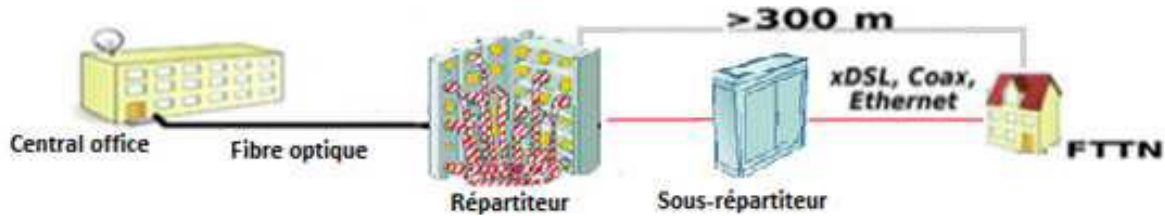


Figure I.12 : Structure d'un réseau FTTN.

Pour les topologies **FTTB**, **FTTC**, **FTTN**, la partie terminale utilise généralement la paire téléphonique avec un système de transmission ADSL, ou VDSL selon la portée.

I.4.4 Architecture des réseaux FTTH

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile. Elle ne fait appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné (pas de partage) et de sécurité de transfert (les données des différents utilisateurs sont séparées), mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur [4].

Deux types de topologies physiques sont utilisés pour acheminer la fibre vers le client final:

- L'architecture active, aussi appelée point à point (P2P) qui utilise généralement des technologies de transmission Ethernet.
- L'architecture passive est appelée communément point à multipoint (PON).

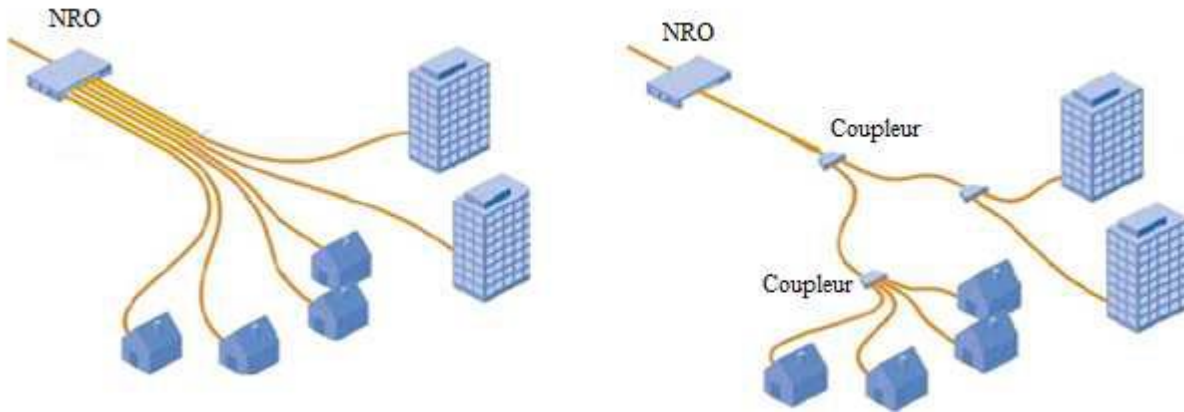


Figure I.13: Point to Point (P2P) // Point to Multi-Point (P2MP).

I.4.5 Architecture point à point

Le point-à-point est l'architecture la plus simple à mettre en œuvre parmi les topologies physiques du réseau d'accès optiques, elle consiste à avoir un lien physique en fibre optique directement entre le central et l'abonné. Chaque abonné est raccordé au répartiteur optique du réseau le plus proche.

Le déploiement de cette technologie revient plus cher, le nombre de fibres à produire et à connecter étant plus élevé. C'est un inconvénient pour les opérateurs.

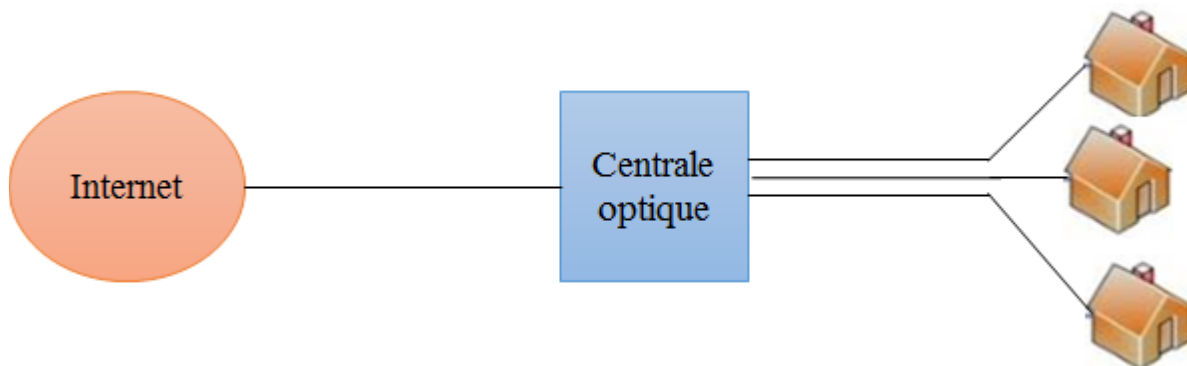


Figure I.14 : Architecture point à point.

✚ Avantages

- Une bande passante maximale.
- Un débit garanti.
- La gestion du réseau est très simplifiée.

- Permettre l'allocation de toute la bande passante potentiellement disponible sur une fibre pour un abonné.
- Pertes de puissance minimales.

Inconvénients

- Pas de mutualisation de la fibre.
- Consommation d'énergie importante.
- Une infrastructure coûteuse.
- Encombrement à l'intérieur du central dû au grand nombre de transcrives.

I.4.6 L'architecture point à multipoint passive ou PON (Passive Optical Network)

Le point-multipoint passif, PON en anglais pour Passive Optical Network, est une solution moins onéreuse que le point à point passif.

Une fibre unique part du central et dessert un groupe de fibre au niveau d'un point de partage. Il est ainsi possible de desservir plusieurs habitations à partir d'une seule fibre. Les trois équipements composant un PON sont :

- L'optical Link Terminal (OLT) : Il fait le lien entre le backbone de l'opérateur et la fibre unique.
- Le coupleur Optique ou splitter : C'est un équipement passif qui a un fonctionnement identique à un hub. Dans le sens descendant, le coupleur réplique le signal à destination de tous les abonnés. Les données sont étiquetées en fonction du destinataire. Chaque abonné choisira en fonction de l'étiquette si l'information lui est destinée. Dans le sens montant, le coupleur combine les signaux optiques suivant un « partage du temps de parole » (TDM) tel un multiplexeur.
- L'optical Network Terminal (ONT) : Situé chez le client, il fait l'interface entre la fibre issue du coupleur et le modem [28].

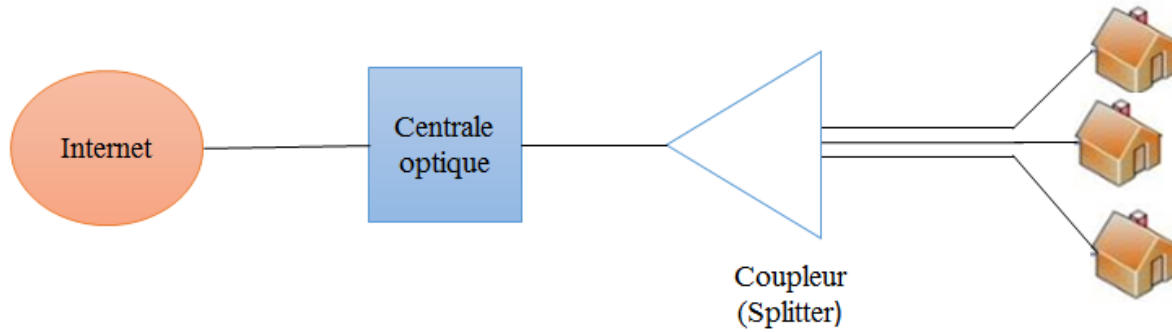


Figure I.15 : Architecture point à multipoint.

La caractéristique remarquable de ce type d'architecture de réseau, permet d'éliminer tous les composants actifs présents entre la station centrale (OLT) et l'abonné (ONT), en utilisant des composants optiques passifs pour acheminer le trafic à travers le réseau [6].

Le choix de l'architecture point à point ou point à multipoint, dépend du type de services devant être fournis, du coût de l'infrastructure.

➤ Avantages

- Une infrastructure PON est beaucoup moins coûteuse à mettre en œuvre et à entretenir que P2P.
- Plus rapide à déployer qu'une infrastructure P2P plus complexe.
- Le splitter est un élément passif donc pas d'alimentation nécessaire entre le central (OLT) et le client (ONT).
- Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.
- Architecture favorable à la diffusion.

➤ Inconvénients

- La sécurité des données est limitée.
- Zone de couverture limitée au maximum 20 km en fonction du nombre de divisions (plus de divisions = moins de distance) et le nombre de ONT.
- Pas d'interopérabilité avec d'autres réseaux.
- La bande passante de la fibre est partagée entre plusieurs abonnés.

I.4.7 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON

Le tableau ci-dessous résume une comparaison des deux architectures point à point et point à multipoint : [7]

Type de réseau	Avantages	Inconvénients
Point-to-Point	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grande capacité ○ Une fibre par abonné de bout en bout 	Coût élevé du déploiement
Passive Point à Multipoint (PON)	Grande capacité Utilisation d'éléments passifs (Moindre investissement) Faible coût d'exploitation et maintenance Tous les services dans une fibre	Méthodes de protection nécessaire contre sabotages

Tableau I.4 : Comparaison entre P2P et PON.

I.5 Architecture d'un réseau optique passif (PON)

Un réseau optique passif fonctionne toujours en transmission entre l'OLT et les différents ONT.

Par l'intermédiaire de diviseurs optiques, qui multiplexent ou dé-multiplexent des signaux basés sur leur origine et leur destination. Par conséquent, le PON est une architecture point à multipoints basée sur les éléments suivants :

- ✓ Un OLT (Optical Line Terminal ou Terminaison de Ligne Optique) appelé aussi (NRO),
- ✓ Un ONU (Optical Network Unit ou Unité de réseau optique) est un splitter, dont chacun a une fonction nécessaire et prioritaire sur le réseau optique passif.

Ci-dessous les détails sur les caractéristiques générales et les fonctions de chacun d'eux.

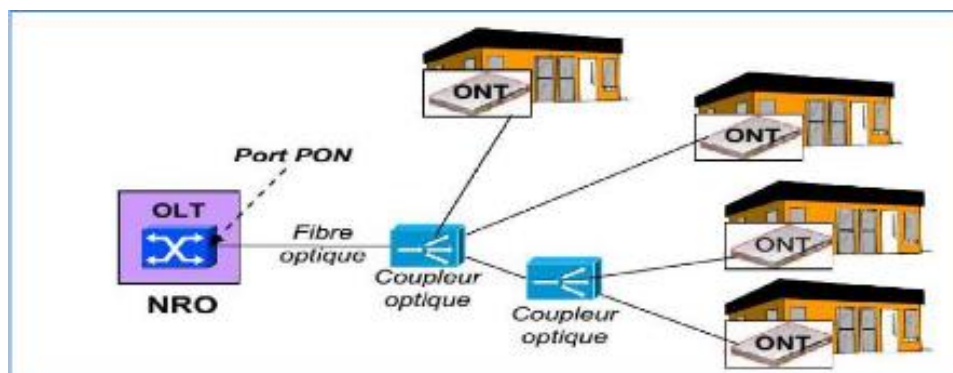


Figure I.16 : Architecture d'un réseau optique passif (PON).

I.5.1 Etude des éléments d'un réseau optique passif

I.5.1.1 OLT (Optical Link Terminal)

Un réseau PON débute par le terminal de ligne optique (OLT) Situé en tête du réseau ou du commutateur FTTx [8].

C'est un équipement actif situé au niveau du central, qui envoie et reçoit les signaux lumineux porteurs des données et permet de contrôler la circulation de l'information et distribuer des services tel que : l'internet, la téléphonie et la vidéo.

L'OLT ou NRO est lui-même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals (résidences, entreprises...) appelé ONU ou ONT. Les réseaux PON ont classiquement une portée de 20 kilomètres.



Figure I .17: Ligne optique terminal OLT.

I.5.1.2 ONU/ONT (Optical Network Unit / Optical Network Terminal)

L'ONT ce sont des équipements actifs, installés chez les utilisateurs finals du réseau. Ils peuvent être considéré comme un modem optique auquel le client vient connecter sa passerelle d'accès au haut débit, Il garantit l'adaptation optique / électrique et le filtrage des flux entrants et sortants destinés à l'abonné permettant aussi de bénéficier des différents services. Cet équipement est appelé communément ONU « Optical Network Unit » si elle est partagée entre plusieurs clients et suivi d'une transmission secondaire (cas des FTTCab/Curb/Building) ou ONT pour « Optical Network Termination » ou «Terminaison de Réseau Optique » si elle est mono client FTTH.



Figure I.18 : Terminal de réseau optique ONT

I.5.1.3 Coupleur optique (splitter)

Un coupleur optique (splitter) est un composant passif qui nécessite aucune alimentation électrique installé sur le cheminement de la fibre optique entre l'OLT, les ONU sont très accessibles et se déclinent en différents proportions allant de 1x2 à 1x32 jusqu'à 1x64. Le coupleur n'est pas capable d'aiguiller, de modifier, de retarder ou de bloquer les signaux qui le traversent.

Son rôle consiste simplement à distribuer la puissance d'une fibre principale vers une ou plusieurs autres fibres.

La répartition de la puissance entre les différentes sorties dépend en général de la longueur d'onde et de la polarisation du signal d'entrée.



Figure I.19 : Coupleur optique (splitter)

I.5.2 Principe de fonctionnement d'un réseau PON

Un réseau PON comporte un nœud de raccordement optique (OLT), sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce NRO est interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals [9].

Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONU reçoivent toutes les données mais seul l'ONU concerné les retransmet dans le réseau interne de

l'abonné. Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données [10].

✚ Sens descendant :

Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONT reçoivent toutes les données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné.

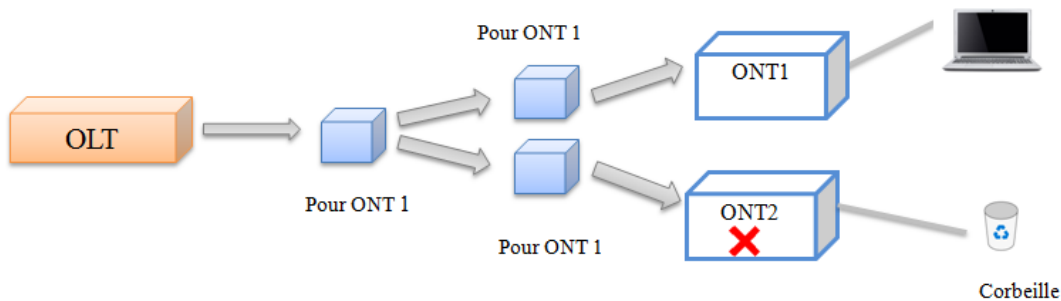


Figure I.20 : Architecture du sens descendant d'un réseau PON

✚ Sens montant :

Le coupleur étant passif, et les ONT émettant tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parvenaient simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT

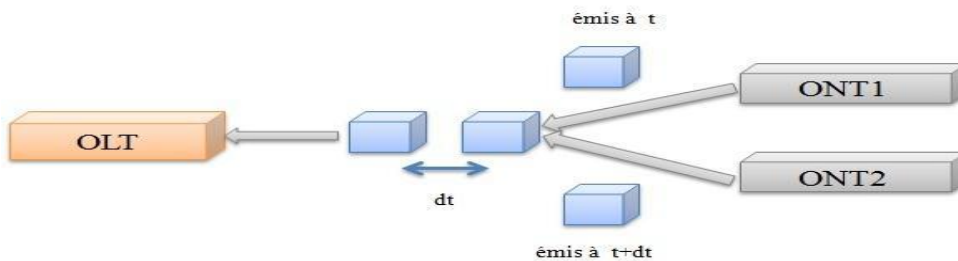


Figure I.21 : Architecture du sens montant d'un réseau PON

I.5.3 Les différents standards d'un réseau PON

Le réseau PON est basé sur plusieurs normes, ces dernières sont classifiées comme suit :

La norme APON

C'est la première norme apparue suite aux travaux démarrés en 1995, dans l'initiative du groupe FSAN (Full Service Access Network) [11].

APON « ATM-PON », d'où son nom l'indique repose sur le protocole ATM (Asynchrones Transfert Mode) comme protocole de transmission. Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournit un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbits/s ou 155Mbits/s pour le sens descendant, 155Mbits/s le sens montant) Avec l'APON les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées sur une seule fibre

La norme BPON

Le BPON (Broadband PON) est une évolution de la norme APON en vu de fournir d'autre services tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo. C'est un réseau de distribution en fibre optique en large bande

Les autres caractéristiques des réseaux APON / BPON sont :

- 32 ONUs dans un seul PON.
- La longueur de la fibre peut aller jusqu'à 20 km.
- Pour la voix et les données, les longueurs d'onde utilisées dans le sens descendant et montant sont 1490 nm et 1310 nm respectivement. [12].

La norme EPON

EPON (Ethernet PON) (connu aussi sous le nom de norme IEEE802.3) avec accès CSMA/CD (Carrier Sens Multiple Access with Collision Detect), ce qui signifie qu'il s'agit d'un protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse et de détection de collision. La norme E-PON supporte le service « triple play : Voie, Data et la vidéo sur IP».

La différence principale entre EPON et APON est que dans les architectures EPON les données sont transmises en paquets de longueurs variables jusqu'à 1518 octets selon le protocole IEEE 802,3 pour l'Ethernet, tandis que dans un APON les données sont transmises en cellules de longueur fixe de 53 octets avec un débit symétrique de 1.25Gbit/s pour 64 abonnés à des portées pouvant atteindre 20 km.

Cela permet de fournir EPON les avantages suivants par rapport aux normes APON et BPON :

- Il permet de travailler directement à des vitesses Gbps en raison de son support sur Ethernet. Ce flux n'est pas un utilisateur unique car il doit être partagé entre plusieurs utilisateurs (ONT) comme le système l'a fait.
- L'interconnexion entre les étapes d'EPON est plus simple.
- Certains coûts sont réduits en raison de la non utilisation des éléments ATM et SDH.

La portée maximale est de 10 km entre le splitter et l'ONT, et entre ONTs du même étage (il est prévu d'étendre la distance à 20 km dans les deux cas).

Norme GPON (Gigabit Passive Optical Network)

Gigabit-PON est une solution qui a été éditée par l'ITU-T comme norme de recommandation G.984. Elle offre un débit de 2.5Gbit/s dans la voie descendante et 1.25Gbit/s dans la voie montante comme elle optimise la mise en œuvre des services sur FTTH. Le taux de couplage peut atteindre 64 jusqu'à 128 abonnés sur une distance d'environ 20Km .

L'avantage majeur de GPON est qu'il peut supporter plusieurs services à la fois et permet la transmission des paquets en se basant sur des protocoles différents (ATM, IP).

I.5.4 Comparaison des standards d'un réseau PON

NORMES	APON	BPON	EPON	GPON
Standard	ITU G983	ITU G983	IEEE 802.3ah	ITU G984
Débit descendant	155Mbit/s ou 622Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s	2.5Gbit/s
Débit montant	155Mbit	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s	1.25Gbit/s
Modes de trafic	ATM	ATM	Ethernet	GEM (ATM, Ethernet, TDM)
Nombre de clients	64 max	64 max	32 max	64 max
Longueur d'onde (descendant/montant)	1490nm/1310nm	1490 nm/1310nm	1490nm/1310 nm	1490 nm/1310 nm
Budget optique	15/20/25 dB	15/20/25 dB	15/20 dB	15/20/25/28dB
Distance OLT-ONT	20 Km	20 Km	20 Km	60 Km

Tableau I.2: récapitulatif des performances des PON normalisés [13].

I.5.5 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON

+ Avantages

- ✓ Un OLT peut desservir au moins 64 clients.
- ✓ Architecture favorable à la diffusion (typiquement diffusion TV).
- ✓ Peu de fibre sont employée dans le réseau GPON.
- ✓ Le génie civil a été amélioré et le coût est faible.

+ Inconvénients

- ✓ Le coût optique est limité par le coupleur, donc portée réduite.
- ✓ Débit partagé et limité à la capacité de la fibre commune.
- ✓ La synchronisation est difficile pour la direction pour le sens montant.

I.6 Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux réseaux optiques, en donnant en premier lieu la définition générale et en détaillant les types des réseaux optiques. Les différentes topologies utilisées pour le déploiement des réseaux d'accès ont été présentées : point à point et point à multipoint.

Nous avons défini par la suite le réseau optique passif (PON), ses différents standards et on a conclu par une comparaison entre ces différents standards.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les différentes techniques utilisées pour la surveillance des réseaux optiques et le principe de fonctionnement des instruments utilisés pour le test de continuité.

Chapitre II



**Mesures et performances
d'une liaison optique**

II.1 Introduction

Comme tout support de transmission, les fibres optiques apportent certaines distorsions aux signaux transmis, limitant par conséquent la portée et la capacité de transmission des systèmes envisagés, la portée est limitée par l'atténuation que subit la lumière porteuse de l'information durant sa propagation dans la fibre. Afin d'assurer une bonne qualité de transmission, lors de l'installation, les liens optiques sont validés par des mesures et les prestations sont contrôlées [14]

Bien que très performantes, les fibres optiques subissent des atténuations lors de la propagation du signal. Ces atténuations se mesurent en dB/km elles varient en fonction de la longueur d'onde et correspondent à des pertes en lignes (atténuation linéique) dues à différents phénomènes de propagation.

Dans ce chapitre on va expliquer le principe de mesure de puissance, d'atténuation et de pertes par différents appareils utilisés dans la pratique, ainsi que l'étude de deux liaisons optiques on utilisant le réflectomètre (OTDR).

II.2 Raccordement des fibres optiques

Le raccordement est une étape importante dans le déploiement d'un réseau car il correspond à la mise à disposition et à l'exploitation d'un câble optique. Il est réalisé au niveau des salles informatiques et autres lieux où sont disponibles les extrémités d'un câble optique. Le raccordement optique est effectué au niveau du matériel d'extrémité ou au niveau des boîtes de jonction. Ainsi si le raccordement n'est pas fait dans les règles de l'art, il y a un risque de déployer des fibres inutilisables (elles ne transmettront pas le signal jusqu'au récepteur) et/ou un danger pour la pérennité du réseau.

Trois méthodes permettent de réaliser le raccordement fibre optique :

- le montage de connecteurs sur site.
- la soudure fibre optique (ou épissurage par fusion).
- L'épissurage mécanique.

II.2.1 Le montage de connecteurs sur le terrain

Le connecteur fibre optique ou connecteur optique permet d'aligner et de coupler les fibres optiques pour que la lumière puisse être transmise. En outre, le connecteur se trouve à l'extrémité d'un câble de fibre optique et permet une connexion et une déconnexion rapide de la fibre.

Le connecteur doit être soigneusement aligné à la fibre de verre afin que la lumière émise par le câble optique soit le moins possible interrompue. Il est important de bien choisir ses connecteurs: ils impactent directement la fiabilité et les performances de la transmission optique. Ils sont généralement utilisés dans les centraux téléphoniques, en cas d'installations extérieures ou lors d'installations chez le client. Il existe plusieurs types de connecteurs dont l'utilité varie selon les applications.

Il existe plus d'une centaine de types de connecteurs, mais seule une minorité d'entre eux sont fréquemment utilisés. Les connecteurs peuvent être monomode ou multimode suivant le support de transmission. Les plus utilisés sont au nombre de 4 : SC - LC - FC – ST.

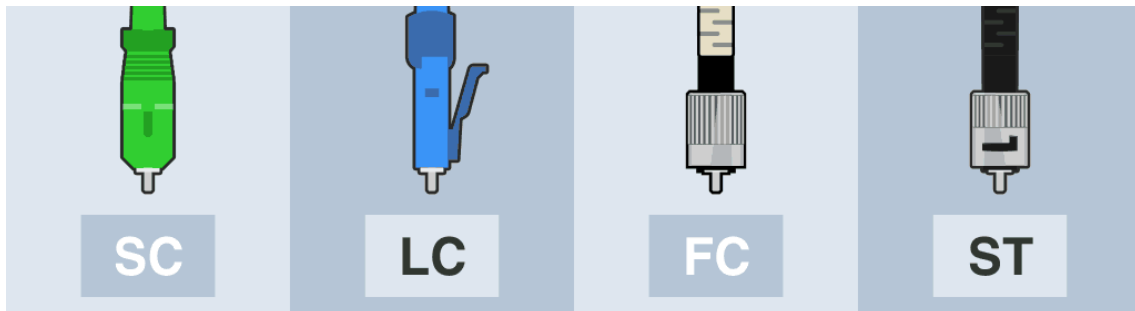


Figure II.1 : Connecteurs optiques les plus utilisés

- ✚ **Connecteur ST (Straight Tip) :** Les connecteurs ST sont de moins en moins utilisés pour les réseaux optiques en intérieur et extérieur. Il possède un système de verrouillage à baïonnette qui assure un verrouillage du connecteur par pression et rotation. Les pertes de connexions sont inférieures à 0,5 (moyenne de 0,3).



Figure II.2 : Connecteur optique ST

- ✚ **Connecteur SC (Standard Connector) :** ou connecteur carré assure le verrouillage par simple pression de type push-pull rapide. Ce connecteur est préféré pour les applications de bureau, de TV ou de téléphonie câblée et d'applications réseau. De plus, il offre un faible coût, une simplicité et une durabilité. . Les pertes de connexions sont à 0,25dB.

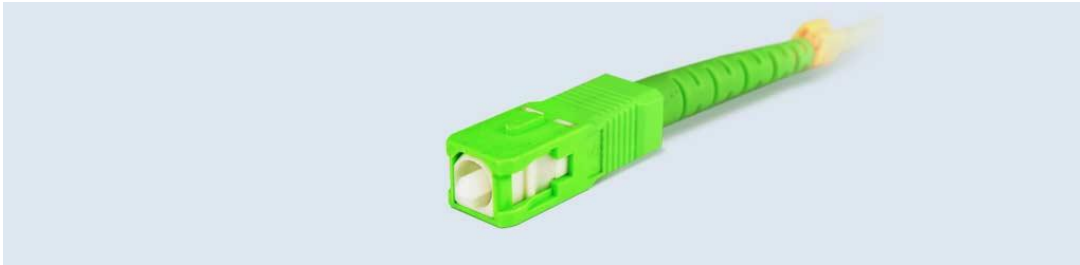


Figure II.3 : Connecteur optique SC

- ✚ **Connecteur optique FC (Ferrule Connector) :** Ce connecteur est utilisé beaucoup dans les fibres monomodes. C'est un connecteur à embout céramique de haute précision. Il tend à être remplacé par des connecteurs SC et LC à cause de la perte de ses vibrations et de sa perte d'insertion. Il est également utilisé dans des instruments de mesures (comme les OTDR).



Figure II.4 : Connecteur optique FC.

- ✚ **Connecteur optique LC (Lucent Connector) :** Les connecteurs LC ont les mêmes propriétés que les connecteurs SC. Ils sont carrés comme le SC, mais deux fois plus petit que celui des connecteurs SC. Généralement, ils sont placés dans des endroits plus difficiles d'accès. Les pertes de connexions sont à 0,1 dB [15].



Figure II .5 : Connecteur optique LC.

Remarque

Lors d'installation du connecteur optique, il y aura des pertes. La perte de lumière due à la connexion est plus élevée que dans le cas d'une épissure.

II.2.2 La soudure fibre optique ou épissurage par fusion

Cette opération consiste à raccorder directement les deux fibres par soudure au moyen d'un arc électrique. Le principal équipement nécessaire est une soudeuse fibre optique et la cliveuse associée. Cette dernière permet de couper la fibre avec un angle précis de 90°. Cet outil est indispensable pour que les deux fibres à connecter aient un angle de coupure identique.

II.2.3 Comment effectuer une bonne soudure

II.2.3.1 Préparer le matériel

Pour réaliser cette opération, vous aurez besoin : d'une soudeuse, une cliveuse, une pince à dénuder, de lingettes non-pelucheuses mais aussi d'alcool isopropylique et de protections d'épissure. Assurez-vous avant de démarrer l'opération que l'ensemble de vos équipements soit bien décontaminé.

II.2.3.2 Dénuder et nettoyer la fibre

La fibre optique est protégée par une ou plusieurs couches de plastic, qui doivent être retirées. Pour cela la pince à dénuder possède plusieurs encoches de diamètres différents adaptées à ces différentes couches. Retirer chaque couche l'une après l'autre. Tenir la pince à dénuder d'une main. Avec l'autre main, tenir l'extrémité de la fibre (vous pouvez l'enrouler autour du doigt pour

qu'elle ne glisse pas) et introduisez la dans l'encoche prévue. Tirer maintenant sur votre pince pour gratter et retirer la protection plastique sur approximativement 3 cm.

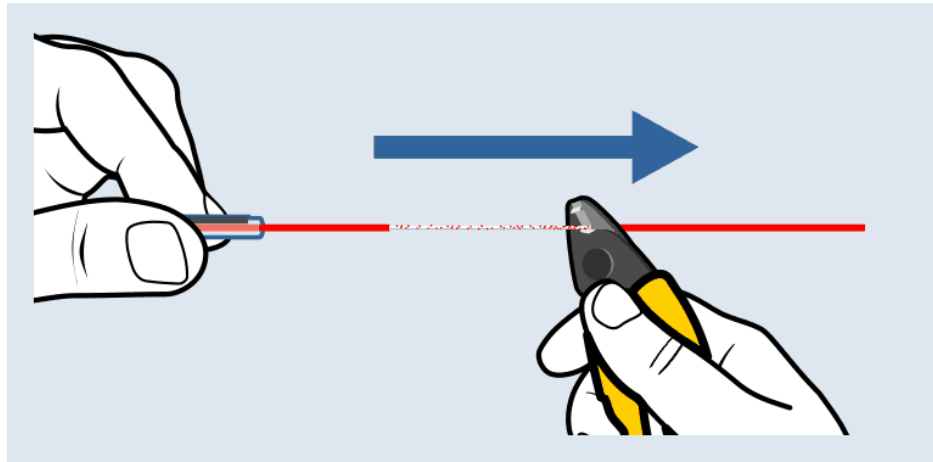


Figure II.6 : Retirer la protection plastique (coating) de la fibre.

Nettoyez ensuite la fibre dénudée à l'aide d'une lingette non-pelucheuse imprégnée d'alcool isopropylique. L'alcool isopropylique 99% permet de nettoyer parfaitement la fibre sans laisser aucun résidu.

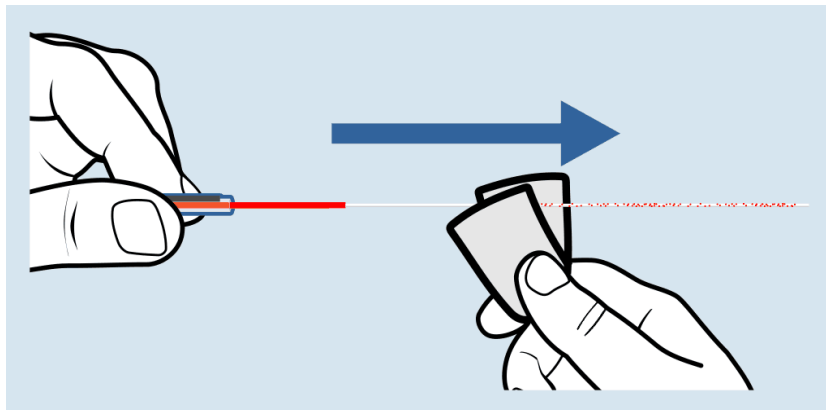


Figure II .7 : Nettoyer les fibres avec un papier non pelucheux, imbibé d'alcool

II.2.3.3 Cliver la fibre

Pour cette étape, nous allons utiliser une cliveuse de précision garantissant un clivage à 90 degré, qui ne pourrait pas être réalisé par d'autres moyens.

Positionnez la fibre dans une des deux rainures correspondant au diamètre de la couche de protection en laissant entre 12 à 17 mm de fibre nue (étape 1). Cette longueur dépend des caractéristiques de la soudeuse et de la longueur du manchon de protection utilisé. Rabattre délicatement le capot (étape 2) et déplacer le chariot de coupe (étape 3). Renouveler l'opération pour la seconde fibre.

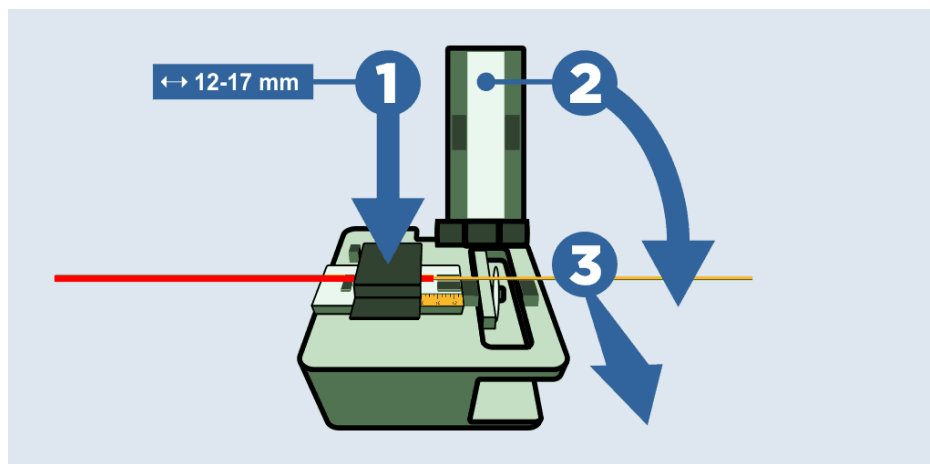


Figure II.8 : Cliver les fibres optiques avec une cliveuse de précision

II.2.3.4 Réaliser la soudure

Tout ce que vous devez faire est de placer les deux extrémités des fibres dans leurs guides respectifs. Les extrémités des fibres doivent être :

- Alignées l'une avec l'autre.
- Centrées par rapport aux électrodes.

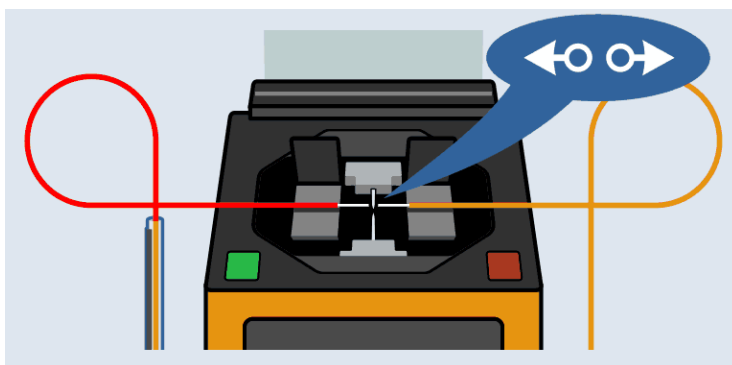


Figure II.9 : Réalisation de la soudure

Pour lancer la soudure, fermez le capot. Si la fonction « démarrage auto » est activée, la soudure s'opère immédiatement. La protection d'épissure ou smouve est nécessaire pour protéger la zone de l'épissure par fusion. Ces manchons sont constitués d'une double gaine thermo rétractable transparente. Avant la soudure, le manchon doit être placé sur une des deux fibres à épissurer ensemble. Une fois les deux fibres raccordées, le manchon est glissé jusqu'à la zone dénudée. Grâce à sa transparence, il est facile de centrer l'épissure.

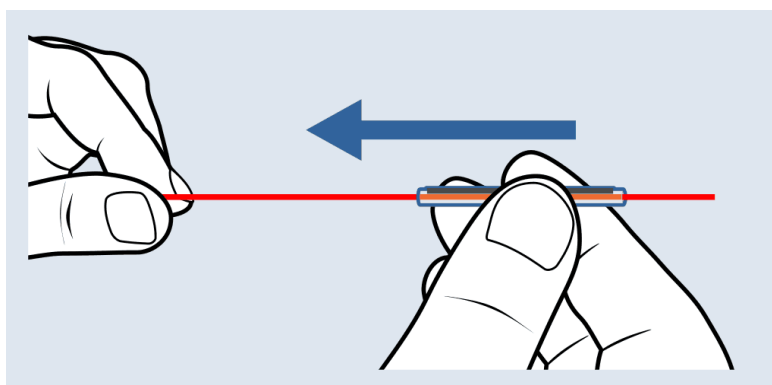


Figure II.10 : Placer le manchon de protection

Pour une protection efficace, la longueur du manchon doit être supérieure d'au moins 20 mm à la zone dénudée. Le rétreint s'effectue de façon uniforme dans un four spécial, souvent solidaire de la soudeuse. Lorsque l'opération est terminée, l'épissure est protégée et la fibre immobilisée. Une fois le cycle de chauffe terminé, un signal sonore est émis par la soudeuse. Il est alors possible de sortir la protection du four, en faisant attention, car il est possible que cette dernière soit encore chaude du fait de la barre métallique présente, Il nous faut donc la placer sur un support de refroidissement en attendant de pouvoir la manipuler sans risque.

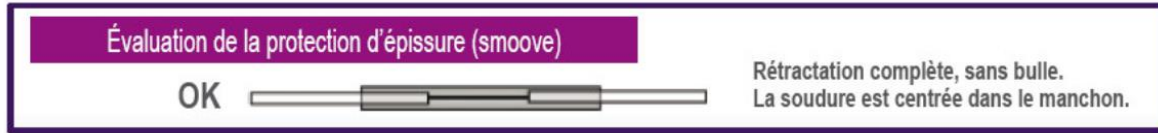


Figure II.11 : L'évaluation de la protection d'épissure

II.2.3.5 Evaluer la soudure

Trois critères permettent d'évaluer la qualité de la soudure [19] :

- La qualité de l'image des fibres soudées : bon alignement des cœurs, absence de poussière ou de bulles d'air.
- La perte de données estimée par la soudeuse.
- La résistance de la fibre au test de traction.

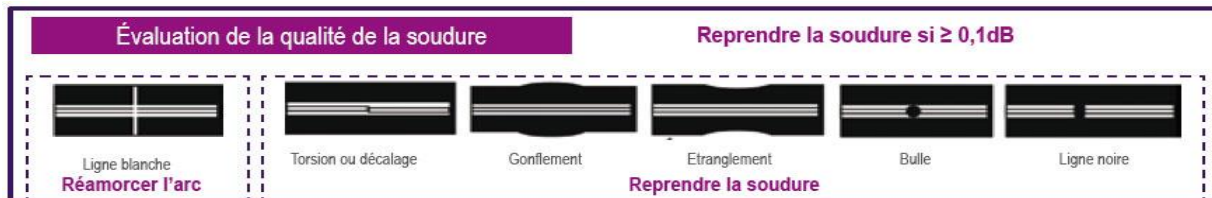


Figure II.12 : Evaluation de la qualité de la soudure

Si la soudeuse interrompt son processus, il peut s'agir des causes suivantes :

- Mauvais placement des fibres dans leurs guides.
- Mauvais clivage.
- Des poussières ou résidus de plastic à l'extrémité de la fibre.

Si le processus s'est bien déroulé, la machine donnera elle-même, en fin d'opération, une estimation de l'atténuation de la soudure.

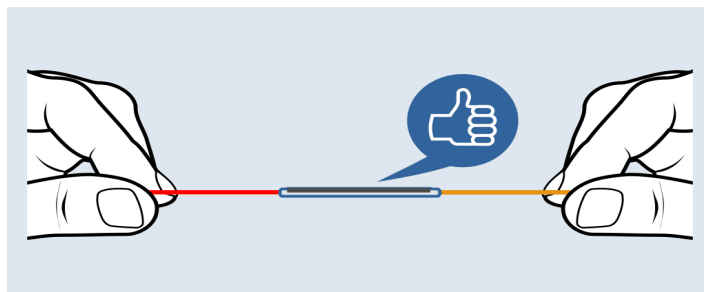


Figure II.13 : la fin du tuto concernant la soudure optique

A partir de maintenant, il est possible de travailler avec la fibre sans craindre de la sectionner au point de fusion.

II.3 Instrument de mesure pour fibres optiques

II.3.1 Mesure de perte de puissance optique (photométrie)

II.3.1.1.1 Réflectomètre optique dans le domaine temporel

Un réflectomètre optique (OTDR : Optical Time Domain Reflectometer) est un instrument de test de longue et moyenne distances utilisé pour caractériser, dépanner et entretenir les réseaux de télécommunication en fibre optique. Au moyen d'un OTDR, notamment voir les pertes, les défauts et les distances entre les événements.

Un réflectomètre optique injecte des impulsions lumineuses provenant d'un laser à travers une fibre optique et analyse la lumière réfléchi. On considère ces mesures comme étant unidirectionnelles car la lumière est insérée à une extrémité du lien de fibre optique.

En utilisant des informations obtenues à partir de la lumière renvoyée ou dispersée jusqu'au point d'origine, l'OTDR fonctionne comme un système de radar optique et fournit à l'utilisateur des données détaillées sur la localisation et l'état général des épissures, connexions, défauts et toutes autres caractéristiques pouvant avoir un intérêt.

L'OTDR est donc un outil précieux pour toute personne qui fabrique, installe et entretient des fibres optiques. La figure suivante montre les portes et l'image de l'OTDR :



Figure II.14 : Un réflectomètre optique

II.3.1.1.2 Principes de fonctionnement d'un réflectomètre optique (OTDR)

Un réflectomètre optique contient une diode laser, une photodiode et un circuit de cadencement ultra précis (ou base de temps). Le principe Consiste à injecter des impulsions lumineuses courtes dans une fibre, générée par une diode laser, dans l'une des extrémités de la fibre optique concernée. Une photodiode mesure le retour d'énergie lumineuse ou de puissance optique (réfléchi et rétrodiffusé) dans le temps et la convertit en valeur électrique échantillonnée et amplifiée. Le temps qui sépare l'émission de l'impulsion de la réception du signal réfléchi donne la position du défaut dans la fibre ce qui sera ensuite affichée graphiquement sur l'écran. La hauteur de l'impulsion réfléchi informe sur l'importance et la nature du défaut. Lorsqu'on envoie une impulsion de lumière de grandes puissances dans une fibre on constate que la puissance transmise en sortie est plus faible que la puissance d'entrée. L'écran affiche une échelle verticale en dB et une échelle horizontale en km, aussi il compose de nombreux points d'acquisition qui représentent la rétrodiffusion des fibres sous test.

Pour localiser les défauts, un réflectomètre ne mesure que des temps; par conséquent, il faut faire intervenir la vitesse de groupe donc l'indice de réfraction, pour déterminer la distance du défaut.

La formule suivante explique comment l'OTDR mesure la distance

- Le temps est converti en distance :

$$D = \frac{(c \times t)}{2n} \quad (\text{II.1})$$

$$V = \frac{c}{n} \Rightarrow D = \frac{V \times t}{2} \quad (\text{II.2})$$

Où:

c = vitesse de la lumière dans le vide (3×10^8 m/s)

t = temps entre l'envoi de l'impulsion et sa réception

n = indice de réfraction de la fibre testée (tel que spécifié par le fabricant)

V = Vitesse de l'impulsion dans la fibre

D =Distance le long de la fibre

II.3.2 Modes d'utilisation

L'OTDR peut être utilisé soit en mode automatique ou en mode avancé (manuel).

Mode Automatique

Le mode Automatique est conçu pour être utilisé par des utilisateurs non expérimentés. En mode Automatique, le seul paramètre que l'utilisateur doit déterminer est la longueur d'onde. Tous les autres paramètres sont déterminés par l'OTDR.

Le mode Automatique n'est pas recommandé pour les utilisateurs OTDR expérimentés, vu que l'OTDR choisit les paramètres, les résultats de test ne sont pas toujours précis.

Mode Avancé

Le mode Avancé est conçu pour les utilisateurs expérimentés, il permet à ceux-ci de:

- Définir un grand nombre de paramètres de test, tels que de l'indice de réfraction (IR).
- La distance et la largeur d'impulsion. Puisque l'utilisateur choisit les paramètres en mode Avancé, les résultats de test sont plus précis.

II.3.3 Le choix des paramètres de mesure

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

1) **La longueur d'onde**

Une première mesure est effectuée sur la fibre à la longueur d'onde de 1550 nm. Sur un tableau est consignée la valeur d'affaiblissement du « GTE ». Cette mesure peut être enregistrée sur disquette, clé USB ou disque amovible ou sur support papier. Il s'agit de la « couleur » de la lumière que l'on va émettre dans la fibre pour mesurer ses caractéristiques. 850nm et 1300 nm pour des mesures sur des fibres multimodes, 1310 nm et 1550 nm pour des mesures sur des fibres monomodes.

Il existe aussi d'autres longueurs d'onde telles que 1490 nm et 1625 nm utilisées pour les fibres monomodes mais sur des applications plus particulières. On mesurera avec les deux longueurs d'onde principales pour chaque type de fibre car chaque longueur d'onde ne donne pas les mêmes indications.

2) La distance de mesure

Il s'agit de la distance sur laquelle la mesure va être effectuée, en règle générale on prend la valeur tout de suite supérieure au double de la longueur du réseau. Par exemple sur les réseaux font 10 km on a deux bobines amorces de 1km chacune ce qui me fait une longueur totale de 12 km il faut donc prendre une distance de mesure minimum de 24 km.

3) La largeur d'impulsion

La configuration d'une largeur d'impulsion réglable détermine la durée de l'impulsion émise dans la liaison fibre optique. 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 particulièrement utiles pour tester des portions de câbles situées à proximité du réflectomètre. Et puisque ces largeurs d'impulsion plus courtes produisent également des zones mortes plus courtes, vous serez en mesure de détecter des événements 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.

4) L'indice de réfraction

Il s'agit d'une valeur intrinsèque de la fibre mesurée, il est nécessaire de la connaître et de la renseigner pour que les distances affichées par le réflectomètre soient justes. Une fois les paramètres choisis il est désormais possible de lancer la mesure [16].

II.3.4 Mesure OTDR :

II.3.4.1 Acquisition de la trace

Une fois que tous les paramètres de test applicables ont été choisis, l'utilisateur doit simplement appuyer sur début pour acquérir la trace. Une fois la trace acquise, le logiciel OTDR analyse

automatiquement la trace et crée un tableau des événements. Deux types de signaux sont analysés par l'OTDR :

- Les signaux les plus forts liés aux réflexions de Fresnel engendrées par les fractures et autres cassures de la fibre (connecteur optique, rupture dans les fibres, etc).
- Les signaux les plus faibles mais les plus importantes liés à la rétrodiffusion de la lumière par la matière donc l'OTDR repose sur deux types de phénomènes optiques: les effets de rétrodiffusion de Rayleigh et réflexion de Fresnel pour analyser l'état des fibres tel qu'explicité sur la figure II.15.

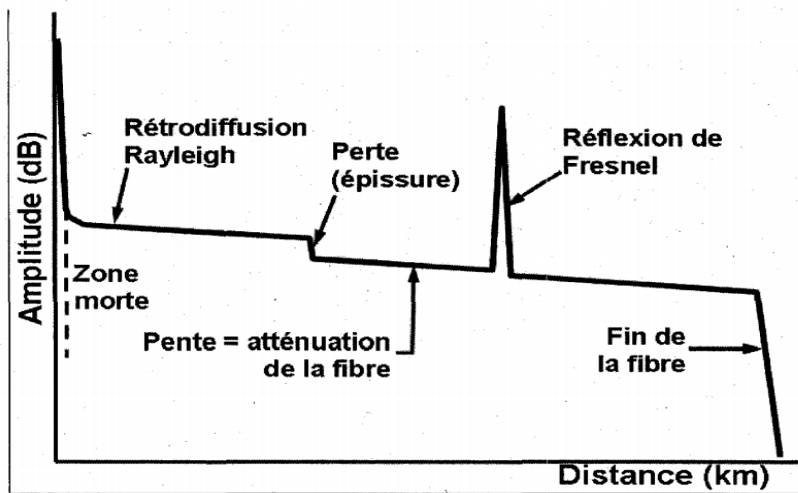


Figure II.15 : Trace OTDR typique

II.3.4.2 La dispersion de Rayleigh

Quand une quantité de lumière est envoyée dans une fibre, quelques photons de cette lumière sont diffusés dans des directions aléatoires, provoquant la dispersion de la lumière dans toutes les directions. Cet effet est appelé diffusion de Rayleigh, elle détermine l'amplitude et les informations temporelles sur la longueur du câble. Une partie de la lumière est diffusée par retour dans la direction opposée de la lumière, celle-ci est appelée le signal rétrodiffusé. (Figure II.16) [17].

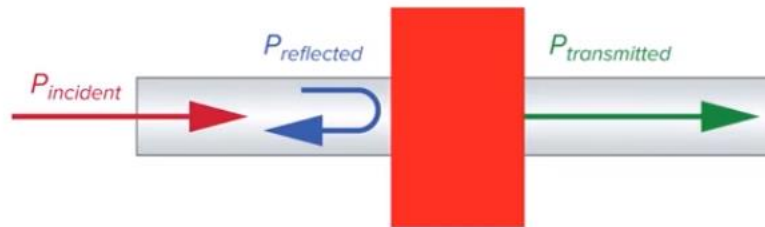


Figure II.16 : signal rétrodiffusé

II.3.4.3 Les réflexions de Fresnel

Se produisent lorsque la lumière traversant la fibre rencontre des changements brusques de la trace dans la densité du matériau qui peuvent survenir lors des connexions ou coupures en présence d'un entrefer (Connecteur, épissure mécanique, discontinuité (cassures), fin de la fibre (verre/air)).

Une très grande quantité de lumière est réfléchiée par rapport à la dispersion de Rayleigh. L'intensité de la réflexion dépend du degré de changement dans l'indice de réfraction [18].

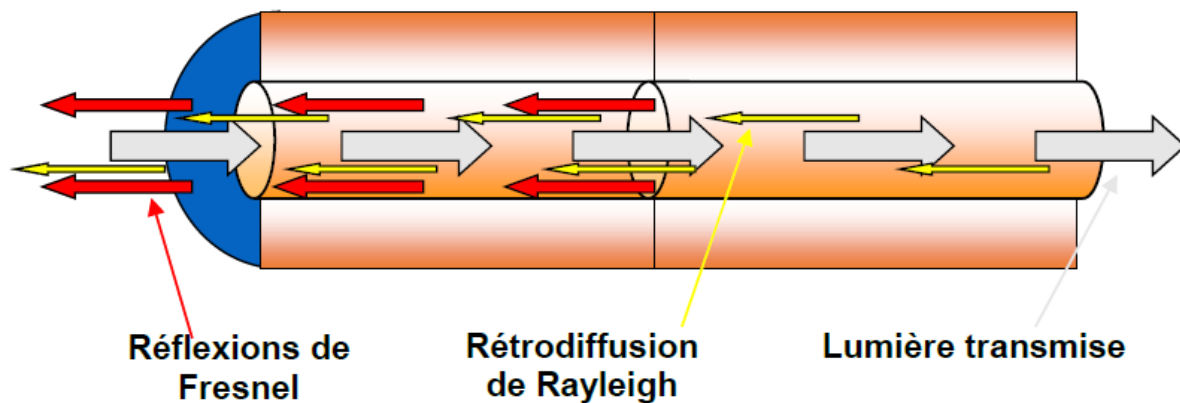


Figure II.17 : Rétrodiffusion de Rayleigh et réflexions de Fresnel

II.3.5 Vérification de l'analyse

Le tableau des événements compile les résultats d'analyse de la trace. Cette information peut être comparée à des standards connus ou internes. Tous les composants le long de la fibre, incluant la fibre elle-même, possèdent des spécifications. Le tableau des événements permet à l'utilisateur de vérifier si tous les composants se situent à l'intérieur des spécifications. Grâce à cette information, il est possible de déterminer si la fibre est acceptée ou non.

II.3.5.1 Les événements dans les fibres

Tout problème provoqué sur une fibre une perte ou des réflexions autres que la diffusion normale du matériau lui-même est considéré comme un événement.

Ceci s'applique à tous types de connexions, ainsi qu'à toutes sortes de dommages : torsions, fissures ou ruptures. La trace d'un OTDR représente le résultat d'une mesure sous forme graphique à l'écran. Dans Cette section on présentera des traces correspondant à la plupart des événements courants [20].

II.3.5.2 Événement liaison complète

La trace d'une liaison complète (par exemple entre deux villes) peut avoir cet aspect. Outre l'atténuation normale, notez les événements et le bruit après l'extrémité de la liaison :

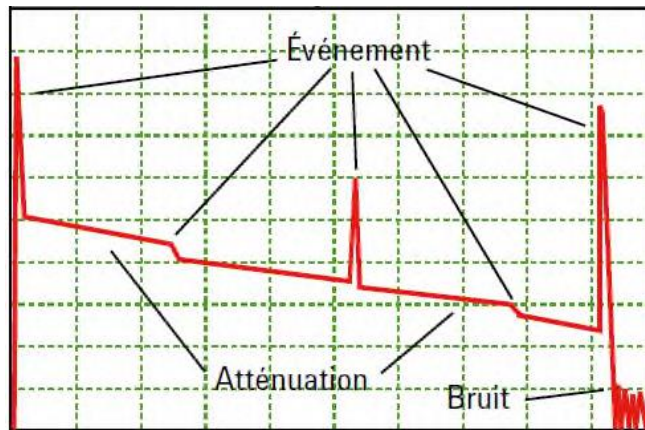


Figure II.18 : Trace Liaison complète.

On peut classer les événements courants en deux types : non réfléchissant et réfléchissant.

II.3.5.3 Événement réfléchissant

Les événements réfléchissants apparaissent comme un pic sur la trace. Ils sont causés par une discontinuité abrupte dans l'indice de réfraction [21].

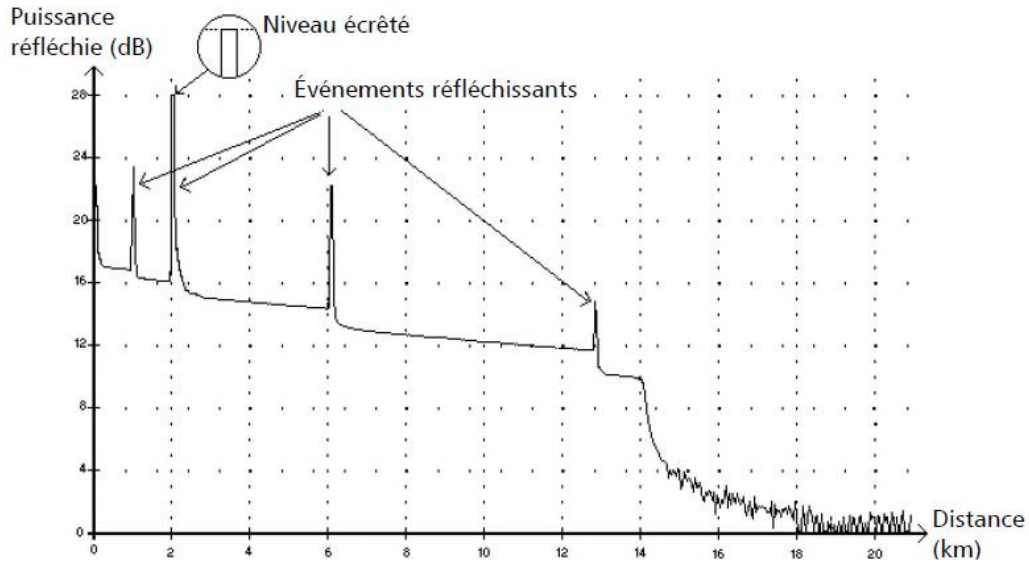


Figure II.19 : Les événements réfléchissants.

➤ **Début d'une fibre**

Le début de fibre présente toujours une forte réflexion au connecteur [19] :

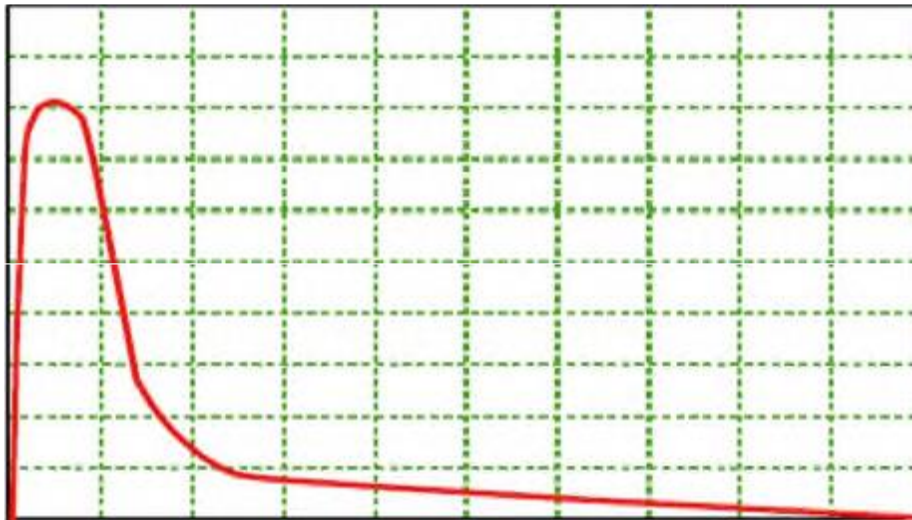


Figure II.20 : Début de la fibre dans OTDR

➤ **Fissures**

Une fissure qui endommage partiellement une fibre provoque perte et réflexions

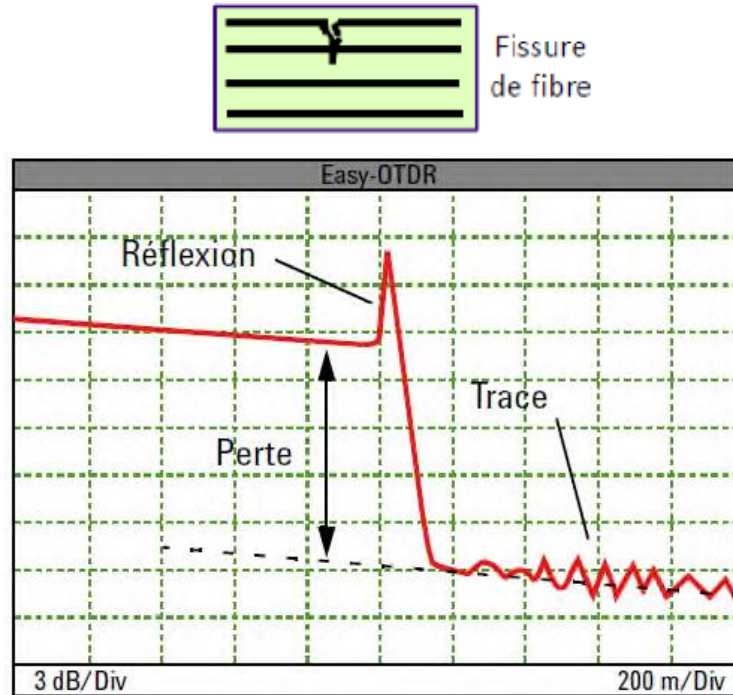


Figure II.21 : Une Fissure

➤ **Connecteur ou épissure mécanique**

Les connecteurs insérés dans une liaison provoquent réflexion et perte

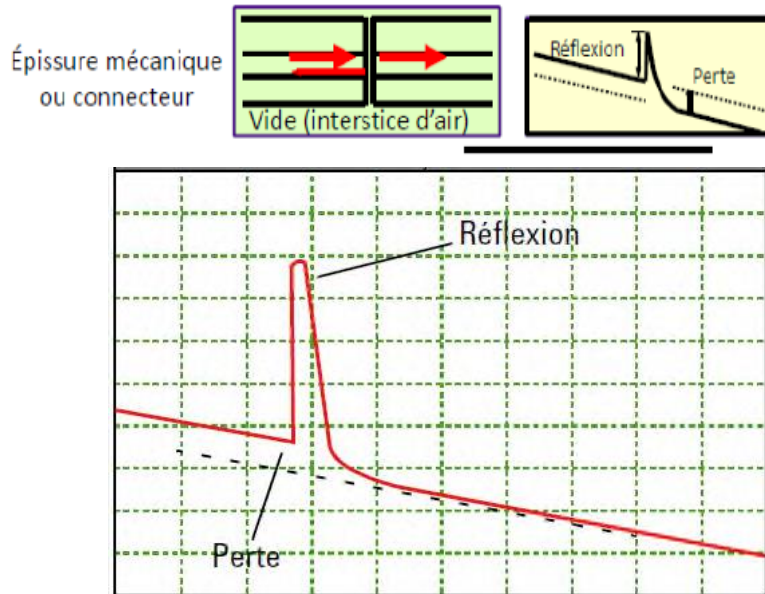


Figure II.22 : Connecteur ou épissure mécanique

➤ **Fin de fibre :**

Dans la plupart des cas, vous constaterez une forte réflexion à la fin de la fibre avant que la trace ne retombe au niveau du bruit

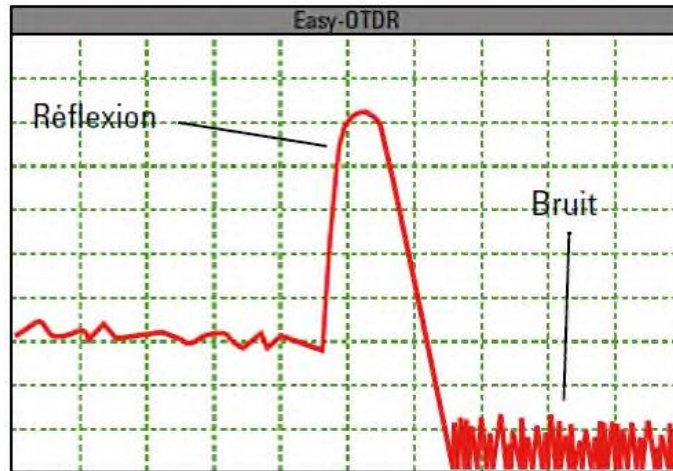


Figure II.23 : La Fin de fibre

L'interruption où la cassure de la fibre est appelé rupture, les ruptures sont des événements non réfléchitifs Rupture de fibre

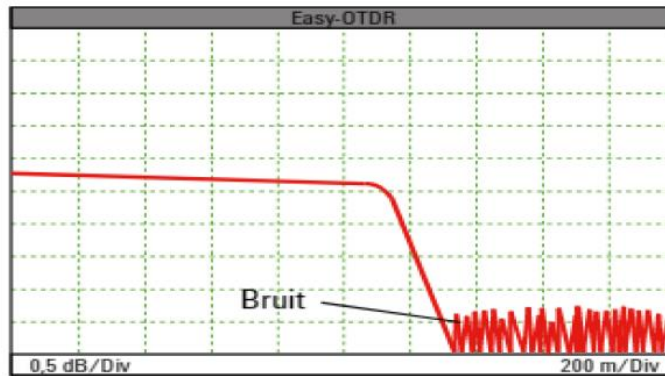


Figure II.24 : Une Rupture de fibre

II.3.5.4 Événement non réfléchissant

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

- Cet événement est souvent causé par des épissures, macro courbures ou micro courbures dans la fibre.

- Une valeur de perte est indiquée pour les événements non réfléchissants. Aucune réflectance n'est spécifiée pour ce type d'événement.
- Indique un défaut non réfléchissant dans le tableau des événements, chaque fois qu'une valeur dépasse le seuil de perte.

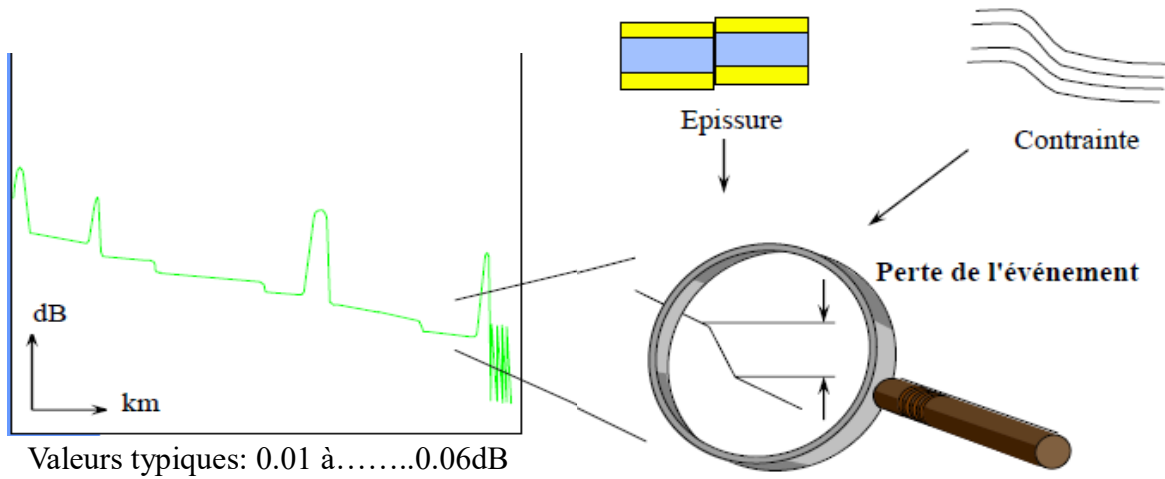


Figure II.25 : Evénement non réfléchissant

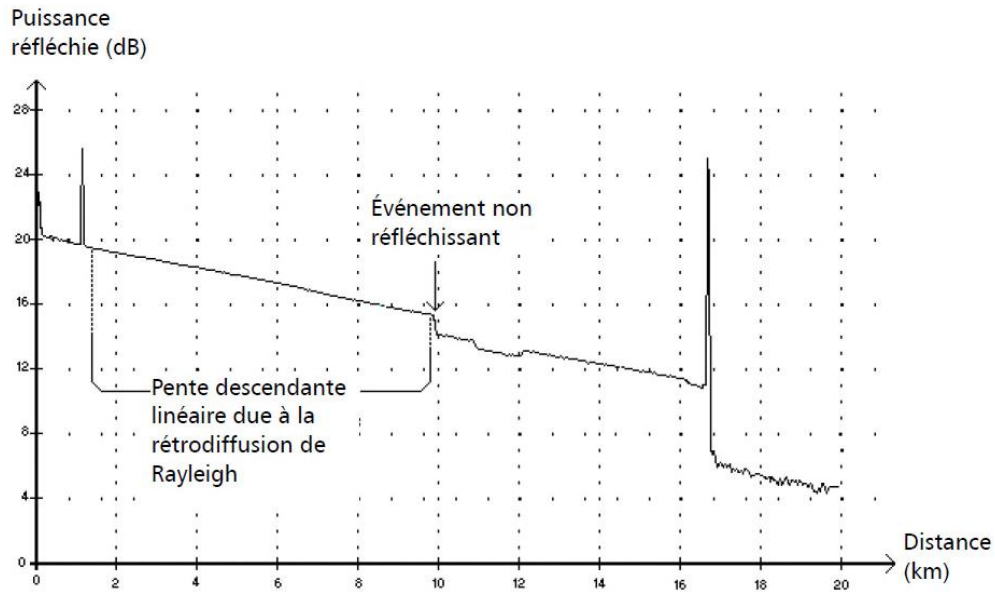


Figure II.26 : Schéma de l'événement non réfléchissant

Dans le tableau ci-dessous on présenter les évènements non-réfléchissants :

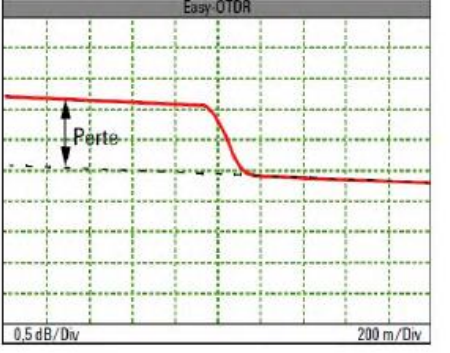

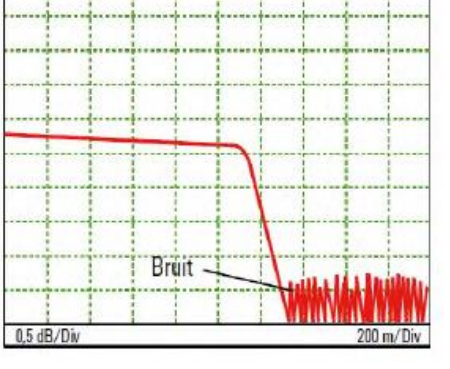
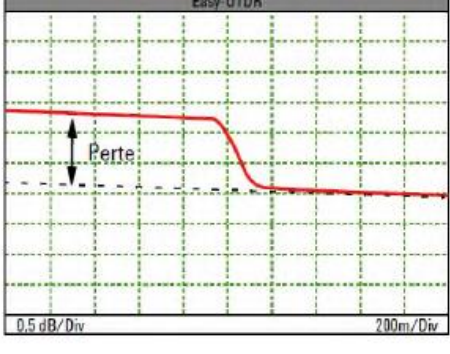
<p>Epissure de fusion</p>		<p>Une épissure de fusion est un événement non réfléchitif. Seule la perte peut être détectée. Les épissures de fusion modernes sont si parfaites qu'elles sont pratiquement invisibles</p>
<p>Epissure de fusion</p>		<p>Avec une mauvaise épissure, vous constaterez peut-être une certaine réflectance. Certaines épissures semblent se comporter comme des amplificateurs car le niveau de puissance semble augmenter. Cela est dû aux coefficients de rétrodiffusion différents dans la fibre avant et après l'épissure</p>
<p>rupture de fibre</p>		<p>L'interruption ou la cassure d'une fibre est appelée rupture. Les ruptures sont des événements non réfléchitifs. La trace tombe au niveau du bruit</p>
<p>Torsions et macro-torsions</p>		<p>Les torsions dans une fibre provoquent une perte mais ce sont des événements non réfléchitifs</p>

Tableau II.1: Présentation des traces correspondant à la plupart des événements non-R.

Une fois que l'utilisateur accepte les résultats et la fibre, il effectue la sauvegarde des traces OTDR. Cela permet de rappeler les traces OTDR lorsque cela est nécessaire.

II.3.6 Les avantages d'OTDR :

La réflectométrie optique possède de nombreux avantages, par exemple :

- L'accès à une seule extrémité de la fibre est suffisant pour la mesure.
- Le dispositif de mesure est relativement simple.
- Les mesures peuvent être effectuées sur site lorsque le câble à fibres optiques est posé
- Elle donne une information sur l'uniformité longitudinale de la fibre, au contraire d'autres méthodes de mesure.
- L'utilisation d'un OTDR fait gagner du temps à tous ses utilisateurs.
- Cet appareil qui permet de tester et de certifier une installation avec fibres optiques permet aussi l'augmentation des contrats d'installation si on ajoute à notre outillage.
- un réflectomètre optique doté de toutes les fonctionnalités nécessaires,
- la Gestion à distance et application virtuelles.

II.4 La Réflectométrie fréquentielle :

II.4.1 Principe de base de l'OFDR :

Le réflectomètre optique à détection dans le domaine des fréquences (OFDR) dresse une carte de réflectométrie d'une liaison optique, mais cette fois dans le domaine spectral.

C'est une technique à haut potentiel du fait qu'elle a une résolution spatiale centimétrique, voire millimétrique, mais elle est limitée au niveau de la distance maximale à une portée plutôt décimétrique dans la pratique. Il existe deux types de réflectométrie fréquentielle : la méthode OFDR incohérente et la méthode OFDR cohérente.

Dans les méthodes d'OFDR incohérente, un signal module continu (signal de test) est injecté dans la fibre de test où il est réfléchi par les défauts de la fibre et par la rétrodiffusion de Rayleigh. On détecte le signal réfléchi en fonction de la fréquence du modulateur et on obtient la réponse de la fibre sous test dans le domaine fréquentiel. Puis, par une transformée de Fourier, on passe dans le domaine du temps de vol dans la fibre et, donc, dans le domaine des distances.

L'OFDR cohérent est un peu différent, en ce sens que l'on envoie dans la fibre une impulsion lumineuse modulée linéairement en fréquence.

La courbe caractéristique d'un OFDR est présentée sur la figure II.27.

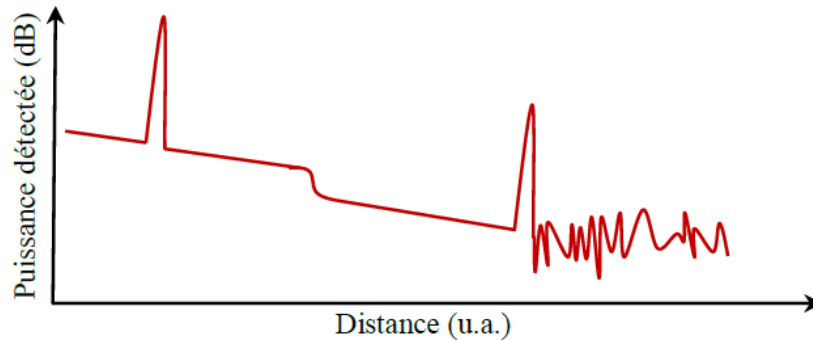


Figure II.27 : Trace caractéristique d'un OFDR

Après transformation de Fourier du signal de battements détecté. A première vue, elle présente la même allure que celle d'un OTDR, sauf que la distance, la portée, couverte par la méthode OFDR est réduite. Les grands pics sur la figure II.27 correspondent aux connexions des fibres différentes entre elles. A l'origine de ces pics reste par exemple la réflexion de Fresnel de fin de fibre, ou au niveau d'un connecteur de faible qualité (fort return loss). Le même phénomène explique le pic en extrémité de fibre.

II.4.2 Limites de cette méthode

De très nombreuses limites sont à répertorier concernant. Cette méthode, la rendant inenvisageable dans le cas d'un réseau optique passif point à multipoint, soit:

1. Limites économiques : un OFDR coûte très cher, ceci dû en grande partie aux spécifications très contraignantes du laser. Un OFDR coûte 80 000\$. Centralisé au CO, il représente ainsi 2 500\$ par usager.
2. Limites de placement : la portée d'un OFDR est de l'ordre du kilomètre, portée permise par le temps de cohérence du laser. Puisqu'un PON mesure environ 20 km, il est impossible d'obtenir un tracé complet de toute la topologie.
3. Limites de discrimination : Il n'est pas capable à lui seul de discriminer une fibre optique endommagée parmi les 32 du réseau optique passif.

II.5 Conclusion

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

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

Chapitre III



Surveillance des réseaux PON

III.1 Introduction

La surveillance des fibres fait référence à l'évaluation continue de la qualité des installations de fibres optiques grâce à l'utilisation d'outils logiciels et de dispositifs qui comprennent un système intégré de surveillance et de gestion des fibres. Ces éléments facilitent collectivement la détection de pannes, de dégradations ou d'intrusions dans la sécurité et alertent l'administrateur système en temps réel lorsque des menaces à l'intégrité du réseau fibre optique se produisent.

Les systèmes de surveillance peuvent également être utilisés pour suivre et analyser de manière proactive l'atténuation et d'autres mesures de performance de la fibre optique au fil du temps. Tout problème ou panne survenu sur une partie de ce système pourrait avoir de lourdes conséquences aussi bien financières qu'organisationnelles. Donc, surveiller ou monitorer un tel système devient plus que nécessaire.

III.2 Objectif du système

Le système doit être un outil pour :

- ✓ La gestion et supervision des supports optiques (F.O).
- ✓ Maintenance et gestion du bon déroulement des équipements.
- ✓ Fourniture et continuité de toute défaillance.
- ✓ Contrôle et configuration à distance de tous les équipements.
- ✓ Gestion de consommation d'énergie utilisée par ces derniers.
- ✓ Relève de toute panne indiquée selon les alarmes.

III.3 L'architecture du système

L'architecture de fonctionnement du système de gestion, de supervision et de localisation de défauts sur la fibre optique devra assurer l'acheminement de l'information ainsi que le traitement nécessaire à la gestion du réseau de fibre optique. Il sera composé de plusieurs blocs réalisant des fonctions spécifiques.

Les systèmes doivent comporter au moins un terminal d'exploitation et un module pour test optique (OTM, Optical Testing module). Le module de test optique (OTM, Optical Testing Module) se compose d'un contrôleur, d'une unité de test optique (OTU, Optical Testing Unit), des sélecteurs de fibres (FS, Fibre Selector), de coupleurs optiques, de fibres, de détecteurs d'humidité et d'unités de trajet.

1. Le contrôleur gère l'unité OTU, communique avec le serveur ou le terminal d'exploitation, analyse les résultats des tests et exécute d'autres fonctions.
2. L'unité OTU est utilisée pour le test réel. Elle se compose d'un réflecteur optique temporel (OTDR, Optical time Domain réflexion) et d'autres appareils, sources lumineuses, puissance mètres et d'un contrôleur pour gérer ces dispositifs.
3. Les sélecteurs de fibres (FS) sont installés dans un châssis de terminaison de fibres ou dans un châssis OTU. Ils permettent de choisir la fibre à tester sur instruction de l'unité OTU.
4. Le coupleur optique est installé dans le châssis de terminaison des fibres. Il permet d'injecter et de détecter la lumière de test dans la fibre optique ou de détecter une partie du signal aux fins de surveillance.
5. Le filtre permet de protéger l'Équipement de transmission contre la lumière de test.
6. Un détecteur d'humidité est installé au niveau des raccords des câbles à fibres optiques pour détecter toute infiltration d'eau.
7. Une dérivation est utilisée pour contourner un dispositif de transmission.

Il existe plusieurs types possibles de réseaux de communication de données (RCD), à savoir le réseau téléphonique traditionnel, le RNIS et les réseaux X.25, etc... L'analyse de trafic revêt une grande importance dans le cas d'un système Economique de haute performance [22].

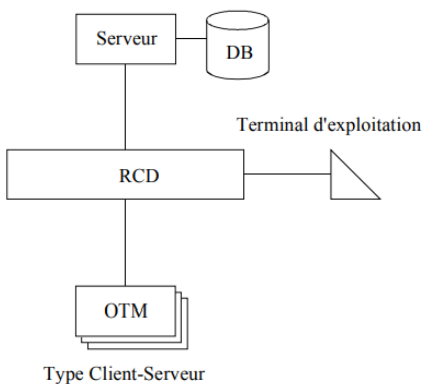


Figure III.1 : Architecture de système.

Le système de supervision doit répondre à une architecture client/serveur. Les centres de supervision principal sont composés des serveurs, des bases de données, des Stations clientes locales et à distance, des unités de mesure à distance et des périphériques. Nécessaires à l'interconnexion entre les différents éléments du système ainsi que leur exploitation.

III.4 Architecture client/serveur

De nombreuses applications fonctionnent selon un environnement client/serveur, cela signifie que des machines clientes contactent un serveur, une machine généralement très puissante en termes de capacités d'entrée-sortie, qui leur fournit des services. Dans un environnement purement client/serveur, les ordinateurs du réseau (les clients) ne peuvent voir que le serveur, c'est un des principaux atouts de ce modèle.

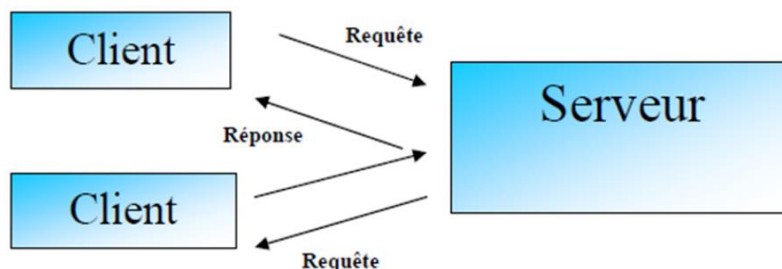


Figure III.2:Architecture client/serveur

1. Le serveur :

Il enregistre et gère l'ensemble des informations du système, il devra être programmé pour sélectionner l'équipe d'intervention (par e-mail ou téléavertisseur ou cellulaire, etc...) la plus proche de la localisation du défaut afin d'accélérer le processus d'intervention.

2. Base de données :

Les données sont enregistrées dans la base de données et Elle doit intégrer la documentation physique des câbles de fibre optique. Elle doit être aisément modifiable pour renseigner et documenter toute évolution du réseau optique (réparation, modification des câbles optiques, ...).

3. Les stations Clients :

Munis de logiciels adéquats, ils permettent aux agents de surveillance du réseau d'avoir l'accès au système de supervision afin de contrôler et configurer les unités de mesure à distance, suivre la performance du réseau et prendre les actions nécessaires à son bon fonctionnement.

III.5 Gestion de la surveillance de fonctionnement et des alarmes

Le système doit automatiquement et périodiquement effectuer des mesures sur les fibres surveillées et sauvegarder dans les bases de données les caractéristiques mesurées.

Le système proposé devra recueillir constamment les alarmes provenant des unités de mesure, et les gérer en fonction de leur gravité. Le système devra être en mesure de contrôler. La qualité des unités de mesure ainsi que la gestion efficace des alarmes pour permettre d'identifier la nature exacte de l'alarme ainsi que les actions nécessaires pour son traitement.

Le système doit préciser l'origine d'une alarme si elle provient d'un équipement ou d'un défaut sur le câble. Le système devra permettre de voir l'historique des alarmes de tout le réseau ou d'une partie spécifique de ce dernier.

Les messages d'alerte produits par les systèmes de surveillance à distance par fibre optique peuvent être communiqués par e-mail, ainsi que par les protocoles SMS ou SNMP. Les messages SMS sont simplement des messages texte hors bande qui sont automatiquement envoyés aux utilisateurs appropriés lorsque des alarmes se produisent. Cela peut minimiser le besoin d'une surveillance constante des interfaces de surveillance. Le protocole de gestion de réseau simple (SNMP) est un autre outil de communication couramment utilisé pour surveiller les périphériques à distance et relayer les alertes vers un emplacement central ou un hôte [23].

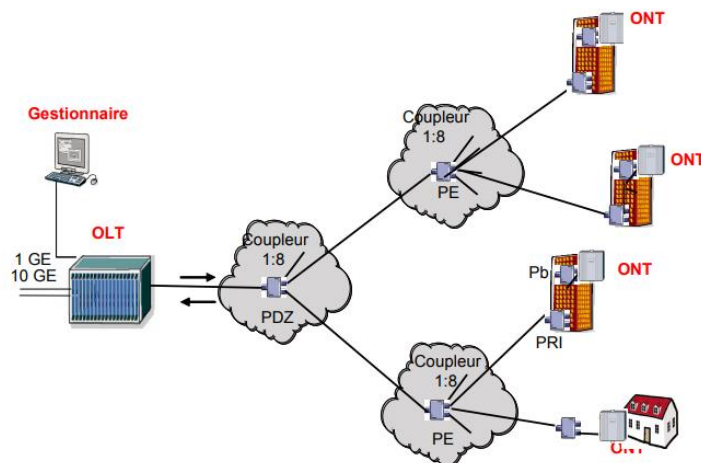


Figure III.3 : Schéma de système de supervision.

III.6 Programmation et suivi des appareils

L'objectif de la supervision est de créer un réseau sécurisé à l'avenir, afin d'améliorer le rendement et la qualité des réseaux de télécommunications à câbles fibres optiques. Grâce au système de détection des pannes mis en service, une meilleure gestion des performances et une sauvegarde totale du trafic (Téléphonie, Data, vidéo ...) sont assurées.

III.7 U2000 : logiciel de gestion/supervision FTTH

III.7.1 Aperçu sur la société HUAWEI

Huawei est une entreprise dont le siège social se trouve en Chine, active dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle fournit des matériels, des logiciels et des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises, il est Parmi les cinq premiers équipementiers à l'échelle mondiale.

III.7.2 Description du logiciel U2000 [24]

OptiX iManager U2000 est un système de gestion des équipements développé par Huawei. C'est aussi une solution majeure de gestion de réseau orientée vers l'avenir qui fournit de puissantes fonctions de gestion des éléments et de gestion du réseau. C'est un système intégré de gestion de réseau pour les réseaux de transmissions (SDH, WDM, RTN (FH), système de câble sous-marin, Ethernet, ATM, etc...), et aussi les réseaux de données (commutateurs, routeurs,

etc...) et réseau d'accès MSAN, DSLAM, etc...). C'est un système de haute sécurité, Et aussi un système de gestion qui peut gérer plus de 20.000 équipements [18].

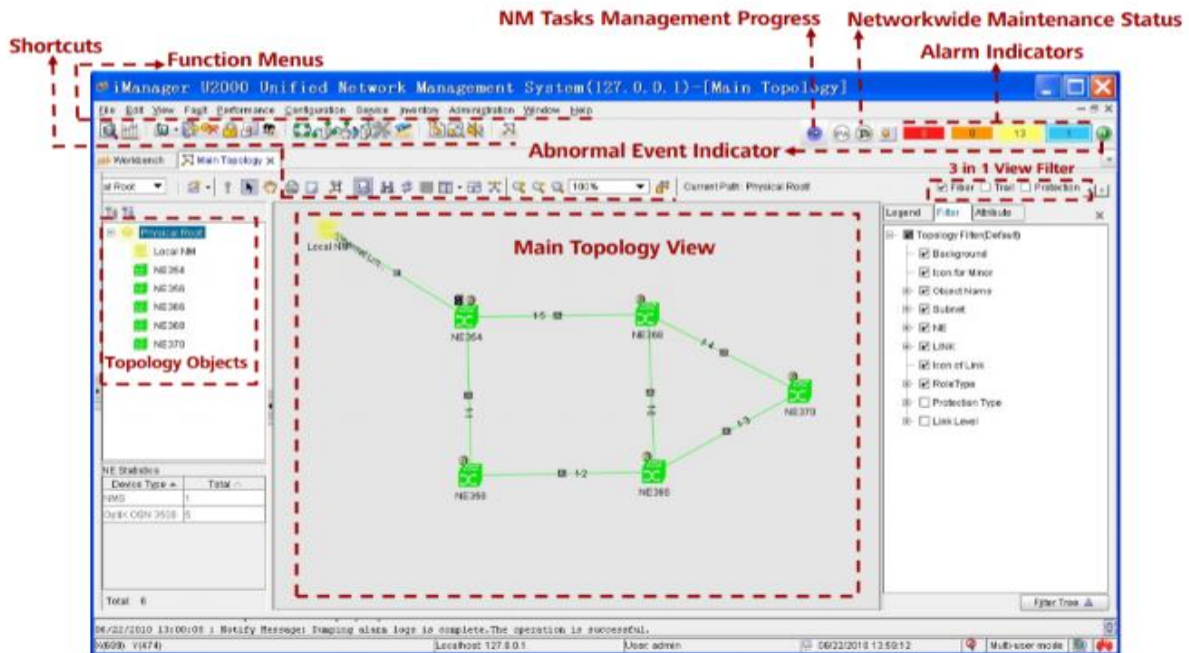


Figure III.4 : Interface du l'U2000

NE	Gateway	Login	Configuration	Communication	The Highest Level Unfinished Alarm	The Highest Level Unconfirmed
tizi-ghenif - d-e-m	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Normal State
ait rhouna	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Critical Alarm
ouadhias via beni douala	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Major Alarm	Major Alarm
10102(460)-URAD LAKHADARIA	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Critical Alarm
d-e-m _tizi-ghenif	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
beni douala-touzou	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
NE916	ONE	Login	Unconfigured	Communication Normal	Normal State	Normal State
DBK-CA2 TO	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Critical Alarm
urad aeh	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
TIZI OUZOU-CUNI	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
DBK-TIZI OUZOU	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Critical Alarm
N E2 AIT ATTELI	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
relais aeh	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
OSN 3500 FREHA-TIZI OUZOU	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
10103(459)-BOUIRA CA2 Avec Ca1	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Major Alarm	Major Alarm
NE9-5	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Critical Alarm
aghib	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Major Alarm	Major Alarm
TIZI OUZOU - azaaga	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
CUNNI	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
ca1-ca2 TO	ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm
NE9-7	Non-ONE	Not Login	Configured	Communication Interruption	Critical Alarm	Major Alarm

Figure III.5: Base de données de l'application U2000

III.7.3 Les principales caractéristiques de l'U2000

Etant un système de gestion de sous réseaux, il fournit toutes les fonctions de gestion éléments et quelques fonctions de gestion de réseaux.

- Supporte les deux plateformes Windows, Linux et UNIX.
- Fournit toutes les fonctions de gestion d'alarmes, de configuration, de performances et de sécurité.
- Fournit plusieurs outils et méthodes de sauvegarde et de restauration des données, pour assurer la sécurité des données réseau [27].

III.7.4 Position de U2000 dans le RGT (réseau gestion de télécommunications)

L'U2000 est situé et prend en charge toutes les fonctions des couches gestion des éléments et gestion du réseau. La Figure III.6 montre la position de l'U2000 dans la hiérarchie.

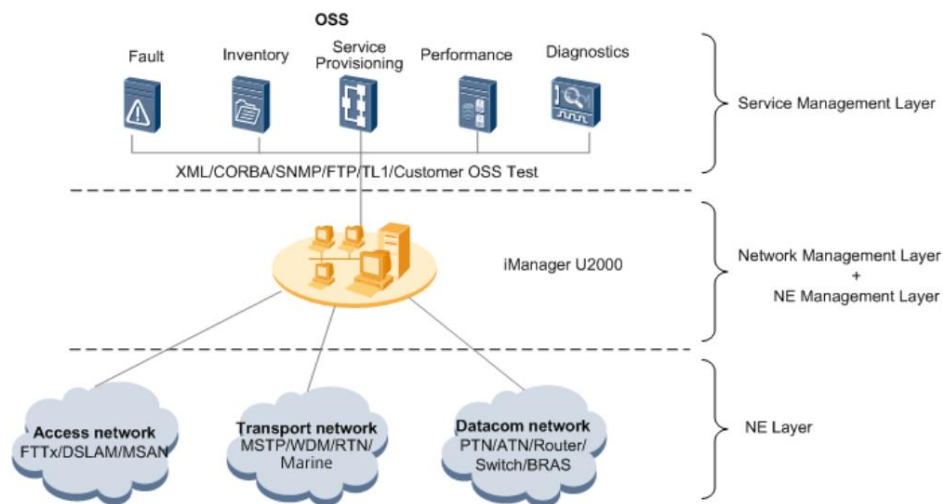


Figure III.6 : Hiérarchie de l'U2000.

III.7.5 Gestion de la localisation des pannes

OptiX i Manager U2000 a des fonctions de gestion telles que :

- Définition des stratégies de surveillance d'alarme.
- Voir des alarmes.
- Suppression des alarmes.

La visualisation de la liste des alarmes actives devra afficher au minimum les informations suivantes :

- Référence: Contient identificateur unique de l’alarme.
 - Date: Date et heure de création de l’alarme.
 - Sévérité: Gravité de l’alarme : Traitée, Warning, Mineure, Majeure, Critique.
 - Occurrences: Nombre d’événements associés à l’alarme.
 - Nom de l’unité de mesure à distance: Nom de l’unité de mesure à distance Responsable de l’alarme.
 - Ressource surveillée: Nom de l’élément en défaut (liaison (OTDR)).
- Un tableau de bord sera disponible pour visualiser le nombre d’alarmes actives, classées par sévérité.

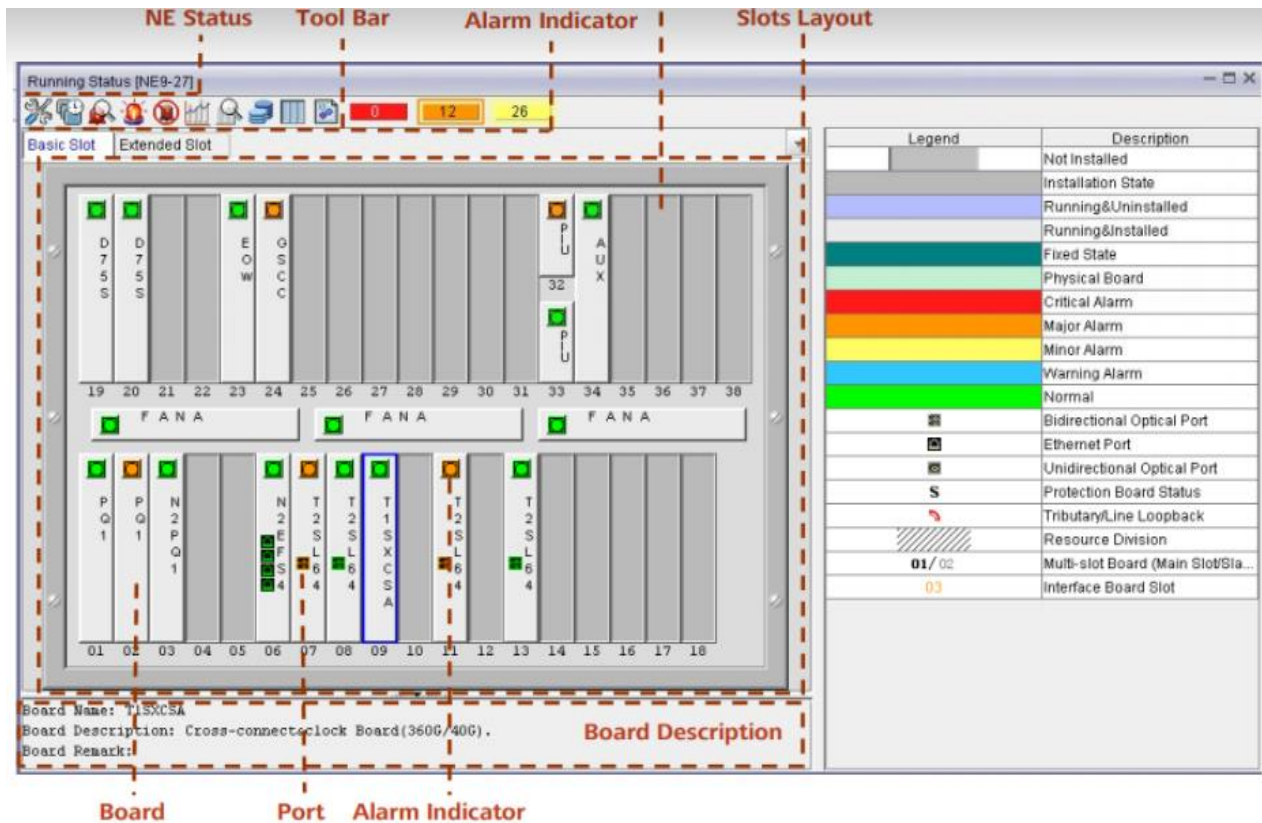


Figure III.7 : Différent alarme sur U2000 [24].

Niveaux d'alarme en général, on distingue deux niveaux de criticité d'alarme :

Alarme majeure

Une alarme majeure est déclenchée lorsqu'il y a panne de transmission. Elle peut être produite lorsque le système de monitoring de la puissance détecte une baisse de puissance en dessous d'un seuil préétabli ou via un test de groupe. Le test de groupe génère une alarme majeure lorsqu'il y a une dégradation d'affaiblissement de plus de 3 dB (ou d'une autre valeur fixée par l'utilisateur). On suppose qu'il s'agit d'une rupture de fibre ou d'un problème présentant une criticité analogue. Les alarmes majeures nécessitent une réaction de la part du personnel de maintenance et dans la plupart des cas une intervention sur le site telle une réparation du câble.

Alarme mineure

Une alarme mineure peut être déclenchée lorsque dans un test OTDR de groupe on constate sur le trajet de fibre une violation du seuil d'affaiblissement, du coefficient d'affaiblissement, de la réflectance ou que l'on détecte qu'un nouvel événement a été détecté. Un événement mineur est également signalé lorsque par monitoring de puissance on détecte un signal en dessous ou au-dessus de la plage dynamique ou lorsque la puissance du laser n'est pas stable. Les alarmes mineures doivent être observées afin de déterminer si la condition va empirer, mais elles ne nécessitent pas une étude sur site immédiate.

III.8 ONMS (Optical Network Management System)

Un système de gestion et de surveillance de la qualité des réseaux fibres optiques. Pour Algérie Télécom, il est utilisé pour vérifier à distance les liaisons optiques à l'aide des unités (RTU : Remote Test Unit) activées et installées à des emplacements stratégiques d'un réseau. OMNS est considéré comme un dispositif le plus performant dans la gestion des réseaux téléphoniques.

L'ONMS fournit aussi de la documentation grâce à un système d'information géographique à l'aide d'une fonction intégrée de localisation de défauts. ONMS est une solution de surveillance de la fibre optique complète prenant en charge les réseaux métropolitains, backbones, d'accès et PON [25].

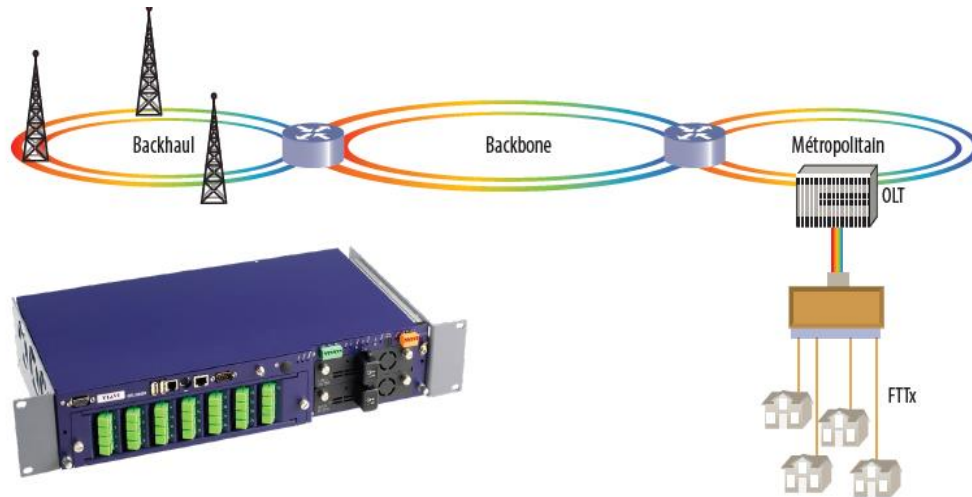


Figure III.8: ONMS offre une solution complète de surveillance de la fibre : elle prend en charge les réseaux métropolitains, centraux, d'accès et PON [26].

➤ **RTU :**

Ce sont des unités de vérification à distance. Chaque RTU se présente sous un nombre de ports optiques (8 ou 16ports). Un port optique est le siège d'une liaison en fibre optique.

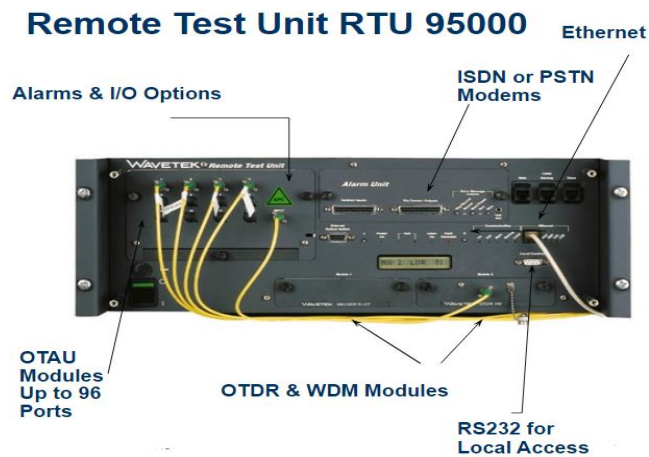


Figure III.9 : Equipement RTU

III.8.1 Caractéristiques principales

Améliore la recherche de panne et la démarcation entre les fournisseurs compatible avec les réseaux Point à Point (métropolitain/backbones/d'accès) et Point à Multipoint (PON) jusqu'au terminal de réseau optique (ONT).

Tableaux de bord multiples affichant la performance actuelle et le diagnostic en cas de problème architecture de domaine permettant une flexibilité organisationnelle optimale.

III.8.2 Gestion exhaustive des alarmes

Le système ONMS contient un puissant module de gestion des alarmes ce qui lui assure une intégration facile aux systèmes OSS ou aux systèmes de gestion des incidents ce qui lui assure une intégration facile aux systèmes OSS ou aux systèmes de gestion des incidents.

De plus, le système ONMS peut informer les utilisateurs distants par e-mail ou SMS lorsqu'une alarme se déclenche. Ces notifications peuvent être filtrées via un calendrier intégré.

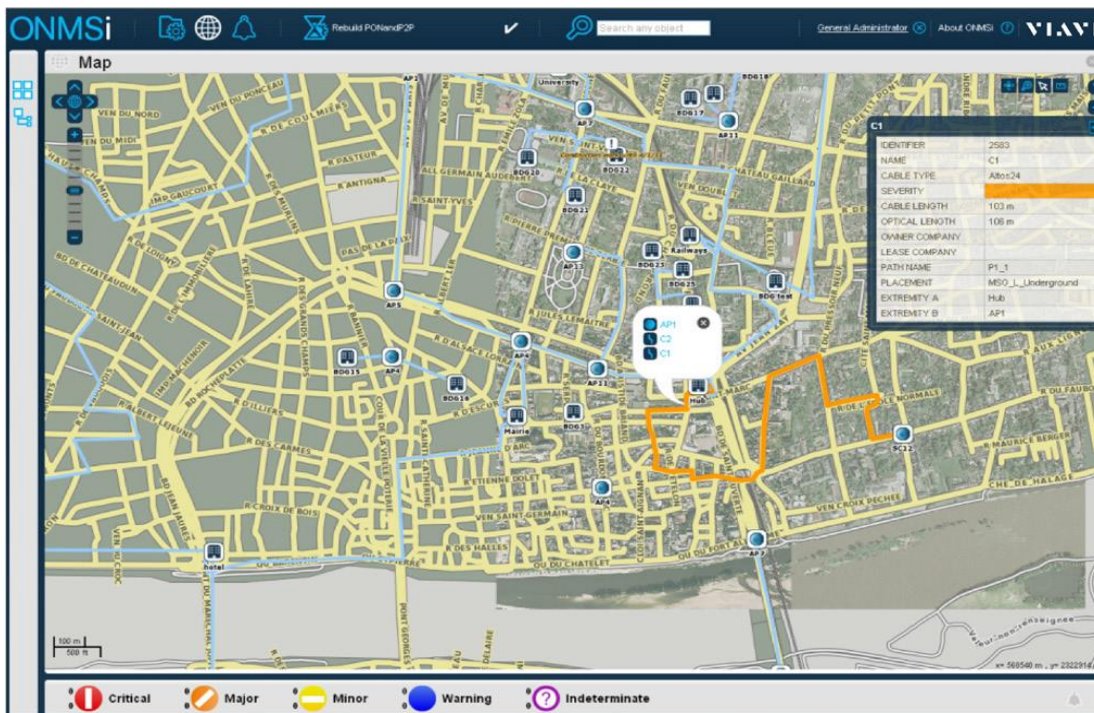


Figure III.10 : Cartographie géographique d'ONMS [25]

The screenshot displays the ONMSi OTU Dashboard for a PONandP2P system. The interface is divided into several sections:

- Tree:** A navigation pane on the left showing a hierarchy of system components including MCO, LeasedLines, PONandP2P, PON1, DeuxPoles250m, Pont, and MyDomain.
- OTU Dashboard - PONandP2P:** The main content area showing details for the OTU. It includes tabs for Configuration, Port Association, PON Calibration, and Tests Ordering. A summary card shows the OTU Name (PONandP2P), Address (10.33.16.105), and Status (Running). Below this, an 'Activity' section shows an 'OTU Monitoring Test' with a 'PeakTest' result of 1025 km - 10 s - 3 ms - 5.115 km - 0.04 m, which is 'Completed'.
- Performance:** A table showing test results for different links and ports.
- Alarm Viewer:** A table listing active and historical alarms.
- Summary:** A bar at the bottom indicating the count of alarms by severity: Critical (0), Major (1), Minor (0), Warning (0), and Indeterminate (0).

Link	Port	Test	Severity	Execution Last date	Next estimated date	Allocated Time (%)
DeuxPoles250m	OS(2)	EasyTest		Jan 17, 2011 3:45:28 PM	Jan 17, 2011 3:46:56 PM	49.02
PON1	OS(1)	PeakTest	Major	Jan 17, 2011 3:49:13 PM	Jan 17, 2011 3:47:41 PM	49.64

ID	Creation	Last update	Severity	Ack.	Clear	Origin	Alarm Type	Specific Problem	Additional Test
62	Jan 14, 2011 1:42:58 PM	Jan 14, 2011 6:46:11 PM	Major			PON1	Quality of service alarm	Peak	2.754,49
64	Jan 3, 2011 2:29:46 PM	Jan 11, 2011 1:40:29 PM	Major	✓	✓	PON1	Quality of service alarm	Peak	2.254,49
63	Jan 3, 2011 20:25:56 PM	Jan 15, 2011 10:41:5 PM	Minor	✓	✓	DeuxPoles250m	Quality of service alarm	Attenuation	
62	Jan 3, 2011 11:47:43 AM	Jan 3, 2011 11:30:19 PM	Major	✓	✓	DeuxPoles250m	Quality of service alarm	Attenuation	
65	Dec 23, 2010 10:58:28 AM	Jan 3, 2011 11:38:29 AM	Major	✓	✓	DeuxPoles250m	Quality of service alarm	Attenuation	

Figure III.11 : Gestion des alarmes d'ONMS [25]

A decorative scroll graphic with an orange border and grey circular accents at the corners, containing the text "Conclusion Générale".

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les travaux qu'on a entrepris dans ce mémoire de fin d'études concernent l'étude de la problématique des solutions de surveillance de réseaux optiques passifs. Dans un premier chapitre nous avons présenté les généralités sur la fibre optique. Le chapitre suivant a été consacré aux mesures et performances d'une transmission optique. La connectique, les techniques de raccordement, ainsi que la présentation des trois critères permettent d'évaluer la qualité de la soudure. Les principes de mesure pour fibres optiques tels qu'OTDR et OFDR ont été également présentés. Enfin le troisième chapitre propose, et présente quelques solutions qui sont envisagées et appliquées pour la surveillance des réseaux optiques passifs.

Cette partie comprend l'architecture client/serveur, la gestion de la surveillance de fonctionnement des alarmes, la programmation et le suivi des appareils.

En effet, l'une des solutions pour l'évaluation continue de la qualité de ces réseaux consiste à l'utilisation d'outils logiciels qui comprennent un système intégré de surveillance et de gestion des fibres. Les logiciels concernés dans cette partie sont iManager U2000 et Optical Network Management System (ONMS) qui sont utilisés actuellement par Algérie Télécoms dans la surveillance, et la gestion des réseaux PON.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] COLOMBIER. F ; PUGNOUD .C ; 2005 – « RESEAUX ET ROUTAGE OPTIQUE ».
- [2] Boulila Rachid & Daouche Salim. Etude Des Différents Multiplexages Dans Les Liaisons Par Fibre Optique. Memoire De Master Université Saad Dahlab De Blida.2012.
- [3] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html
- [4] [Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes <<Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine>>.](#)
- [5] rapport de stage | Fibre optique | FTTx – Scribd
<https://www.scribd.com/document/379973196/rapport-de-stage>
- [6] [Louazani Marwa & Meddane Samira. Etude des Réseaux d'accès Optiques exploitant Le Multiplexage En Longueurs D'onde. Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2017.](#)
- [7] Guerch Azeddine Yahia Et Ziane aissa. Déploiement D'un Réseau FTTX. Mémoire De Master Université Ziane Achour De Djelfa.2019.
- [8] Fabienne Saliou ; << Etudes des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée >> -14/06/2010.
- [9] Y.Zouine, «Contribution par la simulation système a l'étude des contraintes des composants optiques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », Thèse de doctorat, Univ Limoge, Octobre 2005.
- [10] TEMMAR. A, OULD SAADI. H, BOUTALEB. A et CHENIKA. A ; 2014 – « Etude et Analyse d'un Réseau d'Accès Optique Passif (PON) ». Communication Science & technology N° 14. Laboratoire de Recherche Appliquée en TIC. Institut National des Télécommunications et TIC, Oran, Algérie.
- [11] Support de cours et T.D. réseaux d'accès optique
https://www.academia.edu/8218545/Support_de_cours_et_T_D_r%C3%A9seaux_dacc%C3%A8s_optique
- [12] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.
- [13] Guerch Azeddine Yahia Et Ziane aissa. Déploiement D'un Réseau FTTX. Memoire De Master Université Ziane Achour De Djelfa.2019.

[14] Epreuve commune de type partie D

<https://www.chireux.fr/mp/TIPE/ADS/Fibre%20Optique.pdf>

[15] <https://www.telenco-distribution.com/pa10757/les-connecteurs-fibre-optique>

[16] Rapport de Stage

https://alexisvergerblog.files.wordpress.com/2018/06/rapport_de_stage_orange.docx

[17] Fabienne Saliou ; << Etudes des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée >> -14/06/2010.

[18] Louazani Marwa & Meddane Samira. Etude des Réseaux d'accès Optiques exploitant Le Multiplexage En Longueurs D'onde. Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2017.

[19] <https://www.telenco-smart.com/nos-conseils/realiser-une-soudure-optique/>

[20] Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes <<Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine>>.

[21] <https://www.modes-d-emploi.com/manuals/736482/exfo-otdr-2.html?page=203>

[22] UIT-T Rec. L.40 (10/2000) Système de surveillance, de test et d'aide à la maintenance des installations extérieures a fibres optiques

[23] Mémoire de fin d'études Etude et supervision des câbles fibres optiques par OMNS (Application sur le réseau d'Algérie Télécom)

[24] vdocuments.mx_anager-u2000.pdf

[25] onmsi-optical-network-monitoring-system-brochure-en.pdf

[26] ONMSi : système de surveillance des réseaux optiques

[27] HedEX lite HUAWEI (documentation interne)

[28] Architectures et performance des réseaux FTTH

Réalisation Thomas SAGNIMORTE et Julien MIRGOT Telecom Lille 1 - 2007