

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Technologie

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de

Master

En

« Télécommunications »

Option :

« Systèmes des Télécommunications »

Titre :

Etude et optimisation de la qualité de service (QoS) pour les réseaux optiques FTTH, simulation sous optiwave

Réalisé par :

- Taiba Feryal
- Chemani Bouchra

Encadré par :

Mr Boussaha Abdelkader

Année Universitaire: 2019/2020

Dédicace

Je tiens avec grande plaisir de dédie ce modeste travail :

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père : CHEMANI DJILLALI

A la femme qui a souffrir sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère FILLALI ZOHRA

A mon cher binôme TAIBA FERYAL

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur

A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte

le nom CHEMANI

Sans oublies tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

Chemani Bouchra

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents, nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments,

*Pour la patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de
mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.*

*Mes chères sœurs sur tout Assia et Samiha pour le grand soutien qu'ils trouvent
ici l'expression de ma gratitude*

Mon cher frère Abdellah

Mes nièces Rania et Malak

Et mon binôme Hemani Bouchra

Mes chers amis Fatima, Nor el Houda, Zahra, Bounoua, Zerrouki

Et Lezzoun

Je remercie également, mes enseignants et tout mes

Compagnons de la promotion de leur présence durant tout ce temps

Taiba Feryal

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le grand Dieu pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous exprimons nos gratitude à Monsieur le président de jury d'avoir accepté examiné ce mémoire.

Nous remercions Messieurs les membres de jury, d'avoir accepté de prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'ils l'ont portés à ce travail.

Nous remercions également Monsieur Abdelkader Boussaha, notre encadreur, pour ses conseils et suggestions avisés qui nous aidés à mener à bien ce travail, et d'avoir rapporté à ce mémoire ces remarques et conseils.

Résumé

Un réseau FTTH (Fiber To The Home) permet notamment l'accès à internet à très haut débit (jusqu'à 1Gbit/s) contre un maximum de 20 Mbps en réseau ADSL. Les réseaux FTTH offre comme avantage également une meilleure latence, l'absence de sensibilité aux perturbations électromagnétiques, et un débit stable pour des lignes jusqu'à environ 30 km de longueur.

Notre travail se base sur la planification du réseau FTTH et optimisation de la qualité de service (QoS) qui nous permet de garantir le service Triple Play. La simulation de ce réseau est faite sous le logiciel Optisystem Optiwave afin de tester et simuler les performances du réseau FTTH et spécialement l'architecture WDM-GPON en terme du facteur de qualité (Q), le taux d'erreurs binaire (TEB) ainsi le diagramme de l'œil qui renseigne sur la qualité de la liaison.

Mots clés :

Fibre optique, réseau FTTH, QoS, Architecture WDM-GPON

Abstract

A FTTH (Fiber To The Home) network allows access to very high speed internet (up to 1 Gbit/s) against a maximum of 20 Mbps in ADSL network. FTTH networks also offer the advantage of better latency, the absence of sensitivity to electromagnetic interference, and a stable flow for lines up to about 30 km in length.

Our work is based on FTTH network planning and Quality of Service (QoS) optimization which allows us to guarantee Triple Play service. The simulation of this network is done under the Optisystem Optiwave software in order to test and simulate the performance of the FTTH network and especially the WDM-GPON architecture in terms of the quality factor (Q), the bit error rate (BER) as well as the eye diagram which gives information on the quality of the link.

Key words:

Optical fiber, FTTH network, QoS , WDM-GPON architecture

Liste des abréviations

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line
AON: Active Optical Network
ATM: Asynchronous Transfer Mode
APON: Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
ADM: Add Drop Multiplexer
APD: Avalanche Photo Diode
BPON: Broadband Passive Optical Network
BER: Bit Error Rate
CO: Centre Office
DEL: Diode Electroluminescent
DL: Diode Laser
DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing
DSL: Digital Subscriber Line
EPON: Ethernet Passive Optical Network
EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier
FTTH : Fiber To The Home
FTTX: Fiber To The X
FTTN: Fiber To The Network
FTTB: Fiber To The Building
FTTC: Fiber To The Curb
FTTs: Fiber To The street
FAT: Fiber Access Terminal
FDT: Fiber Distribution Terminal
GPON: Gigabit Passive Optical Network
GEPON: Gigabit Ethernet Passive Optical Network
HD: Haute Definition
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP: Internet Protocol
LAN: Local Area Network
LASER: Light Amplifier Stimulated Emission Radiated
MAN: Metropolitan Area Network

NRO: Nœud de Raccordement Optique
NRZ: Non Return to Zéro
ONT: Optical Network Terminal
OLT: Optical Line Terminal
ONU: Optical Network Unit
ON: Ouverture Numérique
ODN: Optical Distribution Network
ODF: Optical Distribution Frame
PON: Passive Optical Network
PBO: Point de Branchement Optique
PM: Point de Mutualisation
PMD: Dispersion Podale de Polarisation
PIN: Personal Identification Number
P2P: Point to Point (point à point)
P2MP: Point to Multi-point
PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy
QOS: Quality Of Service (en Français QDS : qualité de service)
RZ: Return to Zero
RN: Remote Noeud
3R: Retiming Reshaping Regenerating
SDH: Synchronous Digital Hierarchy
SONET: Synchronous Optical Network
STM: Synchronous Transport Module
SRO: Sous Répartiteur Optique
TDM: Time Division Multiplexing
TM: Terminal Multiplexer
UIT-T: Union International de télécommunication
VOIP: Voice Over IP
VDSL: Very High Bit Rate Digital Subscriber Line
VOD: Video on Demande
WDM: Wavelength Division Multiplexing
WI-FI: Wireless Fidelity
WAN: Wide Area Network

Liste des figures

Chapitre 1

Fig.1.1 : La fibre optique.....	3
Fig.1.2 : Structure d'une fibre optique.....	4
Fig.1.3 : Fibre monomode.....	5
Fig.1.4 : Fibre multi-mode à saut d'indice	5
Fig.1.5 : Fibre multi-mode à gradient d'indice.....	6
Fig.1.6 : Différents types de connecteurs de fibre optique.....	7
Fig.1.7 :L'ouverture numérique.....	8
Fig.1.8 : Schéma résume les causes de l'atténuation au sein de la fibre optique.....	8
Fig.1.9 : La réflexion.....	11
Fig.1.10 : La réfraction.....	11
Fig.1.11 : Schéma synoptique d'une chaine de transmission optique.....	12
Fig.1.12 : Diode électroluminescente DEL.....	13
Fig.1.13 : Diode laser DL.....	13
Fig.1.14 : Modulation optique.....	14
Fig.1.15 : Synoptique de la modulation directe.....	14
Fig.1.16 : Synoptique de la modulation externe.....	15
Fig.1.17 : Fonction d'un récepteur optoélectronique.....	15
Fig.1.18 : Photodiodes PIN	16
Fig.1.19 : Photodiodes à avalanche APD.....	16
Fig.1.20 : Carte mondiale des câbles optiques sous-marins.....	17
Fig.1.21 : Un endoscope.....	17
Fig.1.22 : Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.....	18
Fig.1.23 : Eclairage par fibre optique.....	19
Fig.1.24 :Système électro-optique avec radar.....	19
Fig.1.25 :Fibre optique (Laser) en industrie.....	20

Chapitre 2

Fig.2.1 : Architecture point à point (P2P).....	22
Fig.2.2 : Architecture point à multipoint (P2MP).....	23
Fig.2.3 : Multiplexage PDH.....	31

Fig.2.4 : Présentation du réseau SDH.....	31
Fig.2.5 : Multiplexage WDM/DWDM.....	32
Fig.2.6 : Technologies FTTX.....	32
Fig.2.7 : Technologie FTTB.....	33
Fig.2.8 : Technologie FTTC.....	34
Fig.2.9 : Technologie FTTN.....	34
Fig.2.10 : Architecture PON avec différents composants de réseaux optiques.....	35
Fig.2.11 : Exemple d'une OLT.....	36
Fig.2.12 : Exemple d'une ONT.....	36
Fig.2.13 : Exemple d'une ONU.....	37
Fig.2.14 : Réseau de distribution ODN.....	38

Chapitre 3

Fig.3.1 : Interface graphique de logiciel OptiSystem.....	40
Fig.3.2 : Exemple d'un diagramme de l'œil.....	42
Fig.3.3 : Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON) (sens descendant).....	43
Fig.3.4 : Courbe de variation du Q en fonction de la distance.....	49
Fig.3.5 : diagramme de l'œil par variation du facteur Q en fonction de distance.....	50
Fig.3.6 : variation du facteur Q en fonction de l'atténuation.....	51
Fig.3.7 : Diagrammes de l'œil (variation du facteur Q en fonction de l'atténuation).....	50
Fig.3.8 : courbe de variation du facteur Q en fonction du débit.....	53
Fig.3.9 : Diagrammes de l'œil (variation du facteur Q en fonction du débit).....	54
Fig.3.10 : courbe de variation du facteur de qualité Q de type RZ et NRZ en fonction de distance.....	53
Fig.3.11 : Diagrammes de l'œil (l'effet des deux codeurs NRZ et RZ sur la qualité du signal).....	54
Fig.3.12 : Diagramme de l'œil de deux types de photodiode (PIN/APD).....	56
Fig.3.13 : Spectre en puissance pour les 8 utilisateurs	57

Liste des tableaux

Chapitre1

Tableau.1.1 : Comparaison entre les types de la fibre optique	7
---	---

Chapitre2

Tableau.2.1 : Comparaison entre les standards de PON.....	25
---	----

Tableau.2.2 : Comparaison entre les réseaux.....	29
--	----

Chapitre3

Tableau.3.1 : Description des composants pour le schéma WDM-GPON	44
--	----

Tableau.3.2 : la variation de facteur de qualité en fonction de la distance.....	48
--	----

Tableau.3.3 : la variation de facteur de qualité en fonction de l'atténuation.....	50
--	----

Tableau.3.4 : la variation de facteur Q en fonction de débit.....	52
---	----

Tableau.3.5 : l'effet des deux codeurs NRZ et RZ sur la qualité de la transmission	54
--	----

Tableau.3.6 : Effet de la photodiode (PIN/APD) sur le facteur de qualité	56
--	----

Tableau 3.7: effet de nombre d'abonnés sur la qualité de transmission	57
---	----

Table de Matière

Remerciement

Résumé

Introduction générale..... 1

Chapitre 1 : Généralités sur les transmissions optiques

1.1. Introduction.....	3
1.2. Etat de l'art de la fibre optique.....	3
1.2.1. Définition de la fibre optique.....	3
1.2.2. Description de la fibre optique.....	4
1.2.3. Les différents types de fibre optique.....	4
1.2.3.1. La fibre optique monomode.....	5
1.2.3.2. La fibre optique multi-mode.....	5
1.2.4. Les connecteurs de la fibre.....	6
1.2.5. Comparaison entre types de fibre optique.....	7
1.3. Les caractéristiques de la fibre.....	8
1.3.1. L'ouverture numérique.....	8
1.3.2. L'atténuation.....	8
1.3.3. La dispersion.....	9
1.3.3.1 : La dispersion modale de polarisation(PMD).....	9
1.3.3.2 : La dispersion chromatique.....	9
1.3.4 : Débit de transmission.....	9
1.3.5 : Vitesse de transmission.....	9
1.3.6 : Bande passante.....	10
1.4 : Effets de propagation de la lumière dans la fibre optique.....	10
1.4.1 : La réflexion.....	10
1.4.2 : La réfraction.....	11
1.5 : Présentation d'une chaîne de transmission par fibre optique.....	11
1.5.1 : Partie d'émission.....	12
1.5.1.1 : Source optique.....	12

1.5.1.2 : Comparaison entre DL et DEL.....	14
1.5.2 : Modulateur optique.....	14
1.5.2.1. Modulateur directe (interne).....	14
1.5.2.2 : Modulateur externe.....	15
1.5.3 : Partie récepteur.....	15
1.5.3.1 : Les photodiodes PIN.....	15
1.5.3.2 : Les photodiodes à avalanche.....	16
1.6 : Les domaines d'application de la fibre optique.....	16
1.6.1 : Les télécommunications.....	16
1.6.2 : La médecine.....	17
1.6.3 : Les capteurs de mesure	18
1.6.4 : L'éclairage.....	18
1.6.5 : Défense.....	19
1.6.6 : Industrie.....	19
1.7 : Conclusion.....	20

Chapitre 2 : Etat de l'art du réseau FTTH

2.1 : Introduction.....	21
2.2 : Historique et évolution du réseau FTTH.....	21
2.3 : Architecture du réseau d'accès optique FTTH.....	22
2.3.1 : l'architecture point à point P2P.....	22
2.3.2 : l'architecture point à multipoint active AON (actif optical network).....	23
2.3.3 : Architecture point à multipoints passive PON (Passive Optical Networks).....	23
2.3.4 : Les différents standards d'un réseau PON.....	24
2.3.4.1: APON.....	24
2.3.4.2 : BPON.....	24
2.3.4.3 : EPON.....	24
2.3.4.4 : GPON.....	24
2.3.4.5 : WDM-PON.....	25
2.3.5 : Comparaison entre les standards de PON.....	25
2.4 : Caractéristiques des réseaux de télécommunications	26
2.4.1 : Les réseaux cœur	26
2.4.2 : Les réseaux métropolitains	26
2.4.3 : Les réseaux d'accès.....	26

2.5 : Classifications géographique des réseaux.....	27
2.5.1 : Le réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network)	27
2.5.2 : Les réseaux terrestres.....	27
2.5.3 : Les réseaux sous-marins.....	27
2.5.4 : Le réseau métropolitain (MAN, Métropolitain Area Network)	28
2.5.5 : Le réseau local (LAN, Local Area Network)	28
2.5.6 : Comparaison entre les réseaux LAN WAN et MAN.....	28
2.6. Les techniques utilisées dans les réseaux optiques.....	29
2.6.1: PDH.....	29
2.6.2: SDH-SONET.....	30
2.6.3: WDM/DWDM.....	31
2.7 : Les technologies FTTX.....	32
2.7.1 : FTTH.....	33
2.7.2 : FTTB.....	33
2.7.3 : FTTC.....	34
2.7.4 : FTTN.....	34
2.8 : Différents composants d'un réseau optique FTTH.....	35
2.8.1 : OLT (Terminal de ligne optique).....	35
2.8.2 : ONT (Terminal de réseau optique).....	36
2.8.3 : ONU (unité de réseau optique).....	37
2.8.4 : ODN (réseau de distribution optique).....	37
2.9 : Conclusion.....	38

Chapitre 3 : Tests et simulation des performances du QoS dans un réseau FTTH

3.1. Introduction.....	39
3.2. Présentation du logiciel OptiSystem.....	39
3.3. Généralités sur la qualité de service (QoS)	40
3.2.1. Définition	40
3.2.2. Intérêt de la QoS.....	40
3.2.3. Les paramètres de qualité d'une transmission optique	40
3.2.3.1. Le facteur de qualité.....	41
3.2.3.2. Le taux d'erreur binaire.....	41
3.2.3.3. Le diagramme de l'œil.....	41
3.3. Tests et résultats de simulation pour l'architecture WDM-GPON.....	42

3.3.1. Description des composants	44
3.3.2. Les résultats de simulation.....	48
3.3.2.1. L'effet de la variation de la distance sur la qualité de la liaison.....	48
3.3.2.2. L'effet de l'atténuation sur la transmission.....	50
3.3.2.3. L'effet du débit sur le facteur Q.....	52
3.3.2.4. Comparaison entre le type de codage RZ et NRZ sur la transmission	54
3.3.2.5. Effet de la photodiode PIN/APD.....	56
3.3.2.6. Spectre de puissance des utilisateurs.....	56
3.4. Conclusion	57
Conclusion générale	58

Bibliographie

Annexe

Introduction générale

Dès l'année 1959, les études de physique relatives à l'optique donne lieu à une nouvelle utilisation de la lumière, appelée rayon laser, qui était très utile pour les transmissions d'information à grande vitesse.

Cependant, cette utilisation du laser était très limitée à cause de l'inexistence des canaux physiques pour la transmission des signaux optiques produits à partir de la source laser. À partir de ce moment, les spécialistes en optique commencent à chercher un canal physique pour ce type de transmissions. Grâce à ces efforts apparaît l'idée d'utiliser une guide optique pour la communication, c'était l'année 1966.

En 1970, les premières fibres optiques sont développées, à cette même époque, Apparaissent aussi les premières diodes laser.

L'histoire des communications sur fibre optique naît en 1977 quand le premier système expérimental est construit en Angleterre. Deux années plus tard. Il y avait déjà un produit commercial avec beaucoup de succès [1].

Le passage à l'optique dans la boucle locale connue sous terme générique FTTX (Fiber to the 'x'), le variable x décrivant le point d'aboutissement de la fibre optique dans le réseau d'accès qui peut être selon les cas suivants :

Dans le premier cas, il s'agit de la fibre jusqu'à l'habitat (Fiber to the Home) FTTH, c'est le plus efficace et le plus coûteux. Dans le second cas, s'assurer que les dizaines de mètre sont desservis par un fil de cuivre ce qui est le cas lorsque les fibres atteignent le pied du bâtiment (Fiber to the Building) FTTB, il garantit un débit important presque jusqu'à l'abonné mais pas sur toute la ligne.

Autre cas, là ou une armoire de distribution extérieure qui dessert plusieurs habitats, on parle alors du FTTc (Fiber to the curf) ou au coffret de rue assurant la répartition (fiber to the cabinet FTTcab), appelé aussi fiber to the street (FTTs).

La technologie de transmission à fibre optique est un départ révolutionnaire dans le domaine de Télécommunication, et qui a la propriété de transmettre les données avec un débit qui dépasse les Giga bits/s et qui possède une très large bande passante.

La qualité de service (QDS) ou quality of service (QoS) est la capacité à véhiculer dans de bonnes conditions un type de trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets.

La qualité de service est un concept de gestion qui a pour but d'optimiser les ressources d'un réseau ou d'un processus et de garantir de bonnes performances aux applications critiques pour l'organisation. La qualité de service permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par applications suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la structure.

Notre objectif à travers ce projet est d'étudier et optimiser la qualité de service QoS pour les réseaux optiques FTTH. Notre travail se répartit de la façon suivante :

Nous débuterons le premier chapitre par une étude générale sur les transmissions optiques, au premier lieu nous allons définir l'état de l'art de la fibre optique dont lequel nous citons une description et classification des différents types de fibre optique avec comparaison.

Ensuite nous allons citer les caractéristiques de fibre optique avec une description détaillée de la chaîne de transmission optique, puis on définit les domaines d'application de la fibre optique.

Le deuxième chapitre est consacré sur l'état de l'art du réseau FTTH, commençant par historique et évolution de ce réseau, ensuite nous allons citer les technologies FTTX ainsi les différents composants d'un réseau optique FTTH (OLT, RN, ONU et ONT), ensuite, nous allons parler sur les différentes architectures du réseau d'accès optique FTTH à savoir (PON, APON, BPON et GPON...etc)

Le troisième chapitre fait l'objet de tests et simulation des performances en termes de qualité de service QoS dans le réseau FTTH ainsi la discussion sur les résultats obtenus. On termine notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

Généralités sur les
transmissions optiques

1.1. Introduction

La fibre optique fait partie intégrante dans les infrastructures de communication moderne, car avec l'apparition de cette technologie, la conception des systèmes de transmission à très haut débit était désormais possible. Elle permet de transmettre une grande quantité de données avec moins de pertes et de manière très rapide.

Dans ce chapitre, on va présenter certaines notions de base sur la fibre optique, sa structure, les caractéristiques d'une liaison optique, les avantages et inconvénients ainsi les différents types des réseaux optiques.

1.2. Etat de l'art de la fibre optique

La transmission optique fait son étude sur la propagation de la lumière au lieu les ondes radioélectriques et exige un support de transmission spécial dite "Fibre optique".

1.2.1. Définition de la fibre optique

La fibre optique est un fil en verre (silice) ou en plastique très fin, de quelques microns de diamètre, qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

Avec la fibre optique, la transmission analogique a laissé place à la transmission numérique. Des signaux numériques : les 0 et les 1 sont transmis sous la forme de très brèves impulsions lumineuses. La fibre optique offre en effet des capacités de transmission gigantesques, Les câbles à fibre optique sont aussi équipés de répéteurs, positionnés tous les 50 ou 100 km. [2]

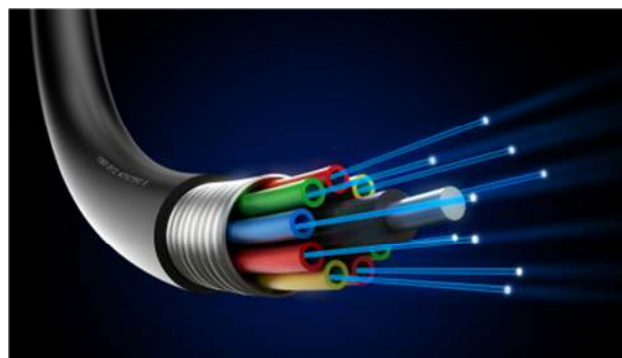


Figure 1.1. La fibre optique

1.2.2. Description de la fibre optique

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

- **Le Cœur** : est un milieu dans lequel se propage l'onde optique .Il peut être fabriqué à base de silice, de quartz ou de plastique et son diamètre est variable selon le type de fibre à concevoir.
- **La Gaine optique** : Elle est la partie qui emprisonne la lumière dans le cœur en la réfléchissant pratiquement sans perte.
- **Le fourreau (revêtement)** :Aussi appelé la gaine protectrice, assure à son tour la protection mécanique et chimique adéquate à la fibre optique.

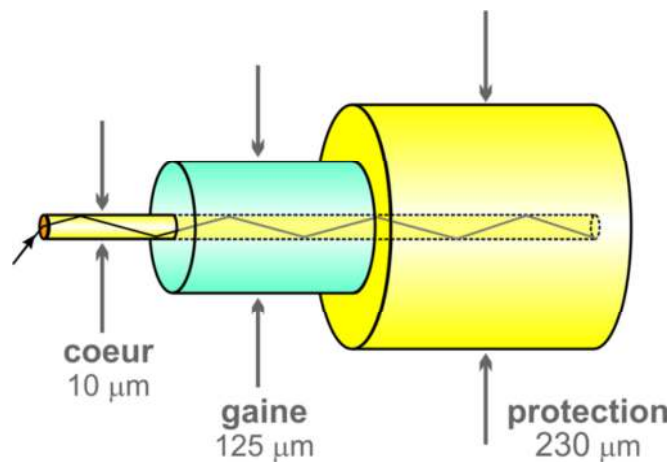


Figure 1.2. Structure d'une fibre optique [3]

1.2.3. Les différents types de fibre optique

Il existe deux grands types de fibre optique des fibres multi-modes et les fibres monomodes, Cette notion de mode est définie comme étant le nombre de chemins qu'un rayon lumineux peut emprunter au cœur de la fibre.

- **Multi-mode** : dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de la fibre (à saut d'indice, à gradient d'indice)
- **Monomode** : dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière, le mode en ligne droite.

1.2.3.1. La fibre optique monomode

Le diamètre de la fibre étant plus petit, elle transporte le signal sur un seul chemin lumineux. Elle est surtout utilisée pour des très longues distances.

Ces fibres optiques se trouvent dans les réseaux de campus, zones portuaires, très grands établissements. C'est ce type de fibre qui présente les plus grandes performances mais son coût est relativement élevé par rapport aux fibres multi-modes. Utilisée essentiellement par des opérateurs des télécommunications. Actuellement des liaisons de 100 à 300 km sans répéteurs sont possibles.

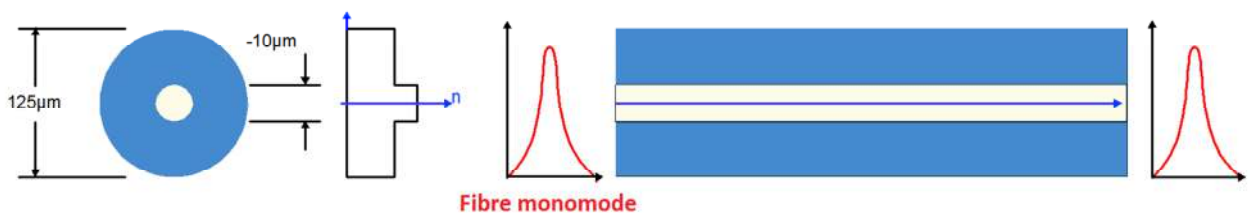


Figure 1.3 : Fibre monomode [4]

➤ Caractéristiques [5]

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

1.2.3.2. Les fibres multi-modes

Dont la grande largeur du cœur permet l'injection simultanée de la lumière selon différents angles. Les domaines d'utilisation sont principalement les réseaux locaux LAN (Local Area Network) et les réseaux de campus.

On distingue deux modes :

A. La fibre optique multi-mode à saut d'indice

La lumière se réfléchit angulairement (en Zig-Zag). C'est le plus courant dans les entreprises. Ces fibres optiques sont principalement employées pour des transmissions d'informations sur courtes distances comme pour les applications de capteurs industriels ou d'équipements ou lasers médicaux [3].

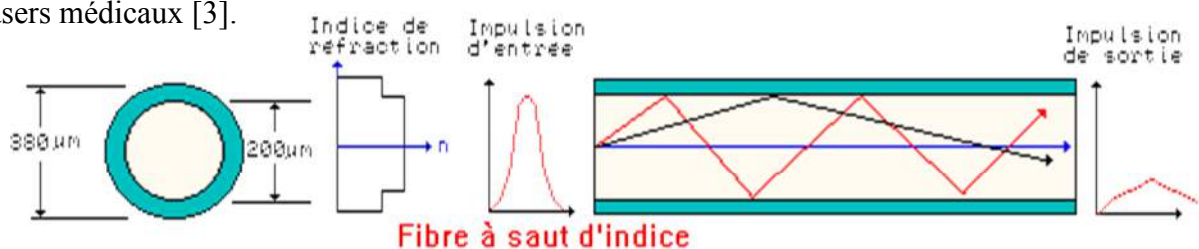


Figure 1.4 : Fibre multi-mode à saut d'indice [4]

➤ **Caractéristiques [5]**

- Facilité de mise en œuvre
- Débit: environ 100 Mbit/s
- Portée maximale: environ 2 Km
- Affaiblissement: 10 dB/Km

B. La fibre optique multi-mode à gradient d'indice

La lumière suit une trajectoire sinusoïdale. Elle est utilisée pour des lignes téléphoniques de moyenne portée. Ces fibres optiques sont essentiellement employées pour les réseaux locaux industriels, les réseaux locaux d'entreprise, et dans les centres de données (data center). [4]

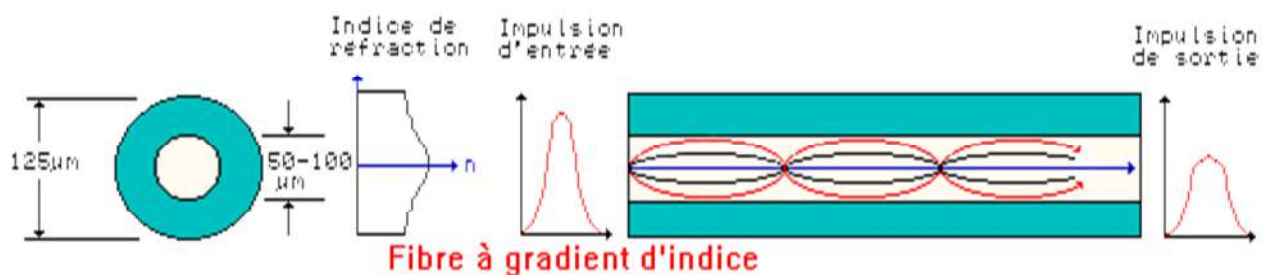


Figure 1.5 : Fibre multi-mode à gradient d'indice [4]

➤ **Caractéristiques [5]**

- Débit: environ 1 Gbit/s
- Portée maximale: environ 2 Km
- Affaiblissement: 10 dB/Km

1.2.4. Connecteurs de la fibre optique

Les connecteurs fibre optique sont des dispositifs normalisés terminant une fibre optique et permettant de les raccorder aux équipements terminaux comme les Switch, les HBA, les contrôleurs disques ou libraires de sauvegarde dans un réseau de stockages SAN, ou divers équipements utilisant la fibre optique (voir figure 1.6).

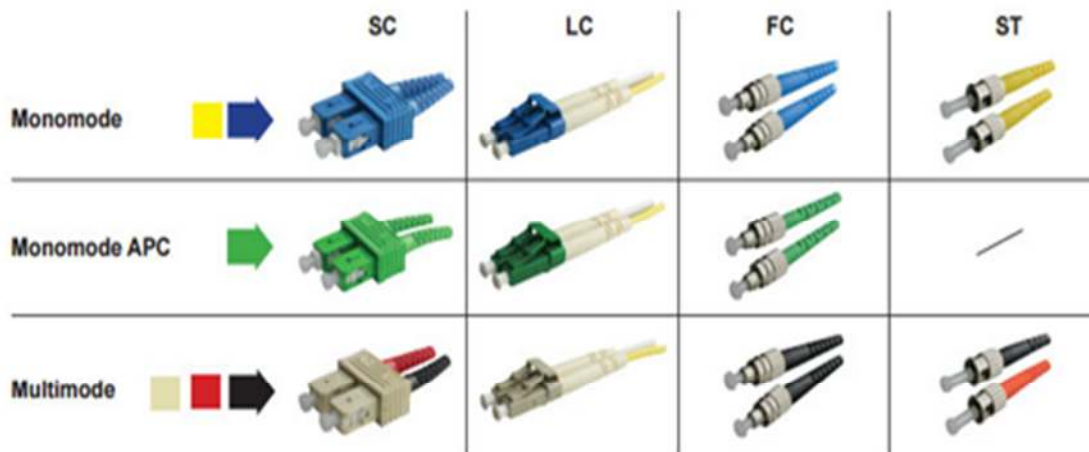


Figure 1.6 : Différents types de connecteurs de fibre optique [6]

1.2.5. Comparaison entre les types de fibre optique

Le tableau suivant présente une comparaison pour les deux types de fibre :

	Transmission multimodale				Transmission monomodale
Profile d'indice	Saut d'indice	Gradient d'indice			
Cœur (μm)	30<Ø<80	85	62,2	50	Champ de mode : 9,8μm à 1,3μm ; 11μm à 2,55μm
Gaine (μm)	100<Ø<200	125	125	125	125
Revêtement primaire (μm)		250	250	250	250
/Atténuations dB/Km	4	3,5	3	3,2 à 850 (μm) 1,2 à 1300 (μm)	à 1,3μm < 0,45 à 1,55μm < 0,3
Bande passante MHz/Km	50			350 à 750	> 10GHz
Débits transportés Mbits/s	2			34	2,5Gbits/s

Tableau 1.1 : Comparaison entre les types de la fibre optique [7]

1.3. Les caractéristiques de la fibre optique

1.3.1. L'ouverture numérique

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

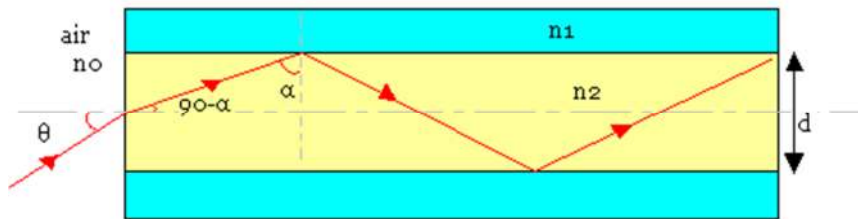


Figure.1.7 : L'ouverture numérique

Pour les fibres monomodes, il vaut mieux d'utiliser une source laser car l'ouverture numérique est assez faible. Mais pour les fibres multi-modes, où il varie le long d'un diamètre, l'ouverture numérique est alors maximale sur l'axe de la fibre et s'annule à la périphérie du cœur. Si l'entrée de la fibre se fait par l'air ($n_0=1$), l'expression de l'ouverture numérique est donnée par : $ON = \sqrt{n_1^2 + n_2^2} < 1$ (Eq.1.1)

1.3.2. L'atténuation

Le phénomène d'affaiblissement ou l'atténuation c'est la perte de la puissance du signal optique propage le long de la fibre elle dépend de la diffusion, les courbes de l'absorption et des pertes connectique aussi à la longueur d'onde des impulsions lumineuses.

On définit l'atténuation par : $A = 10 \cdot \log(P_0 / P_L)$ (Eq.1.2)

Soit P_0 et P_L les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L .

L'atténuation linéaire interprétée par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de longueur de fibre (Loi de Beer-Lambert) :

$P_L = P_0 e^{-\alpha L}$ ou α est le coefficient d'atténuation (Eq.1.3)

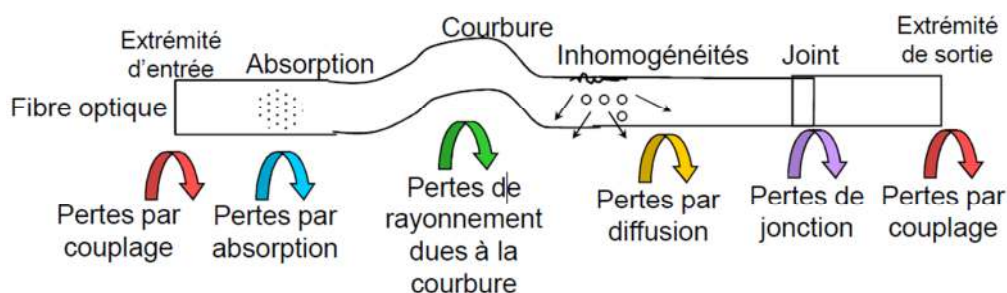


Figure 1.8 : Schéma résume les causes de l'atténuation au sein de la fibre optique [8]

1.3.3. La dispersion

Est un phénomène qui provoque la déformation du signal durant sa propagation dans la fibre, elle se traduit par l'élargissement des impulsions et se divise en plusieurs types :

1.3.3.1 .Dispersion modale de polarisation (PMD)

Elle existe dans une fibre optique multi modes à saut d'indice, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs chemins a des différents longueurs, donc les temps de parcours sont différent aussi.

1.3.3.2. Dispersion chromatique

La dispersion chromatique caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. [9]

1.3.4. Débit de transmission

L'avènement de la fibre optique dans nos réseaux de transmission a permis L'accroissement des débits d'informations échangés. La conservation de ce débit sur une longue distance sans aucune intervention externe est l'une des propriétés essentielle de la fibre. Cet argument a d'ailleurs limité l'installation du DSL (Digital Subscriber Line) pour des lignes de quelques kilomètres, d'un particulier à son lieu de travail par exemple. Les câbles coaxiaux permettent de passer la barre des 100 Mbps, mais le signal se détériore rapidement quand la distance de transmission augmente. Les photons peuvent en théorie, être utilisés pour atteindre des débits de 50 Tb/s. Ce constat a donc fait émerger la lumière comme porteur d'informations pour des applications à large bande passante sur des grandes distances. [10]

1.3.5. Vitesse de transmission

La notion de vitesse du signal dans une fibre est distincte de celle de débit (vitesse de transmission des données), confusion largement répandue dans la presse. La vitesse du signal dans la fibre est globalement la même pour la fibre optique et le câble en cuivre; elle se situe à environ 70 à 75 % de la vitesse de la lumière dans le vide Certaines fibres expérimentales creuses, atteignent des vitesses proches de 99 % de la vitesse de la lumière¹⁷. Sur les transmissions à grande distance, la vitesse de transmission est ralentie par la présence de nombreux répéteurs nécessaires pour remettre en forme le signal, même si les nouvelles

technologies entièrement optiques limitent ce ralentissement . Pour démonstration, la latence théorique d'une liaison informatique Nouméa-Paris est de 90 ms. On le mesure en pratique à 280 ms (en utilisant par exemple un mesureur de latence) après un trajet sur plus de 20 000 km de fibre optique sous-marine, ou le signal est régulièrement ré-amplifié et remis en forme. L'éloignement des serveurs joue donc de façon défavorable sur la latence.

1.3.6. Bande passante

La bande passante optique va caractériser par une fibre optique dans sa capacité à transporter des signaux lumineux sur une certaine distance. Cette distance est mesurée dès que le signal est affaibli à 50% de sa valeur initiale, c'est-à-dire dès qu'il a perdu 3dB.

Pour les fibres optiques multi-modes, la bande passante s'exprime en MHz.km. [11]

1.4. Effets de propagation de la lumière dans la fibre

Le principe de fonctionnement de la fibre optique réside sur la transmission de l'information sous forme d'atomes légers. Les noyaux en fibre de verre et le revêtement ont un indice de réfraction spécial pour tordre la lumière vers l'intérieur à un angle particulier. Chaque fois que des signaux lumineux sont transmis à travers le câble optique, ils ne reflètent pas le revêtement et le noyau dans une séquence de rebonds en zigzag, le fait de s'en tenir à une méthode est appelé réflexion interne totale.

Lorsque la lumière à l'intérieur du noyau frappe la bordure du revêtement dans un angle inférieur à 90°, elle rebondit. Aucune lumière ne s'enfuit jusqu'à ce qu'elle s'approche de l'extrémité de la fibre sinon, la fibre est fortement torsadée ou étendue. Le revêtement du câble peut être endommagé une fois qu'il est rayé. Ainsi, un revêtement plastique comme un tampon protège le revêtement. Cette fibre tamponnée peut être située dans une couche résistante, connue sous le nom de veste. Ainsi, la fibre peut être utilisée facilement sans l'endommager. [12]

1.4.1. La réflexion

« Exprimée par la LOI DE FRESNEL » : Une partie de la lumière est réfléchi au même angle auquel elle entre en contact avec la limite où l'indice de réfraction change.

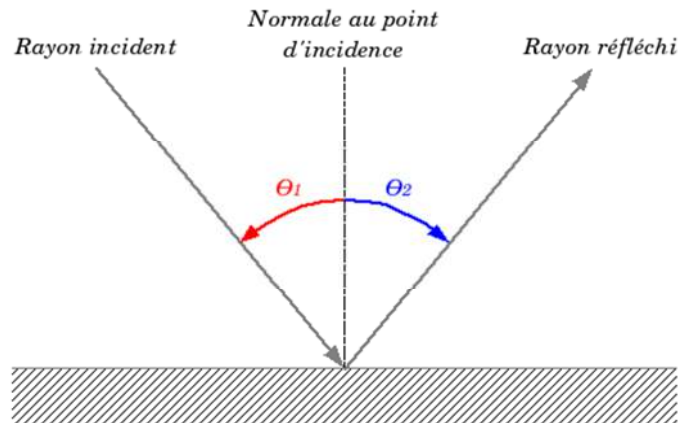


Figure 1.9 : La réflexion

1.4.2. La réfraction

« Exprimée par LA LOI DE SNELL » : Une partie de la lumière est réfractée lorsqu'elle passe à travers une limite où l'indice de réfraction change.

$$n_1 \sin \theta^2 = n_2 \sin \theta^2 \quad (\text{Eq.1.3})$$

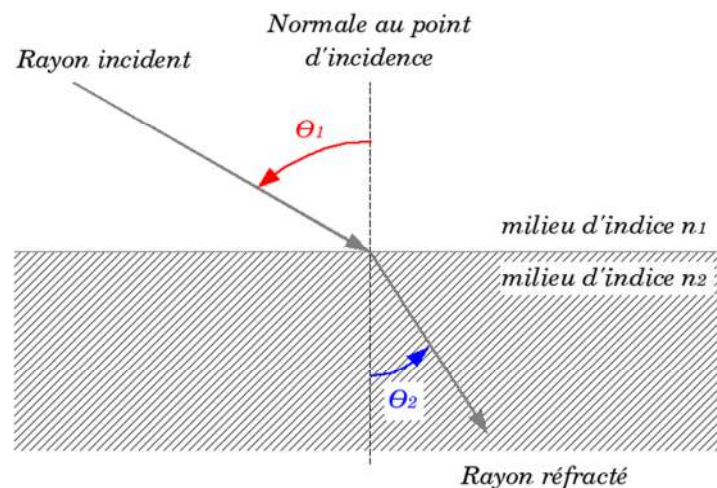


Figure 1.10: La réfraction

1.5. Présentation d'une chaîne de transmission par fibre optique

Comme tous les systèmes de communications, les liaisons optiques se basent sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information: émetteur, le canal de communication et le récepteur.

- Une source optique (DEL ou LASER)
- Une ligne de transmission (fibre optique)
- Un récepteur (PIN ou APD)

La particularité de ce système provient des éléments utilisés pour effectuer le transport de l'information. Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif (la diode laser) qui permet de convertir un signal sinusoïdal électrique en un signal optique. Le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin, le récepteur (le photo-détecteur) récupère le signal électrique véhiculé en opérant une conversion optique/électrique (voir figure 1.11).

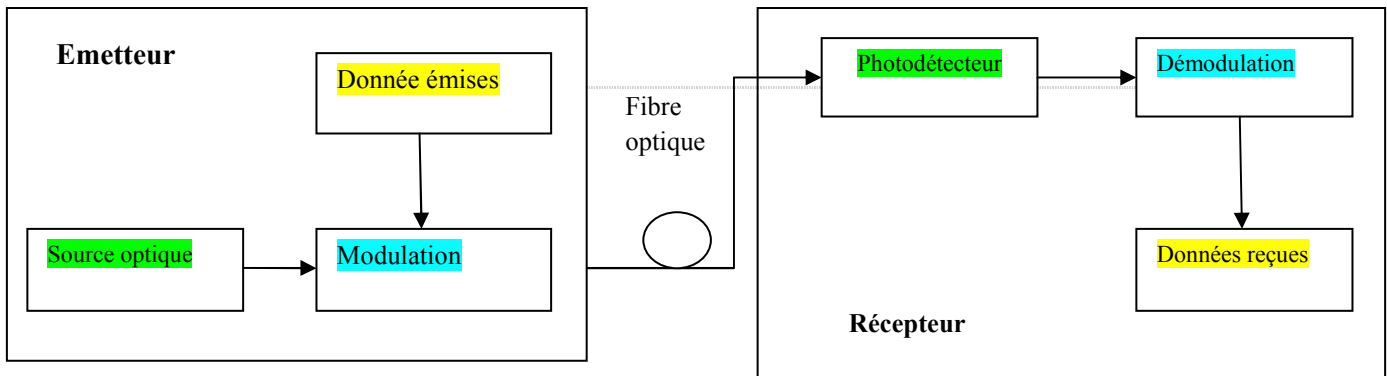


Figure 1.11. Schéma synoptique d'une chaîne de transmission optique

1.5.1. Partie d'émission

Dans cette partie on va convertir (moduler) une énergie électrique en énergie optique pour l'envoyer dans la fibre optique qui sert de support de transmission ; donc elle est nécessaire de sauvegarder les conditions suivants :

Dans cette partie, on va convertir une énergie électrique en énergie optique pour l'envoyer dans la fibre optique qui sert de support de transmission ; donc elle est nécessaire de sauvegarder les conditions suivantes :

- le spectre d'émission étroite et la puissance importante
- Grande capacité à régler la lumière émis
- Meilleure bande passante
- longue durée de vie

1.5.1.1. Source optique

Les sources optiques sont des composants actifs qui contrôlent la bande passante,

Il existe deux types :

- la diode électroluminescente (DEL)
- la diode laser (LD)

Nous allons rappeler dans la suite les caractéristiques de ces sources.

A. La diode électroluminescente (DEL)

C'est le composant le plus simple, il ne mérite pas de très grandes bandes passantes,

Il présente un diagramme de rayonnement moins directif et un spectre d'émission assez large. Généralement utilisé dans les systèmes de communications à fibre optique multi-modes qui fonctionnent dans le rouge visible 850 nm les DELs émettent de la lumière incohérente par émission spontanée.

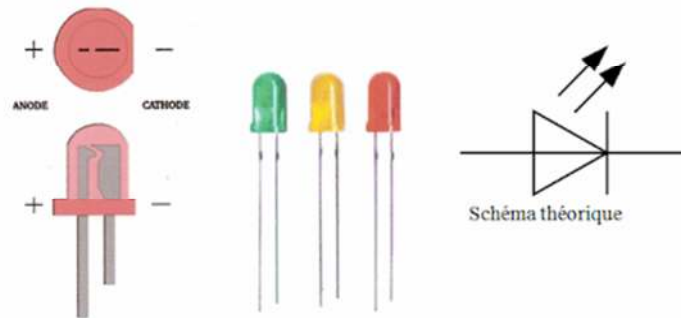


Figure 1.12. Diode électroluminescente DEL

B. La diode laser (DL)

Les diodes laser produisent une grande puissance optique et d'une très large bande passante supérieure aux DELs, elle est utilisée pour la fibre monomode dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550 nm, elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre optique.

La diode laser présente les caractéristiques suivantes :

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



Figure 1.13 : Diode laser DL

1.5.1.2. Comparaison entre DL et DEL

La vitesse de commutation ON / OFF du laser est plus rapide que la LED.

L'étalement spectral est inférieur à la LED d'environ 1 à 2 nm ou même moins. D'où la dispersion n'est pas un problème avec le laser comparé à LED. Par conséquent, les lasers sont plus adaptés aux systèmes à fibres optiques utilisés pour les systèmes monomodes et à haut débit. [13]

1.5.2. Modulateur optique

C'est la fonction essentielle de toute système de transmission des données, elle assure à la modulation des faisceaux lumineux continus, les diodes laser c'est le support le plus efficace pour cela on définit deux types principaux de modulation :

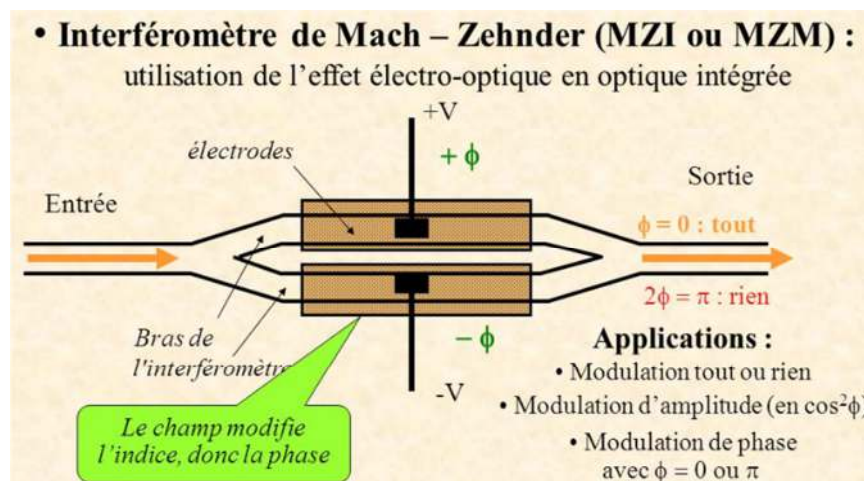


Figure 1.14 : Modulation optique [14]

1.5.2.1. Modulateur directe (interne)

C'est la modification du courant dans la diode électroluminescente (DEL) ou dans la diode laser (DL) elle nécessite une puissance faible et une tension réduite (2 à 3 volts).

La modification du courant qui passe par le laser entraîne directement la modulation de la lumière émise par celui-ci, cette méthode appelée « modulation direct », c'est la plus simple et moins coûteuse elle provoque un changement dynamique du diagramme de rayonnement et du spectre due à la conversion amplitude-fréquence.

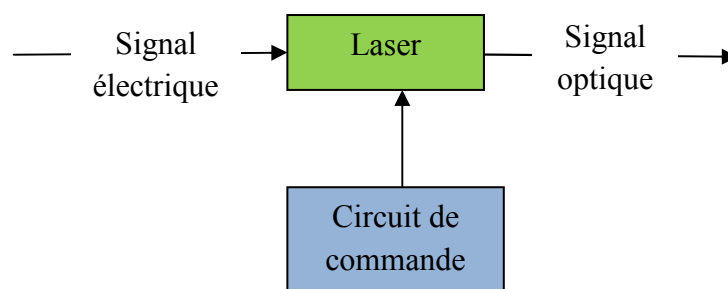


Figure 1.15 : Synoptique de la modulation directe

1.5.2.2. Modulateur externe

C'est la modification du courant d'alimentation à l'entrée du laser et du faisceau lumineux en sortie du laser, elle provoque une modulation d'amplitude ou de phase.

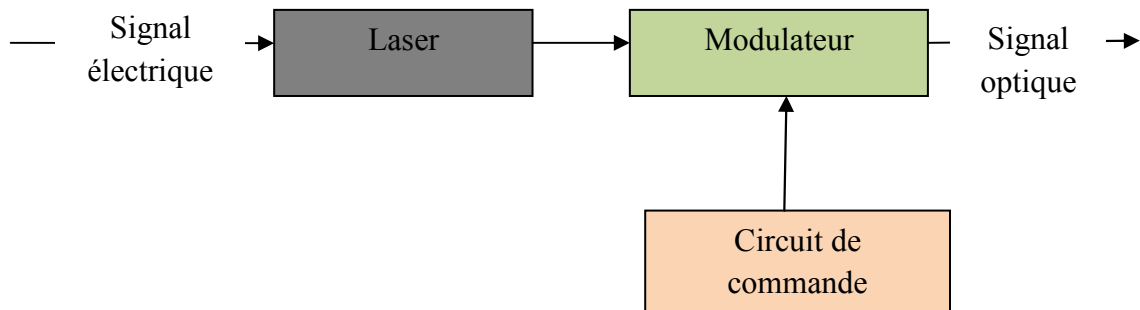


Figure 1.16 : Synoptique de la modulation externe

1.5.3. Partie récepteur

La fonction de la récepteur est de transformer le signal optique en un signal électrique.

Il existe deux types de photo détecteurs à semi-conducteurs sont présentés en télécommunications optiques :

- Les photodiodes PIN
- Les photodiodes à avalanche



Figure 1.17: Fonction d'un récepteur optoélectronique

1.5.3.1. Les photodiodes PIN

C'est une structure dans laquelle le semi-conducteur intrinsèque I, qui absorbe les photons, est compris entre deux armatures P et N.

La caractéristique principale : un photon incident crée au mieux un photoélectron.

Principaux types de photodiodes PIN :

- Au silicium, pour les longueurs d'onde autour de 800 nanomètres.
- Au germanium, pour les longueurs d'onde de 1300 et 1550 nanomètres.
- A base d'arséniure de gallium et de phosphure d'indium, pour un spectre optique allant de 1000 à 1600 nanomètre [11]



Figure 1.18: Photodiode PIN

1.5.3.2. Les photodiodes à avalanche APD

Ce type de photodiodes répond à la problématique suivante : compte tenu de l'affaiblissement linéique du signal lumineux sur de longues distances, lorsqu'il est reçu en fin de course il est relativement faible.

Pour cela on s'appuie sur l'effet "d'avalanche" sous un champ électrique intense interne au semi-conducteur, le photoélectron crée engendre à son tour des photoélectrons secondaires en nombre aléatoire. [11]



Figure 1.19: Photodiodes à avalanche APD

1.6. Les domaines d'application de la fibre optique

1.6.1. Les télécommunications

Parmi les raisons qui expliquent l'emploi croissant des fibres optiques en télécommunications, on peut citer : faibles pertes, bandes passantes élevées, légèreté, encombrement réduit, possibilité d'exposition à des tensions élevées, absence d'étincelles, de conduction, de boucles de masse, de rayonnement, insensibilité aux perturbations optiques ou électromagnétiques, Des terminaux à fibre optique de hautes capacités sont maintenant disponibles à coûts compétitifs.

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. C'est probablement l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter que des débits inférieurs ou égaux à 20 Mb/s, par contre des débits autour des dizaines de Gb/s (câbles transatlantiques) pour la fibre optique avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on peut atteindre des centaines de Gbits/s.

De ce fait, les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à très haut débit. [19]

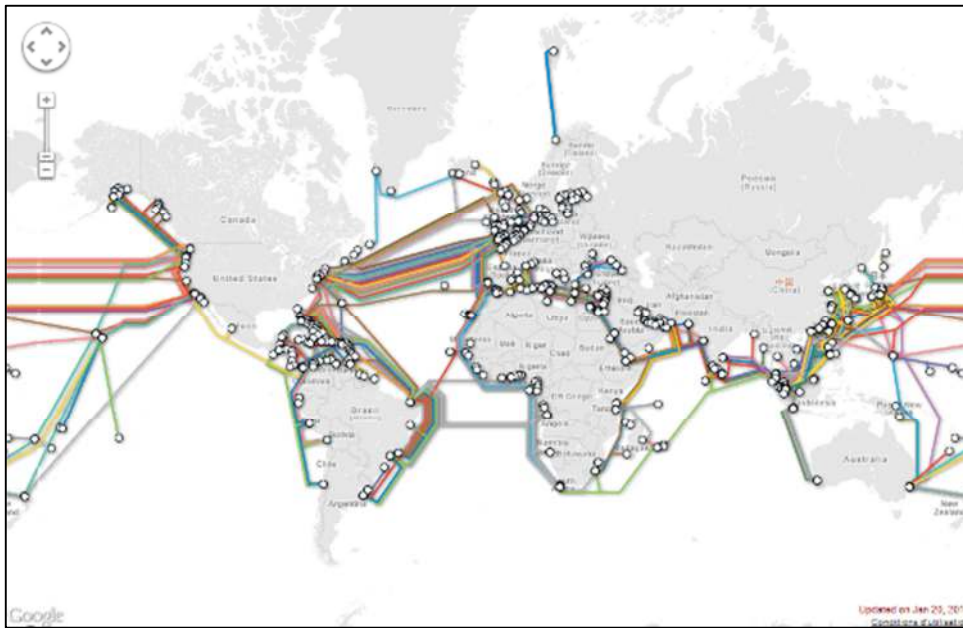


Figure 1.20: Carte mondiale des câbles optiques sous-marins [16]

1.6.2. La médecine

Le domaine médical utilise un nombre grandissant de dispositifs optiques, aussi bien pour les diagnostics (thermographie, imagerie laser) que pour les soins eux-mêmes (chirurgie, épilation laser). La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibre optique qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie (concernant l'appareil digestifs et ses maladies) (voir figure 1.21).



Figure 1.21: Un endoscope

Pour un traitement, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique (60° ou 70°) sur les tissus sanguins : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de découper une tumeur, réparer une rétine [17].

1.6.3. Les capteurs de mesure

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application plus récemment est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subite par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques [17].

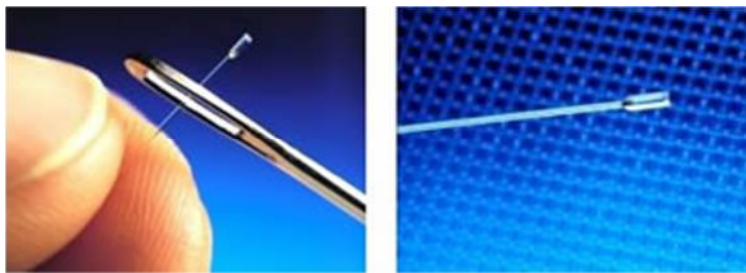


Figure 1.22 : Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins

1.6.4. L'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés [17].



Figure 1.23 : Eclairage par fibre optique

1.6.5. Défense

Souvent associés au radar, omniprésents en défense, les équipements optroniques apportent leurs avantages en discrétion (quand ils émettent, leur émission est plus directive que celle du radar) et en précision angulaire, qualité traditionnelle de l'optique. L'optronique permet d'améliorer l'observation sur le champ de bataille, pour l'aide à la navigation, le pilotage, la reconnaissance et l'identification de cibles, le guidage d'armement. Pour neutraliser ces équipements très efficaces, les contre-mesures optroniques sont en très fort développement [15].



Figure 1.24: Système électro-optique avec radar

1.6.6. Industrie

En fabrication industrielle, on trouve de plus en plus d'équipements laser pour la découpe, la soudure, le marquage. L'optronique intervient aussi en contrôle industriel, pour les mesures de : température, débit (fluides), déplacement, vitesse, accélération, pression (fluides, acoustiques).... Ces capteurs sans contact ne perturbent pas les phénomènes

observés, et peuvent fonctionner en présence d'agressions chimiques (corrosion), mécaniques (vibrations, pression, choc), thermiques, électriques, magnétiques ou radiatives (milieu nucléaire), grâce à la possibilité d'éloigner le capteur du point de mesure [15].

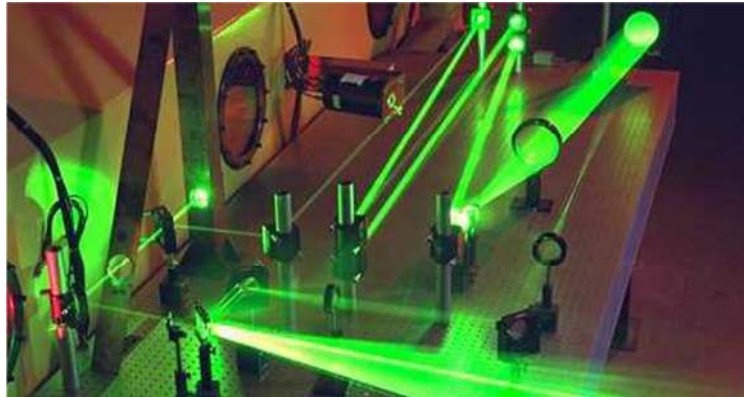


Figure 1.25: Fibre optique (Laser) en industrie

1.7. Conclusion

La fibre optique est la principale technologie du domaine de télécommunication et a permis d'améliorer le partage des données à très grande vitesse non seulement en termes de quantité d'informations transmises mais également en termes de qualité de transmission.

Dans ce chapitre, on a présenté les caractéristiques d'une liaison optique et un rappel sur les types de fibre optiques et les domaines d'utilisations.

Dans le chapitre qui suit, nous allons aborder l'état de l'art du réseau tout optique FTTH.

Chapitre 2

Etat de l'art du réseau
FTTH

2.1. Introduction

La demande de l'internet à haut débit est le principal objectif pour les nouvelles technologies d'accès. Le réseau FTTH, en français "fibre jusqu'à domicile" apparaît comme le choix le plus approprié qui permettent une énorme bande passante et longue portée offrant des services en Triple Play (données, voix et vidéo) sur une seule fibre optique.

FTTH est la meilleure solution pour fournir les services complémentaires tels que la vidéo en demande (VOD), jeux en ligne, télévision HD et technologie VOIP.

Ce chapitre introduit les réseaux optiques en particulièrement les réseaux passifs (PON- WDM) et ses différents composants, nous allons présenter aussi des architectures de réseau PON, Point à point et point à multipoints, par la suite, on discute sur les différents technologies FTTx.

2.2. Historique et évolution du réseau FTTH

Un réseau FTTH est un réseau de télécommunications physique qui permet notamment l'accès à internet à très haut débit et dans lequel la fibre optique se termine au domicile de l'abonné. Développés dans divers pays au cours des années 2000 puis 2010, ces réseaux terrestres remplacent progressivement ceux ayant historiquement servi à la distribution du téléphone ou encore de la télévision par câble.

En 2015, les réseaux FTTH commerciaux peuvent atteindre jusqu'à 1 Gbit/s symétrique, contre un maximum de 20 Mbit/s en ADSL 2+ et 100 à 200 Mbit/s en VDSL2. Ils permettent également une meilleure latence, l'absence de sensibilité aux perturbations électromagnétiques, et un débit stable pour des lignes jusqu'à environ 30 km de longueur. La technologie FTTH qui exige l'installation d'un point de terminaison optique chez chaque abonné est néanmoins nettement plus coûteuse que des solutions alternatives comme la fibre jusqu'au sous-répartiteur ou jusqu'à l'immeuble, avec une terminaison VDSL sur le câblage cuivre existant.

Dans les déploiements grand public, les zones urbanisées sont généralement privilégiées par les opérateurs privés, la couverture d'un plus grand nombre d'abonnés étant facilitée par la densité de population. Ces choix ne sont pas forcément en adéquation avec les besoins des habitants en matière de débit, la qualité de l'accès à Internet par le réseau téléphonique historique dépendant fortement de la distance aux centraux. En France, diverses collectivités

territoriales ont commencé le déploiement de leurs propres réseaux d'initiative publique au cours des années 2010, afin de pallier les disparités de couverture du territoire.

2.3. Architectures du réseau d'accès optique FTTH

Lorsqu'on aborde le sujet des architectures FTTH, on s'intéresse aux réseaux des abonnés c'est-à-dire le lien entre l'abonné et le commutateur de l'opérateur.

Le déploiement de la FTTH ça coute très cher. La mise en place d'une liaison optique entre un client et un central optique, c'est donc le principal frein à la popularisation de la FTTH pour réduire ces couts, différentes architectures sont misent en place. On parle de réseau FTTH point à point, point à multipoint, actif ou passif.

2.3.1. L'architecture Point à Point (P2P)

Dans cette architecture, chaque abonné est raccordé au répartiteur optique du réseau le plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Ce modèle est identique à celui de la boucle locale téléphonique actuelle. Cette architecture permet une étanchéité absolue entre les lignes des différents abonnés : aucun risque de sécurité, et garantie absolue de disponibilité totale de la ligne. Mais c'est un inconvénient pour les opérateurs, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant de fibres que d'abonnés. [18]

La figure suivante représente un schéma optique du l'architecture Point à Point de FTTH :

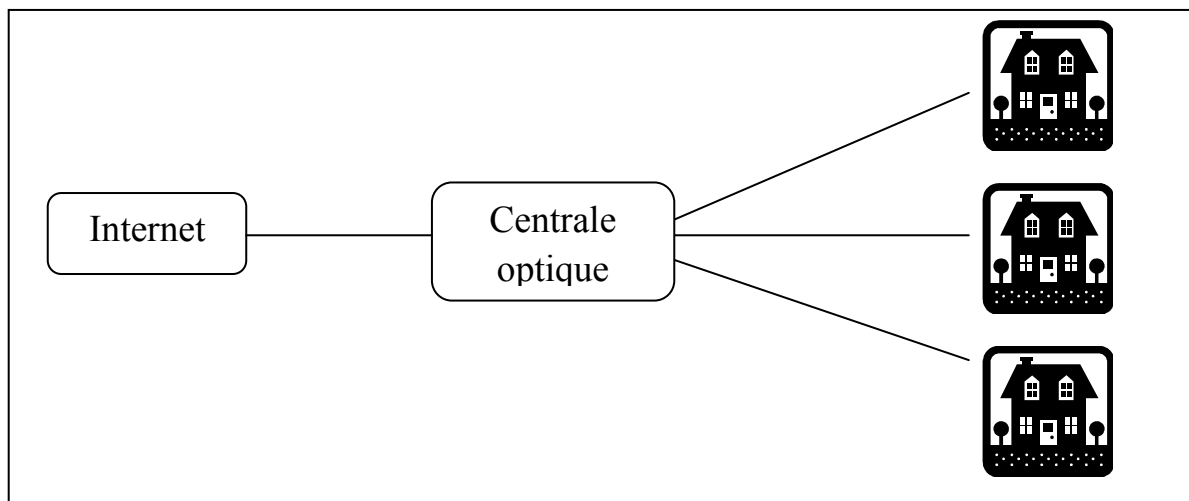


Figure 2.1: Architecture point à point (P2P)

2.3.2. Architecture point à multipoints active AON (Active Optical Network)

Ce type de réseau optique permettant de partager l'infrastructure entre plusieurs clients, Dans cette architecture appelée AON (Active Optical Network), on utilise un équipement « Actif » installé à proximité d'une « grappe » d'utilisateurs d'un secteur géographique donné et regroupe ces utilisateurs, La terminaison finale peut être réalisée en fibre optique après avoir opéré une nouvelle conversion électro-optique du signal. [4]

2.3.3. Architecture point à multipoints passive PON (Passive Optical Networks) [19]

Cette architecture FTTH utilise un système de couplage (appelé coupleur optique) installé dans le réseau d'accès. Dans cette architecture, une fibre unique part du central optique dans le réseau et dessert plusieurs habitations, sur lesquelles sont raccordées à cette fibre au niveau d'un équipement passif (coupleur ou splitter) placé à proximité de la zone à desservir. Chaque site reçoit toutes les informations envoyées par l'équipement central OLT (Optical Line Terminal); et les reçoivent par l'équipement récepteur ONT (Optical Network Terminaison) de chaque abonné, et assure la fonction du filtrage : chacun des ONT et OLT n'exploitent que les données qui concerne l'utilisateur qui y est raccordé.

Ce type de réseau est souvent désigné sous le terme de PON (Passive Optical Network ou Réseau optique passif), le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique.

Cette architecture permet des économies sur la quantité de fibres à poser et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil OLT. Les principaux inconvénients sont le partage du débit et la nécessité de chiffrer les connexions des abonnés qui utilisent la même fibre.

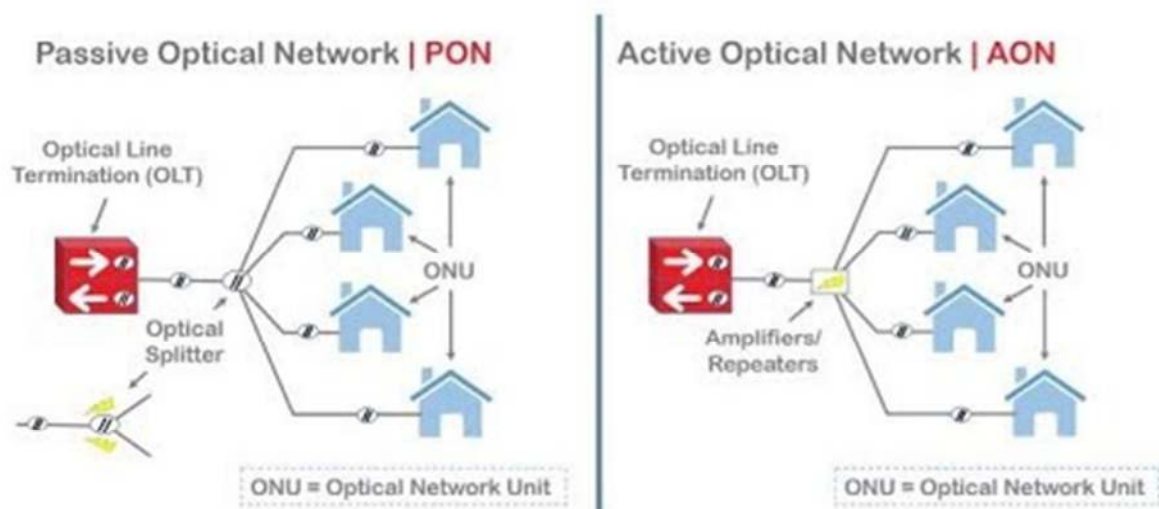


Figure 2.2: Architecture point à multipoint [20]

2.3.4. Les différents standards d'un réseau PON [21]

Les architectures passives PON se déclinent ensuite en plusieurs catégories :

2.3.4.1. APON

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

2.3.4.2. BPON

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

2.3.4.3. EPON

Ethernet PON, La technologie utilise une transmission à base de paquets Ethernet. La différence majeure avec le APON est que les données sont transmises en paquets de longueur variable jusqu'à 1.518 octets, alors que l'APON oblige à utiliser les paquets ATM de 48 octets (avec 5 octets supplémentaires = contrôle). Selon le protocole Ethernet, chaque paquet descendant porte l'adresse de l'ONU auquel il doit être fourni, mais ce paquet est transmis à tous les ONU. L'ONU auquel il est destiné le transmet, les autres le jettent. Chapitre 2 Réseaux optiques 28 Le débit maximal est 1,25 Gbit/s symétrique, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT.

2.3.4.4. GPON

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

2.3.4.5. WDM-PON

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

2.3.5. Comparaison entre les standards de PON

Le tableau suivant présente une comparaison entre les standards de PON :

Norme	APON	BPON	EPON	GPON
<i>Norme de recommandation</i>	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av	G.984
<i>Protocoles</i>	ATM	ATM	Ethernet avec accès CSMA/CD	GEM (ATM, Ethernet, TDM)
<i>Longueur d'onde (descendant/montant)</i>	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm
<i>Débit descendant</i>	155Mbit/s ou 622Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 10Gbit/s	2.5Gbit/s
<i>Débit montant</i>	155Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 1Gbit/s ou 10Gbit/s	1.25Gbit/s
<i>Taux de partage</i>	16,32	16,32	16, 32,64	16,32,64 jusqu'à 128
<i>Distance OLT ONT</i>	10 ou 20Km	10 ou 20Km	20Km	20Km

Tableau 2.1: Comparaison entre les standards de PON [22]

2.4. Caractéristiques des réseaux de télécommunications [18]

2.4.1 Les réseaux cœur

On les appelle également les réseaux WAN. Ce sont généralement des réseaux dotés d'une structure maillée ou en anneaux où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexions varient entre la centaine de kilomètres et plus de mille Kilomètres, couvrant ainsi des zones géographiques à l'échelle des continents.

2.4.2 Les réseaux métropolitains

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain connaît en ce moment un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du Réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), Il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut Distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès. Les réseaux métropolitains structurants sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150km de circonférence avec six à huit nœuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40km de circonférence dotée de trois ou quatre nœuds avec des Embranchements vers des sites distants. Suivant les réseaux ou les pays, ces chiffres peuvent Varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les zones très peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront inférieures, et les Etats-Unis où les Applications métropolitaines s'apparentent à de véritables réseaux régionaux.

2.4.3 Les réseaux d'accès

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain.

Il est toujours constitué par une partie en fibre optique entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la contribution de l'électrique pour aller vers le tout optique dans le but d'augmenter le débit disponible chez l'abonné.

2.5. Classifications géographique des réseaux [23]

2.5.1. Le réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network)

Il est déployé à l'échelle d'un pays ou d'un continent, et ses nœuds sont de très grands centres urbains. Ce type de système :

- ❖ comprend des systèmes terrestres ou sous-marins ;
- ❖ véhicule des données à grande vitesse sur des longues distances de plus de 100 km ;
- ❖ peut utiliser des répéteurs pouvant régénérer le signal optique.

Ces répéteurs sont constitués par des régénératrices optoélectroniques 3R (Retiming, Reshipping, Regenerating) et par des amplificateurs optiques.

2.5.2. Les réseaux terrestres

Les réseaux terrestres se définissent tels que les réseaux qui :

- Ont une dimension de quelques centaines de km et relient des grands centres urbains, reliés par des multiplexeurs d'insertion extraction.
- Utilisent une topologie propre au SDH avec des boucles en double anneau, permettant en cas de panne d'un anneau de diriger les signaux sur l'autre.
- Sont flexible vis-à-vis de la demande ; actuellement à 2.5 Gb/s, ils peuvent être augmentés, à l'aide du DWDM sur N canaux, à $N \times 2.5$ Gb/s ou $N \times 10$ Gb/s.

2.5.3. Les réseaux sous-marins

Ces réseaux se définissent tels que les réseaux qui :

- Peuvent atteindre plusieurs milliers de km ;
- Peuvent aussi relier des îles ou des pays d'un même continent. De plus, il est moins coûteux de poser des câbles sous-marins que des câbles enterrés ;
- Utilisent la 3ème Fenêtre de la fibre optique à $\lambda=1550$ nm où l'atténuation est la plus faible. Les liaisons transocéaniques les plus anciennes sont de type point -à-point ; dans les Systèmes les plus modernes, on adopte la structure en anneau de façon à pouvoir réorienter les Signaux en cas de défaillance d'une voie

2.5.4. Le réseau métropolitain (MAN, Métropolitain Area Network)

C'est un réseau qui dessert une grande ville et ses environs. Ce type de réseau :

- à une longueur qui varie entre 1 à 100 km ;
- est de type récent, en constante évolution et croissance ;
- A un grand degré de connectivité ;
- utilise des anneaux métropolitains qui se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance.
- Les anneaux d'accès collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant ;
- doit, à la différence du réseau longue distance, prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers ;
- mêlent les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou autre encore. Les Amplificateurs optiques sont essentiels pour les applications de ce type de réseau;
- est souvent équipé par des cartes transpondeurs multi-débits universelles, acceptant
- N'importe quel débit de 100 Mb/s à 2.5 Gb/s ;
- utilise le DWDM, offrant les mêmes avantages que les systèmes à longues distances
- les distances étant plus faibles, nécessite moins d'amplificateurs optiques, ce qui permet d'étendre la bande spectrale au-delà des amplificateurs EDFA et réduit les problèmes de dispersion.

2.5.5. Le réseau local (LAN, Local Area Network)

Aussi appelé réseau d'accès ou de desserte, ce réseau :

- à une longueur qui varie de 2 à 70 m ;
- est constitué par une partie en fibre entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

2.5.6. Comparaison entre les réseaux LAN WAN et MAN

Le tableau suivant illustre une Comparaison entre les différents réseaux :

Caractéristiques de distance	LAN Local Area Network Réseau Local	MAN métropolitain Area Network Réseau de Campus	WAN wide area network Réseau Public
<i>Taille géographique</i>	1 mètre à 2 kilomètres	1 mètre à 200 kilomètres	Quelques milliers de kilomètres
<i>Nombre d'abonnés</i>	2 à 200	2 à 1000	Plusieurs milliers
<i>Opérateur</i>	L'utilisateur ou son service	Regroupement d'utilisateurs	Différent des utilisateurs
<i>Facturation</i>	Gratuit	Forfait	Volume et durée
<i>Débits</i>	1 à 100Mbit/s	1 à 100 Mbit/s	De 50 bit/s à 2Mbits/s
<i>Taux d'erreur</i>	Inférieur à 10 ⁻⁹	Inférieur à 10 ⁻⁹	10 ⁻³ à 10 ⁻⁶
<i>Délai</i>	1 à 100ms	10 à 100ms	Inférieur à 0.5 s

Tableau 2.2: Comparaison entre les réseaux [24]

2.6. Les techniques utilisées dans les réseaux optiques

L'apparition et la maîtrise des nouvelles technologies optiques pour la transmission et le brassage des signaux dans un réseau optique permettent l'introduction de la transparence dans le réseau cœur. On va définir certaines techniques importantes comme suit :

2.6.1. PDH

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la Copyright EFORT 2013 2 signalisation et la synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle. Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé.

La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s. Ces débits en Europe sont nommés Ei avec E1 correspondant à 2 048 kbit/s, E2 correspondant à 8 Mbit/s, E3 correspondant à 34 Mbit/s, E4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé) et E5 correspondant à 560 Mbit/s mais n'ayant jamais été normalisé. L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH. Les débits PDH aux Etats-Unis sont nommés Ti avec T1 à 1,544 Mbit/s, T2 à 6,312 Mbit/s, T3 à 44,736 Mbit/s et T4 fonctionnant à 274,176 Mbit/s

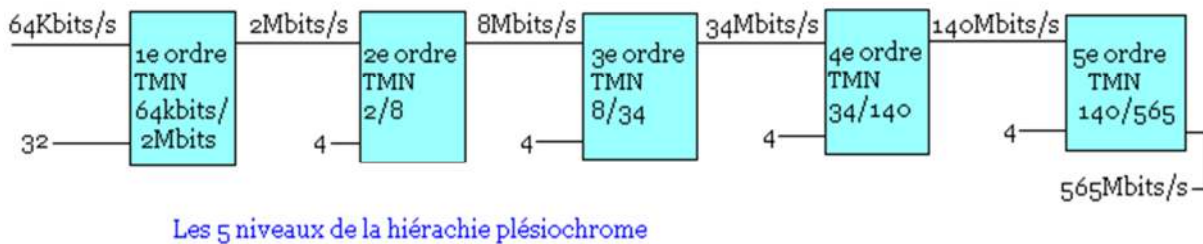


Figure 2.3: Multiplexage PDH [25]

2.6.2. SDH-SONET

Les sigles "SONET" et "SDH" sont mis pour "Synchronous Optical NETWORK" et pour "Synchronous Digital Hierarchy". Ces termes désignent des ensembles de protocoles reliés à l'utilisation de la fibre optique dans les réseaux. La hiérarchie numérique synchrone (SDH) est la version européenne (c'est à dire répondant aux attentes des européens) du réseau optique synchrone (SONET) qui est un protocole d'origine américaine. Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Contener. Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM - n (Synchronous Transport Module, niveau n). La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET. Le niveau 1 de SDH (155,52 Mb/s) est le niveau 3 de SONET et le niveau 2 de SDH (622,08Mb/s) est le niveau 12 de SONET. Les réseaux SDH les plus déployés sont aujourd'hui des réseaux combinant les niveaux STM1 (155 Mbit /s), STM4 (622 Mbit/s) et STM16 (2,5 Gbit /s)

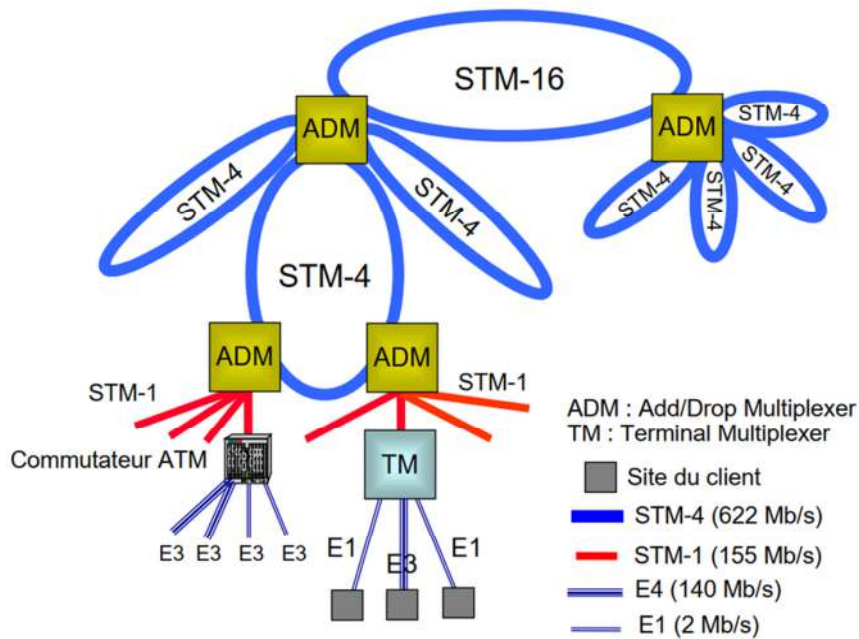


Figure 2.4 : Présentation du réseau SDH [26]

2.6.3. WDM/ D-WDM

Le principe repose sur la transmission simultanée de plusieurs signaux, provenant de sources diverses et chacun véhiculé par une longueur d'onde différente, sur une même fibre. Les systèmes actuels autorisent 4, 8, 16, 32 et 64 canaux optiques différents, chacun pouvant supporter 2,5Gbits/s par exemple; on obtient alors des débits de 10, 40, 80 et 160 Gbits/s. A partir de différentes sources émettant chacune à une longueur d'onde propre, cette technique permet de regrouper et d'injecter ces canaux dans une seule fibre sans qu'il y ait de chevauchement entre eux au cours de la propagation.

Il suffit à l'extrémité de la fibre, de séparer ces longueurs d'ondes et de les envoyer sur autant détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux. Il est à noter qu'il existe des sources émettant plusieurs longueurs d'onde simultanément, et que la capacité des systèmes de transmission WDM a augmenté parallèlement avec l'augmentation du débit par canal en multiplexage temporel(TDM) de 2,5 à 40 Gbits/s. ITU-T G692 est la norme définissant la plage de longueurs d'onde dans la fenêtre de transmission "1530-1565 nm.

La WDM est dite DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) quand l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 0,8 nm, ou plus de 16 canaux sont utilisés. Un système à 16 canaux 2.5Gbit/s, soit 40Gbit/s, achemine 5.105 conversations téléphoniques. On s'attendra à un accroissement du débit offert sur chaque canal pourras vite atteindre 10Gbit/s [26].

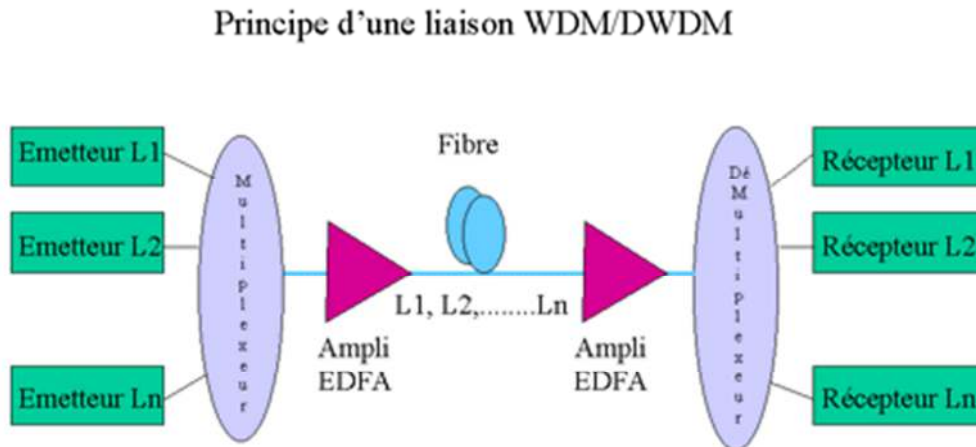


Figure 2.5 : Multiplexage WDM/ DWDM [27]

2.7. Les technologies FTTX

Les opérateurs de télécommunications déploient largement la technologie FTTX pour répondre à ce besoin. Une architecture de réseau à large bande utilisant la fibre optique au près des abonnés. On parle de réseau FTTH, FTTN, FTTC, FTTB et FTTP qui diffèrent en fonction du point d'arrivée de la fibre par rapport à l'abonné (voir figure 2.6).

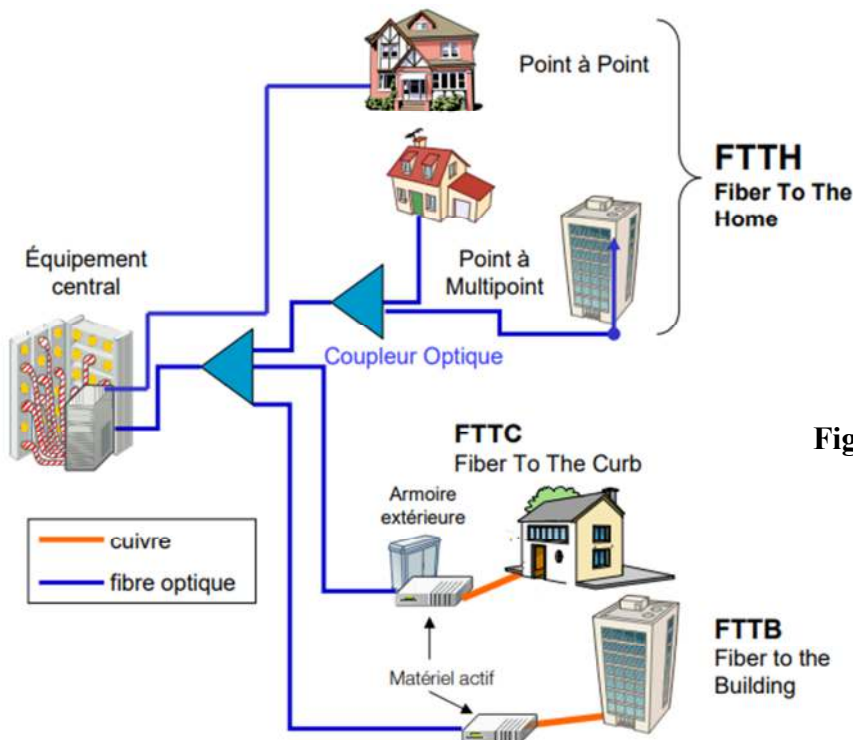


Figure 2.6: Technologies FTTX [28]

2.7.1. FTTH

Le FTTH désigne le raccordement optique jusqu'à l'utilisateur final, sans réutilisation du câblage cuivre. Avec cette solution, la plus achevée et donc la plus performante, il est actuellement possible d'atteindre des débits atteignant 2,5 Gbit/s dans le sens descendant et 1,2 Gbit/s dans le sens montant sur une même fibre qui peut être partagée entre 64 clients, cette solution est définie comme une architecture de réseau d'accès dans laquelle le raccordement au logement ou au local professionnel de l'utilisateur final est assuré par fibre optique destinée à desservir un utilisateur unique en services de télécommunications

2.7.2. FTTB

Signifiant littéralement en français (fibre jusqu'au bâtiment) c'est une topologie d'accès à l'internet concerne uniquement les réseaux en fibre optique qui arrivent jusqu'à l'intérieur de la propriété privée, ce type de réseau peut être basée soit sur les technologies Active Optical Network (Point-to-Point) ou réseau optique passif (PON), qui offrent des performances similaires, mais légèrement différentes. [29]

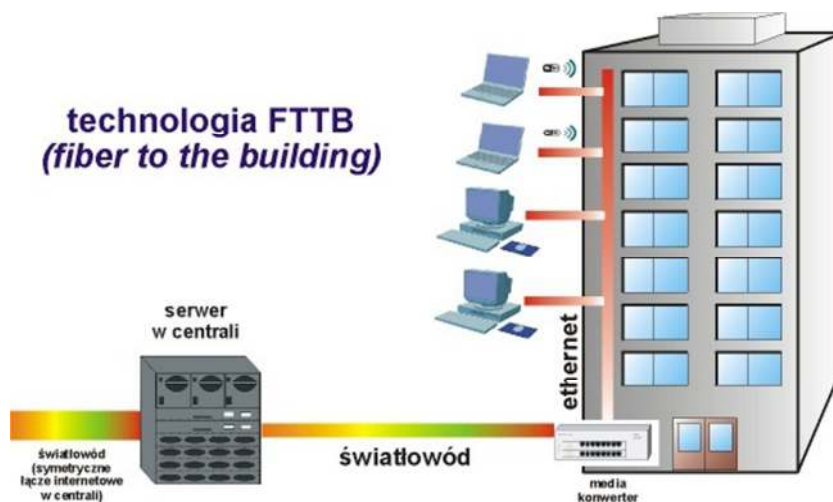


Figure 2.7: Technologie FTTB [29]

2.7.3. FTTC

FTTC ou 'Fiber to the curb' fait référence à l'installation et l'utilisation de la fibre optique directement sur les trottoirs, la FTTC est un mélange d'un câble en cuivre traditionnel et d'un câble à fibre optique. Il utilise des câbles à fibres optiques jusqu'à l'armoire de rue, puis un fil de cuivre pour connecter les armoires aux foyers et aux entreprises. Fibre to the Curb est une nouvelle technologie d'accès qui fera partie du déploiement du réseau d'accès haut débit NBN pour fournir un accès aux services haut débit aux foyers et entreprises [29].

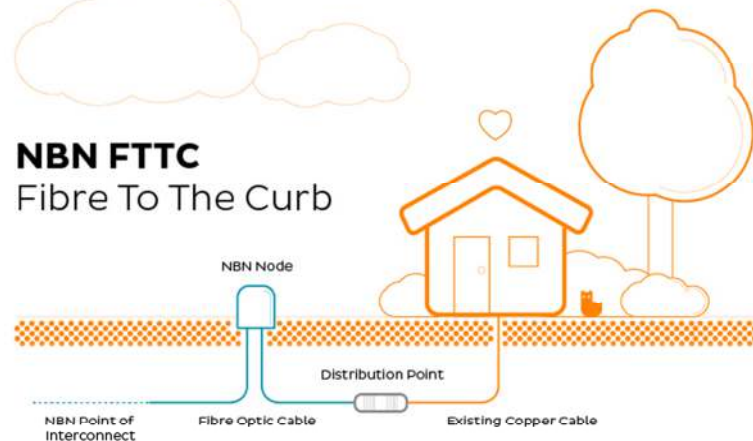


Figure 2.8: Technologie FTTC [30]

2.7.4. FTTN

Le réseau FTTN (fibre jusqu'au nœud ou voisinage) dessert quelques centaines de clients. Ils doivent être dans un rayon d'un mile. La distance restante jusqu'à la maison, souvent appelée le «dernier kilomètre», peut utiliser le DSL via les lignes de téléphonie ou de câblodistribution existantes. La proximité du client avec le nœud et les protocoles de livraison déterminent les débits de données [30].

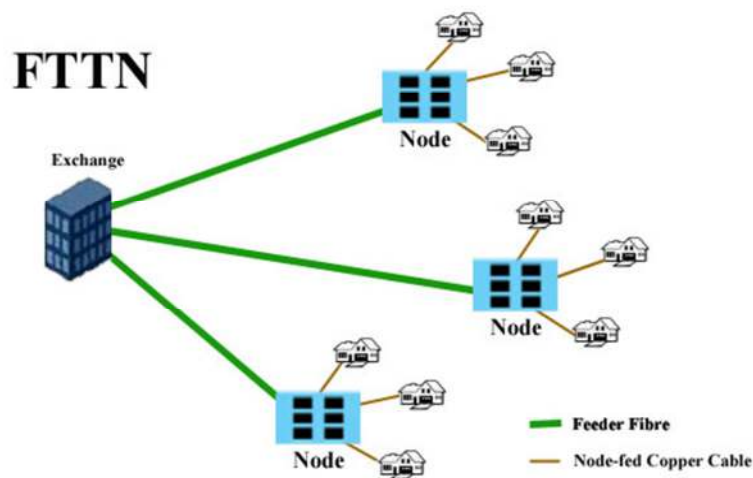


Figure 2.9: Technologie FTTN [30]

2.8. Différents Composants d'un réseau optique FTTH [31]

Un réseau PON comprend un terminal de ligne optique OLT au bureau de la société de communication et un certain nombre d'Unités de Réseau Optique (ONU) près des utilisateurs finaux. Il existe actuellement deux principaux standards de PON : le Réseau Optique Passif Gigabit (GPON) et le Réseau Optique Passif Ethernet (EPON). Mais quel que soit le type de PONs, ils ont une même structure de topologie de base. Un système de Réseau Optique Passif Gigabit Ethernet (GEPON) est généralement composé d'un terminal de ligne optique (OLT) au bureau central du fournisseur de services et d'un certain nombre d'unités de réseau optique (ONUs) ou des terminaux de réseau optique (ONTs) près des utilisateurs finaux. De plus, le réseau de distribution optique (ODN) est utilisé pendant la transmission entre l'OLT et l'ONU/ONT.

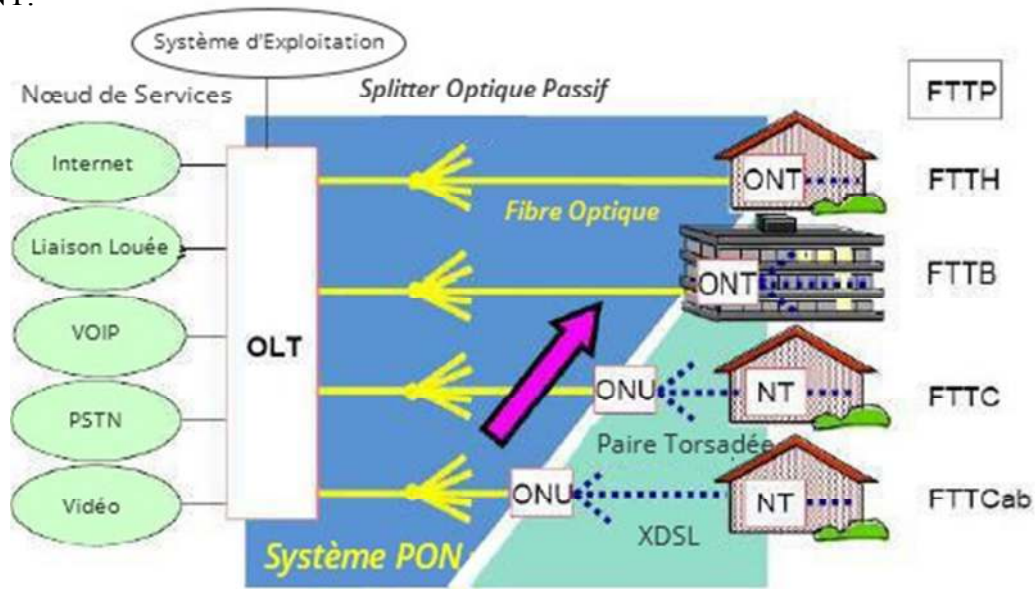


Figure 2.10 : Architecture PON avec différents composants de réseaux optiques

2.8.1. OLT (Terminal de ligne optique)

L'OLT est un équipement intégrant la fonction de commutateur L2/L3 dans le système GPON. En général, l'équipement de l'OLT contient le rack, le CSM (Le Module de Contrôle et de Commutateur), l'ELM (Le Module de Link de EPON, la carte de PON), les modules d'alimentation de protection redondante -48V DC ou un module d'alimentation 110/220V AC, et les ventilateurs. Dans ces pièces, la carte de PON et l'alimentation sont échangeables à chaud, tandis que les autres modules sont intégrés en interne. La fonction principale de l'OLT est de contrôler la circulation de l'information sur l'ODN, dans les deux directions, tout en

étant située dans un bureau central. La distance maximale supportée pour la transmission dans le réseau ODN est de 20 km. L'OLT a deux directions de circulation : en amont (obtention des différents types de débit de données et de la voix des utilisateurs) et en aval (réception du débit de données, de la voix et de la vidéo du réseau métropolitain ou d'un réseau à longue distance, et de l'envoyer à tous les modules de l'ONT du réseau ODN).



Figure 2.11: Exemple d'une OLT

2.8.2. ONT (Terminal de réseau optique)

En fait, l'ONT est le même que l'ONU en substance. L'ONT est un terme de l'UIT-T, tandis que l'ONU est un terme de l'IEEE. Tous les deux se réfèrent au terminal des utilisateurs dans le système GEAPON. Mais dans la pratique, il existe une petite différence entre l'ONT et l'ONU en fonction de leur emplacement. L'ONT est généralement dans les emplacements des utilisateurs.



Figure 2.12: Exemple d'une ONT

2.8.3. ONU (Unité de Réseau Optique)

L'ONU convertit les signaux optiques transmis par fibre en signaux électriques. Ces signaux électriques sont ensuite envoyés à des abonnés individuels. En général, il existe une distance ou un autre réseau d'accès entre l'ONU et les emplacements des utilisateurs finaux. En outre, l'ONU peut envoyer, agréger et classer différents types de données provenant des clients et les envoyer en amont à l'OLT. Le classement est le processus qui optimise et réorganise le flux de données afin de le rendre plus efficace. L'OLT supporte la répartition de la largeur de bande qui permet une transmission en douceur de données circulées à l'OLT, qui arrive généralement en rafale à partir des clients. L'OLT peut être connectée par différentes méthodes et types de câble, comme un câble en cuivre à paire torsadée, un câble coaxial, une fibre optique ou un Wi-Fi.



Figure 2.13: Exemple d'une ONU

2.8.4. ODN (Réseau de Distribution Optique)

L'ODN fournit le support de transmission optique pour la connexion physique des ONUs aux OLTs, sa portée est de 20 km ou plus. Dans le réseau ODN, un câble à fibre optique, des connecteurs de fibre optique, des splitter à optique passif et des composants auxiliaires collaborent les uns avec les autres. L'ODN comprend spécifiquement cinq segments : la fibre d'alimentation, le point de distribution optique, la fibre de distribution, le point d'accès optique et la fibre optique. La fibre d'alimentation commence à partir du cadre de distribution optique (ODF) dans la salle de télécommunication du bureau central (CO) et se termine au point de distribution optique pour une couverture à longue distance.

La fibre de distribution du point de distribution optique au point d'accès optique de distribution à fibres optiques pour les zones adjacentes. La fibre optique connecte le point d'accès optique à des terminaux (ONTs), permettant ainsi une transmission de la fibre optique dans les maisons des utilisateurs. De plus, l'ODN est le chemin essentiel pour la transmission de données PON et sa qualité affecte directement les performances, la fiabilité et l'évolutivité du système PON.

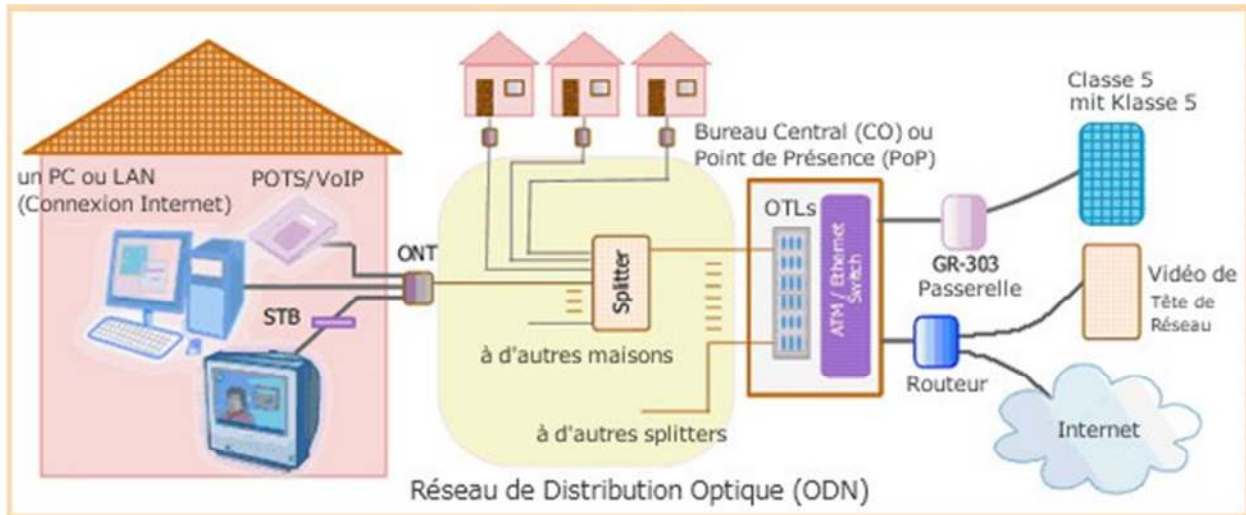


Figure 2.14: Réseau de distribution ODN [31]

2.9. Conclusion

Le réseau FTTH est une tendance populaire dans l'industrie des télécommunications actuelle car il offre aux l'utilisateur une triple lecture efficaces et efficiente qui est un mélange standard de types de trafic appelés voix, vidéo et données Elle offre ainsi par rapport à L'ADSL une bien meilleure qualité, un débit d'informations plus élevé, la rapidité et l'importance des progrès réalisés dans le domaine des télécommunications entraînent de véritables changement dans les structures des systèmes de transmission .

Ce chapitre présente simplement les caractéristiques de la technologie FTTH, au début nous avons présenté les réseaux optiques (SDH, PDH, WDM et DWDM) et les différent caractéristiques de ces réseaux Pui les technologies FTTX ensuit, nous avons cité les différents composants d'un réseau optique (OLT, ONT, ODN) et enfin l'architecture du réseau d'accès optique FTTH (PON, BPON, GPON et AON).

Dans le chapitre qui suit, on présente la simulation du réseau FTTH, l'installation de leurs équipements et les résultats de test ainsi une évaluation des performances en termes de QoS dans le réseau FTTH.

Chapitre 3

Tests et simulation des performances du QoS dans un réseau FTTH

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire une simulation d'un réseau d'accès à fibre optique « FTTH » avec l'optimisation de la qualité de service (QoS) qui garantit le service Triple Play. En utilisant le logiciel «OptiSystem optiwave» conçu spécialement pour la simulation des réseaux optiques, l'objectif principal est de tester les performances des réseaux BPON et GPON du réseau optique FTTH à travers ce logiciel en terme du taux d'erreurs binaire (BER) et le facteur de qualité (Q).

3.2. Présentation du logiciel OptiSystem

OptiSystem est un logiciel de simulation des systèmes de communication optique pour la conception, le test et l'optimisation pratiquement de tout type de liaison optique. Ce logiciel possède un environnement de simulation puissante et une définition véritablement hiérarchique des composants et des systèmes, ces capacités peuvent être facilement étendues avec l'ajout de composants utilisateur et d'interfaces transparentes a une gamme d'outils largement utilisés.

OptiSystem sert une large gamme d'applications, de la conception de réseaux optiques et la conception d'émetteurs, de canaux, d'amplificateurs et de récepteurs. Il contient un composant MATLAB qui permet à l'utilisateur d'appeler MATLAB dans son environnement pour incorporer de nouveaux composants ou modèles dans le logiciel qui comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties (voir figure 3.1):

- **Editeur du projet** : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- **Projet en cours** : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours d'édition.
- **Bibliothèque** : une base de données de divers composant existant, elle contient tout type de modèle qui permet de réaliser les différents schémas [32].

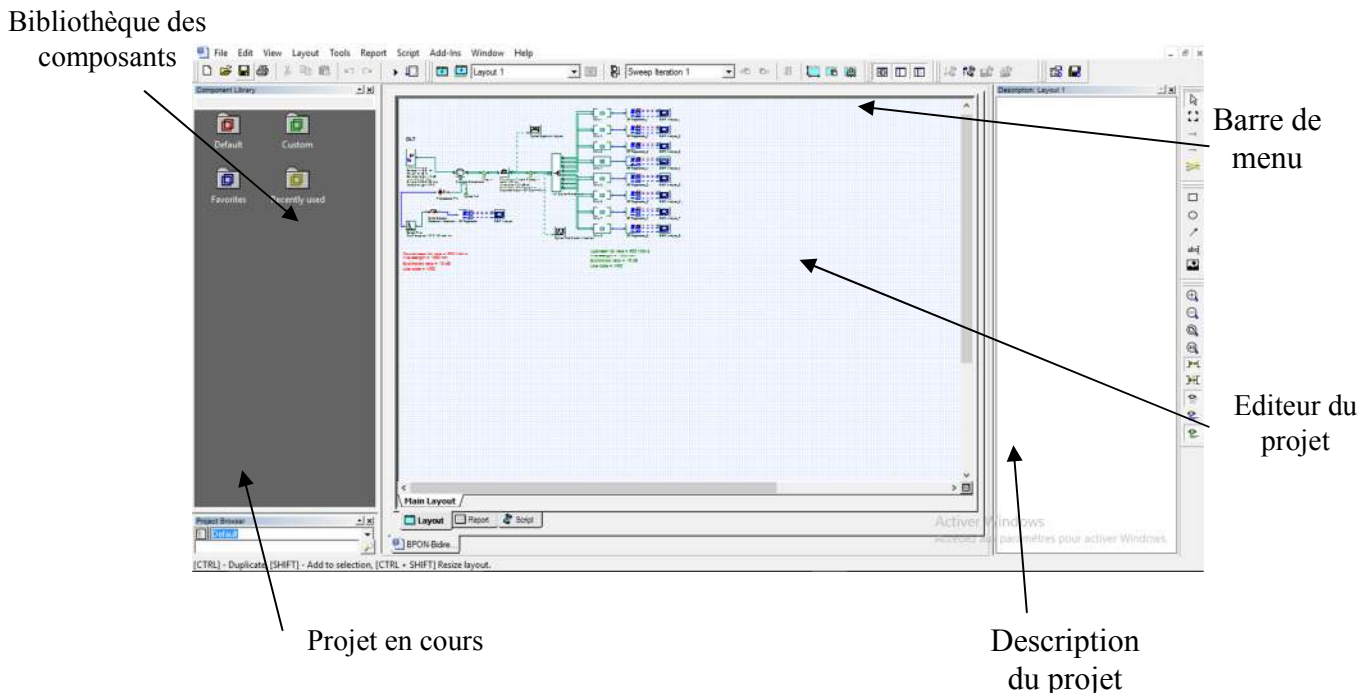


Figure.3.1 : Interface graphique de logiciel OptiSystem

3.3. Généralités sur la qualité de service (QoS)

3.2.1. Définition

La qualité de service (QoS) est la capacité de transférer un certain type de trafic dans de bonnes conditions, en termes de disponibilité, de vitesse, de détails de transmission, de gigue, de taux de perte...etc. Elle est un concept administratif consacré aux ressources réseaux(dans la gestion du système d'information) qui amélioré ses ressources pour assurer la bonne performance des applications importantes organisées .il permet de fournir aux utilisateurs des vitesses et des temps de réponse plus rapides selon les applications(ou activités) selon les protocoles appliques au niveau de la structure.il permet ainsi aux prestataires de services(divisions de clients sur les caractéristiques de transfert es donne applicatives sur leur infrastructure IP.

3.2.2. Intérêt de la QoS

L'objectif de la QoS est l'optimisation des ressources du réseau, et aussi garantir aux applications un degré de performances et offrir aux utilisateurs des débits importants et des temps de réponse rapides.

3.2.3. Les paramètres de qualité d'une transmission optique

La qualité de l'émetteur est évaluée à l'aide d'un taux d'erreur sur les bits (BER). Ceci est calculé en comparant la séquence envoyée à ce récepteur, et ce dernier est obtenu spécialement sur le

graphique. De plus, afin de pouvoir visualiser la qualité de transmission sur une courbe, le BER est traduit en facteur de qualité (Q). Nous allons détailler ces trois points comme suit :

A. Le facteur de qualité

Le facteur de qualité (ou facteur Q) d'un système est une mesure du taux d'amortissement d'un oscillateur. Le facteur Q peut être défini comme le rapport de la fréquence propre V_0 à la largeur ΔV de la bande passante de la résonance du système : $Q = \frac{V_0}{\Delta V}$

Autrement dit, plus le facteur de qualité est élevé, plus la bande passante est petite, et plus la résonance est "piquée". Il permet donc de quantifier la "qualité d'un filtre" (qu'il soit électronique, acoustique, optique... ETC) ; plus Q est élevé, plus le filtre est sélectif [33].

B. Le taux d'erreur binaire

Le taux d'erreur ou BER., abréviation de l'expression anglaise Bit Error Rate, désigne une valeur relative au taux d'erreur, mesurée à la réception d'une transmission numérique, relative au niveau d'atténuation et/ou de perturbation d'un signal transmis.

Le taux d'erreur de bit (également BER) est le nombre d'erreurs de bit divisé par le nombre total de bits transmis pendant un intervalle de temps étudié.

$$\text{BER} = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre total de bits transmis}}$$

Un système est suivant considéré de bonne qualité en transmission optique si ce BER est inférieur à une valeur de 10^{-9} jusqu'au 10^{-15} [34].

C. Le diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est, dans le domaine des télécommunications, un oscillogramme représentant des données numériques issues d'un récepteur. Celles-ci sont échantillonnées de manière répétitive et sont appliquées à l'entrée de déviation verticale, alors que le déclenchement (déviation horizontale) est synchronisé avec le débit du signal. Le nom de ce diagramme vient du fait que pour nombre de codage, le motif obtenu ressemble à une suite d'yeux encadrés par deux rails horizontaux.

Si les signaux sont trop longs, trop courts, mal synchronisés par rapport à l'horloge du système, de niveau trop important ou trop faible, trop entachés de bruit, trop lents lors des changements d'état, ou comportant trop de dépassements ou d'inertie, le diagramme de l'œil les mettra en évidence. Un œil ouvert correspondra à un signal comportant un minimum de distorsion. La distorsion de la forme d'onde du signal, pouvant être attribuée à une interférence inter-symbole ou à du bruit, se traduit par une fermeture de l'œil.

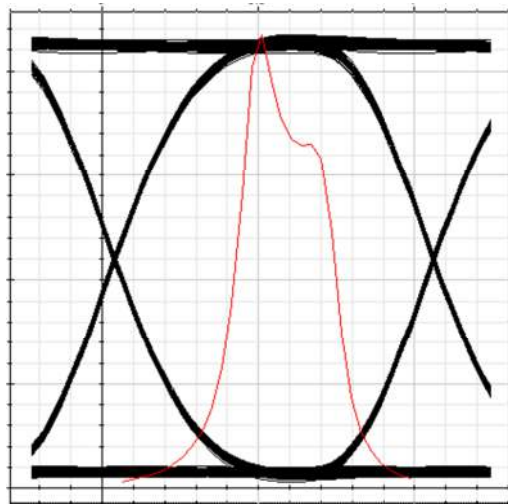


Figure.3.2 : Exemple d'un diagramme de l'œil

Pour étudier la qualité de transmission d'une liaison optique, plusieurs paramètres sont importants à savoir : le facteur de qualité (Q), le taux d'erreur binaire (BER) et l'atténuation. Le bloc 'BER Analyzer' nous permet de calculer le seuil de décision, évaluer le BER et le facteur de qualité Q en plus, il nous permet de visualiser le digramme de l'œil.

3.3. Tests et résultats de simulation pour l'architecture WDM-GPON

Dans notre partie simulation du réseau optique FTTH, nous avons testé et simulé l'architecture WDM-GPON afin d'évaluer les performances de notre réseau optique.

La figure 3.3 représente un schéma d'un réseau FTTH pour l'architecture WDM-GPON

Pour 8 utilisateurs (abonnés).

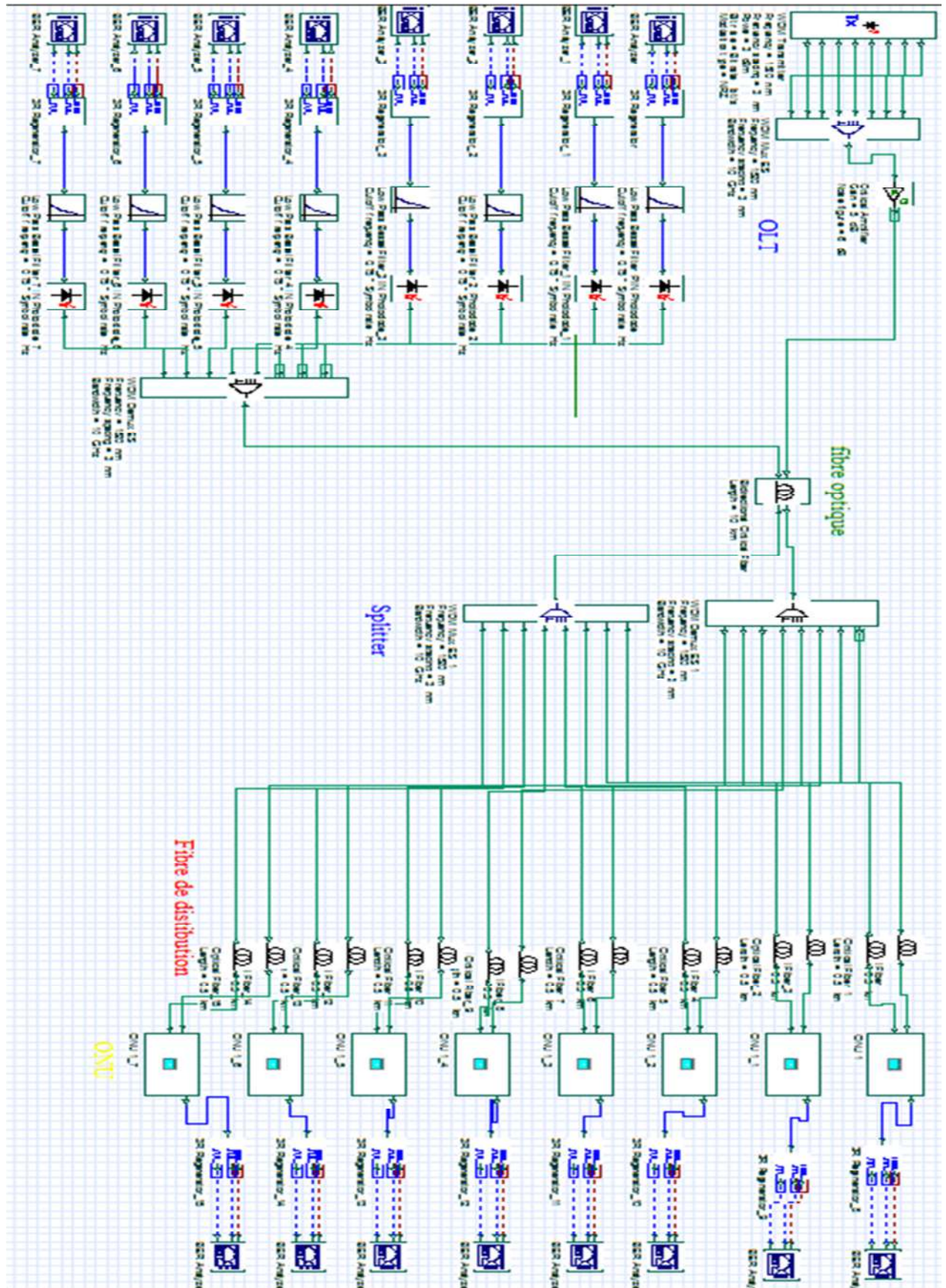
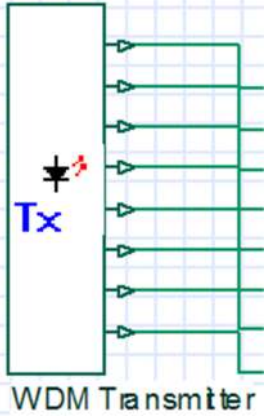
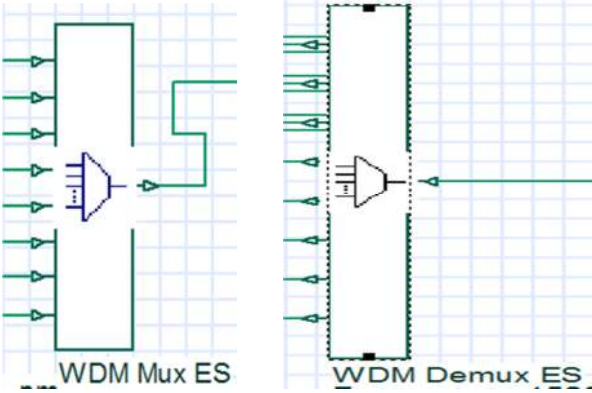
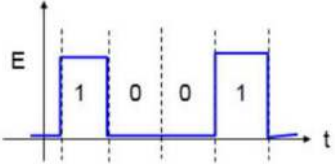
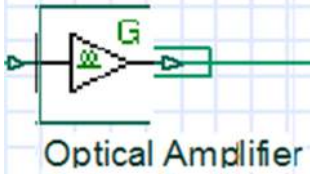
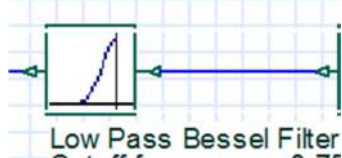
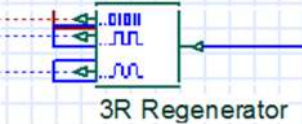

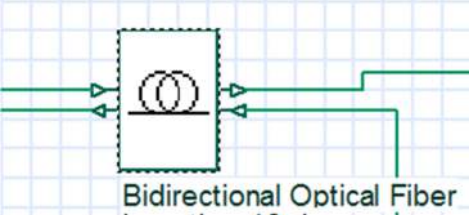


Figure3.3 : Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON)

3.3.1. Description des composants

Les composants de la figure 3.3 précédente sont présentés dans le tableau suivant :

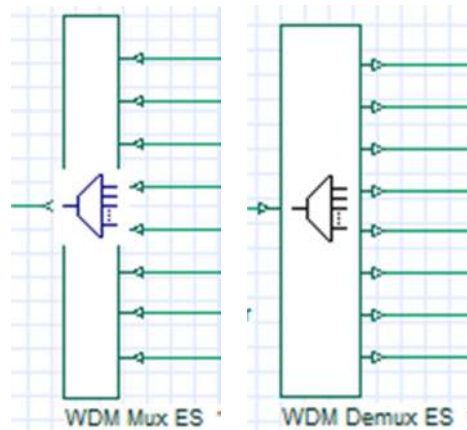
Parties	Les composants
Partie d'émission	<p>OLT (optical line terminal) : Equipement maître d'accès optique pour des clients connectés au FTTx. Il situé dans le NRO.</p> <p>Il contient un transmetteur de type WDM il possède une longueur d'onde égale à 1550nm, une puissance de 3dBm, et 622,02 Mbits/s de débit.</p>  <p style="text-align: center;">WDM Transmitter</p>
	<p>MUX/DEMUX: Multiplexage et démultiplexage de type WDM</p> <p>Longueur d'onde : 1520nm</p> <p>Bande passante : 10GHz</p>  <p style="text-align: center;">WDM Mux ES WDM Demux ES</p>
	<p>Type de modulation NRZ (Non Retour à Zéro)</p> <p>Forte intensité de la lumière émise pour la valeur binaire 1</p> <p>Faible intensité de la lumière pour la valeur binaire 0</p> 

	<p>Amplificateur optique</p>  <p>OLT récepteur : contient :</p> <p>Photodiode PIN</p> <p>Filtre passe bas : filtre de type BESSEL</p>  <p>Répéteur: un régénérateur du signal optique de type 3R</p>  <p>BER analyser : mesurer les performances du avant et après la propagation</p> 
<p>Canal de transmission</p>	<p>Fibre optique bidirectionnelle :</p>  <p>Longueur :20km Atténuation 0.2dB/km Dispersion 16.75ps/nm/km</p>

Partie réception

ONT (Optical Network Terminaison), elle contient :

Mux/démux



8 Fibres de distribution

Longueur : 0.5km

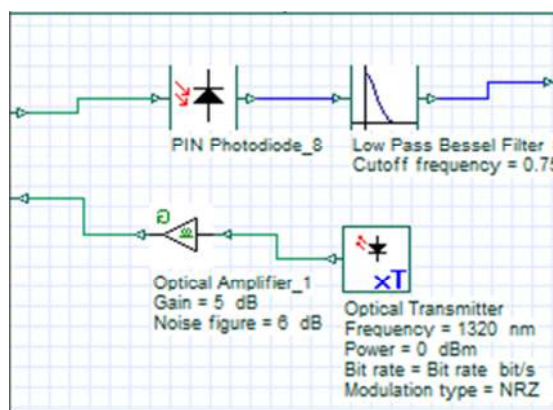
Atténuation : 0.2dB/km



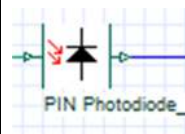
8 utilisateurs (users)

Chaque 'user' contient :

-ONU (optical network unit) :elle contient les composants suivants :



Photodiode PIN



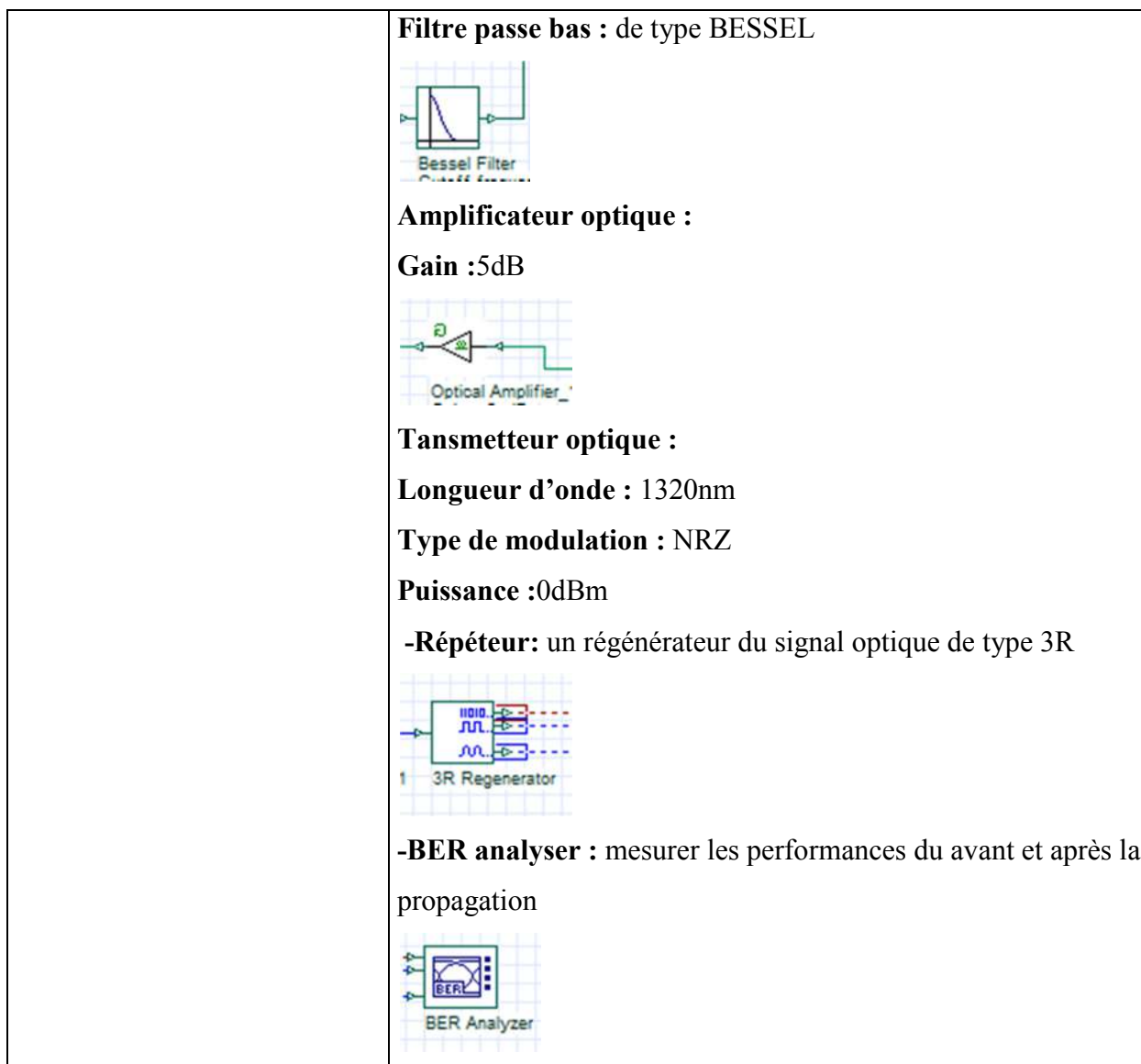


Tableau.3.1: Description des composants pour le schéma WDM-GPON

3.3.2. Les résultats de simulation

Les résultats obtenus de la simulation sont récapitulés dans les tableaux et aussi dans les figures qui représentent la visualisation en diagramme de l'œil.

3.3.2.1. L'effet de la variation de la distance sur la qualité de la liaison

Le tableau suivant présente l'effet de la distance sur la qualité de la liaison.

Les paramètres suivants sont effectués pour: débit qui vaut 622.02Mbit/s, l'atténuation vaut 0.2dB/km et le type de codage (NRZ), avec huit utilisateurs.

Distance (km)	1	10	20	30	40	50
Facteur Q	380.786	283.982	171.315	121.693	94.48	14.98

Tableau.3.2 : Variation du facteur Q en fonction de la distance

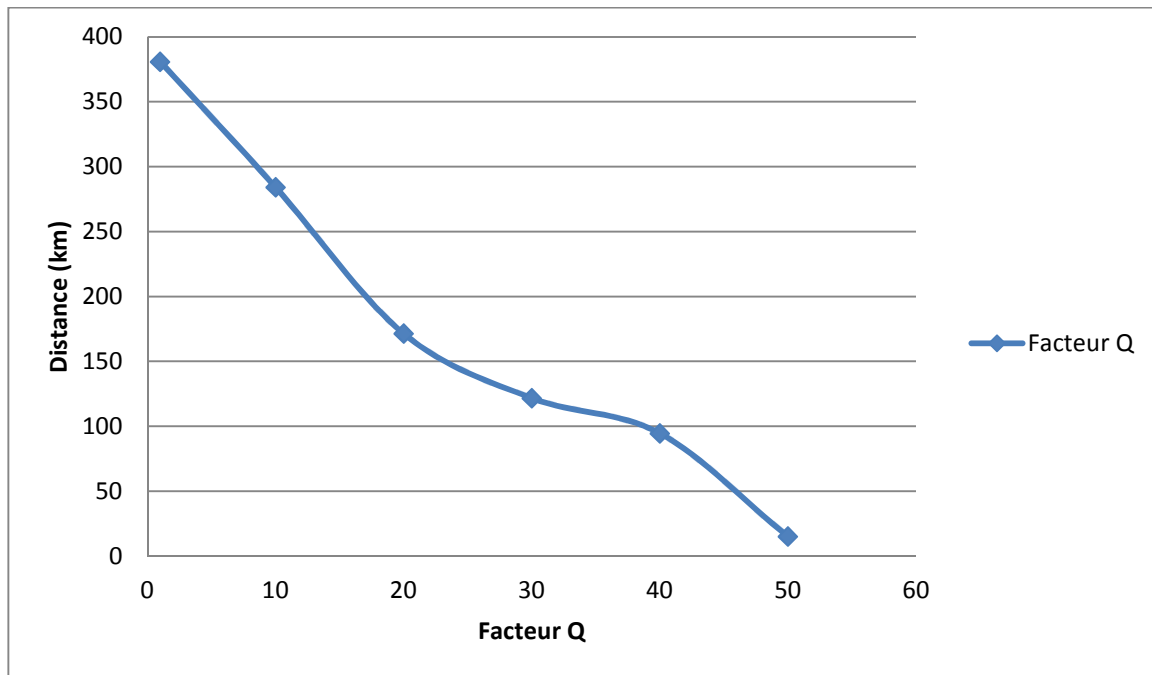


Figure.3.4 : Courbe de variation du facteur Q en fonction de la distance

On remarque à travers le tableau et le courbe précédents que plus la distance augmente plus le facteur Q devient minimal.

La figure suivante présente les diagrammes de l'œil :

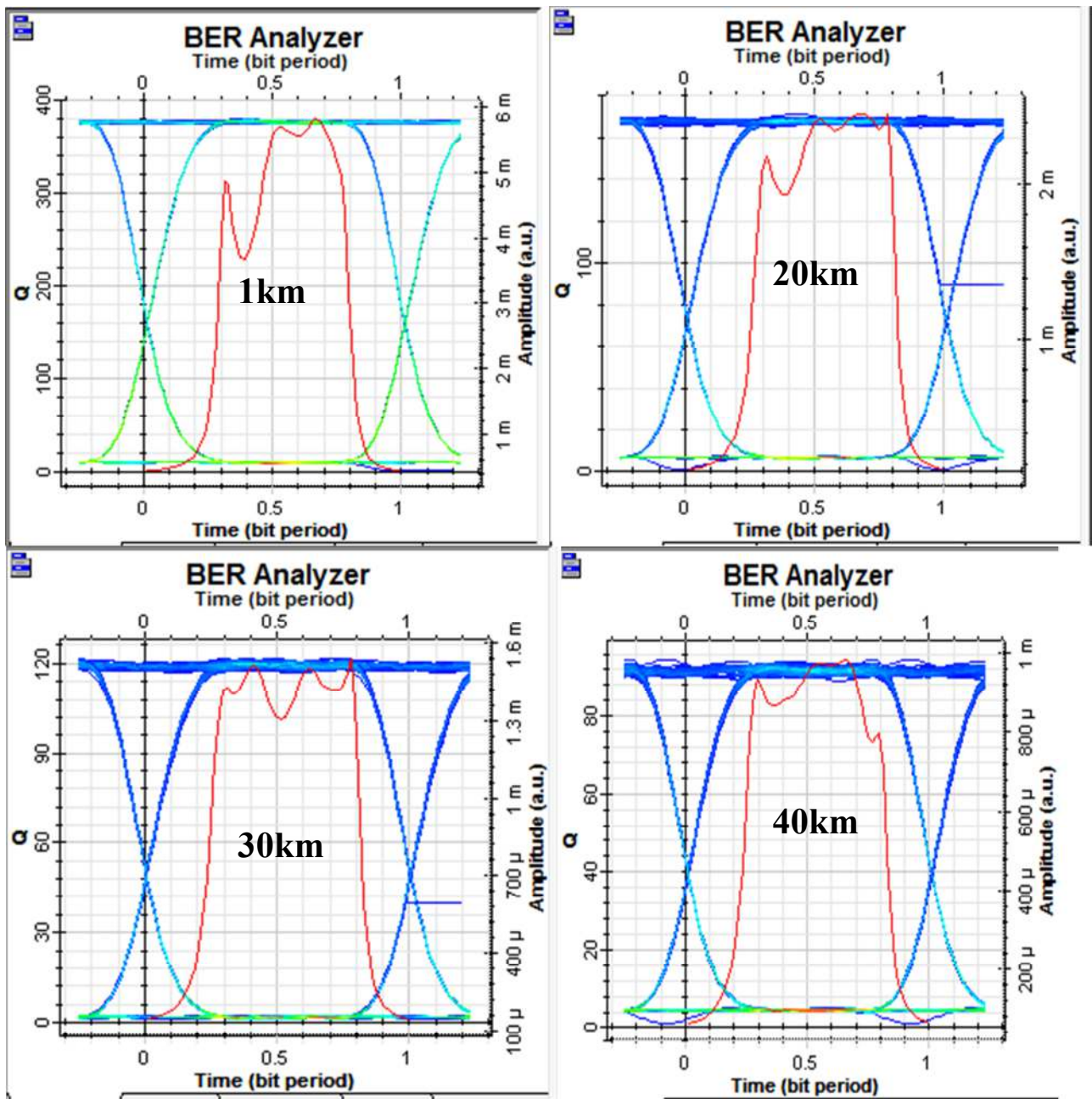


Figure.3.5 : Diagrammes de l'œil (variation du facteur Q en fonction de la distance)

On remarque que le facteur de qualité diminue quand la distance augmente, donc il est nécessaire de tenir compte de la longueur de la distance dans une transmission optique pour avoir une qualité optimale du signal à la réception.

3.3.2.2. L'effet de l'atténuation sur la transmission (À Distance de 50km)

Le tableau suivant montre l'effet de variation du facteur Q en fonction de l'atténuation:

Atténuation (dB/km)	0.01	0.1	0.15	0.2	0.5	1
Facteur Q	199.266	189.283	189.433	184.193	130.28	21.84

Tableau.3.3 : Variation du facteur Q en fonction de l'atténuation

D'après le tableau 3.3, on remarque que plus l'atténuation augmente plus le facteur Q diminue.

La figure suivante présente la variation du facteur Q en fonction de l'atténuation :

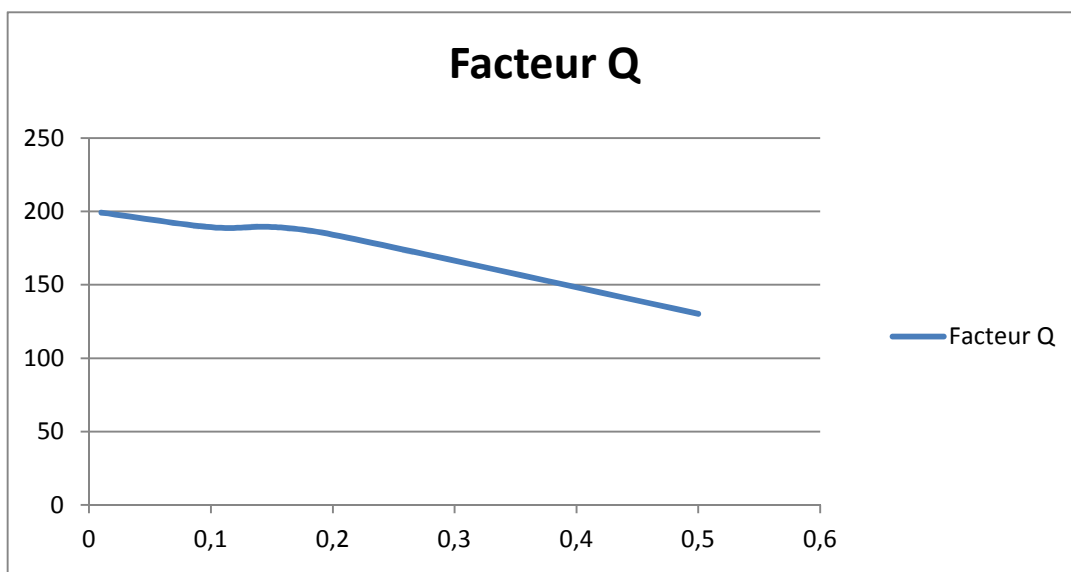


Figure.3.6 : Variation du facteur Q en fonction de l'atténuation

On observe à travers la courbe que la valeur maximale du facteur Q égal à 200 en l'absence de l'atténuation, Cette valeur diminue progressivement avec l'augmentation de l'atténuation et ça c'est normale vu l'effet de dégradation du signal.

La figure suivante présente les diagrammes de l'œil :

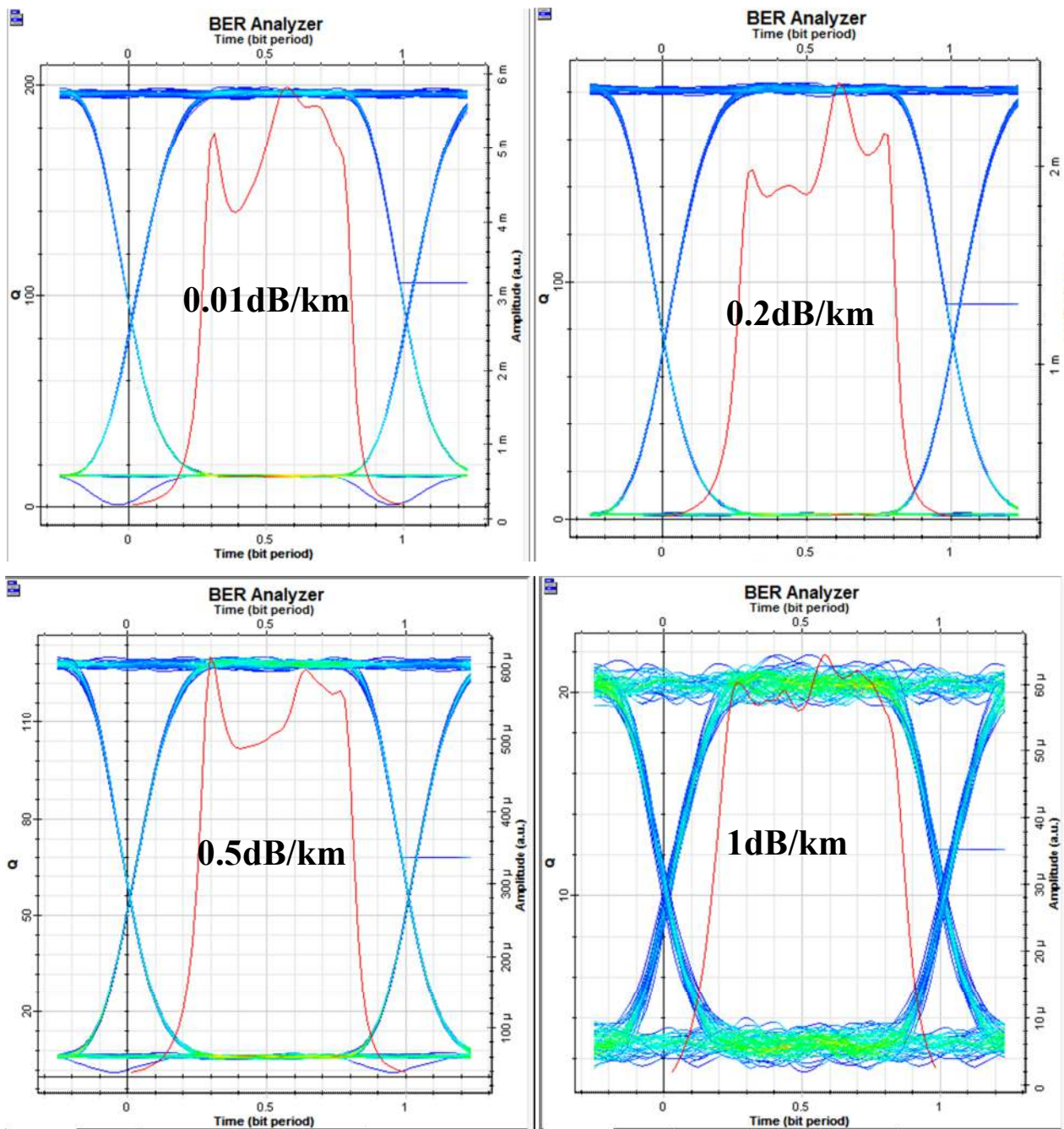


Figure.3.7 : Diagrammes de l'œil (variation du facteur Q en fonction de l'atténuation)

On constate d'après les diagrammes de l'œil que plus l'atténuation augmente plus le diagramme de l'œil devient fermé ce qui reflète une mauvaise qualité du signal.

3.3.2.3. L'effet du débit sur le facteur Q

Le tableau suivant montre l'effet de variation du facteur Q en fonction du débit de la liaison:

Débit(Mbps)	150	622	630	790	1000
Facteur Q	191.79	187.792	192.37	14.21	7.34

Tableau.3.4 : Variation de facteur Q en fonction de débit

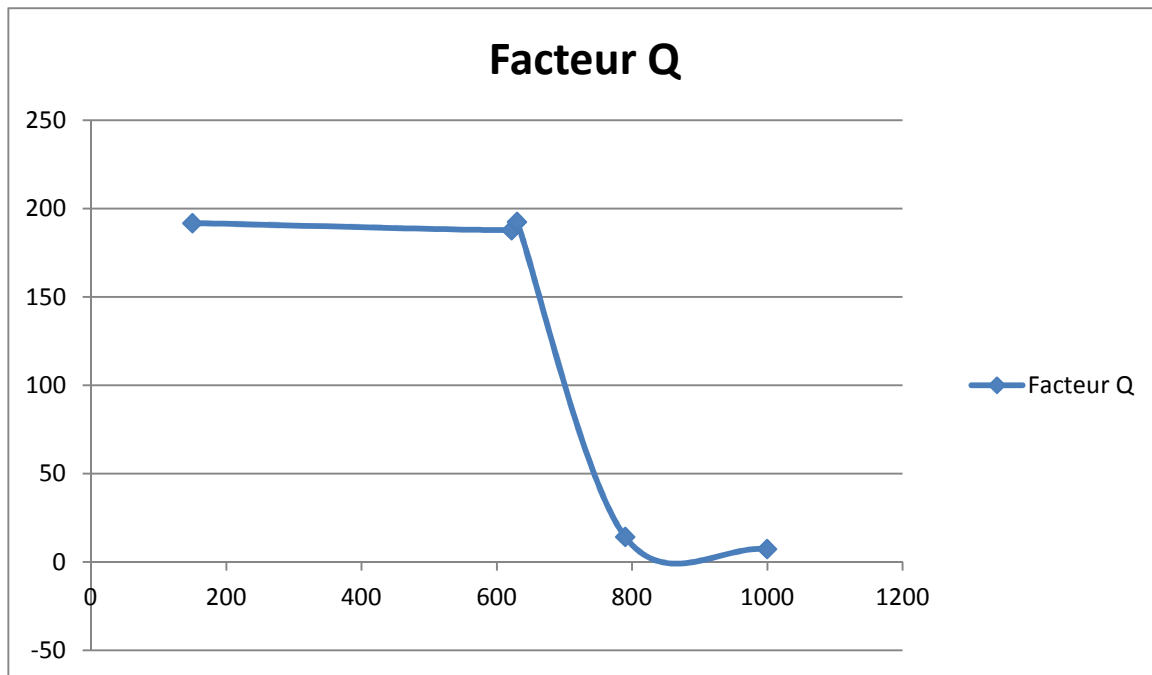


Figure.3.8 : Courbe de variation du facteur Q en fonction du débit

D'après le tableau 3.4 et la figure 3.5, on constate que la valeur du le facteur de qualité Q est presque constant jusqu'au la valeur de 622 Mbps de débit, Après cela, la valeur du facteur Q commence à diminuer, ce qui impose que le débit ne doit pas dépasser 630 Mbps.

La figure suivante présente les diagrammes de l'œil :

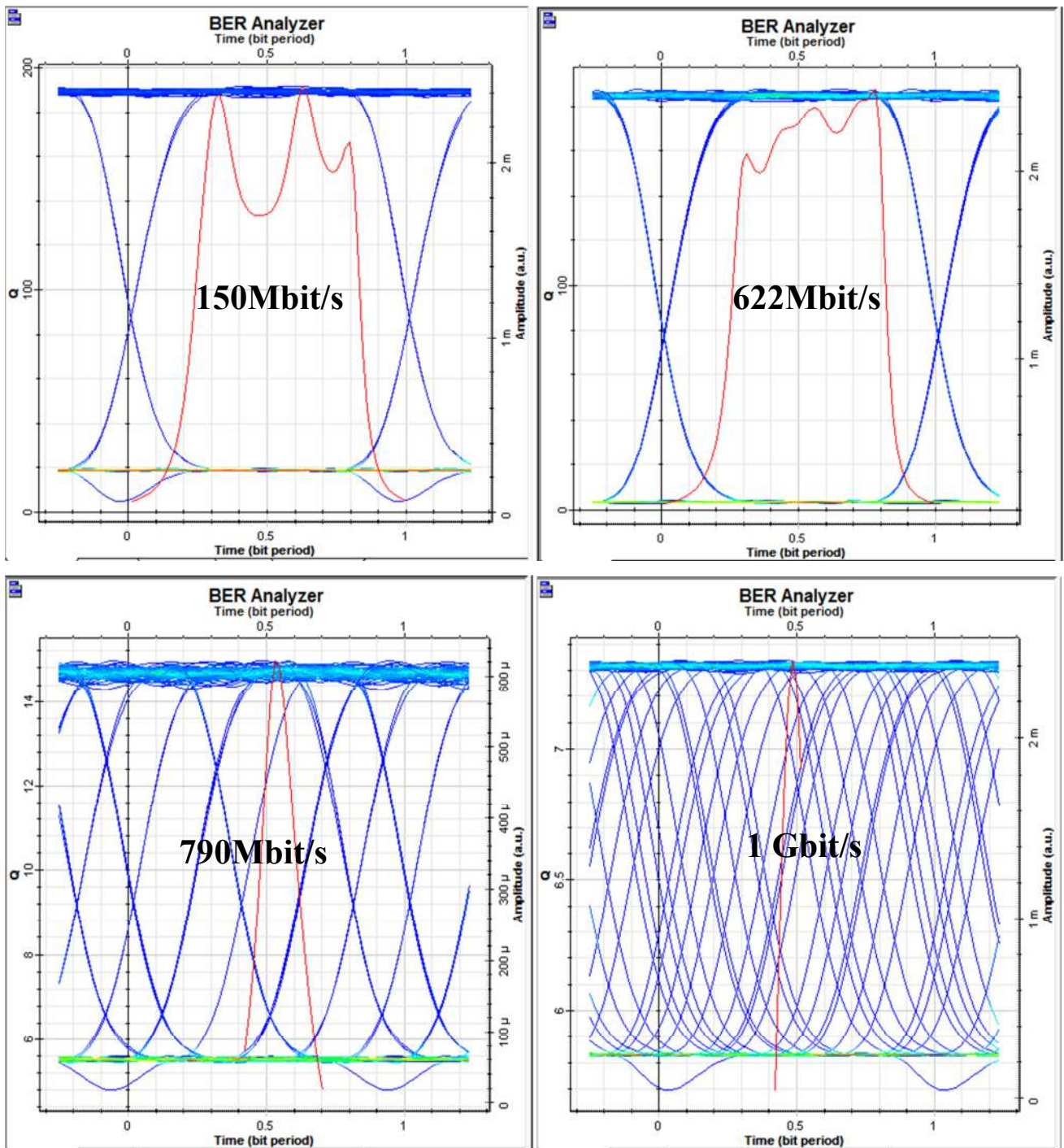


Figure.3.9 : Diagrammes de l'œil (variation du facteur Q en fonction du débit)

D'après la figure 3.6, on constate que la valeur 622 Mbps du débit est l'endroit où les diagrammes traduisant une bonne ouverture de l'œil et une bonne qualité du signal à la réception.

3.3.2.4. Comparaison entre le type de codage RZ et NRZ sur la transmission

(Débit 622Mbps, atténuation 0.2dB/km)

Le tableau suivant montre l'effet des deux codeurs NRZ et RZ sur la qualité de la transmission :

Distance (km)	1	10	20	30	40	50
Facteur Q (codeur RZ)	360.25	100.799	183.13	131.431	103.211	77
Facteur Q (codeur NRZ)	362.193	323.836	288.671	265.209	217.349	152.514

Tableau.3.5 : l'effet des deux codeurs NRZ et RZ sur la qualité de la transmission

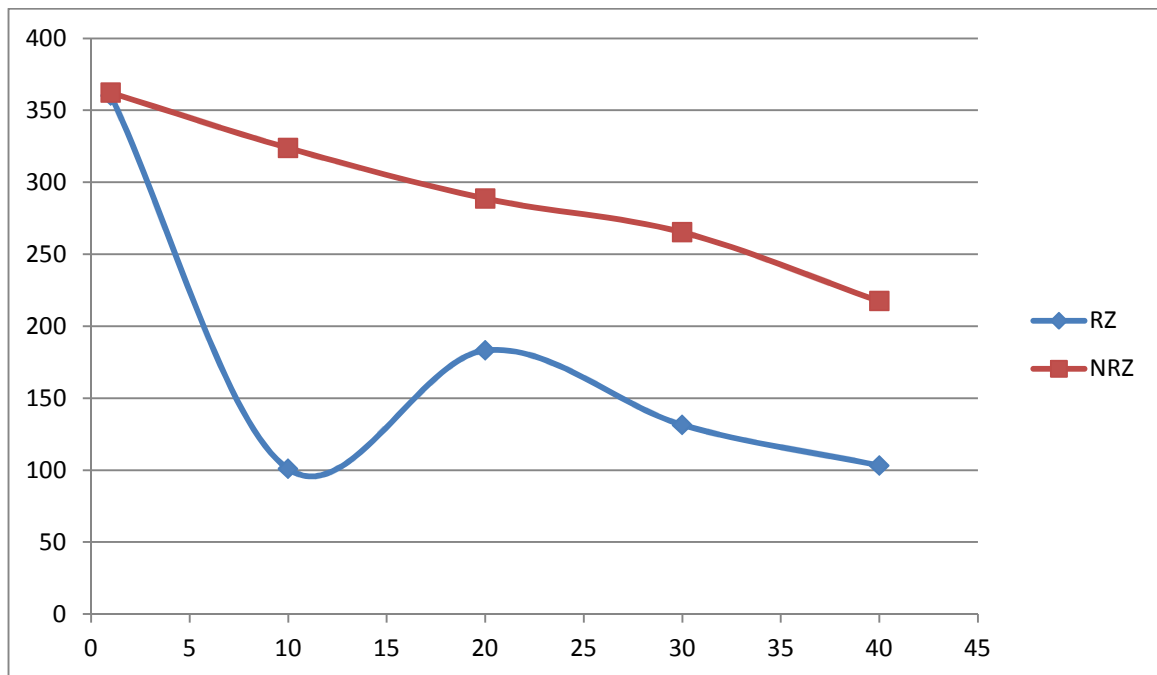


Figure.3.10 : Courbe de variation du facteur de qualité Q de type RZ et NRZ en fonction de distance

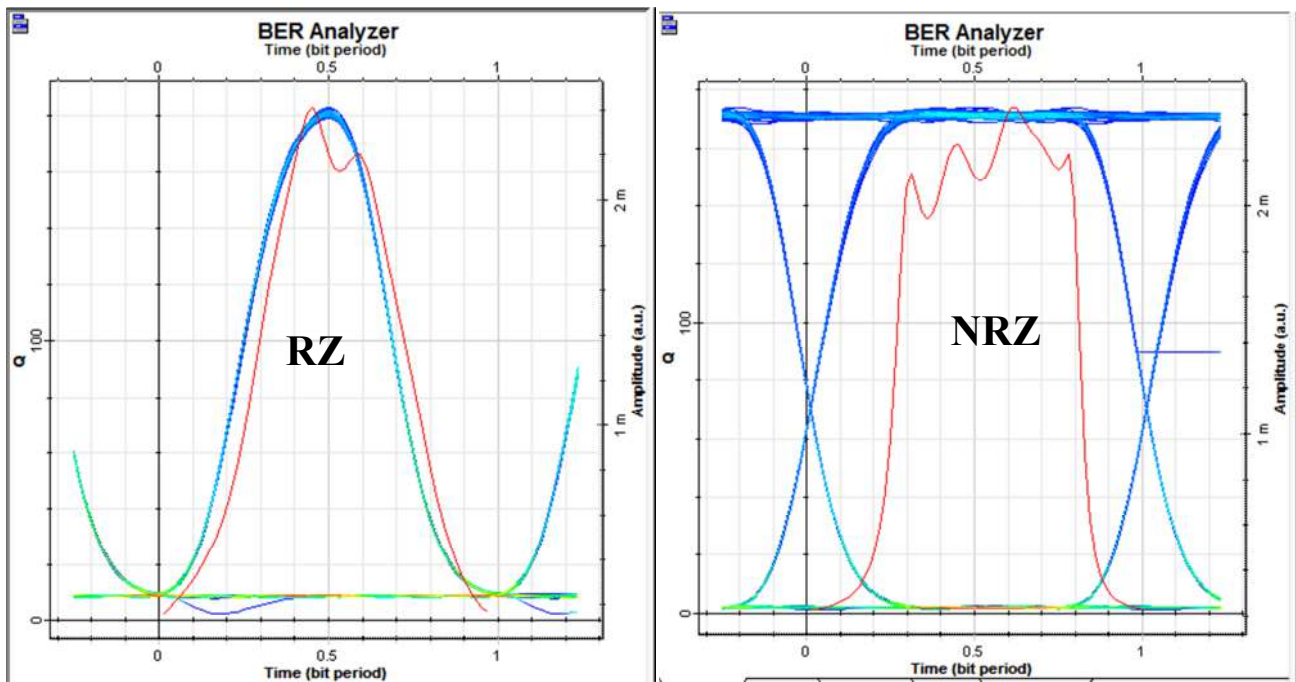


Figure.3.11 : Diagrammes de l’œil (l’effet des deux codeurs NRZ et RZ sur la qualité du signal

Nous avons comparé dans cette partie l’effet des deux types du codeur NRZ et RZ toute on garde les paramètres suivants : distance de 20km, le débit vaut 622Mbps et l’atténuation vaut 0.2dB/Km .On obtient alors un facteur de qualité de 288.671 avec le type de NRZ qui est très élevé par rapport à l’autre codeur RZ qui possède un facteur de 183.13, aussi on observe sur la figure 3.7 une grande différence car le diagramme de l’œil du codeur NRZ est bien ouverte que celle du codeur RZ. Donc on constate que l’utilisation du codeur NRZ donne des résultats plus précieux et pratiques.

3.3.2.5. Effet de la photodiode PIN/APD

Le tableau suivant montre l’effet des deux photodiodes APD et PIN sur la qualité de la transmission :

Photodiode	Photodiode PIN	Photodiode APD
Facteur Q	332.321	255.028

Tableau 3.6 : Effet de la photodiode (PIN/APD) sur le facteur de qualité

On remarque que la valeur du Q dans le cas d’utilisation de la photodiode PIN est meilleure par rapport à celle du photodiode APD.

La figure suivante montre les diagrammes de l'œil avec l'utilisation des deux types de photodiode.

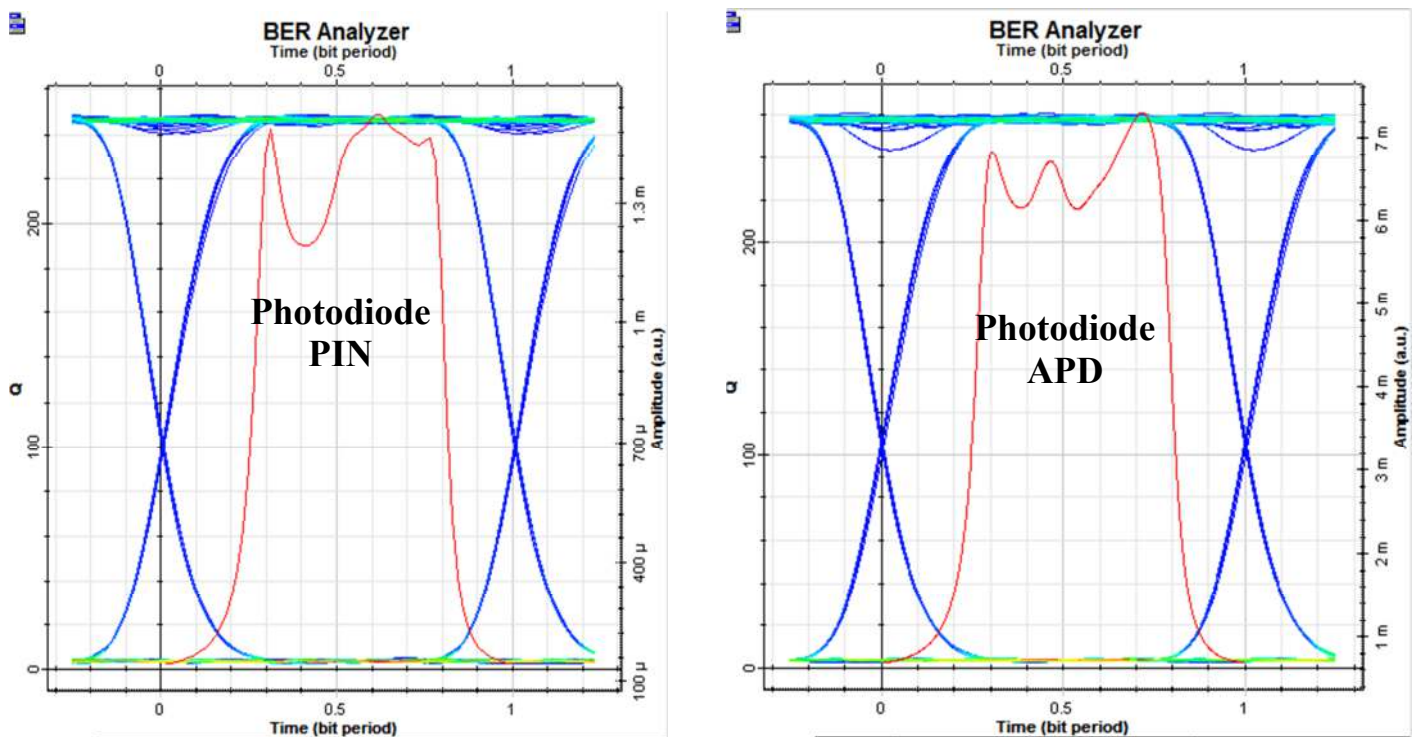


Figure.3.12 : Diagramme de l'œil de deux types de photodiode (PIN/APD)

3.3.2.6. Effet de nombre des abonnés sur la qualité de transmission :

Le tableau suivant illustre les résultats obtenus de la simulation dépendant du nombre d'abonnés :

Nombre d'abonnés	Facteur de qualité Q	Puissance de du bruit (dBm)	Puissance du signal (dBm)	Fréquence (THz)	SNR (dB)
1	304.72	-47.33	5.7707	194.54	53.02
2	307.812	-47.21	5.7704	194.92	53.00
3	280.52	-47.34	5.768	195.30	53.06
4	287.640	-47.25	4.623	195.68	51.83
5	305.653	-47.45	4.621	196.07	52.78
6	317.08	-47.38	5.344	196.45	52.46
7	328.87	-47.30	5.422	196.84	50.60
8	325.85	-47.20	5.560	196.23	52.66

Tableau 3.7: Effet du nombre d'abonnés sur la qualité de transmission

3.4. Spectre de puissance des utilisateurs

La figure suivante est l'extrait du spectre de puissance des huit utilisateurs pour l'architecture WDM-GPON du réseau d'accès FTTH.

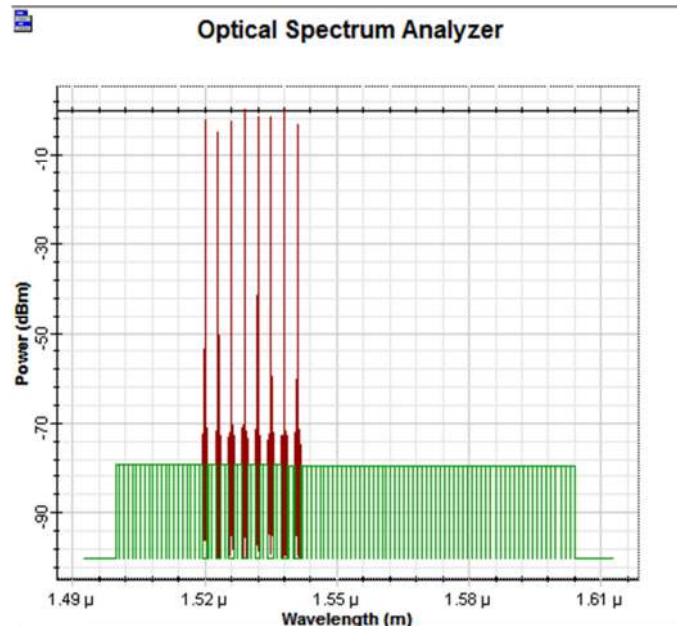


Figure.3.13 : Spectre en puissance pour les 8 utilisateurs

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une simulation sur les performances de qualité de service (QoS) pour la liaison optique WDM-GPON sous logiciel optisystem. D'après les résultats de simulation, on conclut que les performances de la qualité de transmission optiques sont affectées par le nombre d'utilisateurs, l'atténuation, la distance de la liaison et le débit. Le réseau WDM-GPON élaboré est très fiable (valeurs très faibles du facteur de qualité Q). Nous constatons aussi que les facteurs de qualité obtenus sont pratiquement très importants et qui offrent une meilleure qualité de transmission.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons constaté que le réseau FTTH est le meilleur moyen actuel pour transporter de très hauts débits d'informations numériques chez l'abonné, et la fibre optique reste le meilleur support parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux à très hauts débits avec de meilleures performances.

Le développement de la fibre optique conduit à l'invention des réseaux d'accès optiques, et ce dernier, a aussi évolué vers de nombreuses générations, les réseaux optiques passifs étant les plus courants aujourd'hui et toujours en développement continu. Les réseaux optiques passifs (PON) sont plus compétents pour répondre à la demande d'énormes bandes passantes et de technologies à haute capacité dans le système de communication optique.

Dans la partie simulation, avons étudié la liaison en utilisant la meilleure architecture WDM-GPON sous le logiciel OPTISYSTEM. Le système a été étudié en fonction du nombre d'utilisateurs, longueur de la fibre, Débit de la liaison, l'atténuation et le type du codeur. Les résultats de la simulation montrent la fiabilité de la fibre optique comme support de transmission et la facilité de transmission des données à travers le réseau WDM-GPON. La présence du splitter, même s'il introduit d'une atténuation supplémentaire, ceci n'affecte pas trop les conditions conformes à la transmission comme imposées par le cahier de charge. D'autre part, les résultats obtenus en terme de BER, facteur de qualité Q, et l'atténuation avec une distance de transmission de 100 km dépassent largement les valeurs produites par les autres techniques existantes dans le domaine.

Bibliographie



Bibliographie

- [1] <https://html.rincondelvago.com/modelisation-des-transmissions-optiques-wdm.html>
- [2] <https://www.cite-telecoms.com/accueil/musee-des-telecommunications/les-telecommunications-filaires/fibre-optique/>
- [3] <http://physique.unice.fr/sem6/2015-2016/PagesWeb/PT/Fibre/fibre.html>
- [4] Badadda Ayman et Guediri lazhar, « Etude et analyse des performances d'un réseau optique passif large bande bidirectionnel (BPON) », mémoire de fin d'étude Master, université Echahid Hamma Lakhder El-Oued, 2018.
- [5] [https://sites.google.com/site/lafibreoptiquetpe1spdmi/d-les-differentes-fibres-optiques\)](https://sites.google.com/site/lafibreoptiquetpe1spdmi/d-les-differentes-fibres-optiques)
- [6] <https://www.socamont.com/page-guide-choix-jarretier,fr,8,266.cfm#.X3b64WgzbIU>
- [7] <https://www.mongosukulu.com/index.php/contenu/informatique-et-reseaux/telecommunications/706-la-fibre-optique?start=2>
- [8] http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html
- [9] https://www.memoireonline.com/09/13/7350/m_Les-differents-principes-de-transmission-des-donnees-par-fibre-optique12.html
- [10] Melle HIBA Abderrahmane MATALLAH et Mr Amine ADOUL Mohammed Amin, « Etude pratique d'installation et mesure de qualité de service (QoS) d'un réseau fibre jusqu'à l'abonné (FTTH) : Application sur terrain à la résidence « La Perle de la Méditerranée» sis Kharouba », université abdelhamid ben badis mostaganem, 2018.
- [11] Jean-Michel MUR, livre « les fibres optiques notions fondamentales » Copyright- Editions ENI-Septembre 2012
- [12] https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340024694_extr
- [13] <https://www.laserpuissant.com/led-et-diodes-laser.html>
- [14] <https://slideplayer.fr/slide/9807180/>
- [15] <https://emrecmic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-des-fibres-optiques/>
- [16] <https://lenewbie.com/2012/01/26/la-carte-du-monde-des-cables-sous-marins/>
- [17] <http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Telecom/applications.html>

- [18] Mlle Feroui Sarah, « Etude d'un réseau B-PON bidirectionnelle » université Abou bakr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [19] Région Aquatique-Etude de chiffrage pour le développement du très Haut débit en aquatique version finale septembre 2009
- [20] <http://www.fiber-optic-cable-sale.com/which-one-will-you-choose-for-fttx-pon-or-aon.html>
- [21] Mr Hamchaoui Massinisa et Mlle Amara serina, « Etude d'un système FTTH (fibre to the home) », mémoire de master université de A.MIRA BEJAIA, 2018 /2019.
- [22] Mr Abdoulay Halidou Bachirou et Mr Kante bachirou « Etude et planification du réseau FTTH pour les transmissions optiques à haut débit », Université Djillali Bounaama Khemis Miliana, 2018.
- [23] <https://slideplayer.fr/slide/2731721/>
- [24] http://www.efort.com/r_tutoriels/Transmission_EFORT.pdf
- [25] https://www.researchgate.net/publication/335928918_Technologie_PDHSDH
- [26] https://www.researchgate.net/publication/305181019_Technologie_WDM_en_telecom_s_optiques_avancees
- [27] <http://cedric.cnam.fr/PUBLIS/RC1849.pdf>
- [28] Melle Chettouh Saida, thème « Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg A Fibre : Compensation de la dispersion Chromatique dans une ligne de transmission optique », université Badji mokhtar annaba, 2018.
- [29] <https://www.attinternetservice.com/resources/different-types-fiber/>
- [30] <http://millysu.e-monsite.com/blog/do/tag/architecture-pon/>
- [31] <https://medium.com/@choquantecp/abc-du-r%C3%A9seau-pon-comprendre-olt-onu-ont-et-odn-603114965f8d>
- [32] https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/optisystem.html
- [33] https://fr.qwe.wiki/wiki/Bit_error_rate
- [34] <https://www.01net.com/actualites/comment-la-fibre-optique-arrive-jusqu-a-chez-vous-1300062.html>
- [35] <https://www.01net.com/actualites/comment-la-fibre-optique-arrive-jusqu-a-chez-vous-1300062.html>
- [36] <https://forum.huawei.com/enterprise/en/the-composition-of-an-odn-network-gpon-technical-posts-16/thread/464161-100181>
- [37] <https://d469.webnode.fr/1/base-de-boite-de-distribution-optique-odf/>
-

Annexe

Annexe

A.1. Infrastructure (Déploiement de fibre optique jusqu'à l'abonné) [34]

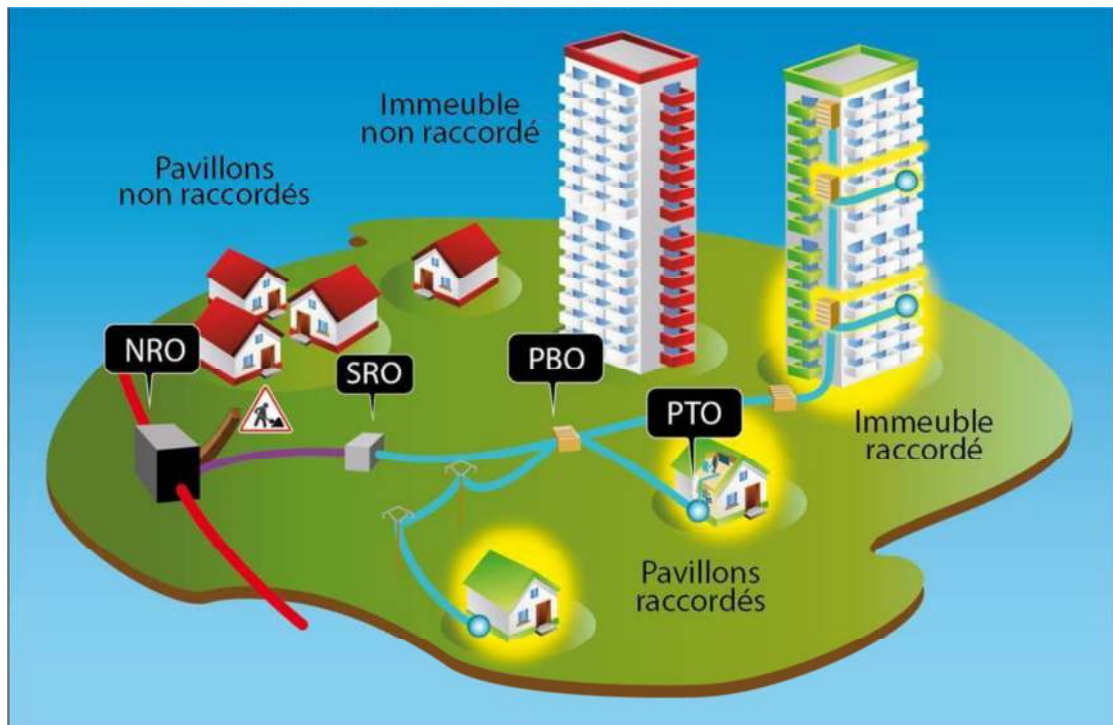


Figure.A.1 : Déploiement de fibre optique jusqu'à l'abonné [34]

Le NRO (le nœud de raccordement optique) est le cœur du réseau. C'est de ce bâtiment que partent tous les signaux (internet, télévision, téléphonie) desservant les habitants de plusieurs communes à la fois.

Le NRO abrite un OLT (Optical Line Terminal), un équipement qui fait l'interface entre le réseau national de collecte de l'opérateur et le réseau d'accès.

Il est installé dans une pièce appelée répartiteur.

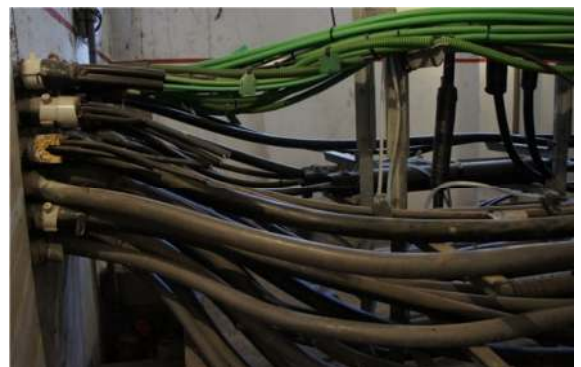


Figure.A.2 : les câbles en fibre de NRO

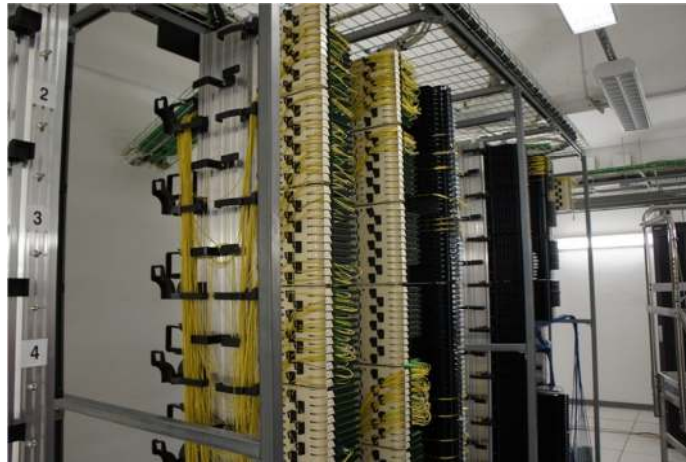


Figure.A.3 : le répartiteur dans le NRO [35]

L'OLT se présente sous forme de baies avec des cartes et des ports. , Un port permet d'alimenter 64 clients. Avec 16 cartes dans un OLT, on peut donc desservir 16 000 clients.



Figure.A.4: Un OLT (optical line terminal)

A.2. Le chemin de la fibre

Du NRO partent donc les milliers de câbles en direction des domiciles des abonnés. Mais avant de parvenir jusqu'à eux, il y a encore plusieurs étapes comme on peut le voir dans le dessin ci-dessous. Avant le NRO, en rouge, c'est le réseau de collecte de l'opérateur. La première partie du réseau d'accès, en violet, est appelée « transport » et va du NRO jusqu'au SRO (sous-répartiteur optique). La seconde, en bleue, est nommée « distribution » et va du SRO au PTO (Point de Terminaison Optique, situé chez l'abonné). En chemin, le fibre transite par le PBO (Point de Branchement Optique), généralement placé sur le palier ou à proximité de la maison. Du NRO au SRO, il faut faire passer des câbles par les infrastructures de génies civiles existantes souterraines.

Avec une chambre à ouvrir tous les 1 à 2 kilomètres et nécessitant des points de soudure de la fibre. On aboutit ainsi petit à petit au sous-répartiteur optique appelé aussi armoire de mutualisation ou point de mutualisation (PM).

Plus loin, un point de branchement optique (PBO) est installé au plus près des habitations dans la colonne montante de l'immeuble, en aérien sur un poteau, ou en façade.

Dans le cas d'un immeuble, il ne reste alors plus qu'à remonter jusqu'à l'abonné. « On passe la fibre dans les différents étages et on va installer un petit boîtier de terminaison optique qui permet de desservir entre cinq et six appartements », détaille Jean-Bernard. Il faut encore tirer la fibre jusqu'au domicile de chaque abonné et lui installer une prise fibre optique sur laquelle sera branchée le box. Enfin, ce réseau local doit être raccordé au point de branchement dans la rue. [35]



Figure.A.5 : ONT chez l'abonné [36]

A.3. Les équipements et leurs installations [46]

Un réseau PON est un réseau optique passif qui part d'un terminal de ligne optique (OLT) dans une salle d'équipement de bureau central (CO) et atteint les unités de réseau optique (ONU) côté utilisateur via un réseau de distribution optique (ODN). L'ODN est situé entre la salle d'équipement CO et les utilisateurs et fournit des canaux optiques pour distribuer, protéger et connecter les fibres optiques et protéger les points de connexion.

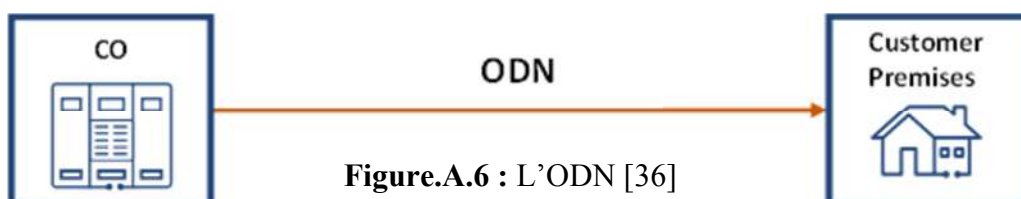


Figure.A.6 : L'ODN [36]

L'ODN peut être divisé par 2 points en 3 sections du CO au côté abonné. Les 2 points font référence au point de distribution optique et au point d'accès optique. Les 3 sections se réfèrent aux câbles optiques d'alimentation, aux câbles optiques de distribution et aux câbles optiques de dérivation.

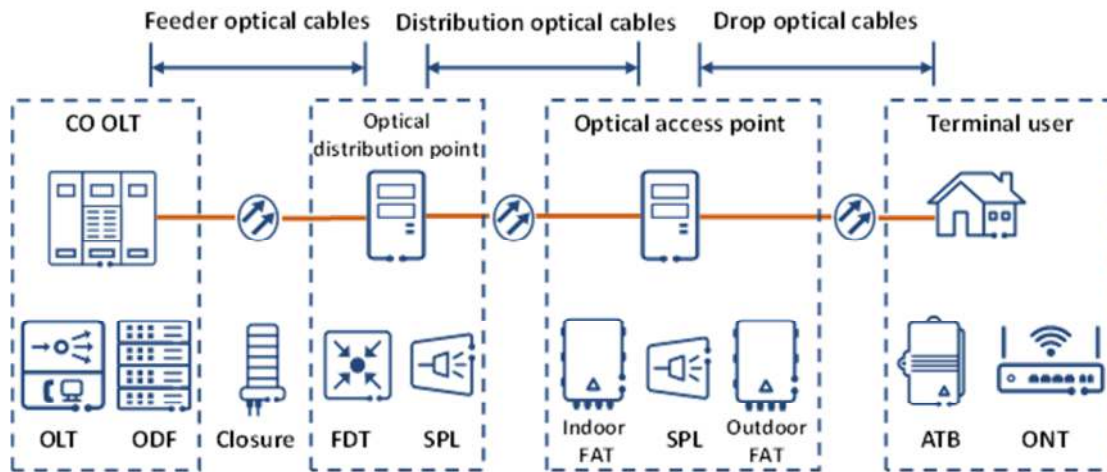


Figure.A.7 :L'ODN en détail [36]

Dans une salle d'équipement CO, un cordon de raccordement en fibre de l'OLT est connecté au panneau du répartiteur optique (ODF). L'étendue du service d'un ODF est la zone de couverture de la salle d'équipement du CO. Le nombre de cœurs de fibre optique pouvant être gérés varie de 576 à 1440.



Figure.A.8:FDT



Figure.A.9 : ODF [37]

Les câbles optiques de sortie sont distribués par l'ODF et contenus dans des tuyaux. Les câbles optiques de sortie sont appelés câbles optiques d'alimentation. Généralement, des câbles optiques extérieurs sont utilisés. Le nombre de noyaux de câbles optiques varie de 12 à 144 selon les exigences du site.

Si l'ODF et un terminal de distribution de fibre (FDT) sont éloignés l'un de l'autre, une fermeture de séparation et d'épissage (SSC) est généralement installée entre l'ODF et le FDT pour connecter l'ODF et le FDT.

Le FDT est utilisé pour distribuer les câbles optiques une seconde fois. Il est appelé point de distribution optique sur le réseau ODN. L'étendue du service d'un FDT peut être une communauté ou un pâté de maisons. Le nombre de cœurs de fibre pouvant être gérés par un FDT varie de 144 à 576. Sélectionnez un FDT avec des spécifications appropriées en fonction du nombre d'utilisateurs à connecter.

La section entre le FDT et le FAT est appelée section du câble optique de distribution. Si la distance entre le FDT et le FAT est grande, un SSC est également installé pour la connexion. Un câble optique de distribution peut être un câble optique extérieur ou un câble optique intérieur à âme d'aluminium selon la position FDT. Le nombre de noyaux de câbles optiques varie de 12 à 144 selon les exigences du site.

Un terminal d'accès fibre (FAT) est un point d'accès utilisateur utilisé pour connecter les câbles optiques de distribution et les câbles de dérivation. Un FAT peut gérer 8 à 48 conducteurs de câbles optiques et couvre généralement un couloir de bâtiment ou des villas dans une petite zone.

Le câble de dérivation fait référence au câble optique reliant un FAT au domicile d'un utilisateur. Généralement, un câble de dérivation est un câble optique en cuir intérieur ou extérieur avec 1 ou 2 conducteurs (parfois 4 conducteurs) selon l'emplacement.



Figure.A.10 : FAT

Une boîte à bornes (TB) ou une boîte à bornes d'accès (ATB) est située à l'extrémité distante de l'ODN et connectée aux unités ONU. La différence entre un TB et un ATB est qu'un TB est installé à l'extérieur et un ATB est installé à l'intérieur. Un TB ou un ATB peut gérer un câble optique à 1, 2 ou 4 cœurs.

Dans un ODN, il existe un composant important appelé séparateur optique qui divise un canal d'entrée optique en plusieurs canaux de sortie optiques, de sorte que le réseau de transmission optique P2P traditionnel devient un réseau optique P2MP.

Les répartiteurs peuvent être installés de manière flexible dans l'ODF, FDT, SSC ou FAT selon les besoins [37].