

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 planification du réseau FTTH pour les
transmissions optiques à haut débit**

Réalisé par :

ABDOULAYE HALIDOU Bachirou
KANTE Souleymane

Encadré par :

Mr A. BOUSSAHA

Année Universitaire: 2017/2018

REMERCIEMENTS

Nous tenons particulièrement à remercier **ALLAH** le Tout Miséricordieux, le Tout Puissant, le Tout Clément qui a récompensé nos prières ; qui nous a donné la force et le courage pour terminer nos études et à élaborer ce modeste travail. ce mémoire n'aurait jamais été réalisé sans Sa Bénédiction.

Nous remercions notre encadreur, Monsieur **Boussaha Abdelkader**, pour son aide consistante, pour l'intéressante documentation qu'il a mis à notre disposition, ses conseils judicieux, ses encouragements et pour ses remarques objectives. Qui a suivi de très près notre mémoire afin qu'il soit réalisé à terme ;

Nous remercions sincèrement les membres de jury pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture et à l'évaluation de notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation dès le début de notre cycle d'étude jusqu'à la fin.

Nous adressons nos remerciements les plus distinguées à nos chers parents et familles, les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation dans les meilleures conditions.

Nos remerciement à tous les personnelles Algérie –télécom (Ain Defla – khemis Miliana) pour le stage et leur conseils.

Nous tenons aussi à remercier les coopérations Algérie-Mali et Algérie-Niger, ainsi que tous ceux que nous avons oublié de mentionner et qui nous ont aidé, tant sur le plan matériel que sur le plan moral.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes très chers parents qui ont été là pour moi durant tous mes années, en m'apportant leur amour et leur soutien physique et moral ;*
- ✓ *Mes frères et sœurs qui m'ont aussi encouragé par leur affection et encouragement ;*
 - ✓ *mes amis ceux qui sont proches tout comme ceux qui sont loin, ainsi que toutes mes connaissances,*
- ✓ *mes remerciements à mon binôme KANTE pour tout l'effort fourni et la bonne collaboration.*
- ✓ *Sans aussi oublier Laminou et Moctar qui ont été toujours à nos côtés pour l'aboutissement de ce travail.*
- ✓ *Pour finir, je remercie mes enseignants et tout mes camarades de la promotion.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes très chers parents qui ont été là pour moi durant tous mes années, en m'apportant leur amour et leur soutien physique et moral ;*
- ✓ *Mes frères et sœurs qui n'ont aussi cessé de m'encouragé durant toute mes années ;*
- ✓ *mes très chers Oncles Siriman BENGALY; Bakary KONE, Dramane TRAORE ainsi bien que leurs familles pour leur soutiens inoubliable durant ce travaille.*
- ✓ *Toute la famille KANTE éparpillé partout au Mali, toute la famille BAGAYOKO sans oublier la famille Dicko*
- ✓ *mes remerciements à mon binôme Abdoulaye pour son labeur et sa ferme collaboration.*
- ✓ *je remercie également, mes enseignants et tout mes camarades de la promotion de leur présence durant tout ce temps*

S. KANTE

Résumé

Un réseau FTTH (Fiber To The Home) permet notamment l'accès à internet 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 jusqu'au 2017, ces réseaux terrestres remplacent progressivement ceux ayant historiquement servi à la distribution du téléphone ou encore de la télévision par câble. Les réseaux FTTH commerciaux peuvent atteindre jusqu'à 1Gbit/s symétriques, contre un maximum de 20Mdps en ADSL. Ils permettent également une meilleure latence, l'absence de sensibilité aux perturbations électromagnétiques, et un débit stable pour des lignes jusqu'à environ 30km de longueur.

La technologie FTTH 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.

Notre travail se base sur la planification du réseau FTTH lancé par la société Algérie Télécom et qui est en cours de développement. La simulation de ce réseau est faite sous le logiciel OptiSystem Optiwave afin d'évaluer les performances de ce réseau en terme de SNR, BER et diagramme de l'œil et qui permettant de discuter la qualité du système de transmission optique.

Mots clés :

Réseaux optique, FTTH, QoS, OptiSystem

Abstract

An FTTH network (Fiber To The Home) allows in particular very high speed internet access and in which the optical fiber ends at the home of the subscriber. Developed in various countries in the years 2000 to 2017, these terrestrial networks gradually replace those that have historically been used for telephone distribution or cable television. Commercial FTTH networks can reach up to 1Gbit / s symmetric, against a maximum of 20Mdps in ADSL. They also allow for better latency, lack of sensitivity to electromagnetic disturbances, and stable flow for lines up to about 30km in length.

FTTH technology is nevertheless significantly more expensive than alternative solutions such as fiber to the sub-distributor or to the building, with a VDSL termination on the existing copper cabling.

Our work is based on the planning of the FTTH network launched by the company Telecom Algeria and which is under development. The simulation of this network is done under the OptiSystem software in order to evaluate the performances of this network in terms of SNR, BER and eye diagram and which makes it possible to discuss the quality of the optical transmission system.

Key words:

Optical networks, FTTH, QoS. OptiSystem

Liste des abréviations

ADM: Add Drop Multiplexeurs.

APD: Avalanche Photo Diode.

A-PON: Asynchronous Transfert Mode Passive Optical Network.

ATM: Asynchronous Transfert Mode.

ADSL: Asymetrique Digital Subscriber Line.

B-PON: Broadband Passive Optical Network

BER: Bit Error Rate.

CR : Contre-Réaction.

DL : Diodes Laser

DEL : Diode Electroluminescente

DSLAM: Digital Subscriber Line Acces Multiplexing.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

E-PON: Ethernet Passive Optical Network.

EDFA: Eribium Dope Fibre Amplifier.

FTTB: Fiber To The Building.

FTTC: Fiber To The Curb.

FTTH: Fiber To The Home.

HFC :Hybrid Fiber Coaxial)

IP: Internet Protocol.

LAN: Local Area Network.

LASER: Light Amplifier Simulated Emission Radiated.

LED: Light Emitting Diode.

MAN: Metropolitan Area Network.

MSAN: Multi Service Acces Node.

MIE: Multiplexeur d'Insertion-Extraction.

Mn : Magnésium

NT : Network Termination

NGN: Next Generation Network.

NRO :Nœud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return-to-Zero.

OC : Optical Contener.

ONT : Optical Network Termination

OLT : Optical Line Terminal

ON: Ouverture Numerique

ONU : Optical Network Unit

OptiSystem : Optical Communication System Design.

P2P: Point to Point.

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy.

PIN: Positive Intrinsic Photodiode.

PON: Passive Optical Network.

POP : Point Of Presence

PTO : Point de Terminaison Optique

PBO : Point du Branchement Optique

RZ: Return-to-Zero.

RN :Remote Node

RTC: Reseau Telephonique Commuté.

RNIS: Reseau Numerique Integrateur de Service.

3R: Retiming Reshaping Regenerating.

SRO :Sous-Répartiteur Optique.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy.

SMF: Signal Mode Fiber.

SONET: Synchronous Optical Network.

STM: Synchronous Transport Module.

TM : Terminal Multiplexer

TDM: Time Division Multiplexing.

U-DWDM: Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing.

VDSL: Very high bit rate Digital Subscriber Line(Ligne Numerique d'Abonnée tres haut debit).

VoIP: Voice Over IP (Voix a travers l'IP).

VOD: Video On Demand (Video a la demande).

WAN: Wide Area Network.

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

Liste des figures

Chapitre-I

Fig.I.1 : Structure de la fibre optique	3
Fig.I.2 : Fibre multimode à saut d'indice	4
Fig.I.3 : Fibre multimode à gradient d'indice	5
Fig.I.4 : Fibre optique monomode	6
Fig.I.5 : Performance des trois types fibres	6
Fig.I.6 : Propagation du signal lumineux dans le cœur	7
Fig.I.7 : Principe de la réfraction de la lumière	8
Fig.I.8 : L'angle d'ouverture	8
Fig.I.9 : Type de perte connectique	9
Fig.I.10 : Bilan de perte dans une fibre optique	9
Fig.I.11 : Dispersion chromatique	10
Fig.I.12 : Dispersion modale	11
Fig.I.13 : Chaîne de communication par fibre optique	11
Fig.I.14 : Schéma simplifié d'une liaison optique	12
Fig.I.15 : Structure d'un DL	12
Fig.I.16 : Photodiode PIN	13
Fig.I.17 : Quelques exemples d'application de la fibre	15
Fig.I.18 : Différentes parties d'un réseau optique	16
Fig.I.19 : Technologie PDH	20
Fig.I.20 : Exemple de réseau SDH	21
Fig.I.21 : Technologie WDM	22

Chapitre-II

Fig.II.1 : Architecture générale d'un réseau NGN	24
Fig.II.2 : Croissance du débit au cours des années	24
Fig.II.3 : Réseaux optique jusqu'au point de distribution	25
Fig.II.4 : Réseaux optique jusqu'à l'utilisateur	26
Fig.II.5 : Différentes technologies FTTH	27
Fig.II.6 : Les couches d'un réseau d'accès	28
Fig.II.7 : Equipement OLT	28
Fig.II.8 : Equipement ONT	29
Fig.II.9 : Equipement ONU	29
Fig.II.10 : Les différentes parties du réseau FTTH	30
Fig.II.11 : Chemin de la fibre.....	31
Fig.II.12 : Topologie général du réseau FTTH	32
Fig.II.13 : Architecture P2P	33
Fig.II.14 : Architecture PON	34

Fig.II.15 : Différents architecture utilisé en PON	34
Fig.II.16 : PON en sens montant	35
Fig.II.17 : Architecture PON Sens descendant	35
Fig.II.18 : Architecture PON unidirectionnelle	36
Fig.19 : Architecture PON bidirectionnelle	36
Fig.II.20 : Architecture G-PON	38
Fig.II.21 : Schéma de principe de l'OFDMA-PON	40
Fig.II.22 : Evolution du PON	41
Fig.II.23 : Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif	41
Fig.II.24 : Quelques équipements numériques nécessitant du haut débit	43

Chapitre-III

Fig.III.1 : Interface du logiciel OptiSystem	44
Fig.III.2 : Paramètre de la fenêtre d'édition	45
Fig.III.3 : Le diagramme de l'œil	46
Fig.III.4 : Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON)	47
Fig.III.5 : Schéma du Mux/Demux et l'amplificateur	48
Fig.III.6 : Schéma du récepteur optique	49
Fig.III.7 : Fibre bidirectionnelle	49
Fig.III.8 : bloc Utilisateur	49
Fig.III.9 : Présentation de l'ONU	50
Fig.III.10 : Format NRZ	50
Fig.III.11 : Schéma du gain du filtre de Bessel de troisième ordre	51
Fig.III.12 : Facteur Q en fonction de la distance	51
Fig.III.13 : Diagramme de l'œil par variation de la distance	52
Fig.III.14 : Courbe d'influence de variation du débit sur le facteur Q	53
Fig.III.15 : Diagramme de l'œil en fonction de la variation du débit	54
Fig.III.16 : Courbe du facteur Q en fonction d'atténuation	55
Fig.III.17 : Diagramme de l'œil en fonction de variation d'atténuation	56
Fig.III.18 : Diagramme de l'œil type NRZ/RZ	57
Fig.III.19 : Diagramme de l'œil en fonction de l'amplificateur	58
Fig.III.20 : Diagramme de l'œil en fonction du type de liaison	59
Fig.III.21 : Diagramme de l'œil en fonction du type de Photodiode	60
Fig.III.22 : Spectre de puissance	60
Fig.III.23 : Architecture B-PON	61
Fig.III.24 : Variation de la distance en fonction du facteur Q	62
Fig.III.25 : Diagramme de l'œil pour B-PON	63
Fig.III.26 : Décroissance du facteur Q en fonction d'atténuation	64
Fig.III.27 : Diagramme de l'œil en fonction de l'atténuation	65
Fig.III.28 : spectre d'émission	66

Liste des Tableaux

Chapitre-I

Tableau I.1 : Matière de fibre et son usage	3
Tableau I.2 : Comparaison de fibre mono et multimode	6
Tableau I.3 : Types des réseaux optiques	19

Chapitre-II

Tableau-II.1 : Comparaison entre les trois catégories de PON	39
Tableau-II.2 : Comparaison du débit entre FTTH et ADSL	42
Tableau-II.3 : Comparaison entre xDSL et FTTH	42

Chapitre-III

Tableau III.1 : Effet de variation de distance sur le facteur Q	51
Tableau III.2 : Les valeurs Q selon la variation du débit	53
Tableau III.3 : Effet d'atténuation sur le facteur Q	55
Tableau III.4 : Utilisation des amplificateurs dans la liaison	57
Tableau III.5 : comparaison de Fibre et Photodiode	59
Tableau III.6 : Variation de la distance dans l'architecture B-PON	62
Tableau II.7 : Variation d'atténuation sur le facteur Q	64
Tableau III.8 : Variation du débit sur le facteur Q	66

Table de Matière

Introduction générale	1
Chapitre I Generalité sur les réseaux optiques	
I.1- Introduction	2
I.2- Etat de l'Art de la fibre optique	2
I.2.1-Définition	2
I.2.2-Description de la fibre	3
I.2.3-Classifications de fibre optique et utilisations	3
I.2.4- Les différents types de la fibre optique	3
I.2.4.1-Fibre multimode	4
I.2.4.2-Les fibres optiques monomodes	5
I.2.4.3-Comparaison des performances des trois types de fibres	6
I.2.5-Le principe de propagation	7
I.2.6-Loi de Snell-Descartes	7
I.2.7-Caractéristiques de la fibre optique	8
I.2.7.1- L'ouverture numérique	8
I.2.7.2-L'atténuation	9
I.2.7.3- La bande passante	10
I.2.7.4-La dispersion	10
I.2.8-Système de communication par fibre optique	11
I.2.8.1-Eléments de bases d'une liaison optique	12
I.2.8.2-Sources optiques	12
I.2.9-Récepteurs optiques	13
I.2.10-Les applications de la fibre optique	14
I.2.10.1-Avantages de la fibre optique	14
I.2.10.2-Inconvénients	14
I.3-Les Réseaux optiques	15
I.3.1-Réseau tout optique(<i>ou réseau transparent</i>)	15
I.3.2-Réseau non tout optique (<i>ou réseau opaque</i>)	16
I.3.3-Caractéristiques des différentes parties d'un réseau de télécom	16
I.3.3.1-Réseau d'accès	16
I.3.3.2-Réseau métropolitain	17
I.3.3.3-Réseau cœur	17
I.4-Classification géographique des réseaux	17
I.4.1-Le réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network).....	17

I.4.1.1-Les réseaux terrestres	17
I.4.1.2-Les réseaux sous-marins	18
I.4.2-Le réseau métropolitain (MAN, Metropolitan Area Network)	18
I.4.3-Le réseau local (LAN, Local Area Network)	19
I. 4.4-Comparaison entre les trois types de réseau fixe	19
I.5- Les technologies utilisées dans les réseaux optiques	19
I.5.1-PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)	19
I.5.2-SDH / SONET	20
I.5.3-WDM et DWDM	21
I.6-Conclusion	22

Chapitre II Etude détaillée du réseau FTTH

II.1- Introduction	23
II.1.1-Historique	23
II.2- Les technologies FTTX	25
II.2.1-Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution	25
II.2.2-Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur	26
II.3-Les couches du réseau d'accès	27
II.3.1-Différents Composants d'un réseau optique.....	28
II.3.2-Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH.....	30
II.4- Architecture du réseau d'accès optique FTTH.....	31
II.4.1- Différentes topologie FTTH.....	32
II.4.1.1-La technologie P2P.....	32
II.4.1.2.- L'architecture PON	33
II.4.1.3-Sens montant du type PON	35
II.4.1.4-Sens descendant du PON.....	35
II.4.1.5-Architecture PON unidirectionnelle	36
II.4.1.6-Architecture PON bidirectionnelle	36
II.4.1.7- Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON).....	37
II.5- Les catégories du PON	37
II.5.1-A-PON (ATM PON)	37
II.5.2-B-PON Broadband PON	37
II.5.3-E-PON	38
II.5.4-Architecture G-PON (Gigabit PON)	38
H.5.4.a-Avantages du type G-PON	38
II.5.4.b-Inconvénients du type G-PON	39

II.5.5-WDM-PON	39
II.5.6-OFDMA-PON	40
II.6-Architecture AON	41
II.7- Comparaison entre xDSL et FTTH	42
II.8-Quelques usages du réseau d'accès FTTH	42
II.9-Conclusion.....	43

Chapitre III Tests, planification et simulation du réseau FTTH

III.1-Introduction.....	44
III.2- Description du logiciel OptiSystem	44
III.3- Tests et résultats de simulation du réseau FTTH	45
III.3.1- Paramètres de qualité d'une liaison optique.....	45
III.3.2- Simulation du réseau FTTH pour l'architecture (WDM-GPON)	47
III.3.2.1-Influence de la variation de distance sur le facteur de qualité Q.....	51
III.3.2.2-Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q	53
III.3.2.3- Effet de l'atténuation sur la transmission	55
III.3.2.4-Effet du type de codage NRZ ou RZ.....	57
III.3.2.5- Effet des amplificateurs sur la transmission optique	57
III.3.2.6-Effet du type de liaison et du type de photodiode	59
III.3.2.7- Evaluation du spectre de puissance.....	60
III.3.3- Simulation du réseau FTTH pour l'architecture B-PON	61
III.3.3.1- Influence de la variation de distance sur le facteur de qualité Q.....	62
III.3.3.2- Influence de la variation d'atténuation sur le facteur de qualité	64
III.3.3.3 Influence de débit de transmission sur le facteur de qualité.....	66
III.3.3.4 Le spectre de puissance d'un user	66
III.4- Conclusion	66
CONCLUSION GENERALE	67



**Introduction
générale**

Dans les années 1970, la première fibre optique fut conçue par les trois chercheurs de la compagnie Corning Glass Works de New York il s'agit de Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck. Cette fibre était capable d'acheminer 65000 fois plus de données qu'un simple câble en cuivre. En 1977, les laboratoires Bell Labs aux Etats Unis réalisent le tout premier système de télécommunication par fibre optique ainsi que l'apparition des premières diodes LASER. Ce fut une liaison de 640m constituée de 144 fibres optiques, supportant chacune 44Mbits/s de débit équivalent à 700 communications téléphoniques simultanées [1].

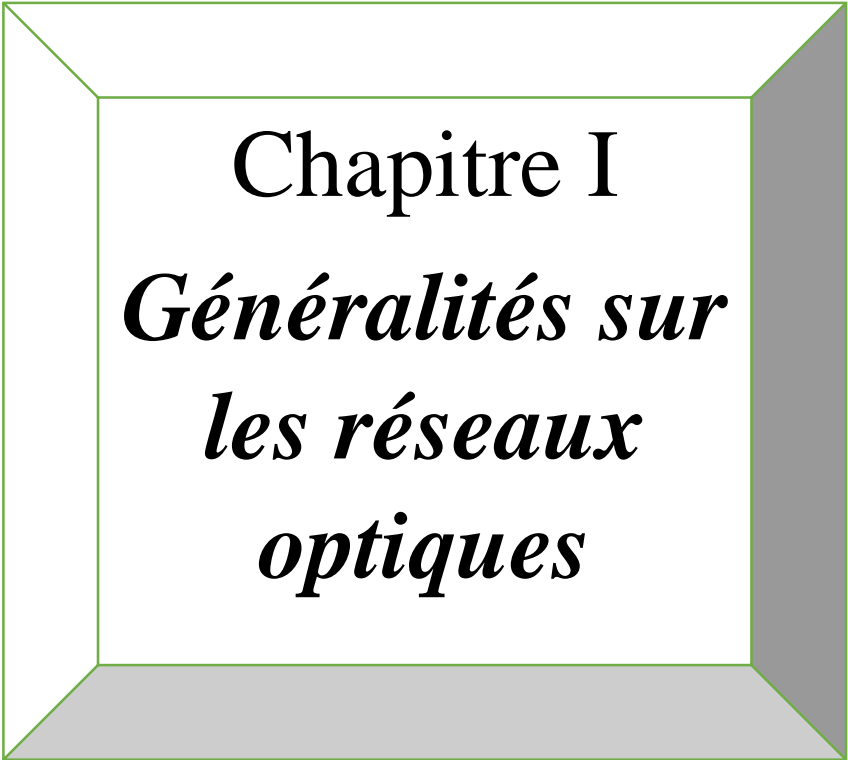
A l'arrivée de la fibre optique, le monde des télécommunications a connu un grand essor en compensant les performances et l'offre en bande passante et débits que le cuivre n'est plus en mesure de répondre face à la demande du très haut débit des nouveaux services multimédias.

Depuis l'apparition des techniques du multiplexage en longueur d'onde WDM et SDH, la transmission des données par fibre optique s'est largement accélérée et le débit binaire transporté par une seule et unique fibre peut aller à des dizaines de Gigabit/s. C'est une technologie qui permet d'augmenter les débits dans le réseau optique.

Notre travail porte sur l'étude, planification et simulation d'un réseau d'accès FTTH, répartie en trois chapitres, le premier chapitre est basé sur une généralité de la fibre optique, les différentes caractéristiques et composants de la chaîne de transmission optique.

Quant au deuxième chapitre, il est consacré sur une étude détaillée du réseau FTTH, les différentes technologies FTTx existants ainsi les principaux types B-PON, A-PON, G-PON...etc, leurs caractéristiques et les services offerts par le réseau FTTH.

Le troisième chapitre fait l'objet de la planification et la simulation du réseau FTTH, tout d'abord nous allons présenter une brève description de notre outil logiciel de travail « OPTISYSTEM », la simulation est basée sur la variation en terme de débit de transmission aussi bien la distance de la liaison et évaluer l'efficacité de quelques composants d'émission-réception. Enfin nous avons comparé les résultats des différentes architectures du réseau FTTH.



Chapitre I
*Généralités sur
les réseaux
optiques*

I.1- Introduction

Les systèmes numériques les plus rapides transmettaient l'information à un débit de 10 Mbits/s, le câble coaxial était absolument accommodé à assurer sa fonction de support de transmission, mais avec l'arrivée des nouveaux services liés au développement du multimédia, un besoin d'un débit de transmission d'informations plus élevé, et une alternative au câble coaxial sont apparus à cause des pertes trop élevées, à des courtes distances de propagation, et des performances limitées.

La venue des technologies basées sur la fibre optique a intégralement révolutionné l'univers des télécommunications.

Ce chapitre sera consacré sur l'état de l'art de la fibre optique, les caractéristiques d'une liaison optique, avantages et inconvénients ainsi les différents types des réseaux optiques.

I.2- Etat de l'Art de la fibre optique

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

I.2.1-Définition

Une fibre optique peut être assimilée à un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données.

Elle possède un indice de réfraction élevé et offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux.

Son principe est relativement simple :

- Transporter de l'information numérique
- Utiliser une variation d'intensité lumineuse pour générer un signal binaire

Les niveaux logiques bas du signal binaire seront représentés par une absence de signal lumineux, tandis que les niveaux logiques hauts seront détectés grâce à la présence d'un fort signal lumineux au sein de la fibre optique .

I.2.2-Description de la fibre

Brièvement, la fibre optique est composée :

- D'un cœur : fil de verre très fin (quelque micromètre de diamètre),
- d'une gaine qui emprisonne la lumière dans le cœur en la réfléchissant pratiquement sans perte,
- d'un revêtement de protection qui peut réunir plusieurs dizaines à plusieurs centaines de fibres, d'un système de connexion très spécifique.

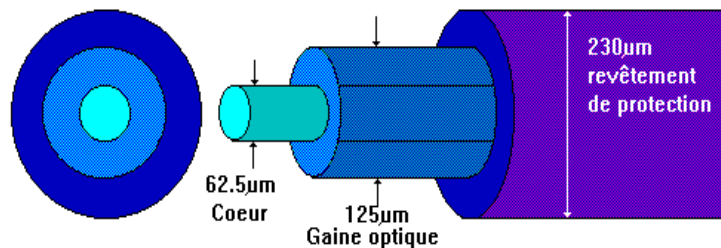


Fig.I.1 : Structure de la fibre optique [2]

I.2.3-Classifications de fibre optique et utilisations

L'utilisation de la fibre optique est classifiée en fonction de la matière dont elle a été façonnée comme illustré dans le tableau I.1 suivant :

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

Tableau I.1 : Matière de fibre et son usage

I.2.4- Les différents types de la fibre optique

En télécommunications, il y a deux types de fibres optiques utilisées :

- ❖ Les fibres monomodes.
- ❖ Les fibres multimodes.

La différence entre ces deux types de fibres optiques est la dimension du cœur, où il est de $10\mu\text{m}$ pour les fibres monomodes et de $50\mu\text{m}$ pour les fibres multimodes.

I.2.4.1-Fibre multimode

Elle est classée en deux catégories selon la dispersion des rayons dans le cœur de fibre :

a- Fibre multimode à saut d'indice

Le cœur et la gaine présentent des indices de réfraction différents et constants. Le passage d'un milieu vers l'autre est caractérisé par un saut d'indice. Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des chemins optiques différents ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis.

Les différents rayons empruntent des trajectoires différentes, leurs chemins optiques et leurs temps de propagation sont différents. Il en résulte donc une dispersion intermodale. Pour diminuer cet effet, le profil d'indice de cœur peut être modifié de telle sorte a créé un « Gradient d'indice ».

-Avantage

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

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

-Inconvénients

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

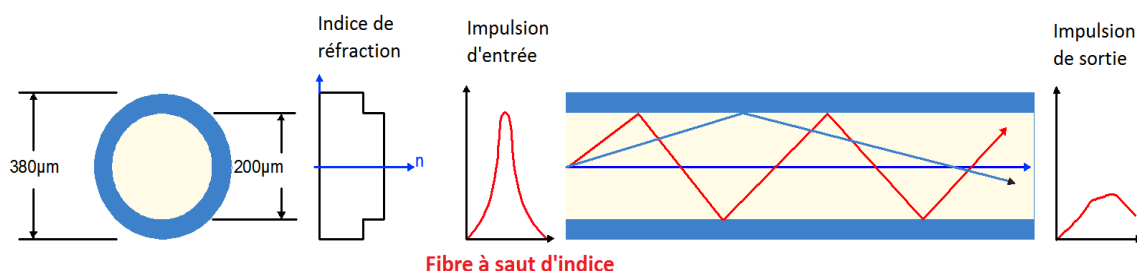


Fig.I.2 : Fibre multimode à saut d'indice [3]

b- Fibre multimode à gradient d'indice

Le cœur se caractérise par un indice variable qui augmente progressivement de n_1 à l'interface gaine-cœur jusqu'à n_2 au centre de la fibre. Là aussi les rayons lumineux vont emprunter des chemins différents, mais un choix judicieux du profil d'indice du cœur permet de tendre vers des temps de parcours voisins et donc réduire l'étalement du signal. Les fibres multimodes sont en préférence employées pour les réseaux locaux, pour les bas débits ou encore pour des longueurs d'onde proches de 850nm.

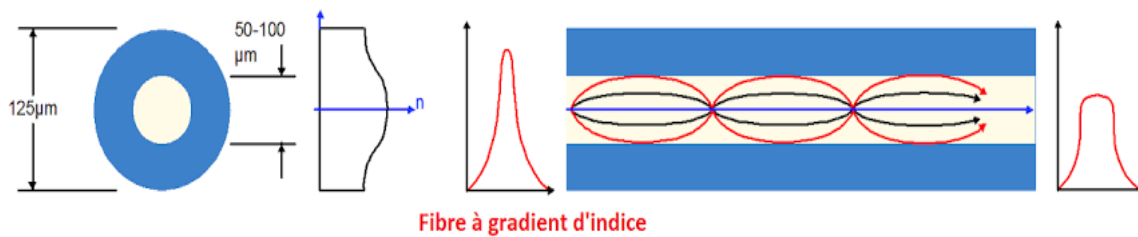


Fig.I.3 : Fibre multimode à gradient d'indice

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

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

-Inconvénients

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

I.2.4.2-Les fibres optiques monomodes

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

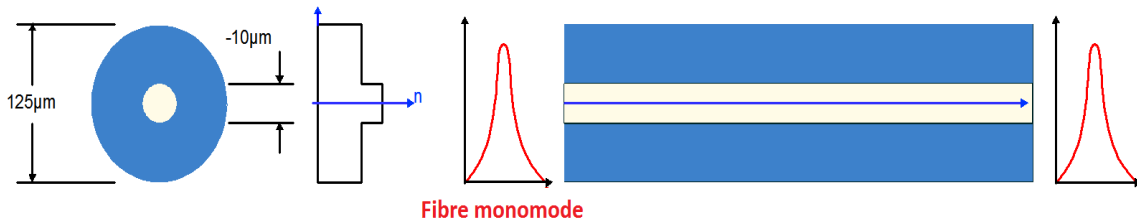


Fig.I.4 : Fibre optique monomode [4]

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

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

I.2.4.3-Comparaison des performances des trois types de fibres [5]

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

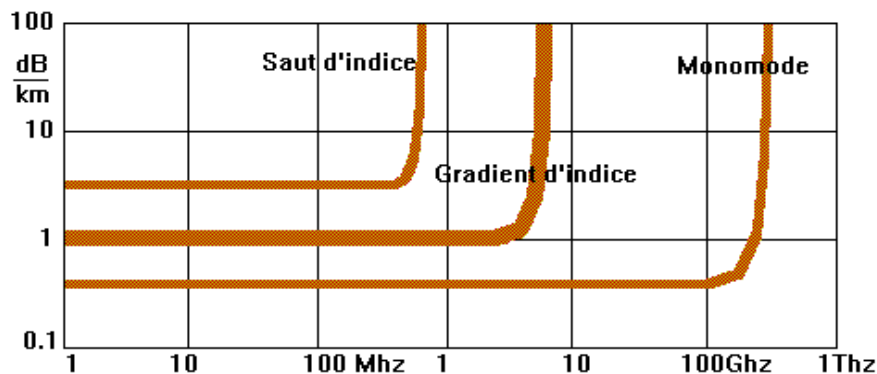


Fig.I.5 : Performance des trois types fibres

Le tableau I.2 suivant résume une comparaison entre la fibre monomode et multimode :

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

Tableau I.2 : Comparaison de fibre mono et multimode

I.2.5-Le principe de propagation

La propagation du signal lumineux dans les fibres optiques repose sur le principe de la réflexion totale. Les rayons lumineux qui se propagent le long du cœur de la fibre heurtent sa surface avec un angle d'incidence supérieur à l'angle critique : la totalité de la lumière est alors réfléchiée dans la fibre. La lumière peut ainsi se propager sur de longues distances, en se réfléchissant des milliers de fois. Afin d'éviter les pertes de lumière liées à son absorption par les impuretés à la surface de la fibre optique, le cœur de celle-ci est revêtu d'une gaine en verre d'indice de réfraction beaucoup plus faible ; les réflexions se produisent alors à l'interface cœur-gaine.

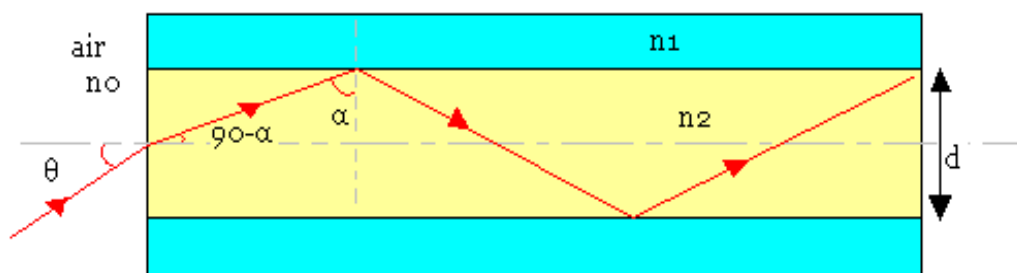


Fig.I.6 : Propagation du signal lumineux dans le cœur

I.2.6-Loi de Snell-Descartes

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

L'indice de réfraction absolu est donné par :

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{Eq.I.1})$$

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

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

La figure suivant montre ces deux phénomènes :

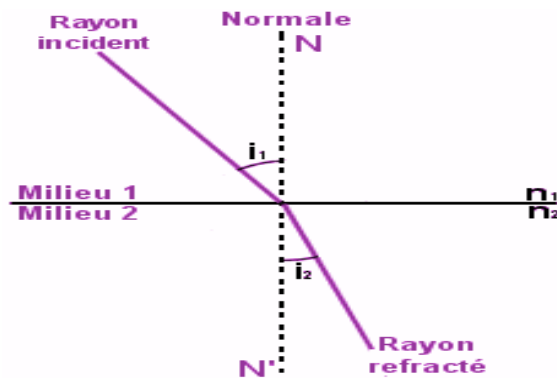


Fig.I.7 : Principe de la réfraction de la lumière

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

$$n_1 \cdot \sin(I_1) = n_2 \cdot \sin(I_2) \quad (\text{Eq.I.2})$$

I.2.7-Caractéristiques de la fibre optique

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

I.2.7.1- L'ouverture numérique

L'angle limite d'acceptation de la lumière par le guide exprime la faculté de capter la lumière d'une source à sa section frontale. Elle est directement liée à l'ouverture du cône d'acceptance des rayons lumineux critiques conduisant encore juste à une réflexion total, comme le montre la figure suivante :

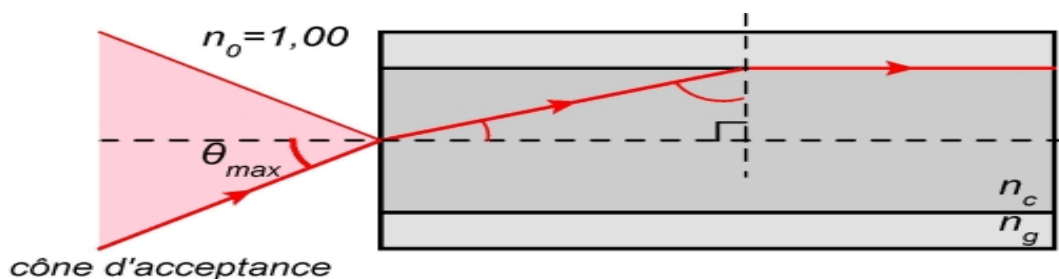


Fig.I.8 : L'angle d'ouverture

Pour les fibres monomodes il est préférable d'utiliser une source laser car l'ouverture numérique est faible. Mais pour les fibres à gradient d'indice, 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'ouverture numérique est donnée par :

$$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 1 \tag{Eq.I.3}$$

I.2.7.2-L'atténuation [6]

L'atténuation du signal dépend de la nature de la fibre essentiellement en fonction du type (monomode ou multimode). Le choix de la fibre optique utilisée est principalement imposé par la longueur d'onde du signal transmis. Ainsi, pour des signaux de longueur d'onde entre 800nm et 1300nm, on est contraint d'utiliser une fibre multimode, alors que pour des signaux de longueur d'onde de 1280 à 1640 nm, on peut utiliser une fibre monomode.

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

$$A[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_r} \right) \tag{Eq.I.4}$$

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

P_r : est la puissance lumineuse à la sortie

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

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

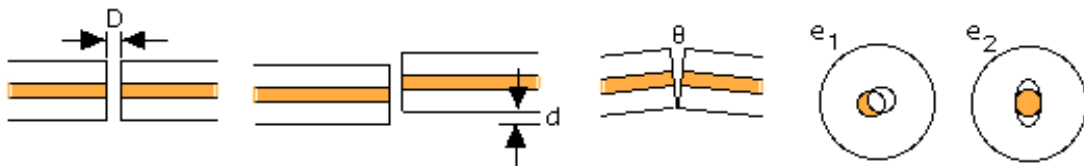


Fig.I.9 : Type de perte connectique

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

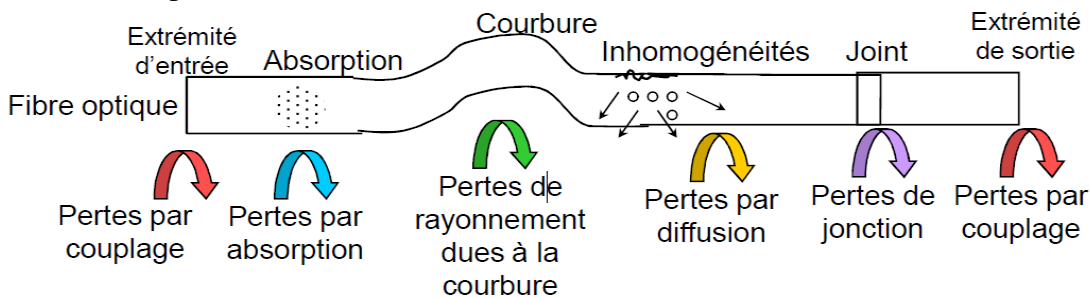


Fig.I.10 : Bilan de perte dans une fibre optique

I.2.7.3- La bande passante

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

$$B_T = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{B_m^2} + \frac{1}{B_c^2}}} \quad (\text{Eq.I.5})$$

Avec B_m : bande résultante de la dispersion modale et B_c : bande dérivante de la dispersion chromatique. Dans la fibre multimodes la bande totale dépend uniquement de la bande modale. Fibre multimode $B_T = B_m$, par contre dans la fibre monomode, la bande totale est déterminée uniquement par la bande chromatique. Fibre monomode : $B_T = B_c$

I.2.7.4-La dispersion [7]

La dispersion dans une fibre est répartie en deux types : chromatique et modale.

a-Dispersion chromatique

La dispersion chromatique (Fig.I.11) 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 due 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.

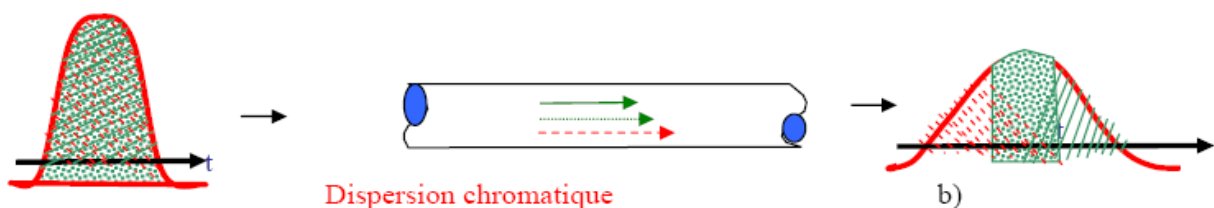


Fig.I.11 : Dispersion chromatique

b-Dispersion modale (ou intermodale)

Dans une fibre optique multimode, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons, composant le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique - électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale.

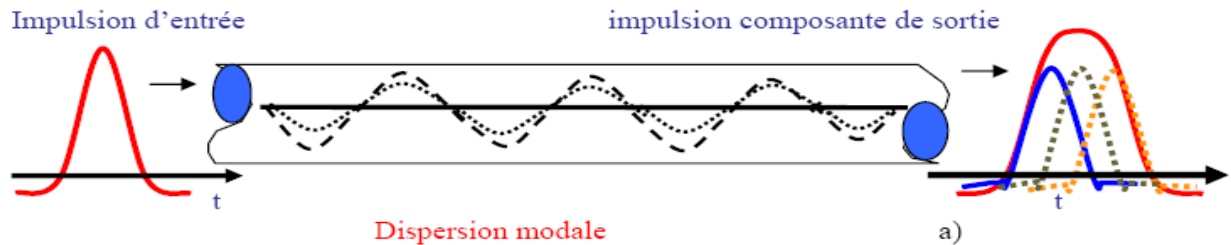


Fig.I.12 : Dispersion modale

I.2.8-Système de communication par fibre optique

Comme le montre la figure(Fig.I.13), l'information (données, voix, vidéo,...) venant de la source est transcrite sous forme codée en signal électrique pour que l'émetteur l'envoie, la fibre agit comme une guide d'onde optique afin que les photons puissent traverser le chemin optique vers le récepteur. Arrivée au détecteur, le signal subit une conversion optique-en-électrique, décodé, et envoyé vers sa destination.

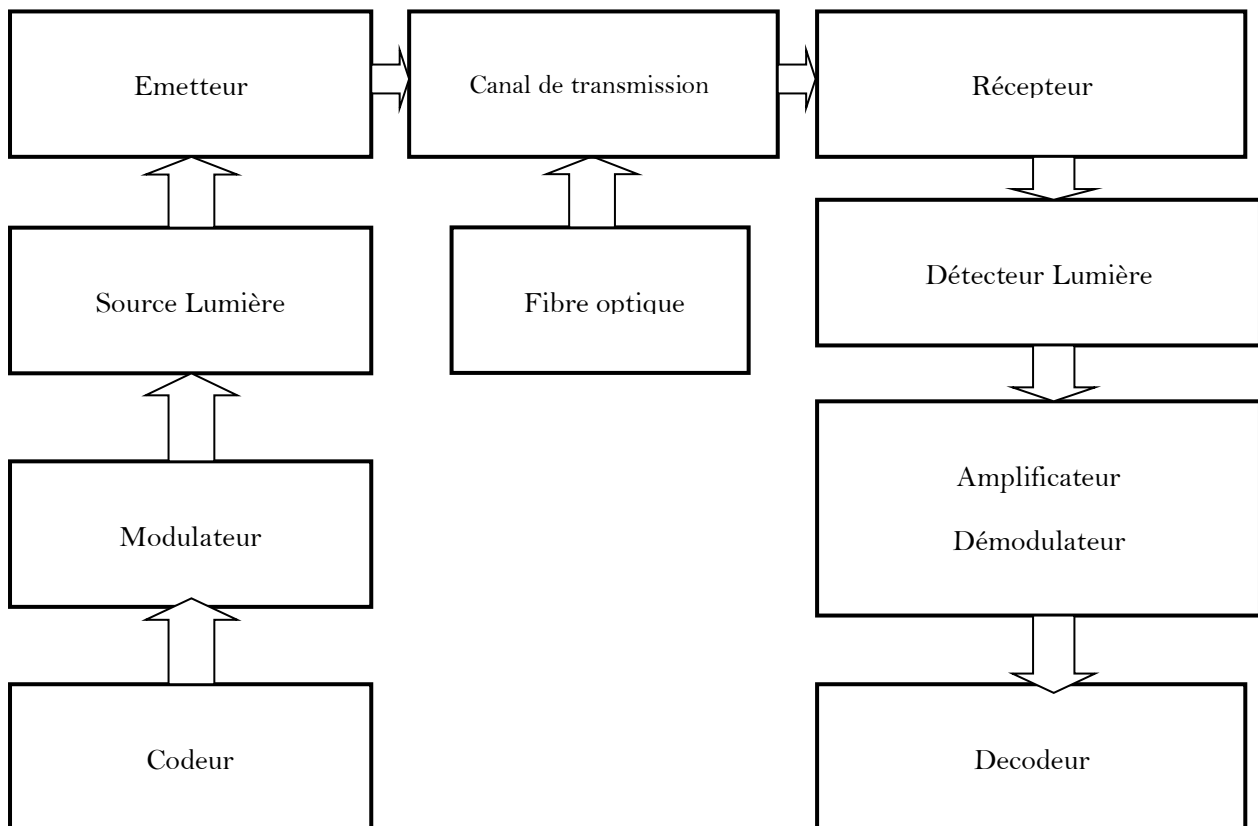


Fig.I.13 : Chaîne de communication par fibre optique

I.2.8.1-Eléments de bases d'une liaison optique

Une Liaison point à point sur fibre optique met en jeu plusieurs sous-ensembles de base comme schématisé par la figure(Fig.I.14) suivante :

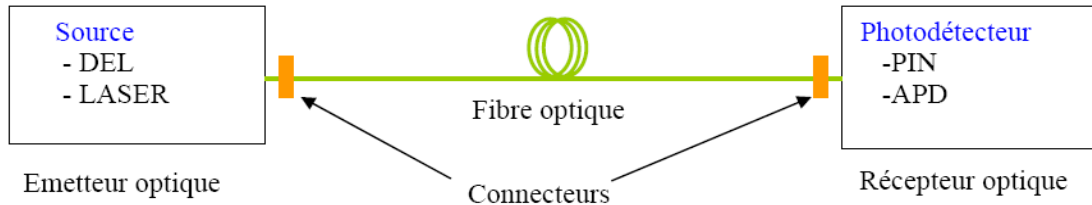


Fig.I.14 : Schéma simplifié d'une liaison optique [8]

I.2.8.2-Sources optiques

En télécommunication optique, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix de sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL).

a-Diode Laser (DL)

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre.

Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et d'une boucle de contre-réaction (CR).

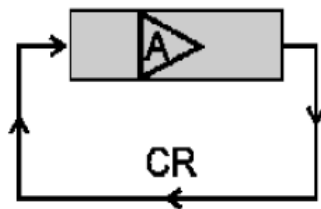


Fig.I.15 : Structure d'un DL

La diode laser représente les caractéristiques suivantes :

- ✓ La source DL est cohérente et monochromatique.
- ✓ Largeur de spectre étroite.

- ✓ Les émissions se font dans la même direction (diagramme de rayonnement directive).
- ✓ Utilisée dans les systèmes de transmission à grande distance.

b- La diode électroluminescente DEL

C'est un composant qui réalise directement l'émission de photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en directe. Les matériaux utilisés sont choisis en fonction de la longueur d'onde d'émission. Les caractéristiques de ce dispositif sont :

- ✓ La diode DEL est une source polychromatique, et incohérente.
- ✓ Le spectre est assez large.
- ✓ Le diagramme de rayonnement est moins directif.
- ✓ La caractéristique puissance-courant est assez linéaire.
- ✓ Utilisée dans les systèmes de transmission qui nécessite pas de grande bande passante.

I.2.9-Récepteurs optiques

Le photodétecteur est un composant indispensable dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de traduire le signal optique envoyé par la fibre optique en signal électrique, qui sera traité par des dispositifs électroniques. Les photodétecteurs les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique sont les photodiodes PIN et APD.

Dans la transmission optique les détecteurs doivent :

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



Fig.I.16 : Photodiode PIN

I.2.10-Les applications de la fibre optique

Parmi les applications de la fibre optique nous pouvons citer :

- ❖ Les télécommunications, pour la réalisation des réseaux à haut débit à grande distance en technologie WDM, SDH, ATM.
- ❖ Réseaux nationaux et internationaux de télécommunication.
- ❖ Réseaux locaux en environnement bruité
- ❖ L'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés de télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné.
- ❖ La médecine, ou la fibre optique est notamment utilisée :
 - En chirurgie, pour transporter le faisceau laser jusqu'au tissu à traiter.
 - En endoscopie, pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.
- ❖ L'éclairage (muséographique, architectural, espaces d'agrément publics ou domestiques).
- ❖ Domaine militaire : la fibre optique répond aux besoins des lances missiles optiques, des systèmes de radars optiques ainsi que des systèmes de contrôles.

I.2.10.1-Avantages de la fibre optique

La fibre optique un nombre d'avantage d'utilisation tel que :

- ✓ Pertes très faibles,
- ✓ Bande passante très grande,
- ✓ Immunité au bruit,
- ✓ Absence de rayonnement vers l'extérieur,
- ✓ Absence de diaphonie,
- ✓ Isolation électrique,
- ✓ Résistance aux températures élevées et aux produits corrosifs,
- ✓ Poids et dimensions réduites,
- ✓ Excellente qualité de la transmission,

I.2.10.2-Inconvénients

Malgré la fiabilité de la fibre, elle a aussi quelque inconvénient comme :

- ✓ Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques
- ✓ Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement)
- ✓ Difficultés de raccordement aussi bien entre deux fibres qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception.

- ✓ Les interfaces électriques/optiques ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé.



Fig.I.17 : Quelques exemples d'application de la fibre

I.3-Les Réseaux optiques

Les réseaux optiques permettent de transporter des signaux sous forme optique et non électrique dans les réseaux classiques. Les réseaux optiques peuvent être classés en deux catégories : le réseau tout optique, et le réseau non tout optique.

I.3.1-Réseau tout optique(ou *réseau transparent*)

Le terme transparence peut être lié à plusieurs critères. En général, il concerne le débit binaire, le format de modulation ou le format de transmission (SDH, PDH...). Dans le cas des réseaux optiques, la transparence désigne l'absence de conversion optoélectronique. Ce type de réseau n'intègre que des équipements optiques, la lumière est routée sous sa forme originale et ne subira pas de conversion optique-électrique jusqu'à la destination. Un réseau

tout optique ne possède pas de mémoire pour stocker des paquets. Il permet l'établissement d'une connexion optique de bout à bout, ce type de réseau coûte très cher. [9]

I.3.2-Réseau non tout optique (ou réseau opaque)

Un réseau optique opaque est un réseau optique nécessitant des conversions optoélectroniques du signal entrant sur chaque port d'entrée d'un nœud du réseau. Le signal optique est converti en signal électrique lors de chaque passage dans un nœud. Dans ce type de réseau, la couche optique sert uniquement à transporter un signal optique entre deux nœuds du réseau. Ce réseau ne permet pas d'établir une connexion optique de bout à bout.

I.3.3-Caractéristiques des différentes parties d'un réseau de télécom [10]

Les réseaux de télécommunication peuvent être subdivisés en trois parties : le réseau cœur, le réseau métropolitain et le réseau d'accès.

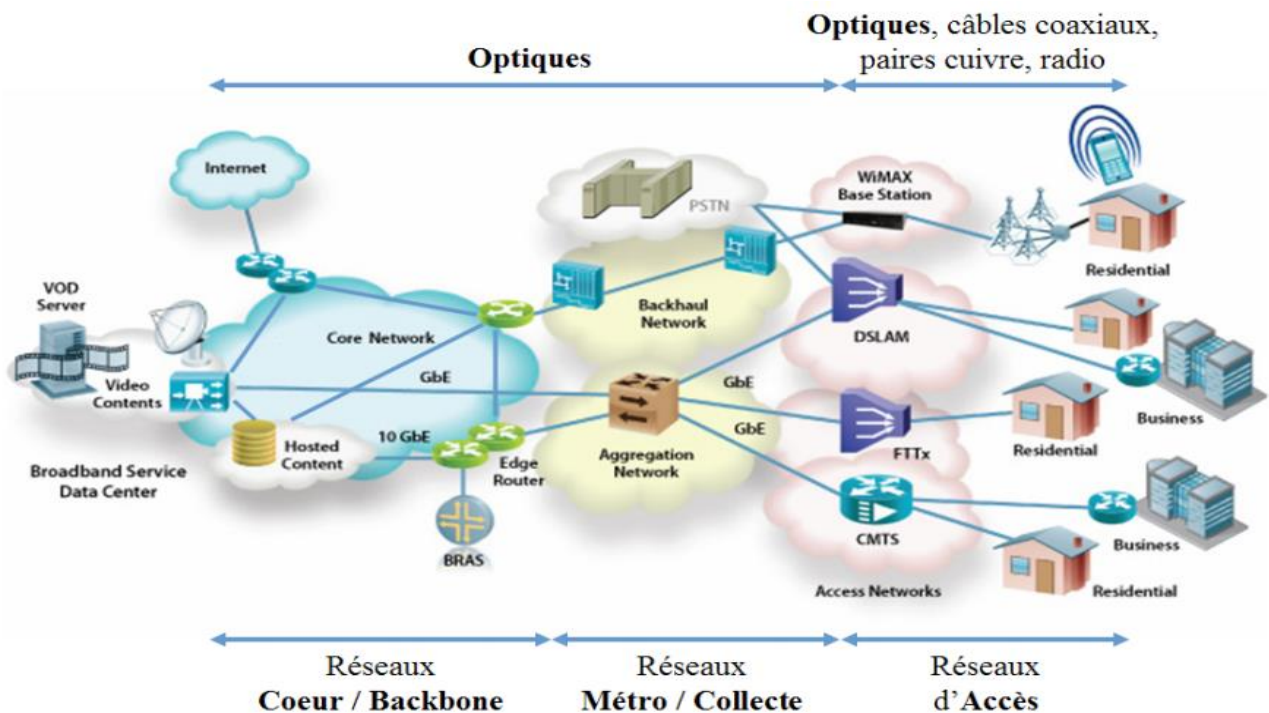


Fig.I.18 : Différentes parties d'un réseau optique

Ces différentes parties se caractérisent par la dimension de leurs zones de couverture, les technologies mises en œuvre et les fonctions à remplir.

I.3.3.1-Réseau d'accès

Le réseau d'accès permet de raccorder les clients aux réseaux des opérateurs. Différentes technologies sont utilisées dans la conception des réseaux d'accès, notamment xDSL, wifi, Ethernet ou FTTH. Le réseau d'accès a une portée de moins de 10 km.

I.3.3.2-Réseau métropolitain

Le réseau métropolitain permet de collecter le flux d'information venant des réseaux d'accès et de le transmettre au réseau cœur ou de distribuer le flux reçu aux différents réseaux d'accès.

I.3.3.3-Réseau cœur

Le réseau cœur permet d'interconnecter les réseaux métropolitains entre eux, à l'Internet et aux différents réseaux des autres opérateurs. Le réseau cœur a typiquement une topologie maillée et s'étend sur plusieurs kilomètres. Il utilise les technologies les plus récentes pour accroître le débit de transmission car il supporte une grande quantité de données du réseau. Il a une portée de plus de 100 km.

I.4-Classification géographique des réseaux [11]

Nous pouvons classer les réseaux en trois grandes parties selon leurs portées maximale.

I.4.1-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.

I.4.1.1-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.

I.4.1.2-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 3^{ème} 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.

I.4.2-Le réseau métropolitain (MAN, Metropolitan 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.

I.4.3-Le réseau local (LAN, Local Area Network)

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

- a 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.

I. 4.4-Comparaison entre les trois types de réseau fixe

Il existe trois types de réseau fixe qui se distinguent de leur dispersion géographique et leur protocole de communication.

	Réseau LAN	Réseau MAN	Réseau WAN
Nombre d'éléments	un ensemble d'équipements, appartenant à une même société	interconnecte plusieurs LANs	interconnecte plusieurs LANs ou MANs
Dispersion Géographique	les machines sont situées sur un périmètre géographiquement restreint	Réseaux LANs géographiquement proches	Très grandes distance
Protocoles utilisés	Ethernet, Token Ring, FDDI,...	FDDI, ATM, SDH, etc	SDH, SONET, WDM,...

Tableau I.3 : Types des réseaux optiques

I.5- Les technologies utilisées dans les réseaux optiques [12]

Dans les réseaux optiques, certaines technologies normalisées par IUT jouent un rôle important dans la transmission.

I.5.1-PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH), apparu dans les années soixante-dix (70), assure le transport de données basé sur un flux à 2 Mbit/s empruntant 32 canaux (circuits). 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 signalisation et la synchronisation.

En Europe, les débits PDH nommés E_i avec E_1 correspondant à 2 048 kbit/s, E_2 correspondant à 8 Mbit/s, E_3 correspondant à 34 Mbit/s, E_4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé). Les débits PDH aux Etats-Unis sont nommés T_i avec T_1 à 1,544 Mbit/s, T_2 à 6,312 Mbit/s, T_3 à 44,736 Mbit/s et T_4 fonctionnant à 274,176 Mbit/s. L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s donc la SDH est préférable en raison du débit.

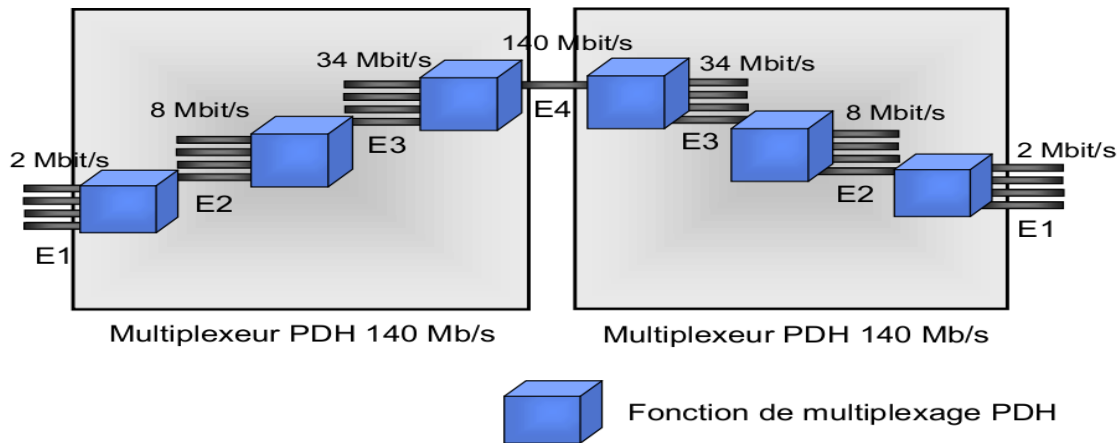


Fig.I.19 : Technologie PDH

I.5.2-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).

Les réseaux SDH les plus déployés sont aujourd'hui des réseaux combinant les niveaux STM 1 (155 Mbit/s), STM 4 (622 Mbit/s) et STM 16 (2,5 Gbit/s).

La technologie SONET/SDH utilise un multiplexage temporel à travers des multiplexeurs appelés ADM (Add/Drop Multiplexeur) ou MIE (Multiplexeur à Insertion/Extraction). Le multiplexeur terminal (TM, Terminal Multiplexer) permet le multiplexage de signaux affluents pléiochrones (PDH) dans un signal de ligne STM-1 résultant.

Les répéteurs-régénérateurs sont des équipements qui permettent, dans une transmission longue distance, d'amplifier et de remettre en forme le signal optique. La technologie SDH se retrouve aussi bien en topologie point à point, bus et surtout anneau. La technologie SDH est donc, souvent, couplée à une technique WDM quant elle relie deux ADMs (Add and Drop Multiplexers) distants. Ceci permet de ne pas avoir à multiplier le nombre de fibres entre 2 localités. Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement de noeuds ADM et ne possédant pas de noeud terminal. Ce type de réseau joue

un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'autocicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un noeud du réseau).

La figure (fig.I.20) ci-dessous représente un exemple de la technologie SDH .

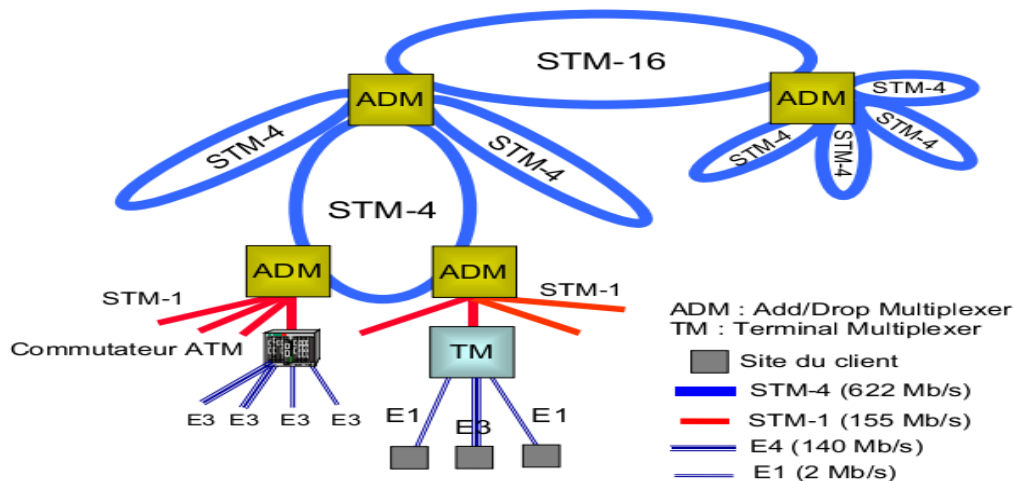


Fig.I.20: Exemple de réseau SDH

I.5.3-WDM et DWDM

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

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

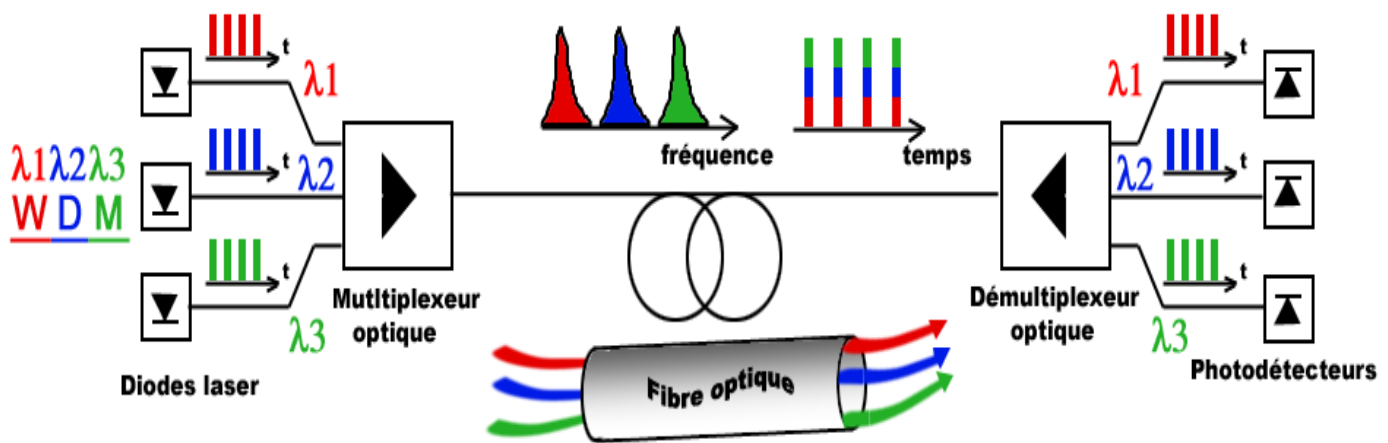


Fig.I.21 : Technologie WDM [13]

I.6-Conclusion

L'information est généralement transmise en code binaire, soit sous forme de 0 et de 1. Le signal qui est transporté dans la fibre est alors sous forme des impulsions lumineuses. Le défi des compagnies de télécommunications est d'arriver à transmettre un maximum de données en un temps record tout en minimisant les pertes de signal. Pour augmenter le débit de transmission, on réduit la largeur des impulsions, ce qui correspond à une augmentation de la fréquence de transmission. L'optique entre désormais dans les réseaux de desserte grand public, on parle de FTTx (Fiber To The..., « fibre jusqu'à ... ») : quartier (FTTN, pour Neighborhood), au pied d'immeuble (FTTB, pour Building), au domicile (FTTH, pour Home).



Chapitre II

Etude détaillée du réseau FTTH

II.1- Introduction

Les moyens de télécommunications ne cessent d'accroître à l'échelle exponentielle depuis le début du vingtième siècle, avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia, un besoin d'un haut débit de transmission d'informations a vu le jour : la fibre optique est enfin utilisée via la technologie FTTH pour connecter les particuliers dans les années à venir, ce support de transmission apportera un changement radical dans l'environnement des télécommunications à travers le monde.

Actuellement, l'Internet est utilisé pour diffuser des programmes de télévision, contrôler des usines, interconnecter des banques, gérer des transmissions militaires, suivre des opérations médicales, ou transporter des conversations téléphoniques. Des services de plus en plus gourmands en bande passante comme le partage des contenus, le service de stockage en ligne, la télé haute définition (TV3D et TVHD), les jeux en ligne, le Peer To Peer, le téléenseignement et la télémédecine viennent s'ajouter à la liste des services usuels.

Ce chapitre portera une étude détaillée sur la technologie du réseau d'accès à fibre optique jusqu'à l'abonné (Fiber To The Home ou FTTH).

II.1.1-Historique

Les réseaux traditionnels de téléphonie fixe des opérateurs historiques, tel qu'Algérie Telecom, était basés sur la commutation de circuits entre les lignes, et sur une structure hiérarchique des commutateurs selon différentes zones d'appels. De plus, ce réseau téléphonique cohabite avec un ou plusieurs réseaux dédiés au transport de données (dont le réseau utilisé pour la fourniture des services haut-débit DSL). C'est ainsi que le réseau NGN est apparue, regroupant un certain nombre de réseau dans son architecture tel que RTC, DSLAM, MSAN comme le montre la figure II.1 ci-dessous.

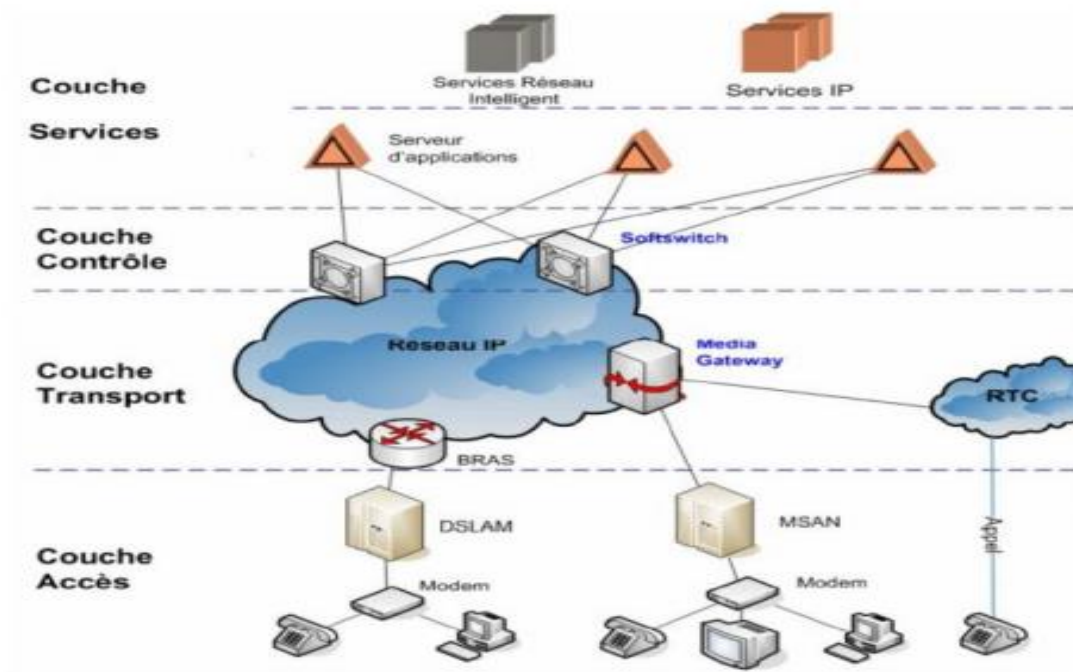


Fig-II.1 : Architecture générale d'un réseau NGN [14]

En 2006, des réseaux FTTH existent déjà en milieu urbain en Asie du Sud-est et aux Etats Unis, ainsi que dans quelques agglomérations européennes. Actuellement des projets sont aussi en cours dans certains pays d'Afrique du nord, notamment au Maroc, Algérie ou certains complexes résidentiels sont déjà équipés. La figure II.2 ci-dessous indique l'augmentation de débit en fonction des années.

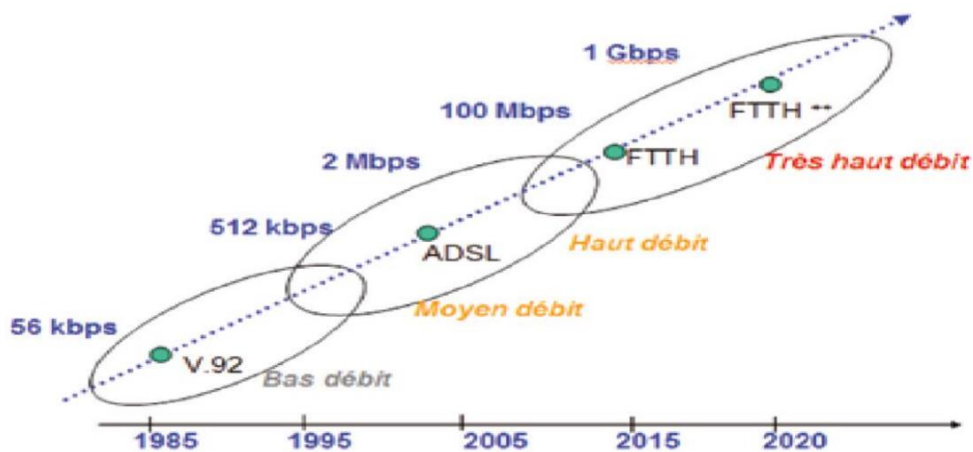


Fig-II.2 : Croissance du débit au cours des années [15]

II.2- Les technologies FTTX

Les réseaux FTTX peuvent être classés en deux grandes catégories :

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

II.2.1- Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution [16]

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

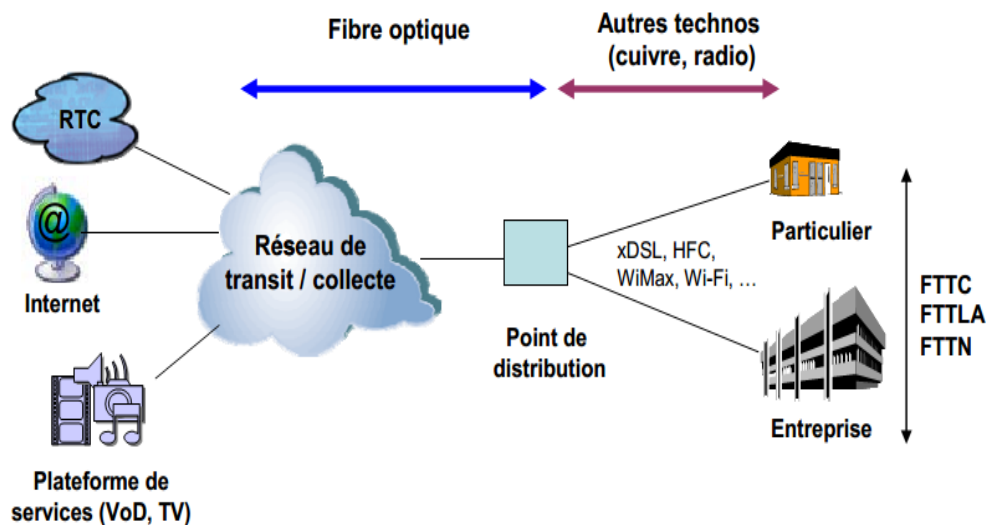


Fig-II.3 : Réseaux optiques jusqu'au point de distribution

a-Fibre au bord (FTTC)

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

b-FTTN (fiber to the neighborhood)

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

c-Fibre au point de distribution (FTTDp)

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

d-FTTLA

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

II.2.2-Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur [17]

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

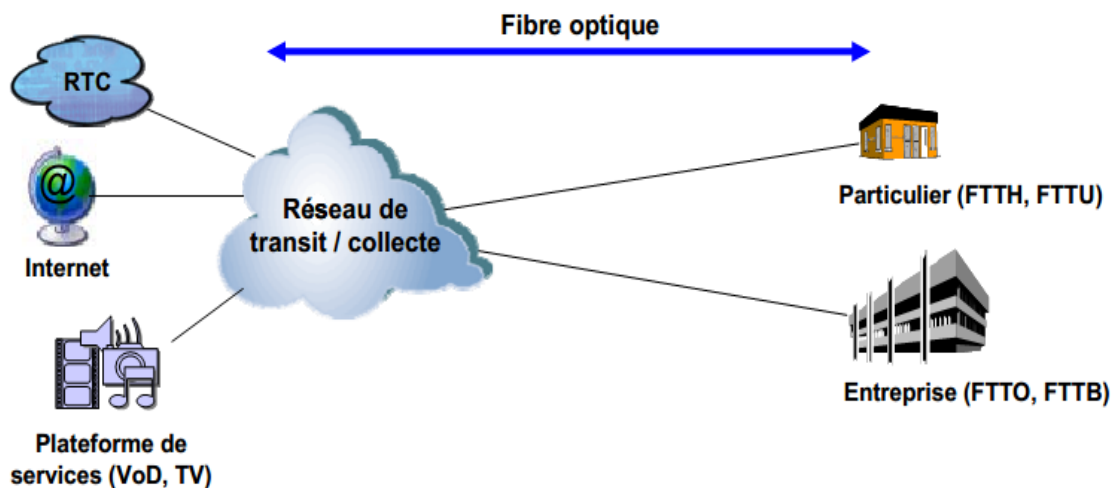


Fig-II.4 : Réseaux optiques jusqu'à l'utilisateur

- ❖ Les réseaux de desserte optique déployés jusqu'au bâtiment d'une entreprise, ou au pied d'un immeuble (FTTO / FTTB, pour Fiber to the Office / Building). La desserte interne de l'entreprise ou des foyers au sein de l'immeuble est ensuite réalisée généralement via un réseau « cuivre ».

- ❖ Les réseaux de desserte optique jusqu'au foyer de l'abonné (FTTU / FTTH, pour Fiber to the User / Home) ou la fibre arrive jusqu'aux utilisateurs.

La figure II.5 ci-dessous représente les différentes technologies FTTX :

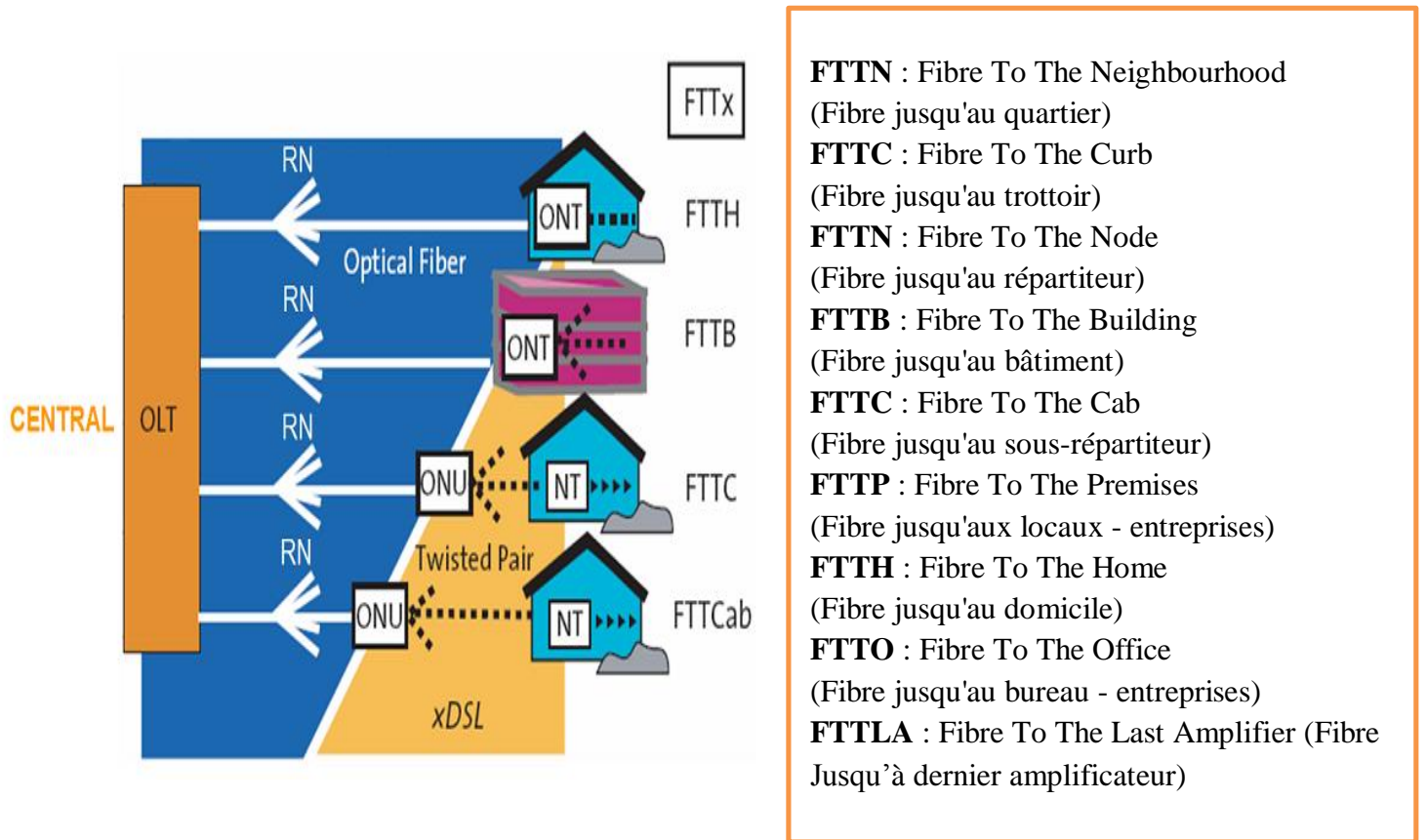


Fig.II.5 : Différentes technologies FTTX

II.3-Les couches du réseau d'accès

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

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

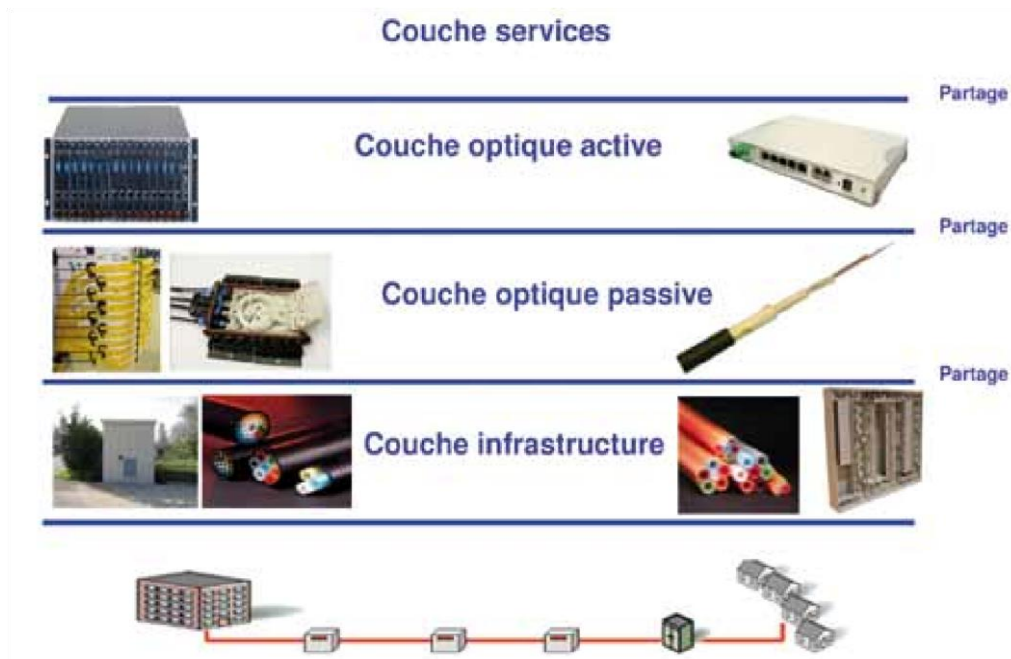


Fig.II.6 : Les couches d'un réseau d'accès

II.3.1-Différents Composants d'un réseau optique [18]

a-OLT (Optical Line Terminal)

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

L'image de la figure II.7 désigne l'équipement OLT dans le réseau :

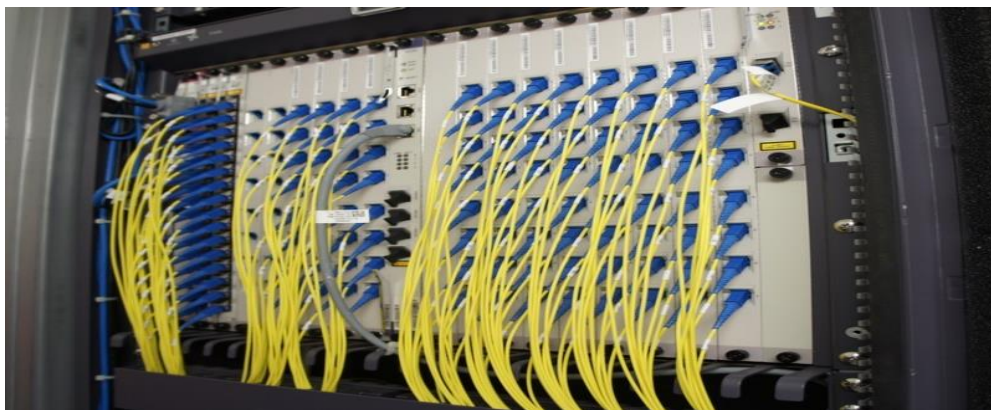


Fig.II.7 : Equipement OLT

b-RN (Remote Node)

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

c-ONT (Optical Network Termination)

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



Fig.II.8 : Equipement ONT

d- ONU (Optical Network Unit)

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



Fig.II.9 : Equipement ONU

e- NT (Network Termination)

Le module chez les abonnés dans le cas où la fibre ne pénètre que jusqu'à l'ONU.

La figure II.10 suivante montre les différentes parties (distribution, terminaison et accès) du réseau FTTH ainsi que les composants.

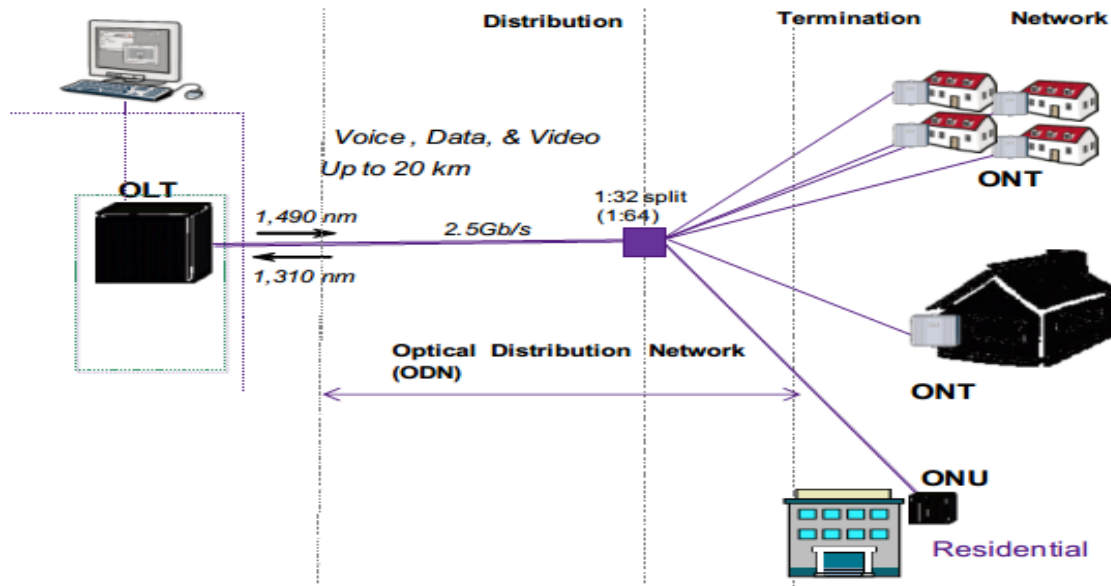


Fig.II.10 : Les différentes parties du réseau FTTH

II.3.2-Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH

Du NRO partent donc les milliers de câbles en direction des domiciles des abonnés. Mais avant de parvenir jusqu'à eux, il y a plusieurs étapes comme on peut le voir dans le dessin ci-dessus. Avant le NRO, en rouge, c'est le réseau de collecte de l'opérateur. 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 de SRO au PTO (Point de Terminaison Optique situé chez l'abonné). En chemin, la fibre transite par le PBO (Point du Branchement Optique) généralement placé sur le palier ou à proximité de la maison.

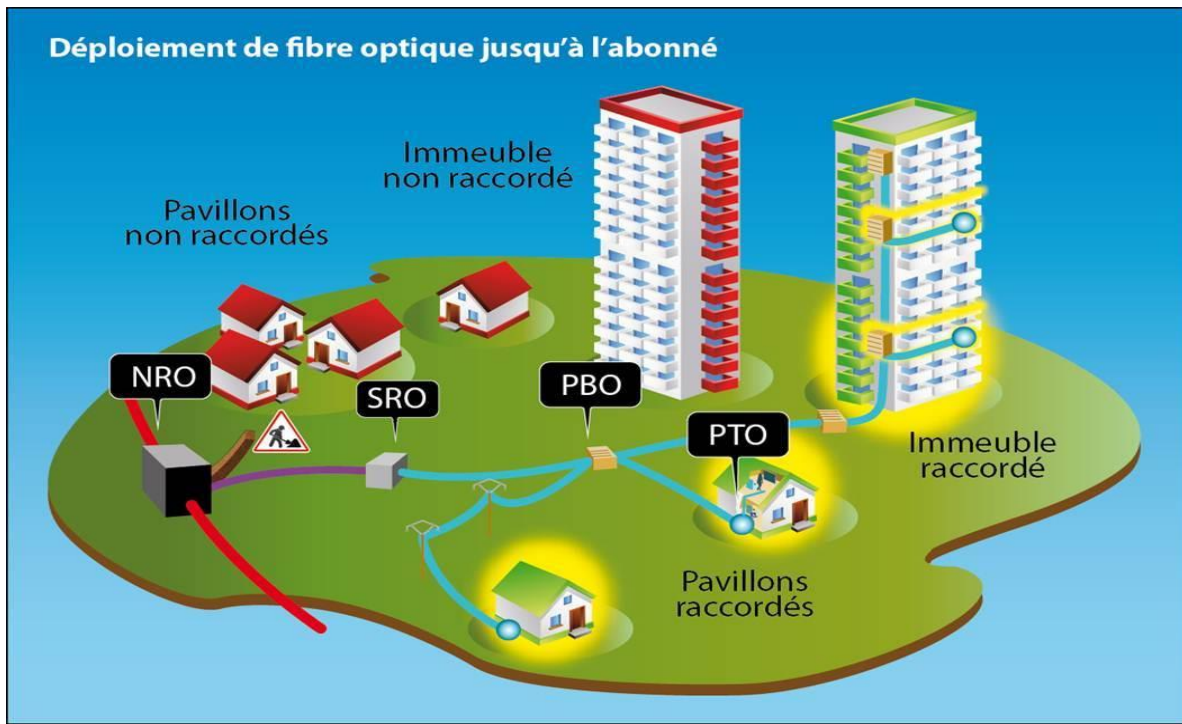


Fig.II.11 : Chemin de la fibre [19]

II.4- Architecture du réseau d'accès optique FTTH

On distingue deux principaux types d'architecture FTTH :

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

II.4.1- Différentes topologie FTTH

La figure II.12 ci-dessous regroupe les différents topologie utilisé dans les réseaux d'accès FTTH.

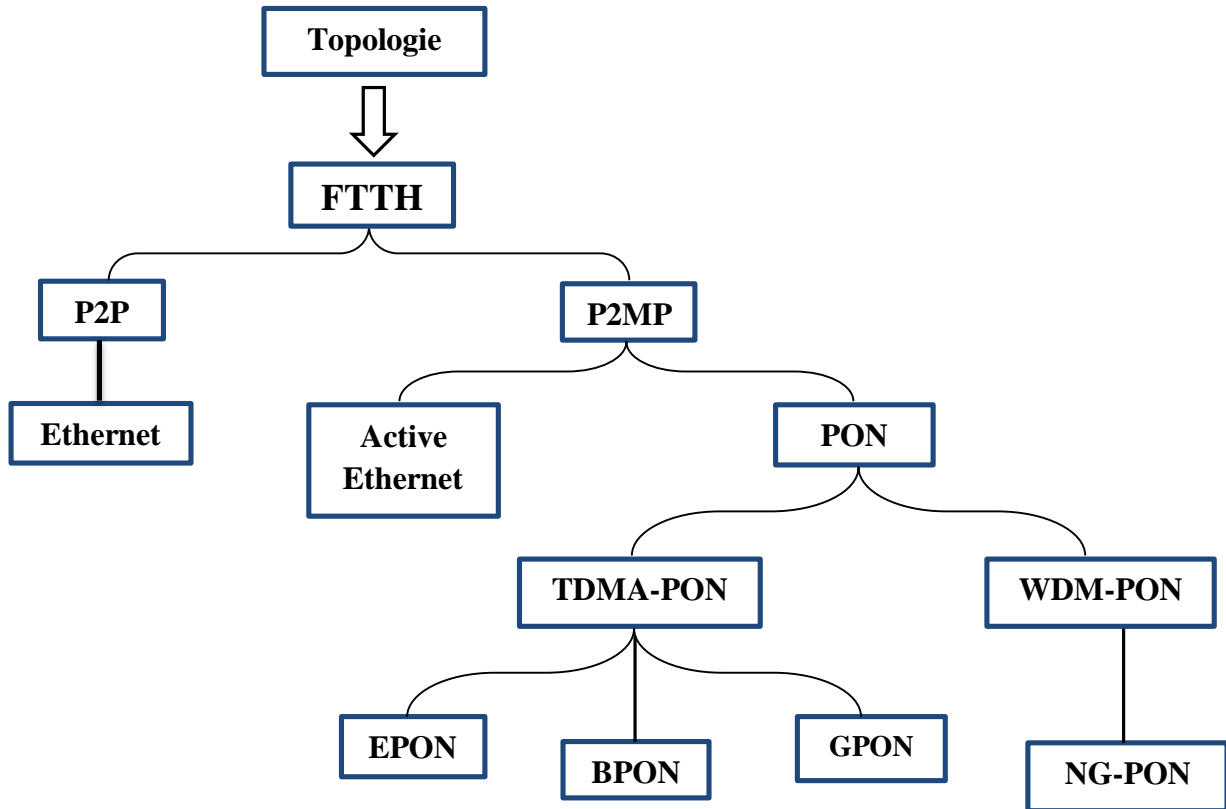


Fig.II.12 : Topologie général du réseau FTTH

II.4.1.1-La technologie P2P

La topologie P2P aussi appelé l'architecture de type "home run» contient un élément actif, un commutateur entre le Central Optique et l'équipement du client ONU ainsi qu'un convertisseur de fibre optique en câble Ethernet pour permettre de relier le lien au modem. Elle est généralement utilisée pour les grandes entreprises. Dans cette configuration, chaque abonné possède sa propre fibre optique le reliant directement aux équipements de l'opérateur comme l'illustre la figure II.13.

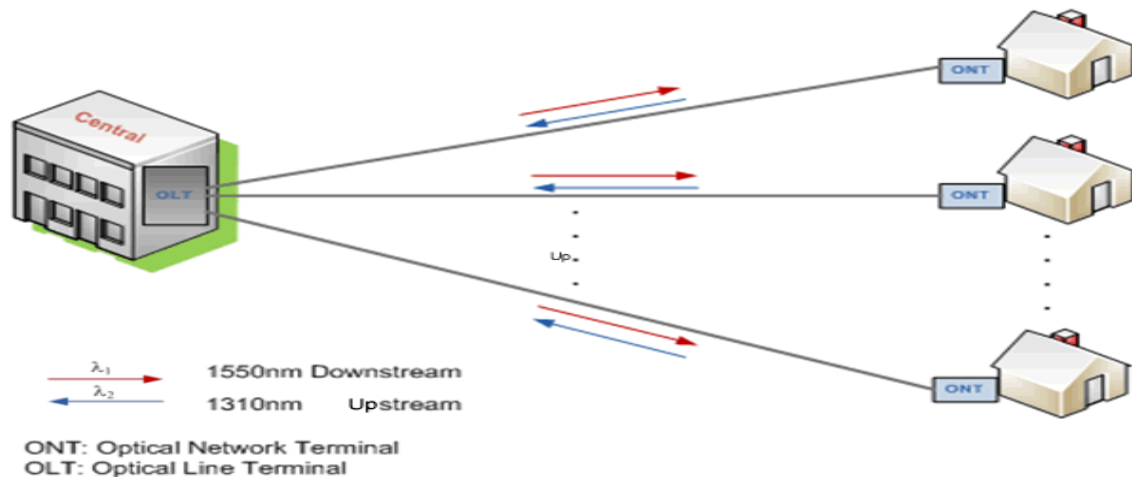


Fig.II.13 : Architecture P2P [20]

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

II.4.1.2.- L'architecture PON [21]

L'acronyme PON (Passive Optical Network) se traduit par « réseau d'accès optique passif ». L'appellation "Passive" vient du fait que l'on n'utilise que des équipements passifs dans l'infrastructure. Un coupleur optique passif 1 vers N, qui divise la puissance optique vers autant de port de sortie, est l'élément clé de l'architecture. C'est la solution la plus rentable actuellement dans les réseaux d'accès si on veut déployer la fibre à l'abonné.

L'architecture PON permet de répartir une fibre optique sur une longue portion du réseau, puis de la décomposer en plusieurs fibres sur des distances plus courtes pour desservir plusieurs abonnés. Dans la pratique, les équipements actifs au niveau du NRO (OLT – Optical Line Terminal) disposent de ports PON permettant d'émettre/recevoir des flux à/de plusieurs équipements terminaux d'abonnés (ou ONT – Optical Network Terminal) sur une unique fibre optique.

Des coupleurs optiques (il s'agit équipements passifs de petite taille hébergés dans les boîtiers d'épissage), déployés le long du parcours, permettent de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant.

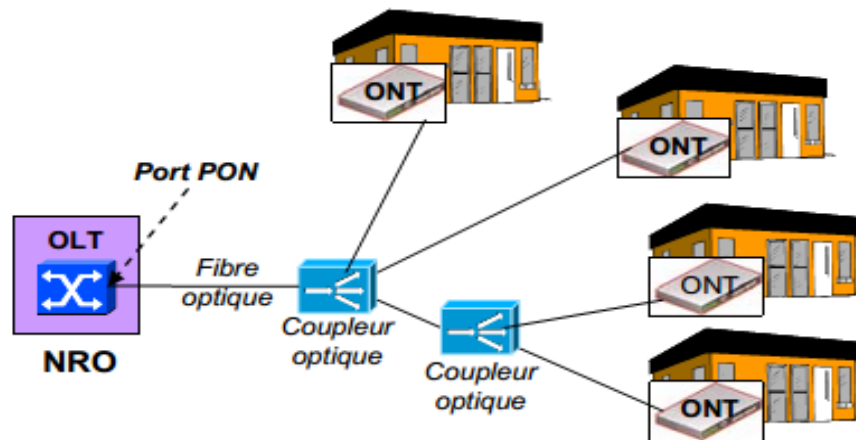
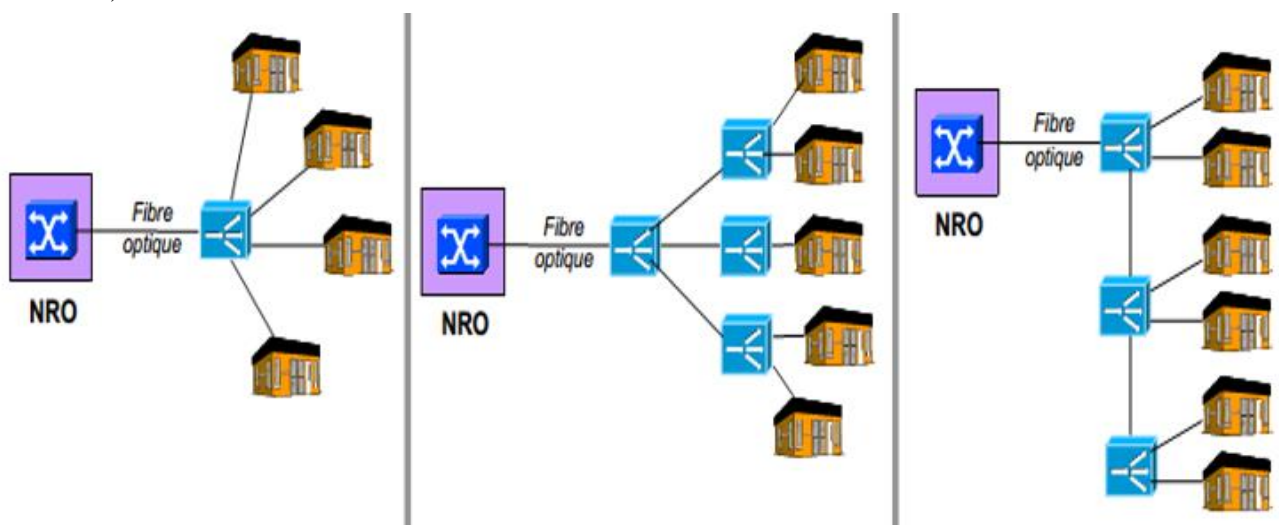


Fig.II.14 : Architecture PON

Les architectures PON peuvent être organisées en :

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

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



(a) Architecture En étoile

(b) Architecture en arbre

(c) Architecture en bus

Fig.II.15 : Différents architecture utilisé en PON

II.4.1.3-Sens montant du type PON

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

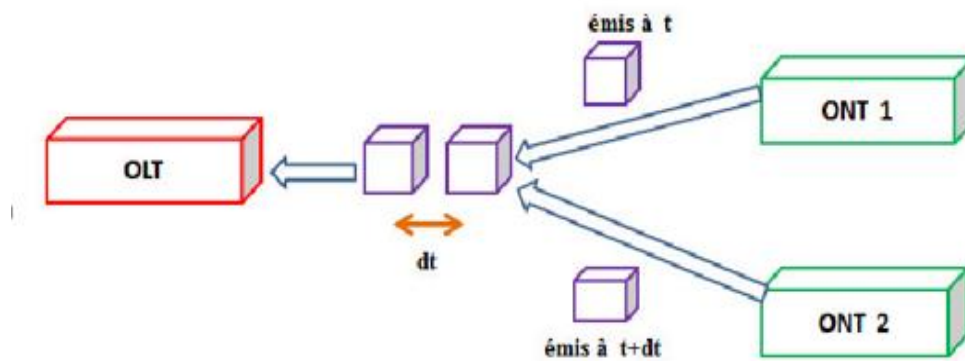


Fig.II.16 : PON en sens montant

II.4.1.4-Sens descendant du PON

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

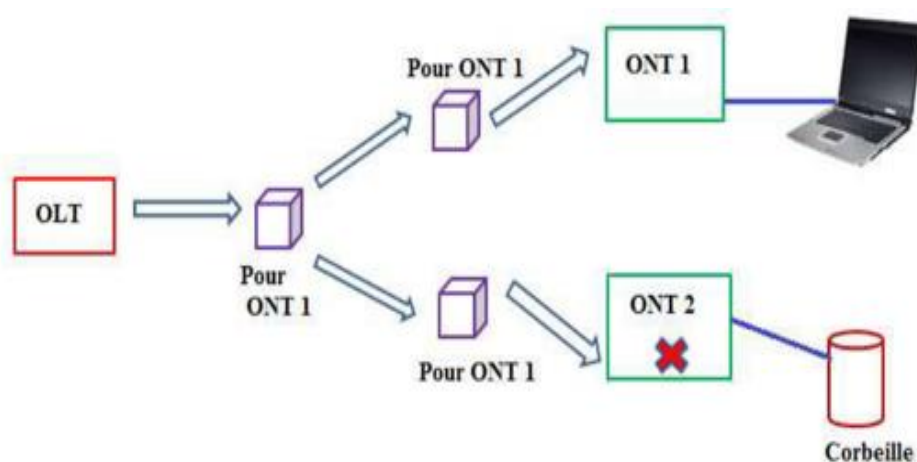


Fig.II.17 : Architecture PON Sens descendant [22]

II.4.1.5-Architecture PON unidirectionnelle

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

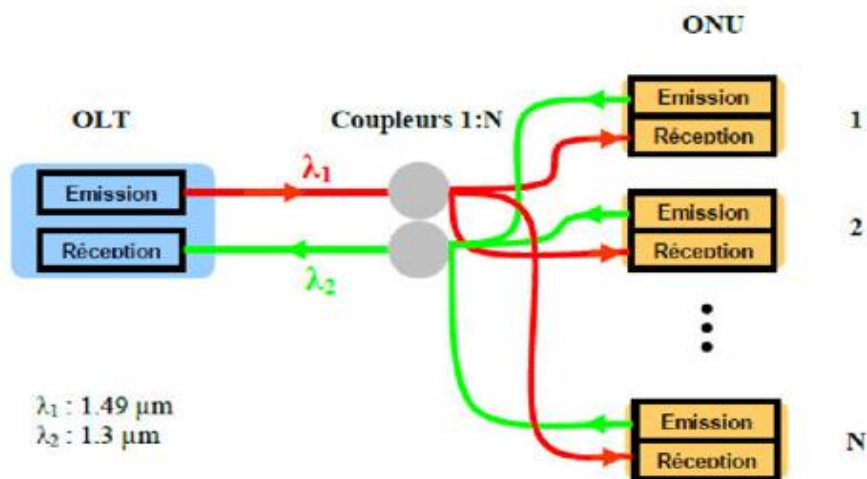


Fig.II.18 : Architecture PON unidirectionnelle

II.4.1.6-Architecture PON bidirectionnelle

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

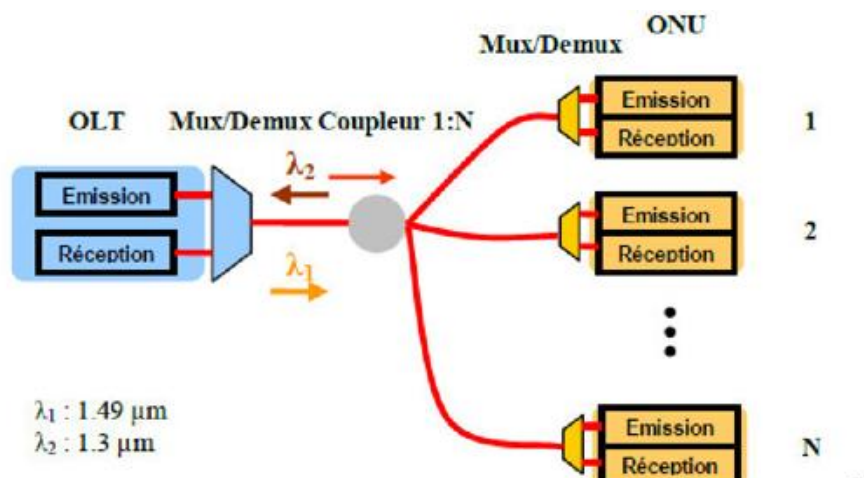


Fig.19: Architecture PON bidirectionnelle

II.4.1.7- Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON)

Le réseau PON permet d'autoriser des débits très importants tout en minimisant l'infrastructure (moins de fibres optique), il présente certains points positifs :

- Peu de fibres optiques sont employées dans le réseau PON.
- Aucun local alimenté en énergie n'est nécessaire dans ce type de réseau, ce qui entraîne des économies d'investissement, d'exploitation et de maintenance.
- Au niveau de la centrale, le PON permet d'économiser de l'espace grâce au partage des ports des équipements actifs entre plusieurs abonnés.

Le réseau PON a des avantages importants mais présente aussi quelques points négatifs

- Si les câbles optiques mis en place correspondent au strict nécessaire à la réalisation d'un PON, alors la capacité d'évolution du réseau est limitée. On ne dispose d'aucune réserve de capacité d'aucune fibre excédentaire. On ne peut évoluer sans réaliser de nouvelles infrastructures d'accueil.

- Si un réseau est construit sur une architecture PON strict, celui-ci ne peut être partagé entre plusieurs fournisseurs des services qu'au niveau transport : un opérateur unique gère les OLT, et transporte jusqu'à l'abonné les données apportées au centrale par des fournisseurs de service.

Ceux-ci sont dépendants des choix technologiques, des offres et du niveau de service de l'opérateur. Le niveau d'indépendance est donc de compétitivité des fournisseurs des services y sont amoindri.

II.5- Les catégories du PON [23]

Les architectures passives PON se déclinent ensuite en plusieurs catégories :

II.5.1-A-PON (ATM PON)

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

II.5.2-B-PON Broadband PON : évolution de la norme APON,

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

sens descendant et 622Mb/s dans le sens remontant mais son utilisation est usuellement vue pour des débits de 622Mb/s descendant et 155Mb/s remontant.

II.5.3-E-PON

Ce standard utilise le protocole Ethernet comme protocole de transport. Il présente un débit symétrique maximal de 1,25 Gb/s par port, partagé pour un maximum de 64 abonnés, et disposant d'une portée d'environ 20 km, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT.

II.5.4-Architecture G-PON (Gigabit PON)

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

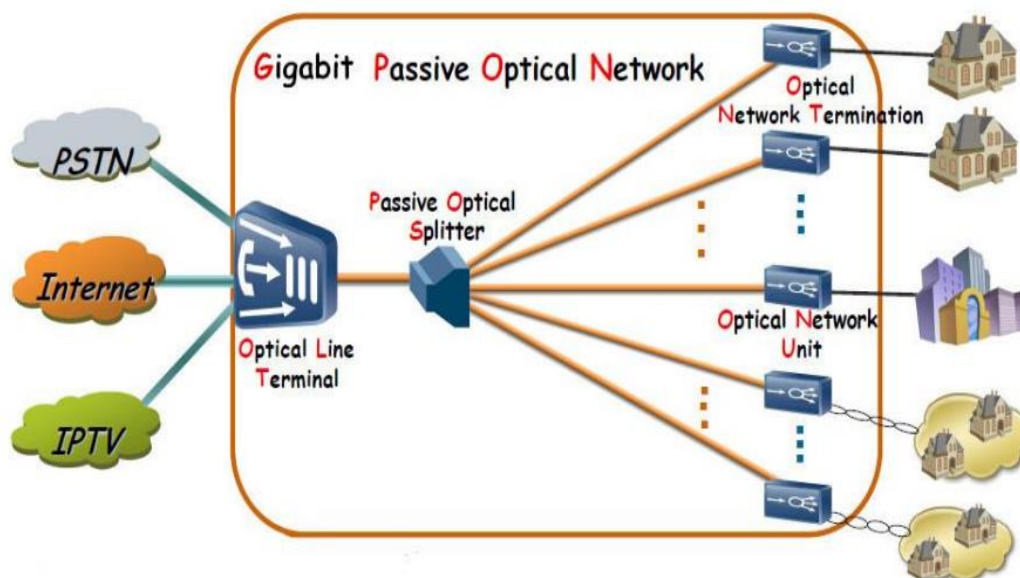


Fig.II.20 : Architecture G-PON

II.5.4.a-Avantages du type G-PON

Voici quelque avantage du G-PON qu'on peut recueillir :

- La structure est passive car elle est à base de coupleurs optiques
- Le génie civil est optimisé et le coût réduit
- Infrastructure partiellement partagée (économie sur la fibre)

- L'architecture est favorable à la diffusion
- L'OLT est partagé (un duplexeur au central pour 32 clients)

II.5.4.b-Inconvénients du type G-PON

Même si le G-PON est une architecture sollicitée mais nous rencontrons parfois quelque compromis tels que :

- Le budget optique est limité par le coupleur dont les pertes sont proportionnelles au nombre de ports
- Le débit étant partagé, il est donc limité
- La synchronisation est complexe pour le sens montant
- La sécurité des données en réception n'est pas optimale car l'ensemble des utilisateurs reçoit l'ensemble du flux émis par le central. Cependant la confidentialité est assurée par un processus de cryptage (G983/G984). Il reste la sécurité du réseau qui peut être mise à mal par injection malveillante de signal perturbateur d'un ONT.
- L'ONU doit fonctionner au débit agrégé (2,5 Gbit/s par exemple), qui est très supérieur au débit utile.

Le tableau II.1 suivant illustre une comparaison de débit entre B-PON E-PON et G-PON.

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

Tableau-II.1 : Comparaison entre les trois catégories de PON

II.5.5-WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing PON)

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

II.5.6-OFDMA-PON

Pour le système de transmission à ultra haut-débit dans le réseau cœur, cette technologie OFDM est aussi considérée comme un candidat au fort potentiel pour monter en débit jusqu'à l'ordre du Tbit/s.

La Figure II.21 ci-dessous qui donne un exemple d'utilisation de l'OFDM dans le PON, à chaque abonné est attribué un certain nombre de sous-porteuses spécifiques. Pour la voie descendante, l'OLT procède avec l'ensemble des porteuses et les ONUs extraient les sous-porteuses qui leur sont destinées en fréquence et dans le temps. [24]

Pour la voie montante, chaque abonné émet son trafic sur une gamme de fréquence et de temps comme nous le montre la Figure suivante.

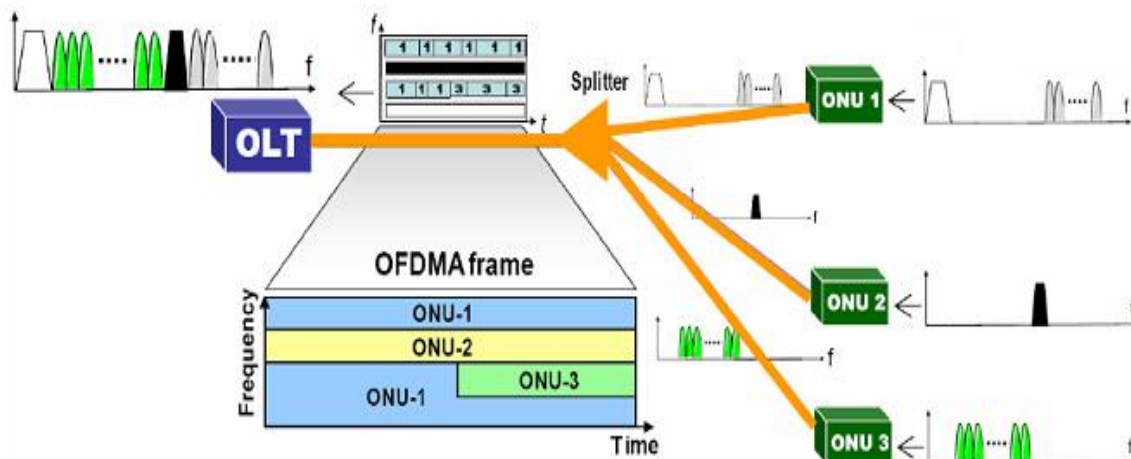


Fig.II.21 : Schéma de principe de l'OFDMA-PON

Les architectures PON sont évolutives et permettront d'augmenter les débits avec des nouvelles générations de terminaison actives. Des liaisons PON dédiées pourront également être proposées aux utilisateurs en cas de besoin avec l'introduction du DWDM et l'affectation d'une longueur d'onde par utilisateur.

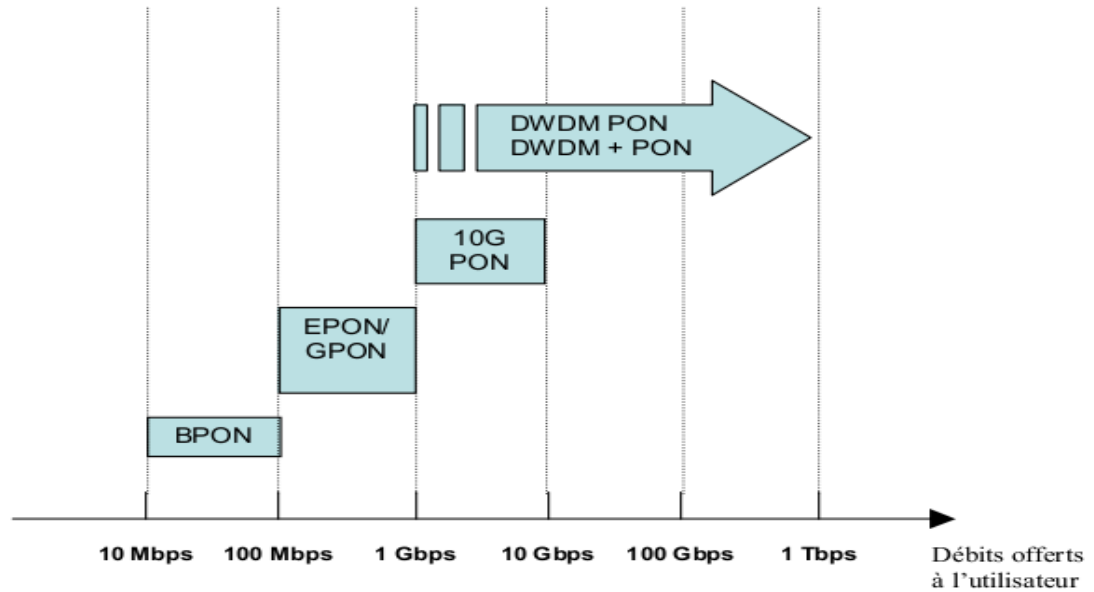


Fig.II.22 : Evolution du PON

II.6-Architecture AON : Active Optical Network ou Point MultiplePoint Active

Aussi appelé Double Étoile Active en français, le coupleur passif est remplacé dans cette architecture par un commutateur qui est équipé électronique actif capable d'aiguiller le signal. La fibre optique entre le point de répartition RN et l'OLT est mutualisée entre plusieurs abonnés. Comme illustré dans la figure II.23 ci-dessous, l'agrégation des trafics provenant de plusieurs abonnés est réalisée à l'aide d'un équipement Ethernet actif situé au RN d'où son nom l'architecture point à multipoint active.

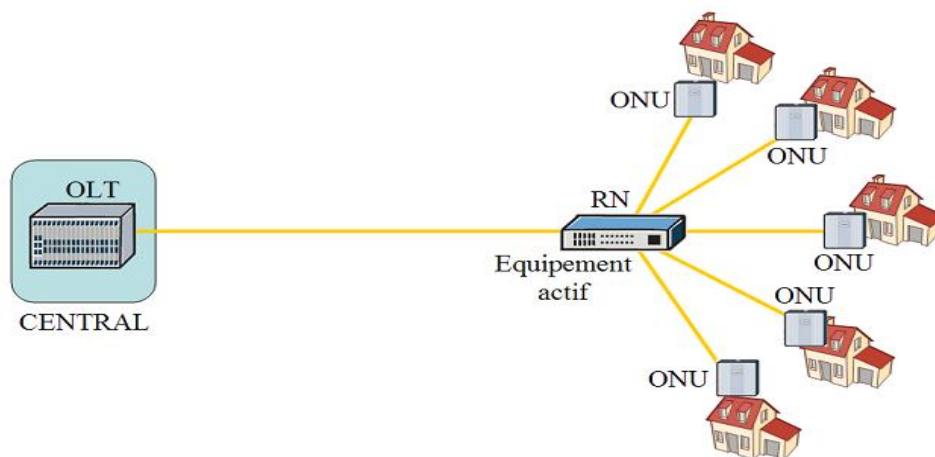


Fig.II.23 : Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif

En termes de débit l'optique dépasse largement le cuivre selon le tableau II.2 suivant en comparant les deux réseaux d'accès FTTH et ADSL.

		FTTH		ADSL	
		Débit symétriques (Montant et Descendant 100Mbps)		Débit Descendant 8Mbps	Débit Montant 1Mbps
Type de Fichier	Taille moyenne	Durée Download	Durée upload	Durée Download	Durée upload
Film en HD	30 Go	40min		>8h	>66h
Film DVD	4,8 Go	6 min		1h20min	>10h
Film DivX	800 Mo	1 min		13min	1h40min
20 photos 8 Méga pixels non compressé	480 Mo	40s		8min	>1h
10 fichiers Audios MP3	40 Mo	3s		40s	5min

Tableau-II.2 : Comparaison du débit entre FTTH et ADSL

II.7- Comparaison entre xDSL et FTTH

Le tableau II.3 indique l'évolution de la technologie xDSL en en fonction de sa bande passante et de la distance ; ainsi que sa comparaison avec FTTH.

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

Tableau-II.3 : Comparaisson entre xDSL et FTTH

II.8-Quelques usages du réseau d'accès FTTH

Parmi les utilisations du réseau FTTH nous pouvons citer quelques-uns :

- Jeux en ligne,
- P2P (peer to peer)
- Télétravail, feux signalisation, vidéo surveillance
- TV-HD, Télévision en 3D, Vidéos à la demande,
- Télé médecine, Des services de télé médecine Très Haut Débit se développent entre grands établissements hospitaliers pour la téléconsultation et la télé-expertise
- Domotique,

- Visioconférence, Grâce au Très Haut Débit et à la télé-présence, des établissements d'enseignement supérieur développent des cours multi-sites et l'enseignement à distance
- Voix sur IP,
- Hébergement, en particulier Auto Hébergement.
- Equipements qui deviennent présents dans la majorité des foyers : caméra de vidéosurveillance, serveur domestique de données, livre électronique, femtocell, terminal médical, écran de contrôle domotique, ... etc.



Fig.II.24 : Quelques équipements numériques nécessitant du haut débit [25]

II.9-Conclusion

La principale technologie permettant d'offrir à l'utilisateur une connexion à très haut débit est la fibre optique jusqu'au domicile (FTTH, fibre to the home).

Sur le plan des usages, on distingue deux tendances : d'une part, les volumes de données augmentent, notamment en raison d'éléments multimédia (son, vidéo) de plus en plus nombreux, d'autre part, les applications interactives (nécessitant des temps de réponse courts) se multiplient, tant pour le grand public (téléphonie sur IP, sites web interactifs...) que pour les professionnels (e-médecine, télétravail, entreprise en réseau...). Les échanges sont donc non seulement plus volumineux, mais exigent aussi d'être plus rapides et symétriques (débits montant et descendant équivalents).

Chapitre III

*Tests, planification
et simulation du
réseau FTTH*

III.1-Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une étude de simulation d'un réseau d'accès à fibre optique « FTTH » en utilisant le logiciel «**OptiSystem**» conçus spécialement pour la simulation des réseaux optiques. Nous allons accentuer la comparaison entre les différentes architectures du réseau FTTH en tenant compte des variations apportées sur les différents paramètres du réseau comme la distance, le débit ainsi le choix du type de multiplexage.

III.2- Description du logiciel OptiSystem

Sur une chaîne de transmission optique à haut débit, afin d'aboutir à la réalisation et l'optimisation d'une telle liaison, nous utilisons un simulateur « OptiSystem » développé par OPTIWAVE, est un outil logiciel de simulation optique qui permet le test, conception et l'optimisation de tous types de liaisons optiques, caractérisé par sa simplicité d'utilisation et par sa variété de composants dans sa bibliothèque, il comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties (voir Fig. III.1).

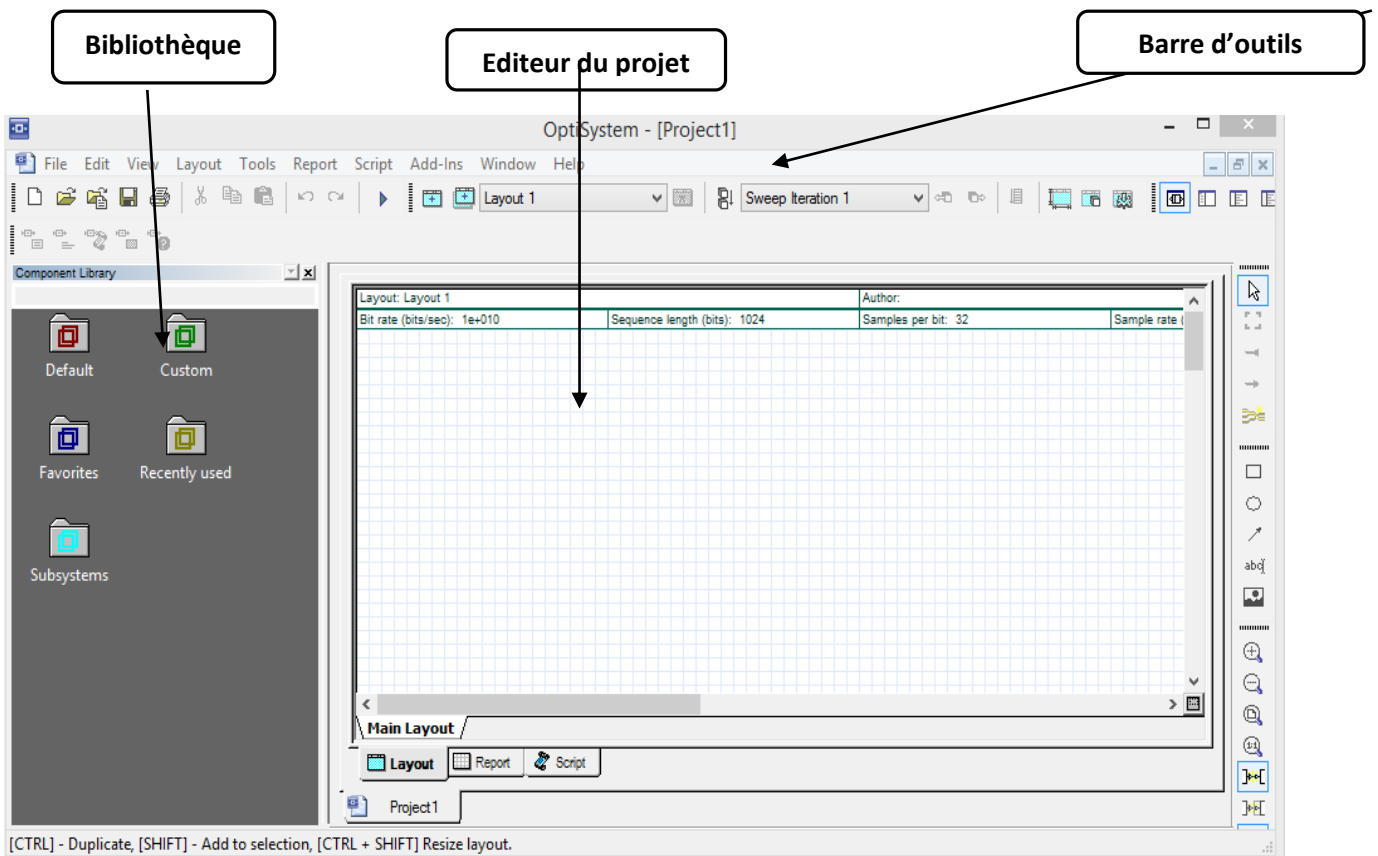


Fig.III.1: Interface du logiciel OptiSystem

La figure III.2 représente une fenêtre du logiciel « OptiSystem » pour les paramètres de l'éditeur du projet comme le débit de transmission.

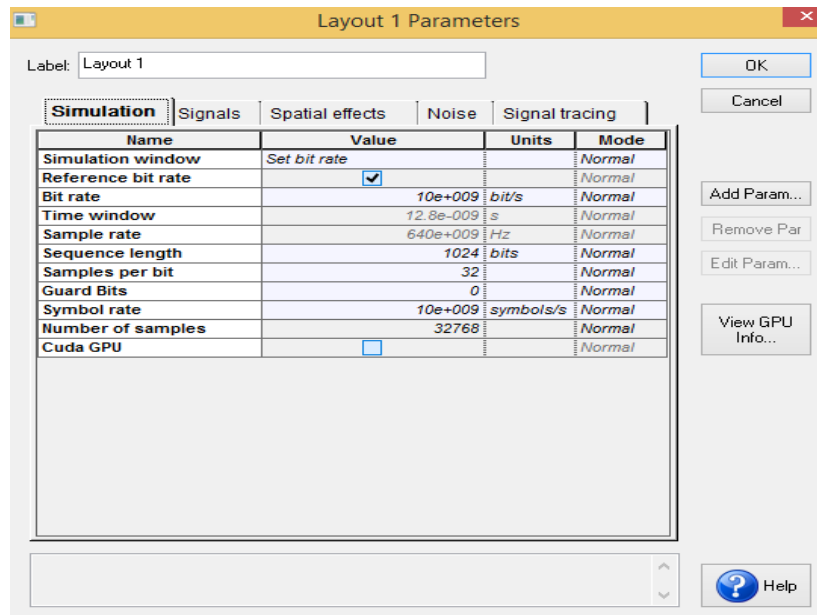


Fig.III.2 : Paramètre de la fenêtre d'édition

Le logiciel « OptiSystem » permet aux utilisateurs de planifier, tester et simuler :

- les différentes architectures PON
- WDM/ TDM ou la conception du réseau CATV (Câble Télévision).
- Conception d'anneaux SONET/ SDH.
- Conception de cartes de dispersion.
- Estimation des pénalités BER des systèmes avec différents modèles de récepteurs.

III.3- Tests et résultats de simulation du réseau FTTH

III.3.1- Paramètres de qualité d'une liaison optique

Pour mesurer la qualité de transmission optique afin d'évaluer le bon fonctionnement d'un système, trois critères principaux s'imposent : le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil.

a- Le facteur de qualité

Le facteur de qualité, appelé facteur Q, est un paramètre caractérisant la qualité d'un signal lors d'une transmission donné par la relation suivante :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_0} \quad (\text{Eq III.1})$$

Où I_1 et I_0 sont les valeurs moyennes des photocourants du symbole 1 et 0, δ_1 et δ_0 sont les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

La mesure expérimentale du facteur Q d'un signal est difficile c'est-à-dire I_1 , I_0 , δ_1 et δ_2 , ne sont souvent pas directement mesurables.

Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser la relation du TEB (Taux D'erreur Binaire) optimal en fonction du facteur Q à condition des distributions gaussiennes de probabilités des niveaux du signal :

$$\text{TEB} = \frac{1}{2}[\text{erfc}(Q/\sqrt{2})] \quad (\text{Eq III.2})$$

Avec erfc est la fonction d'erreur complémentaire.

B- Le taux d'erreur binaire

Une transmission de données numériques dans un système de communication est une succession de 0 et de 1, pour évaluer la performance de celui-ci, il est nécessaire de faire une comparaison entre les bits transmis et celui reçus autrement dit le taux d'erreur binaire (BER) qui fait le rapport entre le bit reçu et bit erroné. Le « 1 » est détecté parfois en lieu et à la place d'un « 0 » réciproquement dû à la déformation du signal sous l'effet du bruit et de la propagation. La probabilité d'une prise de décision erroné sur un l'élément binaire est définie par BER, tel :

$$\text{TEB} = \frac{\text{Nombre de bit erroné}}{\text{Nombre de bit transmis}} \quad \text{Eq III.3}$$

Un système est suivant considéré de bonne qualité en transmission optique si ce BER est inférieur à une valeur de 10^{-9} , 10^{-12} ou 10^{-15} .

C- Le diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tout le symbole binaire de la séquence transmise pour estimer la qualité d'un signal d'une manière visuelle (voir figure III.3).

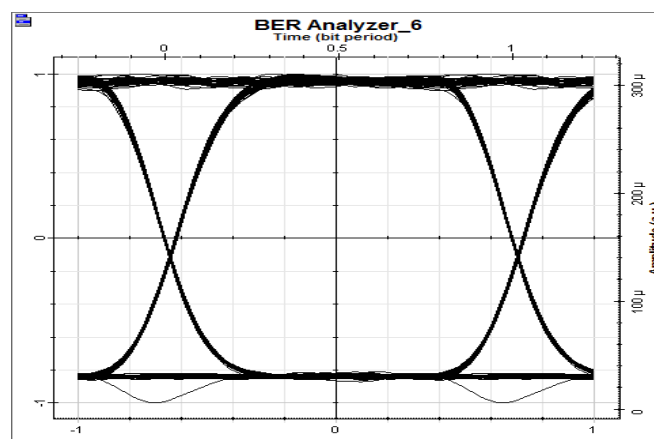


Fig.III.3 : Le diagramme de l'œil

Ce diagramme est caractérisé par :

- L'élargissement temporel des impulsions du signal dû à la dispersion chromatique causé par les interférences entre les symboles,

- Gigue temporelle provoqué par la dispersion et couplage entre les impulsions et le bruit d'émission amplifiée,
- Dans la liaison, le bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission amplifiée sur signal tout au long de son parcours.

III.3.2- Simulation du réseau FTTH pour l'architecture (WDM-GPON)

La figure III.4 présente un schéma d'un réseau FTTH pour l'architecture (WDM-GPON).

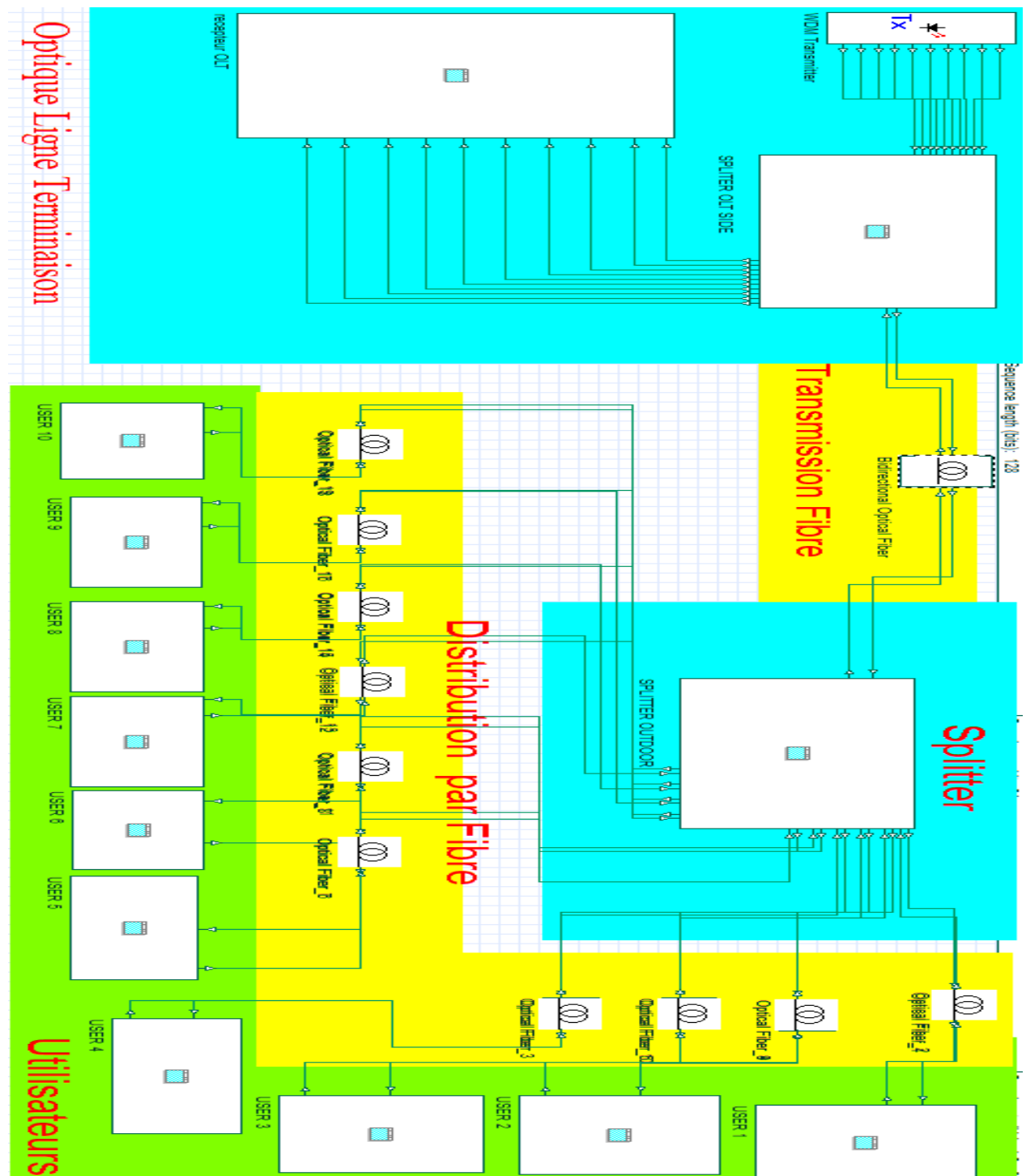


Fig.III.4 : Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON)

A- OLT (Optical Line Terminal)

L'OLT est l'équipement maître d'accès optique pour des clients connectés au FTTH, envoie et reçoit des signaux lumineux porteurs des données. L'OLT doit être conformes à la norme ITU.

- Ici l'équipement OLT est composé de :
- **Un transmetteur optique : WDM Transmetteur** est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER, d'une fréquence de 1520 nm avec un espacement de 3 nm et d'un modulateur de type NRZ.
- **Un multiplexeur/ Démultiplexeur Optique : du type WDM** multiplexage à longueur d'onde de 1520 nm avec un espacement de 3 nm et une bande passante de 10GHz/ respectivement.

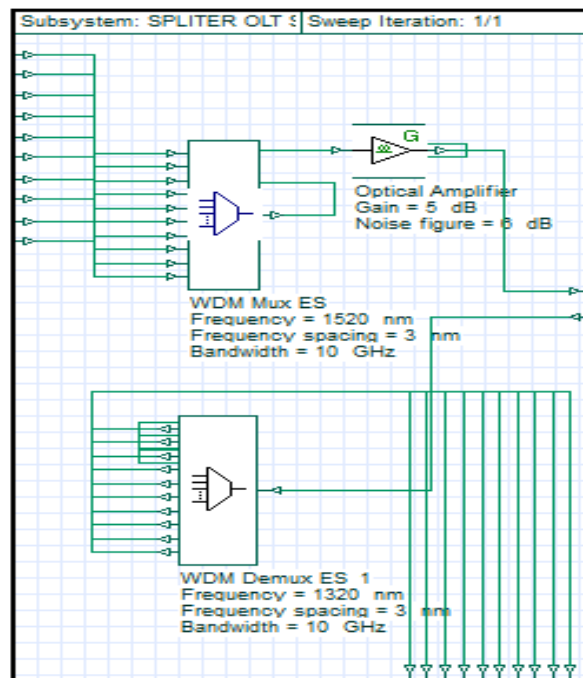


Fig.III.5 : Schéma du Mux/Demux et l'amplificateur

- **Un amplificateur optique** d'un Gain de 5 dB et d'un chiffre de bruit 6dB, qui amplifie le signal lumineux à la sortie de l'OLT.
- **Un récepteur optique : Photodiode PIN**, transformant le signal optique en électrique, qui permet d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçues.
- **Un filtre passe bas : du type Bessel** permettant d'extraire l'information utile d'une fréquence de coupure $=0.75 \times \text{symbol rate}$ (taux du symbole)
- **Un régénérateur du signal** : type 3R

- **Un analyseur du Taux d'Erreur Binaire :** c'est la méthode utilisée pour évaluer les performances d'un système, et comparer les bits envoyés avec les bits reçus, grâce cet outil, on visualise le diagramme de l'œil.

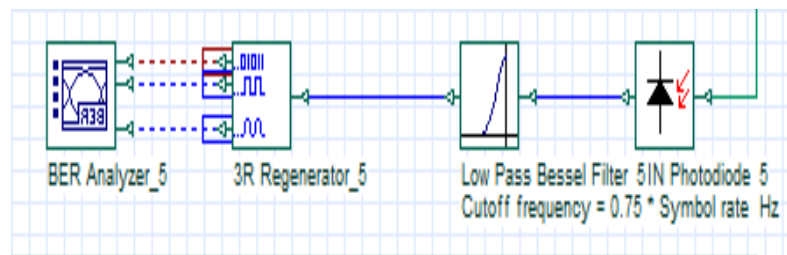


Fig.III.6 : Schéma du récepteur optique

b- La fibre optique (ligne de transmission)

Une fibre bidirectionnelle de longueur 50km avec une atténuation de 0.2dB/km.

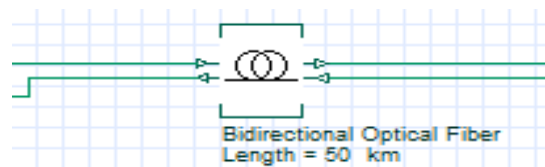


Fig.III.7 : Fibre bidirectionnelle

c- Bloc utilisateur

Une fibre de distribution de 0.5km maximale d'atténuation 0.2dB/km, un multiplexeur / démultiplexeur identique celui de l'OLT, un amplificateur optique et d'un transmetteur optique de fréquence 1335 nm d'une modulation du type NRZ, un régénérateur 3R et un analyseur du BER.

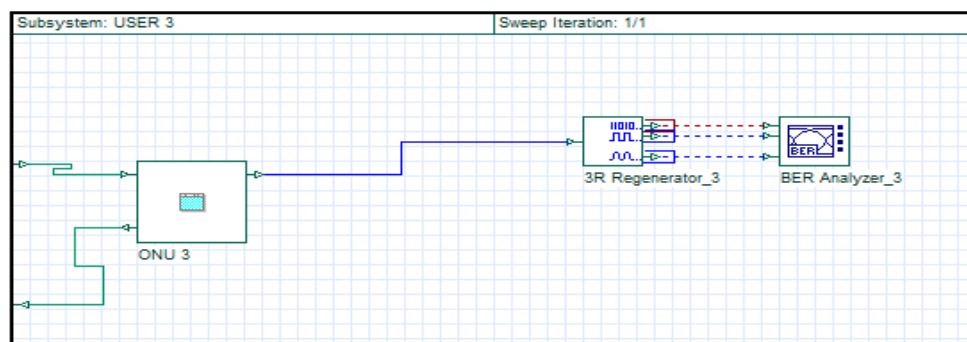


Fig.III.8 : bloc Utilisateur

d- Description de l'ONU

L'abonné est représenté par ONU (Optical Network Unit) dans la structure FTTH, composé d'une partie émission et d'une partie réception où on trouve des composants tels que le photo-détecteur et filtre de Bessel. Chaque ONU est relié à un répéteur qui assure les fonctions de régénération, remise en forme et resynchronisation du signal.

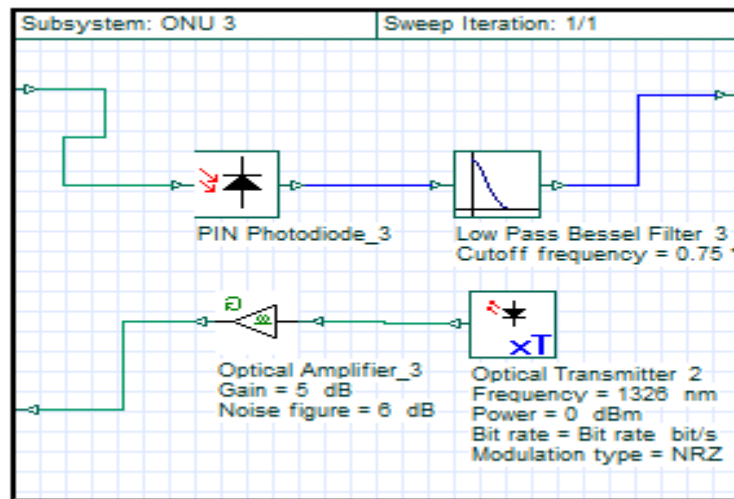


Fig.III.9 : Présentation de l'ONU

e- Le codeur NRZ (Non-Retour à Zéro)

Une impulsion binaire de durée égale au symbole (inverse du débit) est associée à la donnée « 1 », celle de l'absence du signal correspond à la donnée « 0 ». Utilisé pour les débits inférieurs à 10Gbit/s généralement dans les systèmes WDM (Wavelength Division Multiplexing), le format NRZ est beaucoup plus demandé.

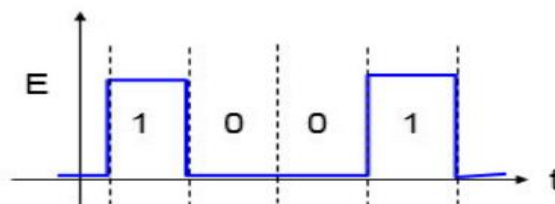


Fig.III.10 : Format NRZ

f- Les répéteurs

On insère un ou plusieurs répéteurs qui contiennent des interfaces de réception et d'émission reliés par des circuits d'amplification pour les liaisons à longue distance, et de régénération pour les transmissions numériques car le signal optique aura besoin d'être régénéré (R), remis en forme (2R), et resynchronisé (3R). Dans notre simulation de réseau, le signal optique traverse des distances qui peuvent aller jusqu'à 100km, pour cette raison, on insère des répéteurs pour permettre au signal optique de parcourir des distances importantes sans distorsion et affaiblissement.

g-Le filtre de BESSEL

Le filtre de Bessel désigne un type de réponse, dans la bande passante, il dispose d'un retard de groupe à plat. Pour les conceptions numériques, la caractéristique de ce filtre est indispensable, la plupart du temps, les signaux filtrés sont des ondes sinusoïdales pour rendre négligeables les effets harmoniques.

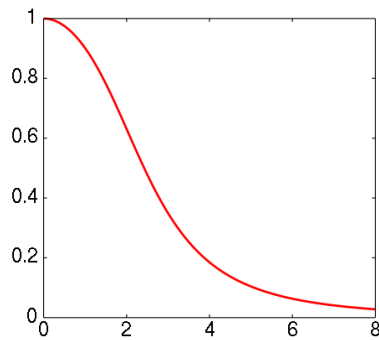


Fig.III.11 : Schéma du gain du filtre de Bessel de troisième ordre

III.3.2.1-Influence de la variation de distance sur le facteur de qualité Q

Le tableau III.1 contient les valeurs issues de la variation de distance sur le facteur de qualité Q avec les paramètres de simulation : débit 2.5Gbits/s, atténuation 0.2dB/km avec un nombre d'utilisateur 10 USERS.

Distance (km)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Facteur Q	306.16	216.32	136.37	109.68	80.44	63.24	44.39	35.8	24.33	17.52	11.69

Tableau III.1 : Effet de variation de distance sur le facteur Q

La figure III.12 représente l'influence de la distance sur le facteur Q

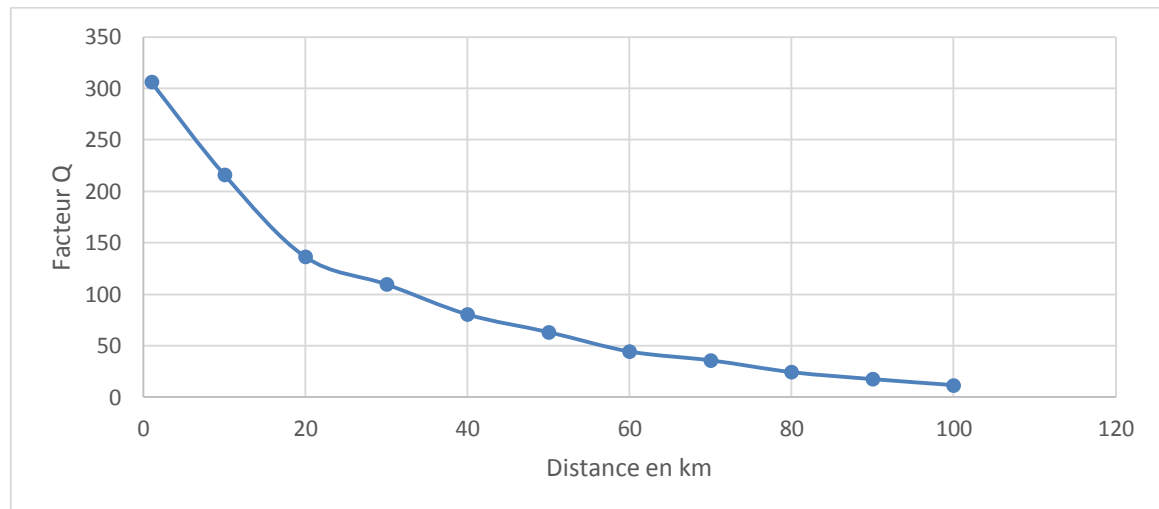


Fig.III.12 : Facteur Q en fonction de la distance

D'après la figure III.12, on remarque que plus la distance entre l'émetteur et le récepteur augmente plus le facteur de qualité de la réception diminue progressivement, donc il serait de nécessaire de tenir compte la distance dans une

transmission pour avoir une qualité optimale du signal à la réception. C'est pourquoi L'ITU normalise les paramètres de chaque architecture d'un réseau.

Le BER Analyser représente l'évolution du facteur Q et du diagramme d'œil selon une variation de distance comme le montre la figure suivante :

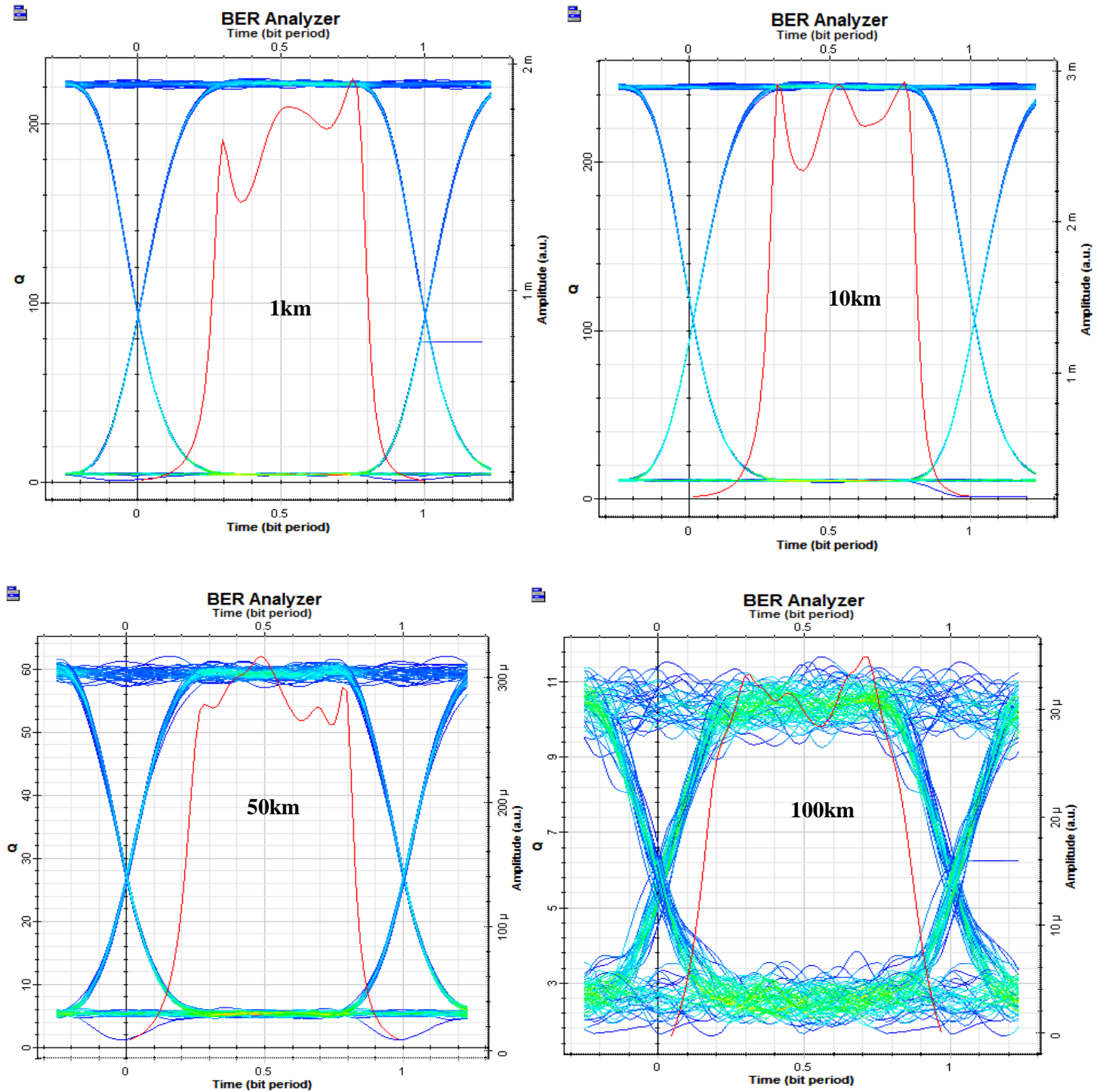


Fig.III.13 : Diagramme de l'œil par variation de la distance

D'après ces graphes de la figure III.13, on observe sur le diagramme de l'œil, une dégradation de plus en plus légère causée par l'augmentation de la distance, plus la qualité de transmission est bonne l'œil s'ouvre et dans le cas échéant il se ferme.

III.3.2.2-Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q :

Pour observer l'effet du débit sur le facteur Q, nous allons effectuer notre simulation avec les paramètres suivants : distance 50km, atténuation .02dB/km, avec un nombre d'utilisateur qui vaut 10.

Le résultat obtenu est dans le tableau III.3 suivant :

Débit (Gb/s)	0.5	1	2	2.5	5	10
Facteur Q	65.73	62.6	66.15	63.24	56.14	4.31

Tableau III.2 : Les valeurs Q selon la variation du débit

En se basant sur le résultat obtenu dans ce tableau III.2, le facteur de qualité est presque constant jusqu'à une valeur de 2.5 Gbit/s de débit, au-delà celle-ci, il diminue exponentiellement.

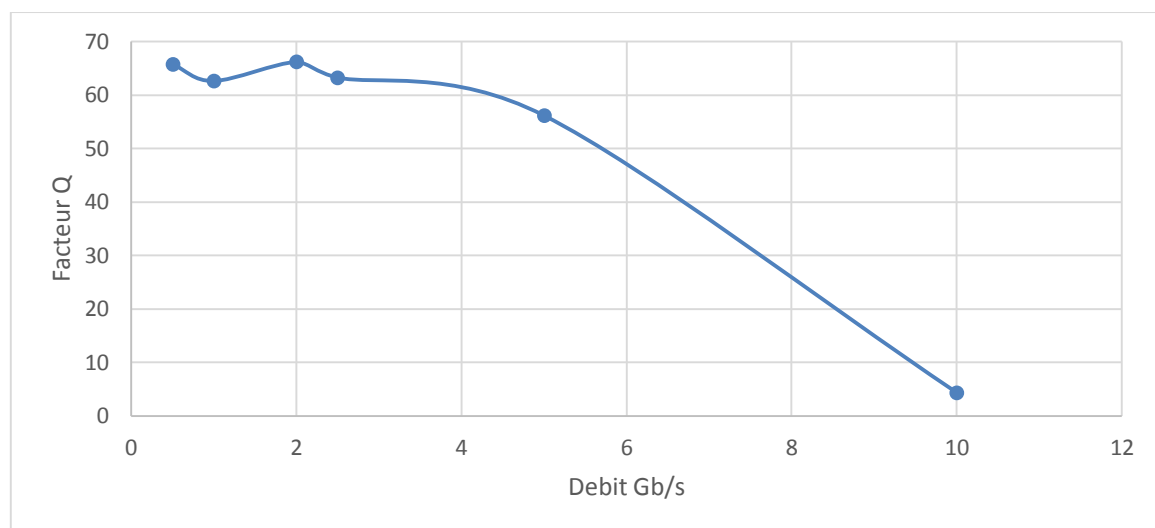


Fig.III.14 : Courbe d'influence de variation du débit sur le facteur Q

On remarque d'après ce graphique que jusqu'à 2.5 Gb/s, on a une bonne qualité du signal, au-delà de cette valeur on a une dégradation du signal, nous constatons que chaque architecture du réseau à un débit optimal, une fois ce débit est dépassé, la qualité se dégrade.

La figure suivante montre le diagramme de l'œil en faisant varier le débit de liaison :

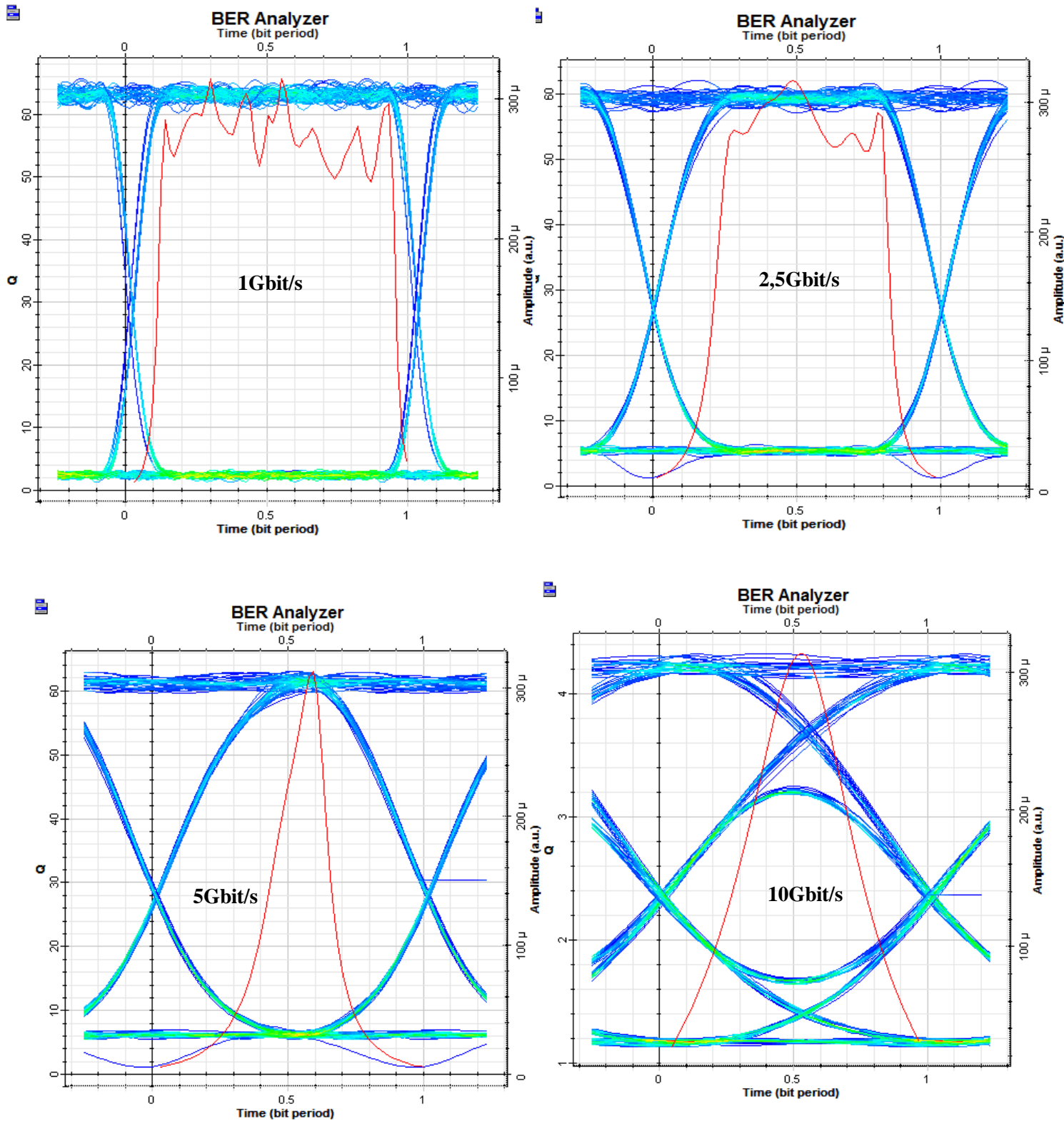


Fig.III.15 : Diagramme de l'œil en fonction de la variation du débit

En se référant sur les diagrammes de l'œil de la figure III.15, du 1Gb/s jusqu'au 5 Gb/s, on a une légère dégradation du diagramme de l'œil, traduisant une bonne

ouverture de l'œil et qualité du signal, par contre à 10Gb/s l'œil est presque fermé impliquant une mauvaise réception.

III.3.2.3- Effet de l'atténuation sur la transmission

Le tableau III.3 présente le résultat de la variation d'atténuation sur le facteur Q dont les paramètres d'entrés : débit 2.5Gb/s, distance 50km, avec un nombre de 10 USERS.

Pertes dB/km	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
Facteur Q	78	72.91	63.24	46.47	30	11.99	3.99

Tableau III.3 : Effet d'atténuation sur le facteur Q

L'atténuation du signal a un impact majeur sur le facteur de qualité Q comme nous l'indique ce tableau, plus elle est grande plus le facteur Q diminue considérablement. La figure suivante montre la courbe de variation du facteur Q pour chaque valeur d'atténuation.

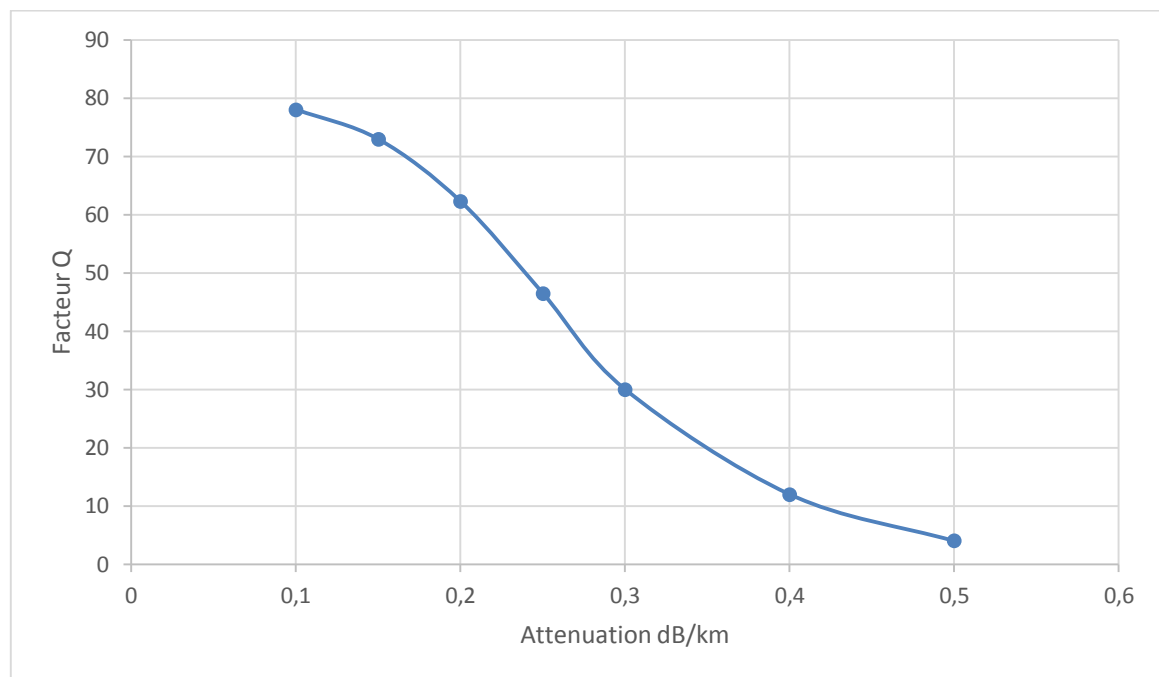


Fig.III.16 : Courbe du facteur Q en fonction d'atténuation

De cette courbe, on note que l'impact de l'atténuation dans un réseau doit être accentué car sa variation joue une influence majeure sur la transmission.

L'effet de la variation de l'atténuation sur la transmission est représenté sur le diagramme de l'œil sur la figure III.17 suivante :

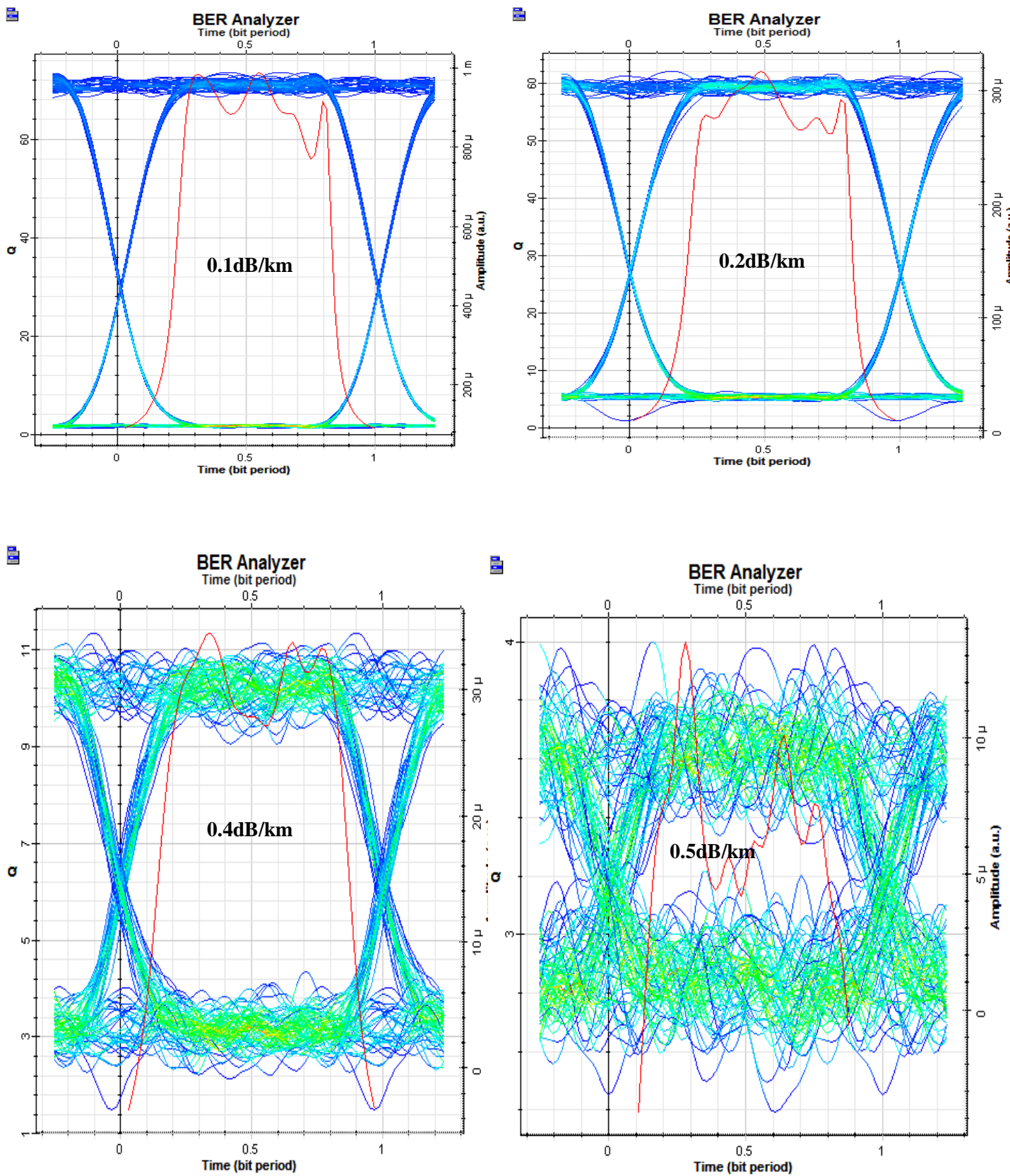


Fig.III.17 : Diagramme de l'œil en fonction de variation d'atténuation

Sur ce diagramme de l'œil nous constatons que, plus l'atténuation augmente plus l'œil tend à se fermer inversement, de ce fait nous résumons que l'atténuation a un impact

considérable sur la transmission vu qu'à valeur le signal d'émission n'arrive pas à la réception.

III.3.2.4-Effet du type de codage NRZ ou RZ

Dans cette partie, on a fait une comparaison entre le codeur NRZ et RZ tout en gardant les paramètres : distance est de 50km, le débit vaut 2.5Gbit/s et l'atténuation vaut 0.2dB/Km.

On obtient un facteur de qualité de 65.72 avec le type RZ qui est presque égale à celui du type NRZ avec un $Q= 67.3$. Mais quant au diagramme de l'œil on observe une grande différence car celui du NRZ est bien ouvert par rapport au type RZ, proprement la forme de l'œil se diffère largement entre les deux types de codeurs sans l'encombrement au niveau de la transmission.

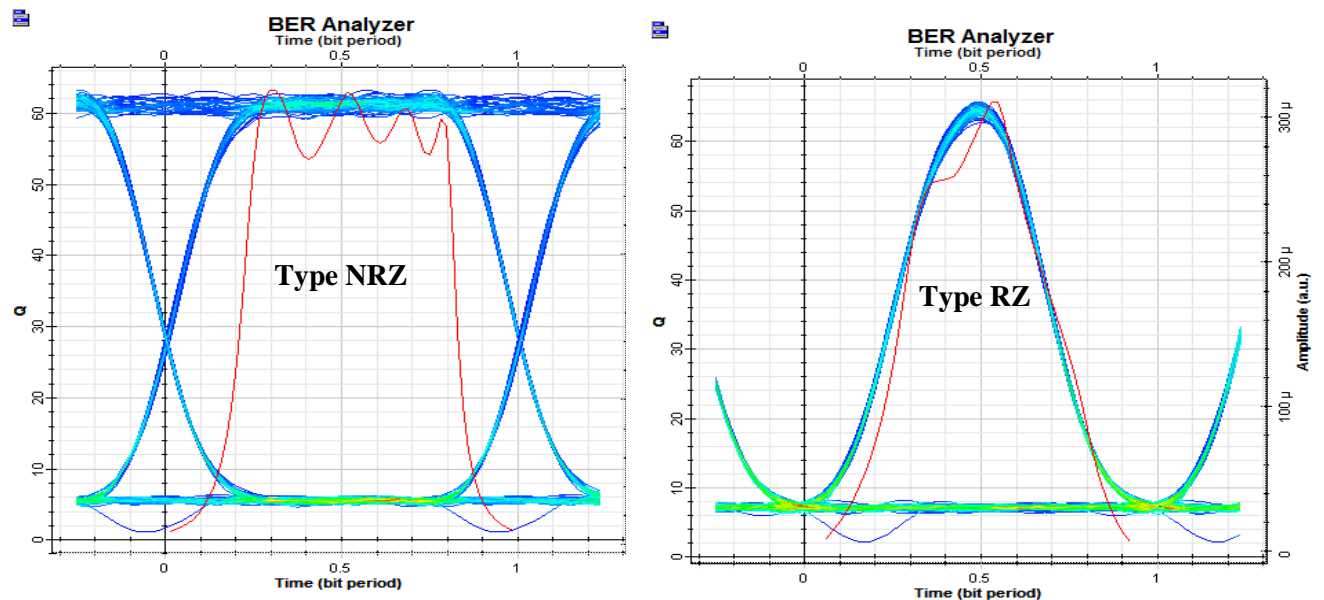


Fig.III.18 : Diagramme de l'œil type NRZ/RZ

III.3.2.5- Effet des amplificateurs sur la transmission optique

Dans cette partie, on a simulé la liaison optique avec et sans un amplificateur de gain au niveau de l'OLT, c'est-à-dire faire une comparaison avec ou sans amplificateur de gain, ensuite utiliser un amplificateur dopé d'Erbium EDFA, voici les résultats obtenus :

Amplificateur de Gain	Avec amplificateur	Sans amplificateur
Facteur Q	63	31.71

Amplificateur EDFA	EDFA à la sortie de l'OLT	A l'entrée du Splitter
Facteur Q	36.18	72.82

Tableau III.4 : Utilisation des amplificateurs dans la liaison

Grace à cette petite comparaison, on en déduit que les amplificateurs jouent un rôle important dans la chaîne de transmission car ils assurent la régénération du signal optique surtout pour des transmissions en longues distances. Il n'est pas aussi nécessaire d'utiliser un amplificateur à la sortie de l'OLT vu que c'est là où le signal est à sa puissance maximale c'est-à-dire aucune atténuation.

La figure III.19 montre les diagrammes d'œil avec ou sans l'utilisation de l'amplificateur.

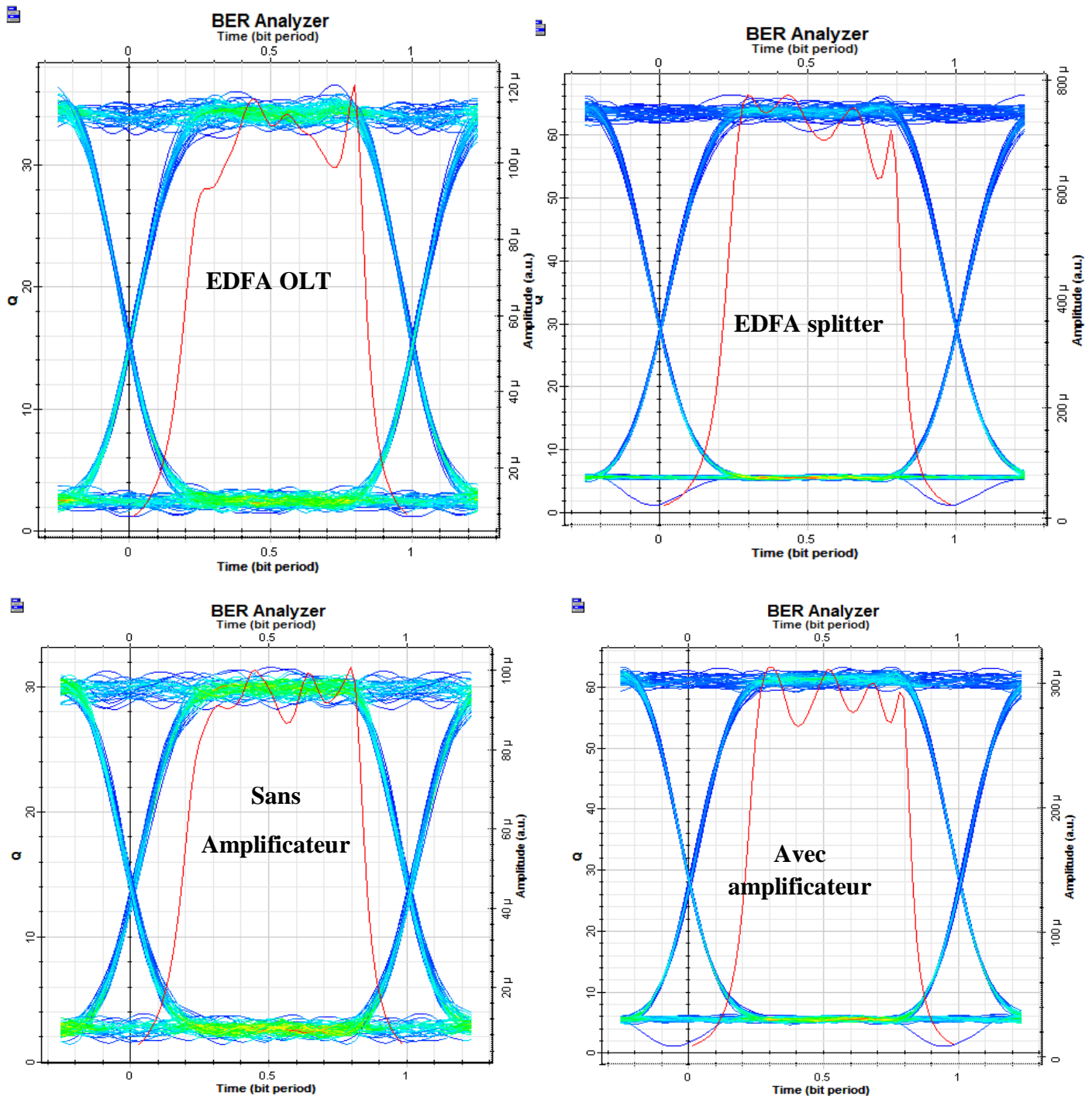


Fig.III.19 : Diagramme de l'œil en fonction de l'amplificateur

III.3.2.6-Effet du type de liaison et du type de photodiode

Ici on a changé la fibre bidirectionnelle en monodirectionnelle et de la photodiode du type PIN en APD pour pouvoir visualiser l'effet sur le facteur de qualité.

Photodiode	Photodiode PIN	Photodiode APD
Facteur Q	63	51.07

Liaison	bidirectionnelle	monodirectionnelle
Facteur Q	63	58.06

Tableau III.5 : comparaison de Fibre et Photodiode

On a quasiment pas de différence au niveau du type de la liaison mais l'utilisation de la photodiode PIN donne un facteur de qualité meilleur que celle de la photodiode APD. Avec une fibre bidirectionnelle on peut bénéficier de l'espace d'installation dans le cas d'une liaison symétrique.

La figure III.20 montre les diagrammes d'œil en fonction du type de liaison et Photodiode (PIN ou APD).

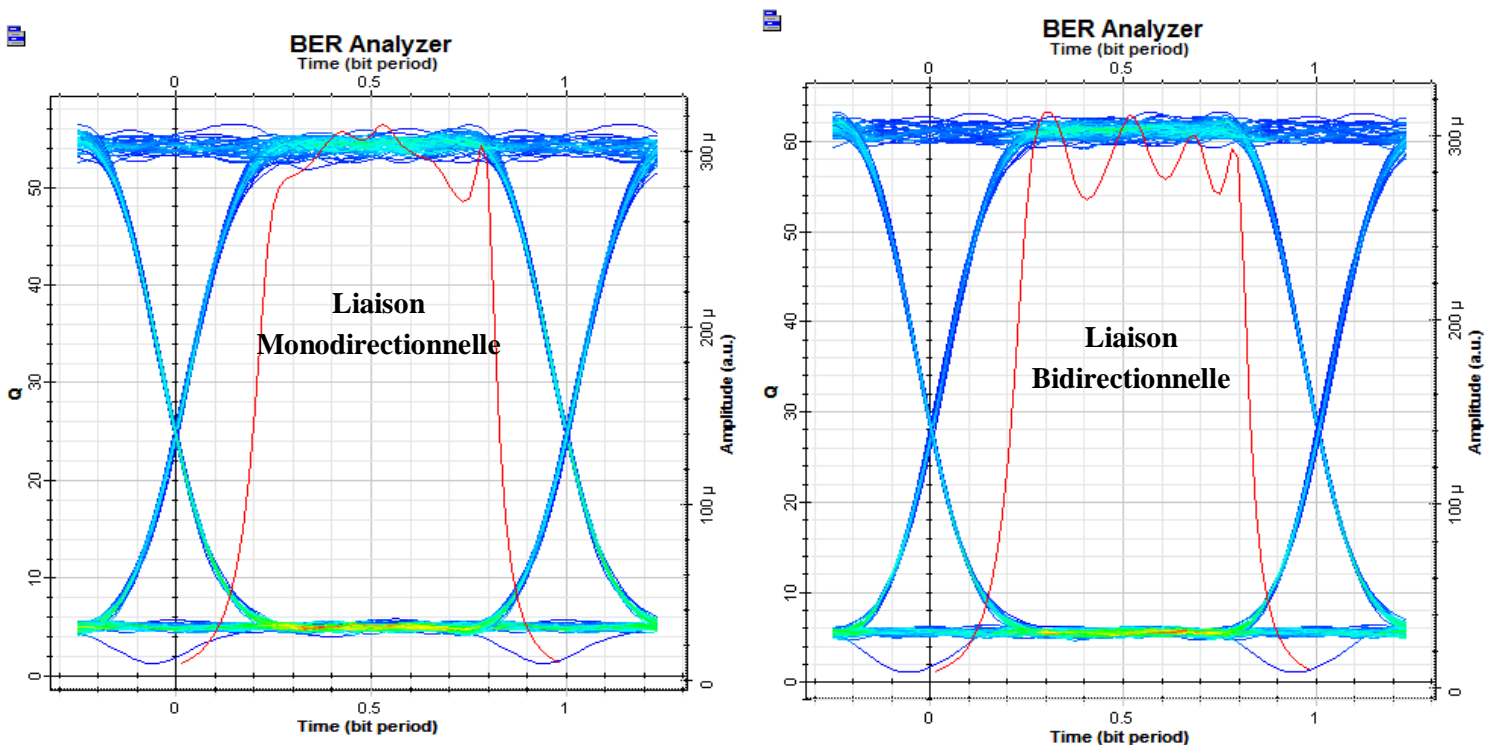


Fig.III.20 : Diagramme de l'œil en fonction du type de liaison

La figure suivante nous indique le diagramme d'œil du type de photodiode.

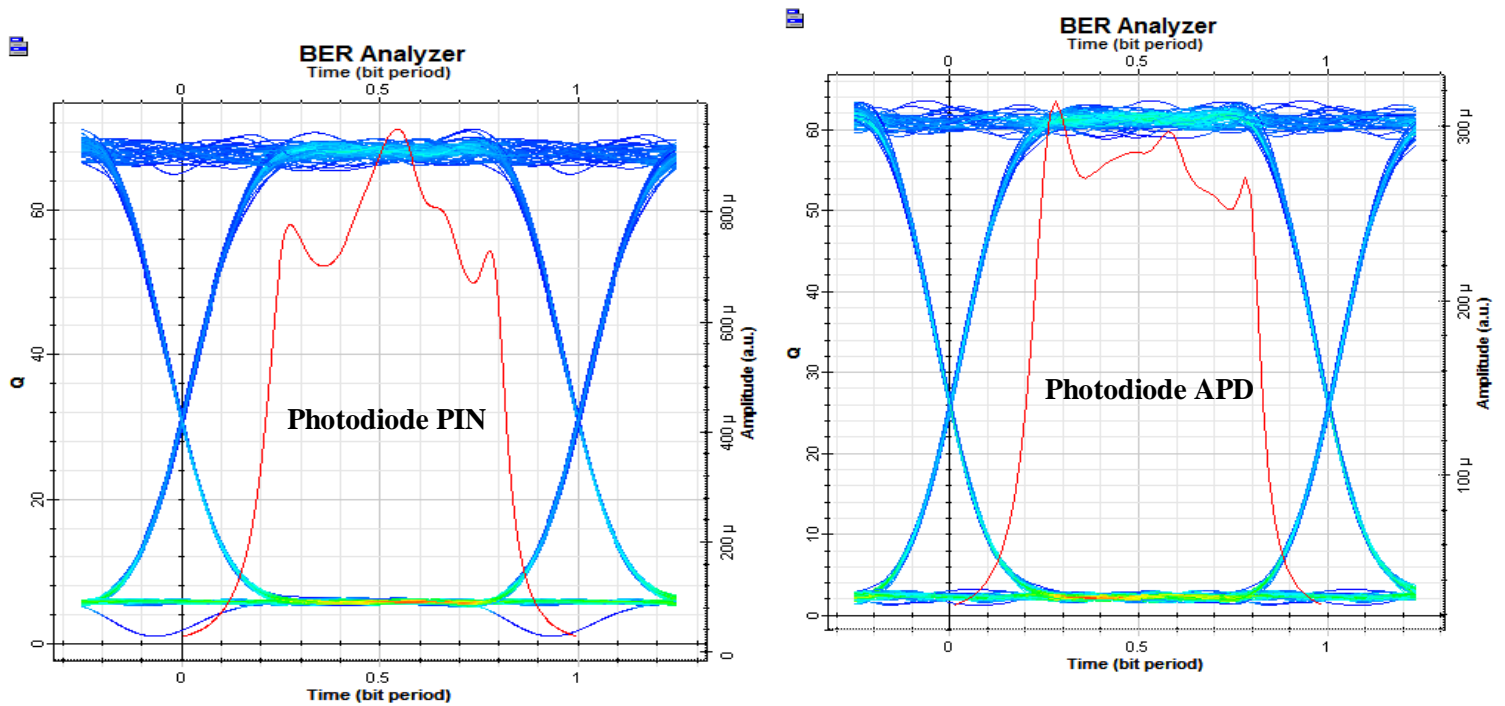


Fig.III.21 : Diagramme de l'œil en fonction du type de Photodiode

III.3.2.7- Evaluation du spectre de puissance

On observe ici les spectres de puissance des différentes longueurs d'onde émises par le multiplexage de longueur d'onde WDM transmetteur avec un espacement de 3nm entre eux. On constate qu'une différence entre l'entrée de la fibre et celui de sa sortie qui est du à l'atténuation.

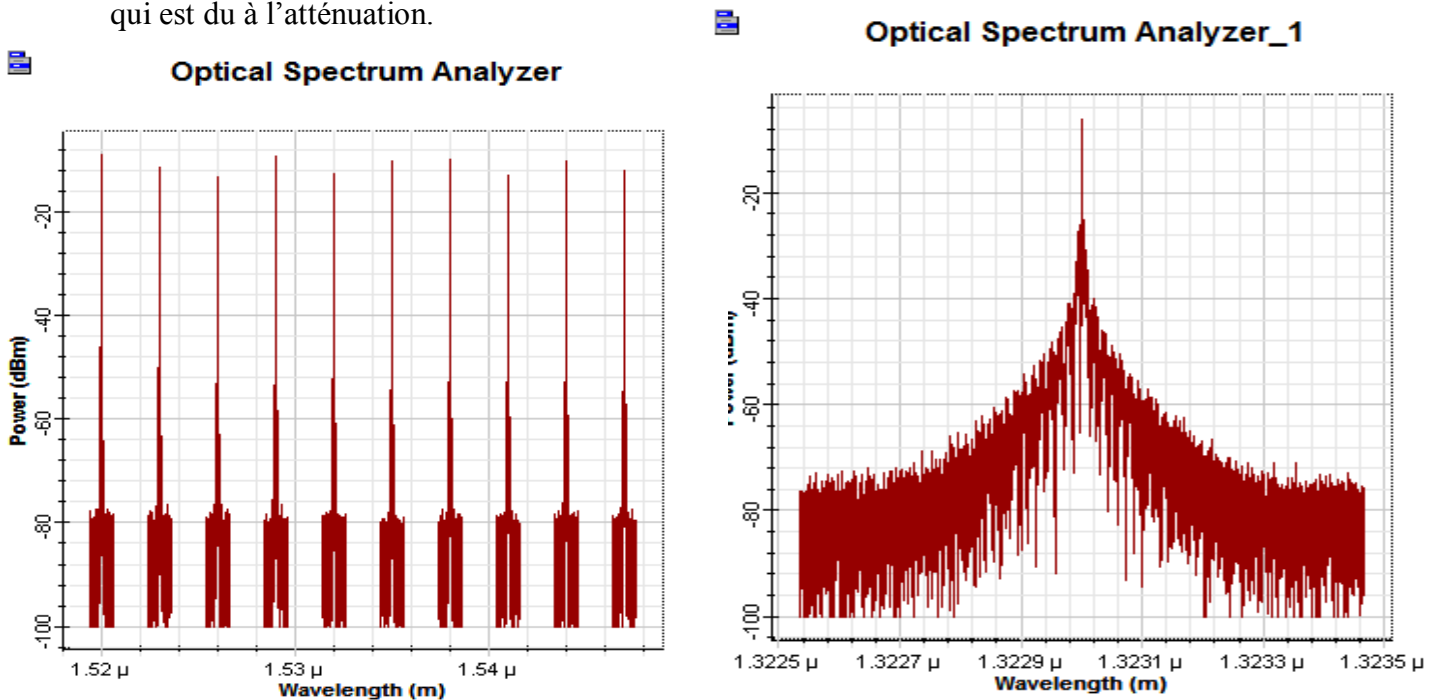


Fig.III.22 : Spectre de puissance

III.3.3- Simulation du réseau FTTH pour l'architecture B-PON

Dans cette partie, nous allons faire une simulation d'une architecture B-PON avec un débit 622Mbit/s, la longueur d'onde est de 1550nm, et de puissance -3dBm, en faisant varier la distance tout en utilisant huit (8) ONU à la réception.

La figure III.22 représente l'architecture globale B-PON :

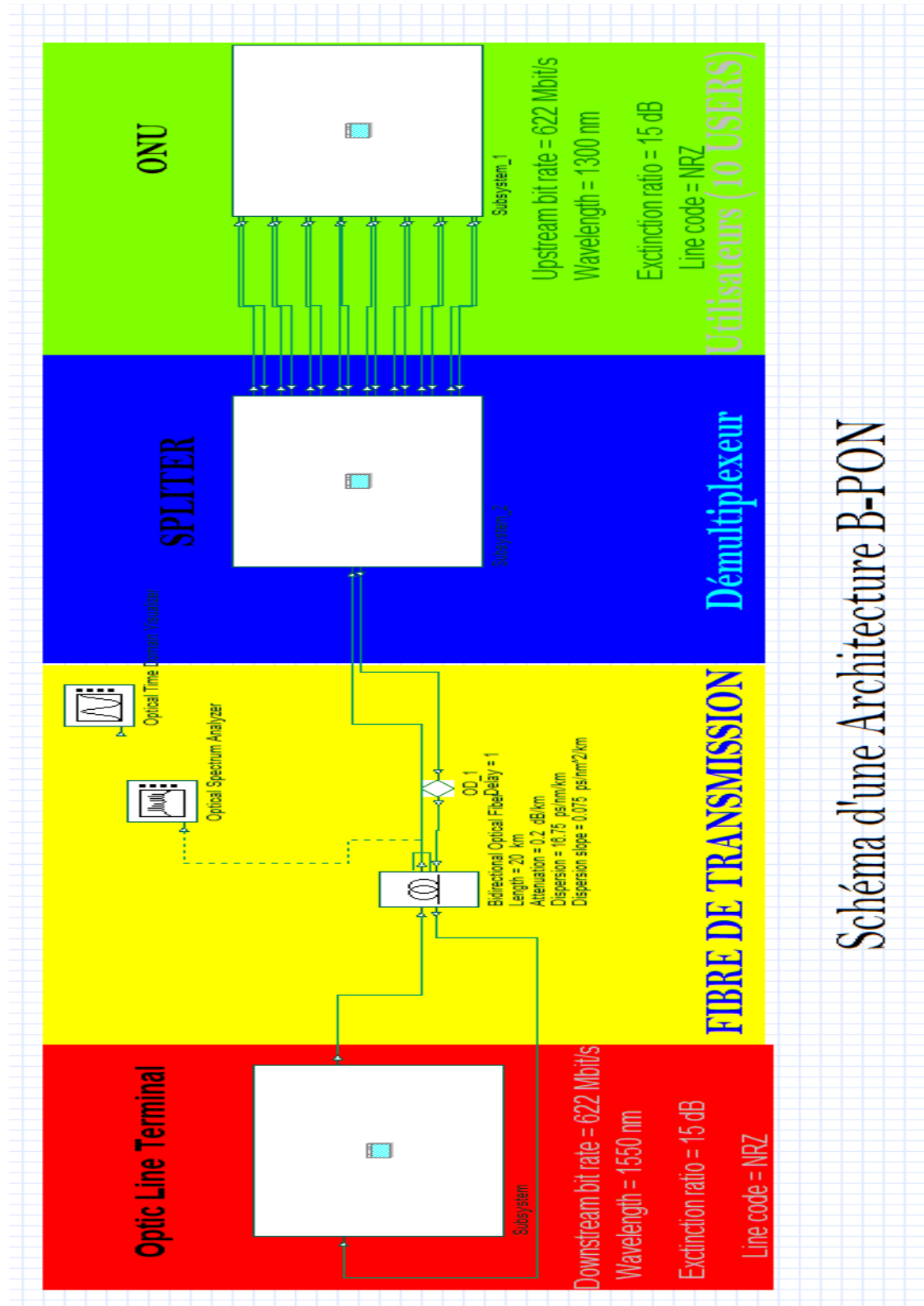


Schéma d'une Architecture B-PON

Fig.III.23 : Architecture B-PON

III.3.3.1- Influence de la variation de distance sur le facteur de qualité Q

Après avoir fait une variation de la distance de 1km à 70km, on obtient les résultats comme le montre le tableau III.6 suivant :

Distance (km)	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Facteur Q	18.58	15.01	11.65	9.52	7.44	6.13	5.16	3.14	0	0	0

Tableau III.6 : Variation de la distance dans l'architecture B-PON

Le résultat obtenu nous indique que plus la distance augmente et plus on a une diminution du facteur de qualité. A partir de 50km, on a un facteur de qualité nul ce qui veut dire qu'il n'y a plus de réception du signal.

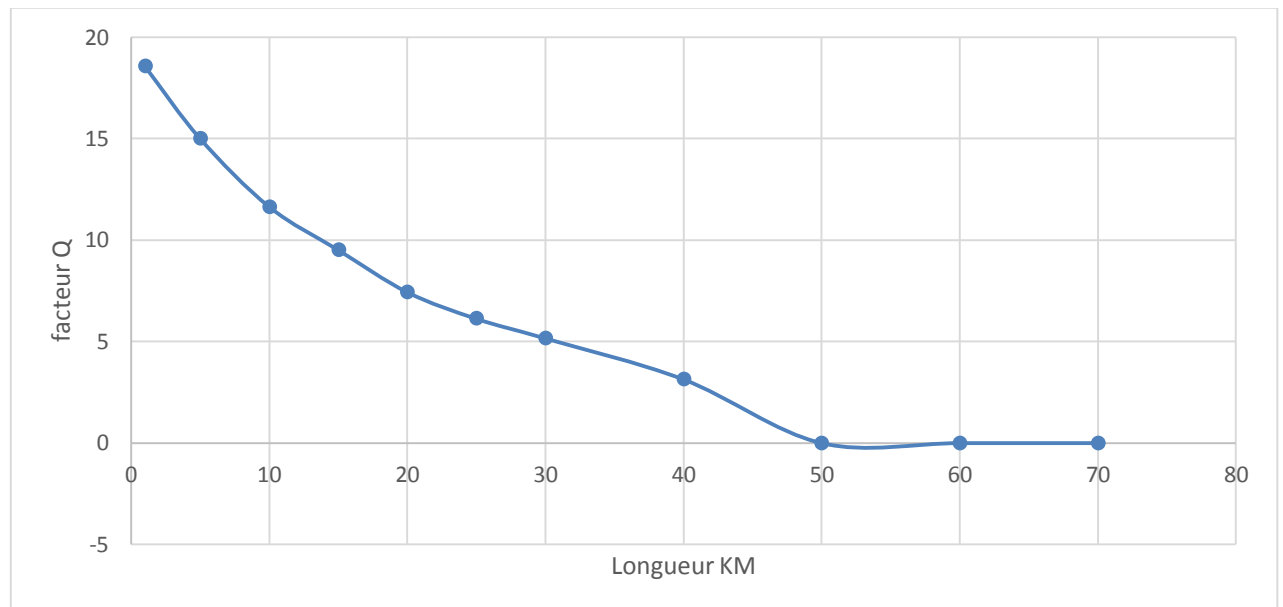


Fig.III.24 : Variation de la distance en fonction du facteur Q

D'après la figure III.23, on constate que le facteur Q décroît lorsque la distance augmente. On peut dire qu'on peut avoir une bonne transmission dans une architecture B-PON en se limitant à une distance inférieure à 20km comme l'indique l'ouverture et fermeture du diagramme de l'œil présenté sur la figure III.24.

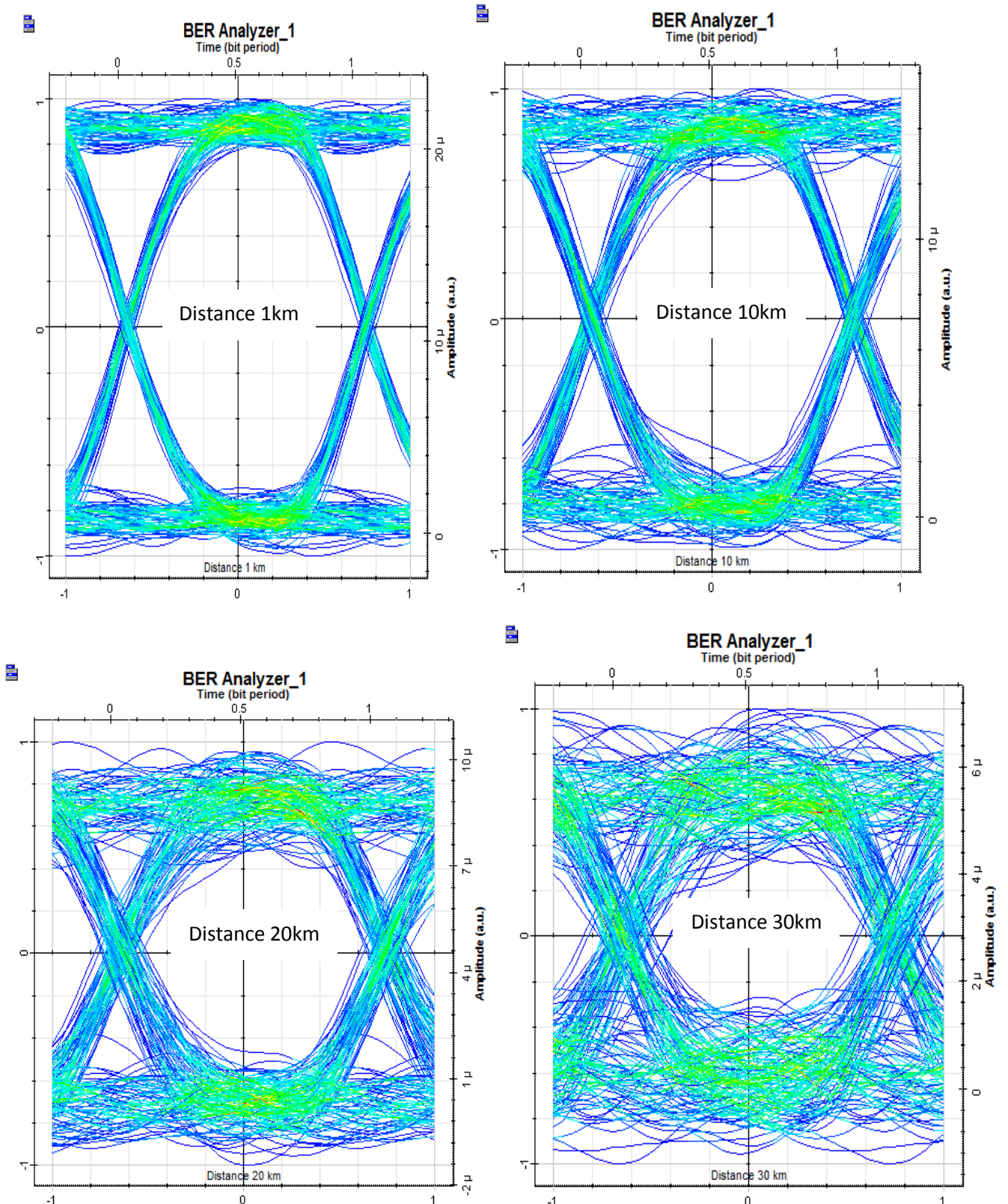


Fig.III.25 : Diagramme de l'œil pour B-PON

Les diagrammes de l'œil indiquent une bonne ouverture à une distance inférieure à 20km. Au-delà de celle-ci le diagramme de l'œil a tendance à se fermer.

III.3.3.2- Influence de la variation d'atténuation sur le facteur de qualité :

En gardant les paramètres de simulation comme suite : le débit de transmission 622Mbit/s, distance 10km.

Atténuation	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Facteur Q	14.25	11.58	9.24	7.21	6.16	4.43	3.79

Tableau II.7 : Variation d'atténuation sur le facteur Q

L'augmentation d'atténuation se traduit par forte décroissance du facteur de qualité comme le montre la figure III.25, affectant ainsi la qualité de réception.

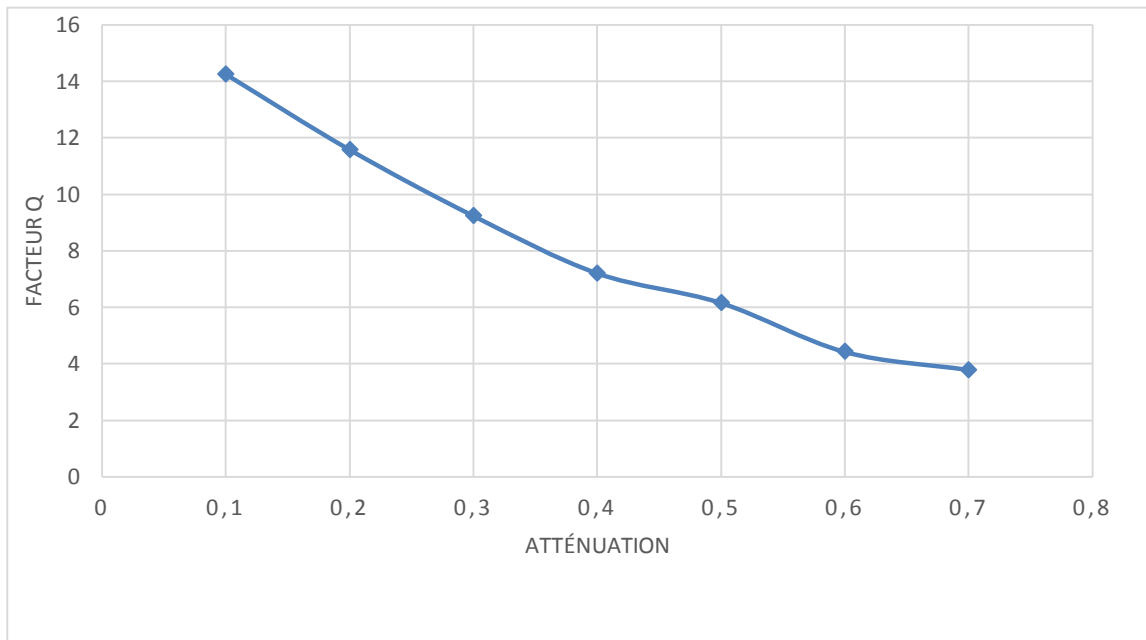


Fig.III.26 : Décroissance du facteur Q en fonction d'atténuation

D'après la figure.III.26 ci-dessous est une augmentation de l'atténuation se traduit par une forte dégradation de qualité de transmission, comme on peut le voir l'atténuation a les même effets indésirables sur le facteur que la distance.

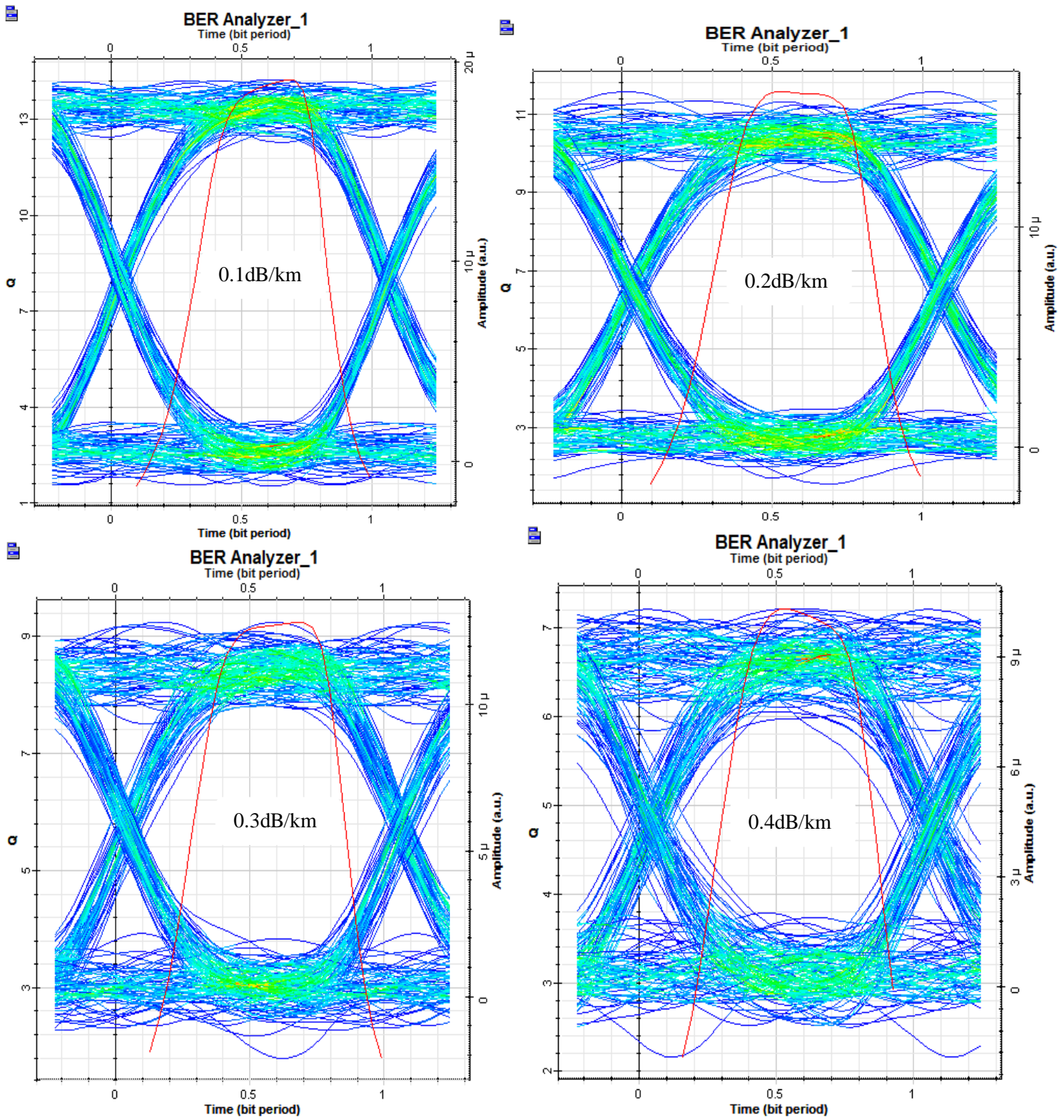


Fig.III.27 :Diagramme de l'œil en fonction de l'atténuation

III.3.3.3 Influence de débit de transmission sur le facteur de qualité

Comme on peut le constater dans le tableau III.8 ci-dessous et aussi dans la partie théorique, le B-PON fonctionne avec un débit bien précis, au-delà c'est-à-dire supérieur à 622, le signal ne parvient plus à la réception.

Débit	155Mbps	622Mbps	1Gbps	1.25	2.5
Facteur Q	12.03	11.76	0	0	0

Tableau III.8 : Variation du débit sur le facteur Q

III.3.3.4 Le spectre de puissance d'un user

La figure suivante est l'extrait du spectre de puissance d'un utilisateur d'une architecture B-PON du réseau d'accès FTTH :

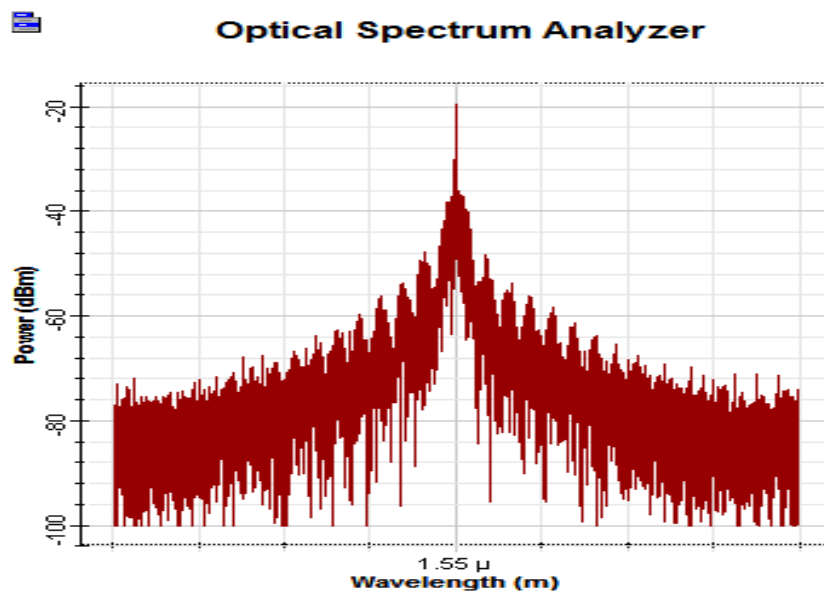
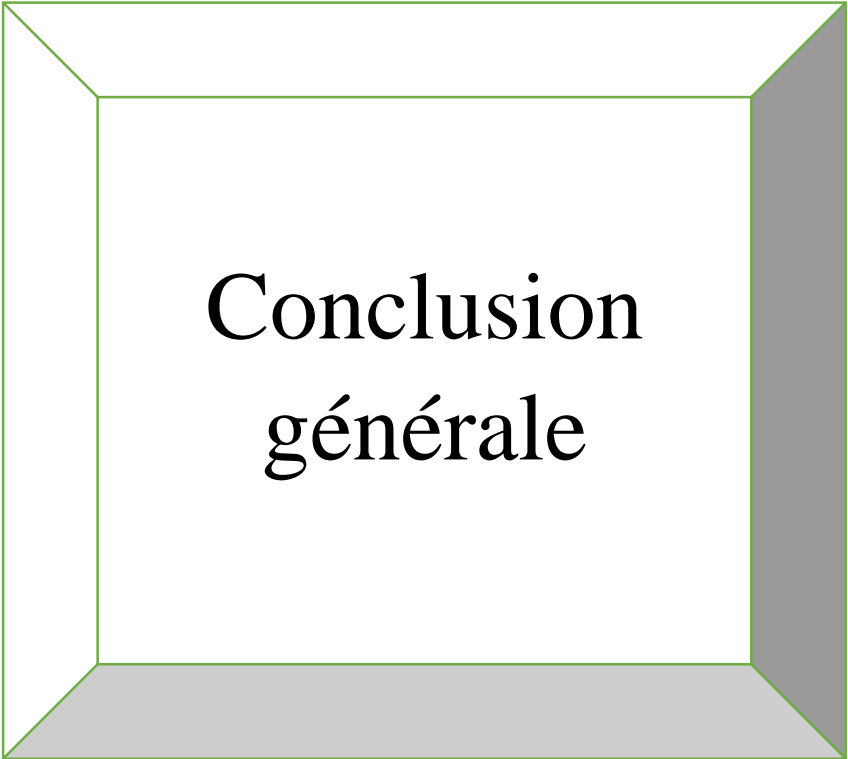


Fig.III.28 : Spectre d'émission B-PON

III.4- Conclusion

Tout au long de ce chapitre, on a dans un premier temps fait la simulation de l'architecture B-PON dont on est limité par la distance (inferieur a 20km) d'une part et d'autre part par le débit (environ 622 Mbit/s). Dans un deuxième temps la planification d'un réseau FTTH utilisant l'architecture WDM G-PON avec du haut débit, sur une longue distance et un nombre important d'utilisateur. Cette architecture nous a donné d'après le BER analysé des résultats meilleur par rapport au B-PON. Donc il serait nécessaire dans l'installation d'une liaison optique à très haut débit de tenir compte de la technologie, de l'architecture ; de la distance ; de l'atténuation ; des longueurs d'ondes ; du débit et des composants électronique et optoélectronique.



Conclusion
générale

De nos jours, les technologies utilisant la fibre optique sont presque utilisées dans plusieurs de domaine, pour la diffusion des programmes télévisés, contrôle des usines, interconnexion des banques, gestions des transmissions militaires, la télémédecine et l'administration numérique.

Tout d'abord ce travail nous a permis de renforcer et enrichir nos connaissances théoriques dans le domaine de télécommunications optique. En effet, comme vous pouvez le constater, la partie théorique de notre rapport occupe une place très importante.

Notre premier chapitre nous a permis de comprendre la théorie de la fibre optique, les différents types de fibre à savoir le monomode et le multimode dont le monomode est généralement utilisé pour les longues distances. Aussi s'ajoute ces caractéristiques à savoir l'atténuation, la bande passante, la diffusion et la dispersion ainsi les composants d'une liaison optique.

Le deuxième chapitre de notre travail a été consacré sur l'étude détaillé d'un réseau optique FTTH dans lequel nous avons parlé des différentes architectures PON et leurs comparaisons. Aussi s'ajoute les différentes parties d'un réseau d'accès FTTH comme l'OLT et l'ONU, le splitter ainsi que les différents domaines d'application.

Dans le troisième chapitre nous avons étudié d'une part une liaison B-PON bidirectionnelle avec le logiciel OPTISYSTEM, ceci nous a permis de dire que la distance maximale atteinte pour une bonne transmission est de 20km avec un débit qui vaut 622Mbit/s. D'autre part la planification d'une liaison WDM-GPON en faisant varier les paramètres comme la distance, le débit, l'atténuation ainsi que le nombre d'utilisateur. En effet les résultats obtenus nous montrent une bonne transmission pouvant aller à une distance de 70km, cette architecture pouvant supporter une atténuation allant à 0.3dB et de débit atteignant 5Gbit/s et elle offre des résultats intéressants avec une bonne qualité de transmission, mais elle nécessite des coûts de déploiement très importants.

Suite à notre étude, on a conclu que les réseaux optiques passifs (PON) peuvent atteindre des débits importants avec une transmission de bonne qualité, l'évaluation de ces débits varie selon l'architecture utilisée, mais il faut nécessairement toujours garder les compromis utilisateurs / débits, et distances / débits.

Bibliographie

- [1] Techniques de l'Ingénieur « Télécommunications optiques » Réf. Internet : 42454 | 4e édition <http://www.techniques-ingenieur.fr>.
- [2] SAIDI Riadh Mémoire de Master, Thème « Etude d'une Structure de Liaison Fibre Optique : caractéristique de la propagation et bilan énergétique », Université de Biskra, , année 2009.
- [3] HADJERES Ismail et Noura Imad, Mémoire Master, Thème « Etude et Simulation de la technique CDMA appliqué à la transmission optique utilisant les réseaux de Bragg », Université Djillali Bounaama Khemis-Miliana année 2016.
- [4] White Paper Mars 2010 « Réseaux Optique Classification des fibres optiques suivant l'ISO »
- [5] www.worl-telecommunication.blogspot.com; www.reseau-telecom10.over-blog.com
- [6] Pierre Lecoy « Communications sur fibres optiques » 4e édition année 2015
- [7] Laurent J., « Communications optiques à très haut débit », Examen probatoire, Dép. STIC – Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, 3 Décembre. 2004.
- [8] S.Haroun Ibrahim et M.Ould Mahmoud, « Etude du budget optique d'une liaison longue distance et à haut débit », pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut des télécommunications Abdelhafid Boussouf-Oran, Promotion 2005/2006
- [9] Melle BILLAMI Hanane et Melle BENDAHMANE Raouida Mémoire thème « Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s » année 201,3 université de Tlemcen.
- [10] KIMBIRI Seydou & KPEMISSI EYANA Piham, Mémoire de MASTER THEME « Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s » université de Tlemcen année 2013
- [11] Nassima BOUDRIOUA THESE « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » l'Université Paul Verlaine – Metz 2007
- [12] EFORT : les technologies PDH SDH et WDM <http://www.efort.com>
- [13] ADEPO Joël Christian Thème « Reconfiguration du Routage Multicast dans les réseaux Optique WDM », Thèse Doctorat en informatique option Réseaux, Université de NANGUI ABROGOUA, 06 Septembre 2016.

- [14] Mohamed Taha Saada projet de fin d'étude Thème « Migration du réseau RTC au réseau IP MSAN Etude de cas Central Ariana » université virtuel de Tunis, année 2013.
- [15] http://offres.neuf.fr/fibre_optique/home-fibre-optique.Html www.avoirlafibre.com
- [16] Cogisys : Architectures des systèmes de communication « MEMO SUR LES RESEAUX FTTH » - Juillet 2009 –
- [17] Fibre to the home Council Europe FTTH Handbook Edition 6, par Eileen Connolly Bul, année 2014
- [18] http://www.orange.com/sirius/reseau/cartes_reseaux/carte.html Visite du showroom sur la fibre optique de Orange, Orléans, 2011. www.exfiber.com/Optical-Network-Unit-list1.html
- [19] www.charlieubelmont.com
- [20] Mlle LOUAZANI Marwa et Mlle MEDDANE Samira THEME « ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE » Mémoire de Master Université de Tlemcen, année 2017.
- [21] « Livre Blanc » -Les réseaux PON «Passive Optical Network » éléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaire 18 Décembre 2006 Extrait N° 801 de la Revue Générale des Routes
- [22] Mlle : FEROUÏ Sarah, THEME « Etude D'un Réseau B-PON Bidirectionnel » Mémoire de MASTER université de Tlemcen, année 2013
- [23] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit », Juin 2006.
- [24] D. Qian, N. Cvijetic, J. Hu, and T. Wang, 108 Gb/s OFDMA-PON With Polarization Multiplexing and Direct Detection, Journal of Lightwave Technology, vol. 28, no. 4, pp. 484-493, 2010
- [25] S. Dahlfors, Comparison of 10 Gbit/s PON vs WDM-PON, in Symposium "Next generation optical access technologies", 35th European Conference on Optical Communication, ECOC '09, 2009.