

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID- TLEMCEM

Faculté de Technologie

Département de Télécommunications



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de
Master en Télécommunications

Option : Technologies des Systèmes de Télécommunication
(TST)

THEME

***ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE
EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN
LONGUEURS D'ONDE***

Présenté par :

Melle LOUAZANI Marwa

Melle MEDDANE Samira

Soutenu en juin 2017 devant un jury composé de :

Mr KAMECHE.S Président Maitre de conférences, Université de Tlemcen

Mr KARIM.F Examineur Maitre de conférences, Université de Tlemcen

Mr BORSALI. A. R Encadreur Maitre de conférences, Université de Tlemcen

Année Universitaire 2016/2017

Remerciement

Avant tout, nous remercions le Dieu de nous avoir aidées à réaliser ce présent travail.

Nous adressons tout particulièrement à MR « R.BORSALI », Notre encadreur et notre professeur pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre réalisation de ce projet.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à Ms « S.KAMECHE » le président et notre professeur, et à Ms « F.KARIM » d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

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

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

Résumé

Les réseaux d'accès optiques connaissent actuellement une évolution très rapide qui accompagne le développement de l'Internet et des services de télécommunication dans le monde entier. On dispose de différents types de technologies et d'architectures optiques FTTx, chacune de ces architectures présente les avantages et les limites, elles sont alors adoptées suivant les applications et les services, Parmi ses différentes implémentations on trouve le réseau optique passif PON (Passive Optical Network) qui est une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit.

Le but de ce travail est d'étudier d'abord une architecture PON bidirectionnelle simple puis de passer à une architecture plus complexe mais très avantageuse en terme de débit et de nombre d'utilisateur, l'architecture WDM-PON.

Mots clés : fibre optique, FTTH, réseaux optiques passifs, WDM.

Abstract

The optical access networks are currently experiencing a very rapid evolution that accompanies the development of the internet and telecommunication services worldwide.

FTTx has different types of technologies and architectures, each of these architectures has advantages and limitations, they are adopted according to applications and services, Among its different implementations is the passive optical network (PON) which is considered as a standard for high-speed networks access.

The aim of this work is to study first a simple bidirectional (PON) architecture and then to move to a more complex architecture but very advantageous in terms of bit rates and number of users, it's the WDM-PON architecture (Wave length Division Multiplexing-passive optical network).

Key Words: optical fiber, FTTH, passive optical networks, WDM.

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
<i>Chapitre I : Etude d'une liaison par fibre optique</i>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition d'une liaison par fibre optique.....	4
I.3 Emetteur optique.....	5
I.3.1 Source optique.....	6
I.3.1.1 Les diodes électroluminescentes DEL.....	6
I.3.1.2 Les diodes laser DL.....	7
I.3.2 La différence entre la diode DEL et la diode DL.....	7
I.4 Modulateurs.....	8
I.4.1 Modulation directe.....	8
I.4.2 Modulation externe.....	9
I.5 Récepteur optique.....	9
I.5.1 Photodiode PIN.....	9
I.5.2 Photodiode APD.....	10
I.6 La fibre optique.....	11
I.6.1 Définition de la fibre optique.....	11
I.6.2 Structure de la fibre optique.....	11
I.6.3 Les type de fibre optique.....	12
I.6.3.1 La fibre optique multimode MMF.....	12
I.6.3.2 La Fibres monomode SMF.....	13

Sommaire

I.6.4 Comparaison entre la fibre monomode et multimode.....	14
I.7 Caractéristiques d'une fibre optique.....	14
I.7.1 L'Atténuation.....	14
I.7.2 La dispersion.....	15
I.8 Avantages et inconvénients des fibres optiques.....	15
I.8.1 Les avantage.....	15
I.8.2 Les inconvénients.....	16
I.9 Applications de la fibre optique.....	17
I.10 Conclusion.....	17

Chapitre II : Réseaux optiques passifs

II.1 Introduction.....	19
II.2 Les réseaux optiques.....	19
II.2.1 Les réseaux d'accées optiques.....	20
II.3 Architecture des réseaux FTTH.....	21
II.3.1 Architecture point à point.....	21
II.3.2 Architecture point à multipoint.....	23
II.4 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON.....	24
II.5 Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network).....	25
II.5.1 Architecture d'un réseau optique passif (PON).....	25
II.5.2 Etude des éléments d'un réseau optique passif.....	26
II.5.2.1 OLT (Optical Link Terminal).....	26
II.5.2.2 ONT (Optical Network Terminal).....	27
II.5.2.3 Coupleur optique (splitter).....	27
II.5.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON.....	27

Sommaire

II.6 Les différents standards d'un réseau PON.....	29
II.6.1 La norme APON.....	29
II.6.2 La norme BPON.....	29
II.6.3 La norme EPON.....	29
II.6.4 La norme GPON.....	30
II.7 Comparaison des standards d'un réseau PON.....	31
II.8 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM-PON).....	31
II.8.1 Architecture de multiplexage en longueur d'onde WDM PON.....	32
II.8.1.1 Architecture PON WDM " BROADCAST AND SELECT ".....	35
II.8.1.2 L'architecture à base de répartiteur en longueurs d'onde "DEMULTIPLEXAGE SPATIAL".....	35
II.8.1.3 Architecture PON hybride ou WDM-TDM PON.....	36
II.9 Les débits offerts par les réseaux optiques passifs (PON).....	37
II.10 Les performances d'un réseau optique passif.....	37
II.10.1 La fiabilité du PON.....	37
II.10.2 La sécurité du PON.....	37
II.11 Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON)	38
II.12 Conclusion.....	38

Chapitre III : Etude d'une liaison B-PON bidirectionnelle

III.1 Introduction.....	40
III.2 Description de l'outil de simulation.....	40
III.3 Avantages du logiciel.....	42
III.4 Etude de liaison B-PON.....	43
III.4.1 Partie émission.....	45
III.4.2 Canal de transmission.....	46

Sommaire

III.4.3 Partie réception.....	47
III.5 Qualité de transmission d'une liaison optique.....	47
III.5.1 Le facteur de qualité.....	47
III.5.2 Le taux d'erreur binaire.....	48
III.5.3 Le diagramme de l'œil.....	48
III.6 Résultats de simulation.....	49
III.7 Conclusion.....	53

Chapitre IV : Etude d'une liaison WDM-PON

IV.1 introduction.....	55
IV.2 Etude de la liaison WDM-PON.....	55
IV.2.1 OLT (Optical Link Terminal).....	56
IV.2.2 Le canal de transmission.....	57
IV.2.3 ONU (Optical Network Unit).....	58
IV.3 Résultats et interprétation.....	59
IV.3.1 Effet de variation de la longueur de la fibre optique.....	59
IV.3.2 Effet de variation du débit.....	62
IV.4 Conclusion.....	65
Conclusion Générale.....	67

Sommaire

Sommaire

LISTES DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : Schéma synoptique d'un système de transmission optique.....	5
Figure I.2 : Structure d'un émetteur optique.....	5
Figure I.3 : Spectre d'émission d'une DEL.....	6
Figure I.4 : Spectre d'émission d'une DL.....	7
Figure I.5 : La différence entre DEL et DL.....	8
Figure I.6 : Modulation directe.....	8
Figure I.7 : Modulation externe.....	9
Figure I.8 : Photodiode PIN.....	10
Figure I.9 : Photodiode APD.....	10
Figure I.10 : Structure d'une fibre optique.....	12
Figure I.11 : Fibre à saut d'indice.....	12
Figure I.12 : Fibre à gradient d'indice.....	13
Figure I.13 : Fibre monomode.....	13

Chapitre II

Figure II.1 : Structure d'un réseau FTTH/FTTO.....	20
Figure II.2 : Structure d'un réseau FTTB.....	20
Figure II.3 : Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.....	21
Figure II.4 : Architecture point à point.....	23
Figure II.5 : Architecture point à multipoint.....	23
Figure II.6 : Architecture d'un réseau optique passif (PON).....	26

Liste des figures

Figure II.7 : Les éléments constitutifs du PON.....	26
Figure II.8 : Architecture du sens montant.....	28
Figure II.9 : Architecture du sens descendant.....	28
Figure II.10 : Le multiplexage en longueur d'onde WDM.....	32
FigureII.11 : Architecture PON base sur le multiplexage en longueur d'onde WDM.....	33
Figure II.12 : Longueurs d'onde Coarse WDM.....	34
FigureII.13 : Longueurs d'onde Dense WDM.....	34
FigureII.14: Architecture PON WDM bidirectionnelle "broadcast and select".....	35
FigureII.15: Architecture PON WDM bidirectionnelle " démultiplexage spatial".....	36
 Chapitre III	
Figure III.1 : Les fenêtres d'OPTISYSTEM.....	41
Figure III.2 : Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée.....	42
Figure III.3 : Liaison B-PON bidirectionnelle.....	44
Figure III.4 : Format NRZ.....	45
Figure III.5 : Réponses fréquentielles de différents filtres.....	46
Figure III.6 : Le diagramme de l'œil.....	48
Figure III.7: Représentation temporelle du signal à la sortie de WDM.....	49
Figure III.8 : Spectre descendant dans la fibre optique.....	50
Figure III.9 : Représentation du signal de sortie du WDM.....	50
Figure III.10 : Représentation du spectre du signal de sortie de la fibre bidirectionnelle.....	51
Figure III.11 : Diagramme de l'œil dans le sens descendant.....	52
Figure III.12 : Diagramme de l'œil dans le sens montant.....	52

Chapitre IV

Figure IV.1 : Architecture du système WDM-PON simulé.....55

Figure IV.2 : Structure de l'OLT.....57

Figure IV.3 : Canal de transmission.....58

Figure IV.4 : Structure de l'ONU.....58

Figure IV.5 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre.....59

Figure IV.6 : Variation du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre.....60

Figure IV.7 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre.....61

Figure IV.8 : Variation du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre.....61

Figure IV.9 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de débit.....62

Figure IV.10 : Variation du facteur de qualité en fonction de débit.....63

Figure IV.11 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de débit.....64

Figure IV.12 : Variation du facteur de qualité en fonction de débit.....64

GLOSSAIRE

A

APON : ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.

APD: Avalanche Photodiode.

AWG: Arrayed Waveguide Grating.

B

BER: Bit Error Rate.

BPON: Broadband Passive Network.

C

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing.

D

DCF: Dispersion Compensation Fiber.

DSL: Digital Subscriber Line.

DEL: Light-Emitting Diode.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

E

EPON: Ethernet Passive Optical Network.

F

FSAN: Full Service Access Network.

FTTX: Fiber To The

FTTH: Fiber To The Home.

Glossaire

FTTB: Fiber To The Building.

FTTC: Fiber To The Curb.

FTTCab: Fiber To The Cabinet.

G

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network.

I

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ITU-T : International Télécommunications Union.

L

LASER: Light Amplification by Simulated Emission of Radiation.

M

MMF: Multi Mode Fiber.

N

NRO : Nœud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return to Zero.

O

OLT: Optical Line Termination.

ONT: Optical Network Termination.

ONU: Optical Network Unit.

P

PON: Passive Optical Network.

PIN: Positive Intrinsic Negative photodiode.

R

RZ: Return to Zero.

Glossaire

S

SDH/SONET: Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical NETWORK

SMF: Signal Mode Fiber.

T

TDM: Time Division Multiplexing.

TEB: Taux D'erreur Binaire.

U

UIT : Union International de Télécommunication.

UDWDM: l'Ultra Dense Wavelength.

V

VDSL: Very high Digital Subscriber Line.

VLAN: Virtual Local Area Network.

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

WDM PON: Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network.

INTRODUCTION GENERALE

Durant ces dernières décennies, Les réseaux d'accès connaissent un développement très rapide que ce soit au niveau de l'accès fixe et radio ou bien des réseaux mobiles. Les réseaux câblés à base de fibre optique ont été en forte évolution avec un impact important sur un grand nombre d'applications des domaines civils et militaires. En effet, les fibres optiques s'avèrent très intéressantes pour leur bande passante et leur débit, très supérieurs à ceux offerts par les autres technologies.

La plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui sont basés sur les technologies Gigabit PON (Passive Optical Network). Ce sont des réseaux optiques passifs à base d'une architecture point à multipoints fonctionnant au débit de 1,25 ou 2,5 Gb/s. Pour la future demande de bande passante pour laquelle un débit de l'ordre des Gbits/s par utilisateur serait nécessaire, la technologie PON à base du multiplexage temporel TDM semble insuffisante ou moins économique à cause du débit trop élevé pour un grand nombre d'utilisateurs. Donc, l'utilisation de la technologie de multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) dans le réseau d'accès optique est une solution très prometteuse pour pouvoir monter à un débit très élevé. La forte capacité de montée en débit du WDM- PON est expliquée grâce au fait que la communication avec chaque utilisateur est dédiée à une longueur d'onde. Pour cette raison, la technologie WDM-PON apparaît actuellement comme un des candidats les plus potentiels pour la future génération PON après le 10 Gb/s TDM-PON.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'étudier le réseau optique passif (PON). Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à une architecture PON-WDM (PON avec multiplexage en longueur d'onde).

Notre travail est organisé en quatre chapitres:

Le premier chapitre décrit de manière générale le principe d'une liaison numérique par la fibre optique. Nous citons les caractéristiques des composants qui interviennent dans ce type de liaison, nous verrons aussi dans cette partie les avantages et les inconvénients du support de transmission (fibres optiques) ainsi que ses applications.

Le deuxième chapitre sera consacré aux réseaux d'accès optiques avec les différentes architectures FTTx qui existent, ainsi que le fonctionnement d'un réseau optique passif

(PON), avec ses différents éléments tel que L'ONT, L'ONU, et le coupleur. Ensuite Nous allons présenter le système PON-WDM, et on finira notre chapitre par citer les débits offerts par les réseaux PON, ainsi que la sécurité des réseaux et leur fiabilité.

Le troisième chapitre a pour objectif de présenter le logiciel de simulation OptiSystem qu'on a utilisé pour l'étude du système B-PON bidirectionnelle et présentation des différents éléments de la liaison

Le quatrième chapitre est consacré à l'évolution des performances de l'architecture PON à une nouvelle architecture WDM-PON en termes de capacité (débit et nombre d'utilisateurs) et de portée.

Introduction générale

Chapitre I

Etude d'une liaison par fibre optique

I.1 Introduction

Les transmissions par fibres optiques 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 fiable et le plus économique lorsqu'il s'agit d'acheminer des débits élevés sur de grandes distances, mais aussi des nombres élevés de canaux.

Trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, produisirent la première fibre optique qui peut être utilisée dans les réseaux de télécommunications. Leur fibre optique était en mesure de transporter 65000 fois plus d'information qu'un simple câble de téléphone. Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. On estime aujourd'hui plus de 90% des communications de longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câble à fibre optique partout dans le monde.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord aborder l'évolution de la transmission et des différents éléments d'une liaison par fibre optique. Dans un premier lieu nous allons décrire un système de transmission optique, la composition de la fibre optique ses caractéristique, ses avantages ainsi que ses inconvénients.

I.2 Définition d'une liaison par fibre optique

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur [2].

Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique (voir Figure I.1).

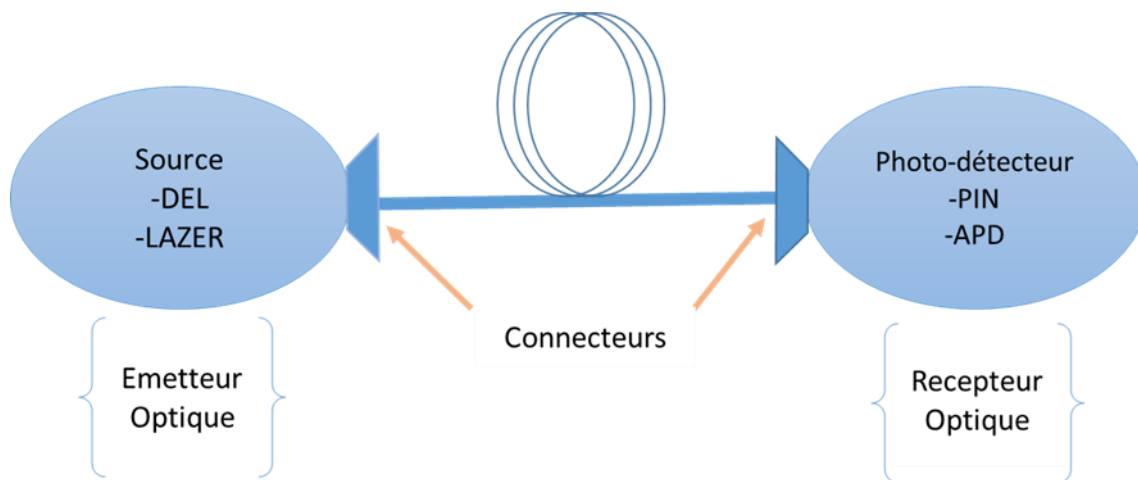


Figure I.1 : Schéma synoptique d'un système de transmission optique.

Cependant, pour des grandes distances on utilise des amplificateurs optiques pour conserver le niveau du signal nécessaire à la restitution de l'information. Dans ce qui suit nous allons définir chaque élément de cette liaison [2].

I.3 Emetteur optique

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (source optique, modulateur et driver). Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données.

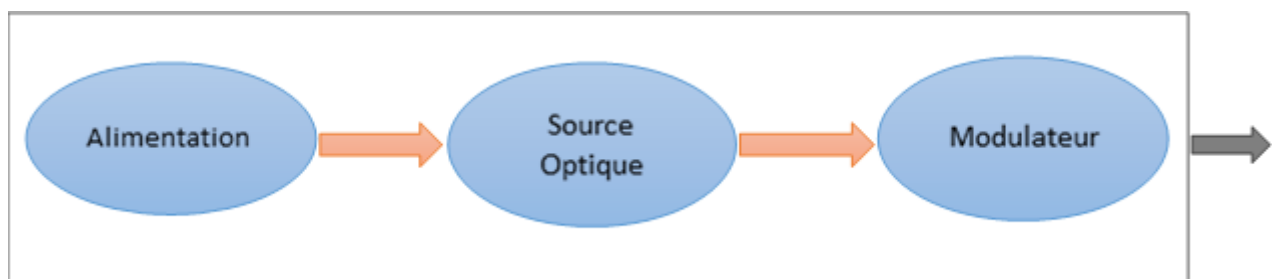


Figure I.2: Structure d'un émetteur optique.

I.3.1 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) [3].

En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix des sources à spectres réduits telles que les diodes laser DL et les diodes électroluminescentes DEL, ces deux sources sont réalisées à partir de jonction PN polarisée en direct, le principe d'émission est dû à la recombinaison des paires électron-trou [3].

I.3.1.1 Les diodes électroluminescentes DEL

La diode électroluminescente DEL ou LED est le composant émetteur le plus simple, qui réalise directement l'émission de photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en direct.

C'est une source incohérente et polychromatique, 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 la dispersion chromatique (la figure I.3) [3].

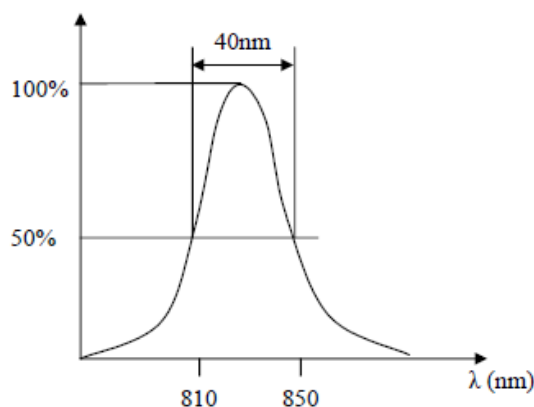


Figure I.3 : Spectre d'émission d'une DEL.

I.3.1.2 Les diodes 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 (figure I.4) [3].

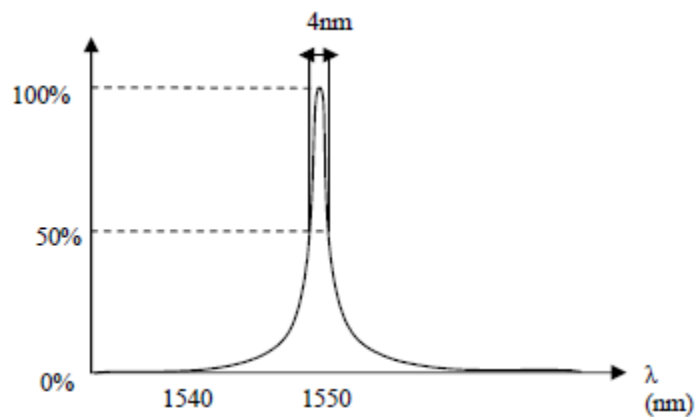


Figure I.4 : Spectre d'émission d'une DL.

I.3.2 La différence entre la diode DEL et la diode DL

Pour montrer la différence entre diode électroluminescente et une diode laser, la figure illustre les courbes caractéristiques de la puissance lumineuse en fonction du courant (Voir figure I.5) [4].

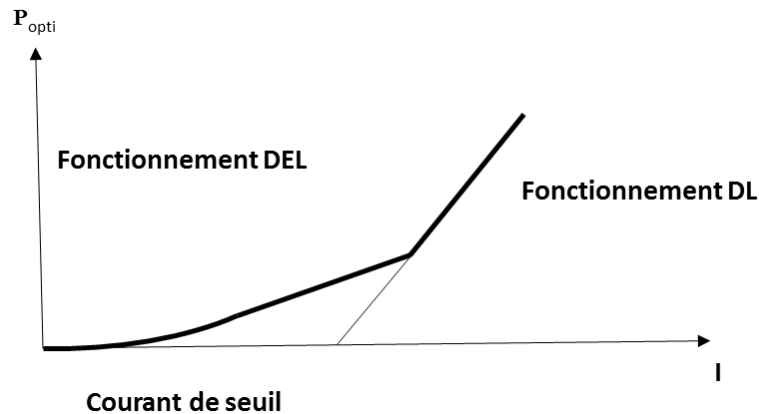


Figure I.5 : La différence entre DEL et DL.

I.4 Modulateurs

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

I.4.1 Modulation directe

C'est la propre source optique qui réalise la modulation en même que la transformation électrique-optique. La modulation du courant qui traverse un laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise. Il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. Un inconvénient de cette méthode est que lorsque l'on module en amplitude le courant d'injection d'un laser est accompagné d'une modulation de fréquence parasite. Ces effets, conjugués à la dispersion chromatique de la fibre, provoquent un élargissement de l'impulsion d'autant plus importante que la longueur de la fibre est grande (voir figure I.6) [3].



Figure I.6 : Modulation directe.

I.4.2 Modulation externe

L'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du laser n'est plus modulé. La modulation externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés (voir figure I.7) [3].

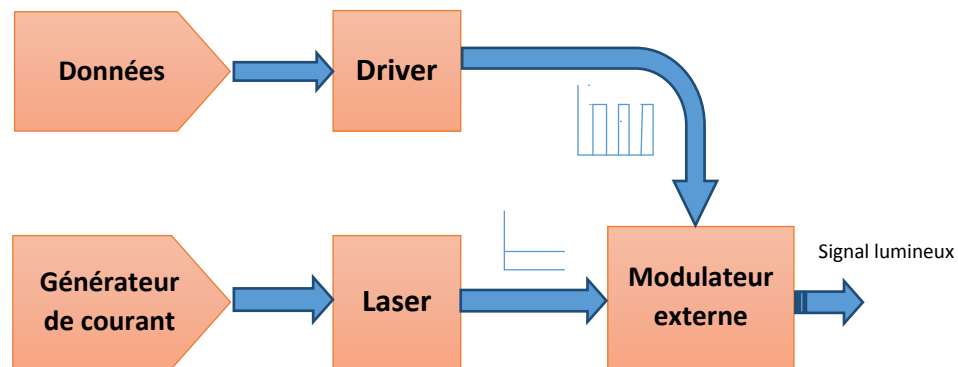


Figure I.7 : Modulation externe.

I.5 Récepteur optique

Le photodétecteur 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.

Les photodétecteurs les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique sont les photodiodes PIN ou APD [8].

I.5.1 Photodiode PIN

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement 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 utilisés car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante (voir figure I.8) [5].

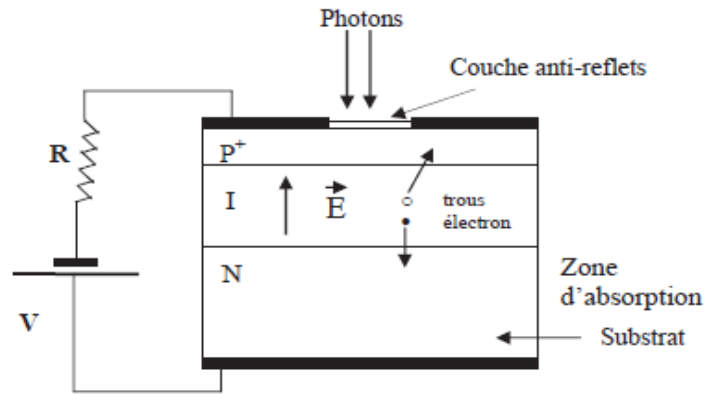


Figure I.8 : Photodiode PIN.

I.5.2 Photodiode APD

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal sur bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiode, comme les photodiodes à gain interne de type avalanchent.

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisés grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte (voir figure I.9) [5].

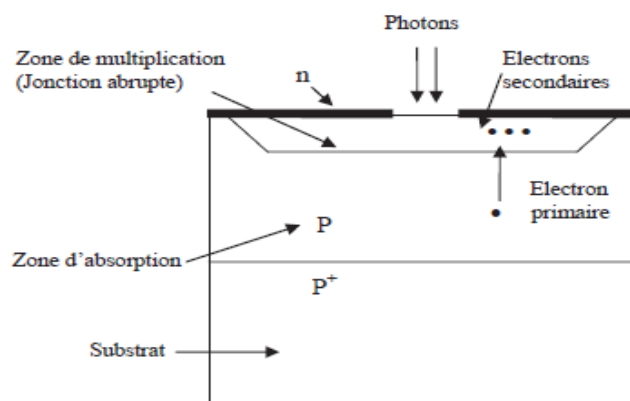


Figure I.9 : Photodiode APD.

I.6 La fibre optique

Dans le système de première génération, il y avait la fibre multimode et les diodes laser à $0.9\mu\text{m}$, leurs débit quelques Gbit/s. Dans le système de la seconde génération il y avait la fibre uni modale, diodes lasers à $1,3\mu\text{m}$, avec un débit de 10Gbit/s. Tant dit que dans la troisième génération, il y avait les diodes lasers à $1,5\mu\text{m}$, minimisation de l'atténuation, leur débit de 500 Gbit/s. Et pour la quatrième génération, il y avait la possibilité d'utiliser plusieurs longueurs d'onde simultanément avec un débit de 100000Gbit/s [6].

I.6.1 Définition de la fibre optique

La fibre optique est un support de transmission qui possède la propriété de faire circuler une intensité de lumière entre deux points distants (quelques kilomètres).

Les fibres optiques sont des « fils » de verre ou de plastique transparent pouvant transmettre des ondes sur de longues distances avec une perte minimale. La fibre optique offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques [6].

I.6.2 Structure de la fibre optique

La fibre optique est composée de 3 éléments de base : un cœur de silice de haut d'indice de réfraction, une gaine avec un indice de réfraction plus faible que celui du cœur, un revêtement protecteur (une gaine en plastique).

- **Cœur** : Milieu diélectrique intérieur, conducteur de la lumière ou sera confiner la plus grande partie de l'énergie lumineuse véhiculé dans la fibre d'indice de réfraction n_1 .
- **Gaine** : Entoure le cœur d'un milieu diélectrique, d'indice de réfraction n_2 plus faible. Les pertes des rayons lumineux se produisent dans la gaine.
- **Revêtement de protection** : Assure une protection mécanique de la fibre optique contre les parasites elle est de l'ordre de $230\mu\text{m}$ [7].

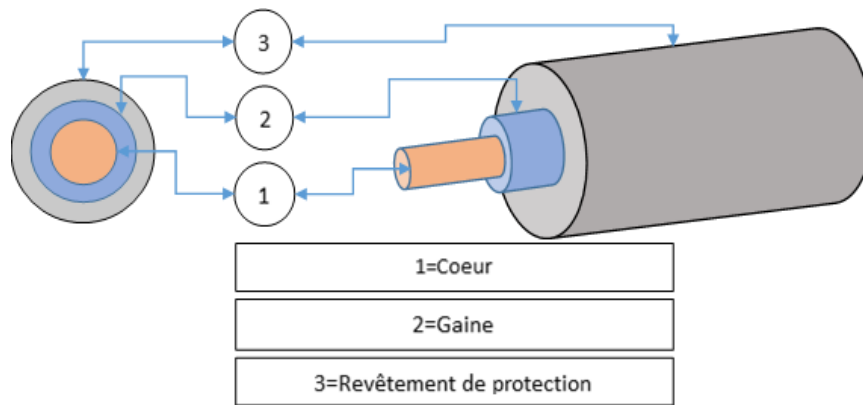


Figure I.10 : Structure d'une fibre optique.

I.6.3 Les types de fibre optique

On peut classer les fibres optiques en deux catégories selon leurs diamètres et la propagation de la longueur d'onde.

I.6.3.1 La fibre optique multimode MMF

La fibre optique multimode notée MMF (Multi Mode Fiber), elle a été la première utilisée, elle permet de transporter plusieurs lumineux simultanément, pour cela il faut avoir un diamètre du cœur important (environ $50\mu\text{m}$). Il existe deux types de fibre multimode :

- **Fibre à saut d'indice**

Dans les fibres à saut d'indice, un grand nombre de rayons lumineux se propage par réflexion totale. Le nombre de rayons est fonction de l'angle d'incidence de la lumière. La réflexion totale est assurée par les valeurs des indices de réfraction n_1 (cœur) et n_2 (gaine) avec toujours $n_1 > n_2$.

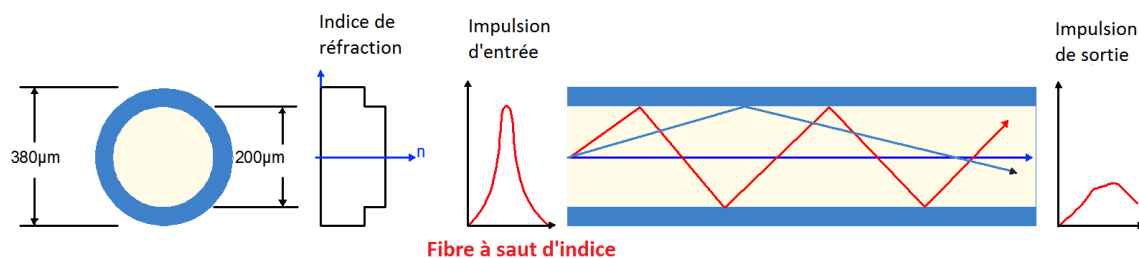


Figure I.11 : Fibre à saut d'indice.

Les fibres multi modes à saut d'indice sont destinées pour des transmissions courtes distances, elles utilisent les longueurs d'onde 850nm et 1300nm [7].

▪ Fibre à gradient d'indice

Dans les fibres à gradient d'indice, le cœur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. Ainsi, l'indice décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur/gaine. On s'approche d'une égalisation des temps de propagation, ce qui signifie que l'on a réduit la dispersion modale. Tous les rayons sont refocalisés au centre de la fibre, l'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faibles que dans la fibre à saut d'indice.

Les fibres à gradient d'indice sont les plus utilisées pour les moyennes distances [7].

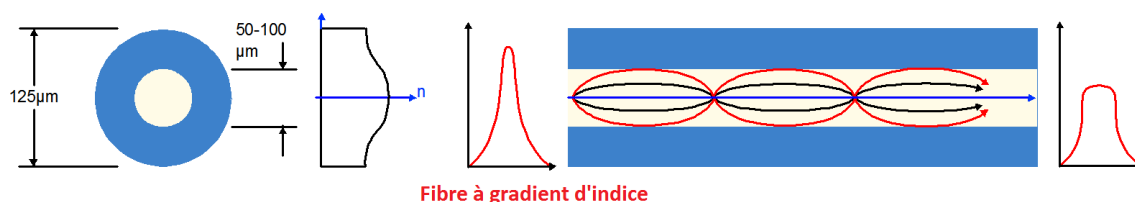


Figure I.12 : Fibre à gradient d'indice.

I.6.3.2 La Fibres monomode SMF

Les fibres monomodes possèdent un cœur très fin, de la taille d'un cheveu. Le fait que le cœur soit si fin va obliger le signal lumineux à se propager en ligne droite, de ce fait, il ne rencontre pas la gaine et n'est donc pas perturbé, et par conséquent une dispersion modale quasiment nulle.

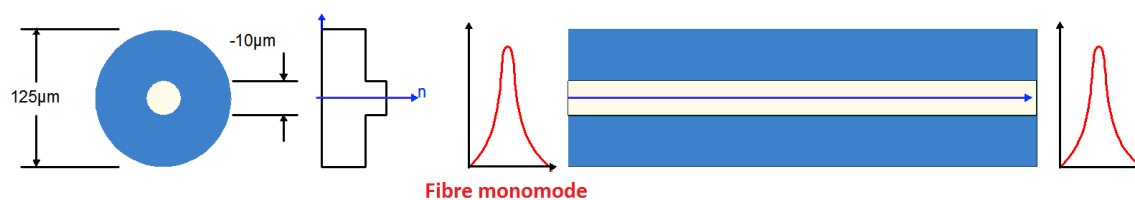


Figure I.13 : Fibre monomode.

Les fibres monomodes sont destinées pour des transmissions à longue distances, elles sont utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement

fin (8 à 10 μm en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 μm) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée [7].

I.6.4 Comparaison entre la fibre monomode et multimode

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

	Fibre monomode	Fibre multimode	
	/	Fibre à saut d'indice	Fibre à gradient d'indice
Diamètre du cœur (μm)	5 à 10	50	50
Diamètre de la gaine (μm)	125	125	125
Atténuation (dB/Km)	0.1 à 0.5	3	1.5 à 3
Bande passante	De l'ordre de THz. Km	<60 MHz. Km	De l'ordre de GHz. Km

Tableau I.1 : Comparaison entre monomodes et fibres multimodes.

I.7 Caractéristiques d'une fibre optique

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

I.7.1 L'Atténuation

Un signal optique perd sa puissance lorsqu'il se propage dans une fibre optique c'est le phénomène d'affaiblissement ou l'atténuation.

L'atténuation est donnée en dB ou dB/Km. Dans une fibre optique l'affaiblissement dépend de la longueur d'onde utilisée et la distance parcourue.

L'atténuation dans la fibre a plusieurs origines :

- Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.

- Pertes par micro courbures : elles sont dues principalement aux techniques de fabrication, elles se traduisent par l'irrégularité de l'interface cœur gaine.
- Pertes par courbures : lorsqu'on courbe une fibre, l'angle d'incidence diminue, ce qui a pour conséquence soit une conversion de mode, soit un rayonnement dans la gaine.
- Pertes par épissurage : elles sont dues au couplage [7].

I.7.2 La dispersion

Le phénomène de dispersion se traduit par un élargissement des impulsions au cœur de leur propagation, cet élargissement limite la bande passante du canal de fibre optique.

Il existe deux types de dispersion :

La dispersion chromatique : qui résulte de la différence de vitesses de groupes des différentes composantes spectrales du signal de transmission.

La dispersion modale : qui résulte de la différence de temps de propagation des différentes modes qui se propage dans la fibre multimodes.

La dispersion est une grandeur très importante pour les télécoms à grandes distances. Les fibres monomodes en silice offrent actuellement la meilleure fiabilité et la plus grande bande passante que toute autre fibre, indispensables pour une propagation du signal sur de longues distances ou pour le WDM [7].

I.8 Avantages et inconvénients des fibres optiques

I.8.1 Les avantages

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

- Très large bande passante, de l'ordre de 1 GHz pour 1 km, qui permet le multiplexage sur un même support de très nombreux canaux, comme le téléphone, la télévision, etc.
- Grande légèreté, le poids d'un câble optique par unité de longueur, de l'ordre de quelques grammes au kilomètre, étant environ neuf fois plus faible que celui d'un câble conventionnel.

- Très faible atténuation, qui permet d'envisager un espacement important des points de régénération des signaux transmis. Le pas de régénération est supérieur à 10 km, alors que, sur du câble coaxial, il est de l'ordre de 2 à 3 km.
- Excellente qualité de la transmission. Une liaison par faisceau lumineux est, par exemple, insensible aux orages, aux étincelles et au bruit électromagnétique.
- Absence de rayonnement, ce qui rend son emploi particulièrement intéressant pour les applications militaires.
- Résistance à conditions environnementales adverses. Moins d'influence des liquides corrosifs, gaz et variations de température.
- Les prix de la fibre reste faible, car la matière de base utilisée, la silice (verre très pur composé de dioxyde de silicium), très abondante sur la terre [1].

Tous les avantages cités permettent de diminuer le coût d'installation. Par exemple, pour les grandes distances, on peut mettre la fibre optique avec les câbles de garde des tours d'haute tension.

I.8.2 Les inconvénients

L'emploi de la fibre optique présente quelques inconvénients qui permettent d'utiliser avec succès le câble cuivre :

- Difficultés de raccordement aussi bien entre deux fibres qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception. En laboratoire, on peut réaliser des connexions pour lesquelles les pertes sont inférieures à 0,2 dB. Sur le terrain, il faut appel à des connecteurs amovibles, qui demandent un ajustement précis et occasionnent des pertes supérieures à 1dB.
- La limite générale est de l'ordre de mille longueurs d'onde sur une même fibre optique. Avec mille longueurs d'onde, la fibre est totalement remplie.
- Les interfaces électriques/optiques ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé.
- Coût d'exploitation élevé.
- Dispersion chromatique (élargissement du signal entre le début et la fin de la fibre) [1].

I.9 Applications de la fibre optique

- Réseaux et télécommunications.
- Transmission téléphonique : Liaison entre centraux téléphonique, liaisons transocéaniques.
- Télévision : Téléconférence, liaison caméra studio.
- système de sécurité.
- Capteurs.
- Interférométrie.
- L'imagerie médicale.
- Mesure et éclairage.
- Médecine et chirurgie [4].

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu une description d'une liaison par fibre optique, les composants d'un émetteur, d'un récepteur et ses caractéristiques, avantages et inconvénients de la fibre optique ainsi que ses applications.

Pour conclure, on peut dire que la fibre optique représente assurément le meilleur moyen actuel pour transporter de très hauts débits d'informations numériques, et les besoins dans ce domaine vont probablement augmenter très fortement dans un avenir proche.

De nouvelles architectures sont mises en œuvre tel que l'architecture optique passive PON (Passive Optical Network) qu'on va l'étudier dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Réseaux optiques passifs

II.1 Introduction

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

La demande d'une bande passante plus élevée a provoqué la mise en place des réseaux d'accès de type FTTH (Fiber To The Home) à base large bande. Parmi les différentes implémentations FTTH on trouve le réseau optique passif PON (Passive Optical Network), qui peut fournir des débits très élevés aux clients, une grande zone de couverture, un déploiement de la fibre réduit à la suite de son point-à-multipoint architecture, et un coût réduit de l'entretien grâce à l'utilisation de composants passifs dans le réseau.

Intégrer la division de longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) dans un PON est la réponse à une augmentation des débits et du taux de partage dans le réseau d'accès, où chaque client va attribuer une longueur d'onde spécifique.

Ce chapitre introduit les réseaux optiques, en particulier les réseaux optiques passifs, ses éléments constitutifs, son principe de fonctionnement. Nous décrivons aussi trois principales catégories d'architecture de réseau PON : point à point, point à multipoints passif, FTTH (Fiber To The Home), nous discutons par la suite sur les PON WDM : multiplexage en longueur d'onde, enfin on présente quelques avantages et inconvénients du réseau PON (Passive Optical Network).

II.2 Les réseaux optiques

D'une manière générale, un réseau de télécommunication par fibre optique peut être décomposé en trois catégories [17] :

- le réseau d'accès - couvrant des dimensions de l'ordre de quelques kilomètres à quelques dizaines, aussi appelé réseau local (Local Area Network : LAN),
- le réseau métropolitain (Métropolitain Area Network : MAN), ayant des dimensions de l'ordre de la centaine de kilomètres,
- le réseau cœur - s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres.

II.2.1 Les réseaux d'accès optiques

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

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

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

- **FTTH(Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office)**

La terminaison du réseau optique, propre à un abonné est implantée dans ces locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s). Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO, la figure (II.1) représente les différents composants d'un réseau FTTH/FTTO [12].



Figure II.1 : Structure d'un réseau FTTH/FTTO.

- **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 (II.2) représente la structure d'un réseau FTTB [12].



Figure II.2 : Structure d'un réseau FTTB.

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

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (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 (II.3) représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab [12].



Figure II.3 : Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.

II.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 (pas de partage) et de sécurité de transfert (les données des différents utilisateurs sont séparées), mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur [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).

II.3.1 Architecture point à point

Le point-à-point est l'architecture la plus simple à mettre en œuvre parmi les topologies physiques du réseau d'accès optiques, elle consiste à avoir un lien physique en fibre optique directement entre le central et l'abonné. Elle est principalement associée avec des technologies telles que la technologie à hiérarchie numérique synchrone (SDH/SONET) et les technologies xDSL (ADSL, HDSL, VDSL,...).

Le déploiement de cette technologie revient plus cher, le nombre de fibres à produire et à connecter étant plus élevé.

Dans cette architecture, chaque abonné est raccordé au répartiteur optique du réseau le plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Ce modèle est identique à celui de la boucle locale téléphonique actuelle. Cette architecture permet une étanchéité absolue entre les lignes des différents abonnés : aucun risque de sécurité, et garantie absolue de disponibilité totale de la ligne. Mais c'est inconvenient pour les opérateurs, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant de fibres que d'abonnés (figure II.4).

Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés mais le plus 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 .commerciallement, les débits sont limités à des valeurs moindres, par exemple 100Mb/s symétriques [11].

Les avantages

- Solution universelle adaptée aux clients résidentiels et aux entreprises
- Budget optique optimal puisque pas de composants optiques entre l'OLT et l'ONT.
- La sécurité des données est garantie puisqu'une ou deux fibres sont dédiées à chaque client.
- La gestion du réseau est très simplifiée.
- Bande passante illimitée.
- Plus économique dans des secteurs d'abonné de faible densité.
- Une plus grande flexibilité de service.

Les inconvénients

- Gestion de la fibre au niveau de la centrale (la gestion TxRx)
- Pas de mutualisation de la fibre.
- Encombrement à l'intérieur du central dû au grand nombre de transcrives.
- Pas de partage de l'OLT ou de port optique, beaucoup de fibres à déployer (pas très économique).

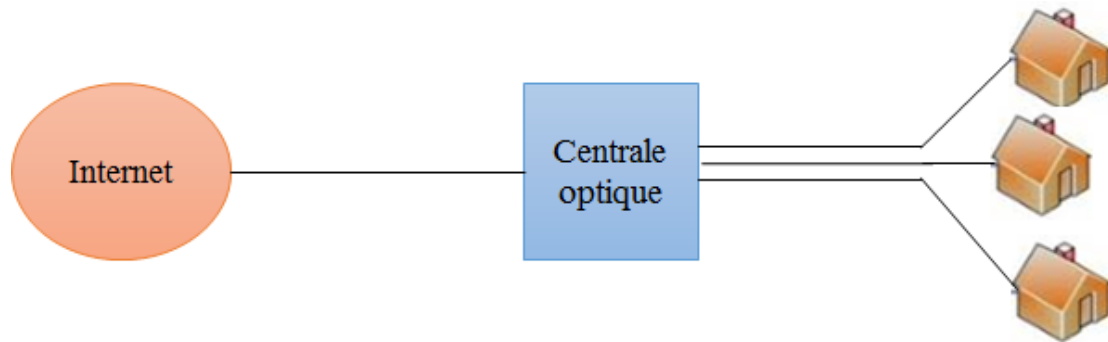


Figure II.4 : Architecture point à point.

II.3.2 Architecture point à multipoint

Un réseau point-à-multipoint (P2M) connu aussi sous le nom de PON (Passive Optical network ou Réseau optique passif), 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 (figure II.5) [11].

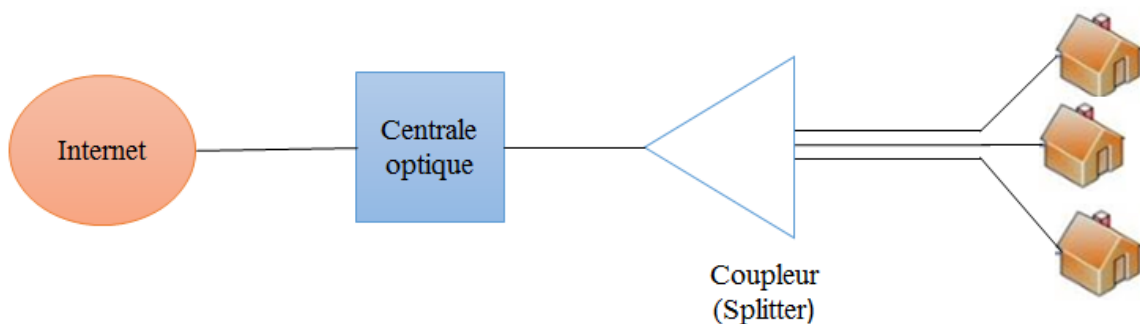


Figure II.5 : Architecture point à multipoint.

Les avantages

- Aucun élément électronique actif dans le réseau d'accès, c'est la structure passive.
- Réduit des dépenses capitales et des coûts d'exploitation associés.
- Les frais bas d'entretien de ces composants optiques passifs réduiront de manière significative du coût de mises à niveau et de dépenses de fonctionnement.

- Permet des économies sur la quantité de fibres à poser, et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil.
- Architecture favorable à la diffusion.
- Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.

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.

II.4 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON

Le tableau ci-dessus résume une comparaison des deux architectures point à point et point à multipoint :

Paramètre	Point à Point	Point à multipoint
Gestion de chiffrement	Pas nécessaire	Requise
Gestion de la bande passante	Bande passante non partagée sur le réseau d'accès	Allocation dynamique de la bande en fonction des besoins des utilisateurs
Zone de desserte	L'habitat dispersé et pour les lignes spécialisées	Le résidentiels et pour les zones forte densité
Distance (kms)	15	20
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 Dissipé au NA	0,6 watt / abonné Dissipé au NA
Débit garanti	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32
Débit maximum	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 2,5Gbit/s en descendant et 1Gbit/s en montant

Dégroupage	Actif et passif au NA	Actif et passif au NF
Équipement Actif dans le réseau de desserte	Non	Non
Place occupée	1U pour 24 à 48abonnées	4U pour 512 à 2304 abonnés

Tableau II.1 : Comparaison entre P2P et PON.

II.5 Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network)

Les technologies PON constituent aujourd'hui une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit dans la mesure où elles concilient très forte capacité de transport et minimisation des infrastructures fibres nécessaires. Ces technologies utilisent comme infrastructure sous-jacente des fibres optiques passifs, car les équipements de la partie intermédiaire de ces réseaux sont inactifs : ils ne sont pas alimentés en électricité et n'embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent un service d'acheminement de flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit, jusqu'à l'utilisateur final, entreprise ou particulier [13].

Les réseaux PON ont fait l'objet de procédures de normalisation 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).

II.5.1 Architecture d'un réseau optique passif (PON)

Un réseau PON, représenté schématiquement dans la figure (figure II.6), 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 [18].

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.

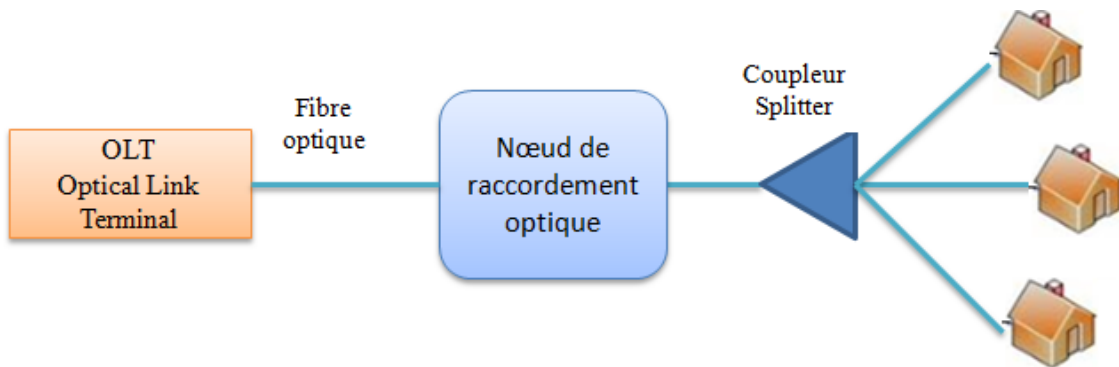


Figure II.6 : Architecture d'un réseau optique passif (PON).

II.5.2 Etude des éléments d'un réseau optique passif

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur 3 éléments essentiels : OLT (Optical Line Terminal ou Terminaison de Ligne Optique), ONU (Optical Network Unit ou Unité de réseau optique), et l'élément passif qui est le coupleur ou (Splitter).

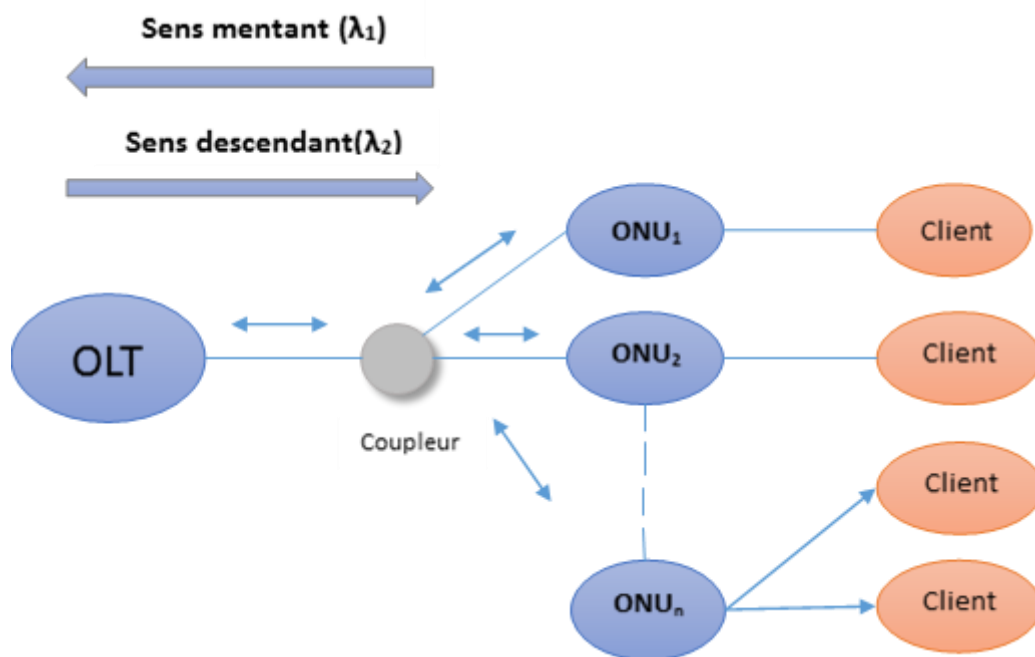


Figure II.7 : Les éléments constitutifs du PON.

II.5.2.1 OLT (Optical Link Terminal)

L'OLT est l'équipement maître d'accès optique pour des clients connectés au FTTx, un lieu de collecte permet de distribuer des services tel que : l'internet, la téléphonie et la vidéo, cet équipement est actif, placé au central, envoie et reçoit des signaux lumineux porteurs des données [14].

Le transmetteur optique est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER. Un récepteur qui permet d'adapter le seuil de décision de la photodiode en fonction des paquets de données reçues. LOLT doit être conformes à la norme ITU.

II.5.2.2 ONT (Optical Network Terminal)

L'ONT peut être considéré comme un modem optique auquel le client vient connecter sa passerelle d'accès au haut débit. C'est un élément terminal du réseau optique. L'ONU désigne un élément générique terminal du réseau d'accès optique FTTx. L'ONT se compose d'un module, d'un émetteur optique à base d'une diode LASER et un photorécepteur [14].

L'ONT est l'interlocuteur directe de L'OLT, les ONT émettent sur une même longueur d'onde pour des raisons de cout et de gestion des équipements.

II.5.2.3 Coupleur optique (splitter)

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 nécessite aucune alimentation électrique, son fonctionnement est basé sur la seule propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre [15].

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.

II.5.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON

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

▪ Sens montant

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

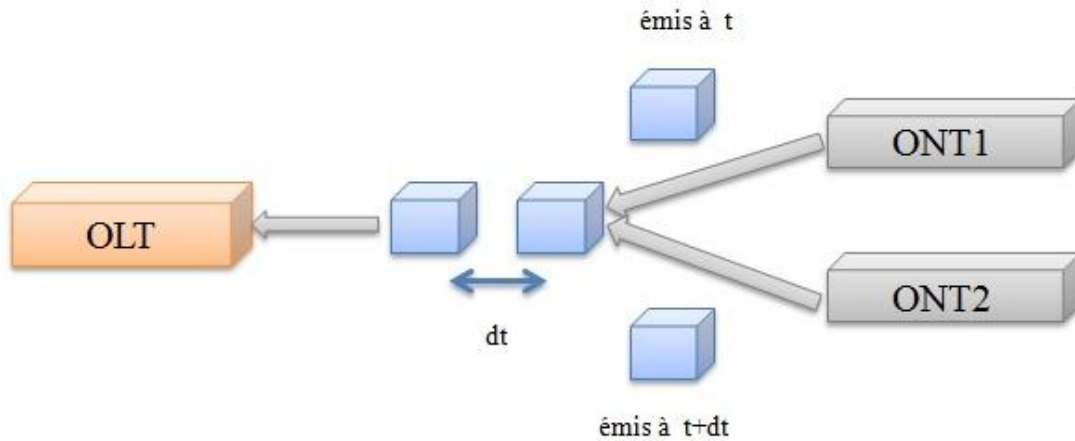


Figure II.8 : Architecture du sens montant.

▪ **Sens descendant**

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

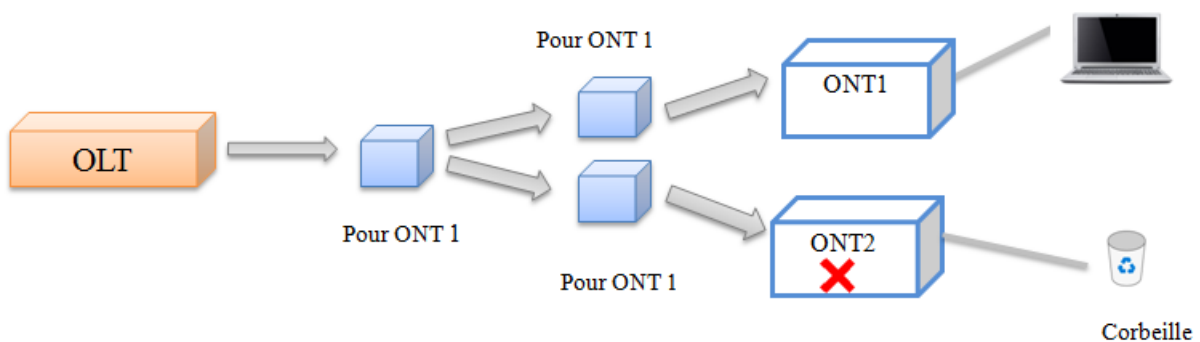


Figure II.9 : Architecture du sens descendant.

II.6 Les différents standards d'un réseau PON

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

II.6.1 La norme APON

Dans le tronçon FTTH (Fiber To The Home) la méthode de prédilection est le réseau optique passif (ATM PON) qu'ils ont normalisé. C'est simplement un système point-multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'ITU-T. Avec l'APON, les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre. Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbit/s ou 155 Mbit/s dans le sens descendant, 155 Mbit/s dans le sens montant). Dans le sens descendant, le multiplexage des cellules ATM est utilisé, alors qu'un protocole de TDMA commande l'accès ascendant des abonnés au réseau.

II.6.2 La norme BPON

Le 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). C'est un réseau de distribution en fibre optique à large bande. En effet, les améliorations récentes de l'APON incluent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde WDM, une commande dynamique de la largeur de bande, une meilleure sécurité de données.

Les autres caractéristiques des réseaux APON / BPON sont :

- 32 ONUs dans un seul PON.
- La longueur de la fibre peut aller jusqu'à 20 km.
- Pour la voix et les données, les longueurs d'onde utilisées dans le sens descendant et montant sont 1490 nm et 1310 nm respectivement.
- Une troisième longueur d'onde (1550 nm) peut être utilisée pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant [10].

II.6.3 La norme EPON

EPON (Ethernet PON) est un réseau dans lequel la topologie point-multipoints (P2MP) est mise en application avec des coupleurs optiques passifs et la fibre optique comme PMD (Physical Medium Dépendent), qui est basé sur un mécanisme appelé le protocole de

Contrôle Multipoint (Multi- Point Control Protocol MPCP), défini comme une fonction dans la sous couche MAC. Pour commander l'accès à une topologie de P2MP, chaque unité optique de réseau (Optical Network Unit ONU) dans la topologie de P2MP contient un élément du protocole MPCP, qui communique avec un autre élément de MPCP dans l'OLT (Optical Line Terminal). La différence principale entre EPON et APON est que dans les architectures EPON les données sont transmises en paquets de longueurs variables jusqu'à 1.518 octets selon le protocole IEEE 802,3 pour l'Ethernet, tandis que dans un APON les données sont transmises en cellules de longueur fixe de 53 octets (charge utile 48-octets et cinq octets d'en tête), comme indiqué par le protocole ATM. Ce format signifie qu'il est difficile et inefficace qu'un réseau APON transporte un trafic adapté au protocole IP. En effet dans un protocole IP les données sont segmentées dans des paquets de longueurs variables jusqu'à 65.535 octets. Pour qu'un APON porte le trafic IP, les paquets doivent être divisés en segments de 48 octets avec un en-tête de 5 octets attaché à chacun. Ce processus est long et compliqué et augmente le coût des OLT et des ONU. De plus, 5 octets de largeur de bande sont gaspillés pour chaque segment de 48 octets, créant ainsi des pertes qui sont connues communément sous le nom «ATM cell tax » [10].

II.6.4 La norme GPON

Le progrès de la technologie, le besoin en bande passante plus large, en plus de l'insuffisance de l'ATM, ont poussé à réviser le standard APON et à réfléchir à une autre solution appelée GPON (Gigabit PON) qui a été standardisée par l'ITU en 2003. L'architecture GPON ne repose plus sur un tramage ATM mais sur un protocole beaucoup plus simple appelé GFP (Generic Framing Procédure : Protocole de multiplexage). L'avantage majeur de GPON est qu'il peut supporter plusieurs services à la fois et permet la transmission des paquets en se basant sur des protocoles différents (ATM, IP). De plus, en comparaison avec le standard BPON, le GPON permet une transmission allant jusqu'à 2.48 Gbps dans le sens descendant et 1.244 Gbps dans le sens montant bien qu'il n'utilise qu'une seule longueur d'onde dans ce sens [10].

II.7 Comparaison des standards d'un réseau PON

Le tableau ci-dessus récapitule les caractéristiques des différentes normes définies précédemment [16].

Norme	APON	BPON	EPON	GPON
Norme de recommandation	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av	G.984 (FSAN)
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
Debit 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 , 23	16 ,32, 64	16 ,32, 64 jusqu'à 128
Distance OLT/ONT	10 ou 20 Km	10 ou20Km	20Km	20Km

Tableau II.2 : Comparaison des standards PON.

II.8 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM-PON)

Le multiplexage en longueur d'onde du réseau optique passif ou WDM (pour Wavelength Division Multiplexing) est probable pour la prochaine génération de solution pour les réseaux d'accès. Nous nous intéressons dans les paragraphes qui suivent à cette architecture WDM PON. Nous commençons par une présentation générale. Puis, ses différents types.

Le réseau optique passif de multiplexage à répartition en longueurs d'onde (WDM PON) est la prochaine génération des réseaux d'accès. Ils peuvent offrir la plus grande largeur de bande au plus peu coûteux [15]. En principe, l'architecture de WDM PON est semblable à l'architecture du PON. La différence principale est que les ONUs opèrent différentes longueurs d'onde et par conséquent des taux de transmission plus hauts peuvent être réalisés.

La solution de PON WDM offre une bande passante beaucoup plus large et tolère un nombre d'ONUs plus grand sur un PON. En effet, elle offre plusieurs longueurs d'onde sur le même PON. L'approche classique dans les architectures PONs WDM est d'utiliser des canaux WDM séparés, de l'OLT à chaque ONU.

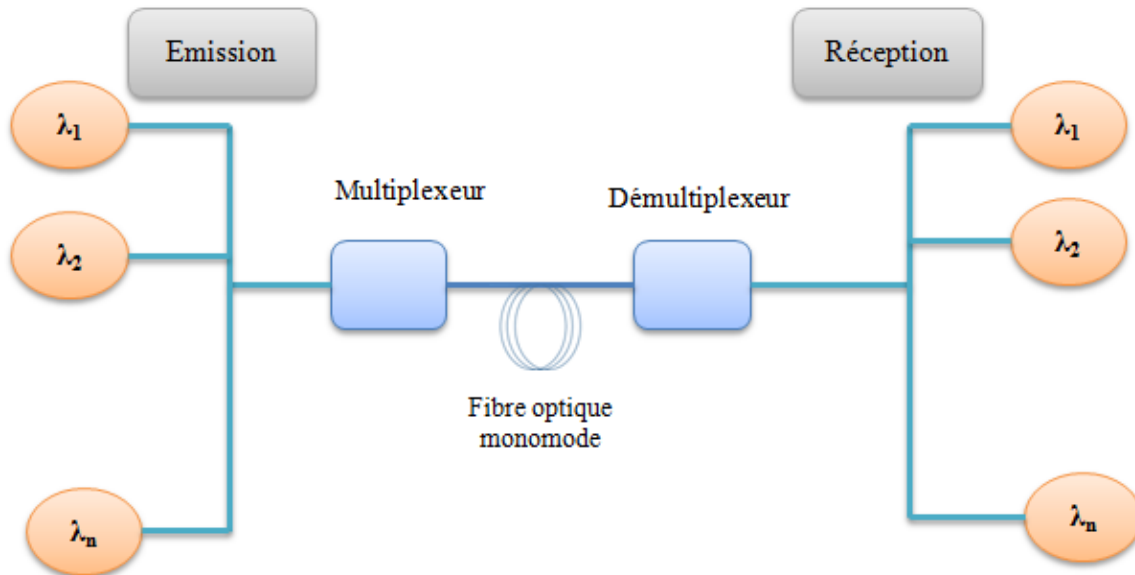


Figure II.10 : Le multiplexage en longueur d'onde WDM.

II.8.1 Architecture de multiplexage en longueur d'onde WDM PON

Le multiplexage en longueur d'onde WDM permet le partage du réseau en utilisant la longueur d'onde comme composante de multiplexage, c'est-à-dire que chaque client se voit attribuer une longueur d'onde spécifique comme nous pouvons le constater dans la figure (II.11).

Dans l'architecture WDM PON, les ONTs peuvent fonctionner à différentes longueurs d'onde, ce qui permet d'atteindre un débit élevé de transmission.

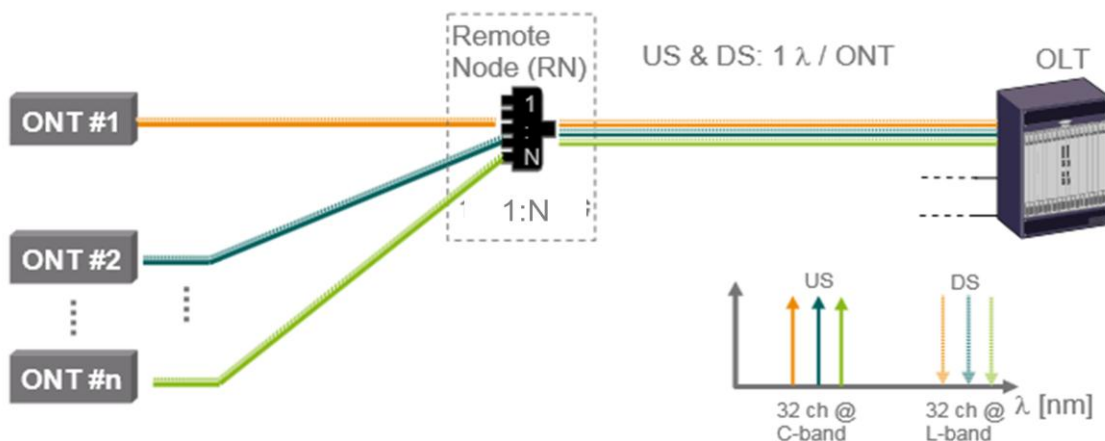


Figure II.11: Architecture PON base sur le multiplexage en longueur d'onde WDM.

Figure (II.11) Architecture PON base sur le multiplexage en longueur d'onde WDM. La capacité totale de la bande passante du système d'accès est multipliée par le nombre de longueurs d'onde multiplexées sur la fibre. Ces signaux optiques sont ensuite séparés (ou démultiplexés) dans des fibres différentes.

▪ Sens descendant

L'OLT émet toutes les longueurs d'onde sur la même fibre partagée. Dans le cas de l'utilisation d'un coupleur dans le point de répartition (RN), ce composant divise la puissance et distribue l'ensemble des longueurs d'ondes vers chaque foyer connecté. Un filtre en longueur d'onde au niveau de l'ONU permet ensuite de sélectionner la longueur d'onde dédiée à chaque client. Si on utilise un répartiteur de longueur d'onde ou un démultiplexeur de type AWG (Arrayed Waveguide Grating) dans le RN, chaque ONU reçoit une longueur d'onde dédiée.

▪ Sens montant

Dans le sens montant, les ONUs renvoient des longueurs d'onde différentes vers l'OLT. L'acronyme WDMA (Wavelength Division Multiple Accès) désigne l'accès multiple en longueur d'onde dans le sens montant.

On rencontre deux principales variantes du WDM : le DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) et le CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) [19].

- CWDM pour Coarse Wavelength Division Multiplexing, utilise des longueurs d'onde multiples espacées de 20 nm, L'ITU spécifie 18 longueurs d'ondes CWDM allant de 1271 nm à 1611 nm comme le montre la Figure (II.12).

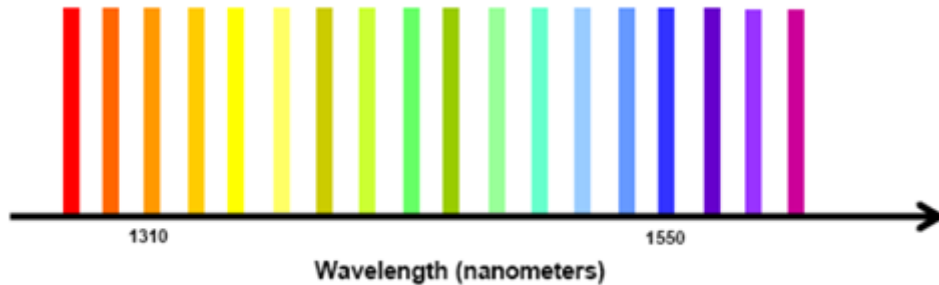


Figure II.12 : Longueurs d'onde Coarse WDM.

DWDM pour Dense Wavelength Division Multiplexing, utilise plusieurs longueurs d'ondes faiblement espacées (0.8 nm) comparées à la solution CWDM, et elles sont habituellement localisées dans la Bande C, dans la gamme de longueur d'onde située entre 1530 nm et 1565 nm comme le montre la Figure (II.13).

Dans l'accès optique, des travaux de recherche sont menés sur de L'Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing (UDWDM) ou les longueurs d'ondes sont espacé de 0.2nm.

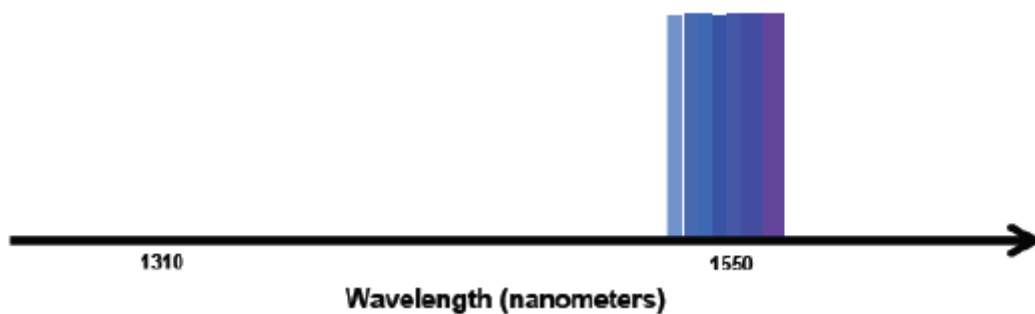


Figure II.13 : Longueurs d'onde Dense WDM.

En terme d'architecture , il existe des variantes, en particulier au niveau du composant de répartition qui peut être un coupleur ou un multiplexeur .De ces deux techniques vont découler trois architecture: l'architecture "broadcast and ,select" avec un coupleur, l'architecture à démultiplexage spatial avec un multiplexeur en longueur d'onde, et

l'architecture hybride qui consiste à superposer plusieurs TDM PON grâce au WDM ce qu'on appellera PON WDM-TDM.

II.8.1.1 Architecture PON WDM " BROADCAST AND SELECT "

Il est possible que l'évolution du PON continue à être basée sur un réseau de distribution optique (ou ODN) avec "coupleur" comme dans le G-PON et le XG-PON (Figure II.14). Cette architecture est avantageuse car elle permet une évolution aisée de l'architecture PON actuelle. Le même élément principal qui est dans le G-PON actuel, à savoir le coupleur 1:N passif et achromatique, est conservé. Ce dernier va diffuser les longueurs d'onde vers tous les ONU (« broadcast »). Chaque abonné reçoit toutes les longueurs d'onde mais un filtre optique différent chez chaque client permet de sélectionner la longueur d'onde qui lui est attribuée («select »). C'est donc l'architecture « broadcast and select ».

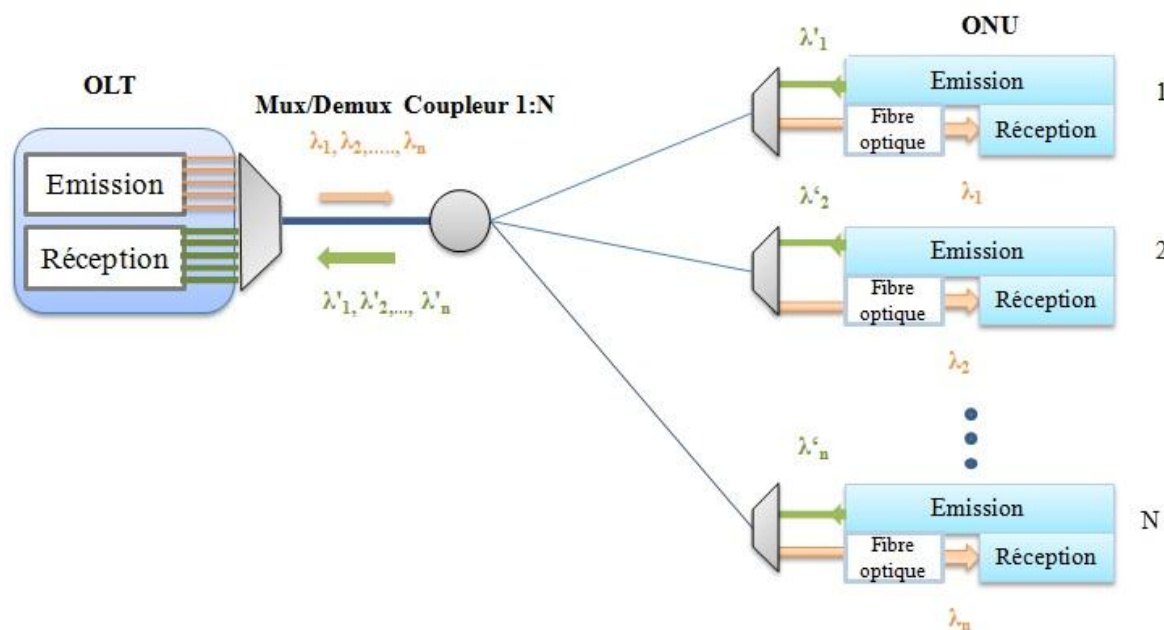


Figure II.14: Architecture PON WDM bidirectionnelle "broadcast and select"

II.8.1.2 L'architecture à base de répartiteur en longueurs d'onde "DEMULTIPLEXAGE SPATIAL"

Le principe de cette technique consiste d'abord à multiplexer les longueurs d'onde descendantes à l'OLT et à les faire se propager sur la fibre de distribution jusqu'au sous

répartiteur. Dans ce dernier, un démultiplexeur sépare les longueurs d'onde et envoie chacune d'elles vers le client qui lui correspond.

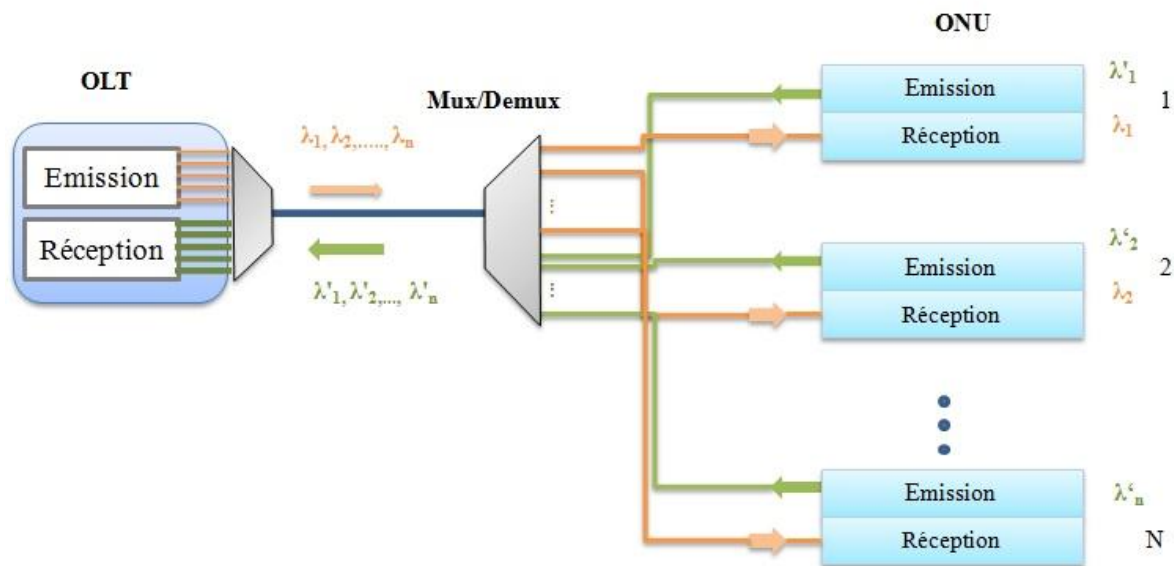


Figure II.15 : Architecture PON WDM bidirectionnelle " démultiplexage spatial".

Pour le sens montant, chaque client a un laser de longueur d'onde différente qui correspond au port du multiplexeur sur lequel il est connecté. Tous les signaux montants sont multiplexés puis envoyés sur la fibre principale et ensuite démultiplexés à l'OLT (figure II.15).

Cette structure permet d'atteindre un maximum d'efficacité en bande passante par client. De plus, les pertes optiques du multiplexeur sont indépendantes du nombre de ports de sortie.

II.8.1.3 Architecture PON hybride ou WDM-TDM PON

Dans le but d'augmenter la bande passante attribuée à chaque utilisateur et partager de manière flexible et efficace le débit porté par une longueur d'onde entre plusieurs abonnés, la combinaison entre le partage temporel et le partage en longueur d'onde dans la même architecture représente une des solutions futures pour la nouvelle génération du réseau d'accès (NGPON). On parle alors d'un WDM-TDM PON ou PON hybride.

II.9 Les débits offerts par les réseaux optiques passifs (PON)

Dans un réseau PON, un débit de 1 à 2,5 Gbit/s est partagé entre N utilisateurs, N pouvant aller jusqu'à 64. Les ONUs ont des interfaces standardisées RJ45, et autorisent des débits instantanés jusqu'à 1 Gbit/s [13].

Les architectures PON offrent une grande flexibilité pour l'allocation de la bande passante. La bande passante est en effet allouée de manière totalement dynamique à l'ensemble des utilisateurs ayant besoin de débit à un instant donné.

Le reste de la bande passante disponible est alloué équitablement entre les utilisateurs actifs tout en respectant la qualité de service.

II.10 Les performances d'un réseau optique passif

II.10.1 La fiabilité du PON

L'ITU a utilisé le principe de la redondance des réseaux pour assurer la fiabilité du PON, en cas de panne d'un lien il bascule sur le lien secondaire. Pour les raccordements sensibles l'accès est dupliqué [13].

II.10.2 La sécurité du PON

Le réseau PON offre un mode de fonctionnement sécurisé en ce qui concerne la confidentialité des données. Il met en place des mécanismes afin qu'un abonné ne puisse lire que les données qui lui sont adressées [13] :

- Le trafic descendant est crypté. Il utilise l'algorithme standardisé AES à 128-bits ou chaque équipement client a sa propre clé de cryptage/décryptage privée. Ces clés sont automatiquement échangées par L'OLT et L'ONU à des intervalles réguliers.
- Le trafic remontant est émis en utilisant une couleur optique de 1310nm. Les modems client n'ont aucun moyen de détecter ce signal optique et par conséquent de lire le trafic remontant des autres clients.

En outre mécanismes d'authentification des ONT permettant de refuser la connexion pirate d'un nouvel ONT sur le réseau. Cette tentative restera infructueuse et sera automatiquement détectée par une alarme au niveau central.

II.11 Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON)

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

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

Le réseau PON présente quelques points négatifs :

- Si les câbles optiques mis en place correspondent au strict nécessaire à la réalisation d'un PON, alors la capacité d'évolution du réseau est limitée. On ne dispose d'aucune réserve de capacité d'aucune fibre excédentaire. On ne peut évoluer sans réaliser de nouvelles infrastructures d'accueil.
- Si un réseau est construit sur une architecture PON strict, celui-ci ne peut être partagé entre plusieurs fournisseurs des services qu'au niveau transport : un opérateur unique gère les OLT, et transporte jusqu'à l'abonné les données apportées à la centrale par des fournisseurs de service.

II.12 Conclusion

Ce chapitre a permis de dresser un panorama du réseau d'accès optique. Dans un premier temps plusieurs techniques ont été décrites consiste à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur tel que FTTH (Fiber To The Home), et on a cité les différents topologies utilisées pour ce déploiement : point à point et point à multipoint.

Nous avons défini par la suite le réseau optique passif (PON) qui permet une minimisation des infrastructures fibres.

Dans un deuxième temps on a vu la technologie multiplexage en longueur d'onde WDMPON (Wavelength Division Multiplexing).

Dans le chapitre suivant nous allons analyser le système B-PON bidirectionnelle sous le logiciel OptiSystem.

Chapitre III

Etude d'une liaison B-PON
bidirectionnelle

III.1 Introduction

Après étude théorique résumée dans les deux chapitres précédents. Nous allons passer au système B-PON bidirectionnelle, testé sous le logiciel OptiSystem d'OptiWave qui est un simulateur de systèmes de communications optiques très complet à travers sa bibliothèque riche de composants optiques et ses outils d'analyse des performances.

Ce chapitre est composé de trois parties :

- Présentation du logiciel de simulation (OptiSystem).
- Etude et simulation d'une liaison B-PON bidirectionnelle.
- Etudier l'évolution temporelle et fréquentielle du signal optique au cours de sa propagation.

III.2 Description de l'outil de simulation

OptiSystem, est un logiciel de conception, de tests et d'optimisation de n'importe quel type de liaison optique, Un niveau de système simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique, OptiSystem possède 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 utilisés.

Une interface utilisateur graphique complète contrôle la disposition de composants optiques, des modèles et graphiques de présentation. La bibliothèque des composants OptiSystem comprend des centaines de composants qui nous permettent de saisir les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de dispositifs réels. Les utilisateurs peuvent incorporer de nouveaux composants basés sur des sous-systèmes définis par l'utilisateur des bibliothèques. OptiSystem manipule des formats de messages mélangés pour les signaux optiques et électriques dans la bibliothèque composante.

OptiSystem manipule des formats de messages mélangés pour les signaux optiques électriques dans la bibliothèque composante.

Pour répondre aux besoins des chercheurs, ingénieurs télécoms optiques, des intégrateurs systèmes, des étudiants et une grande variété d'autres utilisateurs, OptiSystem satisfait à la demande d'évolution du marché de la photonique, c'est un outil puissant et facile à utiliser pour les systèmes optiques de conception.

C'est une application Xwindows, elle comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties :

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- 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.

OptiSystem est un logiciel très performant qui permet aussi de concevoir et de modéliser des composants optiques. Lors de la conception, il suffit de glisser le composant de la bibliothèque vers le Layout.

La figure(III.1) représente un exemple d'un composant optique de la bibliothèque d'OptiSystem, qui est dans notre cas une fibre monomodes avec tous ces paramètres.

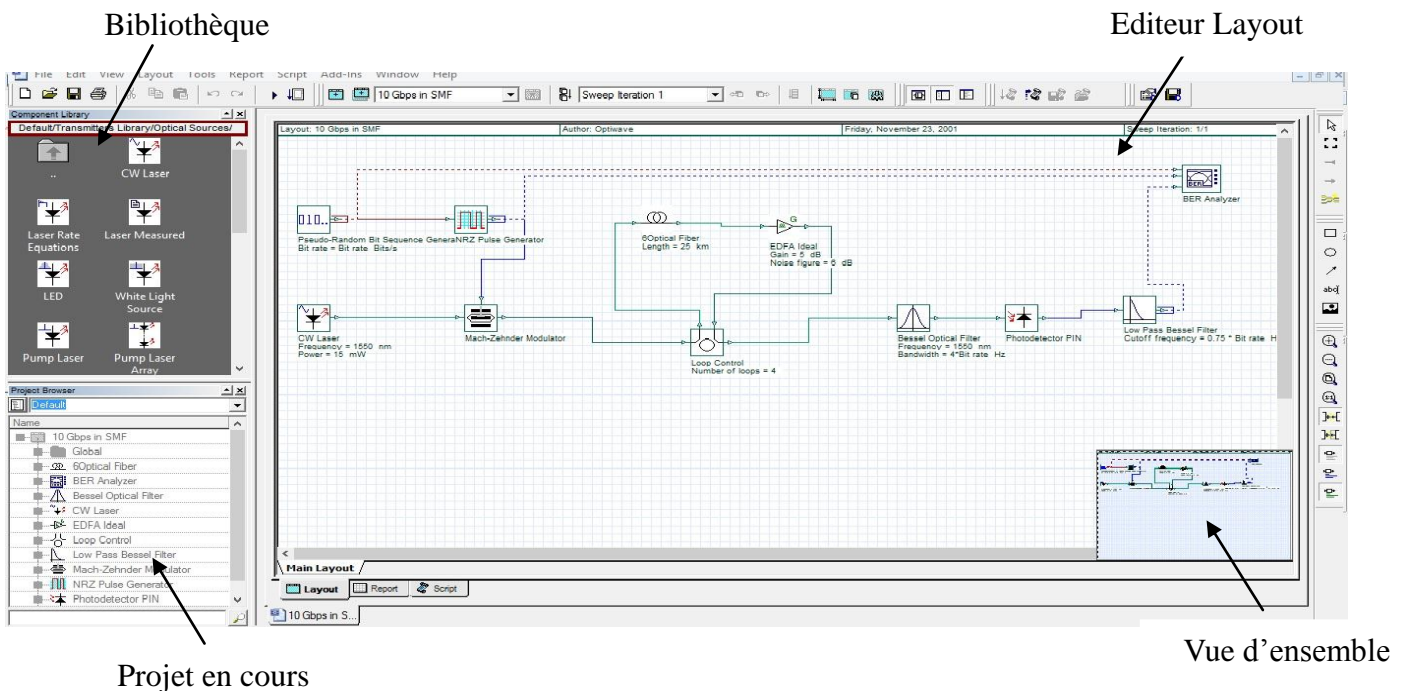


Figure III.1 : Les fenêtres d'OPTISYSTEM

Afin d'utiliser un composant, il suffit de le glisser de la bibliothèque vers le Layout pour le placer, OPTISYSTEM permet aussi le paramétrage pour chaque composant définie

dans le layout. En effet, un double-clic sur le composant, permet l'affichage de ses paramètres figure (III.2).

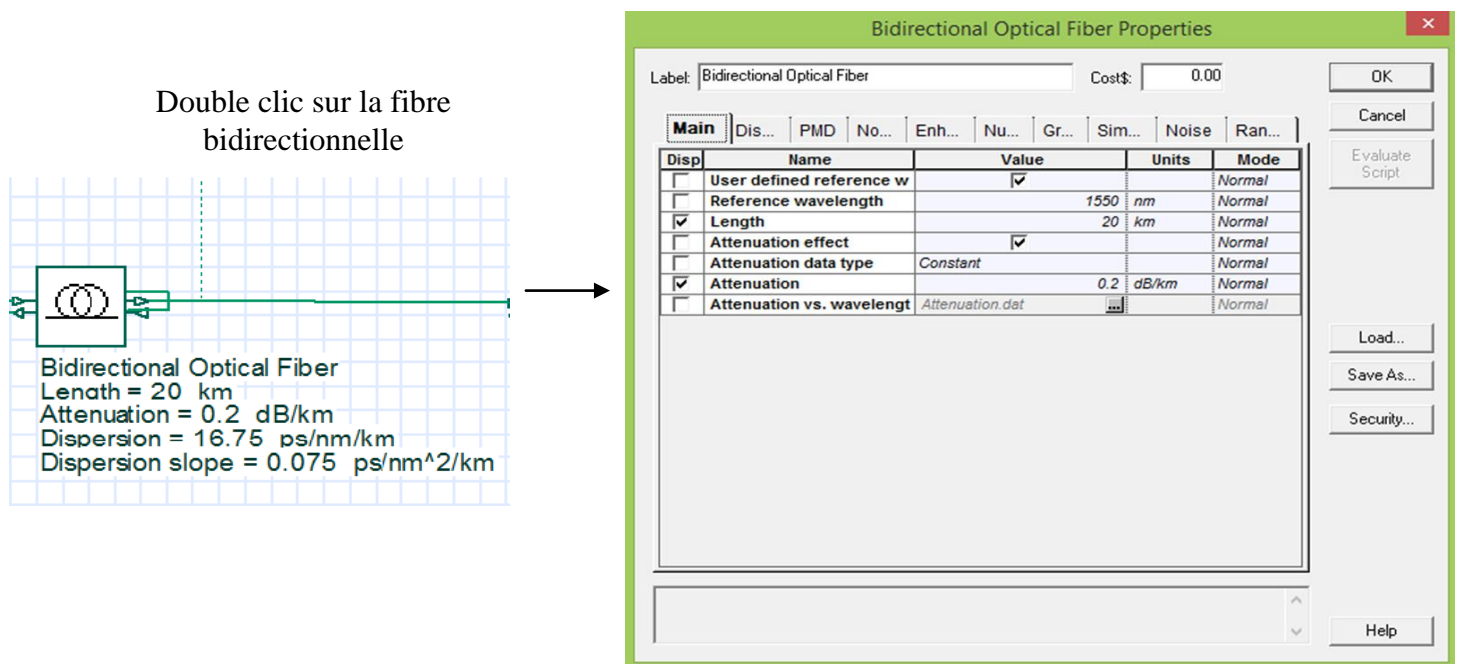


Figure III.2 : Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée.

Au niveau de cette fenêtre on peut changer les paramètres de la fibre bidirectionnelle, tel que la longueur d'onde, la longueur de la fibre, l'atténuation et la dispersion.

III.3 Avantages du logiciel

- Fournir un aperçu de performances du système mondial de fibres optiques.
- Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation.

III.4 Etude de liaison B-PON

Notre système, le B-PON bidirectionnelle contient 3 éléments essentiels : OLT (Optical Line Terminal), ONU (Optical Network Unit) et le coupleur (Splitter), dans cette liaison il existe 2 sens, le sens montant (up Stream, les données partent de L'ONU vers L'OLT), et le sens descendant (down Stream, les données partent de L'OLT vers L-ONU), la figure ci-dessus résume les différents composants utilisées dans notre simulation.

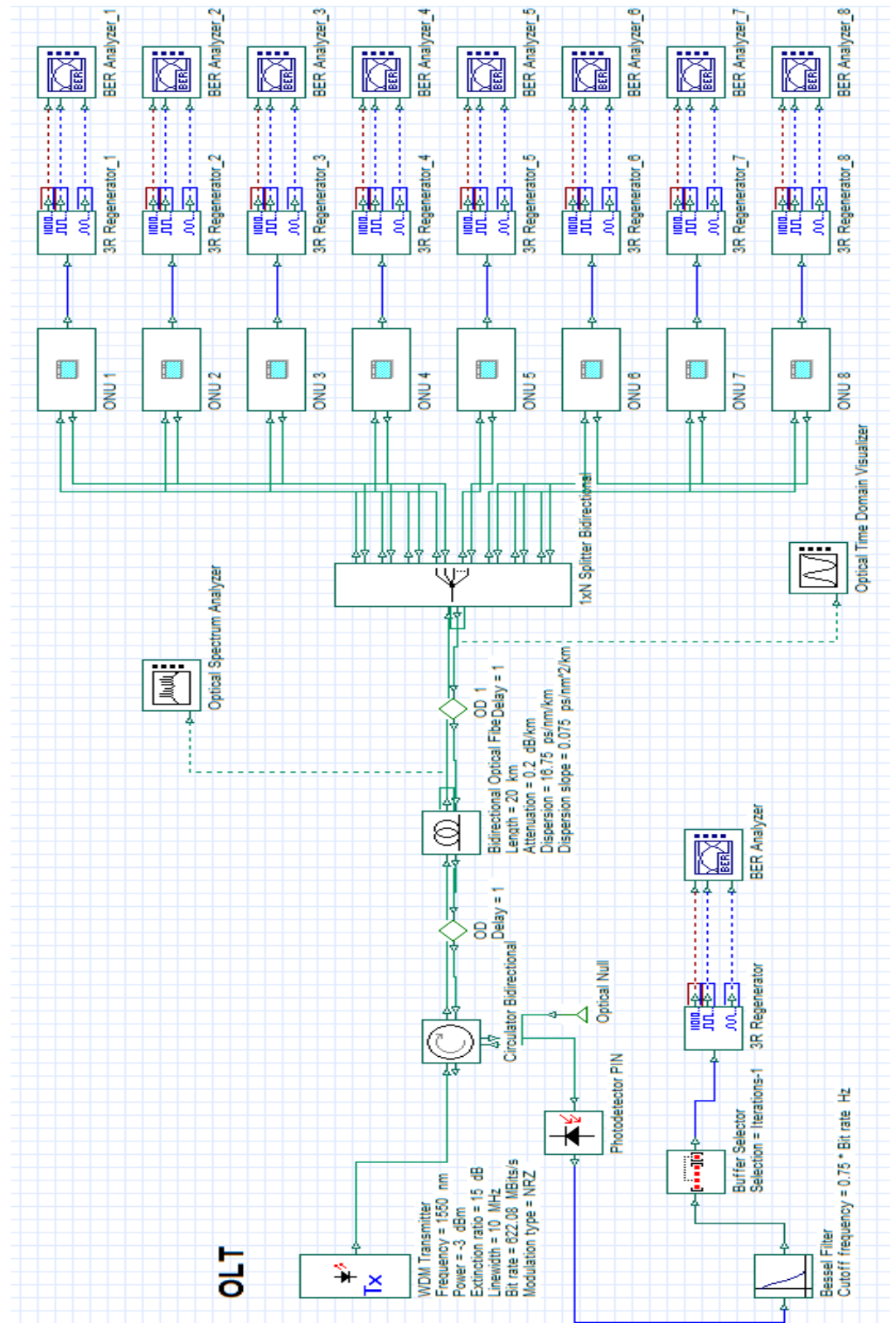


Figure III.3: Liaison B-PON bidirectionnelle.

Nous allons présenter dans ce qui suit les différents éléments de la liaison B-PON bidirectionnelle.

III.4.1 Partie émission

- **OLT** (Optical Line Terminal) qui contient un transmetteur de type WDM (Wavelength Division Multiplexing) possède une longueur d'onde égale à 1550nm, une puissance de -3dBm, et 622,02 Mbits/s de débit.
- **Le format NRZ (Non-retour à Zéro)**

La modulation utilisé dans cette liaison est le NRZ (Non-retour à zéro), La donnée binaire « 1 » est associé à une impulsion optique de durée égale au temps symbole (inverse du débit), la donnée « 0 » correspond à l'absence du signal. Le format NRZ est utilisé pour les débits inférieur à 10Gbit/s, il est utilisé beaucoup dans les systèmes WDM (Wavelength Division Multiplexing).

La figure (III.4) montre le codage d'une donnée (10110) en format NRZ.

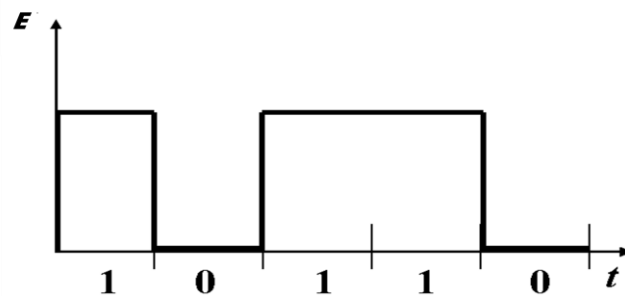


Figure III.4 : Format NRZ.

- **Le filtre de BESSEL**

Le filtre de BESSEL désigne un type de réponse, il dispose d'un retard de groupe dans la bande passante, c'est la caractéristique de ce filtre qui le rend indispensable pour les conceptions numériques, la plupart de temps, les signaux filtrés sont des ondes sinusoïdales pour que l'effet des harmoniques soit négligé.

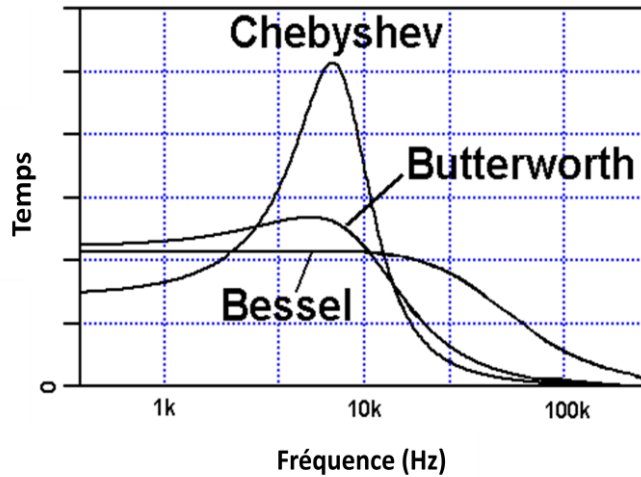


Figure III.5 : Réponses fréquentielles de différents filtres.

Le rapprochement de BESSEL a une bande passante en douceur et une réponse bande d'arrêt. Pour le même ordre de filtre, l'atténuation de bande coupée de BESSEL est beaucoup plus faible que celle de l'approximation de BUTTERWORTH.

La caractéristique du filtre est optimisée pour la phase, en effet cette caractéristique permet d'obtenir un déphasage pratiquement linéaire pour les fréquences à l'intérieur de la bande passante.

Dans notre système le filtre de BESSEL a une fréquence de coupure de 0.75 Hz, il permet de minimiser la distorsion que subit le signal optique, et d'offrir un délai constant en bande passante, c'est-à-dire que les fréquences le traverse un temps égale.

▪ Les répéteurs

Dans notre système le signal optique traverse des distances qui peuvent aller jusqu'à 200km, c'est pour cela on insère des répéteurs, pour permettre au signal optique de parcourir des distances importante sans distorsion et affaiblissement.

III.4.2 Canal de transmission

Dans cette partie, nous avons une fibre optique bidirectionnelle caractérisée par : une longueur de la fibre 20km, une longueur d'onde égale 1550nm, une atténuation de l'ordre de 0.2dB/km et d'une dispersion chromatique de l'ordre de 16.75 ps/nm/km.

III.4.3 Partie réception

Dans notre système chaque ONU (Optical Network Unit) est composée d'une partie émission et d'une partie réception. Pour ce qui concerne la partie réception des ONU on trouve des composants tels que la photodiode et le filtre de Bessel. Chaque ONU est reliée à un répéteur qui assure les fonctions de régénération, remise en forme et resynchronisation du signal.

L'élément ONU (Optical Network Unit) caractérisée par: la longueur d'onde 1300nm, la puissance d'émission -3dBm, le débit 622Mbit/s, et le type de modulation est le NRZ.

III.5 Qualité de transmission d'une liaison optique

Dans une transmission utilisant, la qualité est évaluée à l'aide du taux d'erreur binaire (BER, Bit Error Rate). Celui-ci est calculé en comparant la séquence envoyée à celle reçue, cette dernière étant obtenue grâce notamment au diagramme de l'œil. Par ailleurs, pour pouvoir visualiser la qualité de la transmission sur une courbe, le BER est traduit en un facteur de qualité Q . Nous allons détailler ces trois points :

III.5.1 Le facteur de qualité

Le facteur de qualité (Q), est un paramètre permettant de caractériser la qualité d'un signal.

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

Où I_1 et I_0 sont les valeurs moyennes des photo-courants du symbole 1 et 0, δ_1 et δ_2 les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

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

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

$$TEB = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

Avec **erf** est la fonction d'erreur complémentaire.

III.5.2 Le taux d'erreur binaire

Etant donné que dans les systèmes de transmission, les 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 bits envoyés et le nombre de bits reçus.

$$TEB = \frac{\text{Nombre de bits envoyés}}{\text{Nombre de bits reçus}}$$

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

III.5.3 Le diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est une méthode de visualisation de la qualité du signal en termes de bruit d'amplitude, d'interférences inter symboles ou de gigue temporelle. Il est défini par la superposition d'un grand nombre de symboles binaires dans le domaine temporel, comme le montre la figure (III.6).

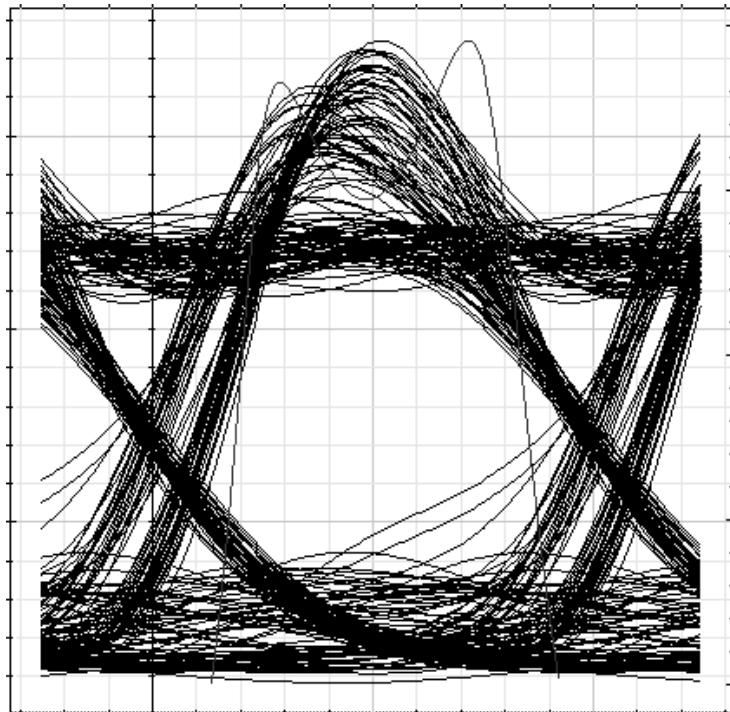


Figure III.6 : Le diagramme de l'œil.

III.6 Résultats de simulation

Dans cette partie on va présenter l'évolution temporelle et fréquentielle du signal au cours de sa propagation.

La figure (III.7) montre une représentation temporelle du signal à la sortie de WDM.

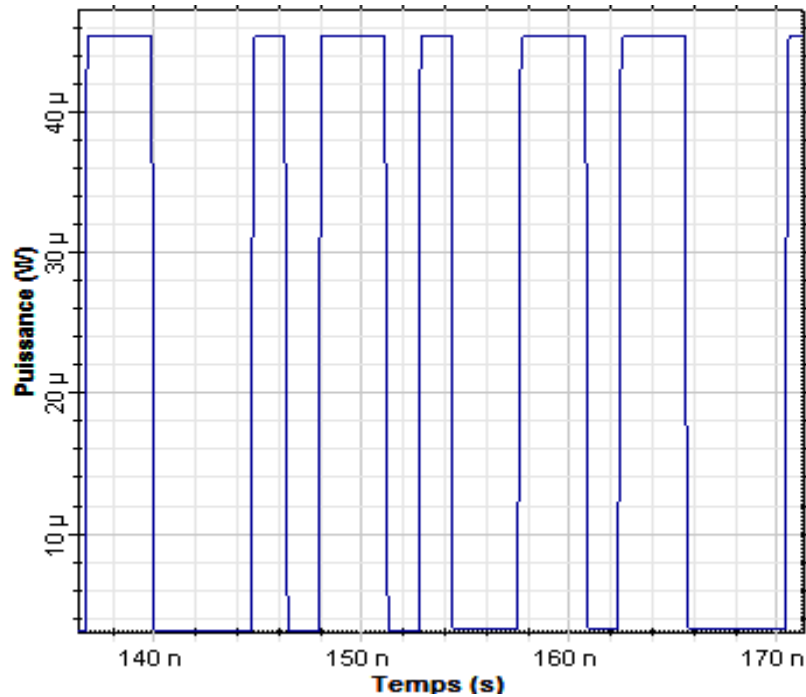


Figure III.7 : Représentation temporelle du signal à la sortie de WDM.

La figure III.8 présente le spectre illustre la variation de la puissance en dbm en fonction de la longueur d'onde.

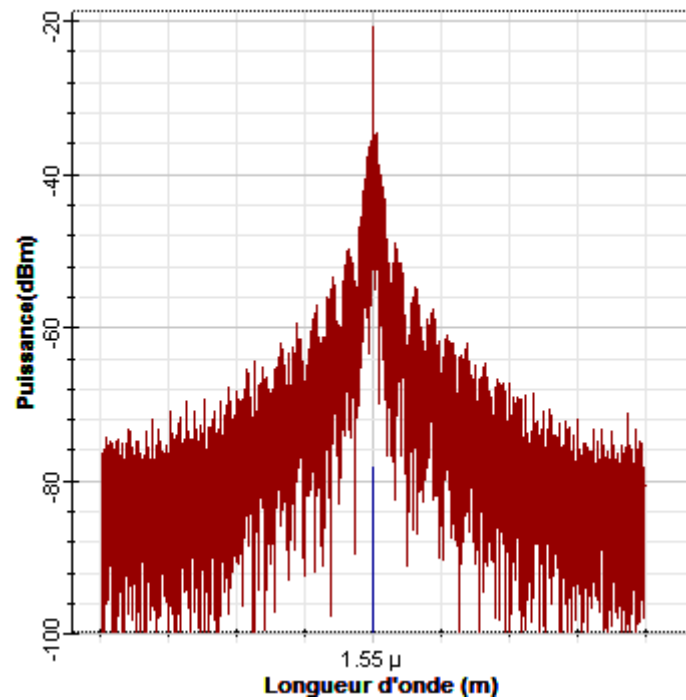


Figure III.8 : Spectre descendant dans la fibre optique.

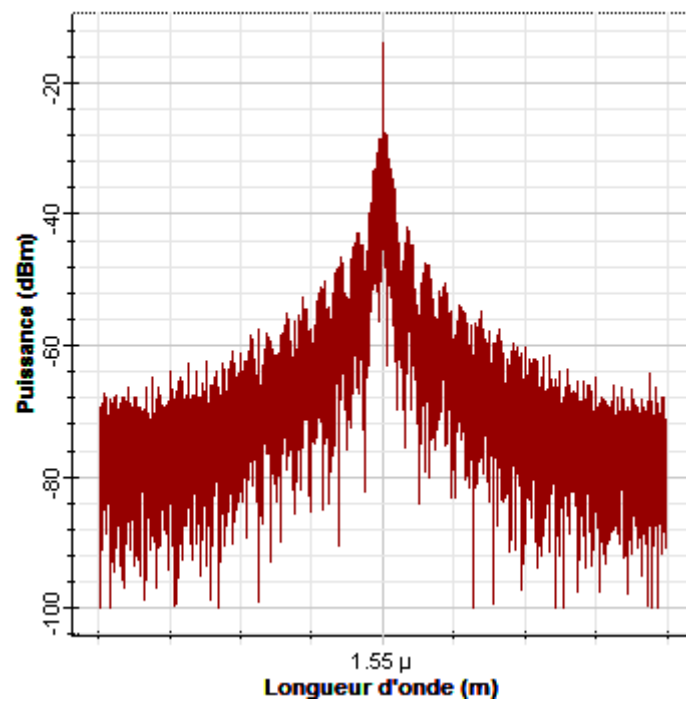


Figure III.9 : Représentation du signal de sortie du WDM.

La figure III.9 illustre la variation de la puissance en dbm en fonction de la longueur d'onde,

La puissance de la sortie de WDM est environ de -9.56 dbm et de 1.550 μ m de longueur d'onde.

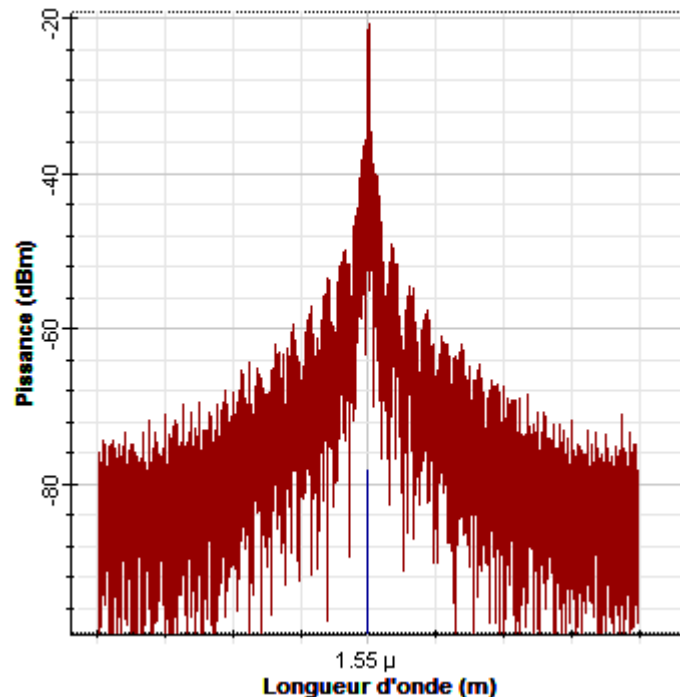


Figure III.10 : Représentation du spectre du signal de sortie de la fibre bidirectionnelle.

La figure III.10 montre l'allure et le spectre du signal optique modulé à la sortie de la fibre bidirectionnelle, La puissance du sortie est environ de -19.32dbm et de 1.550 μ m de longueur d'onde.

D'après les résultats obtenus de notre système B-PON bidirectionnelle on remarque que le signal de sortie du WDM représente moins de fluctuations par rapport au signal de sortie de la fibre bidirectionnelle.

Dans cette partie on va visualiser le diagramme de l'œil du système avec 8 utilisateurs avec une longueur de fibre de 20km en utilisant la technique NRZ en sens montant et en sens descendant.

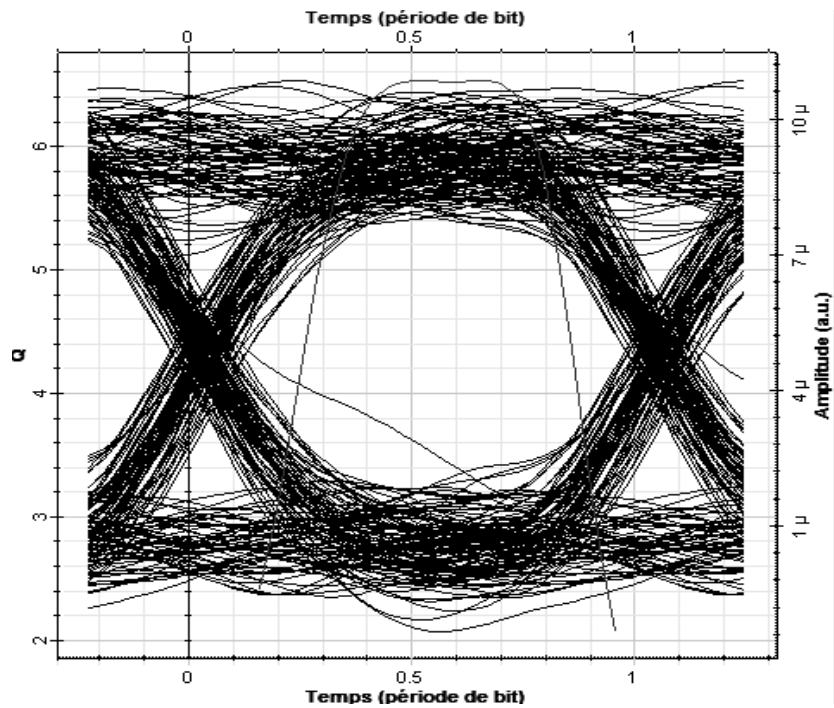


Figure III.11: Diagramme de l'oeil dans le sens descendant.

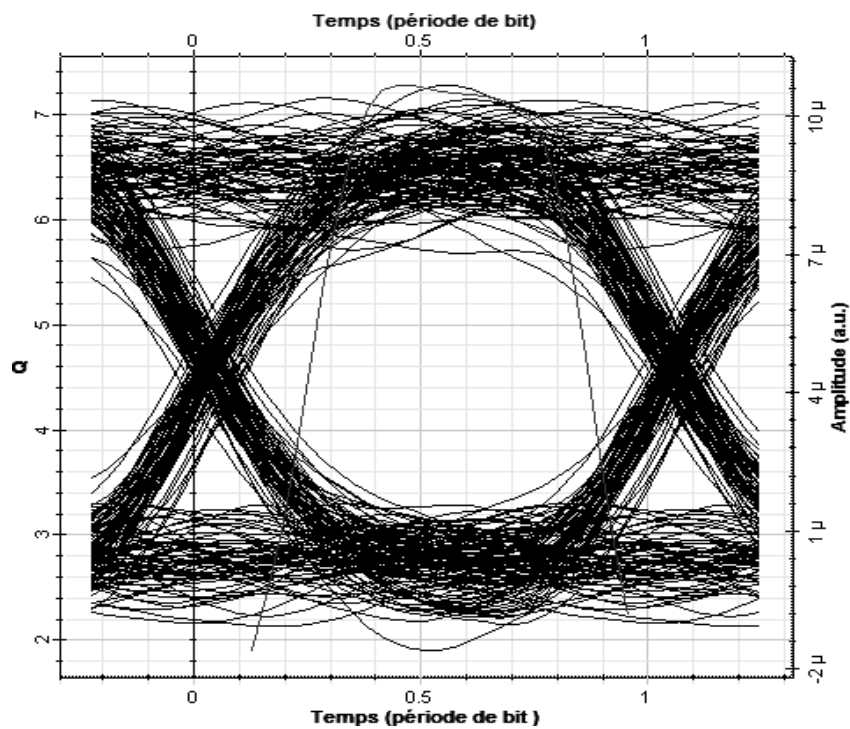


Figure III.12: Diagramme de l'oeil dans le sens montant.

On note une ouverture moyenne des deux diagramme de l'œil, que ça soit dans le sens montant ou le sens descendant, ce qui indique une qualité de transmission moyenne dans les deux sens.

III.7 Conclusion

La simulation avec le logiciel (OPTISYSTEM), nous a permis d'analyser les performances de transmission du système B-PON bidirectionnelle. Ce travail nous a permis de bien étudier la liaison B-PON bidirectionnelle.

Cette étude est une ouverture pour étudier des systèmes plus complexes avec multiplexage en longueur d'onde.

Chapitre IV

Etude d'une liaison WDM-PON

IV.1 Introduction

La nouvelle génération de réseau d'accès optique passif (NG-PON) devra faire face à plusieurs enjeux majeurs notamment l'augmentation des débits, du nombre de clients raccordés et l'étalement des infrastructures pour couvrir des zones toujours plus importantes. Les institutions de normalisation comme l'ITU-T et le FSAN semblent aujourd'hui se tourner vers des solutions de multiplexage en longueur d'onde (WDM) pour satisfaire les exigences des réseaux de demain.

Dans le but d'évaluer les performances d'un système WDM-PON, nous allons décrire dans un premier temps l'architecture de chaque partie du système en passant par l'OLT et l'ONU. Puis, nous allons présenter les résultats obtenus du système WDM-PON en variant le débit et la distance.

IV.2 Etude de la liaison WDM-PON

Dans ce chapitre nous avons introduit le multiplexage en longueur d'onde pour augmenter le débit et le nombre d'utilisateurs.

La figure ci-dessous représente l'architecture globale du réseau d'accès à simuler WDM-PON.

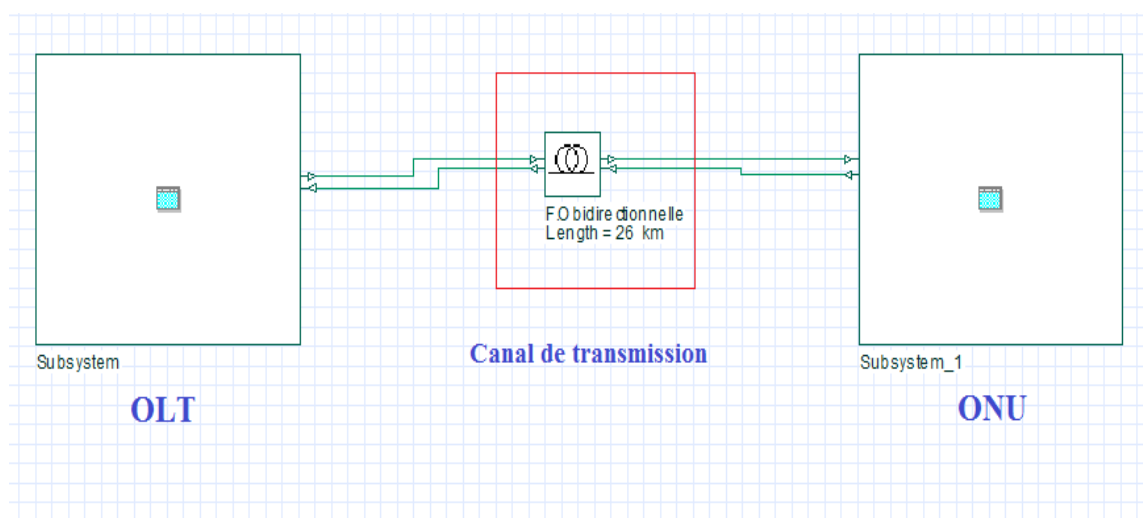


Figure IV.1 : Architecture du système WDM-PON simulé

On va présenter dans ce qui suit l'architecture de chaque partie (émission, réception) du système WDM-PON.

IV.2.1 OLT (Optical Link Terminal)

La partie d'émission de l'OLT contient une source laser de 8 portes permet de générer la porteuse optique avec modulation extérieure via un modulateur Mach Zehnder qui permet de moduler le signal d'information (down-Stream) en amplitude. Un générateur des séquences binaires aléatoires PRBS (Pseudo Random Bit Sequence), un driver de code NRZ permet la conversion logique/électrique. Le signal est ensuite amplifié par un amplificateur EDFA permettant de maintenir une puissance électrique moyenne constante, et un coupleur reliant une entrée à 8 sorties. Suivi par un circulateur et un démultiplexeur AWG (The arrayed-waveguide grating) qui divise des signaux optiques de différentes longueurs d'ondes.

La partie réception contient une photodiode PIN suivie d'un filtre de Bessel passe-bas pour supprimer les bruits additifs du récepteur, la figure 4.2 montre la structure de l'OLT.

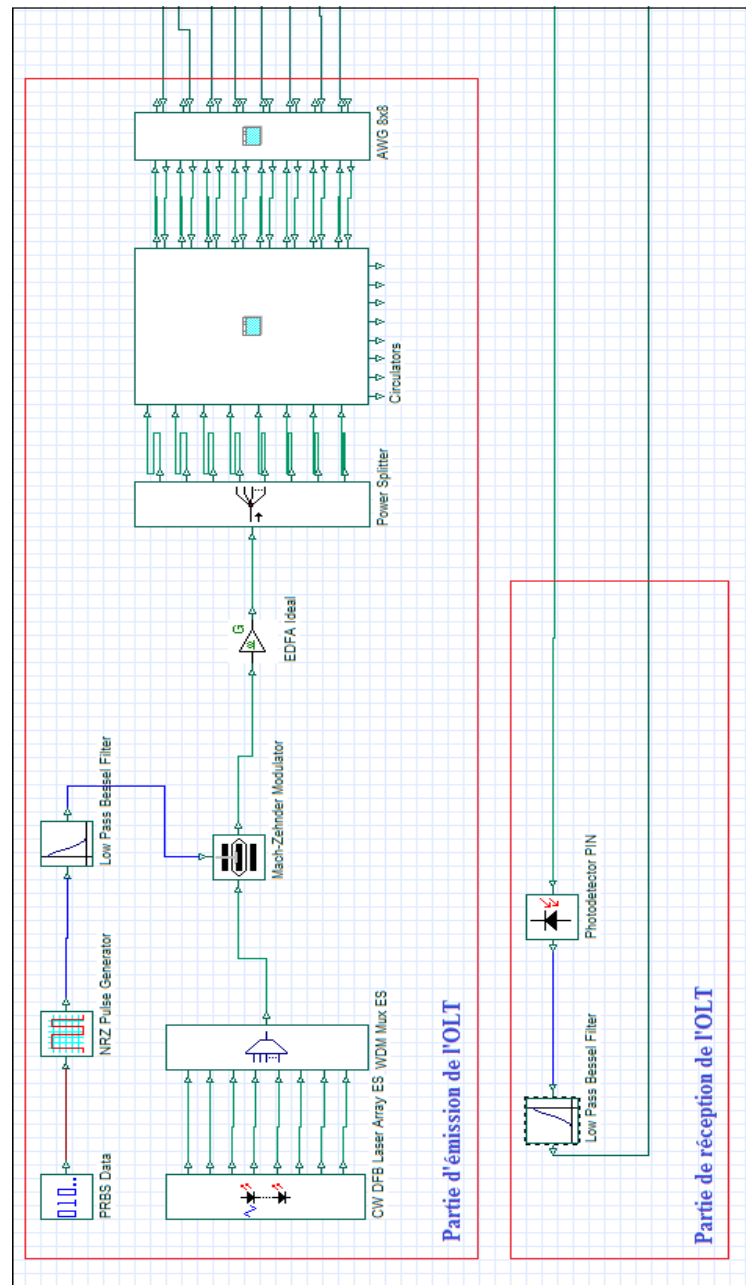


Figure IV.2: Structure de l'OLT

IV.2.2 Le canal de transmission

Pour ce qui concerne le canal de transmission on dispose d'une fibre optique bidirectionnelle de 26 km Notons que l'atténuation 0.24dB/km, la dispersion 16.75ps/nm/km, et la pente de dispersion est de 0.075ps/nm²/km.

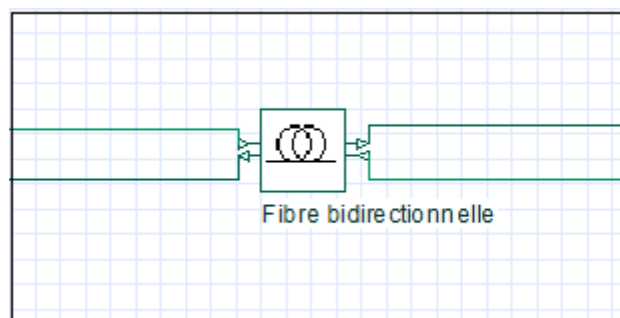


Figure IV.3 : Canal de transmission

IV.2.3 ONU (Optical Network Unit)

La partie d'émission de l'ONU ne contient pas de source laser, ce qui permet de minimiser le coût de déploiement, elle contient par contre un démultiplexeur AWG (The arrayed-waveguide grating) suivi par un circulateur.

Les 8 utilisateurs de l'ONU (Optical Network Unit) possèdent différents longueurs d'ondes (1550 ,1549.2, 1548.4 ,1547.6, 1546.8, 1546,1545.2, 1544.2) nm, le débit est de 2.5Gbit/s et le type de modulation est le NRZ.

La partie réception a la même composition que celui de l'OLT mais les caractéristiques des filtres se diffère en valeur de bande passante selon le débit transmis par OLT, La figure IV.4 montre la structure de l'ONU.

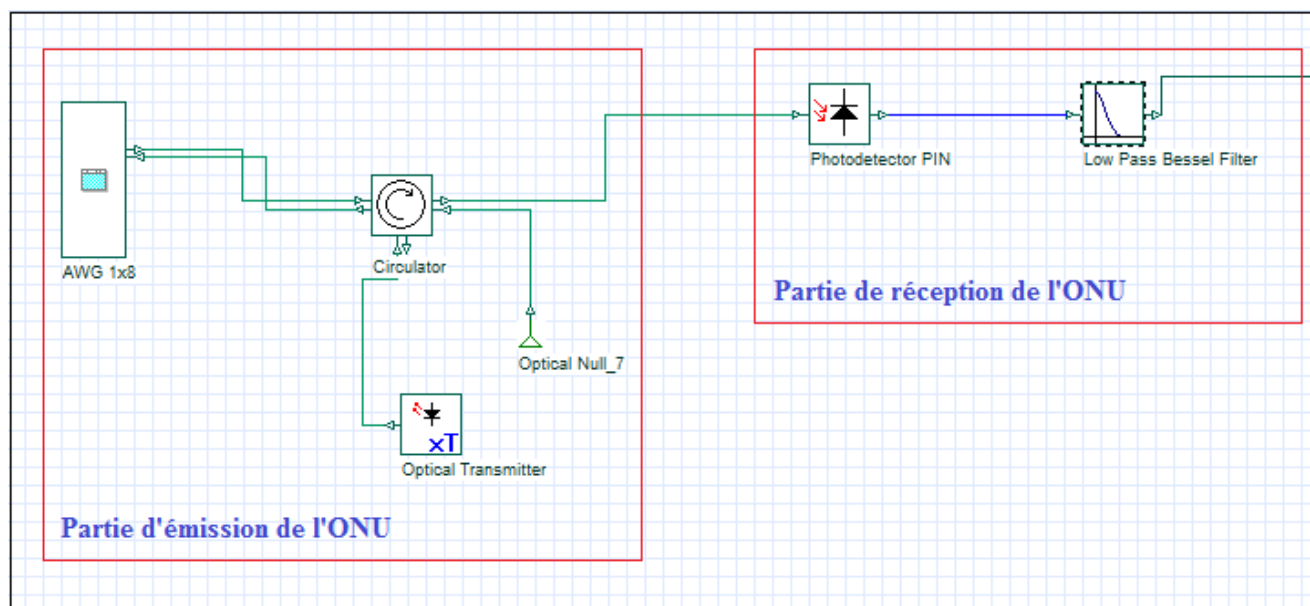


Figure IV.4: Structure de l'ONU

On va faire varier dans ce qui suit la longueur de la fibre et le débit, et voir l'influence de ces paramètres sur la qualité de transmission (le BER et le facteur de qualité).

IV.3 Résultats et interprétation

IV.3.1 Effet de variation de la longueur de la fibre optique

Dans cette partie, nous avons fait varier la longueur de la fibre de 10 km à 50 km, et on note à chaque fois le BER et le facteur de qualité pour les 8 utilisateurs, on va comparer les résultats obtenus dans les deux partie émission et réception.

▪ La partie émission

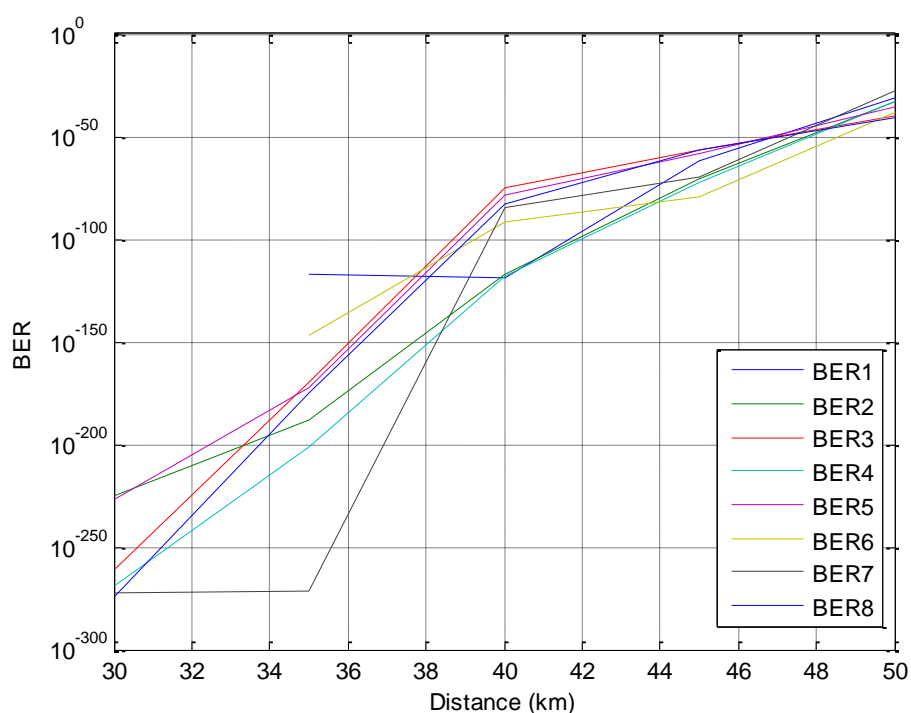


Figure IV.5 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre

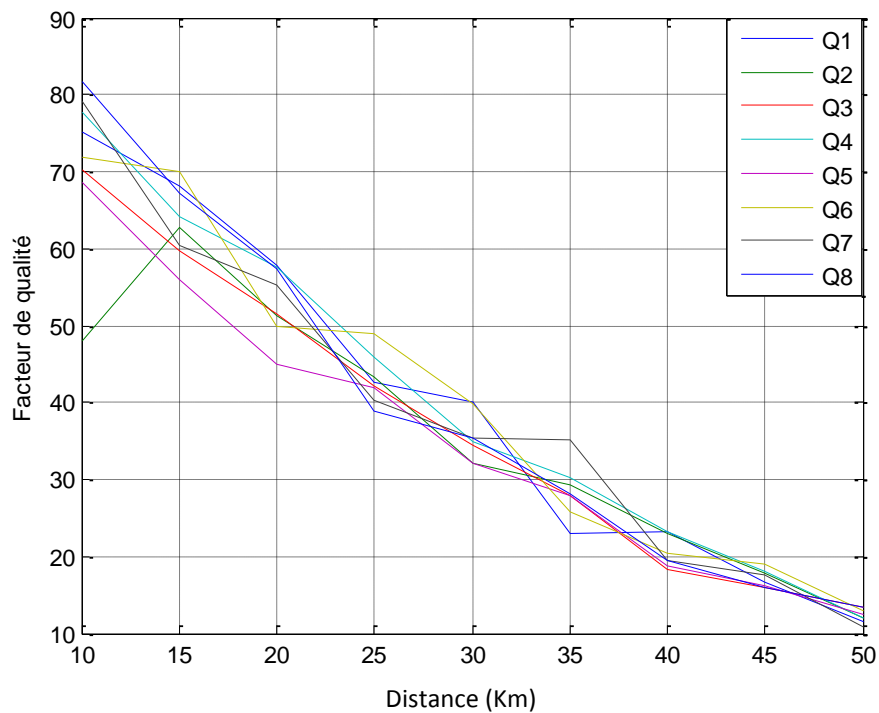


Figure IV.6 : Variation du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre

Les figures IV.5, IV.6 montrent une diminution du facteur de qualité en fonction de la distance, ainsi qu'une augmentation du taux d'erreur binaire.

En générale en télécommunications optique on considère qu'on a une bonne qualité de transmission pour une BER inférieur à 10^{-10} et un facteur de qualité supérieur à 6,4. Dans les deux figure précédente on obtient ce résultat pour une distance allant jusqu'à 50km.

▪ La partie réception

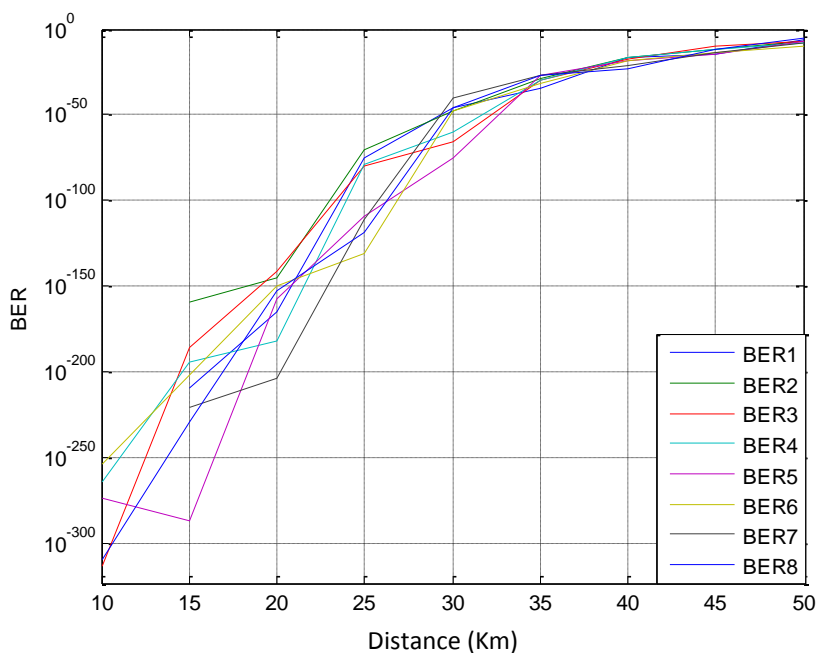


Figure IV.7 : Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre

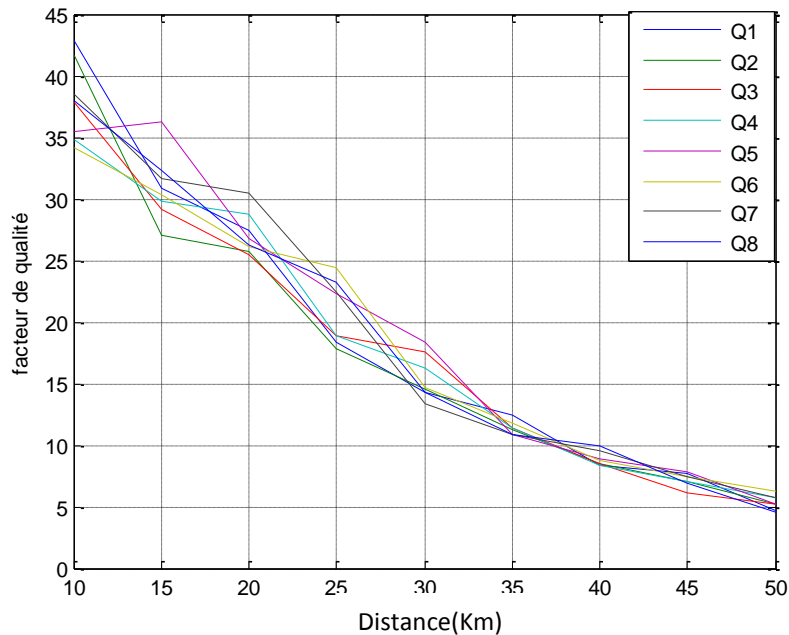


Figure IV.8 : Variation du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre

Les mêmes remarques en ce qui concerne la partie réception, les figures IV.7, IV.8 montrent une diminution du facteur de qualité en fonction de la distance, ainsi qu'une

augmentation du taux d'erreur binaire. On note aussi qu'on obtient pratiquement les mêmes résultats pour les 8 utilisateurs.

On a une qualité de transmission idéal pour une distance allant jusqu'à 45 km.

IV.3.2 Effet de variation du débit

Nous allons procéder de la même manière que précédemment, mais en variant le débit de 1Gb/s à 20Gb/s et on notera le BER et le facteur de qualité dans les deux parties émission et réception, les résultats sont présentés sur les figures ci-dessous.

▪ La partie émission

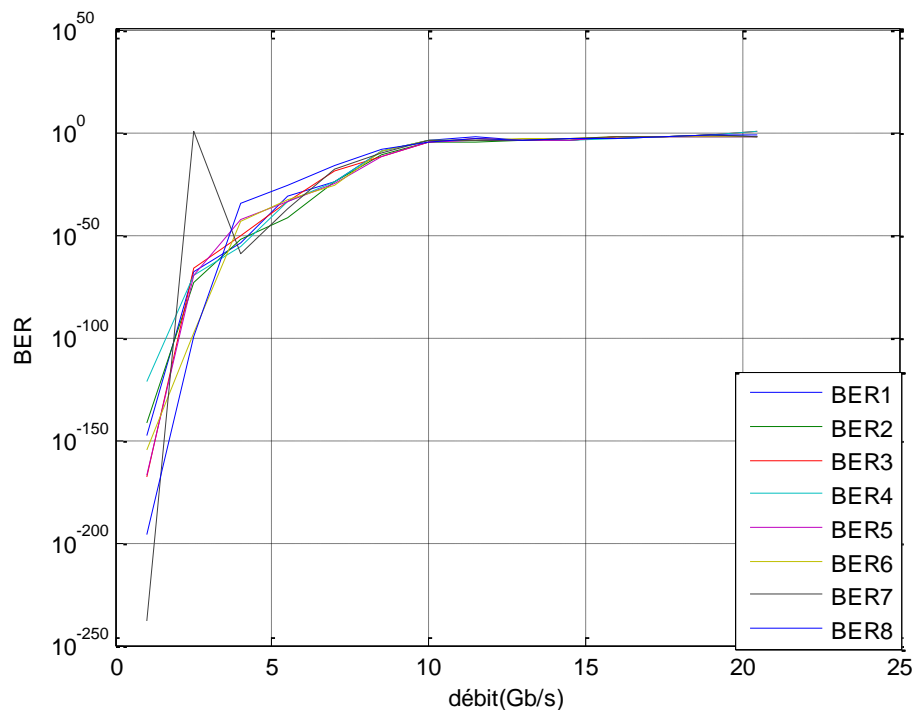


Figure IV.9 : Variation de BER en fonction de débit

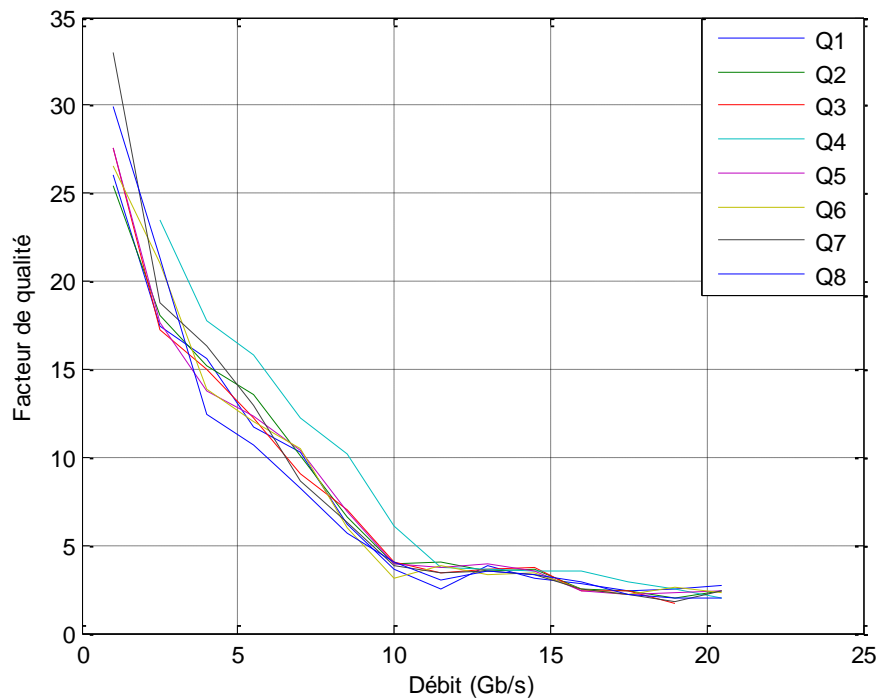


Figure IV.10 : Variation du facteur de qualité en fonction de débit

La remarque que l'on peut faire d'après les résultats obtenus de la figures IV.9 sont une augmentation du BER jusqu'à 10 Gbit/s, puis il devient stable jusqu'à 20 Gbit/s. En même temps le facteur de qualité diminue jusqu'à devenir stable à partir de 10 Gb/s. On a un facteur de qualité supérieur à 6,4 pour un débit au-dessous de 7 Gb/s.

▪ La partie réception

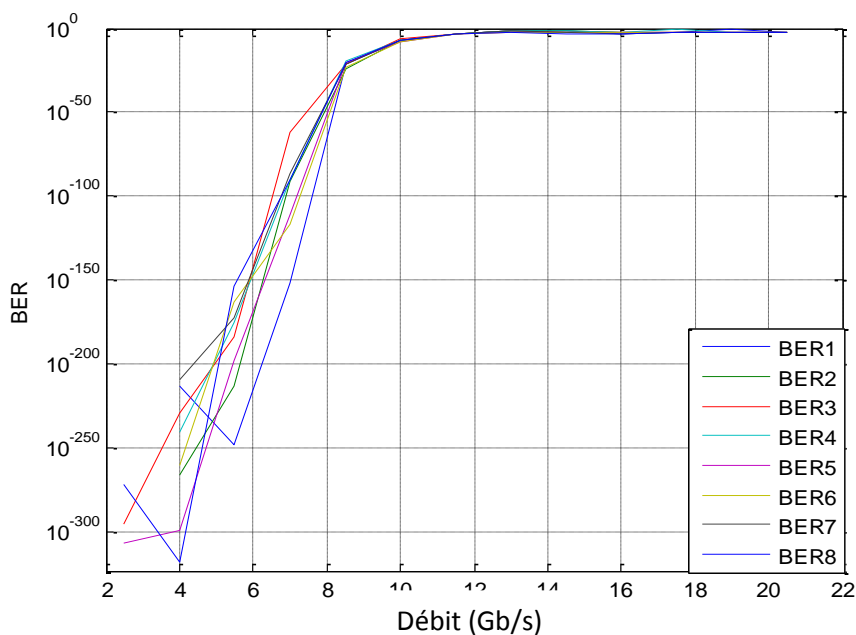


Figure IV.11 : Variation de BER en fonction de débit

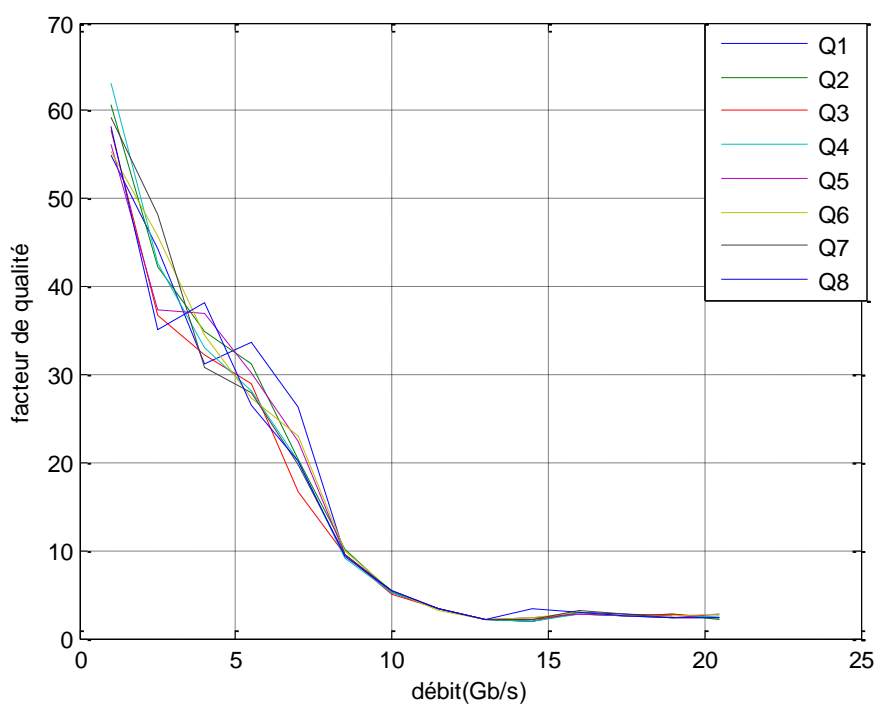


Figure IV.12 : Variation du facteur de qualité en fonction de débit

D'après les figures IV.11 et IV.12 on remarque une augmentation du taux d'erreur binaire, à partir de 12Gbit/s il devient stable jusqu'à 20Gbit/s, on note aussi une diminution du

facteur de qualité en fonction de débit. On a un BER inférieur à 10^{-10} pour un débit au-dessous de 9 Gb/s.

Il est aussi important de noter l'avantage de cette structure à la précédente (BPON) qui est un débit multiplié par 8, ce qui correspond au nombre d'utilisateurs.

IV.4 Conclusion

Lors de notre étude de la liaison PON nous avons effectué nos recherches sur les performances de transmission qui repose sur le multiplexage en longueur d'onde WDM en agissant sur différents paramètres tel que la longueur de la fibre et le débit de la liaison. Pour cela nous avons utilisé différents critères pour étudier la qualité de transmission.

Nous avons fait une étude complète de la liaison WDM-PON en établissant les distances et débit optimaux et aussi en montrant les différents critères de qualités pour les 8 utilisateurs.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

L'évolution des télécommunications optiques a mis en relief l'apparition de nouvelles technologies de transport de l'information telles que les réseaux optiques. Actuellement, l'augmentation de la demande de débit jusqu'à l'utilisateur implique une recherche particulière sur la conception des réseaux d'accès de type FTTH, qui permet d'atteindre des débits supérieurs à ceux de l'ADSL utilisés aujourd'hui.

Les technologies PON constituent aujourd'hui une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit dans la mesure où elles concilient très forte capacité de transport et minimisation des infrastructures fibres nécessaires.

Nous avons fait l'étude d'une liaison par fibre optique au cours du premier chapitre en précisant les différents types des composants ainsi qu'une étude approfondie sur la fibre optique.

Au cours du deuxième chapitre, l'étude était portée sur les réseaux d'accès en télécommunications et sur la description des réseaux fibrés FTTX, notamment les réseaux optiques passifs PON, leurs principaux composants constitutifs, leur principe de fonctionnement, et finalement les débits offerts par ces réseaux.

Dans le troisième chapitre nous avons étudié la qualité de transmission d'une liaison B-PON bidirectionnelle à l'aide du logiciel OPTISYSTEM.

Dans le quatrième chapitre nous avons effectué une étude d'un système PON avec multiplexage en longueur d'onde, en agissant sur les paramètres de la liaison comme la longueur de la fibre et le débit. Ceci nous a permis de mettre en avant l'importance de chaque paramètre de la liaison.

Nous avons conclu que les réseaux optiques passifs (PON) permettent d'atteindre des débits importants avec une bonne qualité de transmission.

Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Aichiet Aichi, « les solutions WDM /DWDM pour les télécoms haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2011
- [2] S.Haroun Ibrahim et M. Ould Mahmoud, « Etude du budget optique d'une liaison longue distance et à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, 2005/2006.
- [3] A.Belkhira et Mokrani, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [4] H.Habbar et K.Djelidi, « Liaison optique à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2004.
- [5] A.Dellal et E.Essafi, « Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [6] T.Fettouhi, « Etude et planification d'un réseau de transport optique », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, juin 2009
- [7] Colombier. F ; Pugnoud .C ; 2005 – « Réseaux et routage optique ».
- [8] Piere Lecoy, «Télécom sur fibres optiques», 3ème édition revue et augmentée.
- [9] Y.Zouine, «Contribution par la simulation système a l'étude des contraintes des composants optiques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », Thèse de doctorat, Univ Limoge, Octobre 2005.
- [10] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.
- [11] Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes <<Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine>>.
- [12] R et M France ; 09/2006 << Déploiement FTTX >>.

Bibliographie

- [13] Livre Blanc-Titre << Les réseaux PON (Passive Optical Network) >>-18/12/2006.
- [14] Fabienne Saliou ; << Etudes des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée >> -14/06/2010.
- [15] << Mémoire sur les réseaux FTTH >>-juillet2009 ; Cogisys ; Architecture des systèmes de communication.
- [16] Nakano Yuluo Hitachi << Technologie and applications of Passive Optical Network (PON) >>
- [17] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique», Edition Dunod 1996.
- [18] Gasser Philipe << Les architectures FTTX >>-MSH Paris Nord-Plate-forme arts, sciences, technologies.
- [19] Raharimanitra .F.N ; 2012-<< Contribution à l'étude des architectures basées sur le multiplexage en temps et en longueur d'onde dans le réseau d'accès, permettant la migration vers la nouvelle génération de PON (NG-PON) a 10 Gbits/s >>. Thèse de doctorat présenté a télécom Bretagne, Université de Bretagne-sud, France.