

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Télécommunications
Spécialité : Système des Télécommunications

Présenté par

HAMCHAOUI Massinissa
AMARA Serina

Thème

Etude d'un système FTTH (Fiber To The Home)

Soutenu le 08 juillet 2019

Devant le Jury

Président	M. BELLAHSENE.H
Examineur	M. MEKHMOUKH.A
Encadrant	M.BERRAH.S

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier le tout Miséricordieux, le tout puissant, qui sans sa bénédiction ce mémoire n'aurait jamais été réalisé.

Nous remercions :

Notre encadreur Monsieur BERRAH SMAIL, pour son aide consistante, ses conseils, et pour ses remarques objectives.

Nous tenons aussi à remercier messieurs les membres du jury Mr. MEKHMOUKH et Mr. BENAMIROUCHE d'avoir accepté d'examiner et évaluer notre modeste travail.

Nous profitons de cette opportunité pour exprimer notre gratitude à tous nos enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie, durant notre formation.

Nous tenons aussi à remercier l'entreprise qui nous a accueilli pour notre stage ALGERIE TELECOM DO BEJAIA ainsi que les ingénieurs qui nous ont aidés dans notre travail .

Notre gratitude va également à nos familles, nos amis qui nous ont encouragés.

A toutes et à tous, nous leur exprimons notre reconnaissance pour le soutien qu'ils nous ont accordé.

HAMCHAOUI MASSINISSA & AMARA SERINA

Dédicace

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donnée la santé et le

Courage

Pour terminer ce modeste travail.

Je dédie ce travail à...

A la mémoire de mon père

*Lui qui a été pour moi l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de
m'encourager*

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, et le respect que j'ai
toujours et à jamais eu pour toi*

Que ton âme repose en paix.

A ma mère

*Affable, honorable, aimable : ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
consentis pour mon éducation et ma formation, ma source de tendresse*

*Ta prière et bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes
études.*

Que dieu te procure bonne santé et longue vie

A mon frère bien aimé

*En témoignage de la tendresse, de l'amour et de l'affection que je porte pour
toi, merci pour ton encouragement et ta patience.*

*A tout mes ami(e)s sans exception, je ne peux trouver les mots justes et
sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi
des frères et des sœurs sur qui je peux compter.*

Serina

DEDICACES

A mes très chers parents
Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de
l'amour
et de l'affection dont ils ne cessent de me combler.
Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes chers frères
A tout ma grande famille

A tous mes amis

J'exprime mes sentiments les plus profonds et leur
dédie ce modeste travail.

Massinissa Hamchaoui

Liste des tableaux

Tableau I.1 les différentes causes d'atténuation.....	7
Tableau I.2: comparaison entre P2P et PON.....	19
Tableau I.3 : spécification technique du XG-PON1.....	23
Tableau I.4 : spécification technique de NG-PON2.....	24
Tableau I.5 : Comparaison des standards d'un réseau PON.....	25
Tableau III.1: Liste des matériels.....	46
Tableau III.2 Caractéristiques des dispositifs.....	46
Tableau III.3 : les résultats de budget optique de puissance.....	49
Tableau III.4 Les résultats de BER et le Q Factor pour la liaison simulée en aval.....	51
Tableau III.5 : résultats de BER et le facteur Q liaison descendante.....	54
Tableau III.6 : Les résultats BER et Q Factor en liaison ascendante.....	56

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Fibre optique.....	4
Figure I.2 : fibre optique à saut d'indice multimode et son profile d'indice.....	5
Figure I.3 : Fibre optique à saut d'indice monomode et son profile d'indice.....	6
Figure I.4 : Fibre optique monomode.....	6
Figure I.5 : les causes d'atténuation.....	7
Figure I.6 : dispersion chromatique dans une fibre optique	8
Figure I.7 : dispersion du signal à la sortie de fibre optique.....	8
Figure I.8 : schéma synoptique d'une liaison optique.....	9
Figure I.9 : Architecture d'un réseau d'accès optique	14
Figure I.10 : Structure d'un réseau FTTC.....	14
Figure I.11 : Structure d'un réseau FTTB.....	15
Figure I.12 : Structure d'un réseau FTTH.....	15
Figure I.13 : architecture point à point (P2P).....	16
Figure I.14 : Architecture point-multipoint.....	17
Figure I.15 : Architectures des PON.....	20
Figure I.16 : architecture unidirectionnelle.....	20
Figure I.17 : Architecture bidirectionnelle.....	21

Chapitre II

Figure II.1 : composants passifs du réseau FTTH.....	27
Figure II.2 : Nœud de raccordement optique	28
Figure II.3 : Sous Répartiteur Optique	29
Figure II.4 : Boitier Pied Immeuble.....	30
Figure II.5 : Prise Terminal Optique.....	30

Figure II.6 : Modem optique.....	30
Figure II.7 : Coupleur Optique.....	31
Figure II.8 : Jarretière optique.....	31
Figure II.9 : Composants du réseau PON	32
Figure II.10 : Architecture du sens descendant.....	34
Figure II.11 : architecture du sens montant.....	34
Figure II.12 : image satellite de la liaison.....	35
Figure II.13 : Plan design Feeder	36
Figure II.14 : schéma de la liaison.....	37
Figure II.15 : Bilan Optique	39
Chapitre III	
Figure III.1 : les fenêtres d'OPTISYSTEM 7.0.....	43
Figure III.2 : Schéma de la liaison FTTH	45
Figure III.3 : Configuration en aval du réseau GPON.....	47
Figure III.4 : Configuration en amont du réseau GPON.....	47
Figure III.5 : Valeur de Tx et Rx pour une distance de 5 Km.....	49
Figure III.6 : Valeur de Tx et Rx pour une distance de 17 Km.....	50
Figure III.7 : Diagramme de l'œil de la configuration de la liaison descendante à 20 km....	51
Figure III.8 : la variation du facteur Q et BER par rapport au temps (descendant).....	52
Figure III.9 : Diagramme de l'œil liaison ascendant 20 km	52
Figure III.10 : La variation du facteur Q et BER par rapport au temps (ascendant).....	53
Figure III.11 : Le diagramme de l'œil en descendant pour différentes valeurs de λ	55
Figure III.12 : Le diagramme de l'œil en ascendant pour différents valeurs de λ	56

Glossaire

A

ATM : Asynchronous Transfert Mode.

APON : ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line.

APD : Avalanche Photodiode.

B

BPON: Broadband Passive Optical Network.

BER: Bit Error Rate

BPI : Boitier Pied Immeuble

C

CA: Centre d'Amplification

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

D

DEL: Light-Emitting Diode.

DL : Diode Laser

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

E

EPON: Ethernet Passive Optical Network.

F

FTTX: Fiber To the ...

FTTH: Fiber to the Home.

FTTB: Fiber to the Building.

FTTN: Fiber to the Node

FTTC: Fiber to the Curb.

FSAN: Full Service Access Network

FDT: Fibre Distribution Terminal

G

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network.

Glossaire

I

ITU-T: Union International des Télécommunications secteur Télécommunication

ITU: International Telecommunication Union

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

L

LAN: Local Area Network.

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

M

MAN: Métropolitain Area Network.

MDU/MTU : Multi Dwelling /Tenant Unit

N

NA: Noeud d'Accès

NGPON: Next Generation Passive Optical Network

NRO : Noeud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return to Zero.

O

OLT: Optical Line Termination.

ONT: Optical Network Termination.

ONU: Optical Network Unit.

ODN: Optical distribution fiber.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

ODN: Optical distribution fiber.

P

PON: Passive Optical Network.

PIN: Positive Intrinsic Negative photodiode.

P2P: Point To Point

P2MP: Point To MultiPoint

PMD: Physical Medium Dependent

PTO: Prise Terminal Optique

S

SDH/SONET: Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network

Glossaire

SRO : Sous Répartiteur Optique.

T

TEB: Taux D'erreur Binaire.

TDMA: Time Division Multiple Access

TDM-PON: Time Division Multiplexing Passive Optical Network.

TWDM-PON: Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network

TDM: Time Division Multiplexing.

TV: Télévision.

U

UIT-T: Union International de Télécommunication.

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

WDM PON: Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network.

X

XGPON: Gigabit Passive Optical Network.

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
Chapitre I	
Partie 1 : Généralité sur la fibre	
I.1.1 Introduction	3
I.1.2 Fibre optique.....	3
1.2.1 Définition	3
1.2.2 Structure de la fibre optique	3
1.2.3 Type de fibre optique	4
1.2.3.1 Les fibres optiques à saut d'indice multimodes.....	4
1.2.3.2 Les fibres optiques à gradient d'indice multimodes	5
1.2.3.3 Les fibres optiques monomode.....	6
1.2.4 Effet linéaire dans une fibre optique	6
1.2.4.1 Atténuation	6
1.2.4.2 La dispersion	7
1.2.5 Les effets non linéaire	8
I.1.3 Système de transmission sur fibre optique	9
1.3.1 Emetteur (source optique).....	9
1.3.2 Modulateurs.....	10
1.3.3 Récepteurs	11
I.1.4 Conclusion	12
Partie 2 : Réseaux optiques passifs	
I.2.1 Introduction.....	13

I.2.2 Les Réseaux optique	13
2.2.1 Réseaux d'accès optique	13
I.2.3 Architecture des réseaux FTTH.....	15
2.3.1 Architecture point à point	16
2.3.1.1 Les avantages et Les inconvénients	16
2.3.2 Architecture point multipoint	17
2.3.2.1 Les avantages et Les inconvénients	18
I.2.4 Comparaison entre les deux architecture P2P et PON.....	19
I.2.5 Les réseaux optiques passifs PON (passive Optical network).....	19
2.5.1 Architecture de réseau PON	20
2.5.1.1 Architecture PON unidirectionnelle	20
2.5.1.2 Architecture bidirectionnelle	20
I.2.6 Standars X- PON.....	21
2.6.1 Standard APON	21
2.6.2 Standard BPON.....	22
2.6.3 Standard EPON.....	22
2.6.4 Standard GPON	22
2.6.4.1 Norme de GPON.....	23
2.6.5 Standard XG-PON.....	23
2.6.6 NG-PON2.....	23
I.2.7 Comparaison des standards d'un réseau PON.....	25
I.2.8 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON.....	25
I.2.9 Conclusion	26

Chapitre II ETUDE DU RESEAU FTTH

II.1 Introduction	27
II.2 Structure du réseau FTTH.....	27
2.1 Nœud de raccordement optique (NRO).....	28
2.2 Sous répartiteur optique (SRO).....	28
2.3 Boitier pied de l'immeuble (BPI).....	29
2.4 Prise Terminal Optique (PTO).....	30
2.4.1 Modem Optique	30
2.5 Coupleur Optique	31
2.6 Jarretière Optique	31
III.3 Composants du réseau PON.....	32
3.1 Terminaison de ligne Optique.....	32
3.2 Terminal/Unité de réseau optique	32
3.3 Principe de partage de la fibre entre abonnés	33
II.4 Déploiements de la solution FTTH à BEJAIA	35
4.1 Liaison CA Bejaia – SRO SIDI ALI LEBHER	35
4.1.1 Réseau Feeder	35
4.1.2 Type d'OLT	38
4.1.3 Type de coupleur	38
4.1.4 La fibre monomode type G652.D et G657.A.....	38
II.5 Le bilan optique	38
II.6 Conclusion	40

Chapitre III ETUDE D'UNE LIAISON GPON

III.1 Introduction.....	41
III.2 Présentation du logiciel	41
III.2.1 Description du logiciel optisystem.....	42
III.3 Critères de qualité de transmission	43
III.4 Le bilan optique de puissance	44
III.5 La solution FTTH à deux niveaux	45
III.6 Partie simulation	45
III.6.1 Présentation des composants utilisés et leur caractéristiques	45
III.6.2 Méthodes de transmission	47
III.6.3 Effet de la distance	48
III.6.3.1 Résultats de la simulation	48
III.6.3.2 Analyse des résultats du bilan optique de puissance	50
III.6.3.3 Résultats sur analyseur de TEB.....	50
III.6.3.4 Analyse de résultats du facteur Q et BER	53
III.6.4 Effet de la longueur d'onde	54
III.6.4.1 Résultats de la simulation sur TEB	54
III.6.4.2 Analyse de résultats	57
III.7 Conclusion	57

Introduction Générale

Depuis le début du vingtième siècle, les réseaux d'accès connaissent un développement très rapide que ce soit au niveau de l'accès fixe et radio au bien aux réseaux mobiles, ainsi avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia et des applications très large bande, un accès au très haut débit devient une nécessité pour les utilisateurs, cet accès est rendu possible grâce à l'émergence des réseaux optiques utilisant la fibre optique comme support de transmission.

Pour faire face à cette demande de débits, les équipements se sont lancés dans une course au développement de nouveaux systèmes, leur réel challenge vise de traiter une quantité d'informations de plus en plus importantes et variées. Le développement de nouveaux services de télécommunications implique une forte croissance du besoin en bande passante offerte aux utilisateurs. De ce fait la fibre optique a fait son entrée dans les foyers depuis quelques années, a travers les liaisons très haut débit FTTH.

Pour amener la fibre jusqu'à l'abonné, plusieurs techniques se distinguent, la plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui sont basés sur les technologies gigabit PON (Passif Optical Network). Ce type de réseau optique passif décrit une architecture point à multipoints basée sur un multiplexage temporel de la transmission des données de chaque utilisateur. Le PON s'illustre alors sur une portée de 20 Km et permet de desservir jusqu'à 64 clients (ONT : Optical Network terminaison) à partir d'un seul point d'agrégation au central (OLT : Optical Line Terminal), ce type de réseau transporte des flux de données avec un débit qui peut atteindre 2.5 Gbit/s (dans le sens montant) et 1.25Gbit/s (dans le sens descendant), ce qui permet d'offrir une bande passante atteignant 100Mbit/s chez l'abonné.

Notre objectif à travers ce projet est d'étudier un réseau de transmission à très haut débit FTTH, notre travail est organisé selon trois chapitres :

Le premier chapitre est composé de deux parties, la première partie nous allons faire une étude générale de la fibre optique, au premier lieu nous allons définir le principe, la composition, les différents type, ainsi que les caractéristiques de la fibre optique. Ensuite nous allons décrire le système de transmission sur une fibre optique, dont lequel nous citerons les différents composants qui interviennent dans ce type de liaison.

Pour la deuxième partie, elle sera consacrée pour les réseaux optiques FTTH ; nous commencerons par des généralités sur les réseaux FTTx, puis les architectures des réseaux FTTH ; ensuite le réseau PON (architecture, standards).

Le deuxième chapitre sera dédié a la partie pratique, exploitée grâce à notre stage à ALGERIE Télécom, qui est l'étude des différents composants utilisés dans les liaisons sur la ville de Béjaia.

Dans le troisième et le dernier chapitre, nous présenterons la partie simulation, tout en commençant par une présentation du logiciel OPTISYSTEM et les critères de qualité d'une transmission et on termine par la simulation d'une liaison optique FTTH GPON, qui va permettre tout en variant certains paramètres, comme la longueur de la fibre optique monomode de voir leurs effets à la sortie de la liaison.

Nous terminerons le travail par une conclusion et quelques perspectives.

I.1.1 Introduction

Les transmissions optiques par fibre optique sont devenues des techniques courantes et éprouvées dans le domaine des télécommunications. Dans les réseaux interurbains régionaux et inter-centraux. L'utilisation de guides d'ondes optiques représente le mode de transmission le plus économique, lorsqu'il s'agit d'acheminer des débits élevés sur de grandes distances, mais aussi des nombres élevés de canaux.

Dans cette partie nous allons tout d'abord aborder la définition de la fibre optique, sa composition et ses différents effets sur la transmission, ensuite nous allons présenter les différents composants d'un système de transmission optique, et son interface d'émission, les sources de transmission les plus utilisées dans une liaison optique sont les diodes laser et les diodes DEL, ainsi que son interface de réception qui est la photodiode avec ses deux types PIN et Avalanche.

I.1.2 Fibre optique

1.2.1 Définition

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Le signal lumineux de grandes quantités de données à la vitesse de la lumière sur plusieurs centaines, voire millier, de kilomètre, elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peuvent servir de support à un réseau large bande par le quel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

1.2.2 Structure de la fibre optique

La fibre optique est une ligne de transmission sous forme d'un guide d'onde cylindrique qui est composée d'une partie centrale appelée cœur d'indice de réfraction n_1 fabriqué à base de silice entouré d'un autre matériau d'indice de réfraction n_2 appelé la gaine.

Le diamètre du cœur est de quelque dizaine de micromètre et celui de la gaine est de quelque centaine de micromètre, la fibre toute seule est très fragile et pour la protéger contre les facteurs externes (humidité, attaque chimique) elle est revêtue par le plastique puis le nylon [1].

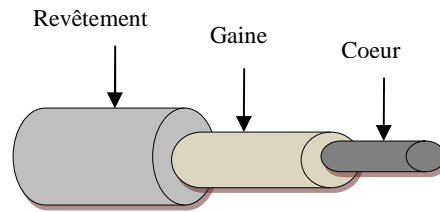


Figure I.1 : Fibre optique.

1.2.3 Type de fibre optique

Il existe deux types de fibre optique, la différence entre deux types dépend du diamètre de la fibre et également du mode de propagation de la lumière au niveau du cœur de la fibre.

Ces deux types de fibre sont la fibre multimode et la fibre monomode. Cette notion de mode est définie comme étant le nombre de chemins qu'un rayon lumineux peut emprunter au cœur de la fibre.

- **Monomode** : dans le quel il existe un seul mode de propagation de la lumière, le mode en ligne droite.
- **Multimode** : dans le quel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de fibre optique.

Les fibres de type multimode qui se partagent en deux catégories qui sont les fibres a saut d'indice et celles a gradients d'indice, qui sont des fibres qui ont un cœur avec un diamètre plus grand que la longueur d'onde utilisée.

Le fonctionnement sur ce type de fibre permet de transporter plusieurs modes aux trajets lumineux.

Les fibres multimode ont été les premiers à être commercialisées, cependant elles sont utilisées que pour le bas débit et sur des distances assez courtes.

1.2.3.1 Les fibres optiques a saut d'indice multimodes :

Dans les fibres à saut d'indice, un grand nombre de rayons lumineux se propage par réflexion totale, qui est assuré par les valeurs des indices de réfraction n_1 (cœur) et n_2 (gaine), avec toujours $n_1 > n_2$ tel que le cœur est homogène de diamètre varié entre 100 μm et 200 μm , tandis que celui de la gaine varie de 150 μm à 250 μm .

La propagation de ses trajets lumineux se fait par différents chemins avec la même vitesse comme le montre la figure, le nombre des rayons arrivent au récepteur avec des retards différentiels, mais ils deviennent importants pour les grandes distances qui engendrent une dispersion de l'énergie du signal, c'est pour cela que les fibres multimodes à saut d'indice sont destinées pour des transmissions courtes distances, elles utilisent les longueurs d'onde 850nm et 1300nm [2].

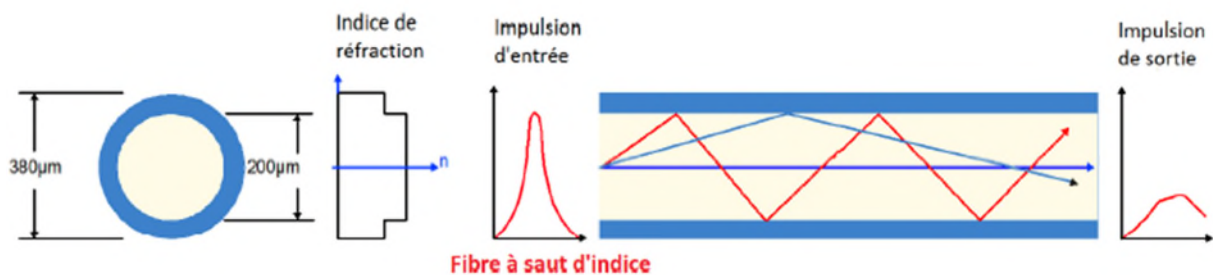


Figure I.2 : fibre optique à saut d'indice multimode et son profile d'indice.

1.2.3.2 Les fibres optiques à gradient d'indice multimodes

Dans ces types de fibre, l'indice du cœur diminue progressivement vers l'extérieur à partir de l'axe du cœur vers l'interface cœur-gaine. Le diamètre du cœur est de 150 μm . Les rayons lumineux à l'intérieur d'une fibre à gradient d'indice suivent un parcours sinusoïdal [3], Le cœur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche, cela permet de minimiser la dispersion modale, et comme tous les rayons sont refocalisés sur le centre de la fibre l'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faibles que dans une fibre optique à saut d'indice.

Les fibres à gradient d'indice sont utilisées pour les moyennes distances [2]

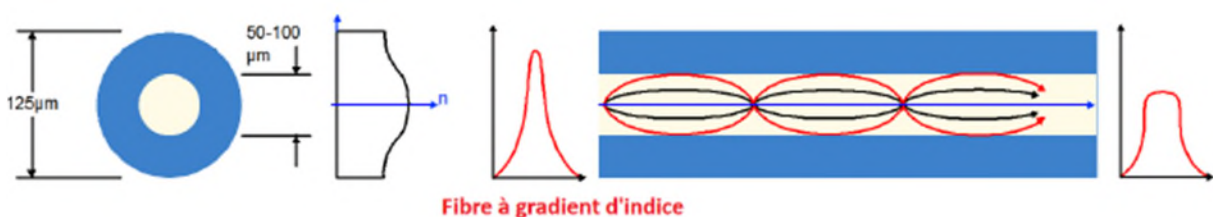


Figure I.3 : Fibre optique à saut d'indice monomode et son profile d'indice.

1.2.3.3 Les fibres optiques monomode

La fibre optique monomode est caractérisée par un diamètre du cœur extrêmement fin (8 à 10 μm en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 μm).

Un seul signal lumineux appelé fondamental se propage à l'intérieur de cette fibre en ligne droite, de ce fait il ne rencontre pas la gaine et n'est pas donc perturbé par conséquent une dispersion modale quasiment nulle. Elle est utilisée pour les transmissions à longue distance.

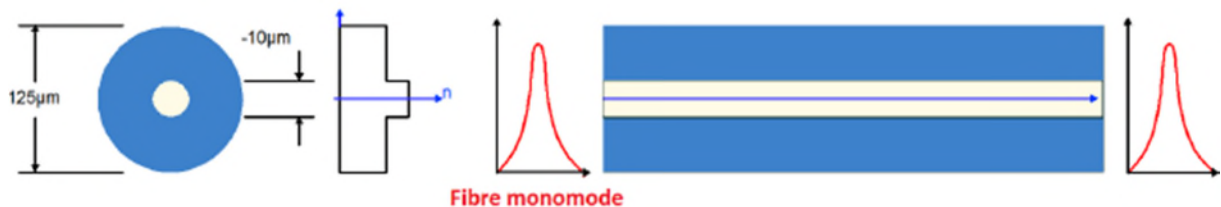


Figure I.4 : Fibre optique monomode.

1.2.4 Effet linéaire dans une fibre optique

1.2.4.1 Atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis.

En comparant avec les autres supports de transmission comme le cuivre, l'atténuation de la fibre optique est faible, elle dépend en particulier de la longueur d'onde des impulsions lumineuses. L'atténuation provient principalement de phénomènes résumés dans le tableau et la figure suivante [4] :

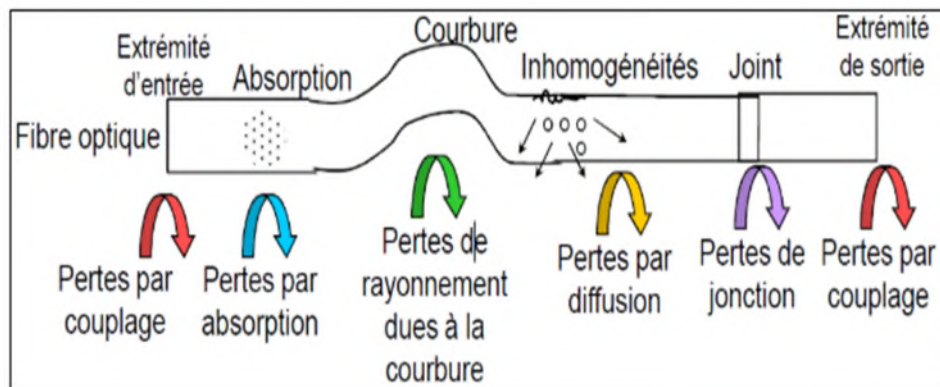


Figure I.5 : les causes d'atténuation [4]

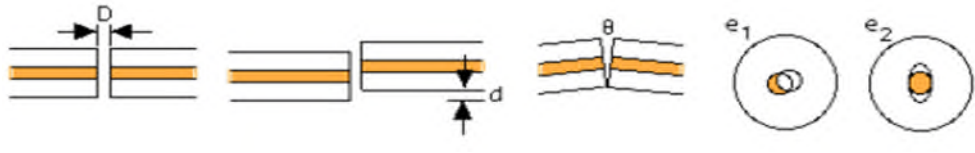
Types de pertes	Explications
Absorption	Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
Diffusion	Variation locale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. changement de densité ou de composition dans la matière.
Courbes	Torsion dans la fibre non-respect du principe de réflexion totale interne.
Pertes de connexion	Séparation longitudinale désalignement radial/angularaire excentricité/ellipticité des cœurs 

Tableau I.1 les différentes causes d'atténuation [4]

1.2.4.2 La dispersion

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

➤ La dispersion chromatique

La dispersion chromatique exprimée en $\text{Ps}/(\text{nm.km})$. Caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale de l'émetteur (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse) cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée.

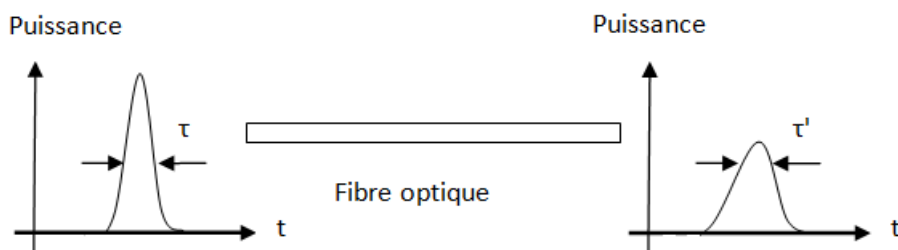


Figure I.6 : dispersion chromatique dans une fibre optique

➤ La dispersion modale

Elle existe dans les fibres multimodes à saut d'indice. En effet dans une fibre multimode, plusieurs chemins sont possibles pour la lumière, ces chemins ont des longueurs différentes donc les temps de parcours sont différents aussi.

La dispersion modale provient de la différence du temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus.

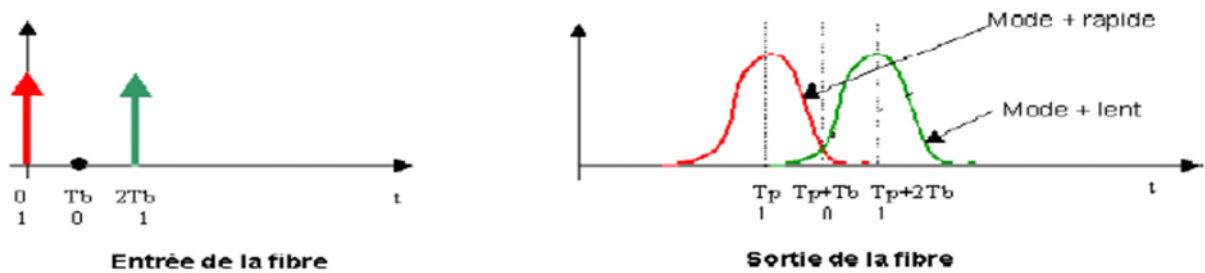


Figure I.7 : dispersion du signal à la sortie de fibre optique

➤ Dispersion matériau

L'élargissement est causé par le fait que l'indice de réfraction du verre n'est pas le même pour toutes les longueurs d'onde. Cette dispersion existe dans toutes les fibres optiques, qu'elles soient monomodes ou multimodes. Elle est très petite à la longueur d'onde d'environ 1300 nm.

➤ Dispersion de guidage :

L'élargissement est causé par le fait que la constante de propagation du guidage dépend de la longueur d'onde.

1.2.5 Les effets non linéaire

Les effets non linéaires sont la variation de la vitesse de propagation liée à la longueur d'onde d'une part et à l'intensité d'autre part [5].ils sont généralement présents dans les fibres monomodes et peuvent se traduire par :

- une atténuation du signal en fonction de l'augmentation de puissance transmise.
- Une création de nouvelles longueurs d'onde.

Les principes causes des effets non linéaires sont :

➤ Effet kerr

L'effet de kerr interprète la variation (l'augmentation) de l'indice de réfraction de la fibre sous l'action d'une onde électromagnétique (intensité du champ optique). La conséquence de l'effet kerr se traduit par un phénomène d'auto modulation de phase. L'impulsion est affectée d'une modulation de phase parasite qui croît avec la distance. La combinaison de la

modulation de phase à la dispersion chromatique, conduit à un élargissement temporel des signaux se propageant dans la fibre [6].

➤ Effet raman

C'est le phénomène par le quel un milieu peut modifier légèrement la fréquence du signal qui circule. Ce décalage de fréquence correspond à un échange d'énergie entre le rayon lumineux et les vibrations du matériau.

I.1.3 Système de transmission sur fibre optique

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois bloques : un bloc d'émission, un bloc de transmission, un bloc de réception.

Un système de transmission optique est composé des éléments suivants :

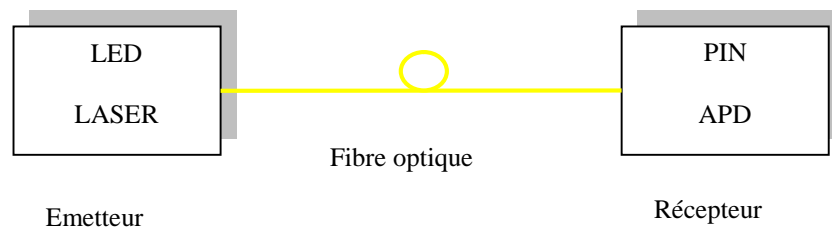


Figure I.8 : schéma synoptique d'une liaison optique

1.3.1 Emetteur (source optique) :

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de la communication par fibre optique. Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique).

En télécommunication optique, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus large impose le choix de sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL) [7].

➤ La diode DEL (électroluminescente) :

La diode électroluminescente (DEL) ou LED est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et poly chromatique elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre typique d'émission spontanée continu et assez large d'où une forte sensibilité à dispersion chromatique [7].

➤ **La diode laser (DL) :**

Laser est l'acronyme anglais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (en français, amplification de la lumière par émission stimulée de radiations). la diode laser est une source cohérente et monochromatique, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance, elle est caractérisé par : une faible largeur spectrale et une bande passante importante. Le spectre est monomode longitudinal [7].

1.3.2 Modulateurs

Servent à convertir les données numériques en ondes, tandis que les démodulateurs ont la charge de reconvertir les signaux optiques en données numérique. Le moyen le plus efficace de moduler et démoduler le signal consiste à utiliser les diodes laser.

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

- Générer l'information binaire à partir d'un signal physique.
- Traduire l'information binaire en niveau de puissance du signal lumineux.

Le procédé de modulation peut être de deux types différents, à savoir le type direct, et le type externe.

➤ **Modulation directe**

La modulation directe peut être assimilée à une technique de modulation de type classique.

Les lasers à semi-conducteur sont très utilisés dans les systèmes de transmission. En effet, on va ici moduler directement le courant injecté en entrée de la diode. A la suite de cette

modulation du courant traversée dans ses systèmes entraine directement la modulation en intensité de la lumière émise, plus le courant reçu par ses systèmes est important, plus l'intensité lumineuse qu'elle délivra sera puissante.

Cette méthode de modulation comporte un inconvénient majeur. La modulation d'amplitude des courants affecte en effet la fréquence du signal émis.

C'est pour cette raison qu'en général elle n'est plus très utilisée, au profit de la modulation externe [8].

➤ **Modulation externe**

La modulation externe consiste à graver les données électrique sur un signal optique continu, elle est effectuée par le modulateur externe, il est commandé par une tension externe qui est appliquée au modulateur elle permet de présenter l'information à transmettre et consiste à modifier le facteur de transmission.

En traversant le modulateur, le signal optique émis par le laser et qui est alimenté par un courant constant il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé. Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les nouvelles puissances et choisir les modifications [8].

1.3.3 Récepteurs

La photo détectrice est un composant essentiel 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. La photo détectrice la plus utilisée dans les systèmes de transmission par fibre optique est la photodiode PIN [7].

➤ **Photodiode PIN (Positive Intrinsèque Négative Photodiode)**

Cette photodiode, polarisée en inverse à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches forment dopées **P+** et **N+** entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisées car elles sont peu couteuses et simple à utiliser avec une performance satisfaisante.

➤ **Photo diode à effet d'avalanche APD :**

Photo diode à effet d'avalanche APD est une jonction PN polarisée en inverse, d'une manière à ce que, la tension de polarisation soit proche à celle de claquage de la jonction, créant ainsi un champ électrique important à la zone de charge d'espace, qui y accélère les électrons passant par la zone de recombinaison, créant à leur tour d'autre électron dans la région N [7].

I.1.4 Conclusion

Cette partie nous a permis de connaître le fonctionnement des différents composants d'un système de transmission sur fibre optique : l'émetteur optique, le récepteur optique, et la fibre optique dont on a fait une description générale, sa structure, ses différents types ainsi que les effets linéaires et non linéaires qui influent sur la transmission optique du signal lumineux.

Dans la partie qui suit nous allons étudier une des nouvelles architectures mise en œuvre, qui est l'architecture optique passive PON.

I.2.1 Introduction

Avec l'explosion de l'internet et la société multimédia ouverte et communicante, tant d'applications nécessitent une plus grande bande passante afin d'accéder à l'information rapidement, téléchargement, vidéo image en haute-définition et visioconférences.

Cette partie introduit les réseaux optiques, en particulier les réseaux optiques passifs, son principe de fonctionnement, nous dériverons deux principales architectures du réseau FTTH : point à point, point à multipoints, nous discuterons par la suite sur les différents standard d'un réseau PON.

I.2.2 Les réseaux optiques

D'une manière générale, un réseau de télécommunications par fibre optique peut être décomposé en trois catégories [9] :

❖ Le réseau d'accès :

Aussi appelé réseau local (local area network : LAN), couvrant des dimensions de l'ordre de quelque kilomètres a quelque dizaines.

❖ **Le réseau métropolitain (métropolitain area network : MAN)** : des réseaux intermédiaires qui réalisent l'interconnexion entre les réseaux longue distance et les réseaux d'accès à travers des nœuds d'accès(NA), ayant des dimensions de l'ordre de la centaine de kilomètres.

❖ **Le réseau cœur** : s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres.

I.2.2.1 réseaux d'accès optique

Il est constitué de deux partie une partie en fibre optique et une autre partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

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

On distingue les techniques FTTx (Fiber to the x) qui consiste à amener la fibre le plus proche possible de l'utilisateur afin d'augmenter la qualité de service en particulier le débit.

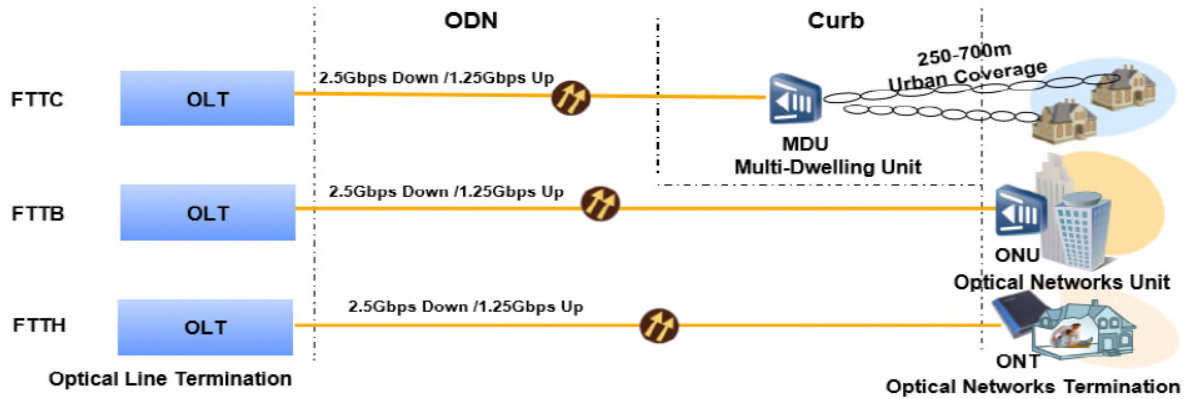


Figure I.11 : Architecture d'un réseau d'accès optique

Nous citons les techniques les plus utilisées :

❖ FTTC(Fiber to the curb)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab). Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radio électrique, la figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab [10].

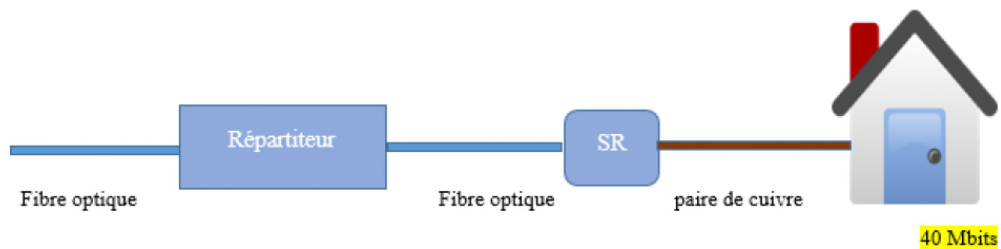


Figure I.12 : Structure d'un réseau FTTC

❖ FTTB(Fiber to the building)

La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.

Cette configuration est appelée aussi FTTB, la figure ci dessous représente la structure d'un réseau FTTB [10].

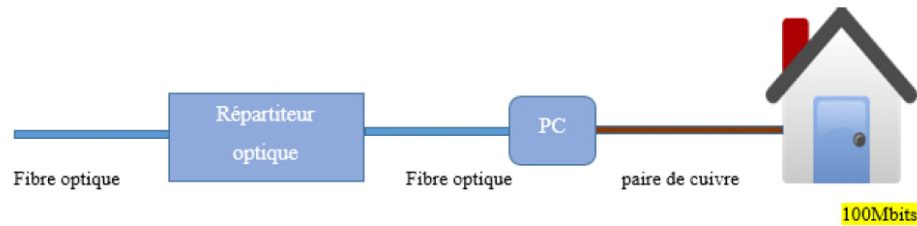


Figure I.13 : Structure d'un réseau FTTB

❖ FTTH(Fiber to the home)

FTTH (Fiber To The Home, Fibre jusqu'au domicile) : l'abonné final est raccordé jusqu'à son domicile par une fibre optique unique qui lui est dédiée. Cette technologie permet l'accès à Internet, à la Télévision, à la Téléphonie avec des débits bien supérieurs à ceux que permet actuellement l'ADSL par exemple.

Son autre avantage considérable par rapport aux technologies utilisant la paire de cuivre (ligne téléphonique standard) est de ne pas connaître d'atténuation du signal en fonction de la distance, et donc de garantir des débits optimaux même lorsque l'utilisateur se trouve très éloigné du commutateur. La figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTH [10].

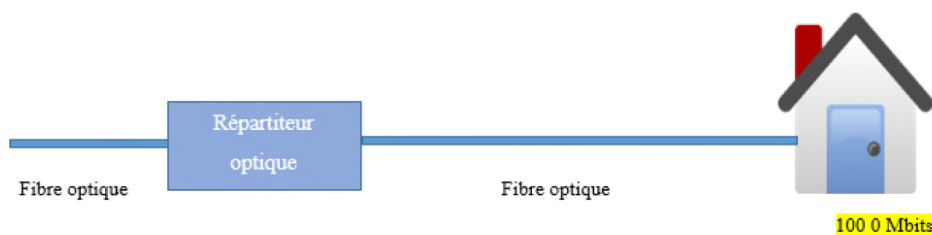


Figure I.14 : Structure d'un réseau FTTH

I.2.3 Architecture des réseaux FTTH

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile. Elle ne fait appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné et de sécurité de transfert (les données des différents

utilisateurs sont séparées), mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur [11].

Deux types de topologies physiques permettent d'acheminer la fibre jusqu'au client final :

- ❖ L'Architecture active, aussi appelée point à point (P2P).
- ❖ L'Architecture passive est appelée communément point à multipoint (PON).

I.2.3.1 Architecture point à point

Cette architecture est la plus simple à mettre en œuvre parmi les Topologies physiques du réseau d'accès optiques, elle consiste à avoir un lien physique en Fibre optique directement entre le central et l'abonné. Son déploiement revient plus cher.

Dans cette architecture, chaque abonné sera raccordé au répartiteur optique du réseau le Plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Cette architecture permet une étanchéité absolue entre les lignes des différents abonnés, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant de fibres que d'abonnés.

On utilise différents protocoles pour le transport des données, souvent c'est Ethernet qui est choisi. Ces solutions sont alors dénommées Ethernet P2P ou Ethernet Direct Fiber. Elles permettent des débits de 10Gb/s.

Pour être commercialisé, les débits sont limités à des valeurs inférieures, par exemple 100Mb/s symétriques [11].

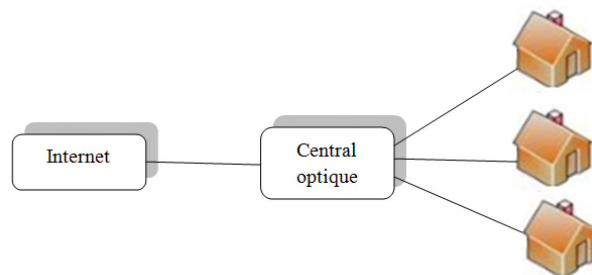


Figure I.15 : architecture point à point (P2P)

I.2.3.1.1 les avantages et les inconvénients

➤ Les Avantages

- Solution universelle adaptée aux clients résidentiels et aux entreprises.
- Budget optique optimal puisque pas de composants optique entre l'OLT et l'ONT.
- La gestion du réseau est très simplifiée.
- Une plus grande flexibilité de service.

- Bande passante illimitée.
- La sécurité des données est garantie puisqu'une ou deux fibre sont dédiées à chaque client.
- Plus économique dans des secteurs d'abonné de faible densité.
- **Les inconvénients**
- Pas de partage de l'OLT ou de port optique, beaucoup de fibres à déployer (pas très économique).
- Gestion de fibre au niveau de la centrale.
- Encombrement à l'intérieur du central dû au grand nombre de transcesives.
- Pas de mutualisation de fibre.

I.2.3.2 Architecture point à multipoint

Un réseau point à multipoint connu aussi sous le nom de PON (Passive Optical Network), le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique.

Dans cette architecture, une fibre unique part du central optique dans le réseau et dessert plusieurs habitations, sur lesquelles sont raccordées à cette fibre au niveau d'un équipement passif (coupleur ou splitter) placé à proximité de la zone à desservir. Chaque site reçoit toutes les informations envoyées par l'équipement central OLT (Optical Link Terminal), et les reçoivent par l'équipement récepteur ONT (Optical Network Terminaison) de chaque abonné, et assure la fonction du filtrage : chacun des ONT et OLT n'exploitent que les données qui concerne l'utilisateur qui y est raccordé [11].

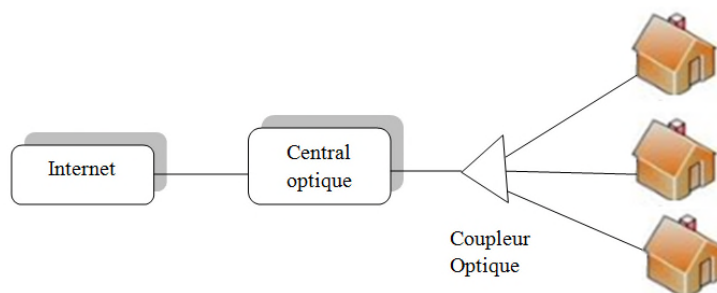


Figure I.16 : Architecture point-multipoint

I.2.3.2.1 les avantages et les inconvénients

➤ **les avantages**

- aucun élément électronique actif dans le réseau d'accès, c'est la structure passive.
- Permet des économies sur la quantité de fibres à poser, et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil.
- Réduit des dépenses capitales et des couts d'exploitation associés.
- Les frais bas d'entretien de ces composants optiques passifs réduiront de manière significative du cout de mises à niveau et de dépenses de fonctionnement.
- Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.
- Architecture favorable à la diffusion.

➤ **Les inconvénients**

- Pas d'interopérabilité avec d'autres réseaux.
- Bande passante partagée et limitée.
- Sécurité des données nécessaire.
- Zone de couverture limitée : au maximum 20 Km en fonction du nombre de divisions (plus de divisions=moins de distance).
- Capacité de planification difficile pour les applications d'entreprise.

I.2.4 Comparaison entre les deux architecture P2P et PON

Paramètre	Point à point	Point multipoint
Gestion de chiffrement	Pas requis	Nécessaire
Bande passante	Bande passante non partagée sur le réseau d'accès	Allocation dynamique de la bande en fonction des besoins des utilisateurs
Distance	15 km	20 km
Fibre	1 fibre par abonné de bout en bout	1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement, 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport
Energie	2 watt/abonné Dissipe au NA	0.6 watt/abonné dissipé au NA
Débit maximum	100 Mbit/s ou 1Gbit/s symétrique selon connexion	Jusqu'à 2.5 Gbit/s en descendants et 1 Gbit/s en montant
Débit garantie	100 Mbit/s ou 1 Gbit/s symétrique selon connexion	Jusqu'à 78 Mbit/s descendant en split de 32
Place occupée	1U pour 28 à 48 abonnés	4U pour 512 à 2304 abonnés

Tableau I.2: comparaison entre P2P et PON

I.2.5 Les réseaux optique passifs PON (passive Optical network)

La technologie PON constitue une référence en matière de réseaux d'accès au très haut débit, elle minimise les fibres et permet d'offrir une capacité de transport meilleur. Cette technologie utilise comme infrastructure des fibres optiques passifs, car les équipements de la partie intermédiaire ne sont pas alimentés en électricité ils sont et n'embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent l'acheminement du flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit jusqu'à l'utilisateur final (entreprise ou particulier) [12].

Les réseaux PON sont normalisée au niveau international par les principaux organismes de normalisation : l'ITU (International Télécommunication Union), le FSAN (Full Service Access Network) et l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

I.2.5.1 Architecture de réseau PON

Les architectures PON peuvent être en étoile, en arbre ou en bus. La structure en arbre étant la plus commune et la plus déployée pour les réseaux PON.

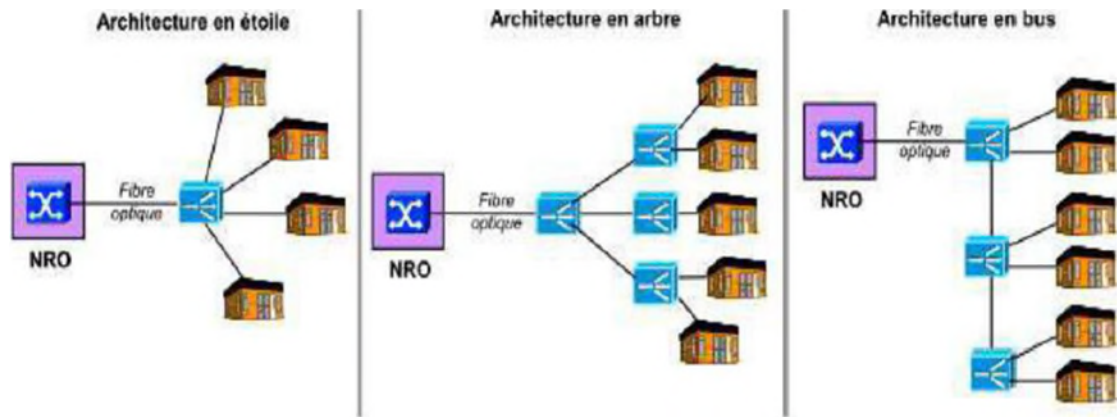


Figure I.17 : Architectures des PON

I.2.5.1.1 Architecture PON unidirectionnelle

L'architecture PON unidirectionnelle, est constituée d'un émetteur OLT (Optical Line Terminal), coupleurs (Splitter) et ONU (Optical Network Terminaison). Afin qu'il n'y est pas d'interférences entre un client et un autre chacun d'eux ont un intervalle du temps bien précis

La figure montre une liaison unidirectionnelle ou une fibre est dédiée pour le sens ascendant et une autre pour le sens descendant [13].

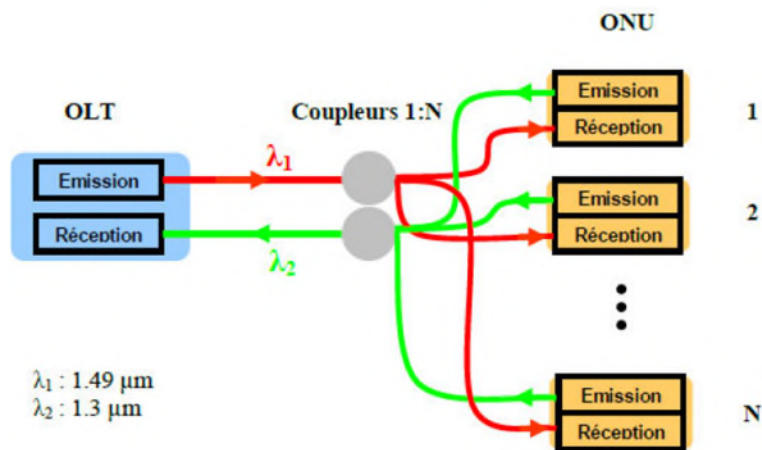


Figure I.18 : architecture unidirectionnelle

Le signal descendant est émis à 1.49μm et celui du sens est émis ascendant à 1.31μm.

I.2.5.1.2 Architecture bidirectionnelle

La différence entre l'architecture PON unidirectionnelle et l'architecture PON bidirectionnelle, c'est l'utilisation d'un duplexeur, il peut s'agir d'un circulateur, d'un coupleur ou d'un multiplexeur, et cela afin de simplifier le réseau et économiser de la fibre [13].

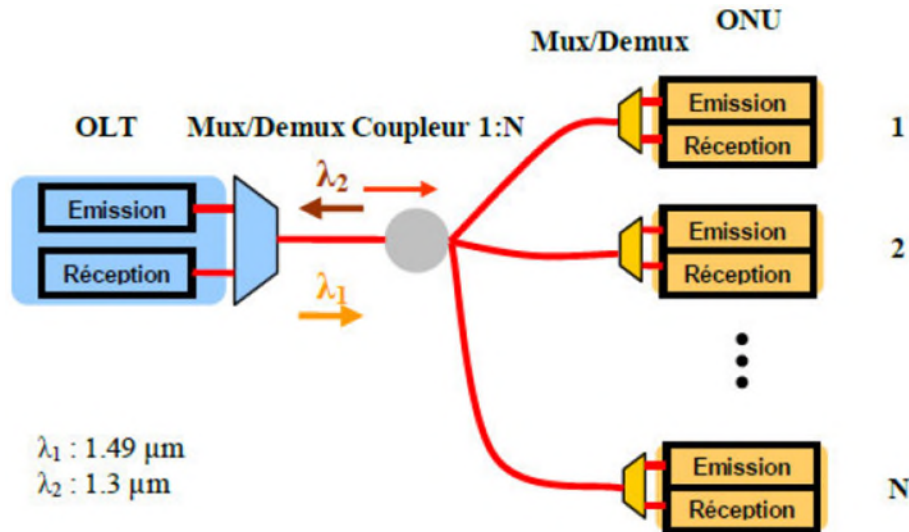


Figure I.19 : Architecture bidirectionnelle

La figure I.19 montre bien l'utilisation d'un multiplexeur afin de combiner les signaux émis, et à la réception il y a un démultiplexeur afin de reconstituer le signal initial et l'envoyer à la destination.

I.2.6 Standards X-PON

Il existe plusieurs standards X-PON qui sont normalisés soit par IUT, IEEE ou du groupe FSAN (FULL Service Access Network). Ces standards sont APON (Asynchronous Transfer Mode-based PON), BPON (Broadband PON), EPON (Ethernet PON), GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network), XGPON et NGPON2 (Next-Generation Passive Optical Network 2).

I.2.6.1 standard APON

APON décrit l'opération PON en utilisant l'encapsulation du mode de transfert asynchrone (ATM). Celle-ci a été développée pour la première fois dans les années 1990 par le réseau d'accès au service complet (FSAN) et normalisée dans le standard G.982 [14]. Le système APON peut relier jusqu'aux 32 abonnés au PON et leur fournit un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbits/s ou 155 Mbits/s en aval, 155 Mbits/s en amont). Dans le

sens descendant. Le multiplexage des cellules ATM est utilisé alors que le protocole TDMA s'utilise dans le sens ascendant.

I.2.6.2 standard BPON

Broadband PON est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'ETHERNET et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo) standardisé par l'ITU-T en 2005 (norme G983.1) [15]. Les améliorations récentes de l'APON incluent une vitesse élevée, le multiplexage en longueur d'onde (WDM), une allocation dynamique de la largeur de bande, une meilleure sécurité de données et une OMCI (ONU Management Control Interface) qui désigne le système de gestion et définit les messages associés qui participent à la configuration et à la supervision des équipements OLT et d'un réseau optique. Ce réseau opère avec des débits downstream/upstream : 155Mb/s, 155Mb/s, 622Mb/s ,622Mb/s.

I.2.6.3 standard EPON

EPON (Ethernet PON) est un réseau dans le quel la topologie point-multipoint (P2MP) est mise en application.

La différence principale entre EPON et APON est que les architectures EPON les données sont transmises en paquets de longueurs variable jusqu'à 1.518 octets selon le protocole IEEE 802.3 pour l'Ethernet, tandis que dans APON les données sont transmises en cellules de longueur fixe de 53 octets (charge utile 48-octets et 5 octets d'en tête), comme indiqué par le protocole ATM

Le débit maximal est 1,25Gbit/s symétrique, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT [5].

I.2.6.4 standard GPON

La solution point-multipoint est mise en œuvre avec la technologie GPON dans la voie montante on utilise une longueur d'onde de 1310nm, dans la voie descendante 1490nm, le taux de partage du ou des coupleur(s) 1vers 64(voir 128) utilisateurs, la solution a comme portée de rayon de couverture 20km.

Le GPON (Gigabit capable PON), défini par la norme G.984, permet des débits de 2.5 Gbit/s en voie descendante sur une longueur d'onde 1490nm et un débit de 1.25Gbits/s sur

une longueur d'onde de 1310nm pour la voie montante. Le GPON utilise un multiplexage TDM et le partage des ressources dans le sens montant s'effectue par le TDMA [16] [17].

Le GPON apporte plus de fonctionnalités que l'EPON (qualité de service définie, fragmentation des données, attributions de priorités...) et possède sa propre méthode d'encapsulation, appelée <<GEM>> (GPON Encapsulation method). Il fournit l'ATM pour la voix. L'Ethernet pour les données et une encapsulation propriétaire pour d'autres services [16] [17].

I.2.6.4 .1Norme de GPON

ITU-TG.984 comprend quatre parties :

- G984.1 : est dédié, à l'architecture, aux débits, à la portée, au taux de partage et au mécanisme de protection.
- G984.2 : parle de budget optique et des puissances mise en œuvre dans le réseau GPON.
- G984.3 : explique la transmission entre l'OLT et l'ONU.
- G984.4 : expose les échanges entre l'OLT et les différents services

I.2.6.5 Standard XG-PON

Appelé aussi NG-PON1 (première nouvelle génération de PON), ce standard existe en deux variantes XGPON1 et XGPON2 [18] [19]. Le XGPON1 normalisé par l'UIT (G.987), propose un système asymétrique caractérisé par un débit descendant de 10Gbit/s associé par un débit montant de 2.5Gbits/s. Il est défini par son plan d'allocation en longueur d'ondes (1575-1580nm) pour les signaux descendants et (1260-1280nm) pour les signaux montants.

Les spécifications de la couche physique de ce standard sont répertoriées le tableau :

OND Class	Perte de liaison min (dB)	Perte de liaison Max(dB)	Marge (dB)	Type de fibre optique	Taux de Partage	Portée physique	Portée logique
N1	14	29	3	IUT-T G652	1 :64 Allant à 1 :128	20Km	60Km
N2	16	31	3				
E1	18	33	3				
E2	20	35	3				

Tableau I.3 : spécification technique du XG-PON1

I.2.6.6 NG-PON2

NG-PON2 normalisé par l'UIT en 2014 et 2016 (G.989.1 et G.989.2), permet un débit agrégé de 40 Gbit/s (voir jusqu'à 80 Gbit/s) dans le sens descendant et 10 Gbit/s dans le sens montant. Il possède 3 types de débit canal : basic : 10/2.5 Gbit/s ou optionnel 10/10 Gbit/s et 2.5/2.5 Gbit/s [20] [21].

Le NG-PON2 se concentre sur les technologies TDM-PON, WDM-PON (la longueur d'onde est allouée à l'utilisateur).

Les spécifications de la couche physique sont répertoriées dans le tableau suivant :

ODN Class	Perte de liaison min (dB)	Perte de liaison max(dB)	Type de fibre optique	Taux de partage	Portée (Km)
N1	14	29	IUT-T G652	Max 256	40
N2	16	31	ET IUT-T		
E1	18	33	G657		
E2	20	35			

Tableau I.4 : spéciation technique de NG-PON2

I.2.7 Comparaison des standards d'un réseau PON

Le tableau ci-dessus résume les caractéristiques des différents standard d'un réseau PON défini précédemment.

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

Tableau I.5 : Comparaison des standards d'un réseau PON

I.2.8 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON

Les avantages d'un réseau GPON sont principalement économiques :

- Un OLT peut desservir au moins 64 clients.
- Architecture favorable à la diffusion (typiquement diffusion TV).
- Peu de fibre sont employée dans le réseau GPON.
- Aucun local alimenté en énergie n'est nécessaire dans ce type de réseau. Ce qui entraîne des économies d'investissements, d'exploitation et de maintenance.

Cependant, il y a aussi un grand nombre d'inconvénients à surmonter :

- Budget optique limité par le coupleur, donc portée réduite.
- Débit partagé et limité à la capacité de la fibre commune.
- Synchronisation compliquée pour le sens montant.
- Les flux étant reçus par tout le monde, le tri se faisant au niveau des ONT.

Malgré tous ces inconvénients. C'est l'architecture majoritairement retenue par les opérateurs. Ce choix se justifie à posteriori par la conjecture économique actuelle qui est à l'économie.

I.2.11 Conclusion

Dans cette partie on a donné un aperçu sur les réseaux d'accès optiques, dans un premier temps on a cité les différentes topologies utilisées pour le déploiement de FTTH (Fiber to the home) : point à point, point à multipoint. On a particulièrement met l'intérêt sur les réseaux optiques passifs, dans un deuxième temps on a vu le fonctionnement du réseau GPON.

Dans le chapitre suivant nous allons voir une étude détailler du réseau FTTH et les différents composants le constituant ainsi qu'une étude d'une liaison FTTH à bejaia.

II.1 Introduction

De nos jours, l'accès aux services numériques large bande est devenu essentiel et il est évident que seules les infrastructures en fibre optique qui peuvent assurer la disponibilité d'un vrai haut débit. Dans ce contexte, les réseaux d'accès optique jusqu'à l'abonné nommés FTTH sont devenus une solution intéressante.

Ce chapitre est consacré à l'étude de la solution FTTH dans la ville de Bejaia. Dans une première section nous nous sommes intéressés à l'architecture du réseau FTTH ainsi que les composants passifs du réseau FTTH. Ensuite nous ferons une étude de la zone Z060-001 qui relie SIDI ALI LEBHER (BEJAIA) au nœud de raccordement optique qui se situe au Centre d'amplification (CA) à cité Tobal (Bejaïa).

II.2 Structure du réseau FTTH

Le déploiement de la solution FTTH en câbles optique s'effectue autour de plusieurs nœuds et répartiteurs, dans ce qui suit on présente les principales règles d'ingénieries à appliquer lors du dimensionnement des réseaux d'accès FTTH.

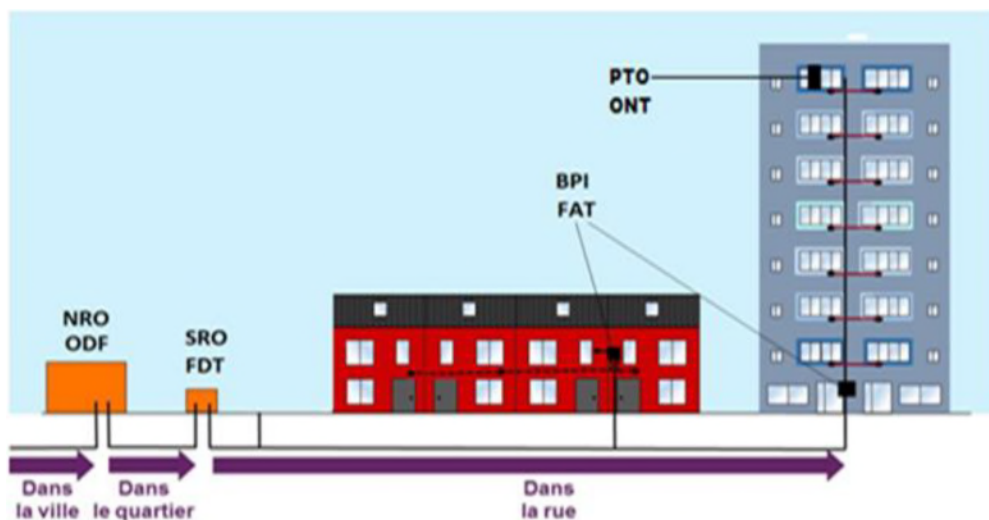


Figure II.1 : composants passifs du réseau FTTH.

II.2.1 Nœud de raccordement optique (NRO)

Le nœud de raccordement optique c'est la juste interface entre le réseau de collecte c'est à dire l'ensemble des services proposer (internet, téléphonie, vidéo) et le réseau de desserte, il est le point de départ des liens optique vers les utilisateurs.

Le NRO abrite l'OLT (Optical Line Terminal) un équipement qui fait l'interface entre le réseau national de collecte de l'opérateur et le réseau d'accès. L'OLT se présente sous forme de baies avec des cartes et des ports. Avec 17 cartes dans un OLT, on peut desservir 17 000 clients.

Les abonnés dépendent la pluparts du temps d'une architecture en GPON (Gigabit Passive Optical Network). Cela signifie qu'ils se partagent une même fibre et un même signal lumineux pour faire transiter les données. Mais chacun se voit attribuer sa propre fibre à la fin pour uniquement recevoir ses propres informations.

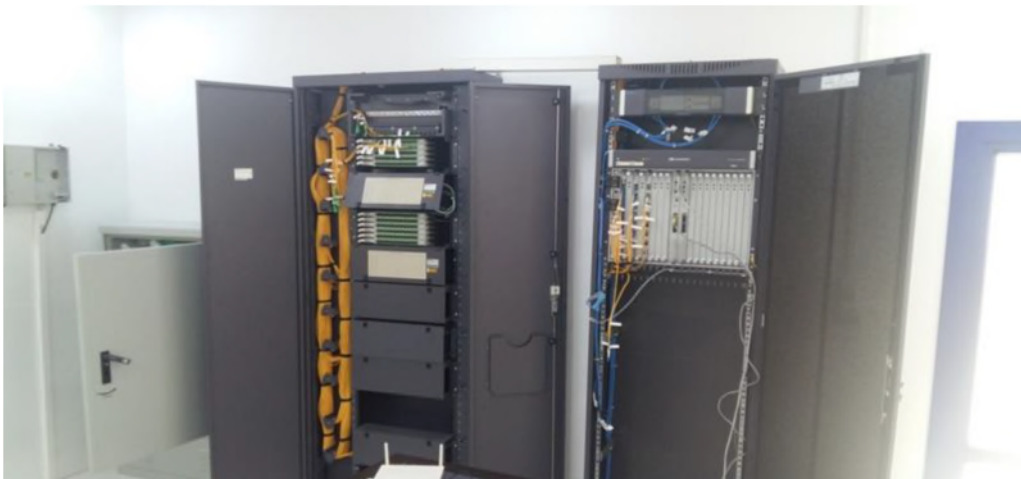


Figure II.2: Nœud de raccordement optique

II.2.2 Sous répartiteur optique (SRO)

Le sous répartiteur optique SRO est une armoire de rue similaire aux sous répartiteurs utilisés au niveau des réseaux téléphoniques.

Il est défini comme le point à partir duquel l'opérateur à accès au réseau de desserte des bâtiments, il est appelé aussi point de mutualisation.

Les câbles viennent du nœud de raccordement optique via l'infrastructure de génie civil souterrain qui aboutisse vers le sous répartiteur optique appelé aussi armoire de mutualisation.



Figure II.3 : Sous Répartiteur Optique

II.2.3 Boitier Pied de l'Immeuble (BPI)

Situé généralement en pied d'immeuble, ce boîtier permet le raccordement des câbles venant de l'extérieur et ceux de la colonne montante où se trouvent les points de branchement qui desservent ensuite chaque logement.



Figure II.4 : Boitier Pied Immeuble

II.2.4 Prise Terminal Optique (PTO)

La Prise Terminale Optique PTO relie l'abonné au point de branchement (BPI) par un câble de branchement mono-fibre ou bi-fibre en fonction de la catégorie de l'abonné à desservir. De la on peut connecter le modem optique ONT a cette prise pour bénéficier des avantages de l'offre demandée.



Figure II.5 : Prise Terminal Optique

II.2.4.1 Modem Optique

Le modem utilisé dans l'installation de la fibre optique jusqu'à la maison FTTH (Fiber To The Home) diffère du modem utilisé dans le réseau ADSL, à l'aide d'une jarretière optique on branche le modem depuis la prise optique PTO.

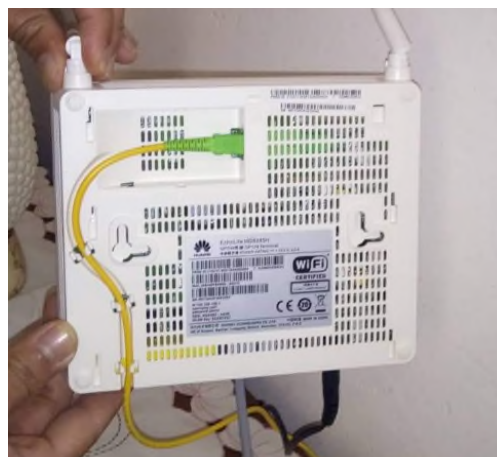


Figure II.6 : Modem optique

II.2.5 Le coupleur Optique

On appelle coupleur le composant qui est intégré dans la ligne, assure la fonction diviseur ou concentrateur de la transmission. C'est un équipement passif qui ne nécessite aucune alimentation électrique, son fonctionnement est basé sur la propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre.

Dans le sens montant le coupleur permet de combiner par addition les signaux optiques, dans le sens inverse (sens descendant) il divise le signal optique qui vient de L'OLT.

Le coupleur n'est pas capable d'aiguiller, de modifier, de retarder ou de bloquer les signaux qui le traversent.



Figure II.7 : Coupleur Optique

II.2.6 Jarretière Optique

Désigne une ensemble intégrant 1 à 2 fibre sur gainées (1,6 à 2,8 mm) et équipée de fiches à chaque extrémité utilisée en vue de raccorder les fibres arrimées sur un tiroir optique à un équipement.



Figure II.8 : Jarretière optique

II.3 Composants du réseau PON

La figure ci-dessous représente les composants du réseau PON

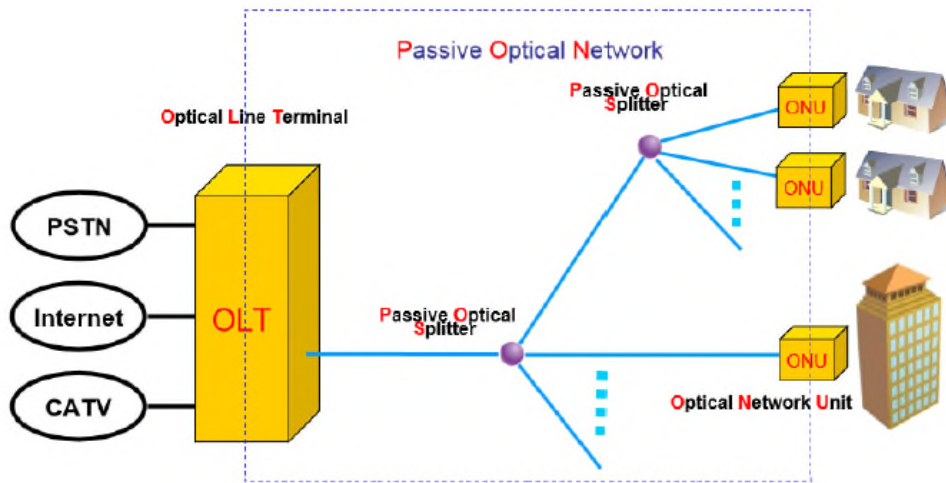


Figure II.9 : Composants du réseau PON

L'OLT (Optical Line Terminal) dispose de ports PON permettant d'émettre/recevoir des flux vers plusieurs équipements terminaux d'abonnés (ou ONT : Optical Network Terminal) via un réseau de distribution optique ODN (Optical distribution Network) employant des composants optiques passifs et permettant de réaliser la transmission optique de la terminaison OLT vers les utilisateurs, et vice versa.

II.3.1 Terminaison de ligne optique

L'OLT est situé dans un bureau central et contrôle le flux bidirectionnel des informations sur l'OND. Chaque OLT est chargée d'éviter toute interférence entre le contenu de la liaison descendante et la voie de liaison montante, en utilisant les techniques WDM (Wavelength Division Multiplexing). Deux longueurs d'ondes différentes sont utilisées : l'une pour la voie montante et l'autre pour la voie descendante.

II.3.2 Terminal/Unité de réseau optique

Un ONT est situé directement dans le local du client. Il sert à fournir une connexion optique au PON et de filtrer les informations associées à un utilisateur particulier de l'OLT. Ils ont aussi la fonction d'encapsuler les informations d'un utilisateur particulier de l'OLT.

Il existe une grande variété d'ONT avec des conceptions fonctionnelles et de configurations de base différentes. Leurs dimensions peuvent varier d'une simple boîte fixée à l'intérieur de

la maison, à une unité sophistiquée montée sur une armoire pour l'utilisation dans les applications MDU/MTU (Multi Dwelling/Tenant Unit) comme par exemple les complexes d'appartements ou de bureaux.

La sécurité des données est nécessaire en réception car l'ensemble des utilisateurs reçoivent 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.

II.3.3 principe de partage de la fibre entre abonnés

Comme était mentionné auparavant, un réseau PON, représenté comporte le central qui se dénomme NRO (un nœud de raccordement optique), sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce NRO est lui-même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals (résidences, entreprises...) appelé ONU ou ONT.

Les réseaux PON ont classiquement une portée de 20kilomètres, quels que soient les flux transportés, ce qui permet en réalité de couvrir une superficie de 20 kilomètres de rayon sans aucun répéteur.

➤ Sens descendant

Chaque abonné ne reçoit que les informations qui le concernent dans le sens descendant. L'information est diffusée pour tous les ONT par la technique de multiplexage TDM (Time Division Multiplexing), par la suite les ONT reçoivent toutes les données mais un seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné (figure II.10) [13].

Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données. Si un seul abonné télécharge, il peut disposer de tout le débit maximum autorisé par le PON (sauf limitation mise en place par l'opérateur, par choix commercial ou technique vis-à-vis de son réseau de collecte).

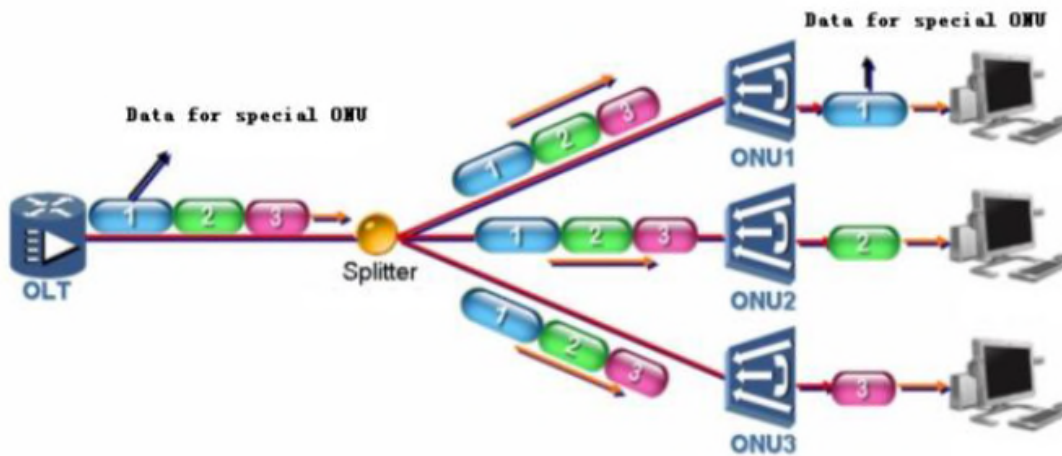


Figure II.10: Architecture du sens descendant.

La séparation du flux montant du flux descendant se fait à l'aide d'un multiplexage en longueur d'ondes (WDM).

➤ Sens montant

Dans le sens montant, le coupleur étant passif, et les ONT émettent tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parviennent simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. On utilise donc un partage du temps de parole (TDMA: time division multiplexing Acces) [13]

L'OLT attribue à tour de rôle à chaque ONT un intervalle de temps (quelques micro secondes) pendant lequel cet ONT est seul autorisé à émettre (figure II.11).s'il a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui attribue d'avantage de temps de paroles, et inversement elle réduit pour les ONT qui émettent peu.

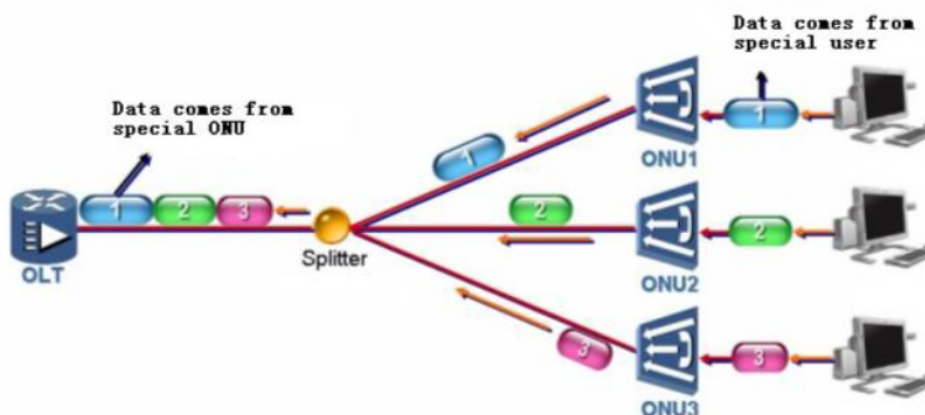


Figure II.11 : architecture du sens montant

II.4 Déploiement de la solution FTTH à BEJAIA

II.4.1 Liaison CA Bejaia – SRO SIDI ALI LEBHER

4.1.1 Réseau feeder

On représente ci-dessous une image satellite de la liaison ou on a notre point de départ qui est le répartiteur ou il y'a l'OLT vers le sous répartiteur Optique SRO appelé aussi dans cette étude FDT qui se trouve à SIDI ALI LEBHER. La distance entre ces deux équipements est de 4.315 KM de fibre optique mise sous terrain. Dans la partie distribution c'est à dire du sous répartiteur au boîtier du pied de l'immeuble on a une distance de 1.840 KM, vers le client on a 30 mètre.



Figure II.12 : image satellite de la liaison

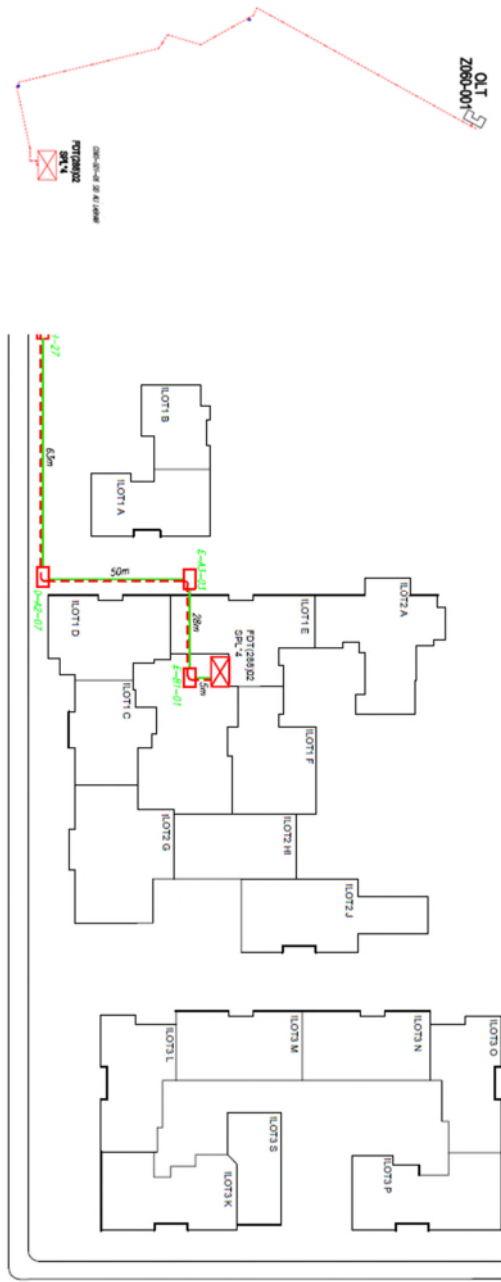


Figure II.13 : Plan design feeder

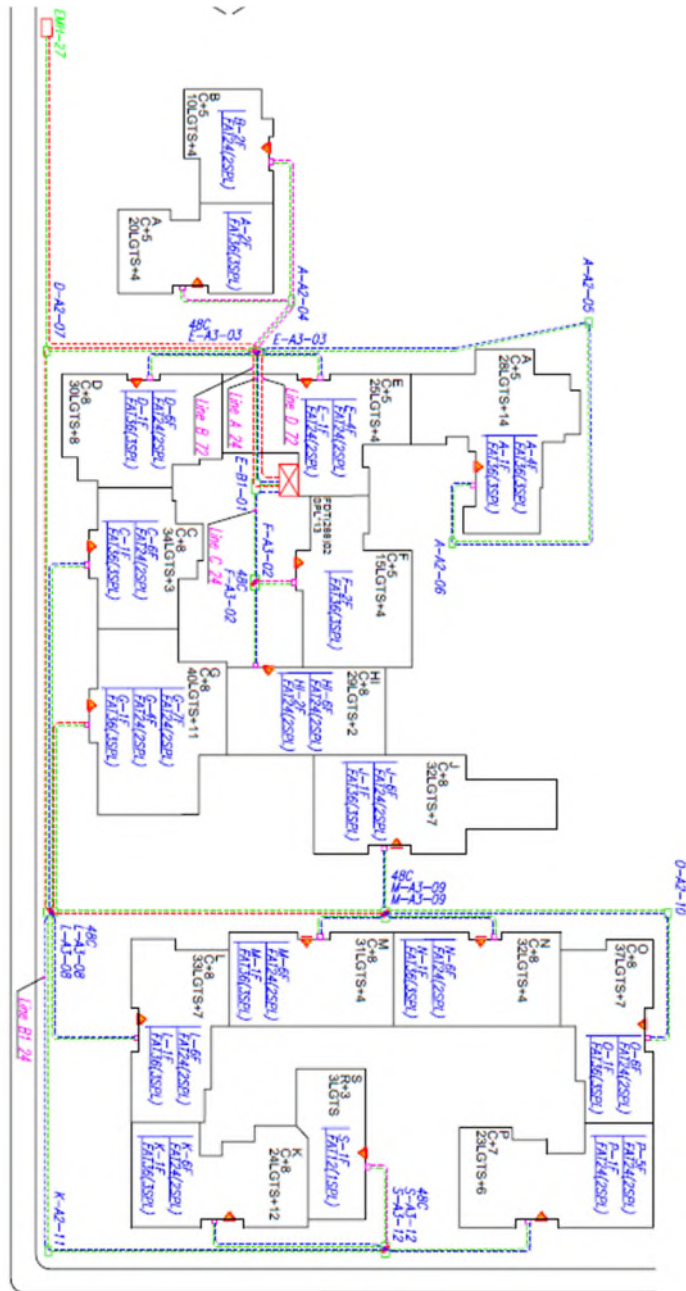


Figure II.14 : Schéma de câble partie distribution

II.4.1.2 Type d'OLT

L'entreprise ALGERIE TELECOM utilise deux type d'OLT qui lui sont fournis par le constructeur HUAWEI qui sont :

- MA5800-X7
- MA5800-X17

Dans cette installation l'entreprise à utiliser un OLT de type MA5800-X7.

II.4.1.3 Type de coupleur

Dans la liaison l'entreprise à utiliser des splitter de (1:8) au niveau du SRO et du BPI (Boitier Pied d'Immeuble) sa consiste a démultiplexer une seul fibre en 8 autre fibre.

II.4.1.4 La fibre optique monomode type G 652.D et G 657.A

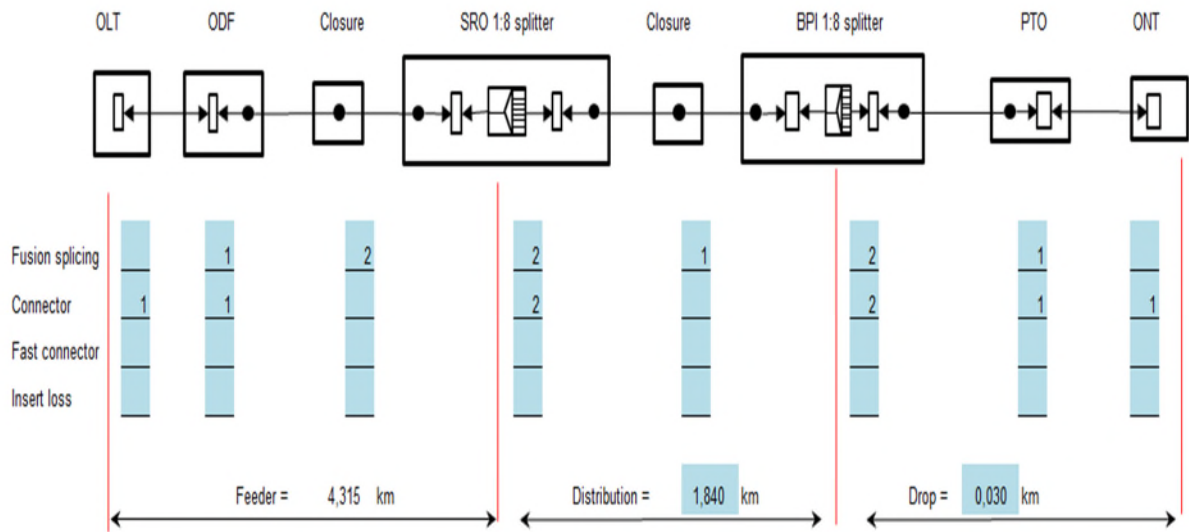
La fibre G657.A compatible avec la fibre optique G652.D. Elles présentent les avantages suivants :

- Affaiblissement réduit et optimisé dans la plage 1260-1625 nm
- Double revêtements acrylate pour assurer la durabilité de la fibre a long terme.
- Dispersion réduites permettant de garantir l'évolutivité des réseaux et plus particulièrement l'augmentation des débits (10 Gigabits Ethernet, ATM 10 et 40 Gbit/s SONET, SDH, DWDM et CWDM) sur longues distances.
- Caractéristiques géométriques optimisées permettant de réduire les pertes aux épissures (soudures).
- Faible sensibilité a la courbure facilitant la mise en œuvre.

II.5 Le bilan optique

A la fin d'installation de notre système FTTH, il faut vérifier les performances de la liaison optique jusqu'à la prise terminale optique en calculant l'atténuation générale de cette liaison en utilisant le Bilan optique (méthode utilisée par les techniciens de Algérie télécom). Chaque composant a une atténuation qui (figure II.11).

Le but de ses calculs est d'assurer que le système respecte le seuil d'atténuation vers le client final qui ne dépasse pas 28db (classe B+).



Min. OLT power out: 1,5 (dBm) Max. OLT power out: 5 (dBm) SPL type : 1:8 SPL quantity: 2 pcs

Link attenuation = $L \times a + n1 \times b + n2 \times c + d + e + f = 26,66$

ONT Input optical power Range = -8 to -27 (dBm)

ONT receive attenuation = Minimum output optical power - Link attenuation = -25,16 (db)

Conclusion : link attenuation satisfy ITU G.984.2 class B+ standard

Optical power attenuation in ODN link

No.	Name	Type	Attenuation (dB)	Unit loss (dB)
1	Optical cable (G.652D)	1310 nm optical cable (db/km)	0,35	2,16475
		1490 nm optical cable (db/km)	0,22	1,3607
		1550 nm optical cable (db/km)	0,2	1,237
		1625 nm optical cable (db/km)	0,24	1,4844
2	Connector type	Fusion splicing	0,1	0,9
		Connector	0,3	2,4
		Fast connector	0,5	0
		Insert loss	1	0
3	Splitter type	1:64	20,5	0
4		1:32	17	0
5		1:16	13,8	0
6		1:8	10,6	21,2
7		1:4	7,5	0
8		1:2	3,8	0

$L \times a$: link attenuation (a : optical cable loss/km, L : optical cable length)

$n1 \times b$: total fusion splicing loss (b : unit fusion splicing loss, n1 : adaptor quantity)

$n2 \times c$: total faster loss (c : unit faster loss, n2 : mechanical splicing quangity)

d : total insert loss

e : total splitter loss

f : Spare link budget

Note: Please fill the relevant information on blue part table

Figure II.14 : Bilan Optique

Dans le cas de notre liaison le link attenuation a atteint 26.66 db donc le seuil d'atténuation est respecter dans notre liaison, ce qui satisfait le standard ITU G.984.2 Class B.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu la solution FTTH exploitée sur la ville de bejaia et la structure de ce réseau avec les différents équipements qui le constitue.

Les ingénieurs d'Algerie télécom ont réalisé le bilan optique de la liaison afin de vérifier ses performances et qui satisfait le standard IUT-T 984 2 B+.

Le chapitre suivant sera consacré au réseau GPON et à la simulation de ce réseau a l'aide du logiciel OPTISYSTEM.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire l'étude d'une liaison GPON à l'aide du logiciel OPTISYSTEM, ce logiciel permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique, il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique. Dans un premier temps nous allons présenter ce logiciel ainsi que les différents composants et éléments utilisés dans notre liaison.

Ensuite nous allons présenter les résultats obtenus avec l'architecture point à multipoint (PON), et cela en fixant le débit binaire et en variant les paramètres tels que, la distance de la fibre optique, et la fréquence de la longueur d'onde. Puis on visualise les résultats sur l'analyseur de taux d'erreur(BER).

La configuration utilisée dans notre projet est une configuration réel de réseau FTTH GPON basée sur le standard UIT-T G.984.2.

III.2 Présentation du logiciel OPTISYSTEM

Le logiciel OPTISYSTEM développé par une société canadienne OPTIWAVE; Optical Communication System Design Software, il permet aux chercheurs, aux scientifique et aux ingénieurs télécom optique de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout système optique.

Les systèmes d'OPTISYSTEM possèdent un environnement de simulation puissant et une définition vraiment hiérarchique de composants et systèmes, ses capacités peuvent être facilement élargies avec l'ajout de l'utilisateur de composants et d'interfaces continu à une gamme d'outils largement utilisée.

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- ✓ Construire le schéma bloc.
- ✓ Analyser le schéma.

Notre système est une liaison GPON (Gigabit Passive Optical Network) qui se compose d'un OLT (Optical Line Terminal), d'un SRO (sous répartiteur optique), d'un BPI (boitier pied de l'immeuble), et d'un ONT (Optical Network Terminaison), et de splitter.

cette liaison permet d'atteindre des débits importants qui peuvent aller jusqu'à 2.5 Giga bits/s avec une bonne qualité de transmission. Dans cette liaison il existe deux sens, le sens descendant les données partent de l'OLT vers l'ONU/ONT, et le sens montant, les données partent de l'ONU/ONT vers l'OLT.

III.2.1 Description du logiciel OPTISYSTEM

OPTISYSTEM est un logiciel pour WINDOWS ; parmi ses diverses applications nous allons citer les plus utilisées

- ✓ La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique
- ✓ Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- ✓ La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- ✓ L'espace libre pour les systèmes optiques.
- ✓ La conception d'anneau SONET/SDH
- ✓ La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

OPTISYSTEM comprend essentiellement une fenêtre principale répartie en plusieurs parties :

- ✓ Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- ✓ Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.
- ✓ Vue d'ensemble du projet : permet la visualisation miniature de layout en cours d'édition.
- ✓ Bibliothèque : une base de données de divers composants existants, elle contient tout type de modèle qui permet de réaliser les différents schémas.

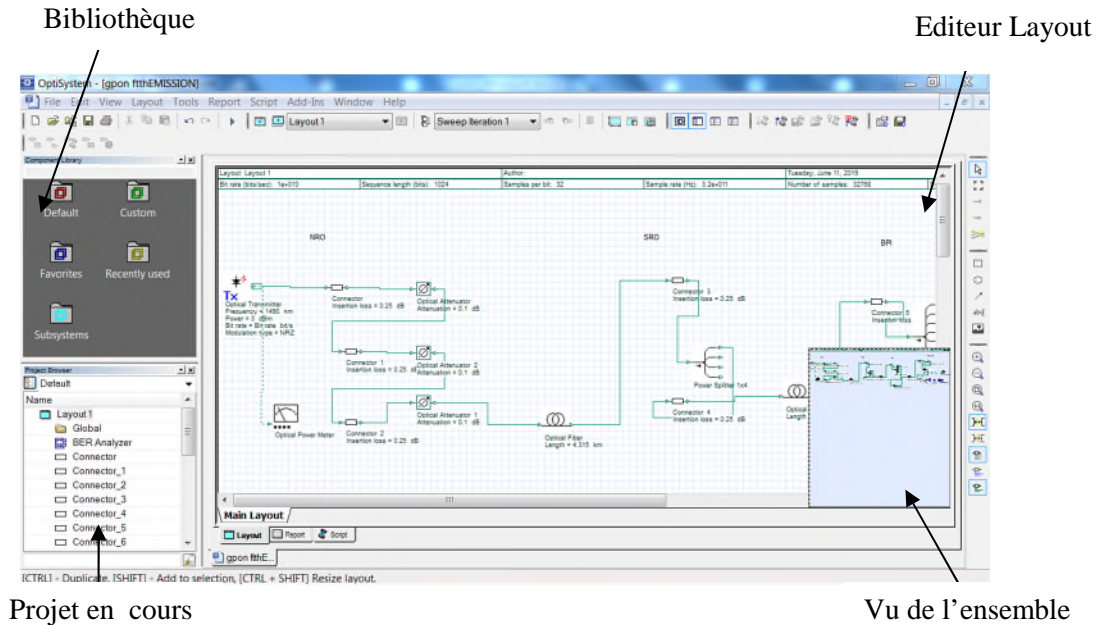


Figure III.1 : les fenêtres d'OPTISYSTEM 7.0

III.3 Critères de qualité d'une transmission

Afin de connaître le bon fonctionnement d'un système, on compare la séquence envoyée à celle reçue, cette dernière est obtenue en mesurant la qualité de transmission, pour cela il y'a trois critères principaux qui sont : le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil.

- **Le facteur de qualité**

Facteur de qualité, ou le facteur Q , est un critère de qualité d'un signal optique. Il est obtenu à partir des statistiques du bruit des niveaux (1) et (0) du signal à détecter tel que :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_2}$$

Où I_1 et I_0 sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile, δ_1 et δ_2 sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

- **Le taux d'erreurs binaire (BER)**

Etant donné que les systèmes de transmission des données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires, le critère le plus intuitif permettant

d'évaluer la qualité du signal transmis est la comparaison entre la séquence binaire à l'émission et celle à la réception nous parlons dans ce cas de taux d'erreur binaire. Il est défini par le rapport entre le nombre de bit envoyés et le nombre de bit reçus

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

Un système est généralement considéré de bonne qualité en télécom optique si ce BER est inférieure à une valeur de 10^{-9} , 10^{-12} ou 10^{-15} suivant les systèmes.

- **Le diagramme de l'œil**

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise, c'est la façon visuelle pour estimer la qualité d'un signal, plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus le facteur de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile.

III.4 Le bilan optique de puissance

Le bilan optique représente l'atténuation maximale (y compris la marge) que l'on peut supporter entre l'émetteur et le récepteur pour assurer une qualité donnée.

$$Att_{totale} \text{ [dB]} = \alpha_{lin} \text{ [dB/Km]} * L \text{ [Km]} + \Sigma Att_{epi} \text{ [dB]} + \Sigma Att_{conn} + Att_c + M_{Sys} \text{ [dB]}$$

$$P_{Rx} \text{ [dBm]} = P_{Tx} \text{ [dBm]} - (Att_{totale} \text{ [dB]} + M_{Sys} \text{ [dB]})$$

$$M \text{ [dB]} = (P_{Tx} \text{ [dBm]} - S \text{ [dBm]}) - (Att_{totale} \text{ [dB]} + M_{Sys} \text{ [dB]})$$

$$B \text{ [dB]} = Att_{totale} \text{ [dB]} + M \text{ [dB]}$$

Avec:

- Att_{totale} : L'atténuation totale
- Att_{epi} : L'atténuation des épissures
- Att_{conn} : L'atténuation des raccordements
- α_{lin} : L'atténuation linéique
- Att_c : L'atténuation des coupleurs
- M_{Sys} : La marge de système (6dB)
- L: la distance parcourus

- S: la sensivité de -28dBm
- P_{Tx} : Puissance d'émission
- P_{Rx} : Puissance de réception
- B: budget de puissance
- M: La marge, elle inclut le vieillissement irréversible sur les différents éléments passifs du réseau : fibres, connecteurs, coupleurs, épissures et les éléments réversibles tels que l'altération de câbles après la mise en œuvre du réseau, la salissure des connecteurs, les contraintes mécaniques sur les câbles et les réparations. En cas d'un nombre de connecteurs important, une marge plus grande sera prise en compte.

III.5 La solution FTTH à deux niveaux

La solution FTTH GPON en arbres avec un scénario à deux niveaux de splitter de 1:8 / 1:8 permettant d'avoir 64 clients par PON tous en respectant une atténuation G-PON inférieure à 28 dB (classe B+) selon le standard UIT-T G.984.2.

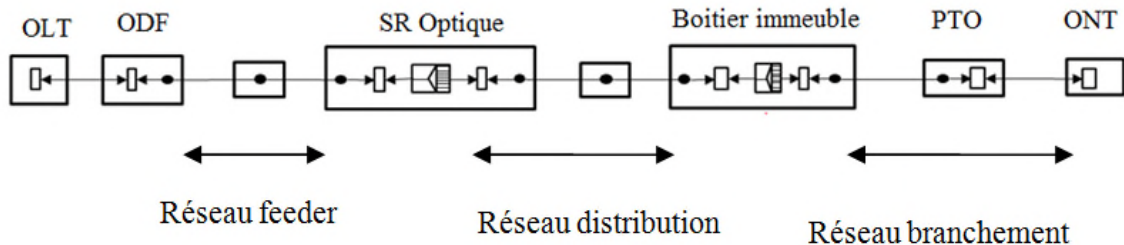


Figure III.2 : schéma de la liaison FTTH

III.6 Partie expérimentale

III.6.1 Présentation des composants utilisés et leurs caractéristiques

Les tableaux suivant représentent la liste des matériels utilisés et leurs différentes caractéristiques :

Segment	Type de matériel	Matériel
Alimentation	Matériel de terminaison	OLT, ODF
	Câble feeder	FO Duct G 652.D
		FO Aerial G 652.D
Segment de distribution	Matériel de terminaison	Armoire de rue SR Optique
	Câble de distribution	FO Duct G 652.D
		FO Aerial G 625.D
Autres	Coupleur 1 :8 Connecteur sc-upc	
Drop segment	Matériel de terminaison	Boitier bas immeuble
	Câble à faible courbure	FO Duct G 657.A
		FO Aerial G 627.A
Autres	Coupleur 1:8 Connecteur sc-upc	
Indoor segment	Matériel de terminaison	ONT/ONU
	Câble a faible courbure	Drop indoor G.657.A
	Autres	Connecteur sc-upc Epissure + jarretiére optique

Tableau III.1: Liste des matériels

Dispositif	Spécification
Câble de fibre optique	Max 0.35 dB/km
Connecteur	0.25 dB
Epissure	0.1 dB
Coupleur 1 :8	10.6 dB
Distance	Max 17 km
Sensitivité de Rx	-28 dbm

Tableau III.2 Caractéristiques des dispositifs

Liaison GPON Simulé

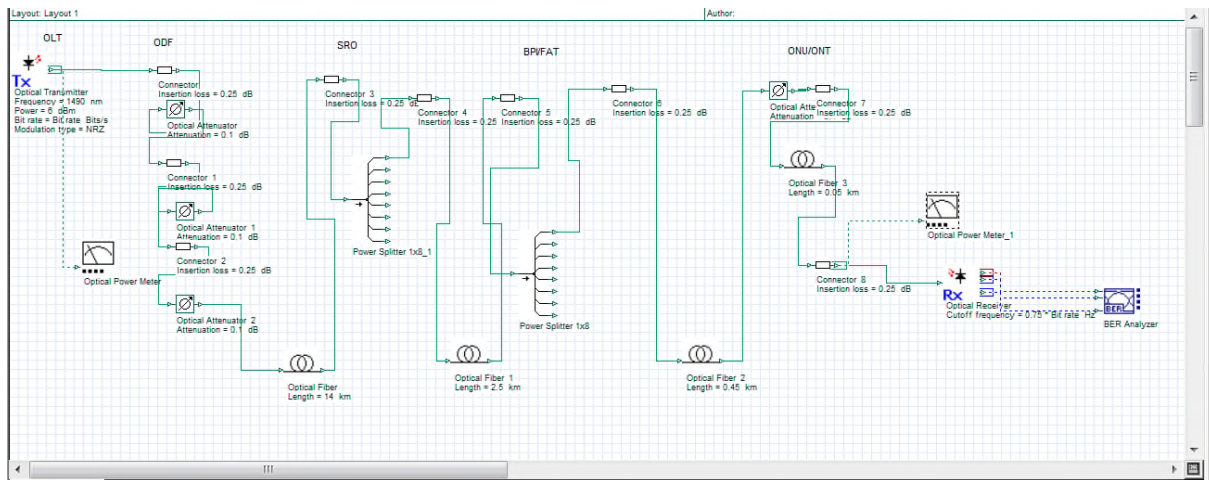


Figure III.3 : Configuration en aval du réseau GPON

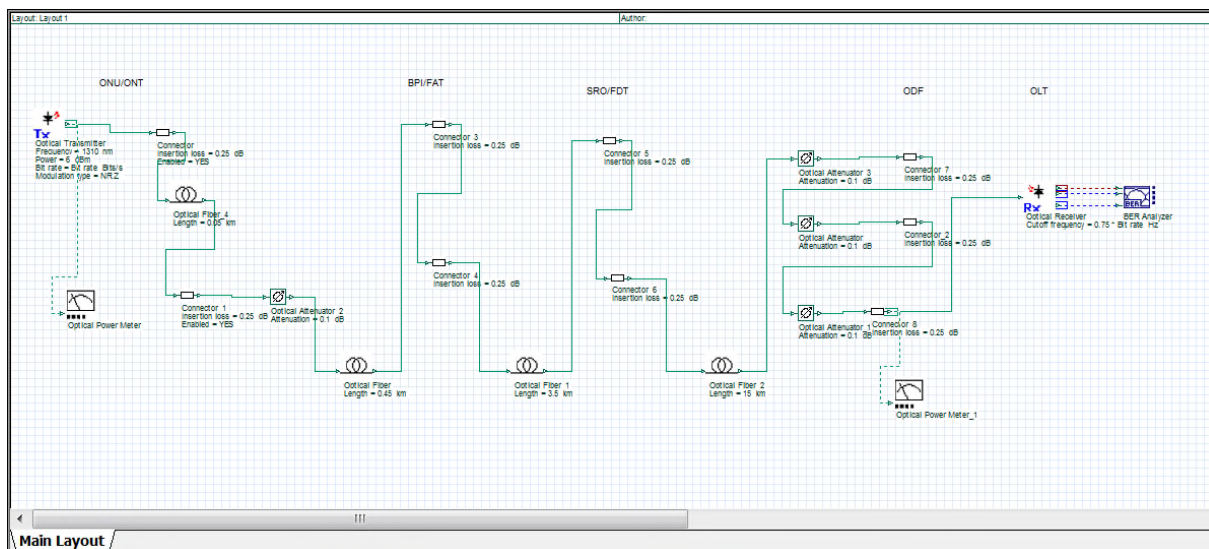


Figure III.4 : Configuration en amont du réseau GPON

III.6.2 Méthodes de transmission

- La transmission bidirectionnelle est obtenue à l'aide d'une transmission unidirectionnelle sur deux fibres.
- Le débit nominal du signal se propageant de la terminaison OLT vers l'unité ONU est de 2488,32 Mbit/s.
- Le débit nominal du signal se propageant de l'unité ONU vers OLT est de 1244,16 Mbit/s.

- Code de ligne en aval et en amont: codage avec non-retour à zéro (NRZ).La convention employée au niveau logique optique est la suivante :
 - forte intensité de la lumière émise pour la valeur binaire 1
 - faible intensité de la lumière émise pour la valeur binaire 0
- La classe de réseau de distribution optique est la classe B.
- La puissance moyenne injectée est de 6dBm.
- Taux d'erreur sur les bits soit inférieur à 10^{-09}
- La sensibilité au niveau du récepteur de l'unité ONU: -28 dBm.

III.6.3 Effet de la distance

Dans cette partie, nous allons simuler une liaison descendante et ascendante par fibre optique d'un réseau GPON. On fixe le débit binaire et on fait varier la longueur de la fibre de 5Km jusqu'à 17 Km, puis on calcule le budget optique de puissance pour déterminer le niveau des performances de la nouvelle installation de réseau câblé avant qu'elle soit actionnée dans le dispositif. Cette analyse vise à ajuster le système pour bien fonctionner. On respecte les conditions suivantes :

- La puissance de Tx et de Rx est faite par Optisystem.
- La valeur de la marge de puissance doit être supérieure ou égal à 0 dB.
- La valeur de puissance à la réception est supérieure ou égal à la sensibilité du récepteur (-28dBm).
- Toute valeur d'atténuation doit être inférieure ou égal à 28dB.

Puis, en visualise les résultats sur l'analyseur de BER (Bit Error Rate). Il nous donne les informations suivantes : les mesures de Q, de BER et le diagramme de l'œil.

III.6.3.1 Résultats de la simulation

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation et le calcul du budget optique de la puissance :

Distance Km	Tx [dbm]	Rx [dbm]	Att_{totale} [dB]	P_{Rx} [dbm]	M[dBm]
5	3.347	-18.364	21.711	-24.364	3.636
6	3.347	-18.564	21.911	-24.564	3.436
7	3.347	-18.764	22.111	-24.764	3.236
8	3.347	-18.964	22.311	-24.964	3.036
9	3.347	-19.164	22.511	-25.164	2.836
10	3.347	-19.364	22.711	-25.364	2.636
11	3.347	-19.564	22.911	-25.564	2.436
12	3.347	-19.764	23.111	-25.764	2.236
13	3.347	-19.964	23.311	-25.964	2.036
14	3.347	-20.164	23.511	-26.164	1.836
15	3.347	-20.364	23.711	-26.364	1.636
16	3.347	-20.564	23.911	-26.564	1.436
17	3.347	-20.764	24.111	-26.764	1.236

Tableau III.3 : les résultats de budget optique de puissance.

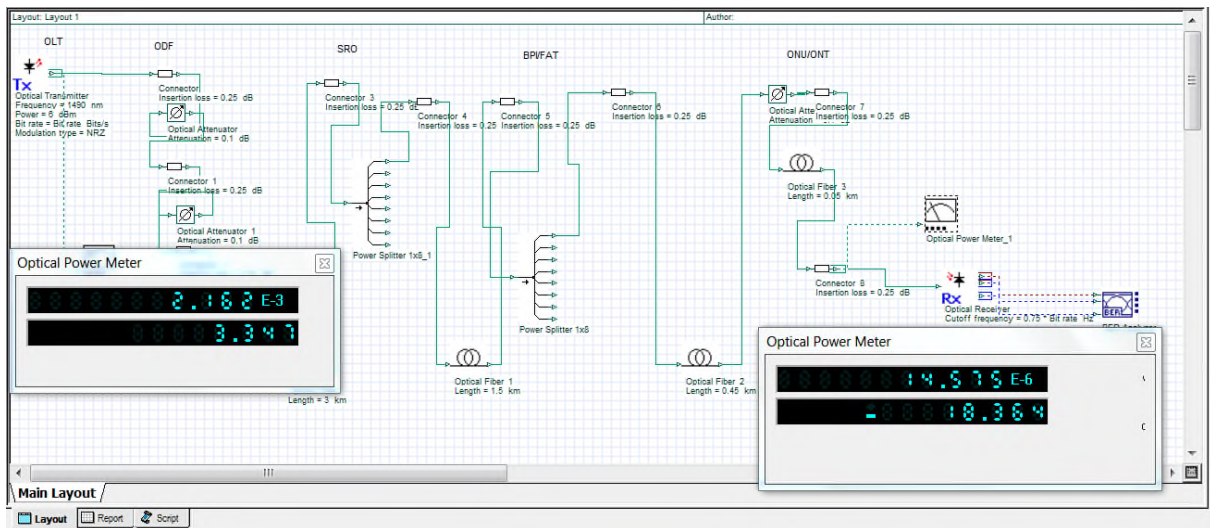


Figure III.5 : Valeur de Tx et Rx pour une distance de 5 Km

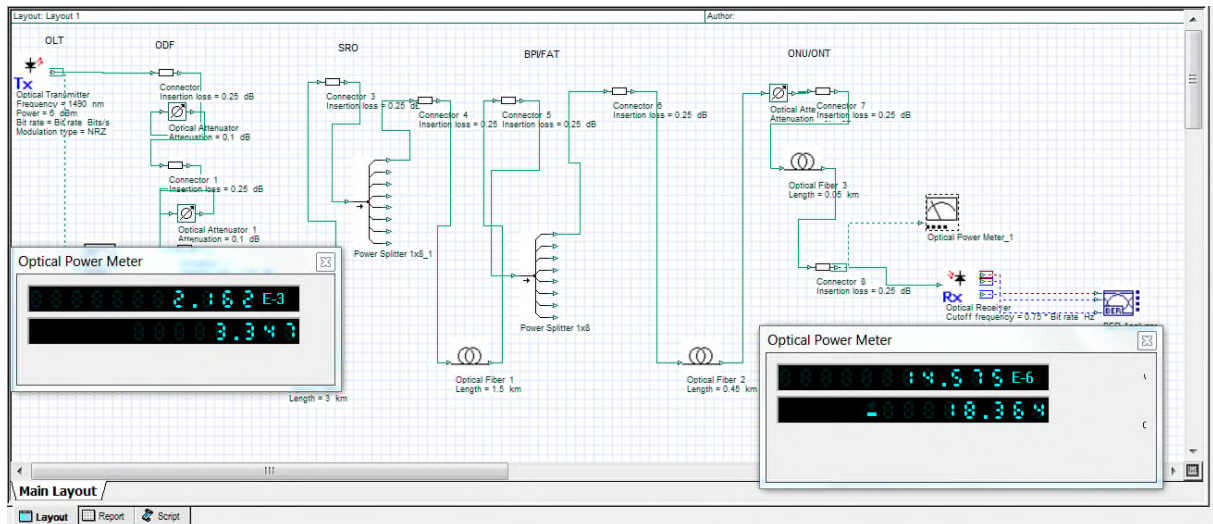


Figure III.6 : Valeur de Tx et Rx pour une distance de 17 Km

III.6.3.2 Analyse des résultats du bilan optique de puissance

D'après les résultats obtenus, Les 3 conditions sont respectées :

- ✓ L'atténuation totale est de 21,711 dB pour une distance de 5Km. Elle augmente jusqu'à 24.111dB à une distance de 17 Km. Elle ne dépasse pas 28 dB (classe B^+)
- ✓ La puissance à la réception est variée entre -24.364 dBm à -26.764 dBm. Elle est plus petite, cette valeur se situe dans la limite de valeur autorisée sur le réseau FTTH, c'est-à-dire sensibilité Rx de -28dBm. Elle est supérieure à la sensibilité de réception.
- ✓ La marge de puissance est variée entre 3.636 dB à 1.236 dB. Elle est supérieure au zéro.

III.6.3.3 Résultats sur analyseur de TEB

Dans cette partie, on fait varier la longueur de câble feeder de 5 Km à 17 Km (la distance maximale qui peut atteindre le câble feeder est de 20 Km) pour voir l'effet de la distance sur réseau FTTH. Le tableau suivant regroupe les résultats de BER et le facteur Q pour la liaison simulée en aval.

Distance	Max Q factor	Minimum Bit Error Rate
5	17.0156	3.14690 ^e -65
6	15.6135	2.91848 ^e -55
7	14.6898	3.74444 ^e -49
8	13.7056	4.68506 ^e -43
9	13.6544	1.65921 ^e -42
10	13.1012	5.37644 ^e -41
11	12.9858	2.70512 ^e -37
12	12.5569	1.82087 ^e -36
13	11.3771	2.71714 ^e -30
14	10.6825	6.14498 ^e -27
15	10.1420	1.76871 ^e -24
16	9.87607	2.62827 ^e -23

Tableau III.4 Les résultats de BER et le Q Factor pour la liaison simulée en aval

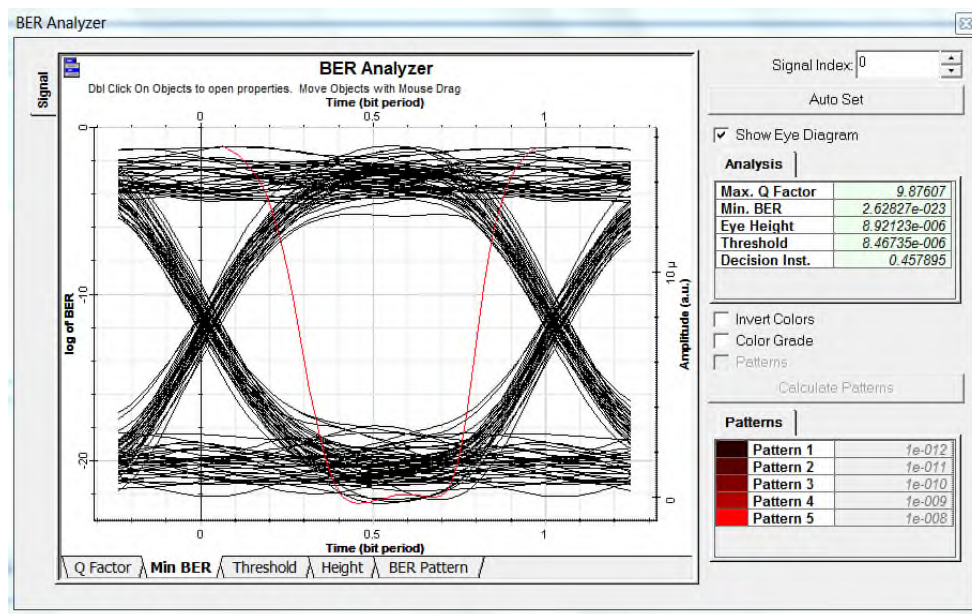


Figure III.7 : Diagramme de l'œil de la configuration de la liaison descendante à 20 km

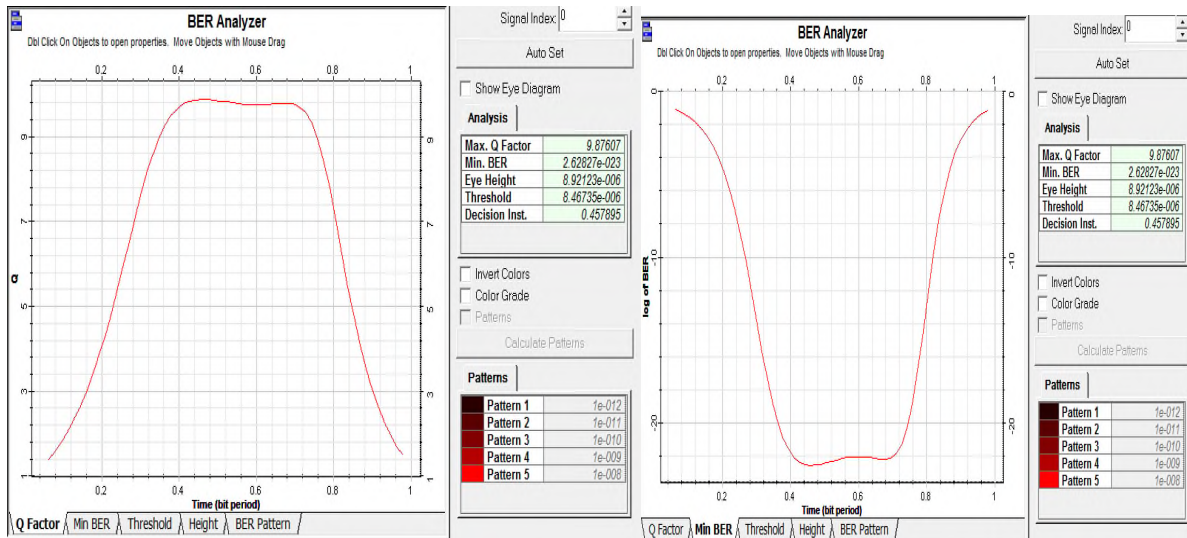


Figure III.8 : la variation du facteur Q et BER par rapport au temps (descendant)

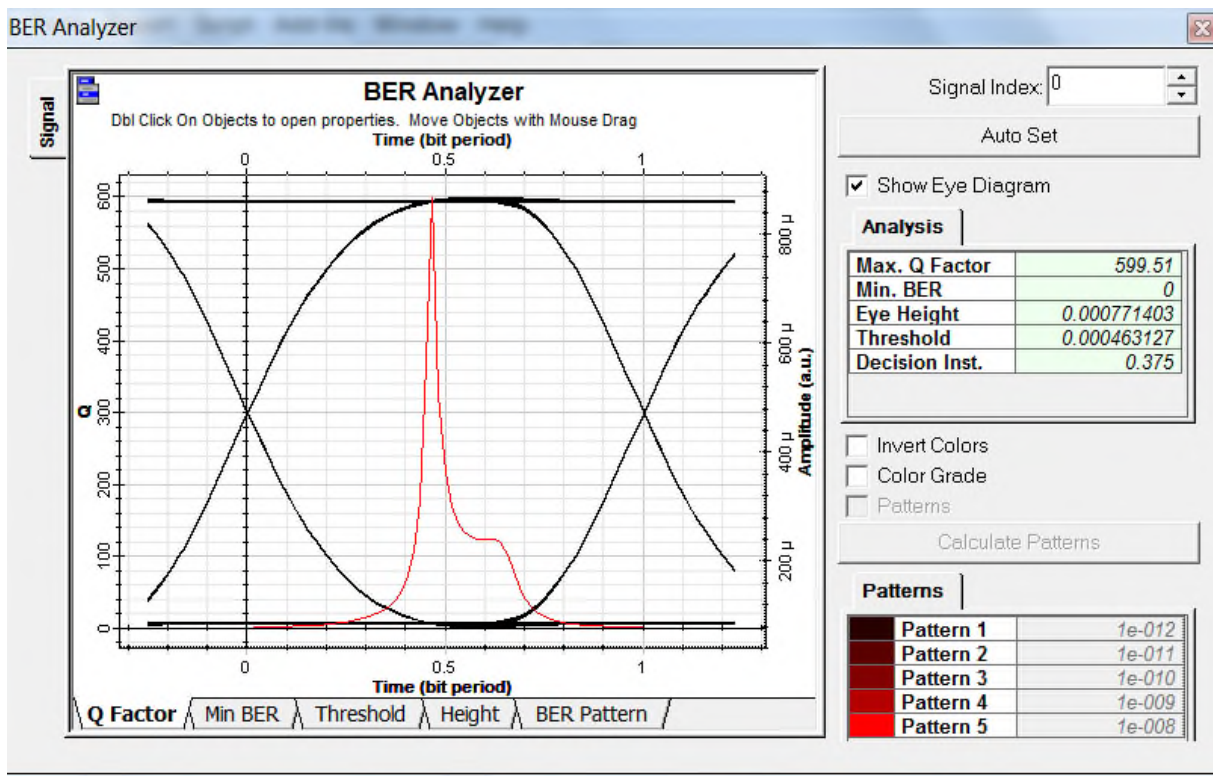


Figure III.9 : Diagramme de l'œil liaison ascendant 20 km

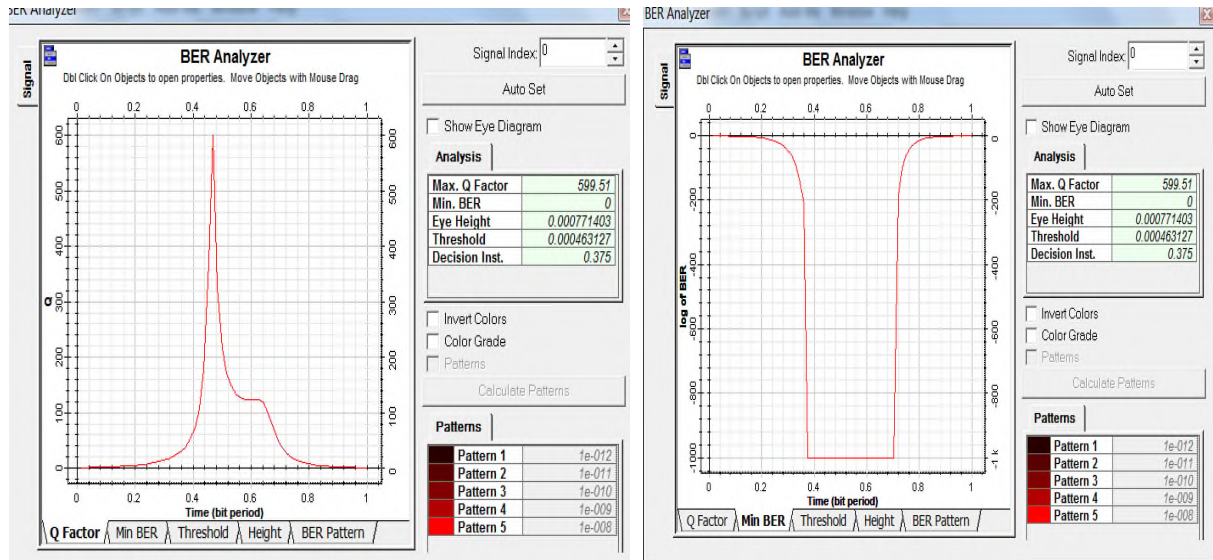


Figure III.10 : La variation du facteur Q et BER par rapport au temps (ascendant)

III.6.3.4 Analyse de résultats du facteur Q et BER

A partir de ces résultats :

- ✓ Nous constatons que plus on augmente la distance, plus la qualité de transmission décroît.
- ✓ Les variations de BER indiquent que la longueur du câble à fibre optique utilisé influe sur les performances. Plus l'emplacement de l'unité ONU est éloigné, plus la valeur du BER obtenu est grande et plus la puissance reçue est faible.
- ✓ Le facteur de qualité Q et le BER sont meilleurs pour les portées inférieures à 20Km ; cela est réciproque pour l'upstream.
- ✓ Pour une distance maximale de 20Km, on obtient un diagramme de l'œil ouvert avec un taux d'erreur binaire (BER) d'ordre 10^{-23} et d'un facteur de qualité de 9.87607. ce chiffre est inférieur au minimum BER recommandé pour les systèmes de communication à fibre optique (10^{-9}), on conclue que le signal est Bon.
- ✓ En amont, le diagramme de l'œil est plus clair et plus ouvert par rapport au diagramme en aval.
- ✓ La valeur de BER résultante est de Zéro, cela indique qu'il n'y a pas d'erreur dans la transmission numérique.

Les résultats de la simulation prouvent qu'avec une longueur du câble à fibre optique $L=20\text{Km}$ (une portée maximale), le réseau est toujours considéré comme étant dans les bonnes conditions.

III.6.4 Effet de longueur d'onde

Afin d'analyser les performances du réseau en mesurant le taux d'erreur binaire, facteur Q et le diagramme de l'œil, on fera varier la longueur d'onde de la liaison montante entre 1260 nm et 1360 nm ainsi pour la liaison descendante de 1480nm et 1500nm, avec une distance de 17 Km et un débit binaire fixe.

III.6.4.1 Résultats de la simulation sur TEB

Les tableaux suivants représentent les résultats de BER et facteur Q pour la liaison simulée en aval et en amont :

Longueur d'onde	Max Q Fatcor	Min BER
1480	12.5346	1.13064 ^e -36
1485	11.7567	3.26352 ^e -32
1487	11.6822	7.85481 ^e -32
1490	11.3884	2.38942 ^e -30
1500	11.3771	2.71714 ^e -30

Tableau III.5 : résultats de BER et le facteur Q liaison descendante.

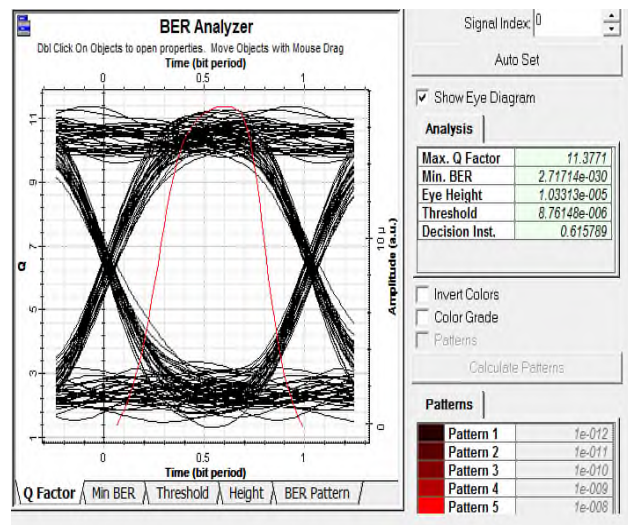
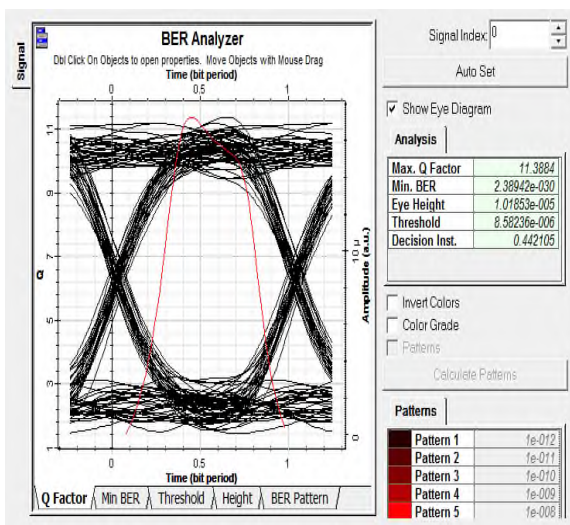
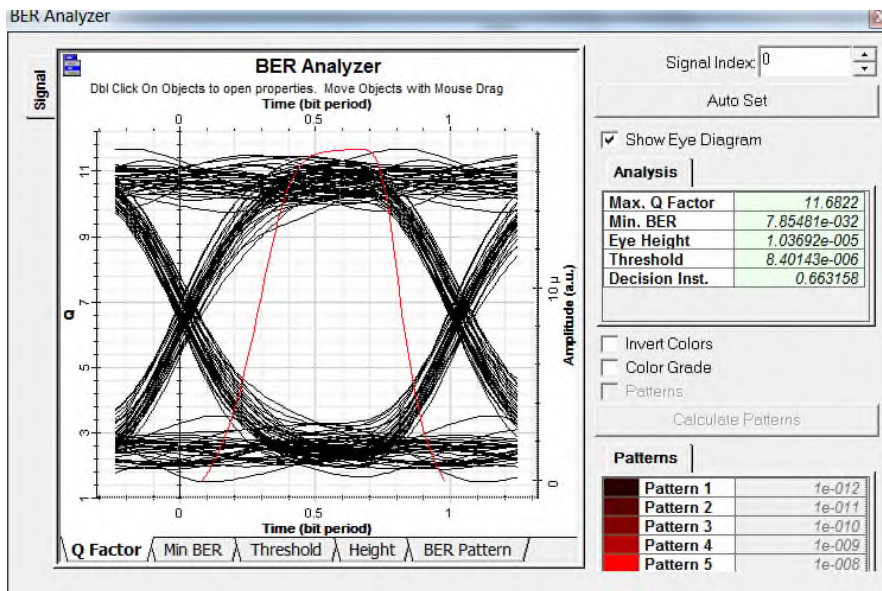
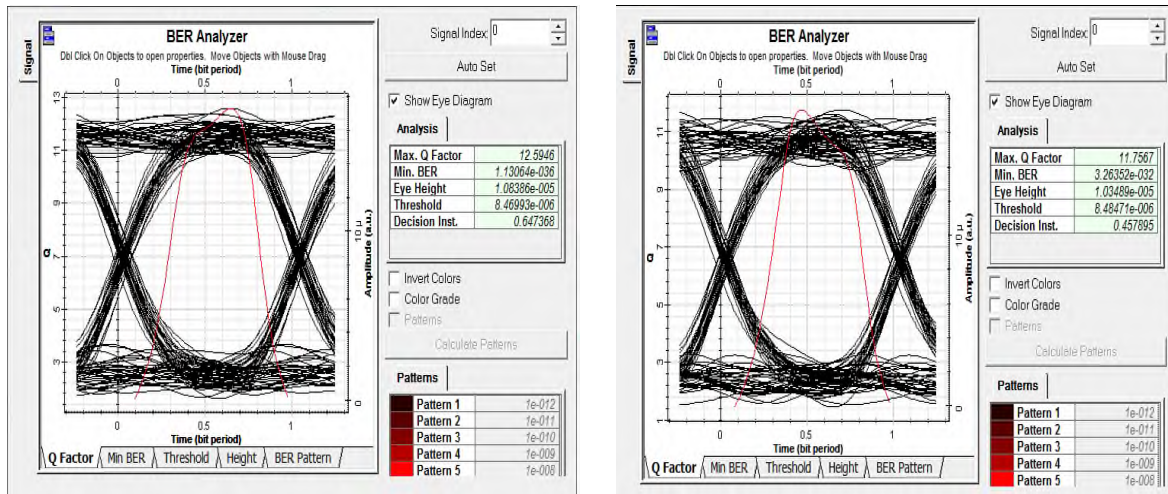


Figure III.11 : Le diagramme de l'œil en descendant pour différentes valeurs de λ

Longueur d'onde	Max Q factor	Min BER
1260	733.775	0
1280	726.138	0
1300	644.378	0
1320	641.304	0
1340	610.956	0
1360	556.635	0

Tableau III.6 : Les résultats BER et Q Factor en liaison ascendante

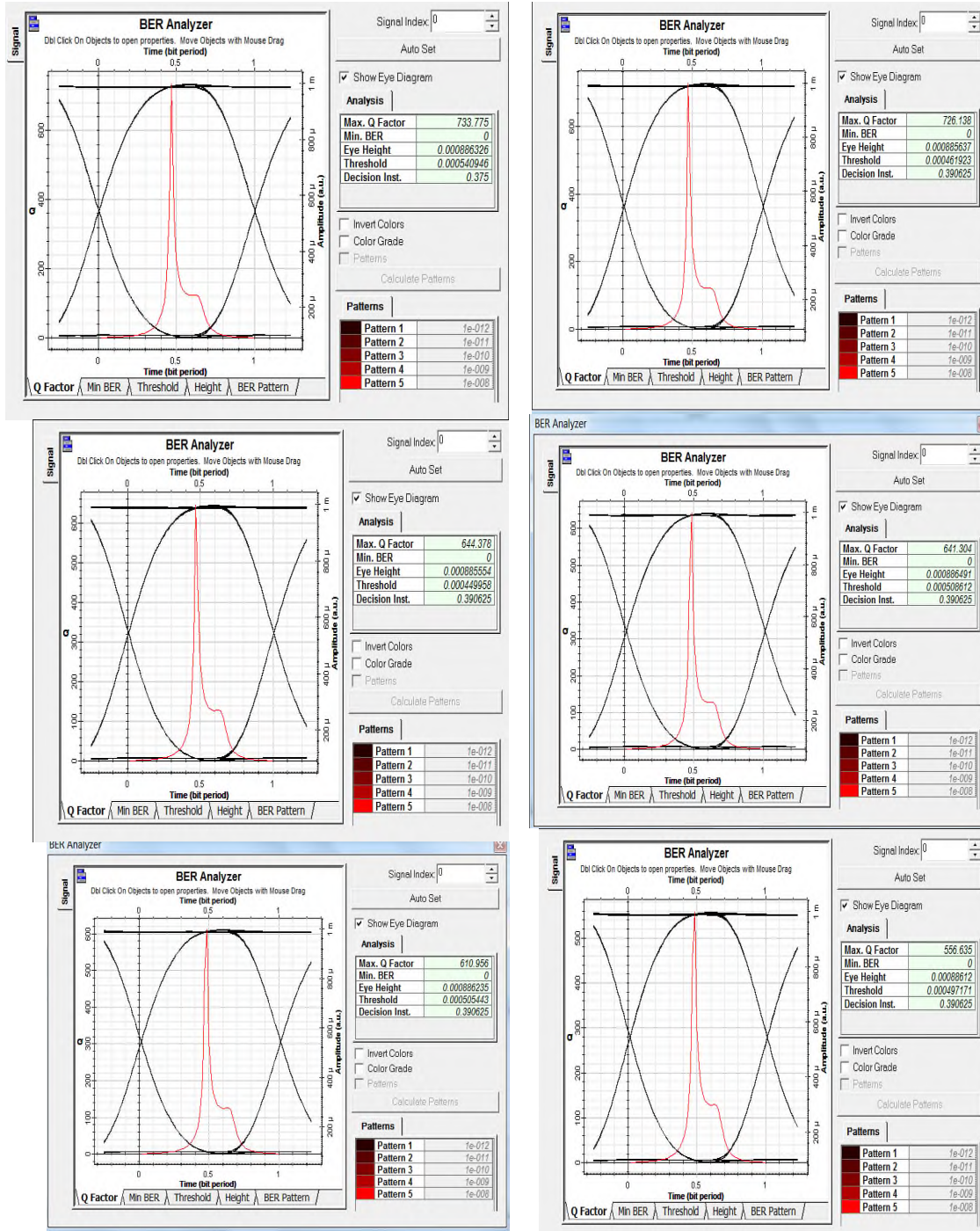


Figure III.12: Le diagramme de l'œil en ascendant pour différents valeurs de λ

III.6.4.2 Analyse des résultats

A partir des tableaux, on peut voir que :

- Plus la longueur d'onde augmente en descendant ou en ascendant plus la qualité de transmission diminue.
- En aval, on obtient un diagramme de l'œil ouvert avec un taux d'erreur binaire (BER) d'ordre inférieur au minimum BER recommandé 10^{-9} , ce qui traduit une bonne transmission du signal.
- Dans la liaison ascendante, la valeur de BER est égale à zéro (il n'y a pas d'erreur dans la transmission).
- En amont, le diagramme d'œil est plus ouvert par rapport au diagramme en aval.

III.7 Conclusion

Basé sur une simulation d'un dispositif FTTH utilisant Optisystem on a étudié les paramètres de performance du système de BER, de facteur Q et du budget optique de puissance résultant de la simulation présentée. On a obtenu les paramètres généraux à la simulation avec une longueur $L=17$ Km, une longueur d'onde de 1490nm pour le downstream et de 1310 nm pour l'Upstream. On tire les conclusions suivantes :

- ✓ La valeur du BER sur la configuration en downstream est de 2.62827×10^{-23} et en upstream 0. On peut donc conclure que les deux valeurs peuvent respecter la valeur minimale de BER de 10^{-9} .
- ✓ La valeur de Q-factor a été définie dans la configuration en downstream est de 9.87607 et pour celle en upstream de 599.51. on peut donc conclure que les deux valeurs peuvent respecter la valeur minimale de Q-factor égale à 6.
- ✓ On obtient un amortissement total de 24.111 dB. Dans le standard utilisé, la valeur d'amortissement totale ne doit pas dépasser les 28 dB. Donc, avec la simulation du FTTH, le réseau peut être dit soit du point de vue de l'atténuation totale, et à partir du résultat de la simulation, mettant le récepteur sous tension entre -24.364dBm et -26.764dBm. On conclue donc que les deux valeurs peuvent respecter la valeur minimale d'acceptation définie est de -28dBm.
- ✓ La longueur d'onde influe sur la qualité de transmission, plus elle augmente plus la qualité de transmission démunie.

Conclusion Générale

Pour répondre à l'énorme demande de la bande passante et des offres de services à large bande, la technologie FTTH est désormais une technologie qui devra être mise en service vu les divers avantages qu'elle possède. Ces réseaux ont dépassé les obstacles des anciennes technologies telles que XDSL, avec des performances rigoureuses du support utilisé et des technologies associées.

Ils emploient la fibre optique qui est le support permettant le transport de débit nettement supérieur à ceux que peuvent véhiculer les autres canaux de transmissions, et ceci avec une meilleure qualité de transmission et une faible atténuation, sans oublier sa simplicité en mise en œuvre. Le passage vers débits atteignant 10 Gbit/s a été possible grâce à la mise en œuvre de diverses topologies réseaux FTTH, permettant un débit loué (liaison point à point) ou partagé (topologie PON). Cette dernière représente une solution importante pour l'utilisateur à domicile à mesure où elles offrent une très forte capacité en minimisant les infrastructures en partageant la fibre et le coût de déploiement par l'utilisation d'équipements intermédiaire passif.

Répartie en deux parties, le premier chapitre vous a permis de connaître, dans un premier lieu l'utilité de la fibre optique qui est à présent un support de transmission indispensable dans le domaine des télécommunications optique et l'utilité de chaque élément d'une liaison optique. Dans la deuxième partie, l'étude était portée sur les réseaux d'accès en télécommunication et sur la description des réseaux fibrés FTTx plus précisément FTTH, notamment les réseaux optiques passifs PON leurs principes de fonctionnement, les débits offerts par ces réseaux et finalement les différentes catégories dérivées du réseau PON tel que : l'APON, le BPON, l'EPON, et le GPON, chacune offre des débits importants.

Grace à ces réseaux optiques, la transmission des informations est devenue plus rapide et plus facile.

Au cours du deuxième chapitre nous avons vu la solution FTTH exploitée sur la ville de BEJAIA et la structure de ce réseau avec les différents équipements qui le constitue, nous avons abordé tous les points clés de cette nouvelle technologie qui est déployée par l'opérateur de télécommunication ALGERIE TELECOM.

Finalement dans le troisième chapitre nous avons étudié la qualité de transmission d'une liaison GPON à l'aide du logiciel OPTISYSTEM.

Sous les différentes variantes du PON, et GPON semble être la plus adaptée. Il s'agit de base évolutive pour les nouveaux systèmes atteignant les 40 Gbit/s avec un rayon de couverture plus élargie de 40 Km.

Comme perspective le NG-PON2 permettra une possibilité d'évolution de réseau conçu sous cette norme.

Références bibliographiques

- [1] Mr Redjdal kaci «étude d'une chaîne de télécommunication», mémoire de fin d'étude, université abderhmane mira-bejaia, 2012/2013
- [2] colombier.f ;pugnoud.c ;2005-«réseaux et routage optique».
- [5] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.
- [6] Jean-Louis VERNEUIL, thèse de doctorat « Simulation de systèmes de télécommunications » par fibre optique à 40 Gbit/s Université DE LIMOGES, 21/11/2003.
- [7] Mlle billami hanane et bendahmane raouida «Etude d'un réseau optique ADM 10 Gbit/s»2013.
- [9] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique», Edition Dunod 1996.
- [10] R et M France ; 09/2006 << Déploiement FTTH >>.
- [11] Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes -Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine-.
- [12] Livre Blanc -Titre < Les réseaux PON (Passive Optical Network) >-18/12/2006.
- [13] «mémoire sur les réseaux FTTH»- juillet2009 ; COGISYS ;Architecture des systèmes de communication.
- [14] Recommandation UIT-T G.982 (11/96), Réseaux d'accès optiques pour la prise en charge des services fonctionnant jusqu'au débit primaire du RNIS ou à des débits équivalents.
- [15] Recommandation ITU-T G.983.1 (1998), Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).
- [16] Recommandation ITU-T G.984.1 (03/2008), Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.
- [17] Recommandation ITU-T G.984.2 (2003), Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification.

[18] Recommendation ITU-T G.987.1 (03/2016), 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements.

[19] Recommendation ITU-T G.987.2 (02/2016), 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification.

[20] Recommendation ITU-T G.989.1 (03/2013), 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements.

[21] Recommendation ITU-T G.989.2 (2014) – Amendment 1(04/2016), 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendment 1.

[22] Algerie Telecom Project FTTX.

WEBOGRAPHIE

[3] Article de Larousse- la jonction P-N
http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/jonction_P-N/180567.

[4] http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html
Université Paris Est-Marne la vallée.

[8] Anthony REGIS/Romains VENO, «les techniques de transmission optique», projet bibliographique.web :univ-pau.fr/~cpham/M2SIR/BIBLIO/DOC04-05/TechOptique.

Résumé

Actuellement, nous connaissons une demande importante sur le haut débit et le très haut débit au niveau des réseaux d'accès, principalement conduite par le développement des applications larges bandes. La solution proposée est l'utilisation de la technologie FTTH (Fiber To The Home).

On dispose de différents types de technologies et d'architectures optiques FTTX, de point de vue technique et économique, chacune de ces architectures présente des avantages et des limites, elles sont alors adoptées suivant les applications et les services.

Le réseau optique passif (PON) est une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit, le PON est une architecture qui possède deux sens, le sens montant (de l'ONT(Optical Network Terminal) vers l'OLT(Optical Line Terminal)), et le sens descendant (de l'OLT vers l'ONT), grâce à des coupleurs passifs, le réseau optique passif peut atteindre 32 à 64 abonnés qui se partagent la même fibre monomode, et permet d'offrir un débit qui se compte en Gbit/s. plusieurs catégories peuvent être dérivées de ce réseau tel que : APON (ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), BPON (Broadband Passive Optical Network), EPON(Ethernet Passive Optical Network), GPON (Gigabit Passif Optical Network).

Les travaux menés dans le cadre de ce projet de fin d'études ont cerné l'étude d'un réseau de transmission à très haut débit FTTH, puis en passant en revue la liaison par la fibre optique et ses constituants et on termine par la simulation d'une liaison FTTH GPON et déterminer sa qualité de transmission tout en faisant varier certains paramètres de cette dernière.

Mots-clés : GPON, PON, FTTX, réseau optique, fibre optique.

Abstract

Currently, we are experiencing significant demand for broadband and very high speed access networks, driven mainly by the development of broadband applications. The proposed solution is the use of FTTH (Fiber to the Home) technology.

There are different types of FTTX technologies and optical architectures, from a technical and economic point of view, each of these architectures has advantages and limits, and they are then adopted according to the applications and the services.

The passive optical network (PON) is a reference in very high speed access networks; the PON is two-way architecture, the uplink direction (from the optical network terminal (ONT), to the OLT (optical line terminal)), and the downstream direction (from the OLT to the ONT), thanks to passive couplers, the passive optical network can reach 32 to 64 subscribers who share the same single mode fiber, and allows to offer a rate which is measured in Gbit/s. Several categories can be derived from this network such as: APON (ATM PON asynchronous transfer mode passive optical network), BPON (broadband passive optical network), EPON (Ethernet passive optical network), and GPON (Gigabit passive optical network).

The work carried out as part of this end-of-study project has identified the study of very high speed transmission network FTTH, then by reviewing the fiber optic link and its constituents and we finish with the simulation of an FTTH GPON link and determine its transmission quality while varying certain parameters of the latter.

Keywords: GPON, PON, FTTX, optical network, optical fiber