

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Systèmes des Télécommunications

**Par** : SAIDI Boubeker

### **Sujet**

**Evaluation de performance d'un réseau FTTH basé sur le multiplexage CWDM/DWDM**

Soutenu publiquement , le **27 / 06 / 2022** , devant le jury composé de :

Bousahla Miloud	Maître de conférences MCA	Université de Tlemcen	Président
Chikh Bled Hicham	Maître de conférences MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Karim Fethallah	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2021 / 2022

# Remerciements

---

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu le Tout Puissant, qui m'a inspiré la force, la volonté et le courage pour élaborer ce mémoire.

J'exprime mes sincères et chaleureux remerciements à mon encadreur **Mr KARIM. F**, qui m'a guidé et m'a encouragé tout au long de ce travail, pour la richesse et la qualité de ses remarques, conseils et orientations qui m'ont permis de réaliser ce thème, aussi pour sa disponibilité à tous moments. Je tiens à lui exprimer tout mon respect et ma gratitude.

J'adresse mes reconnaissances et mes remerciements pour l'ensemble des jurys **Mr Bousahla. M** et **Mr Chikh Bled. H** qui ont jugé mon travail. C'est un grand plaisir et honneur pour moi.

Je remercie toutes les personnes qui ont apporté leur aide, et qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire de fin d'étude.

Je souhaiterais également exprimer mes sentiments de reconnaissances, de respect et de gratitude à l'ensemble des enseignants du département Télécommunications ; l'Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen pour les connaissances et le savoir qu'ils m'ont transmis durant tout mon cursus.

Enfin, Mes remerciements s'adressent à ma famille : mes parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé, mes frères et mes sœurs pour leurs aides précieuses et leurs soutiens.

# Dédicace

---

---

À Celui qui m'a soutenu tout au long de ma vie scolaire, à Celui qui n'a jamais épargné un effort pour mon bien, Mon cher Papa. Tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi par tes qualités humaines, ta persévérance et perfectionnisme. Pour toutes les années de sacrifices, d'encouragement et de prières.

A celle qui est toujours à coté de mon cœur, à celle qui m'appri le vrai sens de la vie, à celle qui n'a hésité à aucun moment à m'encouragé ma chère Maman. Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière et ta Bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie.

Quoi que je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir.

En ce jour, j'espère réaliser l'un de vos rêves.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour pour vous.

Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.

A mes frères et sœurs : Fatima Zahra, Amina, Youcef Feth-ellah et Mohammed el-amine pour leur soutien moral .

A toute ma famille.

A tous les enseignants et étudiants de département de télécommunication

A tous mes collègues et mes amies.

*Boubeker*

## Résumé

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de faire une comparaison entre l'architecture classique d'un réseau FTTH et une autre architecture basée sur la conversion en longueur d'onde et les deux techniques de multiplexage dense DWDM et coarse CWDM. La première partie de ce travail réside à une étude approfondie sur les équipements qui constituent les deux types de réseaux FTTH. Dans la deuxième partie de ce projet, On évalue la performance des deux réseaux en considérant les différentes pertes d'insertion à chaque nœud et on calcule le bilan de puissance pour chaque architecture.

## ملخص

الهدف من مشروع التخرج هو اجراء مقارنة بين النمط الكلاسيكي لشبكة FTTH ونمط اخر يعتمد على تحويل الطول الموجي CWDM/DWDM. الجزء الأول من هذا العمل نقوم بدراسة المعدات المتعلقة بشبكة FTTH, اما بالنسبة للجزء الثاني فنقوم بتقييم أداء الشبكتين من خلال النظر الى خسائر قوة الإشارة في كل عقدة و نقوم بحساب ميزانية الطاقة لكل نمط .

## Abstract

The objective of this project is to make a comparison between the classical architecture of a FTTH network and another architecture based on wavelength conversion and the two dense multiplexing techniques DWDM and coarse CWDM. The first part of this work is an in-depth study of the equipment that constitute the two types of FTTH networks. In the second part of this project, we evaluate the performance of the two networks considering the different insertion losses at each node and we calculate the power budget for each architecture.

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iii
ملخص.....	iii
Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Sigles et abréviation .....	vii
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux.....	xiii
Introduction Générale.....	15

## **Chapitre I : Généralité sur la fibre optique**

I.1 INTRODUCTION.....	17
I.2 NOTIONS SUR LA FIBRE OPTIQUE .....	17
I.2.1 Définition .....	17
I.2.2 Fabrication des fibres optiques .....	18
I.2.3 Structure de la fibre optique.....	18
I.2.4 Type de la fibre optique [3] .....	19
I.2.4.1 Fibre optique monomode.....	19
I.2.4.2 Fibre optique multimode .....	20
A. Gradient d'indice.....	21
B. Saut d'indice.....	20
I.2.5 Caractéristiques d'une fibre optique .....	22
I.2.5.1 Atténuation .....	22
A. Fenêtre de transmission .....	22
I.2.5.2 Dispersion.....	24
A. Dispersion intermodale .....	24
B. Dispersion chromatique.....	24
I.2.5.3 Effets non linéaires .....	25
A. Effet Raman.....	25
B. Effet Kerr.....	25
I.2.6 Système de transmission par fibre optique .....	25
I.2.6.1 Définition.....	25
I.2.6.2 Emetteur optique (Source optique).....	26
A. Les diodes électroluminescentes DEL .....	26
B. Les diodes laser DL.....	27
I.2.6.3 La différence entre la diode DEL et la diode DL .....	28

I.2.6.4	Modulateur.....	28
A.	Modulation directe .....	28
B.	Modulation externe .....	29
I.2.6.5	Comparaison.....	29
I.2.6.6	Récepteur Optique .....	30
A.	Photodiode PIN .....	30
B.	Photodiode APD.....	30
I.2.7	Critères de qualité service d'un réseau optique .....	31
I.2.7.1	Taux d'erreurs binaire (BER).....	31
I.2.7.2	Facteur de qualité Q.....	31
I.2.7.3	Ouverture de l'œil.....	32
I.2.8	Avantages et inconvénients des fibres optiques.....	32
I.2.8.1	Avantages .....	32
I.2.8.2	Inconvénients.....	33
I.2.9	Applications de la fibre optique.....	33
I.2.9.1	Réseaux et télécommunications.....	33
I.2.9.2	La médecine.....	34
I.2.9.3	Les capteurs (température, pression, etc.) .....	34
I.2.9.4	L'éclairage .....	35
I.3	CONCLUSION.....	35

## **CHAPITRE II : ETUDE DU RESEAU FTTH ET LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE**

II.1	INTRODUCTION .....	37
II.2	RESEAUX OPTIQUES PASSIFS FTTH .....	37
II.2.1	Les réseaux optiques .....	37
II.2.2	Les réseaux d'accès optiques .....	38
II.2.2.1	FTTH (Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office).....	38
II.2.2.2	FTTB (Fiber To The Building).....	38
II.2.2.3	FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet) .....	39
II.2.3	Architecture des réseaux FTTH .....	39
II.2.3.1	Architecture point à point .....	40
A.	Les avantages .....	40
B.	Les inconvénients.....	41
II.2.3.2	Architecture point à multipoint.....	41
A.	Les avantages .....	42
B.	Les inconvénients.....	42
II.2.3.3	Comparaison entre les deux architectures P2P et PON .....	43
II.2.4	Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network).....	43
II.2.4.1	Architecture d'un réseau optique passif (PON) .....	44
II.2.4.2	Etude des éléments d'un réseau optique passif .....	45
A.	OLT (Optical Link Terminal) .....	45
B.	ONT (Optical Network Terminal).....	46
C.	Coupleur optique (splitter) .....	46
II.2.4.3	Principe de fonctionnement d'un réseau PON .....	46
A.	La voie descendante .....	47
B.	La voie montante .....	47

II.2.4.4	Les différents standards d'un réseau PON .....	48
A.	La norme APON.....	48
B.	La norme BPON.....	48
C.	La norme EPON .....	49
D.	La norme GPON.....	50
II.2.4.5	Comparatif des différents standards d'un réseau PON .....	50
II.2.4.6	La sécurité et la fiabilité d'un réseau passif .....	51
A.	La sécurité du PON .....	51
B.	La fiabilité du PON .....	51
II.3	MULTIPLEXAGE SUR LES FIBRES OPTIQUE.....	51
II.3.1	Le Multiplexage TDM .....	52
II.3.2	Le Multiplexage FDM .....	52
II.3.3	Le Multiplexage WDM.....	53
II.3.3.1	Le principe de multiplexage WDM .....	53
II.3.3.2	Les types des systèmes WDM .....	54
A.	Multiplexages à filtres .....	54
B.	CWDM.....	54
C.	DWDM.....	55
II.3.3.3	Les apports de la technologie WDM .....	56
II.3.3.4	Les limites de la technologie WDM .....	57
II.4	NOTION SUR LES RESEAUX DE BRAGG.....	57
II.4.1	Méthodes d'inscription .....	58
II.4.2	Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication .....	58
II.4.2.1	Filtrage et multiplexage .....	59
II.4.2.2	Filtre optique.....	59
II.4.2.3	Compensation de la dispersion chromatique (DCF).....	60
II.4.2.4	Amplificateurs optiques.....	61
II.5	CONCLUSION .....	62

### **CHAPITRE III : ETUDE DU RESEAU FTTH ET LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE**

III.1	INTRODUCTION .....	64
III.2	PRESENTATION DU LOGICIEL OPTISYSTEM .....	64
III.3	DESCRIPTION DU LOGICIEL OPTISYSTEM .....	65
III.4	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU LOGICIEL OPTISYSTEM.....	66
III.5	LE BILAN OPTIQUE DE PUISSANCE .....	66
III.6	LA SOLUTION FTTH A DEUX NIVEAUX .....	67
III.6.1	Partie théorique .....	67
III.6.2	Partie simulation.....	68
III.6.2.1	Présentation des composant.....	68
A.	Le laser .....	68
B.	Les connecteurs .....	69
C.	Bloc de transmission .....	69
D.	Répartiteur optique .....	70
III.6.2.2	Caractéristiques des dispositifs.....	70
III.6.2.3	Résultat de la simulation.....	71
III.6.2.4	Comparaison entre la partie théorique et la partie simulation.....	71

III.7	LA SOLUTION DE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE CWDM .....	72
III.7.1	Partie théorique .....	72
III.7.2	Equipement.....	73
III.7.2.1	Châssis PON .....	73
III.7.2.2	Carte d'amplification de PON basée sur la conversion de longueur d'onde ..	74
III.7.2.3	Mux/Demux.....	74
III.7.2.4	SFP.....	75
III.7.2.5	Cable fibre optique .....	76
III.7.3	Partie simulation.....	76
III.7.3.1	OLT .....	77
III.7.3.2	Bloc de modulation.....	78
III.7.3.3	ONU.....	78
III.7.3.4	Multiplexeur /Démultiplexeur .....	78
III.7.3.5	Le canal de transmission.....	79
III.7.3.6	ONT .....	79
III.7.3.7	Les composants de visualisation.....	80
III.8	RESULTAT DE SIMULATION ET L'INTERPRETATION : .....	80
III.8.1	L'évolution temporelle et fréquentielle :.....	80
III.8.2	Etude des pertes selon la variation des splitter.....	82
III.8.3	Etude des pertes selon la variation de la distance .....	83
III.9	CONCLUSION .....	85
Conclusion Générale.....		87
Bibliographie .....		89



### A

AES : Advanced Encryption Standard

APON: Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network

ATM: Asynchronous Transfer Mode

APD: Avalanche Photodiode

### B

BER: Bit Error Rate

BPON: Broadband Passive Optical Network

BPI : Boitier Pied de L'immeuble

### C

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

### D

DEL: Light Emitting Diode

DFB: Distributed FeedBack laser

DCF: Dispersion Compensation Fiber

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

### E

EO: Eye Opening

EPON: Ethernet Passive Optical Network

EDFA: Erbium-doped Fiber Amplifier

# F

FTTX: Fiber To The .....

FTTH: Fiber To The Home

FTTB: Fiber To The Building

FTTC : Fiber To The Curb

FDM : Frequency Division Multiplexing

FSAN : Full Service Access Network

FBG : Fiber Bragg Grating

# G

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network

# I

ITU: International Telecommunications union

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

# L

LAN: Local Area Network

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

# N

NRO : Noeud de Raccordement Optique

# O

OLT Optical Line Terminal

ONT Optical Network Terminaison

ONU: Optical Network Unit

OADM: Optical Add And Drop Multiplexeur

# P

PIN: Positive Intrinsic Negative Photodiode

PON: Passive Optical Network

# S

SONET : Synchronous Optical NETwork

SDH : Synchronous Digital Hierarchy

SRO : Sous Répartiteur Optique

SFP: Small Factor Pluggable

# T

TDM: Time Division Multiplexing

TDMA: Time Division Multiple Access

# W

WDM: Wavelength Division Multiplexing

# Liste des Figures

## Chapitre I

Figure I-1 Fabrication des fibres optiques [1] .....	18
Figure I-2 : Structure de la Fibre Optique [2].....	19
Figure I-3 : Fibre optique monomode [3] .....	19
Figure I-4 : Fibre optique multimode Gradient d'indice [3].....	21
Figure I-5 : Fibre optique multimode Saut d'indice [3] .....	20
Figure I-6 : Atténuation dans une fibre optique [4] .....	22
Figure I-7 Fenêtres de transmission [5] .....	23
Figure I-8 : Dispersion de signal à la sortie de la fibre optique [5] .....	24
Figure I-9 : Dispersion chromatique dans une fibre optique [5] .....	24
Figure I-10 Schéma synoptique d'un système de transmission optique.....	26
Figure I-11 Spectre d'émission d'une DEL. ....	27
Figure I-12 Spectre d'émission d'une DL. ....	27
Figure I-13 La différence entre DEL et DL. ....	28
Figure I-14 Modulation directe.....	29
Figure I-15 Modulation externe.....	29
Figure I-16 Photodiode PIN [14] .....	30
Figure I-17 Photodiode à avalanche PDA. [14] . ....	31

## Chapitre II

Figure II-1 Structure d'un réseau FTTH .....	38
Figure II-2 Structure d'un réseau FTTB.....	39
Figure II-3 Structure d'un réseau FTTC .....	39
Figure II-4 Architecture point à point .....	40
Figure II-5 Architecture point à multipoint. ....	41
Figure II-6 Architecture d'un réseau optique passif (PON).....	44
Figure II-7 Les éléments constitutifs du PON. ....	45
Figure II-8 Transmission sur un PON.....	46
Figure II-9 Architecture du sens descendant. ....	47
Figure II-10 Architecture du sens montant. ....	47
Figure II-11 Architecture et concept de base d'un BPON [27] .....	49
Figure II-12 Multiplexage temporel TDM [39] .....	52
Figure II-13 Principe du multiplexage FDM [30].....	52
Figure II-14 Le multiplexage en longueur d'onde WDM [29] .....	53
Figure II-15 Longueur d'onde CWDM [33] .....	54
Figure II-16 Longueur d'onde DWDM [33]. ....	56
Figure II-17 . Différents protocoles sont multiplexés .....	56
Figure II-18 Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres [35] .....	57
Figure II-19 principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur.....	60

Figure III-1 Optisystem 7.0 .....	64
Figure III-2 Bibliothèque des Composants.....	65
Figure III-3 Architecture FTTH à deux niveaux .....	67
Figure III-4 Modèle de simulation du laser .....	69
Figure III-5 Modèle de simulation du connecteur.....	69
Figure III-6 Modèle de simulation de la fibre optique et configuration .....	69
Figure III-7 Modèle de simulation du répartiteur optique .....	70
Figure III-8 Synoptique de la chaine FTTH GPON.....	71
Figure III-9 Power Meter .....	71
Figure III-10 Nouvelle architecture FTTH CWDM.....	72
Figure III-11 Châssis PON [42] .....	73
Figure III-12 Carte d'amplification de PON basée sur la conversion de longueur d'onde [42] .....	74
Figure III-13 MUX_DEMUX [38] .....	75
Figure III-14 2.5G-SFP-CWDM-1270nm-80km [38] .....	75
Figure III-15 Câble de fibre optique LC [39] .....	76
Figure III-16 Schéma d'un réseau FTTH (CWDM) .....	77
Figure III-17 Partie émission.....	77
Figure III-18 Modèle de simulation du Bloc de modulation .....	78
Figure III-19 Modèle de simulation du convertisseur de longueur d'onde et l'amplificateur .....	78
Figure III-20 (a) Multiplexeur, (b) Démultiplexeur. ....	79
Figure III-21 Modèle de simulation de la fibre optique .....	79
Figure III-22Modèle de simulation du bloc de réception .....	79
Figure III-23 composant de la visualisation .....	80
Figure III-24 La longueur d'onde initial 1490 nm .....	80
Figure III-25 Les longueurs d'onde a la sortie de multiplexeur .....	81
Figure III-26 Représentation temporelle du signal à la sortie de OLT.....	81
Figure III-27 Les pertes total du premier cas.....	82
Figure III-28 Les pertes total de deuxième cas.....	82
Figure III-29 Les pertes total du troisième cas.....	82
Figure III-30 Variation de la distance en fonction de puissance reçue par l'ONT .....	84

# Liste des Tableaux

---

---

## Chapitre I

---

---

Tableau I-1 Fenêtres de transmission des fibres de silice [5] .....	23
---	----

## Chapitre II

---

---

Tableau II-1 Comparaison entre P2P et PON. ....	43
Tableau II-2 Comparaison des standards PON [27] .....	50

## Chapitre III

---

---

Tableau III-1 Liste des matériels .....	68
Tableau III-2 Caractéristiques des dispositifs .....	70
Tableau III-3 Les valeurs des longueurs d'onde initiale et conversé .....	72
Tableau III-4 Etude des pertes selon la variation des splitter .....	83
Tableau III-5 Variation de la distance en fonction de puissance reçue par l'ONT .....	83

# **Introduction Générale**

Avec l'avènement de la fibre optique, les réseaux de télécommunications actuels nécessitent de plus en plus des débits importants afin que les entreprises satisfassent leurs abonnés. Plusieurs techniques d'accès ont été utilisées jusqu'à présent ; comme la technique de multiplexage Dense DWDM qui repose sur un espacement de 0.8 nm. On note aussi le multiplexage Coarse CWDM avec un espacement de 20 nm. D'autres réseaux haut-débits utilisent aussi le multiplexage OCDMA pour des applications particulières mais ça reste une méthode plus couteuse.

Parmi les exemples de réseaux d'accès utilisés largement de nos jours et la solution Fibre jusqu'à l'abonné, appelée FTTH. Cette solution peut atteindre actuellement en Algérie jusqu'à 64 abonnés pour une seule ligne OLT grâce à l'insertion de diviseurs 1 :8 / 1 :8 à deux niveaux. Cependant, l'inconvénient de cette solution est qu'elle permet d'atteindre jusqu'à 5 Km entre l'OLT et l'ONT à cause de la sensibilité de l'ONT (-28 dBm). Ceci rétrécit une éventuelle progression du nombre d'abonnés dans le futur et ce réseau demeure fixe et non extensible.

La solution pratique apportée dans ce mémoire de fin d'étude est d'insérer un bloc OTU entre l'OLT et le splitter. Ce bloc OTU comprend un convertisseur Optique/Electrique/Optique (OEO) qui permet de convertir les longueurs d'onde FTTH (1490/1310) en des longueurs d'onde CWDM ou bien DWDM afin de garantir un multiplexage des données qui peut atteindre 40 Gbps sur seule ligne supposons que l'OLT utilise 16 brins optiques.

Dans la partie réception, l'OTU fera l'opération inverse, c'est-à-dire, il permet de reconverter les signaux CWDM/DWDM en des signaux FTTH en amplifiant la ligne multiplexée. Cet OTU a permis de pouvoir utiliser le réseau FTTH sur une distance moyenne de 30 Km avec plus de 1024 abonnés simultanément ( 64 abonnés pour un seul brin ) .

Ce mémoire est réparti sur trois chapitres. Le premier consistait à présenter d'une manière générale la fibre optique en traitant ses principales caractéristiques, ses avantages, inconvénients et applications. Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les réseaux FTTH et les différentes techniques de multiplexage CWDM/DWDM. Dans le troisième chapitre, nous avons proposé une nouvelle architecture FTTH basée sur le multiplexage CWDM. Dans ce chapitre, un bilan de puissance global d'une liaison est déterminé afin d'évaluer sa performance.



# **Chapitre I :**

## **Généralité sur la fibre optique**

## **I.1 Introduction**

Le monde de télécommunication a été bouleversé dès l'apparition de la fibre optique. Cette dernière a vécu son premier développement en 1880 par ALEXANDAR GRAHAM BELL qui a focalisé son intention sur la voix et le photophone. Ce point de départ a mis le premier pas de la fibre optique conçu à la base de verre en 1920, Mais son utilisation comme support de transmission a été faite jusqu' aux années 50 où l'image a été transmise le long de la fibre. En 1960 l'apparition de laser (monochromatique, poly chromatique-visible et infrarouge, à émission continue, pulsée, etc...) offrit en effet la possibilité des télécommunications par fibre optique et le transmet d'un signal sur une grande distance avec une perte et une dispersion spectrale très faible.

En 1970 la production de la fibre optique avec une faible perte suffisante a été utilisé dans les réseaux de télécommunication avec une capacité de transmission d'information 65000 fois plus qu'un câble simple de cuivre. A partir des année 2000 l'augmentation des besoins et la fabrication en masse avec un coût diminué font l'apparition des modes de raccordement FTTH FTTB FTTC.....

Après cet aperçu historique on entame la perle de notre chapitre qui renferme la définition de fibre optique, sa structure, ses différents types ainsi que les caractéristiques d'une fibre optique et en suite les systèmes de transmission et les critères de qualité, A la fin on cite les avantages puis les inconvénients des fibres optiques.

## **I.2 Notions sur la fibre optique**

### **I.2.1 Définition**

La fibre optique est la technologie utilisée pour transmettre des informations sous forme d'impulsions lumineuses sur une longues distances à travers des fibres du verre ou du plastique très fins.

Les fibres optiques ont à peu près le diamètre d'un cheveu humain capables de transmettre les données plus rapidement que les autres supports. Cette technologie repose sur la propagation de la lumière et son principe est basé sur la réfraction et la réflexion.

C'est cette technologie qui permet aux particuliers et aux entreprises de bénéficier de services Internet, de téléphonie et de télévision en fibre optique.

### I.2.2 Fabrication des fibres optiques

En première approche, on peut dire que les fibres optiques sont fabriquées en deux temps : tout d'abord, la fabrication d'une préforme, c'est-à-dire d'un barreau de verre de silice qui est à l'image de la fibre optique que l'on souhaite obtenir mais dont les dimensions sont beaucoup plus grandes avec un grossissement de 300 à 500 fois environ ; ensuite, l'étirage de cette préforme, à travers un four, afin d'obtenir la fibre optique elle-même. [1]

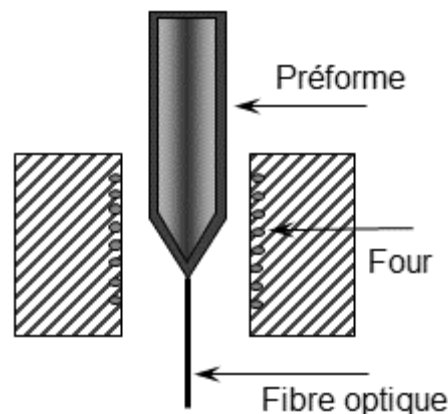


Figure I-1 Fabrication des fibres optiques [1]

### I.2.3 Structure de la fibre optique

La fibre optique est composée de trois éléments de base : un cœur de silice de haut indice de réfraction, une gaine avec un indice de réfraction plus faible que celui du cœur, un revêtement de protection (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  $230 \mu\text{m}$ . [2]

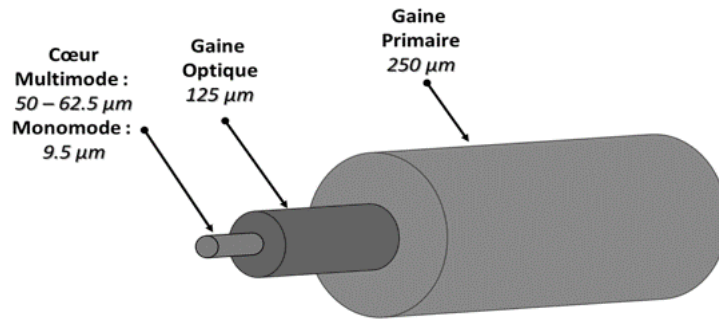


Figure I-2 : Structure de la Fibre Optique [2]

### I.2.4 Type de la fibre optique [3]

Selon le diamètre et la propagation de la longueur d'onde on peut classer les fibres optiques en deux catégories : Fibres monomodes et multimodes.

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

#### I.2.4.1 Fibre optique monomode

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux.

Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite.

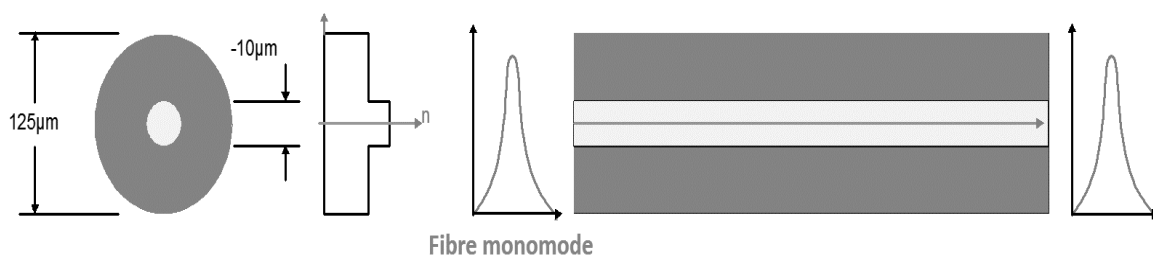


Figure I-3 : Fibre optique monomode [3]

La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu !

L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui en fait sa force.

Débit : environ 100 Gbit/s

Portée maximale : environ 100 Km

Affaiblissement : 0,5 dB/Km

### I.2.4.2 Fibre optique multimode

Deux types de fibres multimodes sont disponibles : les fibres à saut d'indice et les fibres à gradient d'indice.

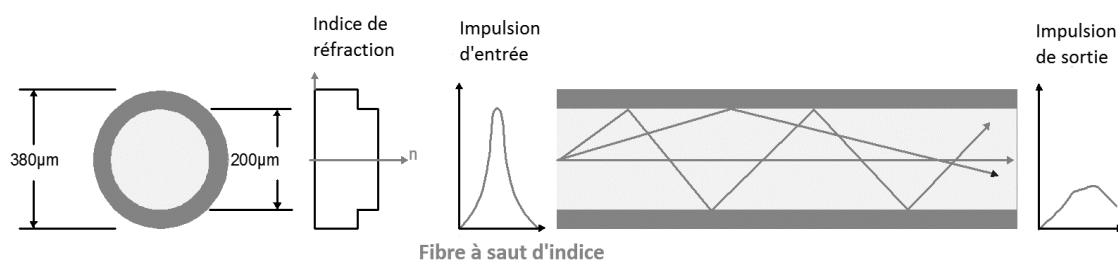
#### A. Saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN.

Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice.

Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique.

C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie".



**Figure I-4 : Fibre optique multimode Saut d'indice [3]**

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large.

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie.

Débit : environ 100 Mbit/s

Portée maximale : environ 2 Km

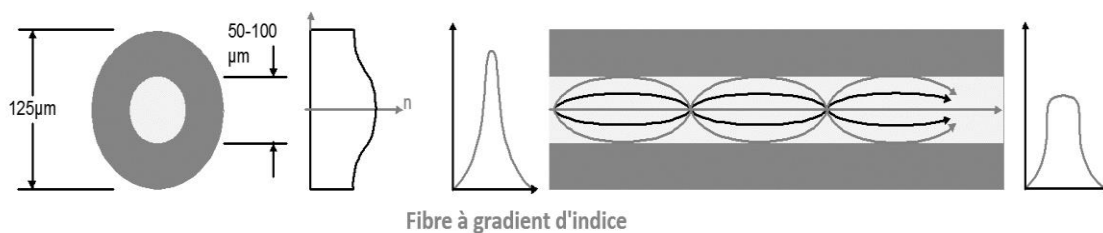
Affaiblissement : 10 dB/Km

## B. Gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine.

Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique.



**Figure I-5 : Fibre optique multimode Gradient d'indice [3]**

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire.

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

Débit : environ 1 Gbit/s

Portée maximale : environ 2 Km

Affaiblissement : 10 dB/Km

## I.2.5 Caractéristiques d'une fibre optique

### I.2.5.1 Atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime très souvent en décibels (dB). On définit un coefficient d'atténuation  $\alpha$  pour une ligne de transmission de longueur  $L$  qui s'exprime en dB/Km tel que :

$$\alpha = - 1/ L * \log_{10}(P_s/P_e) \quad \text{I-1}$$

$P_e$  : Puissance injectée à l'entrée de la fibre

$P_s$  : Puissance reçue à la sortie de la fibre.

$L$  : La longueur de fibre. [4]

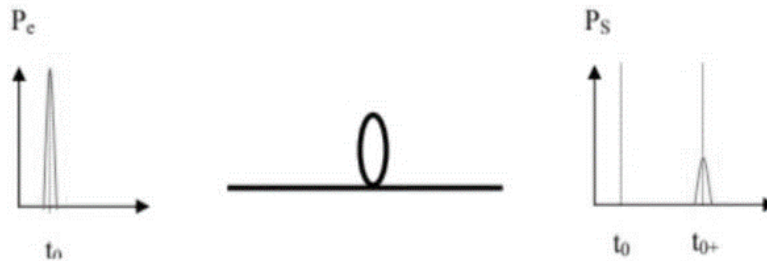


Figure I-6 : Atténuation dans une fibre optique [4]

### A. Fenêtre de transmission

Il existe trois fenêtres pour transmission à fibre optique :

Les fenêtres 1 et 2 résultent d'un compromis technico-économique entre l'atténuation apportée par la fibre et les composants optoélectroniques utilisées en fonction des applications. La fenêtre 3 correspond à l'atténuation minimale mais exige des composants optoélectroniques très performantes, elle est réservée aux applications à haut débit et longues distances. [5]

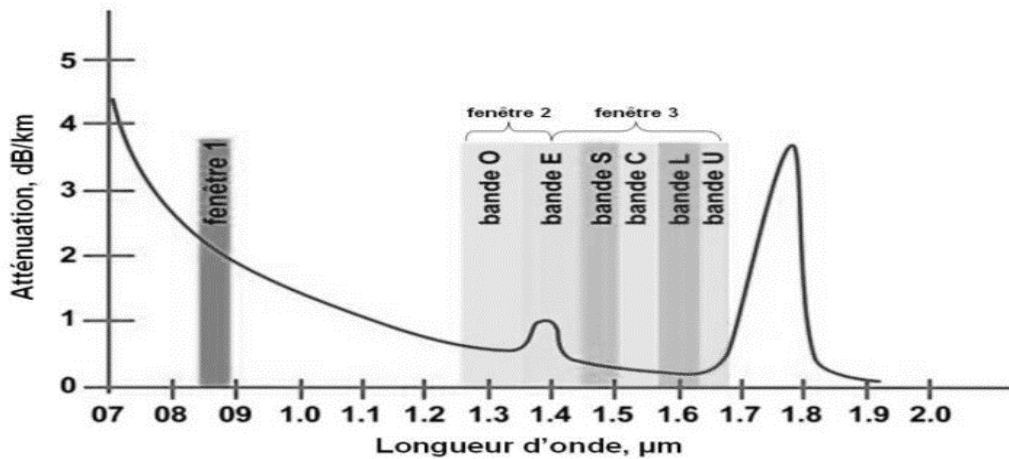


Figure I-7 Fenêtres de transmission [5]

	Première Fenêtre	Deuxième Fenêtre	Troisième Fenêtre
<b>Longueur d'onde</b>	0,78 à 0,9 µm	1,3µm	1,5 à 1,6
<b>Type de fibre utilisée</b>	Multimode	Multimode et monomode	Monomode
<b>Atténuation</b>	Forte (2 à 4 dB/km)	Faible (0,4 à 1 dB/km)	Très faible (0,2dB/km)
<b>Dispersion chromatique</b>	Forte (2 à 4 dB/km)	Quasi nulle	Faible, non nulle très faible dans les fibres à dispersion décalée
<b>Emetteur : type</b>	DEL ; diode laser VCSEL (très haut débit)	DEL (dans multimodes), diodes laser standard (dans monomodes)	Diodes laser DFB (monochromatique)
<b>Matériau</b>	GaAlAs/GaAs	GaInAsP/InP	
<b>Récepteur : matériau</b>	Silicium	GaInAsP/InP Ge,HgCdTe(très peu employés)	
<b>Coût des composants</b>	Faible	Moyen	Elevé
<b>Application</b>	Transmission courte distance ; réseaux locaux ; gigabit à très courte distance	Transmission moyenne et longue distance ; réseaux locaux et métropolitains haut débit	Transmission très longue distance et à l'amplification optique
<b>Multiplexage</b>	Entre les deux fenêtres		« Dense » (nombreux canaux dans la même fenêtre)

Tableau I-1 Fenêtres de transmission des fibres de silice [5]



### I.2.5.2 Dispersion

Est un phénomène qui provoque la déformation du signal durant sa propagation, Elle se traduit par l'élargissement des impulsions. [5]

#### A. Dispersion intermodale

C'est le mode de dispersion spécifique de fibre multimode, ou la lumière est propagé dans plusieurs directions avec des temps différents proportionnel aux longueurs parcourues.

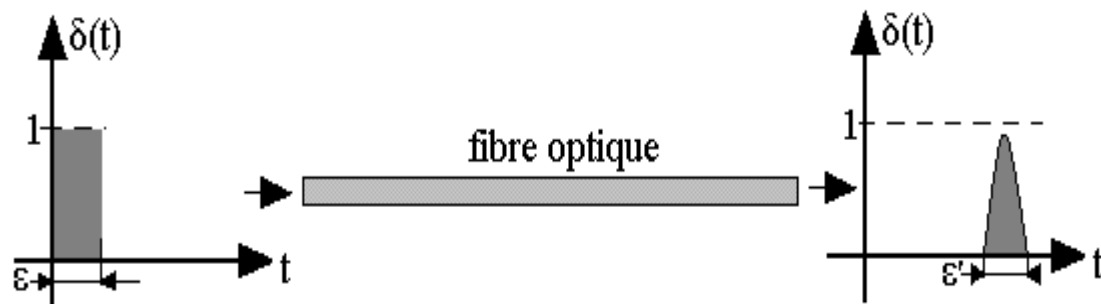


Figure I-8 : Dispersion de signal à la sortie de la fibre optique [5]

Dans une fibre à saut d'indice sa valeur typique est 30 ns /km par contre dans la fibre a gradient indice est estimé à 60 ns/km, ce qui est absent dans les fibres monomodes. [5]

#### B. Dispersion chromatique

Cette dispersion apparait dans le cas des fibres monomode et multimode, elle est définie comme la dérivée du temps de propagation du groupe par rapport à la longueur d'onde, exprimer en ps/(nm.km).



Figure I-9 : Dispersion chromatique dans une fibre optique [5]

### I.2.5.3 Effets non linéaires

Les effets non linéaires sont la variation de la vitesse de propagation liée à la longueur d'onde d'une part et à l'intensité d'autre part [6], On distingue plusieurs types d'effets non-linéaires dans les transmissions optiques tels que l'effet Kerr, l'effet Raman et autres.

#### A. Effet Raman

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

#### B. Effet Kerr

L'effet de Kerr interprété la variation (l'augmentation) de l'indice de réfraction de la fibre sous l'action d'une onde électromagnétique (intensité du champ optique). La conséquence de l'effet Kerr se traduit par un phénomène d'auto modulation de phase. L'impulsion est affectée d'une modulation de phase parasite qui croît avec la distance. La combinaison de la modulation de phase à la dispersion chromatique, conduit à un élargissement temporel des signaux se propagent dans la fibre. [7]

## I.2.6 Système de transmission par fibre optique

### I.2.6.1 Définition

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 [8].

Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique (voir Figure I.10).

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 [8].

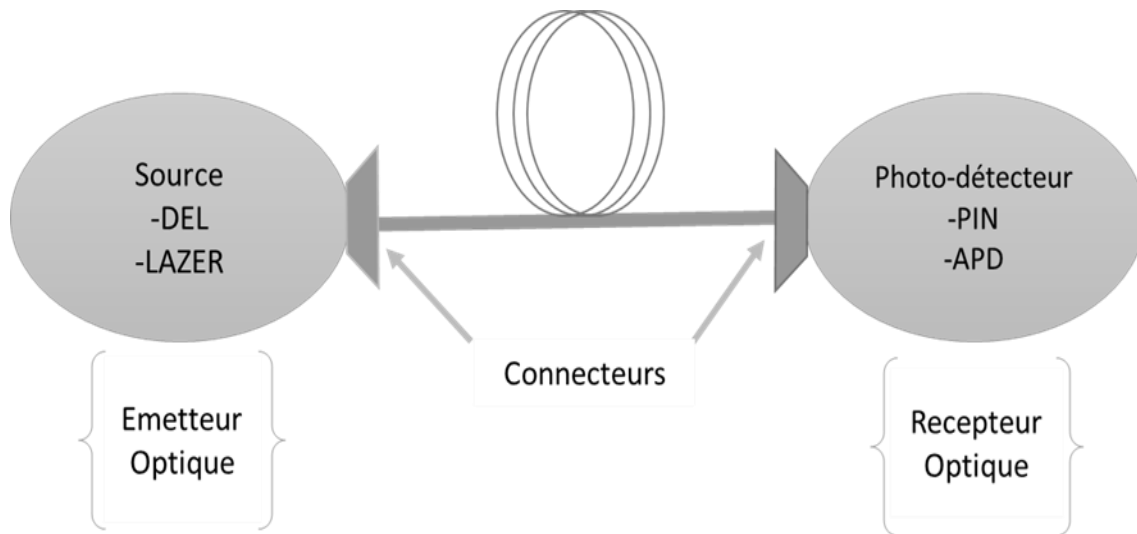


Figure I-10 Schéma synoptique d'un système de transmission optique

### I.2.6.2 Emetteur optique (Source optique)

Le rôle d'un émetteur optique est de convertir un signal électrique en un signal optique, cette partie est composée de divers éléments (source optique, modulateur et driver).

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

En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus 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. [9]

#### A. Les diodes électroluminescentes DEL

Les diodes électroluminescentes (LED) sont des composants bon marché mais elles ne permettent pas l'émission de signaux à des débits trop élevés et elles émettent un signal sur plusieurs longueurs d'onde à la fois, généralement sur un intervalle de vingt (20) nanomètres. De plus le signal généré est assez faible, donc inapte à parcourir de longues distances.

Ces caractéristiques font que les LED ne conviennent pas à la fibre monomode et elles sont donc réservées aux fibres multimodes. De la même façon, les LED sont inadaptées pour le

multiplexage WDM étant donné que celui-ci utilise des intervalles pour chaque signal de l'ordre de 1,6 nanomètres ou moins. [9]

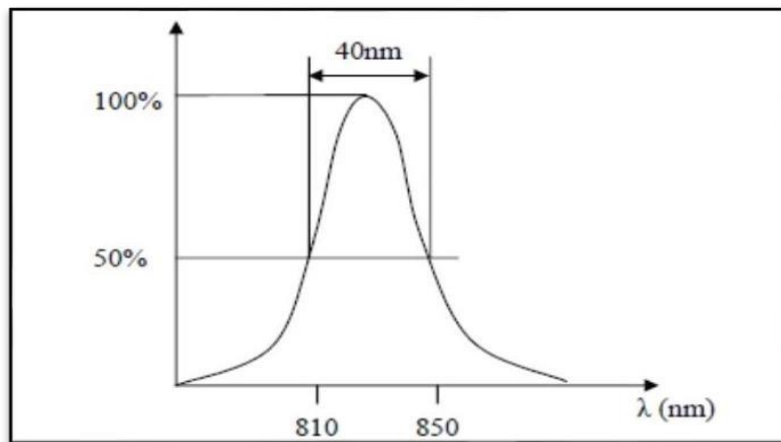


Figure I-11 Spectre d'émission d'une DEL.

### B. 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 caractérisée par : une faible largeur spectrale et une bande passante importante. Le spectre est monomode longitudinal. [10]

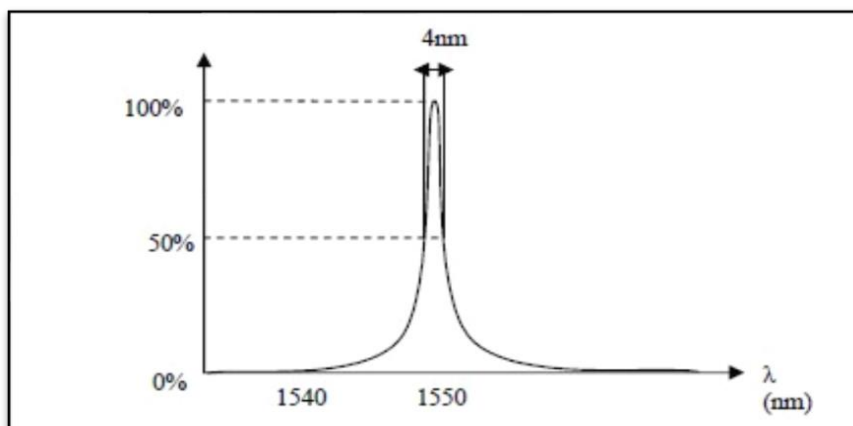


Figure I-12 Spectre d'émission d'une DL.

### I.2.6.3 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. [11]

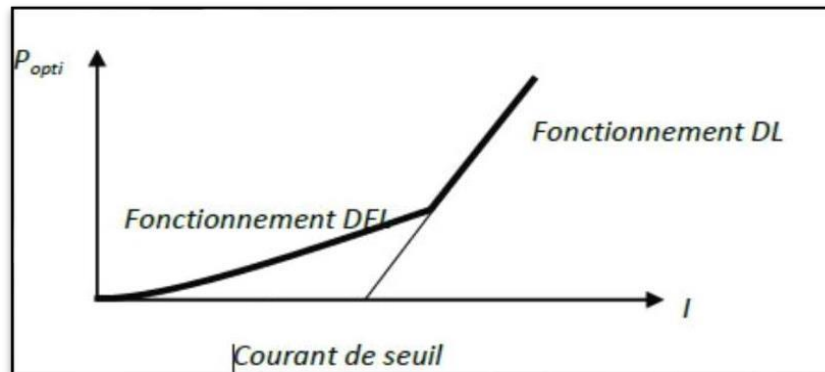


Figure I-13 La différence entre DEL et DL.

### I.2.6.4 Modulateur

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

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

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

Le procédé de modulation peut être de deux types différents, à savoir le type direct, et le type externe. [11]

#### A. 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 [12].

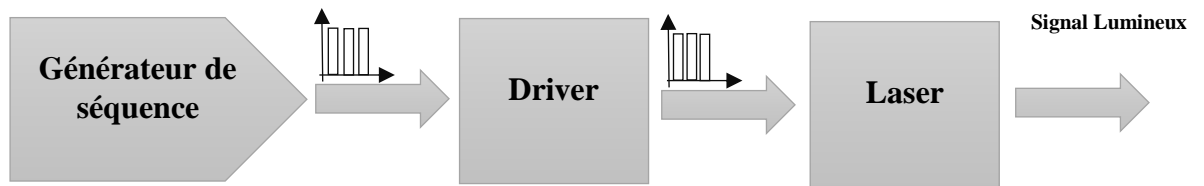


Figure I-14 Modulation directe.

## B. 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.15) [12].

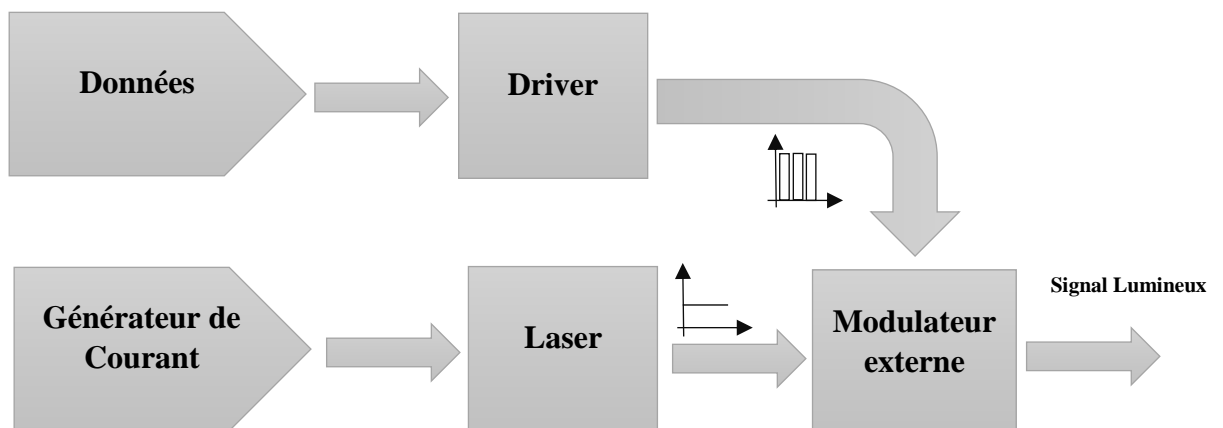


Figure I-15 Modulation externe

### I.2.6.5 Comparaison

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelque Gbit/s, selon la qualité de laser. Mais au-delà de 5Gbit/s, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important [10].

### I.2.6.6 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. [13]

#### A. 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.16) [14].

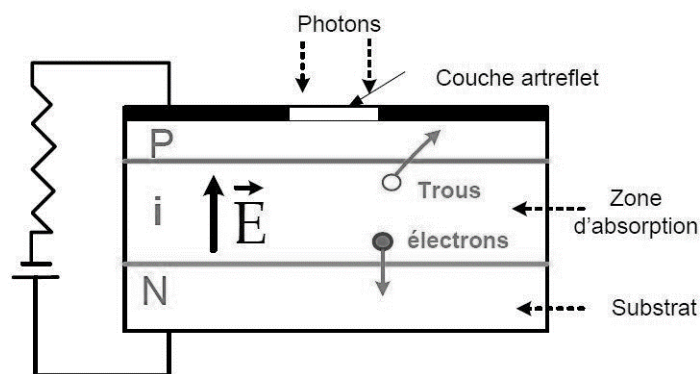


Figure I-16 Photodiode PIN [14]

#### B. 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 utilisées grâce à leurs

performances, leurs gains importants et leurs réponses rapides mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte (voir figure I.17) [14] .

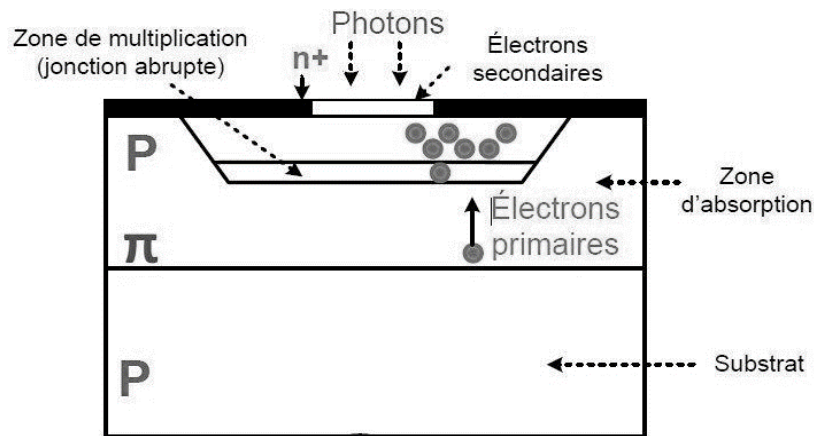


Figure I-17 Photodiode à avalanche PDA. [14] .

## I.2.7 Critères de qualité service d'un réseau optique

Pour analyser et étudier la qualité service et la performance d'une transmission optique, il faut calculer plusieurs paramètres tels que :

### I.2.7.1 Taux d'erreurs binaire (BER)

Le taux d'erreur sur les bits (BER) d'une transmission est le pourcentage de bits dans la transmission qui ont des erreurs à la suite de bruit, d'interférences ou d'autres problèmes. Le taux d'erreur sur les bits peut être utilisé pour déterminer la qualité d'un signal et le succès relatif de la livraison de paquets. Il peut être un élément essentiel de l'examen de différents types de systèmes pour la qualité et l'efficacité [15].

$$BER = \frac{\text{Nombre d'erreurs erroné}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad \text{I-2}$$

### I.2.7.2 Facteur de qualité Q

Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission. Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré, le signal utile est représenté par les niveaux moyens  $\mu_1$  et  $\mu_2$ . Le bruit représente les déviations des puissances



optiques autour de ces niveaux moyens, il est quantifié en combinant les écarts-types  $\mu_1$  et  $\mu_0$ . On définit donc le facteur Q à partir de relevé du diagramme de l'œil par [16]:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\delta_1 - \delta_0} \quad \text{I-3}$$

### I.2.7.3 Ouverture de l'œil

Ici nous nous intéressons aux déformations géométriques du signal qui vont se répercuter sur le diagramme de l'œil, sans tenir compte du bruit. L'Ouverture de l'œil (ou EO pour Eye Opening) mesure l'écart, relativement à la puissance moyenne, entre les puissances des traces correspondant au niveau « 1 » et celles correspondant au niveau « 0 ». Plus celles-ci sont espacées l'une de l'autre, plus l'œil sera clairement défini et donc plus il sera « ouvert ». [17]

## I.2.8 Avantages et inconvénients des fibres optiques

### I.2.8.1 Avantages

- **Bande passante plus large et vitesse plus rapide** : Le câble à fibre optique prend en charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée. L'avantage le plus important est la quantité d'informations qui peut être transmise par unité de câble à fibre optique.
- **Pas cher** : Plusieurs kilomètres de câbles à fibres optiques peuvent être moins coûteux que des fils de cuivre d'une longueur équivalente.
- **Plus mince et léger** : La fibre optique est plus mince et peut être tirée dans des diamètres inférieurs à ceux du fil de cuivre. Leur taille et leur poids sont inférieurs à ceux d'un câble en cuivre, ce qui leur permet de mieux s'adapter aux endroits où l'espace est une préoccupation.
- **Capacité de charge supérieure** : Comme les fibres optiques sont beaucoup plus minces que les fils de cuivre, il est possible de regrouper davantage de fibres dans un câble de diamètre donné. Cela permet à plus de lignes téléphoniques de parcourir le même câble ou à plusieurs canaux de passer par le câble jusqu'à votre décodeur de télévision par câble.

- **Moins de dégradation du signal** : La perte de signal dans la fibre optique est inférieure à celle du fil de cuivre.
- **Signaux lumineux** : Contrairement aux signaux électriques transmis dans les fils de cuivre, les signaux lumineux d'une fibre n'interfèrent pas avec les autres signaux du même câble à fibre optique. Cela signifie une communication et une transmission des données plus claires et de meilleure qualité.
- **Longue durée de vie** : Les fibres optiques ont généralement une durée de vie supérieure à 100 ans. [18]

### I.2.8.2 Inconvénients

- **Puissance faible** : Les sources lumineuses sont limitées à une puissance faible. Bien qu'il existe des émetteurs de grande puissance qui améliorent l'approvisionnement, cela ajouterait un coût supplémentaire.
- **Fragilité** : La fibre optique est assez fragile et plus sensible aux dommages que les fils de cuivre. Il est préférable ne pas tordre ou plier les câbles à fibres optiques.
- **Distance** : La distance entre l'émetteur et le récepteur doit rester courte sinon des répéteurs sont nécessaires pour amplifier le signal. [18]

## I.2.9 Applications de la fibre optique

### I.2.9.1 Réseaux et télécommunications.

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. C'est probablement l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300000 pour la fibre optique. Les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde (câbles transatlantiques) avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s. [19]

### I.2.9.2 La médecine

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

**Pour le diagnostic**, un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibres optiques qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie. [19]

**Pour un traitement**, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine... [19]

La fibre optique facilite donc le travail des professionnels de la santé ainsi que la vie de leurs patients. Les interventions sont moins complexes, moins dangereuses et moins invasives que la chirurgie traditionnelle. De plus, puisqu'elles ne nécessitent le plus souvent qu'une anesthésie locale, le patient peut subir l'intervention et retourner chez lui la même journée. L'application de ces techniques de diagnostic et de traitement a donc eu une incidence importante sur le plan économique. [19]

### I.2.9.3 Les capteurs (température, pression, etc.)

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application plus récemment est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subie par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques. [19]

### **I.2.9.4 L'éclairage**

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés. [19]

## **I.3 Conclusion**

On a entamé au cours de ce chapitre les généralités des fibres optiques englobant tous ce qui concerne la structure, les différents types, les caractéristiques ainsi que les critères de qualité et les avantages puis les inconvénients de ces fibres optiques.

Pour conclure, on peut dire que le meilleur moyen actuel pour transporter de très hauts débits l'informations numériques est la fibre optique, qui représente un guide d'ondes exploitant les propriétés réfractrices de la lumière

Donc elle connaît une très grande évolution pour être une révolution pour la transmission de données et voir même plus ! C'est un atout très important pour la génération d'aujourd'hui, puisque tout le monde est connecté.

En continuant notre sujet par l'abord d'un thème dans le chapitre suivant qui se résume en étude du réseau FTTH et les techniques de multiplexage.

# **Chapitre II :**

**Etude du réseau FTTH et les techniques de multiplexage**

## II.1 Introduction

Au but d'accéder à l'information facilement et rapidement, plusieurs applications nécessitent une plus grande bande passante dans ce moment de l'explosion de l'internet et la société multimédia ouverte et communicante.

Cette partie introduit les réseaux optiques spécialement les réseaux optiques passifs, et son principe de fonctionnement.

On a abordé aussi deux principales architectures du réseau FTTH : point à point, point à multipoints. Par la suite, on a discuté les différents standards d'un réseau PON.

Et pour augmenter le débit de transmission nous avons utilisé les techniques de multiplexage qui sont représenté par TDM, FDM et WDM, mais notre intérêt est focalisé sur la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM qui augmente le débit de transmission de N fois le débit de 10 Gbits/s.

## II.2 Réseaux optiques passifs FTTX

### II.2.1 Les réseaux optiques

Un réseau de télécommunications par fibre optique peut être décomposé en trois catégories :

- **Le réseau d'accès :**

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

- **Le réseau métropolitain (métropolitain area network : MAN) :**

Réseaux intermédiaires qui réalisent l'interconnexion entre les réseaux longue distance et les réseaux d'accès à travers des nœuds d'accès (NA), ayant des dimensions de l'ordre de la centaine de kilomètres.

- **Le réseau cœur :**

S'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres.[20]

## II.2.2 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. [20]

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 :

### II.2.2.1 FTTH (Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office)

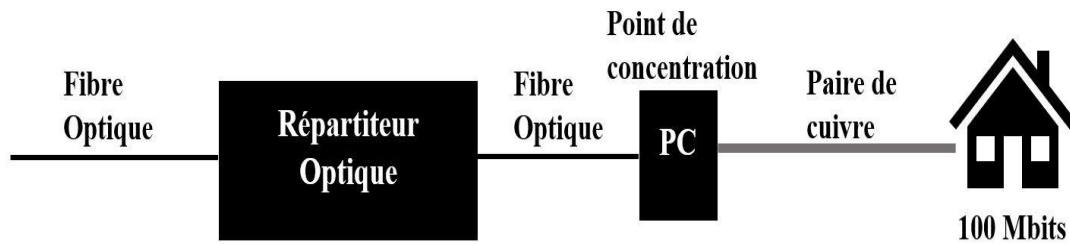
La terminaison du réseau optique, propre à un abonné est implantée dans ces locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s). Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO, la figure (II.1) représente les différents composants d'un réseau FTTH/FTTO [20]



Figure II-1 Structure d'un réseau FTTH

### II.2.2.2 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.

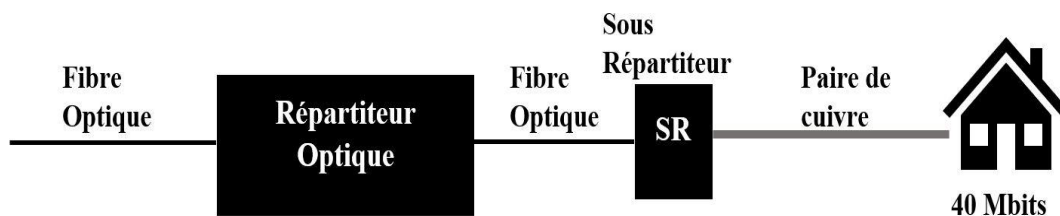


**Figure II-2 Structure d'un réseau FTTB**

Cette configuration est appelée aussi FTTB, la figure (II.2) représente la structure d'un réseau FTTB [20] .

### II.2.2.3 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 [20] .



**Figure II-3 Structure d'un réseau FTTC**

## II.2.3 Architecture des réseaux FTTH

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile. Elle ne fait appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné (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. [21]



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.2.3.1 Architecture point à point

Le point à point passif est l'architecture de base. Chaque habitation ou client est relié directement au central par une fibre optique qui lui est dédiée. Cette organisation est du même type que celle de la boucle téléphonique traditionnelle. Son avantage est de permettre une absolue étanchéité entre les différents abonnés et garantir la disponibilité totale de la ligne. En revanche elle nécessite de déployer un nombre important de fibre. De plus, si une nouvelle maison doit être rajoutée, une nouvelle fibre doit être mise en place. [22]

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. commercialement, les débits sont limités à des valeurs moindres, par exemple 100Mb/s symétriques. [21]

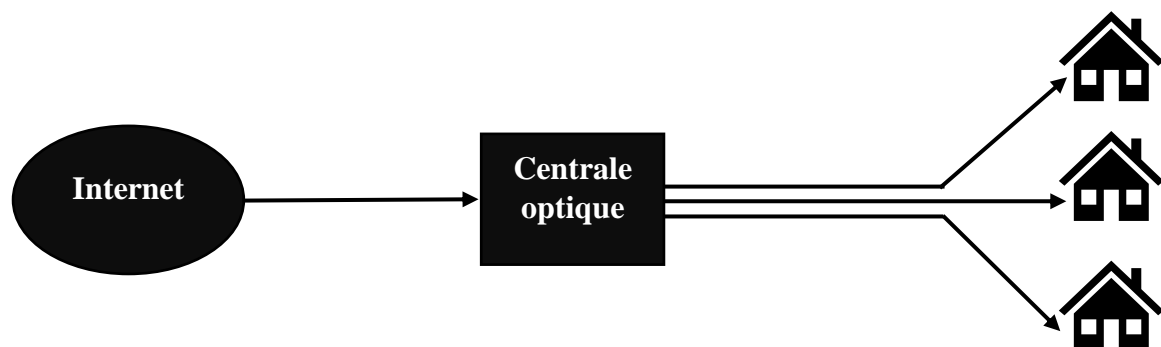


Figure II-4 Architecture point à point.

#### A. 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.

## B. 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).

### II.2.3.2 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 est desserv 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) [21] .

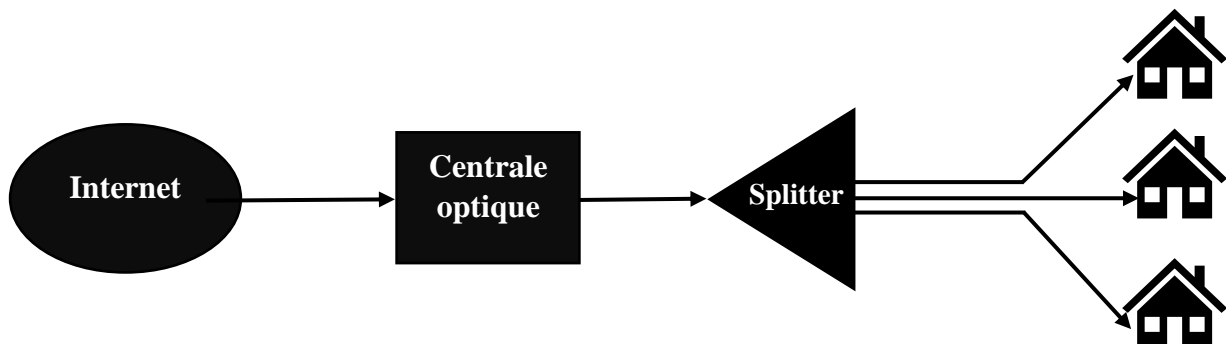


Figure II-5 Architecture point à multipoint.

**A. 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.

**B. 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.2.3.3 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.2.4 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 [23].

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.2.4.1 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 [24].

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

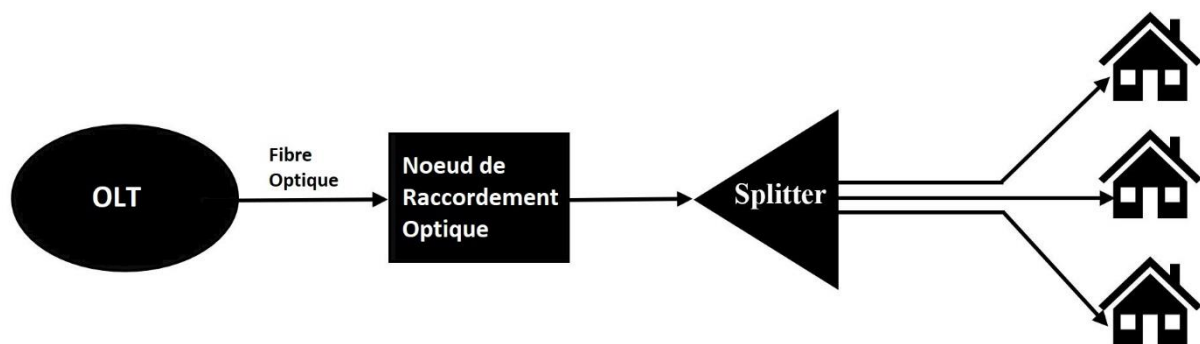


Figure II-6 Architecture d'un réseau optique passif (PON).

### II.2.4.2 Etude des éléments d'un réseau optique passif

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur trois 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).

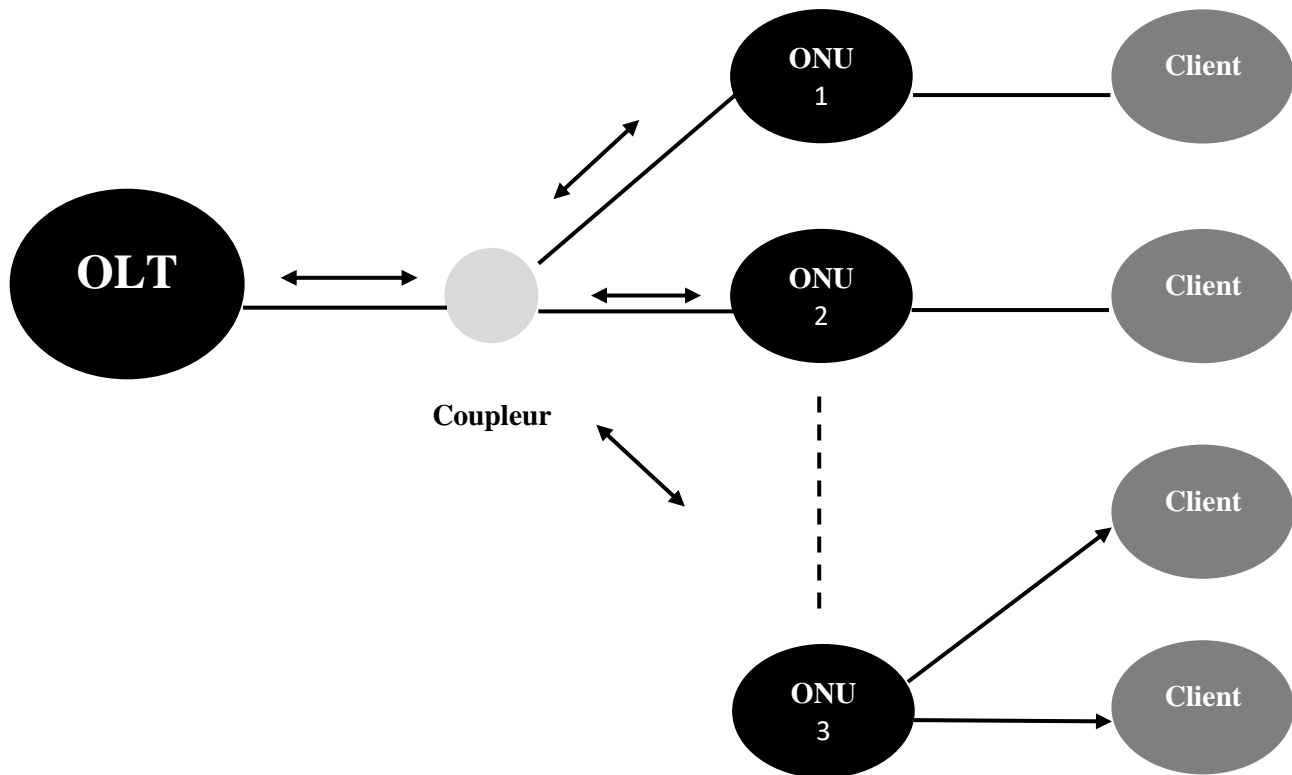


Figure II-7 Les éléments constitutifs du PON.

#### A. OLT (Optical Link Terminal)

L'OLT est l'équipement maître d'accès optique pour des clients connectés au FTTH, 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 [25].

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. L'OLT doit être conformes à la norme ITU.

## B. 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 [25].

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.

## C. 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.

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. [26]

### II.2.4.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON

Dans un réseau PON la transmission se fait sur une seule fibre optique en utilisant le multiplexage de longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing), il est à noter que les PONs actuels sont mono longueur d'onde c'est-à-dire qu'ils n'utilisent qu'une seule longueur d'onde pour le sens montant ou pour le sens descendant. Il s'agit de PON TDM (PON Time Division Multiplexing) [27].

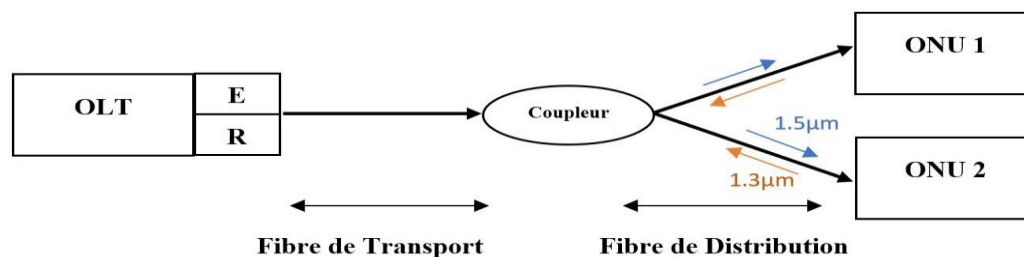
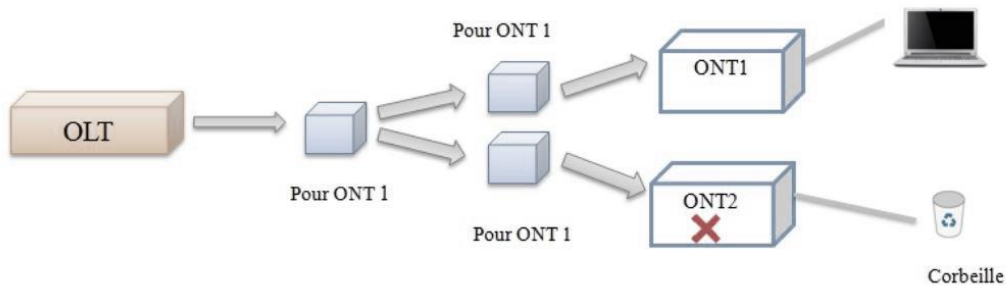


Figure II-8 Transmission sur un PON

**A. La voie descendante**

Dans le sens descendant chaque abonné ne reçoit que les informations qui le concernent. Tous les ONT reçoivent l'ensemble des données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné la (figure II.9) montre ce principe.



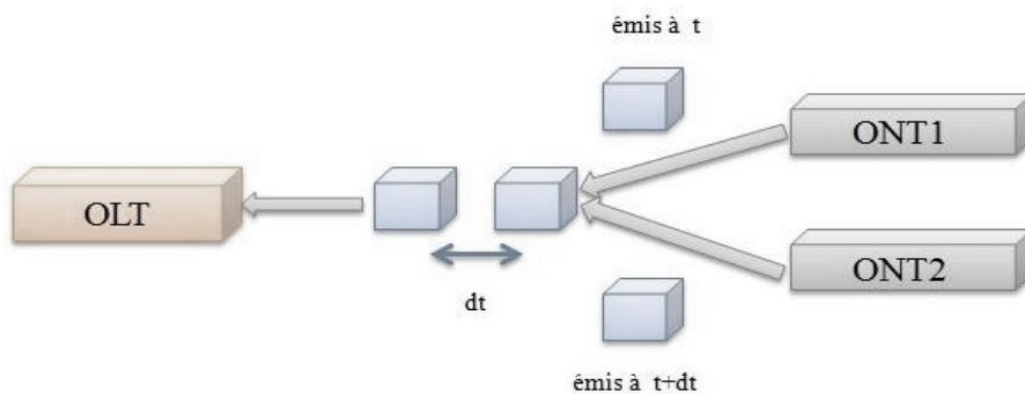
**Figure II-9 Architecture du sens descendant.**

Dans le réseau PON et sur l'architecture du sens descendant, le débit instantané est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent les données [28] .

**B. La voie montante**

Le coupleur étant passif et les ONT émis tous dans la même longueur d'onde, Si les signaux émis par deux ONT parviennent simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. On utilise donc un partage du temps de parole.

L'OLT attribue à tour de rôle à chaque ONT un intervalle de temps (quelques micro secondes) pendant lequel cet ONT est seul autorisé à émettre (figure II.10). S'il a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui attribue davantage de temps de paroles, et inversement elle réduit pour les ONT qui émettent peu [28] .



**Figure II-10 Architecture du sens montant.**



#### II.2.4.4 Les différents standards d'un réseau PON

Depuis les années 1990, les technologies PON ont été normalisées par l'ITU (International Télécommunication Union) et par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), différents standards apparaissent au fil des années, on a ainsi défini : APON, BPON, GPON et EPON, le paragraphe qui suit détaille ces technologies.

##### A. La norme APON

L'architecture APON (ATM Passive Optical Network) a été initiée en 1995 par l'ITU/FSAN, standardisée par l'ITU en 1998. C'est simplement un système point à multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. 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 fournit 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 [27].

##### B. La norme BPON

Le BPON 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 [29].

Pour traduire cette évolution, ITU-T a officiellement changé le nom du système en PON à large bande, ou BPON (Broadband PON), défini par la norme G.983.1.

Les BPON actuellement déployés opèrent en l'un des 3 modes down Stream /up Stream : 155Mb/s /155Mb/s, 622Mb/s /155 Mb/s, 622Mb/s /622Mb/s ou 1244 Mb/s /622Mb/s. Les autres caractéristiques de réseau BPON sont :

- 32 ONU's dans un seul PON.
- La longueur de la fibre peut aller jusqu'à 20km.
- 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.

L'avantage des A/BPONs est qu'ils permettent en quelque sorte la réallocation dynamique en mode TDM. En effet, vu que la bande offerte est limitée, les ONUs les plus actifs peuvent envoyer leurs données pendant les times slots des ONUs inactifs, de cette manière le débit par utilisateur actif peut être augmenté [27].

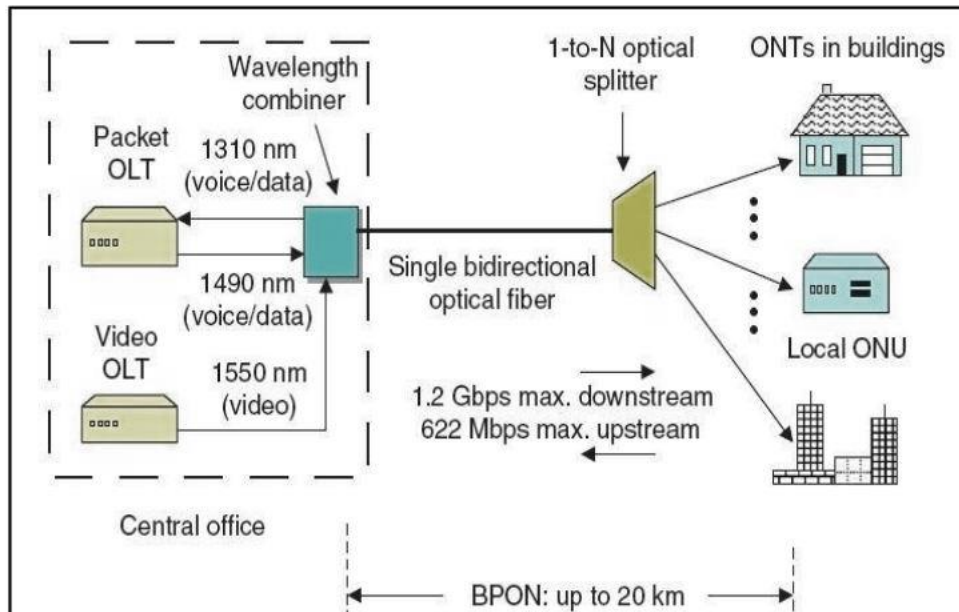


Figure II-11 Architecture et concept de base d'un BPON [27]

### C. La norme EPON

L'architecture Ethernet PON a été standardisée en septembre 2004 par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sous la référence 802.3ah. Fortement déployée au Japon, en Corée et en Europe, la norme E-PON supporte le service « triple play : Voie, Data et la vidéo » sur IP. Elle est basée sur l'utilisation de l'Ethernet pour encapsuler et transmettre les données. Comme Ethernet est une technologie peu coûteuse, omniprésente et possède une très large bande passante, EPON apparaît comme la meilleure solution en ce moment pour délivrer les paquets IP à travers les PONs. [27]

### D. 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). [27]

#### II.2.4.5 Comparatif des différents standards d'un réseau PON

Le tableau ci-dessus résume les caractéristiques des différents standards d'un réseau PON :

	<b>BPON</b>	<b>GPON</b>	<b>EPON</b>
<b>Standard</b>	ITU G983	ITU G984	IEEE 802.3ah
<b>Débit Des données (Mb/s)</b>	Descendant : 1244,622,155 Montant : 622, 155	Descendant : 2488, 1244 Montant : 2488, 1244, 622, 155	Descendant : 1250 Montant :1250
<b>Modes de trafic</b>	ATM	GEM (ATM, Ethernet, TDM,)	Ethernet
<b>Nombre de clients</b>	64 max	128 max	Ethernet
<b>Distance "logique"</b>	64 max	60 km max, 20 km différentiel	10km, 20 km
<b>Longueur d'onde</b>	Descendant : Voix et données 1490 nm Vidéo Numérique 1550 nm Montant : 1310nm	Descendant : Voix et données 1490 nm Vidéo Numérique 1550 nm Montant : 1310nm	Descendant : Voix et données 1490 nm Vidéo Numérique 1550 nm Montant : 1310nm
<b>Budget optique</b>	15/20/25 Db	15/20/25/28 dB	15/20 dB

Tableau II-2 Comparaison des standards PON [27]

### II.2.4.6 La sécurité et la fiabilité d'un réseau passif

Le réseau PON offre un mode de fonctionnement sécurisé en ce qui concerne la confidentialité des données, il permet aussi d'assurer une fiabilité car la probabilité de défaillance d'un équipement est faible [28].

#### A. La sécurité du PON

Dans la technologie PON il est difficile pour une personne malveillante d'essayer de capter des données qui ne lui seraient pas destinées, le réseau PON a mis en œuvre des mécanismes afin que l'abonné ne puisse lire que les données qui lui sont adressées. Le mécanisme de sécurisation employé est le suivant :

- Le trafic descendant est crypté. Il utilise l'algorithme standardisé AES à 128-bits : chaque équipement client a sa propre clé cryptage/décryptage privée, de nouvelles clés sont automatiquement échangées par l'OLT et l'ONU à des intervalles de temps réguliers.
- Le trafic remontant est émis en utilisant une couleur optique de 1310 nm. Les modems client n'ont aucun moyen de détecter ce signal optique et par conséquent de lire le trafic remontant des autres clients.
- L'interception des données provoque l'interruption temporaire de tous les flux optiques, ce qui serait immédiatement détectée par l'OLT et générerait une alerte majeure [28].

#### B. La fiabilité du PON

Pour assurer la fiabilité du réseau 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 [28].

## II.3 Multiplexage sur les fibres optique

Le multiplexage permet de transférer plus d'un message des données via le même fibre optique. Parmi ces techniques du multiplexage, on cite le multiplexage temporel (TDM : Time Division Multiplexing) et le multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing) et le multiplexage fréquentiel ( FDM : Frequency-division multiplexing).

### II.3.1 Le Multiplexage TDM

Le multiplexage TDM consiste à imbriquer temporellement différents canaux de communication en trames successives. Si l'on se représente un flot d'information par les dents d'un peigne, le multiplexage temporel revient à superposer les peignes des différents canaux en les décalant les uns par rapport aux autres (voir la figure II.12) Cela nécessite une synchronisation précise à la réception, chaque canal temporel est démultiplexé puis acheminé vers sa destination. [39]

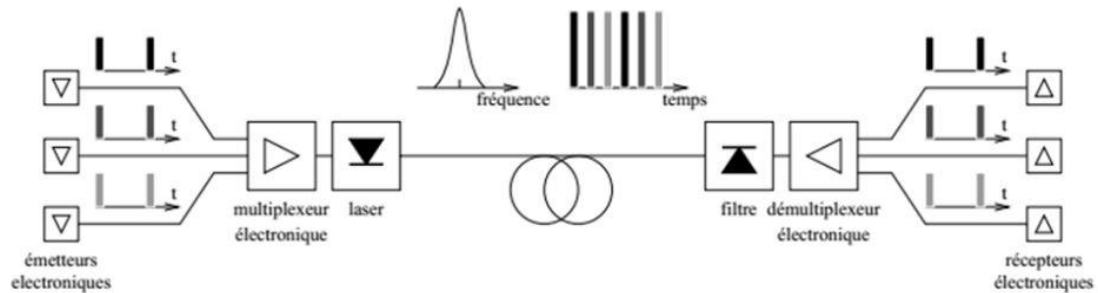


Figure II-12 Multiplexage temporel TDM [39]

### II.3.2 Le Multiplexage FDM

Ce multiplexage nous permet l'envoi des signaux dans une plage de fréquences allouée avec un écart de fréquence approprié entre deux signaux adjacents afin d'éviter le chevauchement. La probabilité de collision est faible car les signaux sont envoyés dans un temps imparti (voir la figure II.13). [30]

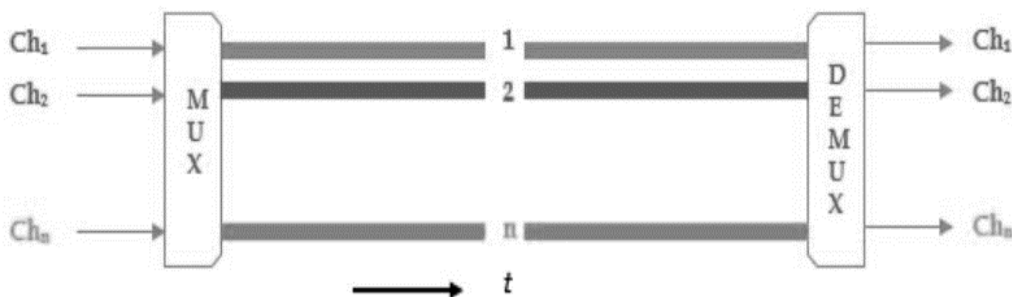


Figure II-13 Principe du multiplexage FDM [30]

### II.3.3 Le Multiplexage WDM.

Le multiplexage en longueur d'onde est une technique utilisée en communications optiques qui permet de faire passer plusieurs signaux de longueur d'onde différentes sur une seule fibre optique en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX) et en les séparant à la sortie à l'aide d'un démultiplexeur (DEMUX).

Le principe consiste à transporter plusieurs signaux sur un brin de fibre optique, Chaque signal est placé sur une longueur donnée grâce à un transpondeur. Puis via un multiplexeur optique, toutes les longueurs d'onde sont envoyées sur le même brin de fibre optique. A l'autre extrémité, un démultiplexeur va séparer les longueurs d'onde les unes des autres [28]

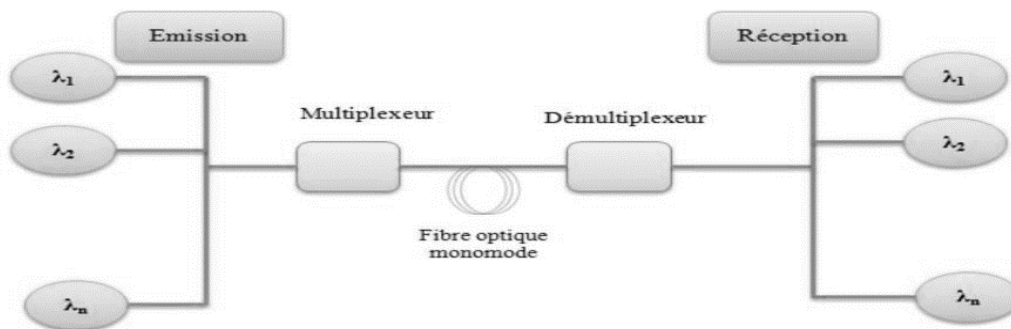


Figure II-14 Le multiplexage en longueur d'onde WDM [29]

#### II.3.3.1 Le principe de multiplexage WDM

La technique WDM consiste à injecter simultanément plusieurs canaux d'informations de N porteuses optiques, à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit D, dans une même fibre optique en partant du principe que les différentes longueurs d'onde d'une impulsion de lumière se propageant sur la fibre optique à des vitesses différentes. En effet la fibre optique possède une atténuation très faible (0.2 dB/km) dans la fenêtre de transmission 1.5-1.6  $\mu\text{m}$ , ce qui représente une bande passante disponible de plus de 15 000 GHz, soit un potentiel de transmission numérique d'au moins 5 Tbit/s par fibre, l'équivalent de 80 millions de voies téléphoniques. [31]

### II.3.3.2 Les types des systèmes WDM

Il y a plusieurs types de multiplexage en longueur d'onde :

#### A. Multiplexages à filtres

Le multiplexage en longueur d'onde à filtre, appelé aussi, multiplexage à deux voies (deux longueurs d'onde relativement espacées, ou deux fenêtres). Les coupleurs à deux voies sont en général réalisés par la technologie à filtre dichroïque, qui sépare deux fenêtres à la fois assez larges et assez espacées : par exemple la fenêtre 0.85 et la fenêtre 1.3  $\mu m$ . Pour les réseaux d'accès de type PON ils sont utilisés deux fenêtres 1.3 et 1.5  $\mu m$  [5].

On rencontre deux principales variantes du WDM : CWDM et DWDM.

#### B. CWDM

La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) est adaptée pour le transport courte distance. Le système CWDM est idéalement adéquat pour des infrastructures en fibres avec des portées de fibres qui sont à 50 km ou moins et qui n'ont pas besoin de la régénération du signal ou de la présence des amplificateurs optiques, utilisent des lasers qui ont un débit de 2,5 Gbps (OC-48/STM-16) et peuvent multiplexer jusqu'à 18 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 45 Gbps sur une seule fibre. Le laser de transmission et le détecteur de réception sont généralement intégrés dans un ensemble unique appelé un émetteur-récepteur. Les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'onde. Ils ne nécessitent pas un contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui explique leur coût moins élevé par rapport aux équipements DWDM.

Cette technologie est schématisée dans La Figure II.15. Ce système est caractérisé par un espacement entre canaux de 20 nm ou 2500 GHz (spécifiés par la norme ITU G.694.2). La grille CWDM est définie en termes de séparation de longueur d'onde. Cette grille est constituée de 18 longueurs d'onde définies dans la plage 1270 nm à 1610 nm [32] [33] .

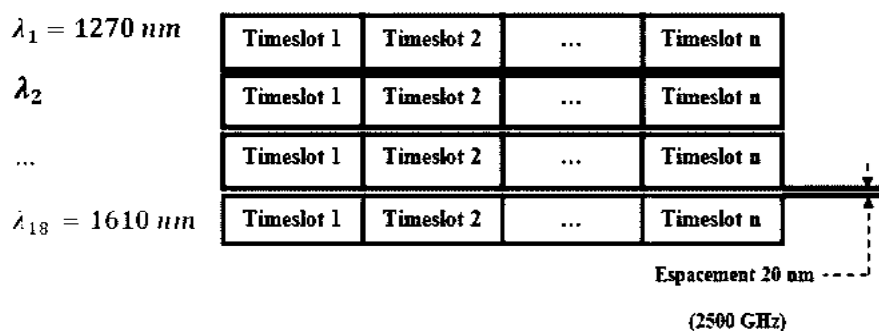


Figure II-15 Longueur d'onde CWDM [33]

### C. DWDM

La technologie DWDM est adaptée pour le transport courte et longue distance de données. Le système DWDM est parfaitement adapté dans le Metro ou longue distance où les demandes de capacité sont extrêmement élevées. Cette grande capacité demande un résultat de l'agrégation des services reçus des clients multiples à la périphérie de l'entreprise, utilisent des lasers qui ont un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps (OC-192/STM-64) et peuvent multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 2,4 Tbps sur une seule fibre. Les nouveaux systèmes DWDM seront en mesure de soutenir 40-Gbps avec un maximum de longueurs d'onde de 300 chaînes, résultant en 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre. Les Émetteurs-récepteurs des systèmes DWDM consomment plus d'énergie et dissipent la chaleur beaucoup plus que les émetteurs-récepteurs des systèmes CWDM. Cela crée une obligation pour le refroidissement des sous-systèmes de DWDM.

Cette technologie est schématisée dans La Figure II.16. Aujourd'hui les systèmes DWDM Metro déployés utilisent généralement un espacement de fréquence de 100 GHz ou de 200 GHz. L'espacement commun du DWDM peut être 200, 100, 50, 25, ou 12,5 GHz avec un nombre de canaux pouvant atteindre jusqu'à 300 ou plusieurs canaux à des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec l'amplification et la régénération le long de cette route. Comme spécifié par le standard ITU G.694.1, les systèmes DWDM sont caractérisés par un espacement entre canaux de 50 ou 100 GHz. La grille de fréquence de DWDM est ancrée à 193,1 THz. Les systèmes DWDM ont de façon significative une granularité plus fine entre les longueurs d'onde (espacement typique de 100-GHz) par rapport à leurs homologues CWDM. Selon la grille UIT, les produits DWDM fonctionnent dans la bande C entre 1530 et 1565 nm ou dans la bande L entre 1565 et 1625 nm. L'un des avantages du DWDM est le gain dans la région de l'EDFA (Amplificateur à Fibre dopée Erbium) qui correspond à la bande C.

Les longueurs d'onde peuvent être amplifiées pour compenser les pertes dues à la longue distance de transmission des fibres ou /et les pertes passives élevées (pertes du coupleur, du multiplexeur, etc...) [32] [33].



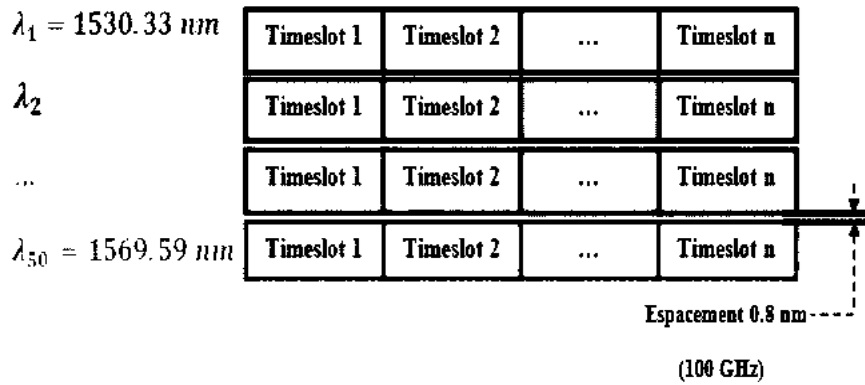


Figure II-16 Longueur d'onde DWDM [33].

### II.3.3.3 Les apports de la technologie WDM

- La technologie WDM répond aux besoins d'augmentation de débits et de taux de partage dans le réseau d'accès.
- La transmission est transparente dans cette technologie, permet une indépendance vis-à-vis les protocoles et une indépendance entre canaux (On peut trouver sur une même fibre de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM, (Figure II.17)).
- Nous pouvons trouver plusieurs applications pour cette technologie par exemple : le Multiplexage en longueurs d'onde pour la commutation et le routage optique.
- La limite en débit imposée par le TDM peut être dépassée en introduisant le WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur [34]

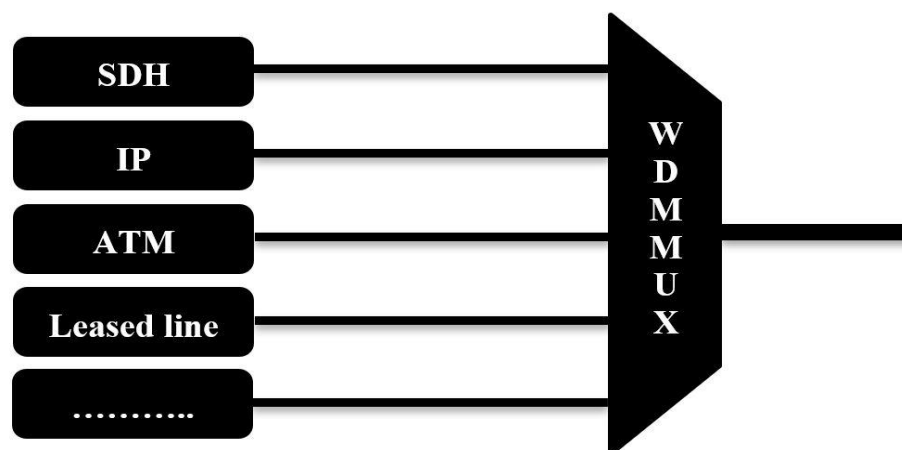


Figure II-17 . Différents protocoles sont multiplexés

### II.3.3.4 Les limites de la technologie WDM

Nous pouvons citer quelques limitations du multiplexage optique :

- Effet de la diaphonie,
- Effet de la polarisation au niveau des multi/démultiplexeurs (pertes d'insertion),
- Diaphonie due à la conversion Raman,
- Diaphonie due à d'autres phénomènes non linéaires (produisent lors de la propagation du signal dans la fibre dépendamment du niveau de puissance véhiculé),
- Espace entre voies lié aux relations d'incertitude,
- Effet de filtrage de longueur d'onde sur les lasers multimodes. [30]

## II.4 Notion sur les Réseaux de Bragg

Le réseau de Bragg est un filtre passif photo induit, dans le cœur d'une fibre optique, permettant la réflexion sélective de longueurs d'onde. Il consiste en une perturbation périodique longitudinale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. Quand la lumière se propage dans la fibre, le réseau réfléchit les longueurs d'onde qui vérifient la relation :

$$\lambda = 2n_{eff}\Lambda \quad \text{II-1}$$

$\Lambda$  : est la période de la modulation d'indice.

Cette modulation d'indice s'obtient par exposition du cœur de la fibre à une intense figure d'interférence, créée à partir d'un laser ultraviolet, qui excite ainsi des défauts dans le cœur de la fibre optique et modifie le verre.

Cette exposition a pour effet d'augmenter l'indice de réfraction des régions exposées aux fortes intensités.

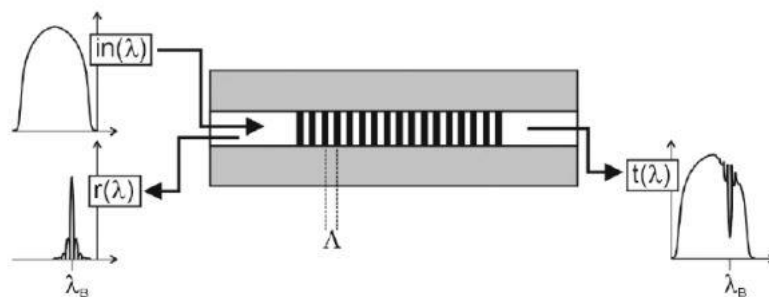


Figure II-18 Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres [35]

Typiquement, la figure d'interférence utilisée pour écrire les réseaux de Bragg est obtenue avec un élément diffractif appelé masque de phase. L'utilisation de cet élément offre la possibilité de modifier la période du réseau inscrit sans modifier la longueur d'onde du laser d'écriture. Cette méthode de fabrication a permis aux réseaux de Bragg de se construire une niche dans le domaine des télécommunications optiques, ceux-ci étant très sélectifs en longueur d'onde. Différentes applications de ces filtres ont vu le jour telles que : sélecteur d'un canal optique compensateur de la dispersion chromatique, égalisateur du gain des amplificateurs optiques à l'Erbium et différents types de capteurs optiques. [35]

### II.4.1 Méthodes d'inscription

Les premières photos d'inscriptions de réseaux de Bragg ont été effectuées par injection longitudinale d'un faisceau laser à argon ( $\lambda_{\text{Laser}} = 488\text{nm}$ ) dans une fibre ayant un cœur dopé à l'oxyde de germanium. Les auteurs avaient remarqué lors de leurs expériences une réflexion de la longueur d'onde incidente de plus en plus importante au cours du temps. En effet, grâce à la création d'une onde stationnaire entre les deux extrémités de la fibre (avec l'onde « aller » et l'onde réfléchiée par la face clivée de la fibre), une modulation d'indice durable de pas  $\Lambda$  était apparue dans le cœur :

$$\Lambda = \frac{\lambda_{\text{Laser}}/2}{n_{\text{Coeur}}} \quad \text{II-2}$$

Grâce à la relation de Bragg, il est facile de vérifier que la longueur d'onde réfléchiée par ce réseau est la longueur d'onde incidente. Ces principales méthodes (qui peuvent être utilisées à la fois pour photo inscrire des guides plans intégrés et des fibres) sont brièvement décrites ci-dessous. [35]

### II.4.2 Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication

Les réseaux de Bragg photo inscrits dans les fibres optiques sont devenus indispensables pour l'égalisation du gain des amplificateurs, la stabilisation en longueur d'onde des pompes ou des sources, et pour les lasers à fibre. Leurs avantages majeurs sont de faibles pertes d'insertion, une très faible sensibilité à la polarisation et une conception extrêmement flexible. Ces avantages en font également des candidats très attractifs pour les applications de filtrage complexe ou de compensation de dispersion chromatique fine [35] .

### II.4.2.1 Filtrage et multiplexage

Agissant en tant que filtres sélectifs de longueur d'onde, les réseaux de Bragg uniformes de courtes périodes ont été visés la première fois vers des applications du filtrage et du multiplexage. Le coefficient de réflexion, est proportionnel à la transformée de Fourier du profil longitudinal de l'indice de réfraction. Le spectre du filtrage peut alors être obtenu, en ajustant la période du réseau et la variation de l'indice de réfraction, pour des rejets élevés des canaux adjacents, formes rectangulaires, multi crête etc.

Aujourd'hui, les techniques avancées d'écriture des FBG permettent la réalisation de presque n'importe quelle forme spectrale désirée en contrôlant la réponse de la phase. Les réseaux de Bragg sur fibres sont donc d'excellents candidats pour les futurs systèmes WDM complexes mais avec des filtres peu coûteux à adapter à cette conception. Un exemple de filtre déjà démontré contenant un espacement entre canaux de 25 ou de 12.5 GHz montrant simultanément des formes rectangulaires et une dispersion nulle.

Le réseau de Bragg de périodes courtes réfléchit la lumière près de la longueur d'onde de Bragg et demeure transparente pour les autres. Pour être utilisés dans un réseau, le réseau de Bragg doit s'associer à un autre composant avec plusieurs entrées et sorties pour extraire le signal utile.

Généralement ce composant est un circulateur. Son principe est décrit sur la figure. Sur la même figure est montré un autre filtre en ajoutant un second circulateur (coupleur), la fonction d'insertion peut être inclus dans le composant. Le filtre est transformé en un (OADM) (Optical Add and Drop Multiplexeur). Cependant les circulateurs sont coûteux. Et c'est possible de les remplacer par des dispositifs à fibres comme un interféromètre Mach-Zehnder où le même réseau de Bragg est imprimé sur ces deux bras ou bien coupleur 100% ou 0% où le réseau de Bragg est imprimé dans sa région de couplage. [35]

### II.4.2.2 Filtre optique

Un exemple d'application du réseau de Bragg comme filtre optique en association avec un Fabry Pérot est décrit dans cet exemple :

- Filtre composé d'un réseau de Bragg et d'un FFP

Un filtre basé sur un réseau de Bragg imprimé sur fibre, un circulateur optique et un Fabry-pérot : le signal d'entrée est réfléchi par le FBG est dirigé à travers le circulateur vers le Fabry-pérot. Donc le filtre global consiste en la mise en cascade de deux filtres indépendants. [35]

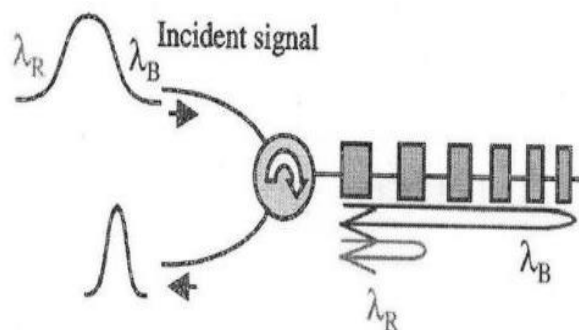
### II.4.2.3 Compensation de la dispersion chromatique (DCF)

La dispersion chromatique lors de la transmission par fibre avec la dispersion de la polarisation des modes est un des principaux facteurs limitatifs de l'augmentation du débit de transmission. L'impulsion n'est pas vraiment monochromatique, dans les fibres dispersives, Les différentes fréquences du spectre d'impulsion se propagent à différentes vitesses, ce qui entraîne l'élargissement de l'impulsion. Les impulsions peuvent se recouvrir, ce qui détériore la transmission de l'information. Le problème s'aggrave quand le débit augmente. En effet, quand le débit augmente, les impulsions sont plus courtes et spectralement plus larges. On peut éliminer cette dispersion en utilisant des fibres à dispersion négatives, cependant de grande longueur de fibres sont exigées et ça devient encombrant et coûteux et en plus les fibres compensatrices montrent plus d'atténuation lors de la transmission donc il faut ajouter des amplificateurs. En outre, ces fibres sont sensibles aux effets non linéaires. [35]

Ces dernières années l'utilisation des réseaux chirpés pour remplacer les fibres compensatrices est devenue de plus en plus fréquente. Par exemple un réseau de Bragg est utilisé en réflexion en association avec un circulateur. Le principe est montré sur la (Figure II.19).

Les grandes longueurs d'ondes sont immédiatement réfléchies tandis que le plus courtes se propage un peu plus. La solution est intéressante puisque on remarque des pertes minimales, peu encombrantes et l'insensibilité aux effets non linéaires.

La dispersion introduite peut être exprimé approximativement par :



**Figure II-19 principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur**

$$DC = \frac{2n_{eff}L}{c\Delta\lambda} \cong \frac{10L(mm)}{\Delta\lambda(mm)} \text{ (ps/nm)} \quad \text{II-3}$$

Où  $L$  et  $\Delta\lambda$  représentent respectivement la longueur et la variation de la longueur d'onde,  $n_{eff}$  l'indice effectif du cœur et  $c$  la vitesse de la lumière qui sont remplacé respectivement par 1.45 et 3.108 m/s.

La formule prouve que la compensation de la dispersion de 100km de fibre de transmission est possible pour un canal en utilisant un réseau de longueur inférieur à 100 millimètres. [35]

#### II.4.2.4 Amplificateurs optiques

L'aplatissement du gain de l'amplificateur EDFA, essentiel dans la transmission WDM, est aujourd'hui l'une des principales applications de réseau de Bragg FBG. L'insertion d'un filtre optique où son spectre représente l'inverse de celui du gain de l'EDFA est aujourd'hui la solution unique. Les réseaux de Bragg à court période sont généralement utilisés pour l'égalisation du gain. La période du réseau est chirpé et la modulation de l'indice est faite pour former le spectre. Leur seul inconvénient c'est qu'il faut ajouter un isolateur pour supprimer les réflexions sur l'amplificateur. [35]

## **II.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a décrit les différents types de réseaux d'accès optique en focalisant notre intérêt sur la solution FTTH et l'ensemble des topologies utilisées pour ce déploiement : point à point et point à multipoint (PON), ce dernier qui permet une minimisation des infrastructures des fibres.

Dans un deuxième temps on a vu les différentes technologies de multiplexage et on a approfondie notre investigation sur le multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexage).

En fin, on a récapitulé l'ensemble des informations sur les réseaux de Bragg et leurs applications dans le domaine de télécommunication.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder l'étude de l'architecture FTTH classique et l'architecture FTTH/CWDM.

## **Chapitre III :**

**Etude de l'architecture FTTH classique  
et l'architecture CWDM**



### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude de simulation d'un réseau d'accès à la fibre optique « FTTH » en utilisant le logiciel OptiSystem » conçus spécialement pour la simulation des réseaux optiques. Nous allons accentuer la comparaison entre architecture FTTH classique et l'architecture FTTH avec le multiplexage en longueur d'onde CWDM en tenant compte des variations apportées sur les différents paramètres du réseau comme la distance, et le nombre des canaux de splitter.

### III.2 Présentation du logiciel OPTISYSTEM

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

Ces systèmes possèdent un environnement de simulation puissant et une définition vraiment hiérarchique de composants et systèmes, ses capacités peuvent être facilement élargies avec l'aout de l'utilisateur de composants et d'interfaces continu à une gamme d'outils

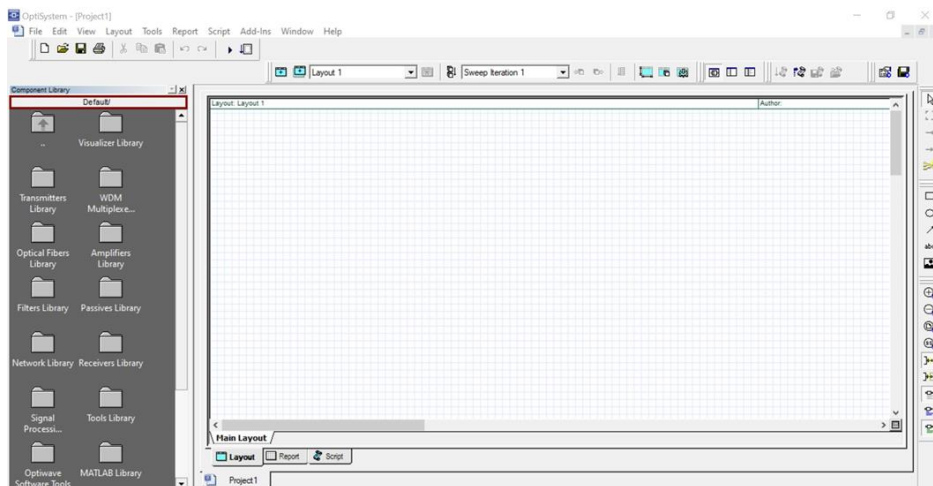


Figure III-1 Optisystem 7.0

largement utilisée.

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma bloc.
- Analyser le schéma.

Notre système est une liaison GPON (Gigabit Passive Optical Network) qui se compose d'un OLT (Optical Line Terminal), d'un SRO (Sous Répartiteur Optique), d'un BPI (Boitier Pied de L'immeuble), et d'un ONT (Optical Network Terminaison), et de splitter.

Cette liaison permet d'atteindre des débits importants qui peuvent aller jusqu'à 2.5 Giga bits/s avec une bonne qualité de transmission. Dans cette liaison il exista deux sens ? le sens descendant des données partent de l'OLT vers l'ONU/ONT, et le sens montant, les données partent de l'ONU/ONT vers l'OLT. [36]

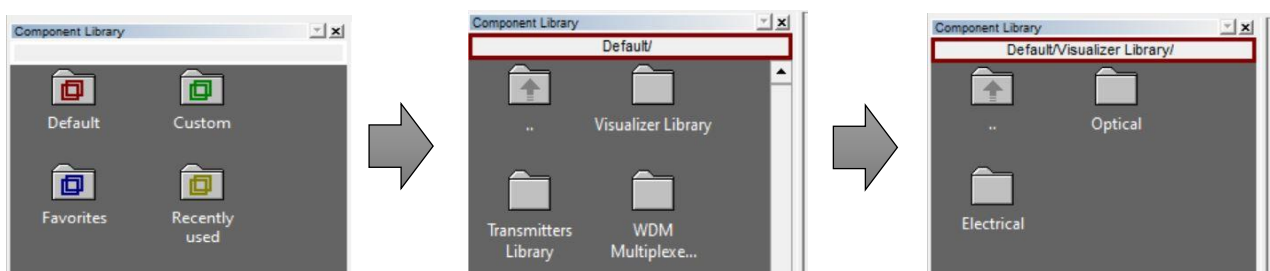


Figure III-2 Bibliothèque des Composants

### III.3 Description du logiciel OPTISYSTEM

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

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Calcul de taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et optique passifs (PON).
- L'espace libre pour les systèmes optique.
- La conception d'anneau SONET/SDH.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.
- OPTISYSTEM comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs partie :
  - ✓ Editeur de layout : permet l'Edition et la configuration du schéma en cours de conception.
  - ✓ Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composant au projet en cours.

- ✓ Vue d'ensemble du projet : permet la visualisation miniature de layout en cours d'Edition.
- ✓ Bibliothèque : une base de données de divers composant existant, elle contient tout type de modèle qui permet de réaliser les différents schémas. [36]

### III.4 Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifique en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.

La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurées à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.

Les outils de visualisation avancée produit le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation.

Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiser sur le moniteur au même port. [37]

### III.5 Le bilan optique de puissance

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

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

$$P_{RX} [dBm] = P_{TX} [dBm] - (Att_{totale} [dB] + M_{sys} [dB])$$

$$M [dB] = (P_{TX} [dBm] - S [dBm] - (Att_{totale} [dB] + M_{sys} [dB]))$$

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

- $Att_{totale}$  : L'atténuation totale
- $Att_{epi}$  : L'atténuation des épissures
- $Att_{comm}$  : L'atténuation des raccordements
- $Att_c$  : L'atténuation des coupleurs
- $\alpha_{lin}$  : L'atténuation linéique
- $M_{sys}$  : La marge de système (6db)
- $L$  : La distance parcourus
- $S$  : La sensitive de -28 dB
- $P_{RX}$  : Puissance d'émission
- $P_{TX}$  : Puissance de réception
- $B$  : budget de puissance
- $M$  : La marge, elle inclut le vieillissement irréversible sur les différents éléments passifs du réseau : fibre, connecteurs, coupleurs, épissures et les éléments réversibles tels que l'altération de câble apres la mise en œuvre du réseau, la salissure des connecteurs, les contraintes mécaniques sur les câbles et les réparations. En cas d'un nombre de connecteurs important, une marge plus grande sera prise en compte.

### III.6 La solution FTTH à deux niveaux

#### III.6.1 Partie théorique

La solution FTTH GPON en Arbres à 100 Mbits/s avec scenario à deux niveaux de splitter de 1 :8/1 :8 permettant d'avoir 64 clients par PON tous en respectant une Atténuation GPON B+ inférieur à -28 dB dans une distance de 5 km et une marge de sécurité -2 dB.

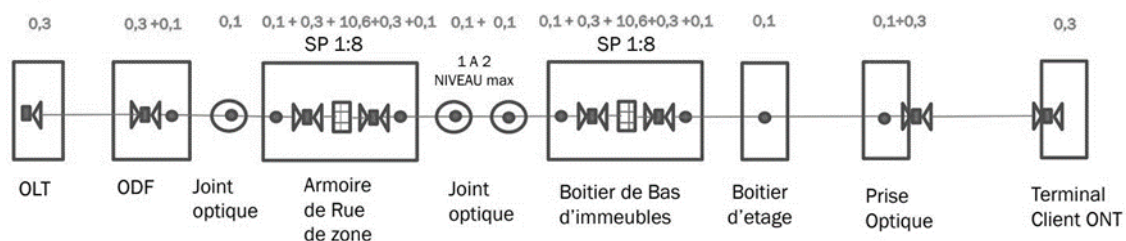


Figure III-3 Architecture FTTH à deux niveaux

Budget = -26,35 dB

Marge de sécurité = -2 dB

Segment	Type de matériel	Matériel
Alimentation	Matériel de terminaison	OLT, ODF
	Cable feeder	FO
		FO
Segment de distribution	Matériel de terminaison	Armoire de rue SR optique
	Cable de distribution	FO
	Autre	Coupleur 1 : 8 Connecteur sc-upc
Drop segment	Matériel de terminaison	Boitier bas immeuble
	Cable à faible courbure	
	Autre	Coupleur 1 : 8 Connecteur sc-upc
Indoor segment	Matériel de terminaison	ONT/ONU
	Cable à faible courbure	Drop indoor
	Autre	Connecteur sc-upc Epissure + jarretière optique

Tableau III-1 Liste des matériels

### III.6.2 Partie simulation

#### III.6.2.1 Présentation des composant

##### A. Le laser

Le mot **laser** est l'acronyme de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

Ce modèle permet de simuler une diode laser DFB à semi-conducteur. Il est possible de le décrire par ses paramètres physiques internes (coefficient de gain différentiel, facteur de compression de gain, durée de vie des photons ...), mais également par des grandeurs "système" ou mesurables, souvent plus accessibles, notamment dans les data sheets fournis par les constructeurs (courant de seuil, RIN, rendement...)

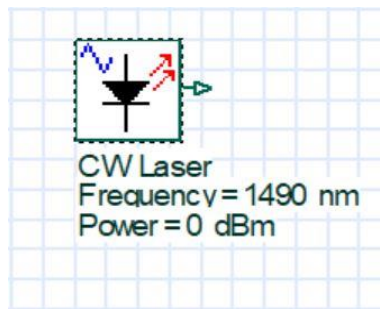


Figure III-4 Modèle de simulation du laser

### B. Les connecteurs

Ce sont des composants qu'on peut les utiliser pour introduire les pertes des connecteurs dans la simulation.

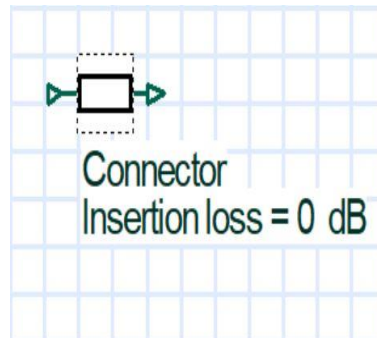


Figure III-5 Modèle de simulation du connecteur

### C. Bloc de transmission

Le bloc de transmission optique utilisé est la fibre optique, son rôle est de transporter un signal optique de l'émetteur au récepteur. Dans une chaîne de transmission, plusieurs pertes peuvent être rencontrées telles que l'atténuation et la dispersion, en agissant sur la longueur de la fibre, nous pouvons constater la dégradation du signal au niveau du récepteur ainsi que l'élargissement des impulsions à l'intérieur de la fibre.

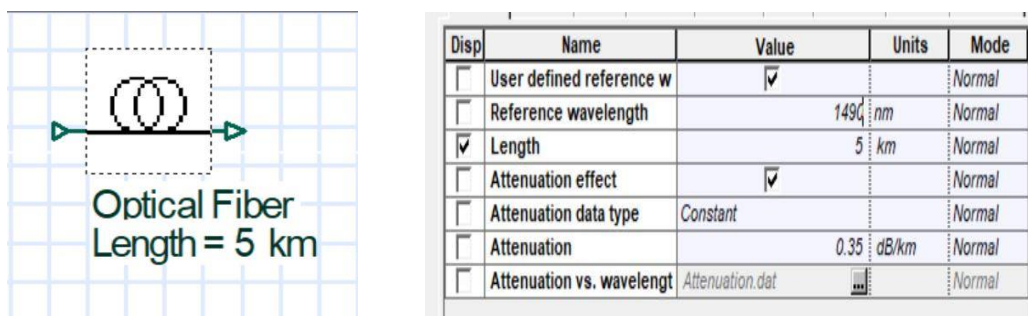


Figure III-6 Modèle de simulation de la fibre optique et configuration

### D. Répartiteur optique

Répartiteur de puissance divise un signal d'entrée optique en huit signaux de sortie.

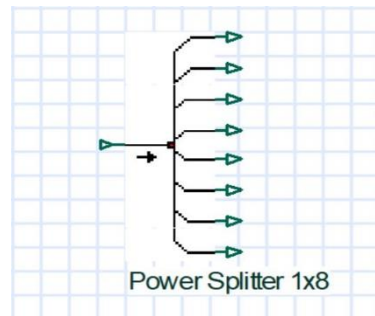


Figure III-7 Modèle de simulation du répartiteur optique

#### III.6.2.2 Caractéristiques des dispositifs

Dispositifs	Spécifications
Cable de fibre optique	0.35 dB/km
Connecteur	0.3 dB
Epissure	0.1 dB
Coupleur 1 :8	10.6 dB
Distance	5 km
Sensibilité de RX	-28 dbm

Tableau III-2 Caractéristiques des dispositifs

### III.6.2.3 Résultat de la simulation

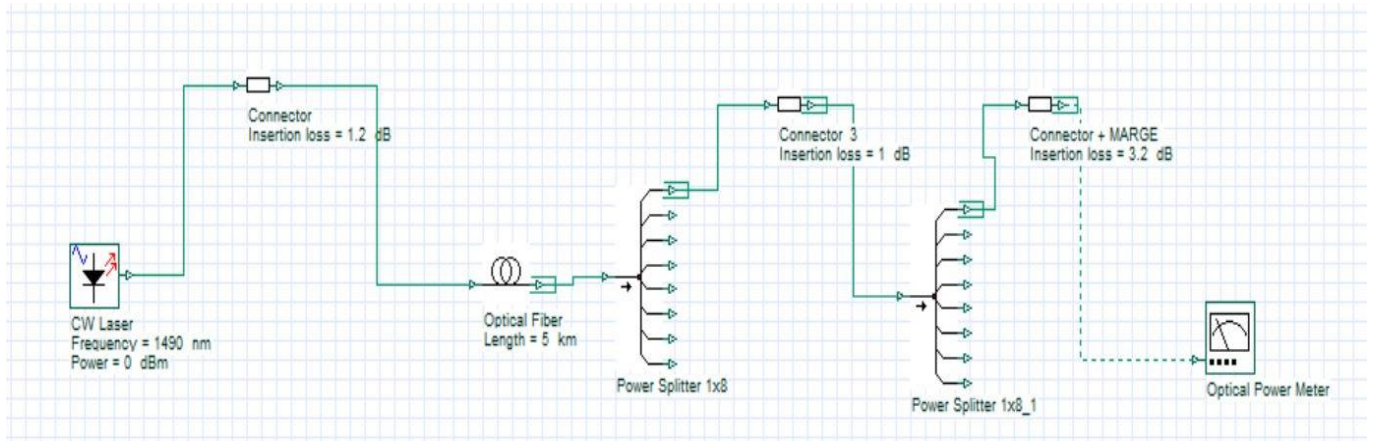


Figure III-8 Synoptique de la chaine FTTH GPON

Dans cette partie je vais simuler une liaison par fibre optique avec une architecture FTTH classique GPON avec une longueur d'onde 1490 nm et un support de transmission du 5 kilomètres avec une affaiblissement linéaire du 0.35 dB/km.

La valeur dNe la marge de sécurité (puissance) doit être 2 dB.

### III.6.2.4 Comparaison entre la partie théorique et la partie simulation.

En réalisant la partie de la simulation J'ai obtenu les mêmes résultats que la recherche théorique, La valeur de l'atténuation total est de l'ordre de -28.35 dB identique à celle de l'étude dans une distance de 5 km avec deux niveaux de splitter 1 :8.

Dans cette architecture FTTH GPON et sur une distance de 5 km on obtient 64 abonnées.

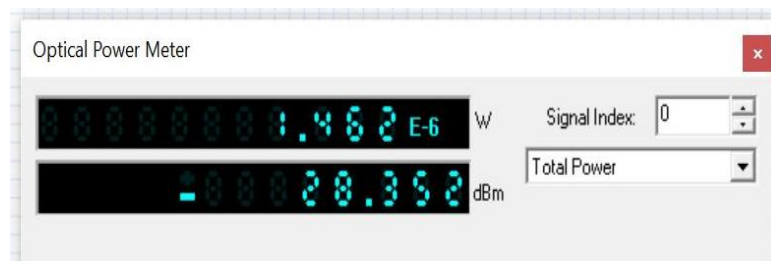


Figure III-9 Power Meter



### III.7 La solution de multiplexage en longueur d'onde CWDM

#### III.7.1 Partie théorique

La figure III.10 présente la nouvelle architecture FTTH où on a utilisé un convertisseur de longueur d'onde PON OEO, en changeant la longueur d'onde 1490 OLT en longueurs d'onde CWDM variant entre 1270 nm et 1570 nm avec un espacement des longueurs d'onde de 20 nm, à une distance de 30 km.

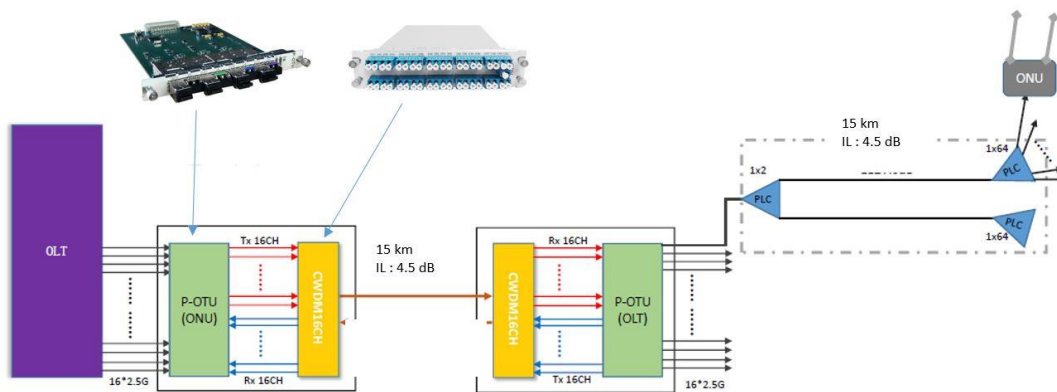


Figure III-10 Nouvelle architecture FTTH CWDM

La longueur d'onde initiale (nm)	La longueur d'onde converté (nm)
1490	1270
1490	1290
1490	1310
1490	1330
1490	1350
1490	1370
1490	1390
1490	1410
1490	1430
1490	1450
1490	1470
1490	1490
1490	1510
1490	1530
1490	1550
1490	1570

Tableau III-3 Les valeurs des longueurs d'onde initiale et converté

Le bilan de puissance optique sur 30 km entre l'OLT et l'ONU est de 25 dB (max), y compris les pertes au niveau des connecteurs et des points d'épissure, pour un rapport de division de 1 : 32 et plus .

Calcul du budget de puissance pour une liaison optique de 30 km entre l'OLT et l'ONT :

- La perte linéaire du P-OUT (ONU), du CWDM (côté OLT), du P-OUT(OLT) et du CWDM (côté ONU) est égale à 10 dB.
- La perte de la fibre :  $0.3 * 30 = 9$  dB.
- Le splitter 1:64 fournit une perte de 20.5 dB maximum.
- Nous avons deux OTUs (côté OLT et ONU) qui amplifient le signal, chacun fournit un gain de + 7 dB  $x2 = + 14$  dB.

Donc la perte totale est égale à :  $10 + 9 + 20,5 - 14 = 25,5$  dB.

## III.7.2 Equipement

### III.7.2.1 Châssis PON

Ce type de châssis PON assemble quatre cartes PON et une carte de gestion de réseau NMU et une carte de multiplexage/démultiplexage. Dans le port GPON, on reçoit des fibres dual à partir de l'OLT.

Ces lignes sont par la suite converties en longueurs d'onde CWDM/DWDM et sortie du port 2.5 CWDM module, puis elles seront connectées à l'entrée correspondante des ports bleus du module MUX à droite de la figure III.11.

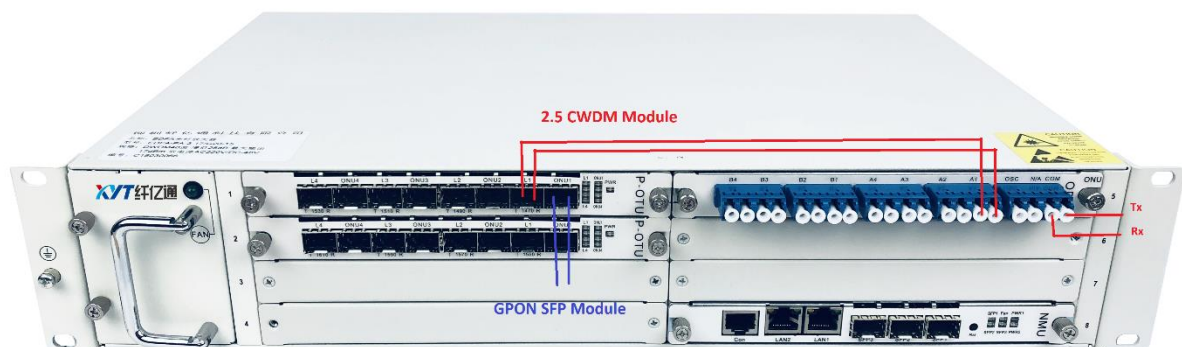


Figure III-11 Châssis PON [42]

### III.7.2.2 Carte d'amplification de PON basée sur la conversion de longueur d'onde

La figure III.12 représente une carte de convertisseur Optique-Electrique-Optique (OEO). Elle comprend un convertisseur de longueur d'onde CWDM/DWDM et amplificateur du signal. Cette carte permet aussi de faire la fonction 3R, c'est-à-dire l'amplification, la synchronisation et la mise en forme des impulsions (filtrage). Elle comprend quatre ports pour recevoir le signal d'OLT et quatre sorties donnant le signal converti pour le système de transmission WDM. Le principe est optique-électrique-optique, particulièrement adapté pour 125Mbps/155Mbps/622Mbps/1.25G/2.5G/4G /SDH/SONET, Ethernet et autres systèmes de télécommunication optique. Cette carte fournit une solution de transmission rapide et à faible coût pour les lignes de transmission optiques.

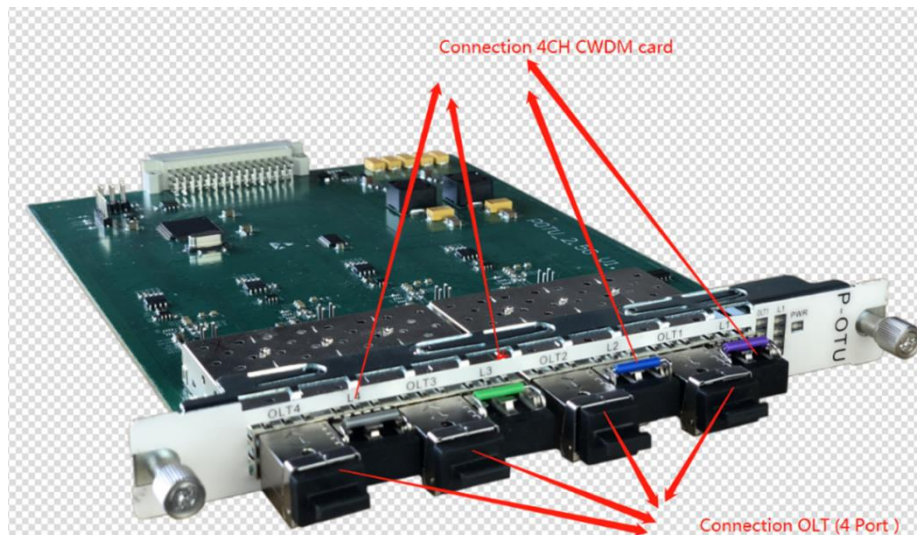


Figure III-12 Carte d'amplification de PON basée sur la conversion de longueur d'onde [42]

### III.7.2.3 Mux/Demux

La figure III.13 montre la carte de multiplexage/démultiplexage ODM. Elle est utilisée pour le multiplexage et le démultiplexage des canaux CWDM ou DWDM, ce qui permet d'économiser considérablement les ressources en fibre des clients. Il peut modifier de manière flexible la configuration du réseau en fonction des besoins.

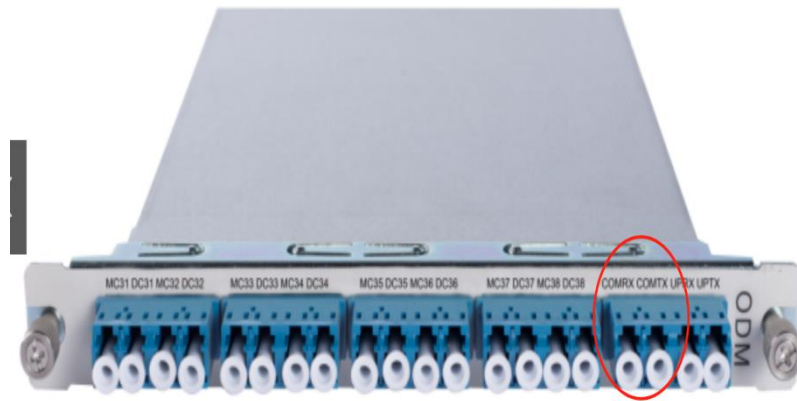


Figure III-13 MUX\_DEMUX [38]

### III.7.2.4 SFP

La figure III.14 montre un exemple de SFP « Small Factor Pluggable » inséré dans les équipements OEO et MUX afin de connecter soit des fibres single ou bien dual. C'est un émetteur-récepteur compact et enfichable destiné aux protocoles de communication Ethernet (EPON), Giga Ethernet (EGPON), GPON et SONET. Les émetteurs/récepteurs SFP prennent en charge des vitesses jusqu'à 4,25 Gbit/s. Ils sont largement utilisés dans les équipements de télécommunications et informatiques grâce à leur très grande vitesse de transmission et qui peuvent atteindre des distances jusqu'à 80 km, comme le montre la figure III.14.



Figure III-14 2.5G-SFP-CWDM-1270nm-80km [38]

### III.7.2.5 Câble fibre optique

La figure III.15 montre un exemple de connecteur de fibre optique monomode de type LC largement utilisé, dans les réseaux optiques pour relier les équipements, à cause de son faible coût, sa souplesse et sa petite dimension.



Figure III-15 Câble de fibre optique LC [39]

### III.7.3 Partie simulation

La simulation a été faite par le logiciel OPTISYSTEM. La Figure III.16 représente nouvelle architecture du système de transmission proposée, le système est composé d'un module émetteur OLT forme de 16 sorties et configuré par des modulateurs externe appelé Mach-Zehnder au débit de 2.5 Gbit/s , suivie après par un bloc responsable de la convention de la longueur d'onde et d'amplification ONU, l'ensemble des signaux sont assembles par un multiplexeur afin de traverser un seul fibre optique monomode (Single Mode Fiber) d'une longueur de 15 km avec une atténuation de 0.3 dB/km et une dispersion chromatique de 16,75 ps /nm/km. En arrivant à la fin de la fibre on confronte un démultiplexeur qui va permettre la dissociation des signaux accumulés en 16 canaux, continué avec un autre ONU pour obtenir la longueur d'onde initiale. Après un autre fibre optique de 15 km il va subir une division en 64 par un splitter 1 :64 afin d'augmenter le nombre des abonnés, l'ensemble des signaux obtenu vont attaquer un récepteur optique composé d'une photodiode PIN.

Et pour l'observation de la variation des valeurs du bilan de puissance on utilise un ampèremètre

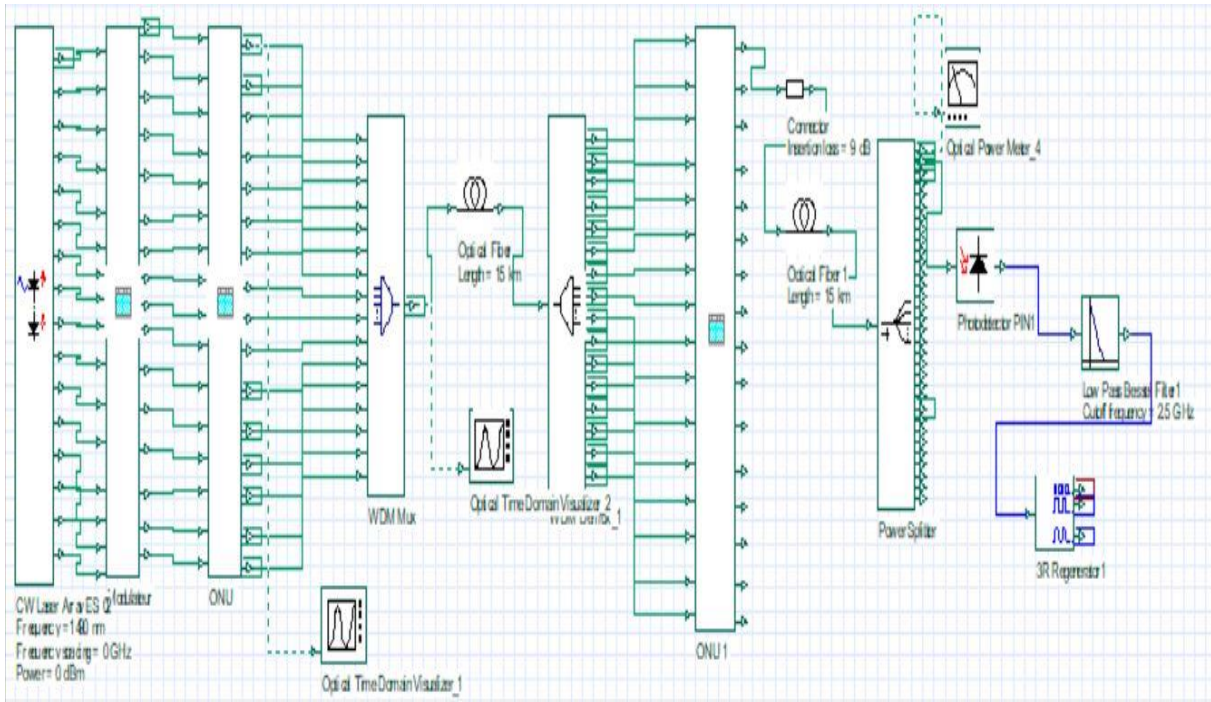


Figure III-16 Schéma d'un réseau FTTH (CWDM)

### III.7.3.1 OLT

OLT (Optical Line Terminal) est composé la partie émission à une longueur d'onde qui est égale à 1490 nm et d'une puissance est de 0 dBm.

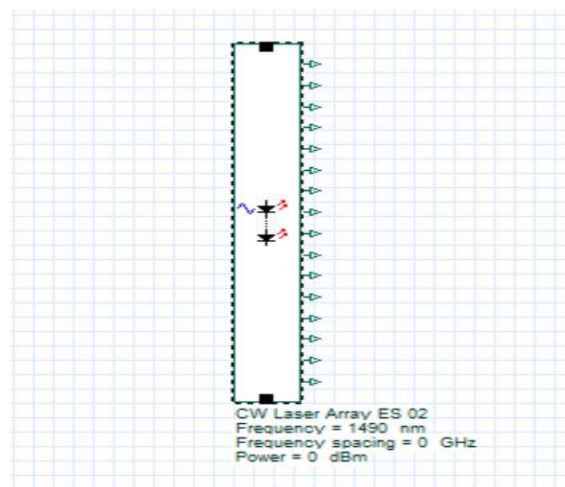


Figure III-17 Partie émission

### III.7.3.2 Bloc de modulation

Ce bloc se compose de trois éléments représentés par : Pseudo-Random Bit Sequence Generator ; NRZ Pulse Generator ; Mach-Zehnder Modulator.

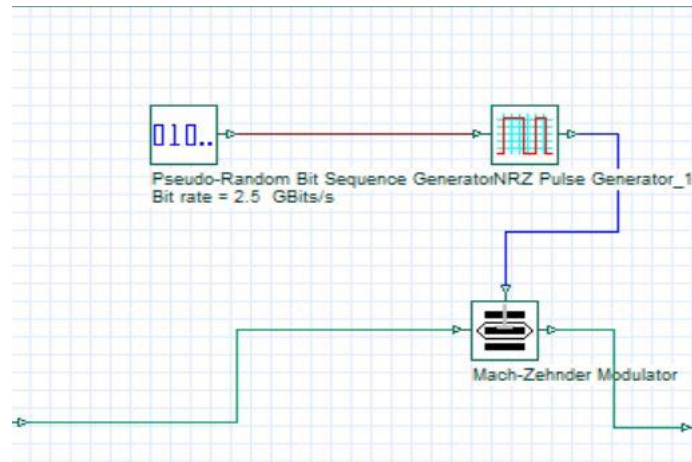


Figure III-18 Modèle de simulation du Bloc de modulation

### III.7.3.3 ONU

Cette ONU est formée de deux composants le convertisseur de la longueur d'onde ainsi que l'amplificateur.

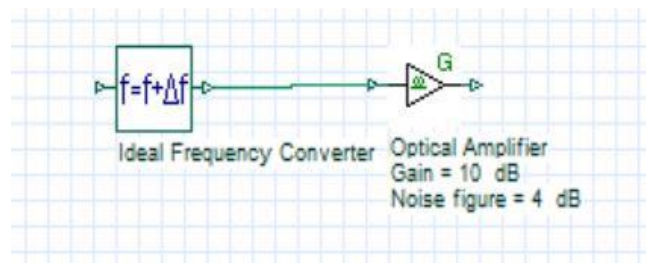


Figure III-19 Modèle de simulation du convertisseur de longueur d'onde et l'amplificateur

### III.7.3.4 Multiplexeur /Démultiplexeur

Le multiplexeur combine plusieurs longueurs d'onde pour transmettre tous les signaux sur une seule fibre, et le démultiplexeur a une fonction inverse. Ces équipements ont pour but d'augmenter la capacité de transmission des fibres optiques. Donc, chaque utilisateur a une longueur d'onde appropriée et elle est différente des autres utilisateurs.

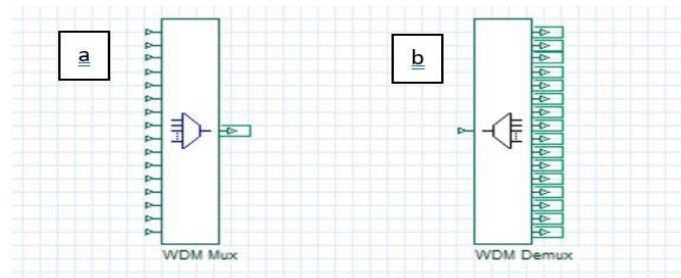


Figure III-20 (a) Multiplexeur, (b) Démultiplexeur.

### III.7.3.5 Le canal de transmission

Le canal de transmission est une fibre optique de 15 km avec des longueurs d'onde entre 1270 nm et 1570 nm et une atténuation de 0.35 dB/km.

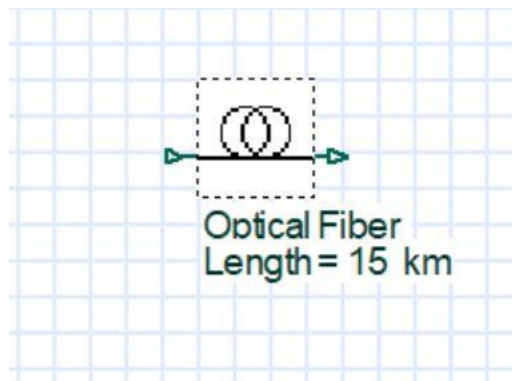


Figure III-21 Modèle de simulation de la fibre optique

### III.7.3.6 ONT

ONT est composé la partie de réception contient des composants tels que des photodiodes, des filtres de Bessel et un régénérateur de bits.

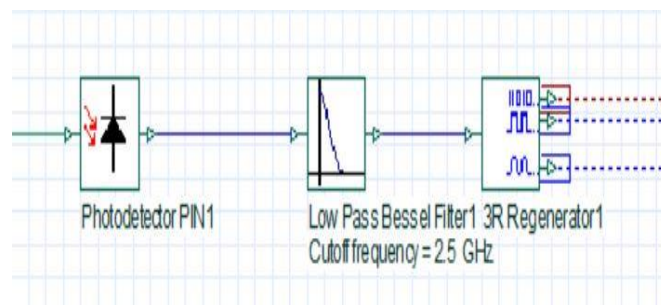


Figure III-22 Modèle de simulation du bloc de réception



### III.7.3.7 Les composants de visualisation

- Eys diagram analyzer
- Optical spectrum analyzer
- Optical power meter

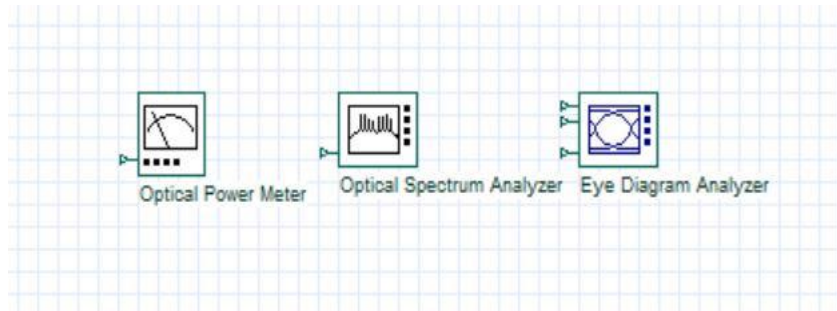


Figure III-23 composant de la visualisation

## III.8 Résultat de simulation et l'interprétation :

### III.8.1 L'évolution temporelle et fréquentielle :

On observe sur les figures III.24 et III.25 les spectres de puissance de la longueur d'onde émise (1490 nm) et les longueurs converties (entre 1270 et 1570 nm). Le multiplexeur CWDM va combiner ces signaux espacés de 20 nm en une seule ligne de sortie.

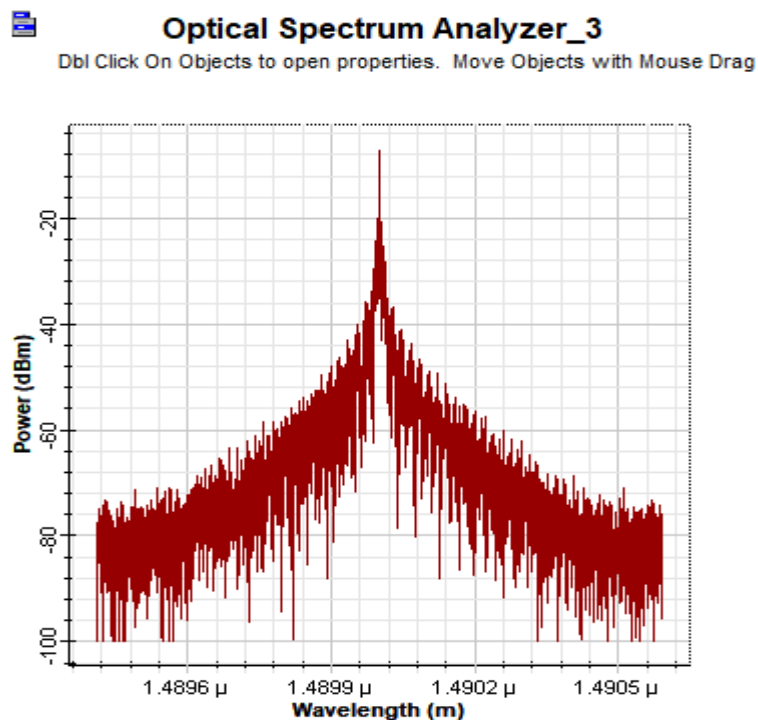


Figure III-24 La longueur d'onde initial 1490 nm

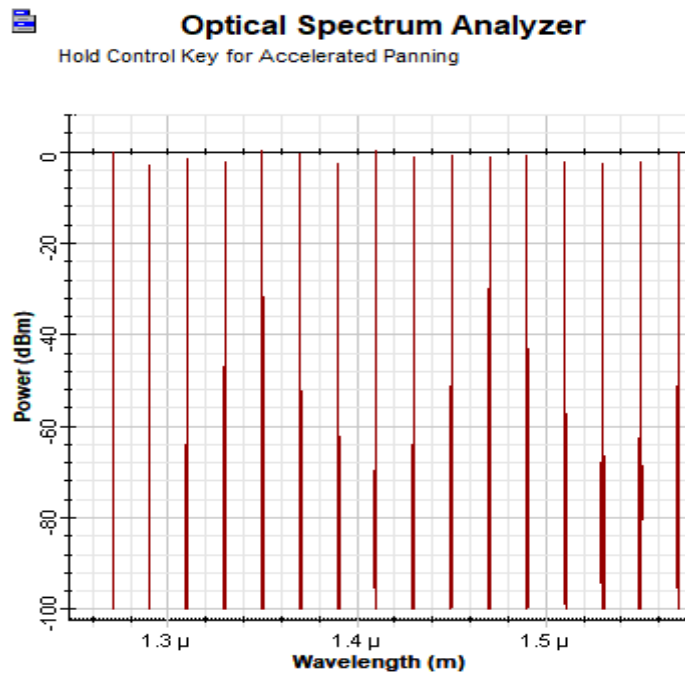


Figure III-25 Les longueurs d'onde a la sortie de multiplexeur

La figure (III.26) montre une représentation temporelle du signal à la sortie de OLT.

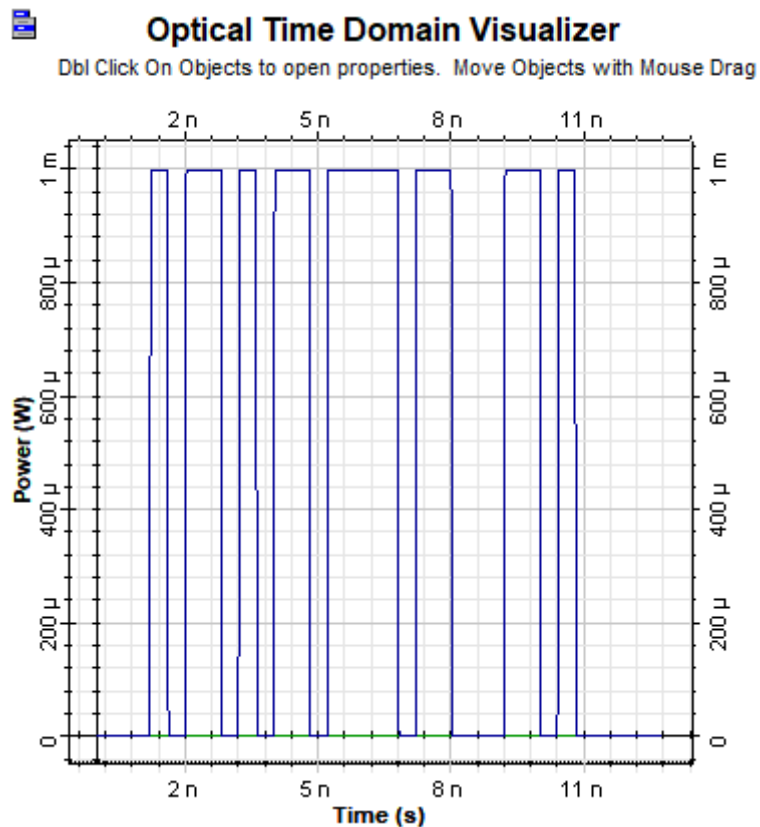


Figure III-26 Représentation temporelle du signal à la sortie de OLT.

### III.8.2 Etude des pertes selon la variation des splitter

Les figures suivantes illustrent les puissances reçues via OptiSystem au niveau ONT lors de la variation des types de splitters. Nous avons étudié trois cas : 1 :32, 1 :64 et 1 :128 avec une distance de 30 km et une atténuation linéaire de la fibre de 0.3 dB/km.



Figure III-27 Les pertes total du premier cas

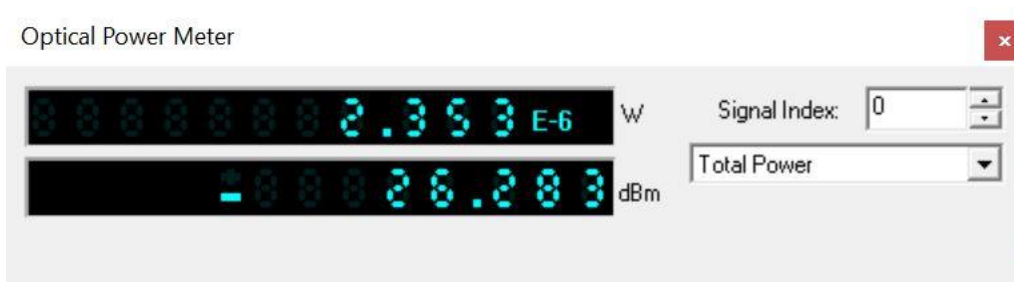


Figure III-28 Les pertes total de deuxième cas

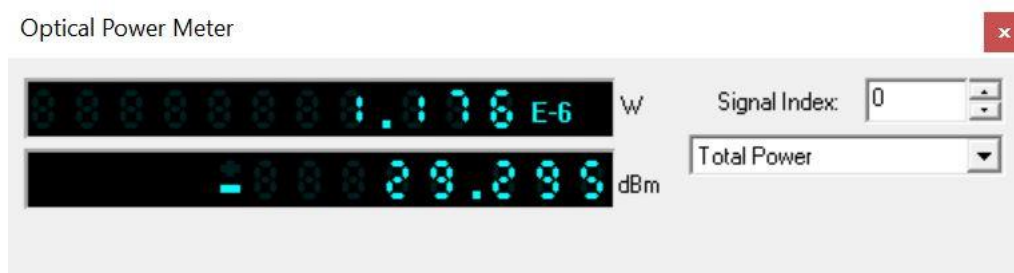


Figure III-29 Les pertes total du troisième cas

	Splitter utilisé	Nbr d'abonné	La distance (km)	Les pertes total (dbm)
1 <sup>er</sup> cas	1 :32	512	30	-23,27
2eme cas	1 :64	1024	30	-26,28
3eme cas	1 :128	2048	30	-29,29

**Tableau III-4 Etude des pertes selon la variation des splitter**

Les résultats de simulation donnés sur le tableau III .4 montrent une diminution des bilans de puissance (les pertes totales) du signal a la réception à chaque fois qu'on change le nombre des canaux du splitter avec une distance constante de 30 km.

En considérant le deuxième cas comme un exemple proche de la réalité, on fait un changement de la distance pour étudier l'évolution de bilan de puissance.

### III.8.3 Etude des pertes selon la variation de la distance

Après avoir fait une variation de la distance de 10 km à 45 km avec un pas de 5 km, on obtient les résultats comme le montre le tableau III.5.

La distance (km)	Les pertes Total (dBm)
10	-20.29
15	-21.79
20	-23.28
25	-24.77
30	-26.28
35	-27.78
40	-29.27
45	-30.77

**Tableau III-5 Variation de la distance en fonction de puissance reçue par l'ONT**

Le résultat obtenu nous indique que plus la distance augmente plus on a une diminution de la puissance du signal. Suivant la figure III.30, à 35 km, le seuil de sensibilité de l'ONT n'est pas encore atteint. La puissance reçue égale à 27.78 dBm, ce qui est acceptable.

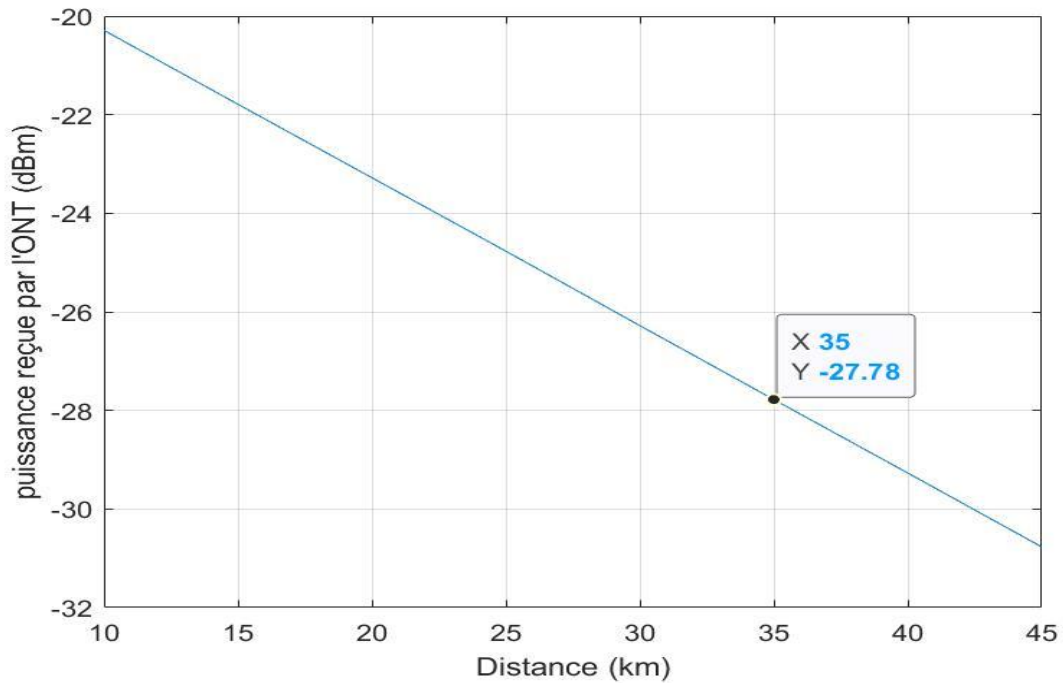


Figure III-30 Variation de la distance en fonction de puissance reçue par l'ONT

### **III.9 Conclusion**

Nous avons consacré ce chapitre pour étudier dans un premier temps l'architecture FTTH GPON d'Algérie Télécom, dont on était limité par la distance de 5 km. Nous avons juste vérifié la perte globale de la liaison qui était estimée à -28 dBm pour 1024 abonnés simultanément (64 abonnés pour un seul fibre).

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons fait une conception d'un réseau FTTH utilisant l'architecture CWDM avec un débit de 2.5G, et une longueur d'onde initiale de 1490 nm convertie par un équipement OEO en des longueurs d'onde CWDM variant de 1270 à 1570 nm avec un espacement de 20nm. Les résultats de simulation ont montré qu'on peut atteindre 1024 abonnés simultanément sur une distance de 35 Km en utilisant un splitter 1 :64 (64 abonnés pour un seul fibre).

# **Conclusion Générale**

Ce mémoire nous a permis de mieux assimiler la notion de réseau de fibre jusqu'à l'abonné (FTTH) que ça soit au niveau pratique ou bien théorique. Nous rappelons que l'architecture FTTH d'Algérie Télécom actuellement mise en œuvre au niveau national présente une distance limitée de 5KM entre l'OLT et un point ONT. Ceci rétrécit une éventuelle augmentation du nombre d'abonnés, surtout avec l'avènement de la télévision câblée (CATV).

Durant le chapitre 3, nous avons commencé par réévaluer une liaison existante de l'opérateur Algérie Télécom et nous avons constaté que pour une distance de 5 KM, nous avons obtenu un seuil de sensibilité de -28 dBm au niveau ONT. Notre problématique était d'augmenter cette distance OLT-ONT en maintenant le seuil à -28 dBm. La solution proposée est d'insérer un bloc convertisseur de longueurs d'onde OTU qui contient aussi un CWDM de 16 ports fonctionnant sur un espacement de 20 nm. Cet OTU permet aussi de faire la fonction 3 R en amplifiant le signal avec + 7dB dans une extrémité du réseau. Dans ce réseau, nous avons utilisé une boost-amplification dans la partie émission et une pré-amplification dans la partie réception.

Les résultats de simulation ont montré qu'on peut atteindre un nombre maximal de 1024 abonnés simultanément en utilisant un splitter de 1 :64. La distance critique obtenue est proche de 35 Km supposons que l'OLT émet les données sur 16 brins optiques. Les pertes totales jusqu'à l'abonné sont estimées à -27.78 dBm.



# **Bibliographie**

- [1] <https://spip.telug.ca/>.
- [2] F, Colombier.; .C, Pugnoud;, « Réseaux et routage optique », 2005.
- [3] <http://igm.univ-mlv.fr>.
- [4] [http://www.unice.fr/optics/course/Intro\\_telecom/off\\_glossary\\_term55pg1345.htm](http://www.unice.fr/optics/course/Intro_telecom/off_glossary_term55pg1345.htm).
- [5] P. Lecoy, *Télécoms sur fibres optiques*, 11 rue Lavoisier 75008 Paris: ©LAVOISIER, Vol.366, 2008, ISBN 3e édition 978-7462-1844-4.
- [6] A.Degdag et H.Sayeh, Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit, juin 2006.
- [7] j. l. verneuil, *these de doctorat "Simulation de systemes de telecommunication " par fibre optique à 40 Gbit/s Université DE LIMOGES*, 21/11/2023.
- [8] S. I. e. M. O. 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..
- [9] F. COLOMBIER et C. PUGNOUD, *Réseaux et routage optiques.*, 2005.
- [10] <http://www.nourdineabdallah.fr/Files/Other/Fibre%20optique.pdf>.
- [11] <https://www.indiamart.com/proddetail/anritsu-516-optical-loss-test-set19426666097.html>.
- [12] A. e. Mokrani, « « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de telecommunication » », chez *Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC*, juin 2010.
- [13] P. Lecoy, «Télécom sur fibres optiques».,» 3éme édition revue et augmentée.
- [14] A. e. E.Essafi, « Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique,» chez *Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en telecommunication, INTTIC*, juin 2010.
- [15] <https://fre.labservicetech.com/>.
- [16] M. FADILA, «Optimisation par la simulation système d'une chaine de transmission numérique par fibre optique haut débit,» chez *Diplôme magister en télécommunication ; Université de Tlemcen*, 2010-1011.
- [17] <https://www.editions-eni.fr/>.
- [18] <https://community.fs.com/fr/blog/the-advantages-and-disadvantages-of-fiber-optic-transmission.html>.

- [19] <http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Telecom/applications.html>.
- [20] R. e. M. France, *Déploiement FTTX*, 09/2006 .
- [21] *Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine*, 43, rue de Meuniers,Vincennes, Septembre 2009.
- [22] <http://wapiti.enic.fr/>.
- [23] *les réseaux PON (Passive Optical Network)*, Livre Blanc, 18/12/2006.
- [24] G. Philipe, *Les architectures FTTX*, MSH Paris Nord: Plate forme arts,sciences, technologies.
- [25] F. Saliou, *Etudes des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée*, 14/06/2010.
- [26] Cogisys, *Mémoire sur les réseaux FTTH*, Architecture des systèmes de communication, juillet 2009.
- [27] C. Abdelfettah, *ETUDE ET CONCEPTION DE NOUVEAUX FORMATS DE MODULATIONS DEDIES AUX RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUES HAUT DÉBIT*, Tlemcen : Thèse doctorat, Université Aboubakr Belkaïd , 2017.
- [28] F. Sarah, *Etude D'un Réseau B-PON Bidirectionnel*, Tlemcen: mémoire de Master, UNIVERSITE ABOU BeKR BELKAID, juin 2013.
- [29] M. L. M. / . M. Samira, *ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE*, Tlemcen: mémoire de Master, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, juin 2017.
- [30] J.-P. Laude, *Le multiplexage de longueurs d'onde*, PARIS: Vol.200, ISBN 2-225-82755-9., 1992.
- [31] M. J. -. P, *Télécoms Optique*, Ed. Hermes. Paris: Composants à fibres systèmes de transmission, 2003.
- [32] F. Raharimanitra, *Contribution à l'étude des architectures bases 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) à 10 Gbit/s*, Bretagne: Thèse de Doctorat, Université d'européenne de Bretagne (Télécom Bretagne), 13 janvier 2012.
- [33] V. Alwayn, *Optical Network Design and Implémentation*, ©Cisco, Vol.840, ISBN 1-58705-105-2, 17 Mars 2004.
- [34] Alcatel, *introduction to WDM*, Copyright ©Alcatel University, , 2003.

- [35] DRIZ.S, *Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA*, Université DJILALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes: Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Sidi-Bel-Abbès, 2018/10.
- [36] <https://optiwave.com/optisystem-overview/>.
- [37] <https://123dok.net/article/principales-caract%C3%A9ristiques-du-logiciel-optisystem.z1d8jxvz>.
- [38] <http://www.xyt-tech.com/men/prolists-show-ProductID-886.html>.
- [39] <http://www.xyt-tech.com/en/goods/750>.
- [40] B. BEAUQUIER, *COMMUNICATIONS DANS LES RESEAUX OPTIQUES PAR MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE*, NICE: L'UNIVERSITE DE NICE, janvier 2000.
- [41] <https://cablematic.com/>.
- [42] <http://www.xyt-tech.com/cn/>.