

*MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE*



*UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID- TLEMEN*

*Faculté de Technologie*



Département de Télécommunications

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de

Master en Télécommunications

**Option : Réseaux de Télécommunications (RT)**

**THEME:**

*ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX  
OPTIQUES GPON*

**Présenté par :**

- BENABDERRAHMANE Benamar
- CHELDA Belhadj

**Soutenu en septembre 2020 devant un jury composé de :**

- MR. Chikh-Bled Hicham      M.C.B Univ Tlemcen.      Encadrant
- MR. Chikh-Bled Mohammed.      PR. Univ Tlemcen.      Président
- MR. Ouadah Chemss Eddine      M.C.B Univ Mouloud Mammeri      Examineur

Année universitaire 2019-2020

## *DEDICACES*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,  
leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout  
au long de mes études,  
A mon chère frère et mes chères sœurs pour ses encouragements, et  
leur soutien,  
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de  
mon parcours universitaire  
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant  
allégués, et le fruit de votre soutien infailible,  
Merci d'être toujours là pour moi.*

*BENABDERRAHMANE Benamar*

## *DEDICACES*

*A mes chers parents qui m'ont toujours soutenu,  
A mes frères et sœurs  
A toute ma grande famille  
A tous mes amis  
J'exprime mes sentiments les plus profonds et leurs  
dédie ce modeste travail.*

*CHELDA Belhadj*

## *Remerciements*

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

*Nous remercions notre encadreur Monsieur CHIKH-BLED Hicham, pour son aide consistante, ses conseils, et pour ses remarques objectives.*

*Nous tenons aussi à remercier messieurs les membres du jury MR. Chikh-Bled Mohammed et MR. Ouadah Chemss Eddine d'avoir accepté d'examiner et évaluer notre modeste travail.*

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

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

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

# Table des matières

<i>Table des figures</i> .....	2
<i>Glossaire</i> .....	4
<b>CHAPITRE I</b> .....	10
I.1 Introduction : .....	10
I.2 Les réseaux optiques : .....	10
I.2.1 Réseaux d'accès optiques : .....	11
I.3 Architectures des réseaux FTTH : .....	13
I.3.2 Architecture point à point : .....	13
I.3.1.1 Avantages et inconvénients : .....	14
I.3.3 Architecture en double étoile active: .....	15
I.3.4 Architecture point à multipoint : .....	15
I.3.3.1 Avantages et inconvénients : .....	16
I.3.5 COMPARAISON DES TECHNOLOGIES P2P, AON et PON: .....	16
I.3.6 Les réseaux optique passifs PON (passive Optical .....	18
I.3.7 Standards X-PON: .....	20
I.3.6.1 Standard APON: .....	20
I.3.6.2 Standard BPON: .....	21
I.3.6.3 Standard EPON: .....	21
I.3.6.4 Standard GPON: .....	21
I.3.6.4.1 Normes de GPON: .....	21
I.3.6.5 Standard XG-PON: .....	23
I.3.6.6 Standard NG-PON2: .....	23
I.3.8 Comparaison entre les différents standards PON: .....	23
I.3.9 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON: .....	24
I.4 PON avec multiplexage en longueur d'onde (WDM): .....	25
I.4.1 WDM-PON vs GPON vs XG-PON : .....	26
I.5 Conclusion : .....	26
<b>CHAPITRE II</b> .....	27
II.1 Introduction : .....	27
II.2 Structure du réseau FTTH: .....	27
II.3 Les composants des reseaux PON: .....	32
II.4 Déploiement de la solution FTTH: .....	39
II.5 Le bilan optique: .....	42
II.6 Conclusion: .....	43
<b>CHAPITRE III</b> .....	45
III.2 Présentation du logiciel Optisystem : .....	45
III.2.1 Description du logiciel Optisystem : .....	45
III.3 Etude de la liaison G-PON : .....	48
III.3.1 Description de l'OLT : .....	49
III.3.3 Description de l'ONT : .....	52
III.4 Critères et méthodes d'évaluer la qualité de transmission : .....	53
III.4.1 Le facteur de qualité: .....	53
III.4.2 Le taux d'erreur binaire : .....	54
III.4.3 Le diagramme de l'œil : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.5 Résultats de simulation : .....	56
III.5.1 Effete de variation du débit et du nombre d'utilisateurs: .....	58
III.6 Conclusion : .....	64
Conclusion Générale .....	65
<i>Bibliographie</i> .....	66

## ***Table des figures***

<i>Figure I. 1: Architecture d'un réseau d'accès optique.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I. 2: Structure d'un réseau FTTC.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I. 3: Structure d'un réseau FTTB.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I. 4: Structure d'un réseau FTTH.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure I. 5: topologie FTTH point à point (P2P).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I. 6: topologie FTTH en double étoile active (AON).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure I. 7: Architecture point-multipoint(PON).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I. 8: Architectures d'un réseau optique passif PON.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure I. 9: Architecture du sens montant.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I. 10: Architecture du sens descendant.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure I. 11: Architecture PON WDM.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II. 1: composants passifs du réseau FTTH.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure II. 2: Nœud de raccordement optique.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II. 3: Sous Répartiteur Optique.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure II. 4: Boîtier Pied Immeuble.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure II. 5: Prise Terminal Optique.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure II. 6: Modem optique.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure II. 7: Coupleur Optique.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure II. 8: Jarretière optique.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure II. 9: Composants du réseau PON[7].....</i>	<i>30</i>
<i>Figure II. 10: exemple d'OLT industriel.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure II.11: exemple d'ONT industriel.....</i>	<i>33</i>

<i>Figure II.12: exemple de coupleurs industriels.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure II.13: architecture unidirectionnelle[25].....</i>	<i>35</i>
<i>Figure II.14: Architecture PON bidirectionnelle.[25].....</i>	<i>35</i>
<i>Figure II.15: Déploiement de la solution FTTH dans une ville.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure II.16: les 4 niveaux de déploiement d'un réseau FTTH.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure II.17: Budget optique pour une liaison OLT/ONT.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure III.7 :Représentation de l'ONT.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.8 : Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure III.9: effet de la distance sur le facteur de qualité.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure III.10 : effet de la distance sur le taux d'erreur binaire.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.11 : Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (8 users).....</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.12 : Effet de la distance sur le facteur de qualité (8 users).....</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.13 : Effet de la distance sur le taux d'erreur binaire (8 users).....</i>	<i>55</i>
<i>Figure III.14 :Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (16 users).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.15 : Effet la distance sur le taux d'erreur binaire (16 users).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.16 :Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (32 users).....</i>	<i>57</i>
<i>Figure III.17 :Effet de la distance sur le taux d'erreur binaire (32 users).....</i>	<i>58</i>

# Liste des Tableaux

<i>Tableau I. 1: caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau I. 2: Classification du G-PON selon le Budget [10].....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau I. 3: Comparaison des standards PON finalisés par FSAN/ITU-T.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau II. 1: Des modèles de modem à la maison[28].....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau II. 2: Les atténuations des différents composants.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau(III.1) : effet de la distance sur le facteur de qualité.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau(III.2) : effet de la distance sur le taux d'erreur binaire.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau(III.3) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (8 users).....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau(III.4) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (16 users).....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau(III.5) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (32 users).....</i>	<i>58</i>

## Glossaire

### A

APON : ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line.

### B

BPON: Broadband Passive Optical Network.

BER: Bit Error Rate

BPI : Boîtier Pied Immeuble

### E

EPON: Ethernet Passive Optical Network.

### F

FTTX: Fiber To the ...

FTTH: Fiber to the Home.

FTTB: Fiber to the Building.

FTTN: Fiber to the Node

FTTC: Fiber to the Curb.

FSAN: Full Service Access Network

FDT: Fibre Distribution Terminal

## **G**

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network.

## **I**

ITU-T: Union International des Télécommunications secteur Télécommunication

ITU: International Telecommunication Union

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

## **L**

LAN: Local Area Network.

## **M**

MAN: Métropolitain Area Network

## **N**

NA: Nœud d'Accès

NGPON: Next Generation Passive Optical Network

NRO : Nœud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return to Zero.

## **O**

OLT: Optical Line Termination.

ONT: Optical Network Termination.

ONU: Optical Network Unit.

ODN: Optical distribution fiber.

## **P**

PON: Passive Optical Network.

P2P: Point To Point

P2MP: Point To MultiPoint

PTO: Prise Terminal Optique

## **S**

SRO : Sous Répartiteur Optique.

## **T**

TEB: Taux D'erreur Binaire.

TDMA: Time Division Multiple Access

TDM-PON: Time Division Multiplexing Passive Optical Network.

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

TDM: Time Division Multiplexing.

## **U**

UIT-T: Union International de Télécommunication.



## **W**

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

WDM PON: Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network.

## **X**

XGPON: Dix Gigabit Passive Optical Network.

.

# Introduction Générale

Depuis ces dernières décennies, les réseaux d'accès connaissent un développement très rapides, au niveau de l'accès fixe et radio au bien aux réseaux mobiles, et cela nous a introduit à des nouveaux services liés au développement du multimédia et des applications très large bande, largement supérieurs à ceux offerts par les autres technologies, et accès est devenue possible grâce aux réseaux optique utilisant la fibre optique .

La plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui utilisent comme une base les technologies Gigabit PON (Passive Optical Network). Ce sont des réseaux optiques passifs à base d'une architecture point à multipoints qui fonctionnent au débit de 1,25(dans le sens descendant) et 2,5 Gb/s(dans le sens montant). Afin de satisfaire la demande de bande passante pour laquelle un débit de l'ordre des Gbits/s par utilisateur, la technologie PON à base du multiplexage temporel TDM est insuffisante ou moins économique à cause du débit trop élevé par rapport au nombre d'utilisateurs. Alors, l'utilisation de la technologie de multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) dans le réseau d'accès optique est une solution pour pouvoir atteindre un débit très importants.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'étudier les performances des réseaux optiques (GPON). notre travail est composé de trois chapitres :

Nous allons dédié le premier chapitre à la description des différents types de réseaux optiques FTTH, ensuite le réseau PON en montrant l'architecture et les standards qui existent.

Dans le deuxième chapitre nous allons voir et étudier les différents composants d'un réseau optique PON ainsi que le déploiement du réseau FTTH dans une ville.

Le dernier chapitre nous allons faire une simulation de la technologie GPON, tout d'abord en présentant le logiciel qu'on va utiliser qui est OPTISYSTEM version 7.0. Après nous allons voir les différents critères de qualité de transmission, et on termine par la simulation d'une liaison optique GPON avec l'utilisation de la fibre optique bidirectionnelle, cela en variant quelque paramètres tel que le débit, le nombre d'utilisateurs et la distance entre l'émetteur et le récepteur pour évaluer la capacité de transmission.

# CHAPITRE I

## I.1 Introduction :

Dans le domaine des télécommunications des nouvelles techniques sont devenues courantes et éprouvées telles que les transmissions optiques par fibre optique. La transmission en utilisant des ondes optiques est très économique lors de l'acheminement des débits élevés sur des distances importantes.

Dans ce chapitre nous allons voir les différents types de réseaux optiques, précisément les réseaux optiques passifs, le principe de fonctionnement de ces derniers, après on passe aux trois types de réseaux FTTH : point à point (P2P), en double étoile active (AON), point à multipoints (PON), nous allons par la suite voir les différents standards X-PON en mettant l'accent sur le réseau GPON.

## I.2 Les réseaux optiques :

Généralement, les réseaux de télécommunications par fibre optique peuvent être décomposés en trois catégories :

### **Le réseau d'accès :**

Appelé réseau local (local area network : LAN), ce dernier couvre des dimensions environ quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres.

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

Ce sont des réseaux intermédiaires qui interconnectent les réseaux longue distance et les réseaux d'accès via des nœuds d'accès (NA), qui font environ des centaines de kilomètres.

### **Le réseau cœur :**

Ce sont des réseaux WAN avec une structure en maille ou en anneau où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexion varient entre 100 km et plus de 1000 km, couvrant des zones géographiques à l'échelle continentale, comme exemple les liaisons transatlantiques entre l'Europe et les États-Unis sur des distances de transmission de 6000 km.

### I.2.1 Réseaux d'accès optiques :

On définit un réseau d'accès comme l'ensemble des moyens servant à relier des terminaux de télécommunications entre un utilisateur final et un nœud du réseau métropolitain. La distance séparant ces terminaux est souvent de l'ordre de vingt kilomètres (20km). Le réseau d'accès permet aux utilisateurs d'accéder au cœur du réseau afin de bénéficier des services fournis par ce dernier[1].

Dans ce type de réseaux on trouve deux parties, une partie en fibre optique et la deuxième en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

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

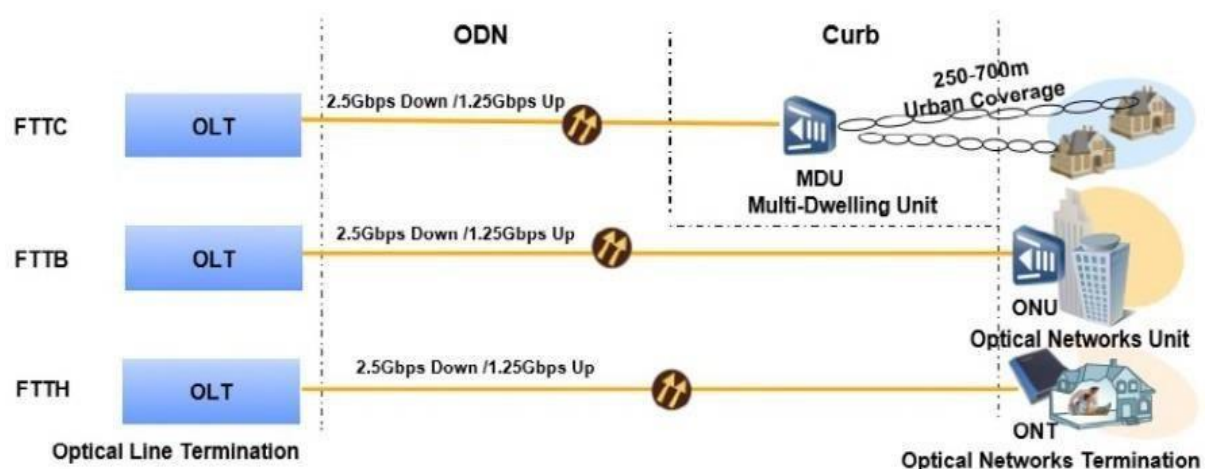
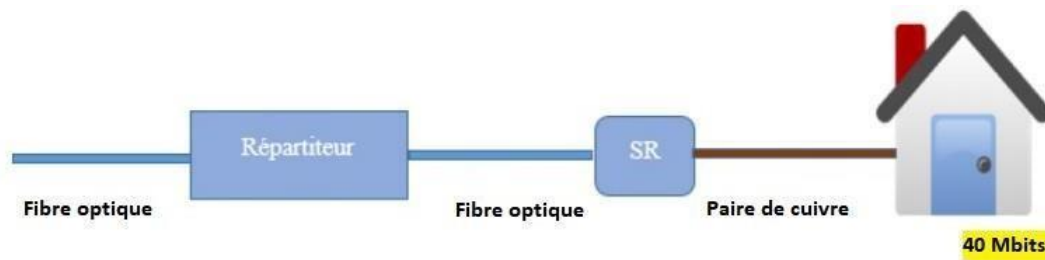


Figure I.1 : Architecture d'un réseau d'accès optique

Et parmi les techniques les plus utilisées nous allons les citer :

#### FTTC (Fiber to the curb) :

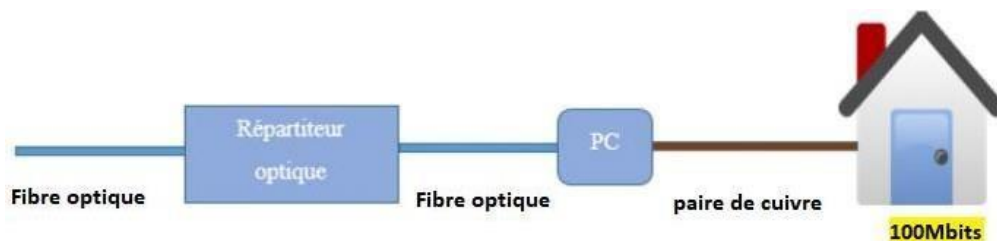
La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab). Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radio électrique, la figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab[2].



**Figure I.2 :** Structure d'un réseau FTTC

**FTTB (Fiber to the building ) :**

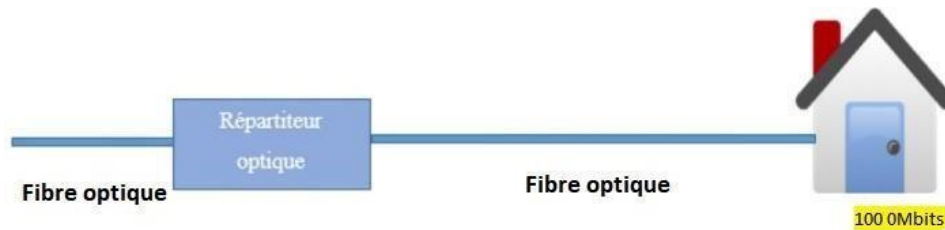
La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre. Cette configuration est appelée aussi FTTB, la figure ci-dessous représente la structure d'un réseau FTTB [2].



**Figure I.3 :** Structure d'un réseau FTTB

**FTTH( Fiber to the home )**

FTTH (Fiber To The Home, Fibre jusqu'au domicile) : l'abonné final est raccordé jusqu'à son domicile par une fibre optique unique qui lui est dédiée. Cette technologie permet l'accès à Internet, à la Télévision, à la Téléphonie avec des débits bien supérieurs à ceux que permet actuellement l'ADSL par exemple. Son autre avantage considérable par rapport aux technologies utilisant la paire de cuivre (ligne téléphonique standard) est de ne pas connaître d'atténuation du signal en fonction de la distance, et donc de garantir des débits optimaux même lorsque l'utilisateur se trouve très éloigné du commutateur. La figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTH[1].



**Figure I.4 :** *Structure d'un réseau FTTH*

Parmi les nouveaux services très hauts débit, on peut citer :

- Le Cloud, qui permet de stocker des données dans le réseau, de les partager et de les consulter à distance comme exemple (Google drive)
- La vidéoconférence qui, grâce au très haut débit, sera plus fluide, de meilleure qualité, et pour le son et pour l'image, ainsi que les nouveaux formats de télévision tels que la télévision 3D ou l'ultra haute définition
- Le développement de la domotique permettant de contrôler à distance l'ensemble des équipements électriques de la maison, et de participer au maintien à domicile des personnes dépendantes, en les rendant plus autonomes, en contrôlant des instruments professionnels.

### **I.3 Architectures des réseaux FTTH :**

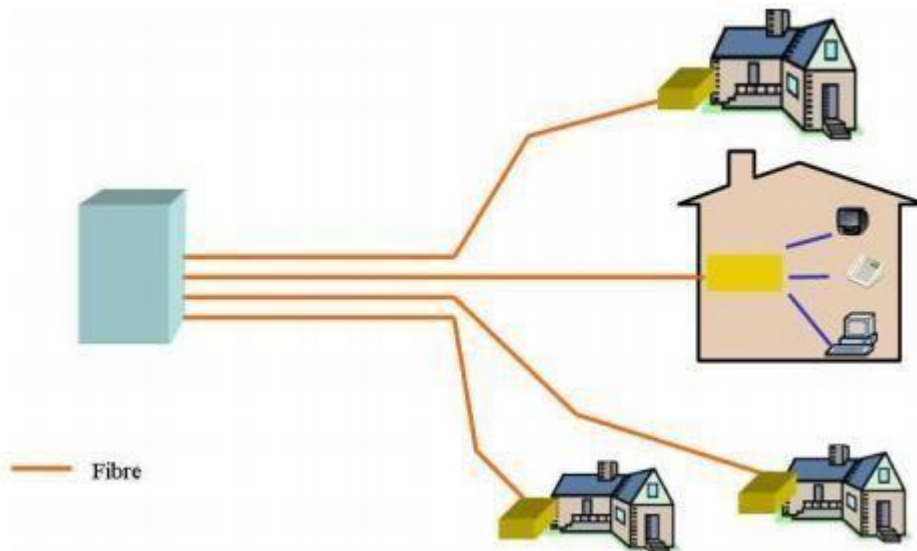
On distingue deux types de topologies physiques permettent d'acheminer la fibre jusqu'au client final :

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

Par contre on peut trouver aussi une autre architecture active appelée double étoile active.

#### **I.3.2 Architecture point à point :**

Les systèmes « point à point » (P2P) sont les plus simples à conceptualiser puisque chaque client est relié au nœud d'accès par une fibre qui lui est dédiée :



**Figure I.5 :** *topologie FTTH point à point (P2P) [3]*

La seule limitation à cette solution réside dans le dimensionnement du NA et des câbles qui en sortent. En effet, le raccordement unitaire de chaque abonné à l'équipement actif augmente sensiblement la place requise, le nombre de fourreaux et les besoins en refroidissement [3].

### **I.3.1.1 Avantages et inconvénients :**

#### **Avantages**

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

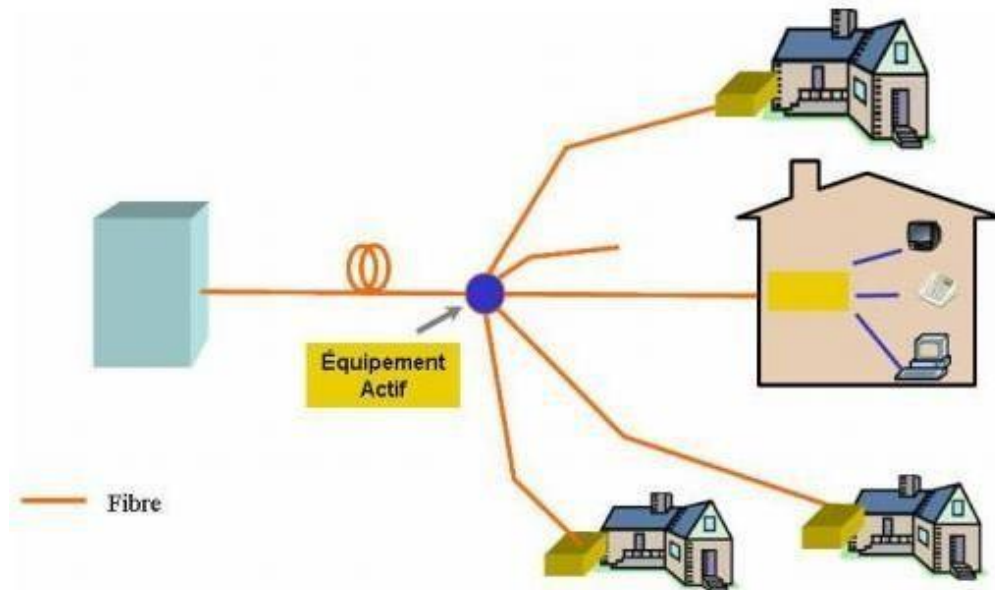
#### **Inconvénient :**

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

### **I.3.3 Architecture en double étoile active:**

Les systèmes peuvent également être conçus dans une configuration en « double étoile active », que l'on appelle AON (Active Optical Network) [3] :

- Des équipements "actifs" sont installés à proximité d'un "cluster" d'utilisateurs dans une zone géographique donnée et regroupent ces utilisateurs.
- Après avoir terminé la nouvelle conversion de signal électro-optique, la terminaison finale peut être effectuée dans la fibre.



**Figure I.6 :** Topologie FTTH en double étoile active (AON)[3]

### **I.3.4 Architecture point à multipoint :**

Les systèmes « point à multipoint » regroupés sous le terme générique de PON (Passive Optical Network) [3],

- Un Optocoupleur passif installé pour remplacer l'équipement actif ci-dessus.
- Ces systèmes couvrent plusieurs normes qui ont fait leurs preuves au fil du temps (B-PON, E-PON et maintenant G-PON).



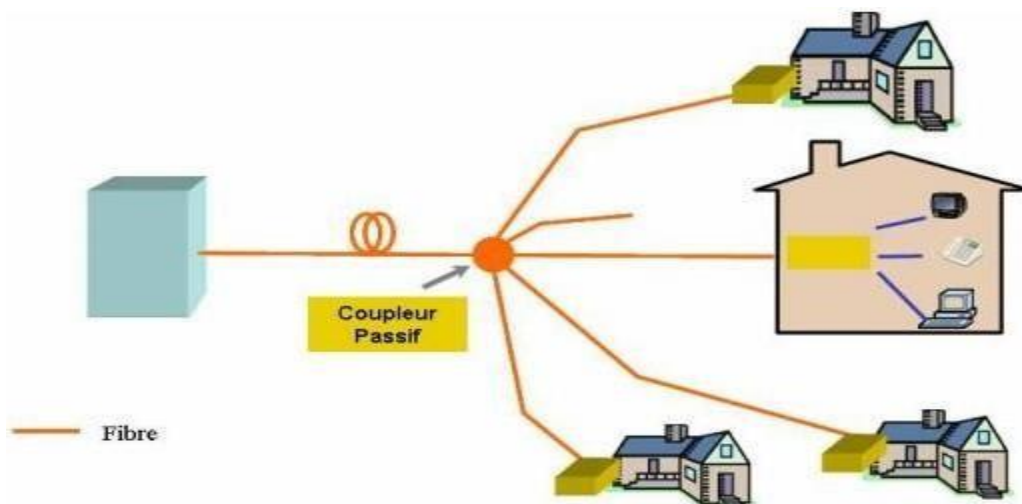


Figure I.7 : Architecture point-multipoint(PON)[3]

### I.3.3.1 Avantages et inconvénients :

#### Avantages :

- Aucun élément électronique actif dans le réseau d'accès, c'est la structure passive.
- Permet des économies sur la quantité de fibres à poser, et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil.
- Réduit des dépenses capitales et des 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.
- Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.

#### 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.
- Capacité de planification difficile pour les applications d'entreprise.

### I.3.5 Comparaison des technologies P2P, AON et PON:

Les données suivantes correspondent aux valeurs typiques obtenues à partir des équipements du marché couramment installés.

	Point à point	AON	PON
Distance(km)	15	15 par segment	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	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	Alimentation dans la partie accès 2 watt / abonné - Dissipé au NF	0,6 watt / abonné Dissipé au NA
Débit garanti	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion*	100Mbit/s symétriques *	Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32*
Débit maximum	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion*	100Mbits/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	au NA ou au NF	Actif et passif au NF
Equipement Actif dans le réseau de desserte	Non	Oui	non
Place occupée	1U pour 24 à 48 abonnés	Similaire à P2P	4U pour 512 à 2304 abonnés

**Tableau I.1 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON**

### I.3.6 Les réseaux optique passifs PON (passive Optical network):

La technologie PON constitue une référence en matière de réseaux d'accès au très haut débit, elle minimise les fibres et permet d'offrir une capacité de transport meilleur. Cette technologie utilise comme infrastructure des fibres optiques passifs, car les équipements de la partie intermédiaire ne sont pas alimentés en électricité ils sont et n'embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent l'acheminement du flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit jusqu'à l'utilisateur final (entreprise ou particulier) [4]. Le réseau PON comprend un nœud de distribution central auquel plusieurs sources de services (vidéo, Internet et téléphones ordinaires) sont connectées. Le nœud basé sur NA lui-même est interconnecté avec l'utilisateur final via la fibre.

Le PON utilise principalement deux longueurs d'ondes, une dans chaque sens :  $1490nm$  dans le sens descendant,  $1310nm$  dans le sens montant. Ces deux longueurs d'ondes sont utilisées pour un service de transport de données (data, VoIP, VideoIP). Dans le cas d'un service de vidéo RF, une troisième longueur d'onde à  $1550nm$  est utilisée pour transporter le signal [3].

#### I.3.5.1 Architecture de réseau PON:

Du fait de divers composants optiques passifs (coupleurs, séparateurs, multiplexeurs de longueur d'onde), les fibres optiques permettent de former un réseau multi-terminal.

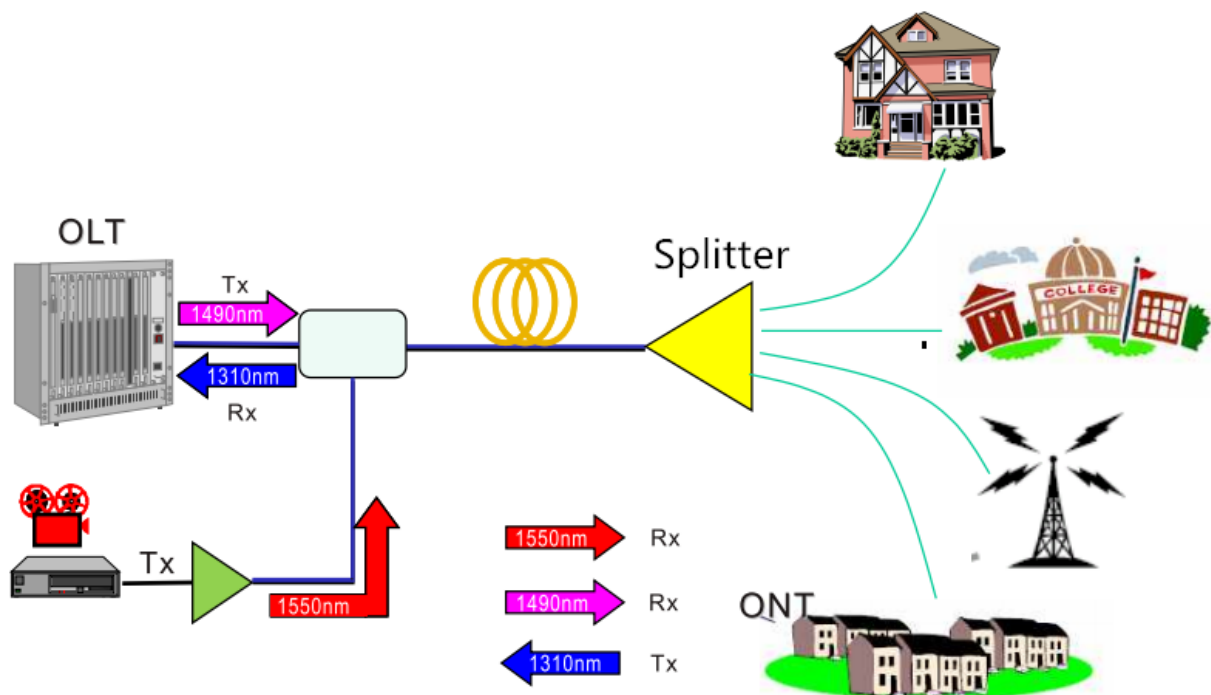


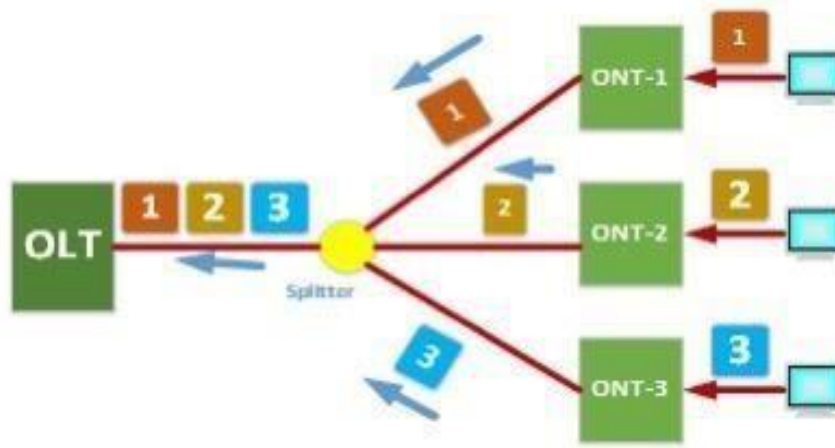
Figure I.8 : Architectures d'un réseau optique passif PON [29]

La figure I.8 montre l'architecture du réseau PON, qui est la même que l'architecture point à multipoint. Dans cette architecture, le splitter diffuse le même signal à un certain nombre de récepteurs en même temps. Le nombre de récepteurs peut être des dizaines. Puis il est passé à plusieurs milliers. Par Utiliser un amplificateur optique entre la source et le coupleur.

Un coupleur peut être utilisé pour former un arbre d'entraînement passif. Ces arbres sont caractérisés par une seule fibre partant de l'OLT, qui est un élément de base du réseau PON. PON utilise à la fois le multiplexage par répartition dans le temps et par répartition en fréquence pour minimiser le nombre de fibres utilisées dans le réseau.

**A-Sens montant:**

Les ONT émettent dans la même longueur d'onde et les coupleurs sont passifs, Si les signaux parviennent simultanément au coupleur, issues de deux ONT, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. C'est pourquoi on utilise un partage de temps de parole TDM (Time Division Multiplexing), l'OLT attribue à chaque ONT un intervalle de temps pendant lequel celui-ci est le seul autorisé à émettre, s'il y a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui attribue d'avantage de temps de parole, inversement réduit pour les ONT qui émettent peu. [5].

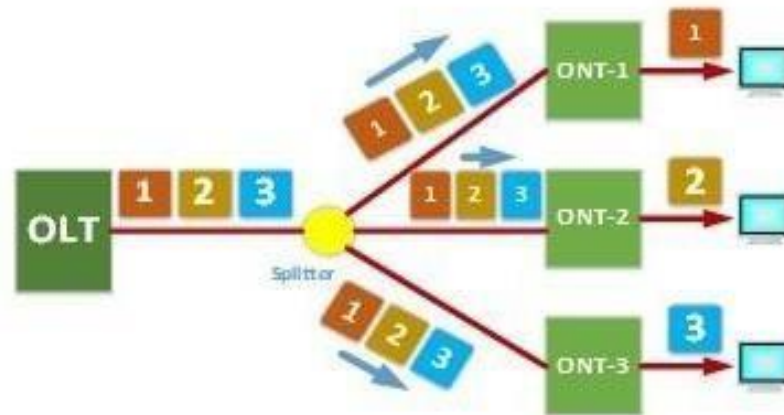


**Figure I.9 :** Architecture du sens montant [5]

**B-Sens descendant:**

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 I.10* montre ce principe[6].



**Figure I.10** : Architecture du sens descendant [5]

Dans les réseaux PON et les architectures de liaison descendante, la vitesse instantanée est partagée entre tous les utilisateurs recevant des données.

### **I.3.7 Standards X-PON:**

Par rapport à l'architecture point à point, l'avantage de l'architecture point à multipoint (PON) est que certains équipements peuvent être partagés entre plusieurs utilisateurs, réduisant ainsi le coût de construction initial. De plus, les conditions de fonctionnement / maintenance ont été améliorées, réduisant ainsi les coûts d'exploitation.

On peut trouver plusieurs standards X-PON, ces derniers sont normalisés soit par IUT, IEEE ou du groupe FSAN (FULL Service Access Network). et les différents standards sont les suivants :

#### **I.3.6.1 Standard APON:**

APON décrit l'opération PON en utilisant l'encapsulation du mode de transfert asynchrone (ATM). Celle-ci a été développée pour la première fois dans les années 1990 par le réseau d'accès au service complet (FSAN) et normalisée dans le standard G.982 [7]. Le système APON peut connecter jusqu'à 32 participants au PON et leur offre un système d'accès flexible et haut débit (622 Mbit / s ou 155 Mbit / s en aval, 155 Mbit / s en amont). En bas. Le multiplexage de cellules ATM est utilisé tandis que le protocole TDMA est utilisé dans le sens montant.

### **I.3.6.2 Standard BPON:**

Broadband PON est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'ETHERNET et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo) standardisé par l'ITU- T en 2005 (norme G983.1) [8]. Les améliorations récentes apportées à APON comprennent le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) à grande vitesse, l'allocation dynamique de la bande passante, une meilleure sécurité des données et une OMCI (ONU Management Control Interface), qui désigne l'administration du système et définit les messages associés impliqués dans la configuration et la surveillance de l'équipement OLT. et un réseau optique. Ce réseau fonctionne à des vitesses downstream/upstream : 155 Mbit / s, 155 Mbit / s, 622 Mbit / s, 622 Mbit / s.

### **I.3.6.3 Standard EPON:**

La norme E-PON est dérivée de l'environnement Ethernet. La principale différence entre EPON et APON est que l'architecture EPON est basée sur le protocole Ethernet IEEE 802.3 pour transmettre des paquets de données jusqu'à 1518 octets dans des paquets de données de longueur variable, tandis que dans APON, les données sont une cellule de 53 octets de longueur fixe Transmission (48 octets de charge utile, 5 premiers octets), comme indiqué dans le protocole ATM.

Le débit maximal est 1,25Gbit/s symétrique, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT [9].

### **I.3.6.4 Standard GPON:**

La solution point à multipoint est implémentée à l'aide de la technologie GPON avec une longueur d'onde de 1310 nm sur la liaison montante et de 1490 nm sur la liaison descendante. Le taux de partage du coupleur est de 1 à 64 (voir 128) utilisateurs. La solution a une couverture Rayon de 20 km.

jusqu'à 2,488 Gbit/s symétriques pour le G-PON. Néanmoins, les déploiements réels se limitent souvent à 1,244 Gbit/s en voie remontante [3].

#### **I.3.6.4.1 Normes de GPON:**

La norme **ITU-T G. 984** du réseau GPON comprend quatre parties :

-G984.1 : est dédié, à l'architecture, aux débits, à la portée, au taux de partage

et au mécanisme de protection.

- G984.2 : parle de budget optique et des puissances mise en œuvre dans le réseau GPON.
- G984.3 : explique la transmission entre l'OLT et l'ONU.
- G984.4 : expose les échanges entre l'OLT et les différents services.

### **I.3.6.4.2 Classification du G-PON selon le Budget:**

La norme UIT G.984 a classé l'architecture G-PON en fonction du budget de liaison (ou de la perte de puissance maximale autorisée), comme indiqué dans le tableau suivant :

Classe	perte	Appliqué pour :
B	25 dB	Not Deployed
<b>B+</b>	<b>28 dB</b>	<b>GPON &amp; MPMs</b>
N1	29 dB	10G & Up
C	30 dB	Not Deployed
N2	31 dB	10G & Up
C+	32 dB	GPON & MPMs
E1	33 dB	10G & Up
C++	34 dB	GPON
D	35 dB	GPON & MPMs
E2	35 dB	10G & Up

**Tableau I.2 :** *Classification du G-PON selon le Budget [10]*

Aujourd'hui, la solution GPON déployée se situe dans la Classe B+ (13-28 dB), avec un budget d'atténuation optique de 28 dB maximum. Ce budget est consommé par le taux de partage, la connectivité et la portée. L'infrastructure optique a été

conçue pour supporter ce budget d'atténuation optique. Cette Classe B+ était la limite technologique jusqu'en 2010, désormais des équipements de classe C+, plus coûteux, sont disponibles chez les fournisseurs [11].

### **I.3.6.5 Standard XG-PON:**

Le XG-PON 1 se caractérise par un débit descendant de 10 Gbit/s associé à un débit montant de 2,5 Gbit/s. Le plan d'allocation en longueur d'onde de ces transmissions a également été défini : les signaux descendants devront être émis en 1575 et 1580 nm et les signaux montants entre 1260 et 1280nm.

Le XG-PON1 faisant partie intégrante du NGPON1, son infrastructure passive (fibre, coupleurs, etc) se voudrait calquée sur celle du GPON, afin de faciliter la migration des équipements actifs vers le 10G-PON. Cette mutualisation de l'infrastructure va impliquer l'insertion d'éléments de multiplexage (coupleurs ou multiplexeurs) aux dépens du budget optique. En effet, pour assurer l'overlay avec un système GPON déployé, opérant sur une infrastructure de classe B+ (13-28dB), il est nécessaire d'ajouter les pertes du composant de multiplexage noté "WDM1". Ce WDM1 sera spécifié par la reprise du standard G.984.5 [12].

### **I.3.6.6 Standard NG-PON2:**

NG-PON2 normalisé par l'UIT en 2014 et 2016 (G.989.1 et G.989.2), permet un débit agrégé de 40 Gbit/s (voir jusqu'à 80 Gbit/s) dans le sens descendant et 10 Gbit/s dans le sens montant. Il possède 3 types de débit canal : basic : 10/2.5 Gbit/s ou optionnel 10/10 Gbit/s et 2.5/2.5 Gbit/s [13] [14].

NG-PON2 se concentre sur les technologies TDM-PON et WDM-PON (attribution de longueur d'onde aux utilisateurs).

### **I.3.7 Comparaison entre les différents standards PON:**

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



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

**Tableau I.3 :** Comparaison des standards PON finalisés par FSAN/ITU-T

### **I.3.8 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON:**

Les avantages d'un réseau GPON sont principalement économiques :

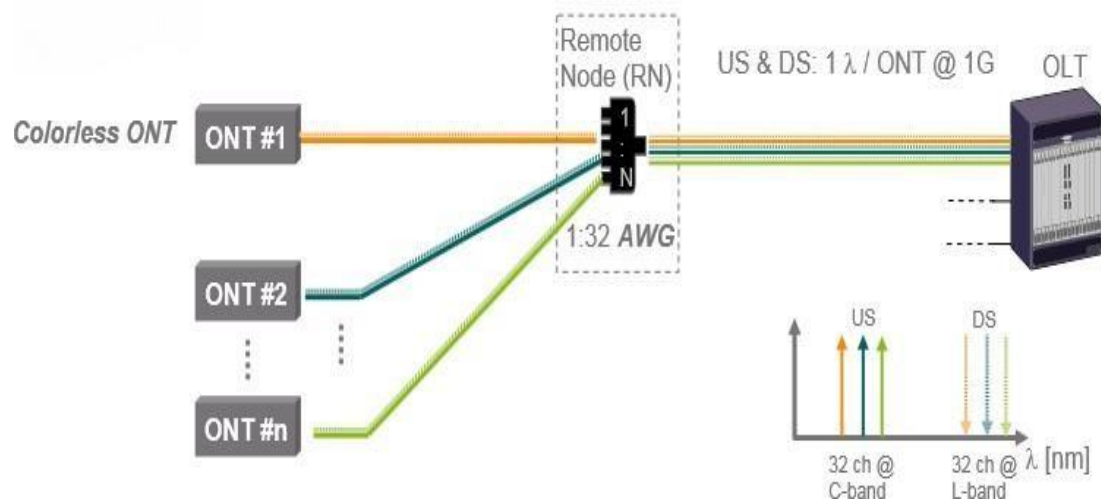
- Un OLT peut desservir au moins 64 clients.
- Architecture favorable à la diffusion (typiquement diffusion TV).
- Peu de fibre sont employée dans le réseau GPON.
- Aucun local alimenté en énergie n'est nécessaire dans ce type de réseau. Ce qui entraîne des économies d'investissements, d'exploitation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

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

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

## I.4 PON avec multiplexage en longueur d'onde (WDM):

L'introduction du multiplexage en longueur d'onde "WDM" est d'abord la réponse à une augmentation des débits et du taux de partage dans le réseau d'accès. Le WDM est une solution qui permet le partage du réseau en utilisant la longueur d'onde comme composante démultiplexage. En effet, la limite en débit imposée par le TDM peut être évitée en introduisant le WDM et en affectant, par exemple, une longueur d'onde par utilisateur avec un accès statique ou dynamique, ce qui revient à faire du point-a-point en longueur d'onde. Nous cumulons ainsi les avantages et inconvénients du point-a-point et de la mutualisation de la fibre afin que le WDM offre le plus haut débit possible par ONT. Il est possible de combiner les méthodes démultiplexage TDM et WDM. On parle alors de multiplexage hybride qui a beaucoup d'intérêt dans le réseau d'accès optique et que l'on va étudier par la suite dans le cadre de la Nouvelle Génération de PON (NGPON).[15]



**Figure I.11 :** Architecture PON WDM

WDM-PON est une technologie de réseau d'accès capable de modifier considérablement les infrastructures de l'opérateur. WDM-PON crée une architecture point à point logique basée sur la longueur d'onde sur une topologie de fibre physique point à multipoint. Il utilise la technologie de multiplexage/démultiplexage WDM pour garantir que les signaux de données peuvent être divisés en signaux sortants individuels connectés aux bâtiments ou aux habitations. Cette séparation du trafic basée sur le matériel offre aux clients les avantages d'une liaison de longueur d'onde point à point sécurisée et évolutive, mais permet à l'opérateur de conserver un nombre de fibres très faible, ce qui réduit considérablement les coûts d'exploitation[16].

### **I.4.1 WDM-PON vs GPON vs XG-PON :**

Nous avons résumé ici les performances techniques de GPON, WDM-PON et XG-PON.

GPON (10 Gbit/s Down/2,5G up) —ITU-T G.984, 2008. La norme GPON compatible Gigabit offre plusieurs choix de débit, mais l'industrie a convergé vers 2,448 gigabits par seconde (Gbit/s) de bande passante en aval et 1,244 Gbit/s de bande passante upstream[21].

XG-PON (10G down/2.5G up) - ITU G.987, 2009. XG-PON est essentiellement une version à bande passante supérieure de GPON. Il a les mêmes capacités que GPON et peut coexister sur la même fibre avec GPON. XG-PON a été rarement déployé[21].

WDM-PON (10G down/2.5G up) —2012, le multiplexage par répartition en longueur d'onde PON, ou WDM-PON, offre une meilleure confidentialité et une meilleure évolutivité car chaque ONU ne reçoit que sa propre longueur d'onde. Il est optimisé pour les applications jusqu'à 20 km, 40 canaux et 1 Gbps par client. Pour atteindre des distances supérieures à 100 km, des amplificateurs, une compensation de dispersion et des sources de semences ASE distantes ont été utilisés[16].

### **I.5 Conclusion :**

Dans cette partie on a vu les différents réseaux optiques, premièrement on a cité les différents types d'un réseaux d'accès optiques, ainsi que les différents topologies utilisées lors de déploiement de FTTH(fibre to the home),point à point , point à multipoint et même en double étoile active ,après on a vu les standards XPON et on a particulièrement mit l' intérêt sur le réseau GPON et son fonctionnement et à la fin on a vu le type de multiplexage WDM.

Dans le chapitre suivant nous allons voir le réseau FTTH en détails avec ses différents composants ainsi qu'une études d'une liaison FTTH.

# CHAPITRE II

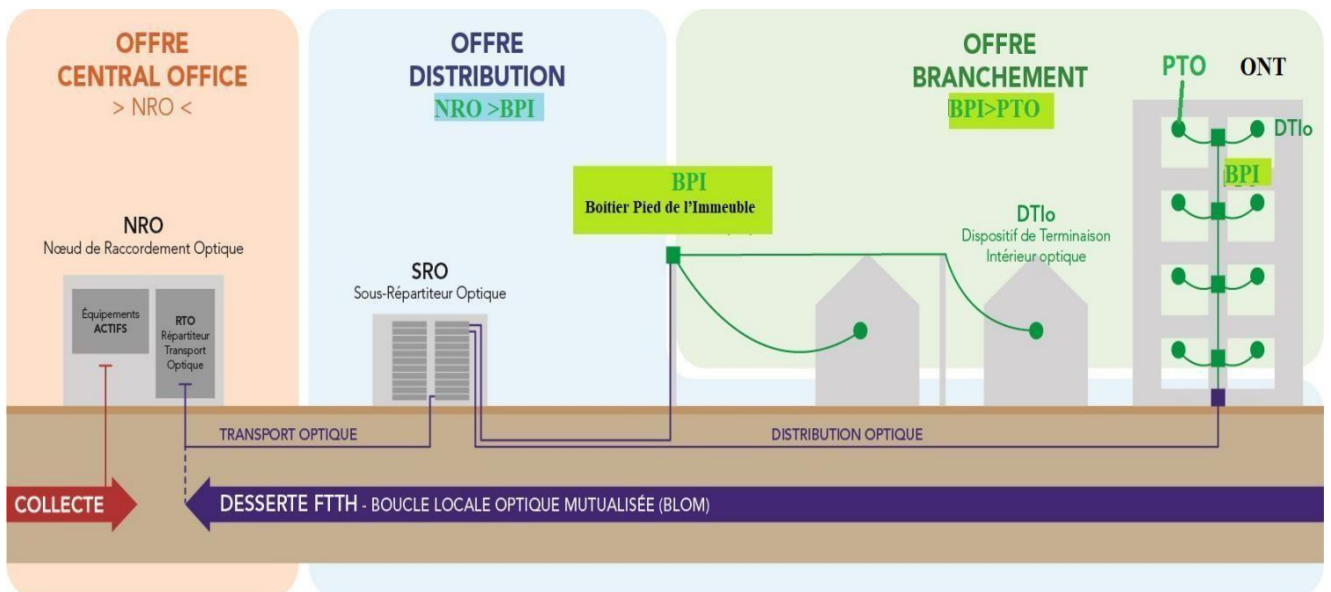
## II.1 Introduction :

Aujourd’hui, seuls les infrastructures qui utilise la fibre optique fournies un débit élevé et important. Et pour cela les réseaux d’accès optique jusqu’à l’abonné (FTTH) sont devenus une solution idéal .

Dans ce chapitre nous allons étudier la solution FTTH dans une ville, dans la première partie allons aborder la structure du réseau FTTH avec les composants passifs de ce réseau, après nous allons étudier l’application de la solution FTTH dans une ville.

## II.2 Structure du réseau FTTH:

L’utilisation de la solution FTTH en câble optique s’effectue autour de plusieurs nœuds et répartiteurs, on va présenter les règles principaux d’ingénieries à appliquer lorsqu’on fait le dimensionnement des réseaux d’accès FTTH.



*Figure II.1 : composants passifs du réseau FTTH.*

### II.2.1 Nœud de raccordement optique (NRO):

Acronyme de *nœud de raccordement optique* de l'opérateur, en anglais, on le nomme OLT pour *Optical Line Terminal*. Les lignes de fibre optique des clients convergentes vers le NRO, qui se trouve au bureau central du fournisseur de service ou CO (*Central Office* en anglais) et c'est d'ici qu'ils prennent leur service. De plus, le

NRO distribue les services télé, Internet et de téléphonie sur une seule fibre. Finalement, le NRO est autant présent dans un réseau de fibres optiques de type point à point que dans un réseau de type point à multipoints ( par exemple le GPON) [16].



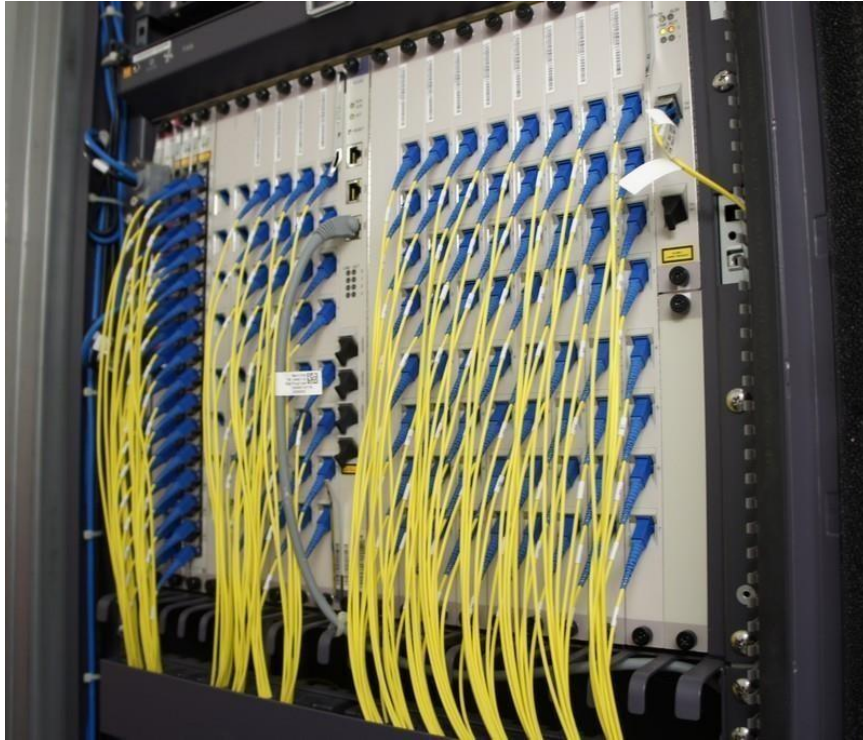
*Figure II.2: Nœud de raccordement optique*

### **II.2.2 Sous répartiteur optique (SRO):**

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

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

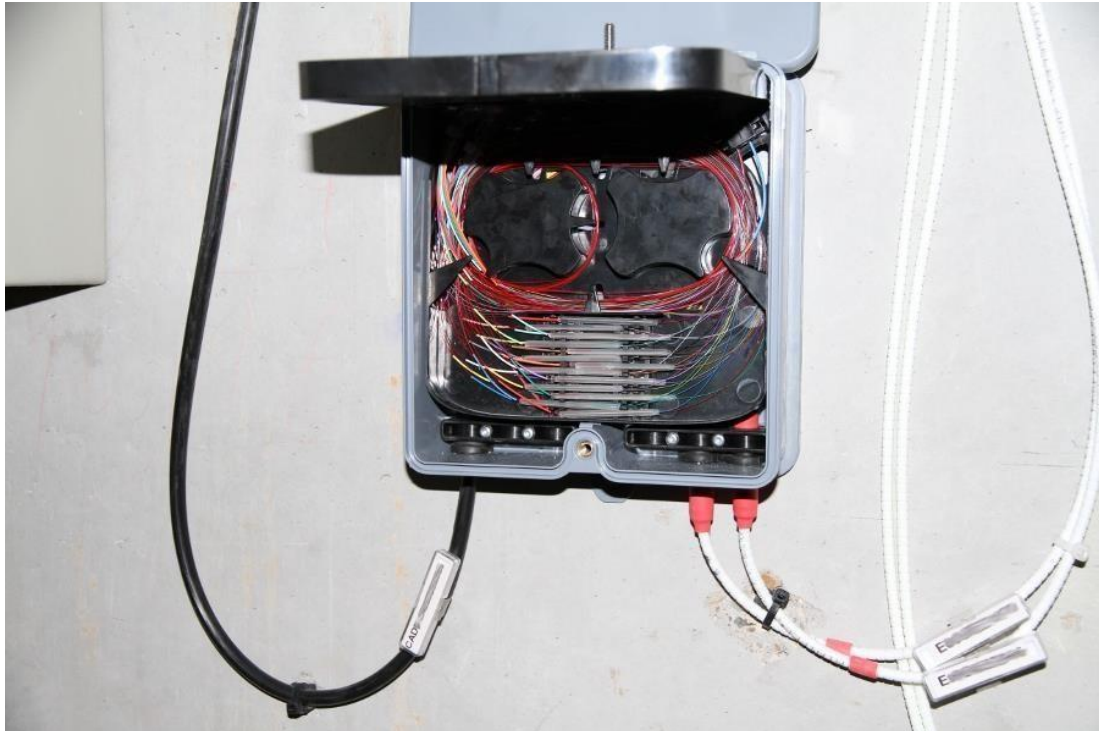
Les câbles viennent du nœud de raccordement optique via l'infrastructure de génie civil souterrain qui aboutisse vers le sous répartiteur optique appelé aussi armoire de mutualisation[18].



*Figure II.3 : Sous Répartiteur Optique*

### **II.2.3 Boîtier Pied de l'Immeuble (BPI):**

Situé généralement en pied d'immeuble, ce boîtier permet le raccordement des câbles venant de l'extérieur et ceux de la colonne montante où se trouvent les points de branchement qui desservent ensuite chaque logement[18].



*Figure II.4 : Boîtier Pied Immeuble*

### **II.2.4 Prise Terminal Optique (PTO):**

La PTO est une prise terminale pour les réseaux FTTH qui permet le raccordement de 1 à 4 fibres. Elle sert de point d'interface entre le câble d'abonné et le cordon d'abonné[17].



*Figure II.5 : Prise Terminal Optique [30]*

### II.2.4.1 Modem Optique:

Le modem utilisé dans l'installation de la fibre optique jusqu'à la maison FTTH (Fiber To The Home) diffère du modem utilisé dans le réseau ADSL, à l'aide d'une jarretière optique on branche le modem depuis la prise optique PTO [18].



*Figure II.6 : Modem optique [30]*



### **II.2.5 Le coupleur Optique:**

Le coupleur optique passif permet de diviser le signal lumineux entrant. Dans le réseau PON, son rôle est la distribution/séparation du signal vers les différents clients. C'est grâce à celui-ci qu'on peut passer d'un signal complet partant du NRO et obtenir une division de ce signal pour chaque client. Ce composant passif n'a besoin d'aucune alimentation et ne passe que des signaux lumineux. [17]

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[18].



*Figure II.7 : Coupleur Optique [22]*

### **II.2.6 Jarretière Optique:**

Désigne un ensemble intégrant 1 à 2 fibre sur gainées (1,6 à 2,8 mm) et équipée de fiches à chaque extrémité utilisée en vue de raccorder les fibres arrimées sur un tiroir optique à un équipement[18].



*Figure II.8 : Jarretière optique*

### **II.3 Les composants des réseaux PON:**

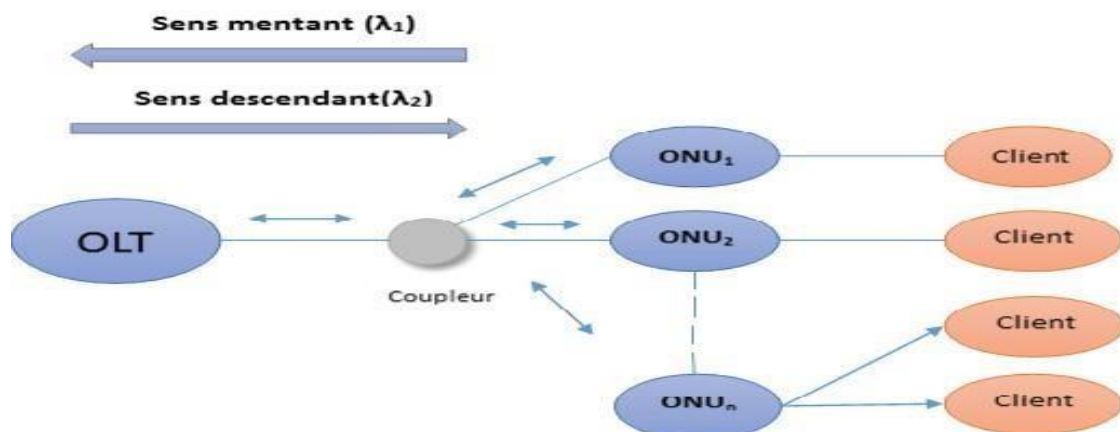
Les différents types de réseaux FTTH contiennent deux composants actifs :

- L'OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », situés au nœuds d'accès (NA).

- L'ONT « Optical Network Terminaison » ou « Terminaison de Réseau Optique » (appelée aussi ONU « Optical Network Unit » dans le cas d'une terminaison Multi-utilisateurs dans une architecture FTTB), localisé chez l'abonné.

Dans le cas du point à point, c'est simple puis qu'à chaque port d'OLT est raccordé directement à un ONT distinct.

Par contre le PON intègre un troisième composant passif : le « splitter » ou coupleur/découpleur, situé au NA et/ou au nœud de flexibilité, qui permet de faire le partage entre les abonnés.



*Figure II.9: Composants du réseau PON[19]*

### II.3.1 L'OLT Optical Line Terminal:

L'OLT est installé dans le NA (Nœud d'Accès). Cet équipement actif fait la transformation du signal électrique arrivé du réseau de l'opérateur, en signal optique en direction des ONT usagers. Il inclut :

- Contient les fonctions d'authentification des ONT et des usagers du PON.
- la gestion du protocole point à multipoint.
- la gestion de la qualité par l'allocation dynamique de la bande passante disponible (Dynamic Bandwidth Allocation).
- la gestion de la classe de service.
- la gestion du niveau de service (Service Level Agreement).
- la gestion de fonctions de partage actif tel que VLAN.
- la fonction de proxy IGMP dans le cas de diffusion vidéo sur IP en multicast.

Un OLT est généralement un châssis rackable 19" dans lequel sont insérées des cartes d'interfaces permettant de connecter, d'une part le réseau cœur de l'opérateur côté amont, d'autre part le réseau d'accès fibres en direction des abonnés, côté aval. Ce châssis est généralement redondé afin de se prémunir d'éventuelles pannes électriques. Il permet généralement d'intégrer des cartes d'accès qui peuvent être insérées au fur et à mesure des besoins. Chacune d'entre elles permet de connecter une ou plusieurs grappes d'utilisateurs (point à point ou PON), à partir d'un débit de 1 ou 2 Gbit/s selon la technologie. Une carte contrôleur intégrée dans l'équipement permet de configurer les cartes d'interface et de gérer le protocole SNMP qui est utilisé pour interroger ou modifier les paramètres relatifs aux cartes d'interface et aux ONT. Certains châssis possèdent une fonction de commutation (switch) interne qui permet d'exécuter une première agrégation du débit (pour les châssis existants cette fonction suppose généralement un niveau de contention non nul)[3].



*Figure II.10 : exemple d'OLT industriel*

### **II.3.2 L'ONT Optical Network Terminal:**

L'ONT est un équipement actif installé chez l'abonné qui fait la transformation du signal optique arrivé de l'OLT en signal électrique.

La sécurité des données est nécessaire en réception car l'ensemble des utilisateurs reçoivent l'ensemble du flux émis par le central. Cependant, la confidentialité est assurée par un processus de cryptage (G983/G984). Il reste la sécurité du réseau qui peut être mise à mal par injection malveillante du signal perturbateur d'un ONT.[20]



*Figure II.11: exemple d'ONT industriel [21]*

### **II.3.3 LES COUPLEURS OU SPLITTERS**

**(spécifiques au PON) :**

Les coupleurs sont des éléments passifs qui font le partage du signal optique vers plusieurs ONT dans le sens descendant et d'agrèger plusieurs signaux optiques en un seul signal dans le sens montant. Le nombre de ONT peut se varier de 2 à 64 dans un réseau PON. Classiquement; la configuration consiste à utiliser deux niveaux de coupleurs 1 vers 4 ou 1 vers 8 ; c'est-à-dire que le signal est divisé deux fois en 4 ou 8 branches.

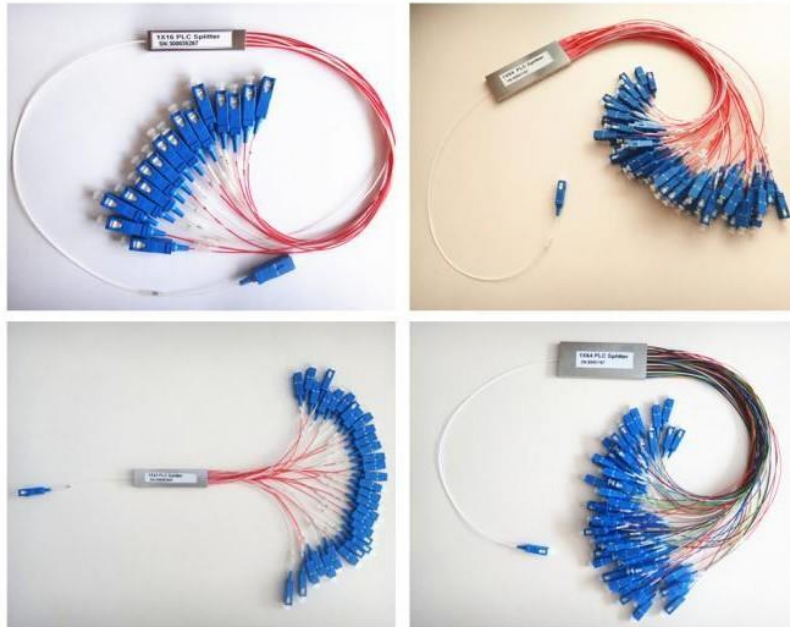
Ces coupleurs/splitters sont installés dans le réseau d'accès, au NA ou au niveau des NF.

Il existe deux technologies de coupleur: la technologie de fusion étirage et la technologie PLC («Planar Lightwave Circuit»):

-**fusion étirage** : elle repose sur la fusion et l'étirage de deux fibres optiques. Cette technique a l'avantage d'être la moins chère, mais ces coupleurs occupent un volume plus grand que les coupleurs PLC pour des taux de couplages supérieurs à 1 vers 8 et il est difficile d'obtenir une bonne répartition (uniformité) du flux lumineux entre les branches. Cette technologie est utilisée pour les petits facteurs de division (1 vers 2, 1 vers 4, voire 1 vers 8).

-**PLC** : cette technologie repose sur la création de guides d'ondes par photo-

lithographie (procédé similaire à celui utilisé pour la création de circuit intégrés). Elle permet d'obtenir des composants avec une meilleure uniformité entre les branches et dans un tout petit volume. Elle est utilisée pour des coupleurs à partir de 1 vers 8, 1 vers 16, 1 vers 32 et 1 vers 64.



*Figure II.12 : exemple de coupleurs industriels[22]*

### **II.3.4 Architecture PON unidirectionnelle et bidirectionnelle :**

L'architecture optique passive (PON) d'un système d'accès qui utilise [23] :

- Une **division/combinaison** de la puissance optique pour connecter 64 clients pour une seule carte au central (OLT) : les coupleurs.
- La **longueur d'onde** pour séparer les sens de transmission (client ou central émetteur).
- Le **temps** pour allouer le trafic de chacun des 64 clients.

Des nombreux système de réseaux optiques passifs (PON) ont été étudiés, Pour le déploiement initial, une conception ONU simple et peu coûteuse et est souhaitable. De Plus, une variété de système WDM PON ont été étudiés pour augmenter la capacité de Canal dans les fibres optiques existantes. [24]

#### **II.3.4.1 Architecture PON unidirectionnelle:**

L'architecture PON unidirectionnelle se compose d'un émetteur OLT (terminal de ligne optique), d'un coupleur (splitter) et d'un ONT (terminal de réseau optique). Il n'y a donc aucune interférence entre le client et un autre client, et chaque client a un intervalle de temps spécifique pour envoyer ou recevoir le signal.

La figure montre une liaison unidirectionnelle ou une fibre est dédiée pour le sens ascendant et une autre pour le sens descendant [6].

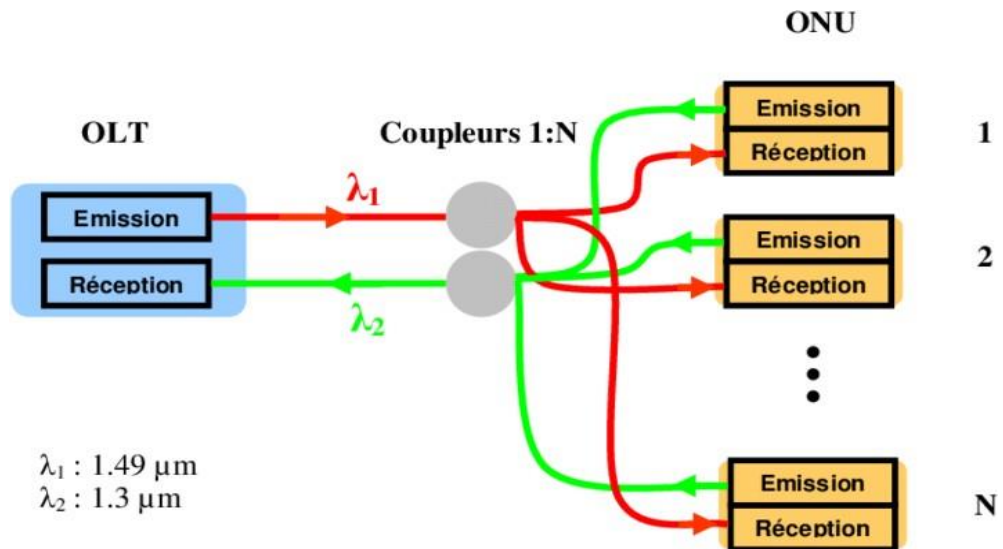


Figure II.13 : architecture unidirectionnelle[25]

Dans cette architecture, il existe une composante WDM dans le PON TDM standard, par-ce que le signal dans le sens descendant est émis dans une longueur d’onde de 1,49  $\mu\text{m}$ , par contre le signal émis dans le sens montant est émis dans une onde de longueur de 1,31  $\mu\text{m}$  (figure II.13).

### II.3.4.2 Architecture PON bidirectionnelle:

Pour simplifier le réseau, économiser de la fibre et limiter les points de raccordements, une liaison bidirectionnelle peut être utilisée. L'utilisation d'un duplexeur est alors nécessaire (Figure II.14). Il peut s'agir d'un coupleur, d'un circulateur ou d'un multiplexeur en longueur d'onde. Ce dernier, noté (MUX/DEMUX) est celui qui est généralement utilisé et intégré aux modules d'émission et de réception [26].

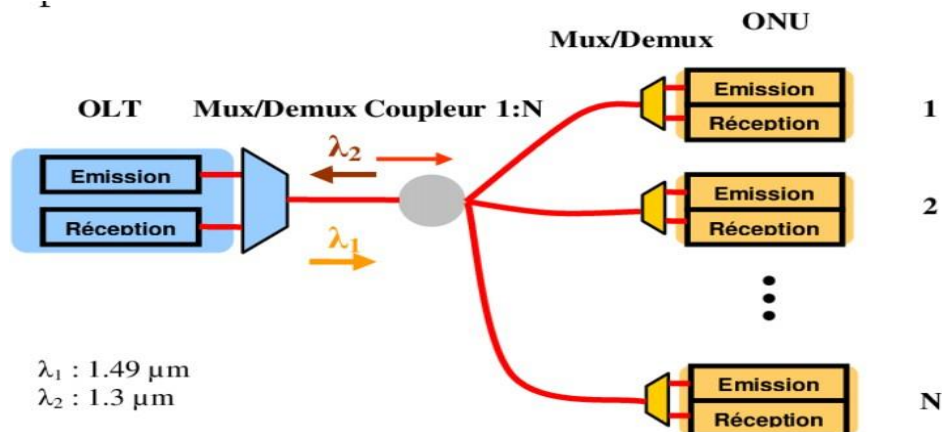


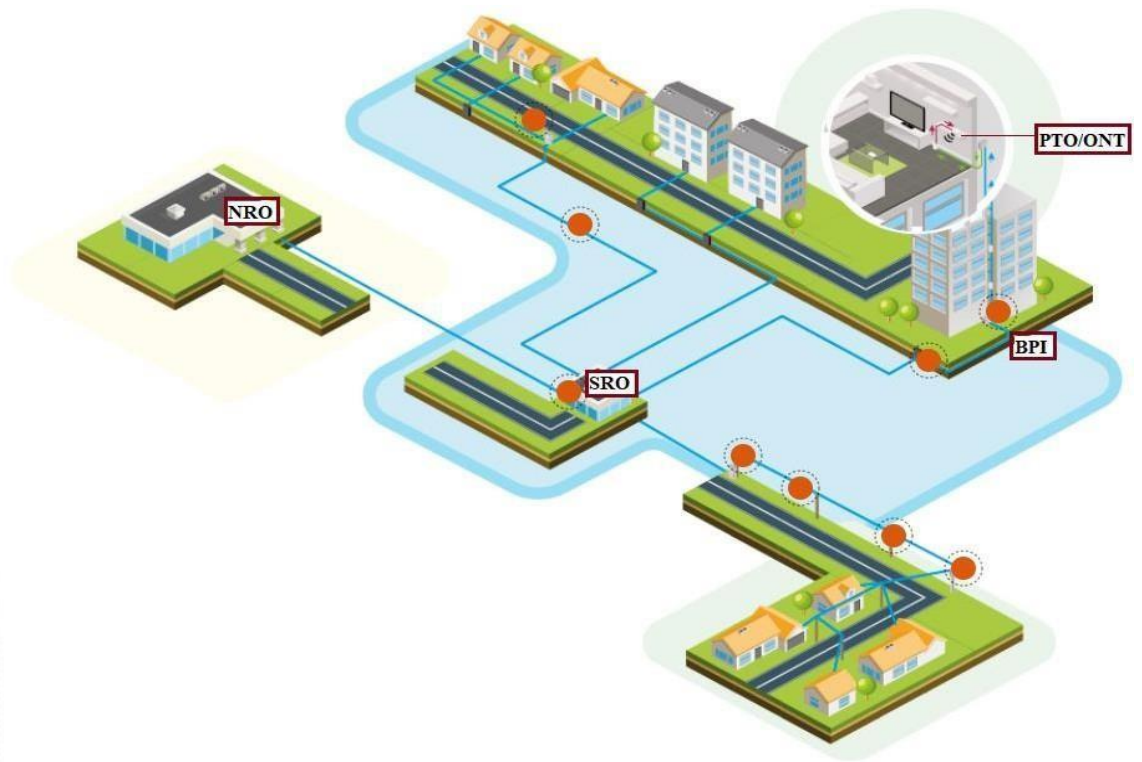
Figure II.14 : Architecture PON bidirectionnelle.[25]

D'après la figure II.14 on voit qu'on utilise les multiplexeurs lors de l'émission pour combiner les signaux émis, et dans la réception on utilise les démultiplexeurs pour reformuler le signal initial pour l'envoyer.

Deux longueurs d'onde sont nécessaires, une par sens de transmission. Tous les périphériques disposent d'un filtre à la même longueur d'onde. Seul l'équipement central reçoit une longueur d'onde différente.[27]

## II.4 Déploiement de la solution FTTH:

On représente ci-dessous un schéma de la liaison ou on a notre point de départ le répartiteur ou on trouve le NRO (l'OLT) vers le sous répartiteur Optique SRO nommé aussi dans cette étude FDT . On a une distance de 4.320 KM de fibre optique entre le NRO et le SRO. Dans la distribution entre le sous répartiteur et le boîtier du pied de l'immeuble (BPI) on a une distance de 1.845 KM, et à la fin vers le client (ONT) on a 35 mètre.



*Figure II.15: Déploiement de la solution FTTH dans une ville.*

Voici un schéma d'un réseau FTTH dans une ville plus détaillé :



*Figure II.16: les 4 niveaux de déploiement d'un réseau FTTH*




Le réseau est organisé en 4 niveaux :

- Le raccordement (violet) qui part de la prise terminale optique (PTO) et va jusqu'au point de raccordement au réseau public le plus proche aussi appelé point de branchement optique (PBO)
- La distribution (vert) qui relie tous les points de branchement (PBO) à l'armoire de quartier (SRO sous répartiteur optique ou PM point de mutualisation)
- Le transport (bleu) qui relie les armoires de quartier au Central téléphonique (NRO nœud de raccordement optique). C'est dans ces NRO que la fibre est allumée et donc activée.
- La collecte (beige) qui achemine le trafic depuis les NRO vers le monde Internet. Cette construction explique que le fait d'avoir une fibre à proximité ne signifie pas que vous soyez raccordé à celle-ci.



**II.4.1 Type d’OLT :**

Voici un tableau qui contient quelque type de modem utilisés à la maison :

	Fabricant	Date de sortie	Spécification	Images
<b>Bell Home hub 1000</b>	Sagemcom F@st 4350	N.d	Il a un port WAN (World Area Network ( Réseau Mondial ) pour le FTTH (Fiber to the Home). Donc, un port qui se branche à un modem ADSL. Il a une prise RJ-11 jack pour la connexion VDSL(une prise téléphonique pour une ligne d’abonné numérique à très haute vitesse), 4 ports LAN pour partager la connexion d’ordinateurs à un réseau local, 2 prises RJ-11 pour VoIp (transmission de voix par adresse IP) Il fonctionne dans la norme 802.11b/g/n et 2 ports USB. Ceux-ci peuvent être utiliser pour des imprimantes, et des périphériques de stockages pour le routeur.	
<b>Bell Home hub 2000</b>	Sagemcom F@st 5250	JUIN 2014	Il a un port WAN (World Area Network ( Réseau Mondial ) pour le FTTH (Fiber to the Home). Donc, un port qui se branche à un modem ADSL. Il a une prise RJ-11 jack pour la connexion VDSL(une prise téléphonique pour une ligne d’abonné numérique à très haute vitesse), 4 ports LAN pour partager la connexion d’ordinateurs à un réseau local, 2 prises RJ-11 pour VoIp (transmission de voix par adresse IP) Il fonctionne dans la norme 802.11b/g/n et 2 ports USB. Ceux-ci peuvent être utilisés pour des imprimantes, et des périphériques de stockages pour le routeur. - Fibre optique pour TV et Internet	
<b>Bell Home hub 3000</b>	Sagemcom F@st 5566	AOUT 2016	Il a un port WAN (World Area Network ( Réseau Mondial ) pour le FTTH (Fiber to the Home). Donc, un port qui se branche à un modem ADSL. Il a 2 prise RJ-11 jack pour la connexion VDSL(une prise téléphonique pour une ligne d’abonné numérique à très haute vitesse), 4 ports LAN pour partager la connexion d’ordinateurs à un réseau local, 2 prises RJ-11 pour VoIp (transmission de voix par adresse IP) Il fonctionne dans la norme 802.11b/g/n et 2 ports USB. Ceux-ci peuvent être utilisés pour des imprimantes, et des périphériques de stockages pour le routeur. - Fibre optique pour TV et Internet, batterie de secoure intégré,boutons tactiles	

*Tableau II.1: Des modèles de modem à la maison[28].*

**II.4.2 Type de coupleur :**

Dans notre réseau FTTH on a utilisé des splitter de (1:8) au niveau du SRO et du BPI sa consiste a dé-multiplexer une seul fibre en 8 autre fibre.

**II.5 Le bilan optique:**

A la fin d’installation de notre système FTTH, il faut vérifier les performances de la liaison optique jusqu’à la prise terminale optique en calculant l’atténuation générale de cette liaison en utilisant le Bilan optique (méthode utilisée par les technicien de Algérie télécom). et que chaque composant a une atténuation .

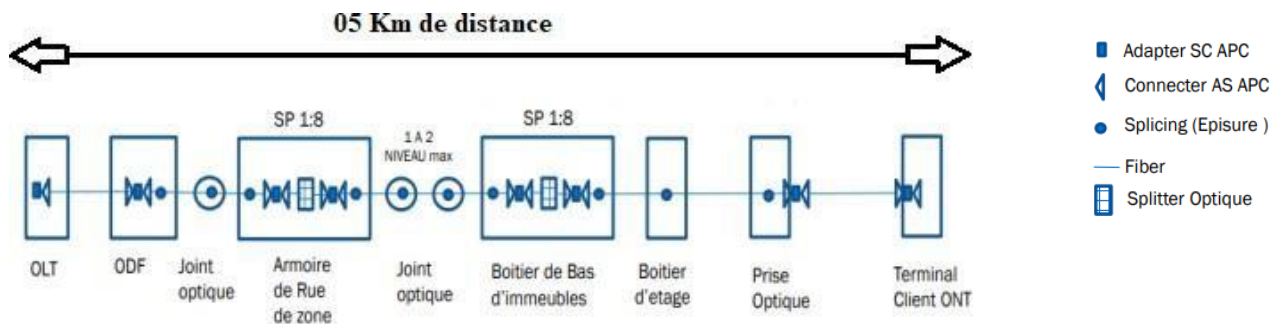
Le but de ses calculs est de s'assurer que le système atteint le seuil d'atténuation vers le client final qui ne dépasse pas 28 dB (classe B +).

Optical power attenuation in ODN link :

No.	Name	Type	Attenuation(d b)	Unit loss(db)	
1	Optical cable (G.652D)	1310 nm optical cable (db/km)	<b>0,35</b>	2,16475	<p><b>L</b>×<b>a</b>: link attenuation(a:optical cable loss/km,L:optical cable length)  <b>n1</b>×<b>b</b>: total fusion splicing loss (b:unit fusio splicing loss, n1:adaptoe quality)  <b>n2</b>×<b>c</b>: total faster loss(c:unit faster loss,n2:mechanical splicing quangity)  <b>d</b>: total insert loss  <b>e</b>: total splitter loss  <b>f</b>: spare link budget</p>
		1490 nm optical cable (db/km)	0,22	1,3607	
		1550 nm optical cable (db/km)	0,2	1,237	
		1625 nm optical cable (db/km)	0,24	1,4844	
2	Connecto r type	Fusion splicing	<b>0,1</b>	0,9	
		connector	<b>0,3</b>	0,24	
		Fast connector	0,5	0	
		Insert loss	1	0	
3	Splitter type	1:64	20,5	0	
4		1:32	17	0	
5		1:16	13,8	0	
6		1:8	<b>10,6</b>	21,2	
7		1:4	7,5	0	
8		1:2	3,8	0	

Note :please fill the relevant information  
in the blue part of the table

**Tableau II.2:** Les atténuations des différents composants



**Figure II.17 : Budget optique pour une liaison OLT/ONT**

Min OLT power out: 1.5 (dbm)    Max OLT power out: 5 (dbm)    SPL type: 1:8    SPL quantity: 2 pcs

A travers la figure (II.17) ci-dessus, nous voyons que nous avons une solution fttth qui contient :

2 coupleurs 1x8/ 10 épissures fusion/8 connecteur/ câble de 5 KM\_

Le budget optique se calcule ainsi :

Budget optique=porté (km) × atténuation du câble (dB/km) + pertes connecteurs (dB) + pertes épissures + pertes coupleurs

$$\text{Link atténuation} = 5 \times 0.35 + 8 \times 0.3 + 10 \times 0.1 + 2 \times 10.6 = 26.35 \text{ db}$$

**Conclusion :**

Pour notre lien, le lien d'atténuation atteint 26.35 dB, de sorte que le seuil d'atténuation est respecté dans notre lien, qui répond à la norme ITU G.984.2 Classe B+.

**II.6 Conclusion:**

Dans ce chapitre, nous avons vu la solution FTTH utilisée dans une ville et la structure de ce réseau avec les différents appareils qui la composent et les deux architectures PON. Les ingénieurs ont réalisé l'évaluation optique de la connexion pour vérifier les performances conformes à la norme IUT-T 984 2 B +.

Le chapitre suivant traite spécifiquement le réseau GPON et la simulation de ce réseau avec le logiciel OPTISYSTEM .

## **CHAPITRE III**

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons étudier une liaison G-PON bidirectionnelle à l'aide du logiciel « Optisystem ». Ce dernier va nous permettre de simuler, analyser des liaisons optiques ainsi d'optimiser la qualité de transmission.

Une présentation des résultats obtenus sera discutée avec l'architecture point à multipoints (PON). Cela en variant les paramètres de la liaison tel que le débit, la distance entre l'émetteur et le récepteur...etc. Le but est d'analyser les résultats obtenus, mesurer la qualité de transmission en optimisant les performances de la liaison.

### **III.2 Présentation du logiciel Optisystem :**

Optisystem est un logiciel développé par la société canadienne OPTIWAVE, Optical Communication System Design Software. Il permet aux chercheurs, scientifiques de modéliser et simuler des systèmes optiques. Ce dernier dispose d'un environnement de simulation puissant avec des composants systèmes où on peut étudier notre simulation. Pour cela nous utilisons un simulateur système dans le but de faciliter la tâche.

Notre système sera une liaison G-PON (Gigabit PON) bidirectionnelle qui se compose d'un Optical Line Termination (OLT) et d'un Optical Network Termination (ONT). La liaison pourra atteindre des débits allant jusqu'à 2.5 Gbit/s tout en gardant une bonne qualité de transmission .

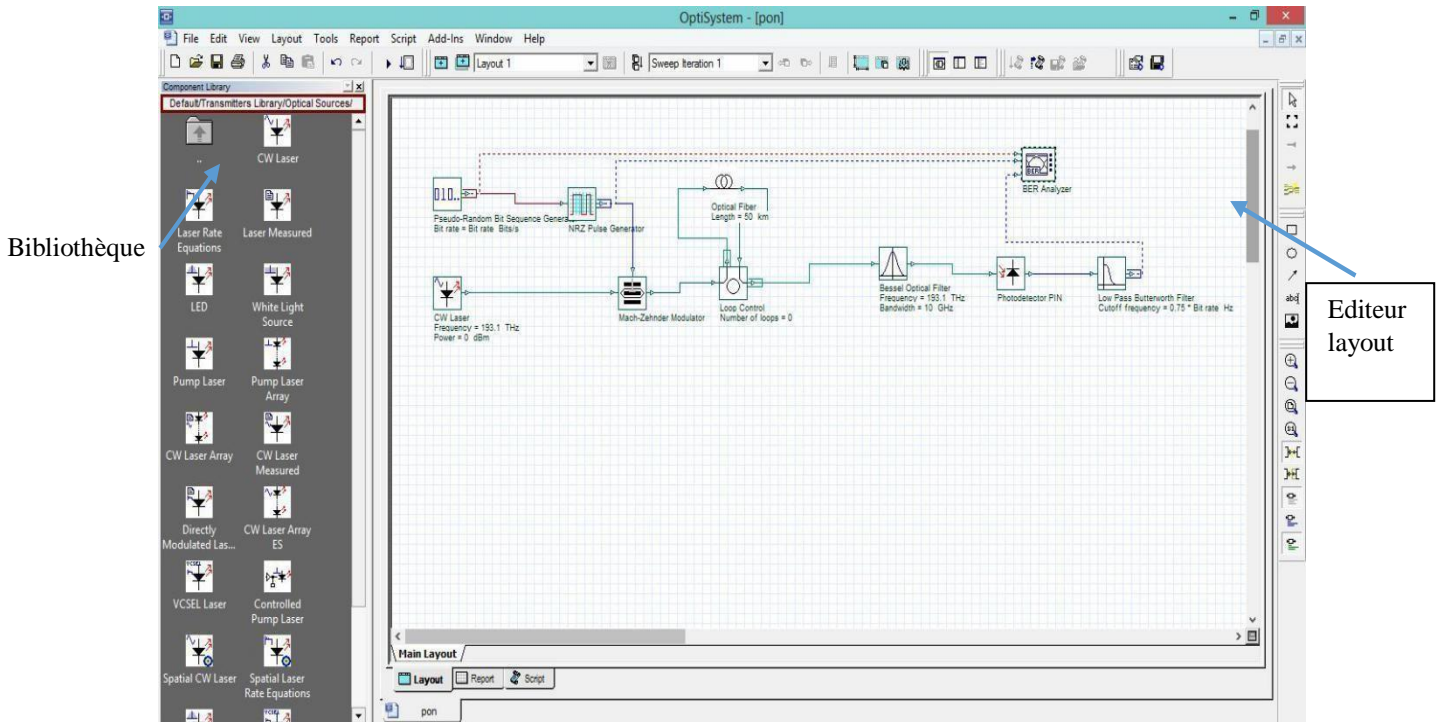
#### **III.2.1 Description du logiciel Optisystem :**

Optisystem est une application sous Windows, qui comprend essentiellement une fenêtre principale qui est répartit en plusieurs parties :

- Éditeur du layout : permet d'éditer et configurer un schéma en cours de conception.
- Vue d'ensemble du projet : permet la visualisation miniature du layout en cours d'édition .

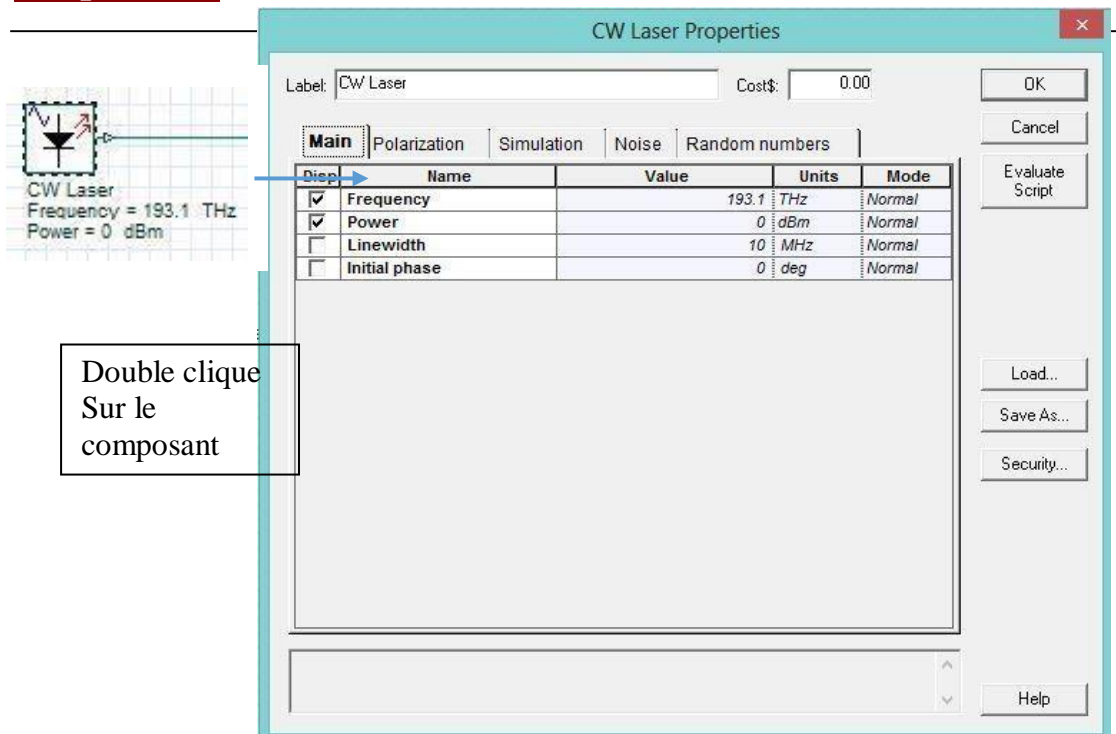
- Bibliothèque : elle est composée d'une base de données de divers composants existants.

La figure ci-dessous (**Figure III.1**) présente les sous fenêtres du logiciel.



*Figure III.1 : Espace Optisystem*

Pour choisir un composant il suffit de le glisser avec le curseur, de la bibliothèque vers le layout pour le placer. On pourra paramétrer le composant en question en faisant un double clic sur ce dernier. Une fenêtre apparaîtra pour modifier les paramètres (**Figure III.2**).

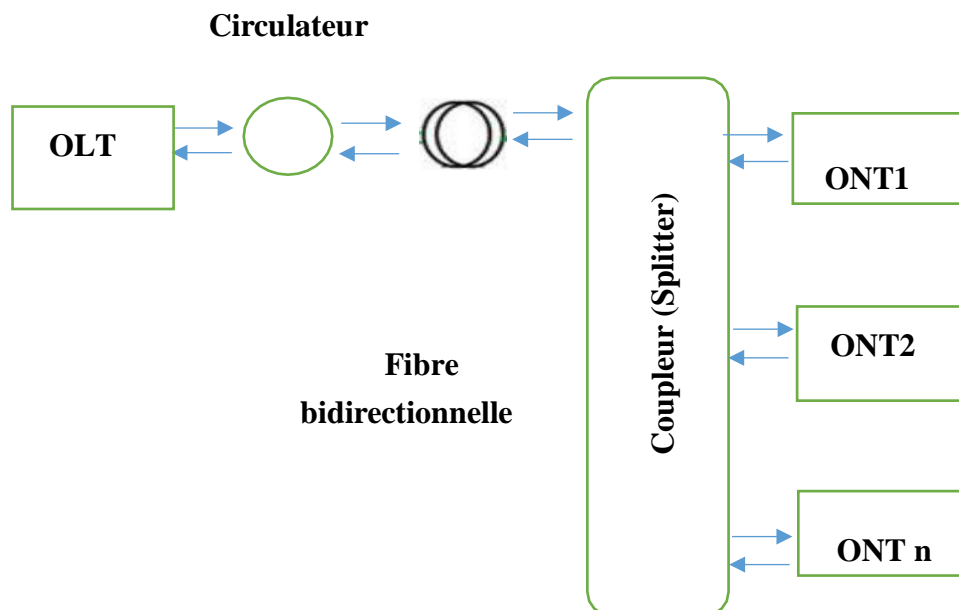


*Figure III.2 : Changement des paramètres d'une diode Laser*

Sur la **Figure III.2** on peut voir qu'on peut changer les paramètres de la diode tel que la fréquence, la puissance ... etc.

### III.3 Etude de la liaison G-PON :

La figure (**Figure III.3**) ci-dessous illustre les différents composants utilisés dans notre simulation .



*Figure III.3 :Liaison G-PON bidirectionnelle*

Notre système se divise en 3 parties essentiels :

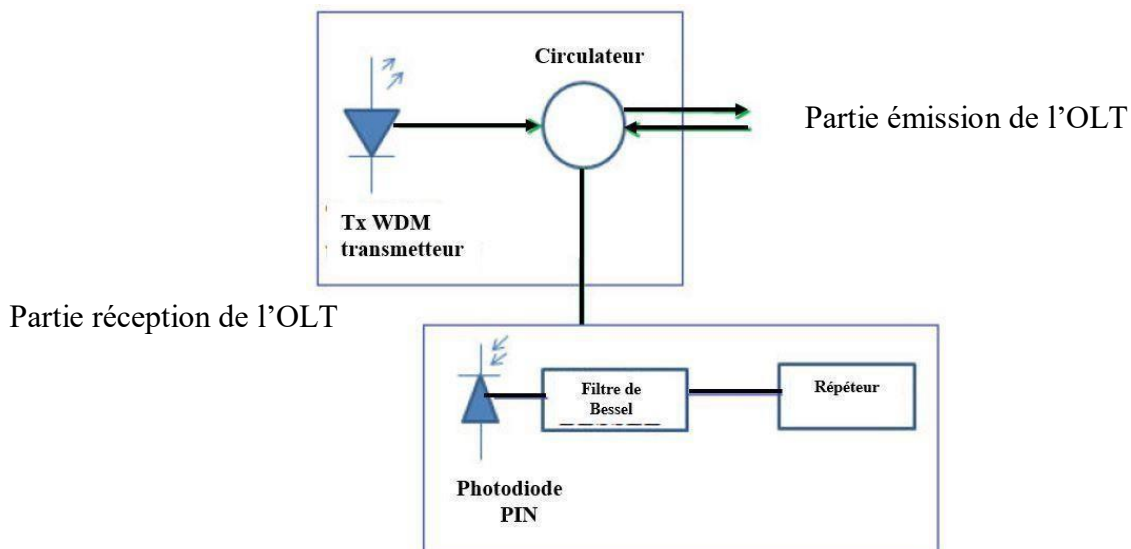
- OLT (Optical Line Terminal)
- ONT (Optical Network Terminaison)
- Coupleur (Splitter)
  - o Sens montant (les données partent de l'ONU vers l'OLT).
  - o Sens descendant (les données partent de l'OLT vers l'ONU).

### III.3.1 Description de l'OLT :

Pour la partie émission OLT, il contient un transmetteur type WDM (Wavelength Division Multiplexing). L'OLT possède les paramètres suivants :

- Longueur d'onde 1550 nm ;
- Puissance d'émission -3 dBm.
- Débit 622 Mbits/s.
- Modulation NRZ.

Dans la partie émission de l'OLT on distingue une partie réception qui provient de l'ONT. Ce dernier contient des composants optique qui sont un filtre de Bessel et une photodiode, ce tronçon présente le sens descendant de notre système G-PON bidirectionnel. La figure ci-dessous (figure III.4) présente l'OLT de notre système.



*Figure III.4 : Présentation de l'OLT*

**a- Le circulateur optique**

Les circulateurs optiques sont des dispositifs trois ports. Ils peuvent être intégrés dans un boîtier avec connecteurs intégrés et modulaires. Un circulateur à fibre optique offre d'excellentes performances avec une isolation élevée et des pertes d'insertion très faibles.

Les circulateurs d'IDIL Fibres Optiques sont largement utilisés dans les opérations unidirectionnelles pour de nombreuses applications telles que les systèmes de transmission bidirectionnelle, les systèmes DWDM, les solutions de multiplexage Add-Drop et les systèmes de détection. Les circulateurs optiques redirigent les signaux à 780 nm, 1064 nm, 1310 nm, 1550 nm, 1610 nm. D'autres longueurs d'onde et personnalisations sont possibles.

Dans notre système il est utilisé pour transporter le signal optique dans un seul sens (montant ou descendant).

**b- Filtre de Bessel :**

Le filtre de Bessel est un filtre polynômial dont la caractéristique principale est d'offrir un délai constant en bande passante. Concrètement, cela signifie que toutes les fréquences pures, en bande, le traversent en un temps rigoureusement égal. Le filtre de Bessel permet donc de minimiser la distorsion que subit un signal complexe lors d'une opération de filtrage.

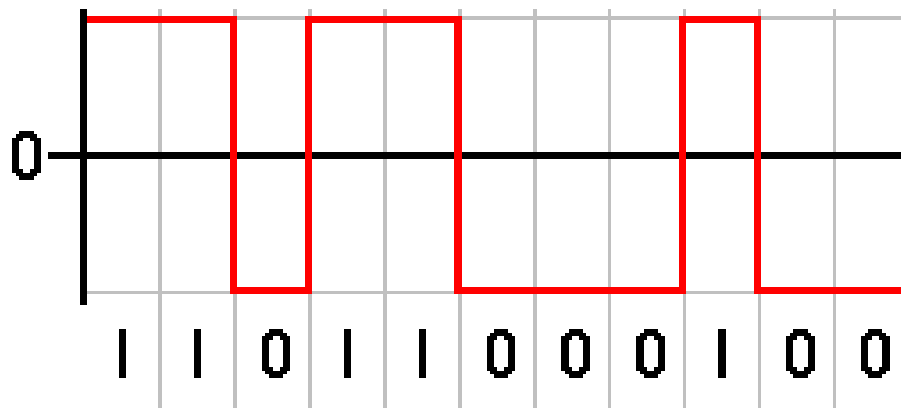
La caractéristique du filtre est optimisé pour la phase, elle permet d'obtenir un déphasage linéaire pour les fréquences à l'intérieur de la bande passante.

Dans notre système le filtre est utilisé à une fréquence de coupure de 0.75 Hz, dont il va minimiser la distorsion que va subir le signal optique.

**c- Modulation NRZ (Non retour à zéro) :**

Le format NRZ est beaucoup utilisé dans ce type de liaison. Le bit « 1 » est associé à une impulsion optique de durée égale au temps du symbole, tandis que le bit « 0 » correspond à l'absence du signal. Ce format est beaucoup utilisé dans les systèmes WDM ainsi pour des débits inférieur à 10 Gbit/s.





*Figure III.5 : Format NRZ.*

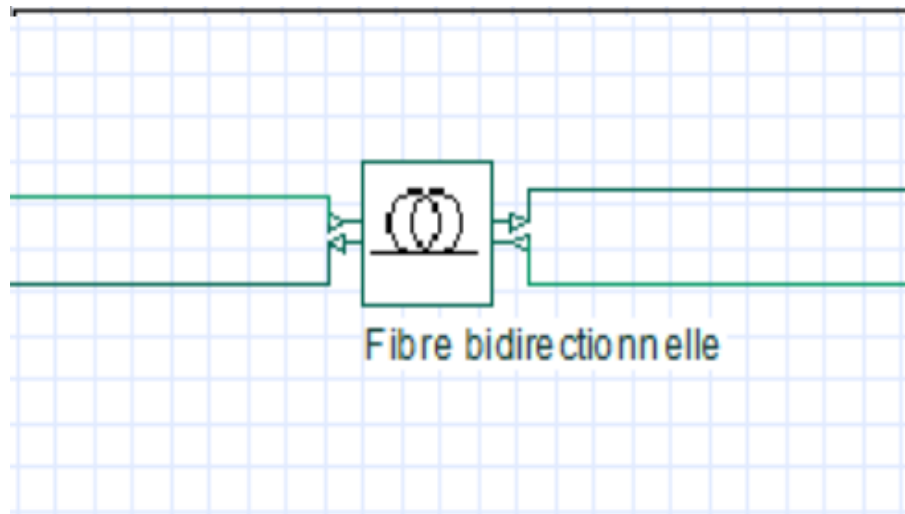
#### **d- Les répéteurs**

Un répéteur est un dispositif électronique combinant un récepteur et un émetteur, qui compense les pertes de transmission d'une fibre en amplifiant et traitant éventuellement le signal, sans modifier son contenu.

Dans le domaine des télécommunications, un répéteur désigne un canal de modulation exploité dans les transmissions radio, de télévision et de données numériques qui véhicule des signaux exploités dans d'autres fréquences d'émission. Dans notre système le signal optique traverse des systèmes qui peuvent aller jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres, pour cela on insère des répéteurs afin que le signal ne soit pas affaibli et sans distorsion.

### **III.3.2 Canal de transmission :**

Le canal de transmission est une fibre optique bidirectionnelle d'une distance variable. Notons que l'atténuation 0.24dB/km, la dispersion 16.75ps/nm/km, et la pente de dispersion est de 0.075ps/nm<sup>2</sup>/km .



*Figure III.6: Canal de transmission*

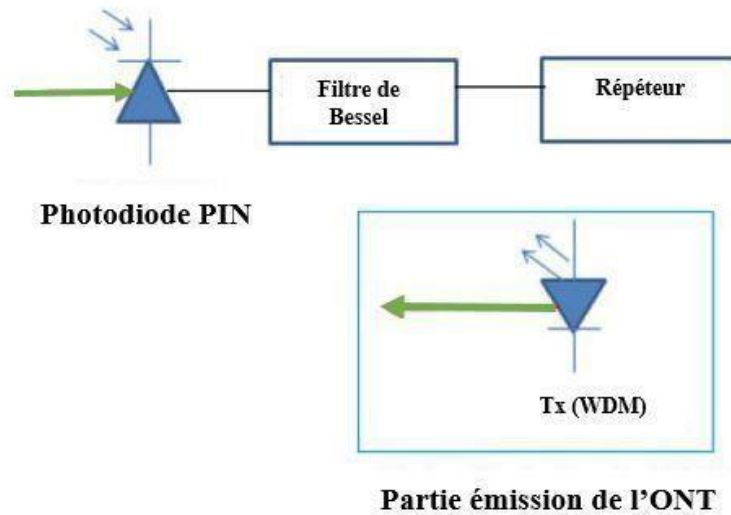
### **III.3.3 Description de l'ONT :**

Dans une structure FTTH chaque abonnée est représentée par un ONU (Optical Network Unit). Chaque ONU est composé d'une partie émission et réception. Pour ce qui concerne la partie réception des ONU on trouve des composant tel que la photodiode et le filtre de Bessel. Chacun est relié à un répéteur qui assurent les fonctions de régénération.

L'ONT possède les paramètres suivants :

- Puissance d'émission :  $-3$  dBm.
- Débit : 622 Mbit/s.
- Longueur d'onde : 1300 nm.
- Type de modulation NRZ.

L'ONT est représentée par la figure ci-dessous :



*Figure III.7 : Représentation de l'ONT*

### **III.4 Critères et méthodes d'évaluer la qualité de transmission :**

Pour définir la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal transmis sont le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q. Ces trois critères sont décrits dans la suite :

#### **III.4.1 Le facteur de qualité:**

Le facteur de qualité (Q), est un paramètre permettant de quantifier et d'évaluer le signal sans avoir à compter directement les erreurs donnée par :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta I_1 - \delta I_0} \quad \text{eq(III.1)}$$

Où  $I_1$  et  $I_0$  sont les valeurs moyennes des photo-courants du symbole 1 et 0,  $\delta_0$  et  $\delta_1$  les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0. La mesure expérimentale du facteur  $Q$  d'un signal est difficile c'est-à-dire tu ne peux pas mesurer  $I_1$ ,  $I_0$ ,  $\delta_0$  et  $\delta_1$  directement. Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser la relation du Taux D'erreur Binaire TEB en fonction du facteur de qualité  $Q$  à condition de distribution de puissance des symboles est gaussienne :

$$\text{TEB(BER)} = \frac{1}{2} \left[ \text{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad \text{eq(III.2)}$$

Avec erf est la fonction d'erreur complémentaire.

### **III.4.2 Le taux d'erreur binaire :**

Étant donné que dans les systèmes de transmission, les données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires et pour évaluer La qualité de transmission numérique binaire il faut comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus et calculer le nombre de bits erroné c'est-à-dire le nombre de fois d'un « 0 » est détecté pour un symbole « 1 » émis ou vice versa.

On définit alors le taux d'erreur binaire TEB ou Bite Error Rate BER en anglais par le nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis.

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad \text{eq(III.3)}$$

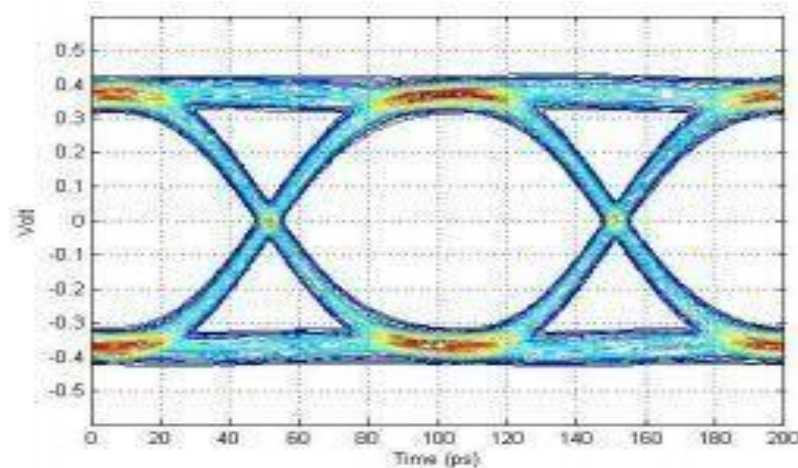
Un système est généralement considéré de bonne qualité en télécom optique si son taux d'erreur binaire BER est inférieur est inférieur à  $10^{-9}$  voir inférieur à  $10^{-12}$  suivant les systèmes.

### **II.4.3 Le diagramme de l'œil :**

Le diagramme de l'œil est la façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal,

est formé par la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. Plus le signal est de bonne qualité, plus le diagramme de l'œil est ouvert, plus le facteur de qualité est fort et ainsi plus la détection du signal sans erreur est facile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé.

Figure III.8 illustre le diagramme de l'œil d'un signal NRZ :



*Figure III.8 : Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ*

### III.5 Résultats de simulation :

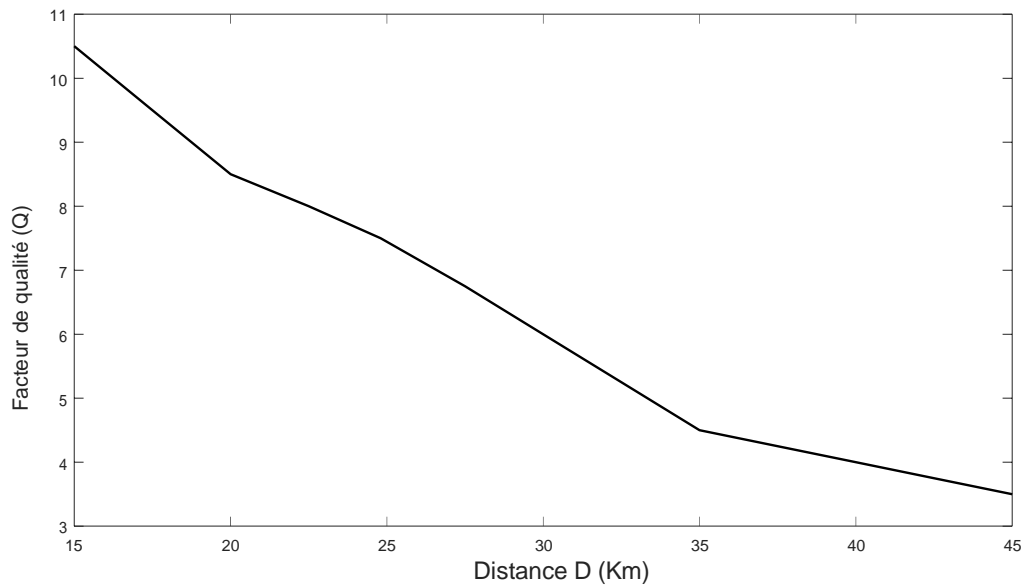
#### Influence de la distance :

La distance de fonctionnement influence sur la qualité de transmission en raison du phénomène de dispersion et l'atténuation, pour le vérifier on va faire varier la longueur de la fibre de 15 jusqu'à 45 km en fixant le débit à 622 Mbits/s, la puissance d'émission à 3dBm, et la longueur d'onde à 1550nm. et nous observons à chaque fois le BER et le facteur de qualité.

Le tableau suivant montre le changement du facteur de qualité lorsqu'on fait varier la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Facteur de qualité (Q)	10,5	9,5	8,5	8	7,5	6,75	6	5,25	4,5	4,25	4	3,75	3,5
Distance (km)	15	17,5	20	22,5	24,8	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45

*Tableau(III.1) : effet de la distance sur le facteur de qualité.*

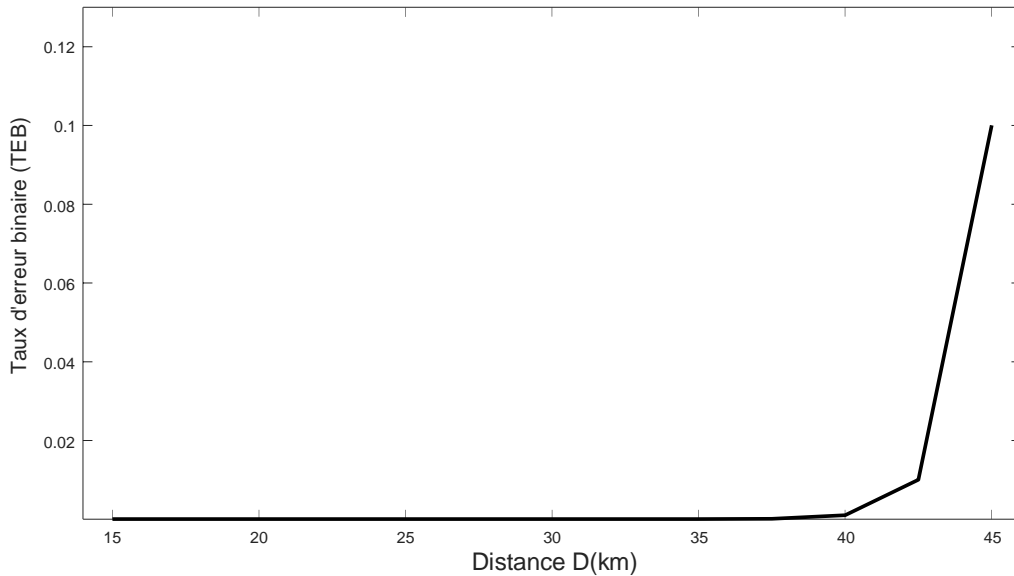


*Figure(III.9): effet de la distance sur le facteur de qualité*

Le tableau ci-dessous montre le changement du taux d'erreur binaire (TEB) en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur .

TEB	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-11}$	$10^{-11}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$
Distance (km)	15	17,5	20	22,5	24,8	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45

*Tableau(III.2) : effet de la distance sur le taux d'erreur binaire*



*Figure(III.10) : effet de la distance sur le taux d'erreur binaire*

A partir de résultats obtenus nous constatons que plus on augmente la distance plus la qualité de transmission décroît, Le facteur de qualité Q et le BER sont meilleurs pour les portées inférieures à 30Km.

les différentes dégradations dues principalement par les effets linéaires et non linéaire.

### **III.5.1 Effet de variation du débit et du nombre d'utilisateurs:**

Dans ce qui va suivre on va faire varier le débit dans le sens montant et descendant, ainsi le nombre d'utilisateurs pour voir l'influence de ces paramètres sur la qualité de transmission.

#### **8 utilisateurs :**

Dans cette simulation on a fait la simulation avec 8 utilisateurs, la longueur de la fibre varie de 15 à 170 km. Les débits utilisés varie respectivement 622 Mbit/s pour A-PON, 1 Gbit/s pour E-PON, 1244 Mbit/s pour B-PON, 1.25 Gbit/s dans le sens montant et 2.5 Gbit/s dans le sens descendant pour G-PON. Les résultats sont représentés ci-dessous dans les figures (III.11 ,12 et 13) et le tableau(III.3).

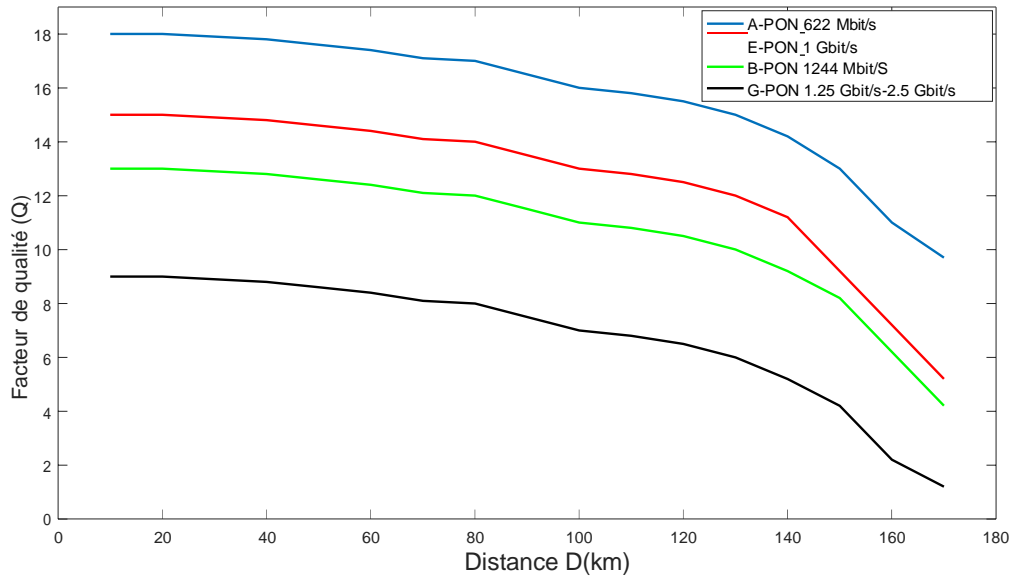


Figure (III.11) : Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (8 users)

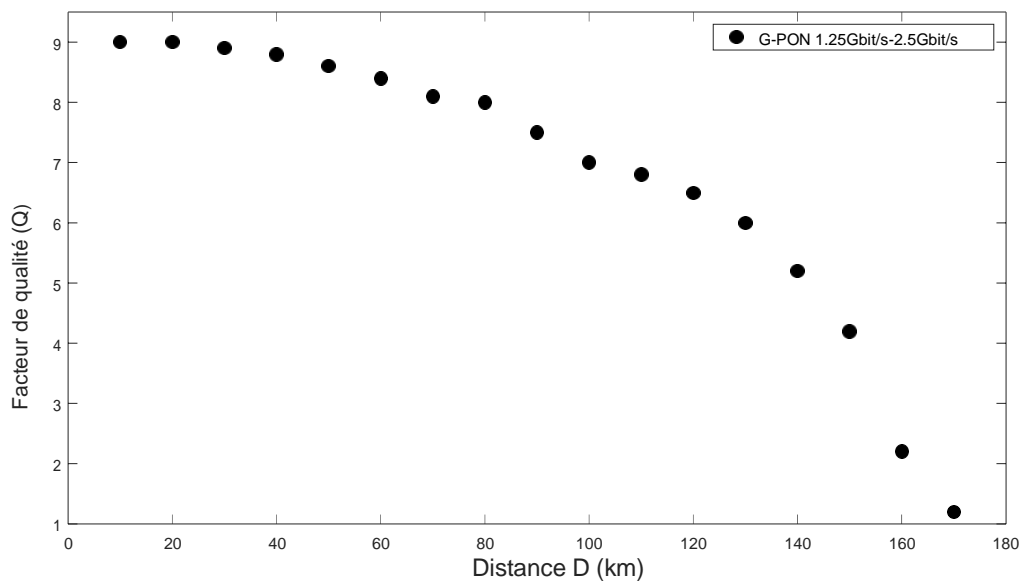


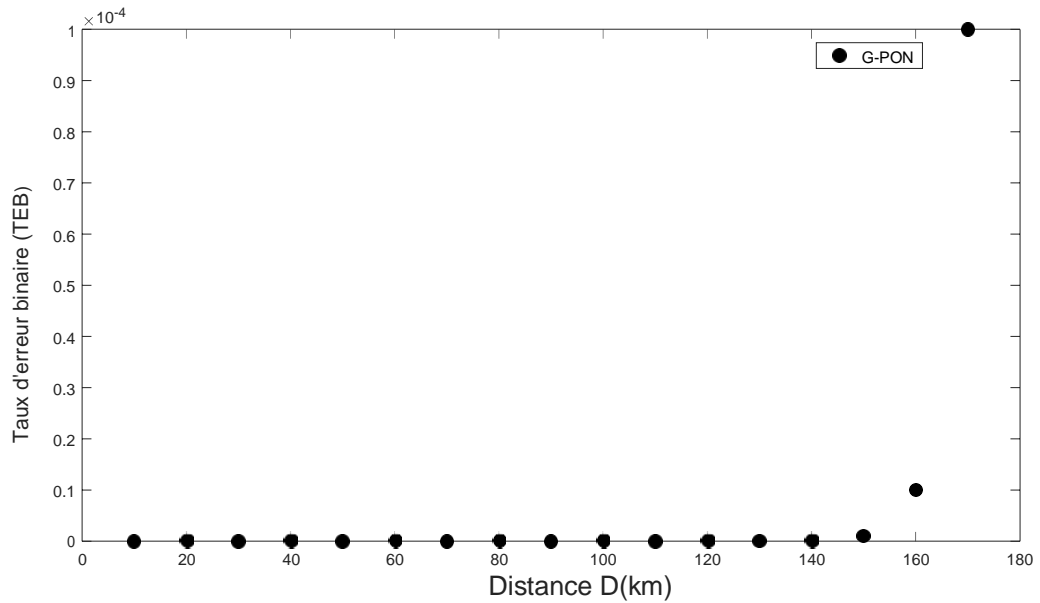
Figure (III.12) : Effet de la distance sur le facteur de qualité (8 users)

La figure (III.11) Ci-dessus montre une diminution du facteur de qualité en fonction de la distance. On constate une meilleure qualité de transmission pour l'A-PON par rapport aux autres normes. La qualité se détériore en augmentant le débit (sens montant ou descendant).

Dans ce qui va suivre on va étudier l'effet de la distance sur le taux d'erreur binaire (TEB).



La figure (III.13) illustre le taux d'erreur binaire en fonction de la distance, on remarque une augmentation du TEB et cela quel que soit le débit. On peut remarquer aussi qu'on a pu obtenir une qualité de transmission acceptable ( $TEB < 10^{-12}$ ) pour une distance variant entre 120 et 160 km.



*Figure(III.13) : Effet de la distance sur le taux d'erreur binaire (8 users)*

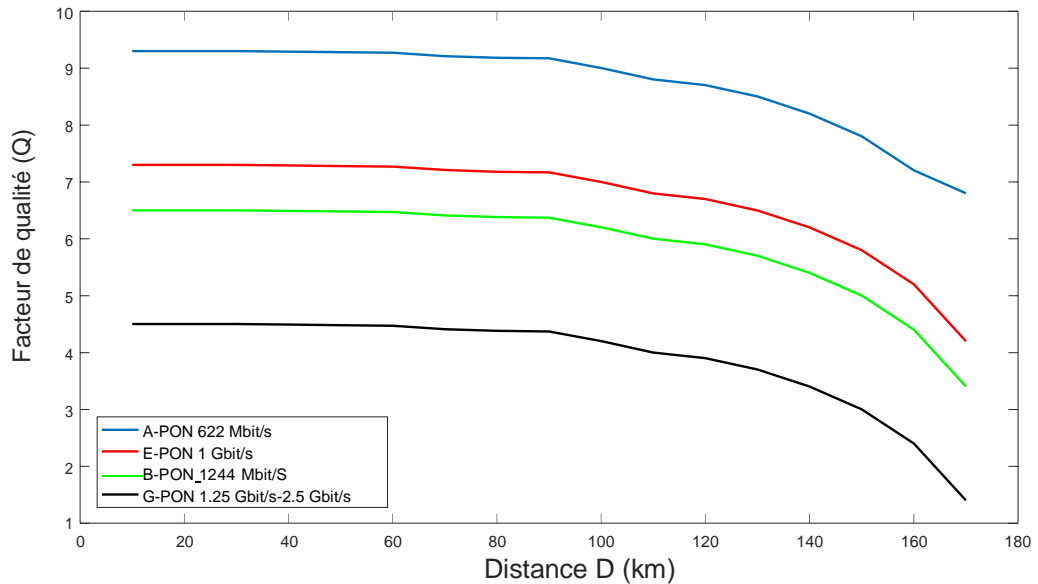
Le tableau (III.3) montre le taux d'erreur binaire en fonction de la distance, on peut voir que plus on augmente la distance plus on obtient une augmentation au niveau de taux d'erreur binaire (TEB), on peut remarquer que la distance maximale c'est 160 Km.

Distance (km)	TEB	Distance (km)	TEB
10	$10^{-20}$	100	$10^{-14}$
20	$10^{-20}$	110	$10^{-13}$
30	$10^{-20}$	120	$10^{-12}$
40	$10^{-20}$	130	$10^{-11}$
50	$10^{-19}$	140	$10^{-10}$
60	$10^{-19}$	150	$10^{-10}$
70	$10^{-17}$	160	$10^{-9}$
80	$10^{-16}$	170	$10^{-5}$
90	$10^{-15}$	180	$10^{-5}$

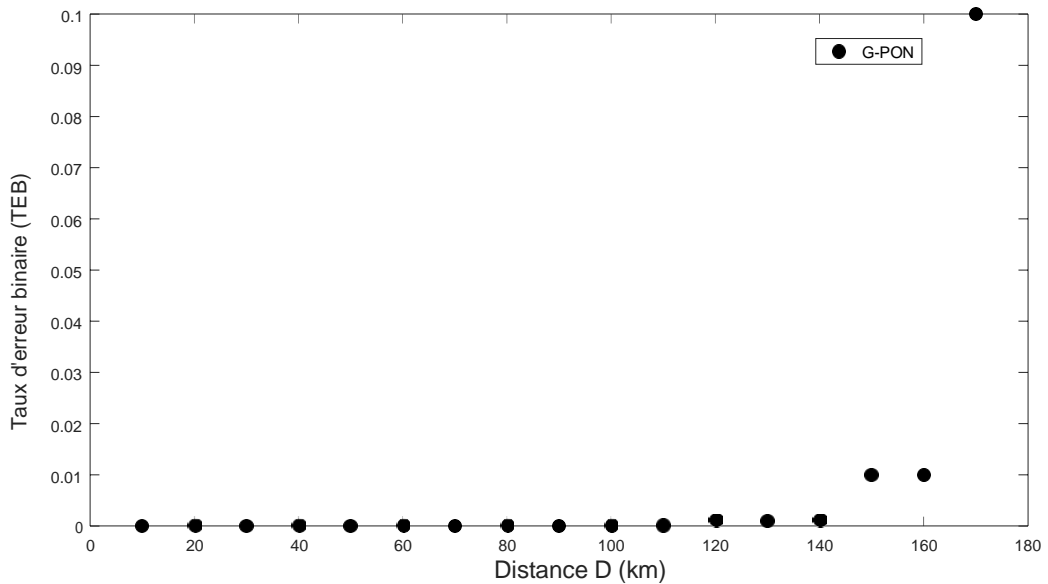
*Tableau(III.3) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (8 users)*

**16 utilisateurs :**

Nous avons procédé de la même manière qu'avec les 8 utilisateurs, les résultats sont représentés ci-dessous dans les figure (III.14 et 15) et le tableau(III.4).



*Figure (III.14) : Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (16 users)*



*Figure (III.15) : Effet la distance sur le taux d'erreur binaire (16 users)*

On peut remarquer déjà que les résultats obtenus avec 16 utilisateurs ne sont pas les mêmes pour 8 utilisateurs.

La qualité de transmission se détériore avec le nombre d'utilisateurs. Une autre

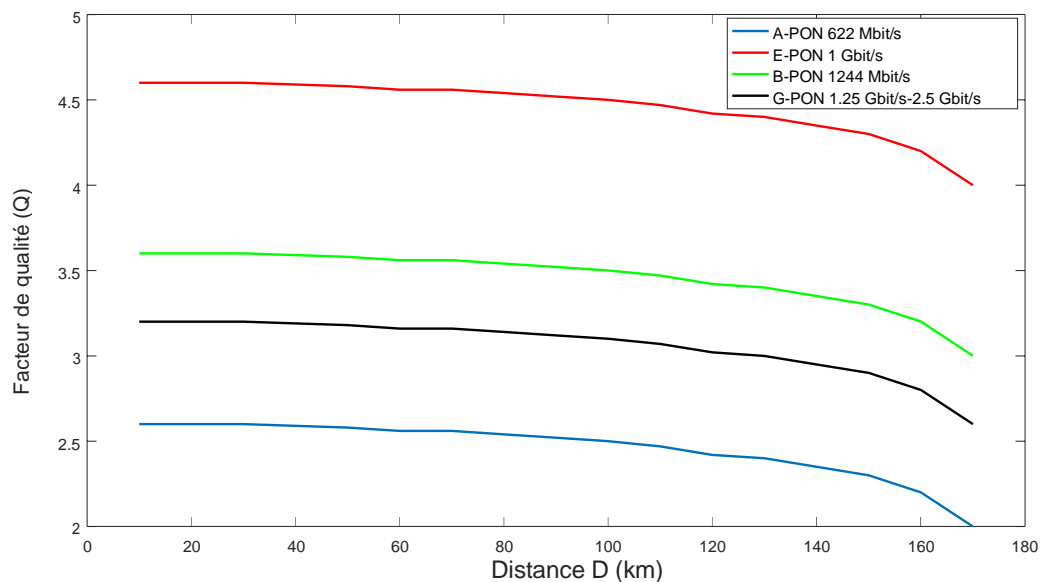
remarque concerne la distance entre l'émetteur et le récepteur pour avoir une bonne qualité de transmission, a partir du résultat donnés on remarque que la qualité n'est plus acceptable .

Distance (km)	TEB	Distance (km)	TEB
10	$10^{-6}$	100	$10^{-6}$
20	$10^{-6}$	110	$10^{-5}$
30	$10^{-6}$	120	$10^{-4}$
40	$10^{-6}$	130	$10^{-4}$
50	$10^{-6}$	140	$10^{-4}$
60	$10^{-6}$	150	$10^{-3}$
70	$10^{-6}$	160	$10^{-3}$
80	$10^{-6}$	170	$10^{-2}$
90	$10^{-6}$	180	$10^{-2}$

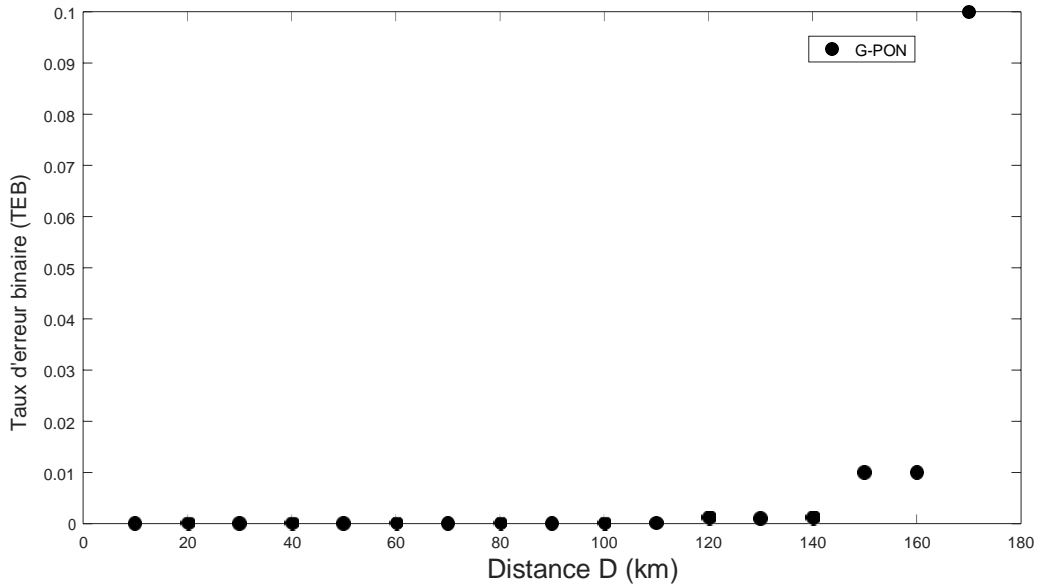
*Tableau(III.4) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (16 users)*

**32 utilisateurs :**

De la même manière qu'avec les 8 et 16 utilisateurs nous avons fait une simulation avec 32 utilisateurs, les résultats sont représentés ci-dessous dans les figure (III.16 et 17) et le tableau(III.5).



*Figure (III.16) : Effet du débit et de la distance sur le facteur de qualité (32 users)*



*Figure (III.17) : Effet de la distance sur le taux d'erreur binaire (32 users)*

Lorsqu'on fait la simulation avec 32 utilisateurs on peut observer que les résultats sont complètement différents de ceux qu'on a obtenue avec 8 et 16 utilisateurs.

On remarque encore une déclinaison au niveau de la qualité de transmission , ce qui montre l'impact du nombre d'utilisateur et de la distance entre l'OLT et l'ONU sur la qualité du transmission.

Distance (km)	TEB	Distance (km)	TEB
10	10 <sup>-4</sup>	100	10 <sup>-4</sup>
20	10 <sup>-4</sup>	110	10 <sup>-3</sup>
30	10 <sup>-4</sup>	120	10 <sup>-2</sup>
40	10 <sup>-4</sup>	130	10 <sup>-2</sup>
50	10 <sup>-4</sup>	140	10 <sup>-2</sup>
60	10 <sup>-4</sup>	150	10 <sup>-2</sup>
70	10 <sup>-4</sup>	160	10 <sup>-2</sup>
80	10 <sup>-4</sup>	170	10 <sup>-1</sup>
90	10 <sup>-4</sup>	180	10 <sup>-1</sup>

*Tableau(III.5) : Effet de la distance sur le TEB pour un réseau G-PON (32 users)*

D'après le tableau(III.5) on remarque que le taux d'erreur binaire est faible quel que soit la distance, et le débit utilisé dans le sens montant ou le sens descendant.

Donc on conclut que le cas de 8 utilisateurs offre un meilleur résultat du point de vue de qualité de transmission et du taux d'erreur binaire pour une distance allant jusqu'à 170 km.

### **III.6 Conclusion :**

Dans notre étude de la liaison G-PON bidirectionnelle, on a concentré sur la qualité de transmission en fonction des paramètres suivants: débit de la liaison, distance entre l'émetteur et le récepteur et le nombre d'utilisateur , et pour accomplir notre étude on a ciblé deux critères pour évaluer la qualité de transmission qui sont le facteur de qualité (Q) et le taux d'erreur binaire (TEB).

En étudiant la liaison G-PON bidirectionnelle, tout d'abord on a fait varier le débit comme suivant ; 622Mbit/s, 1244Mbit/s, 1Gbit/s, 1.25Gbit/s(dans sens montant), et 2.5Gbit/s (dans le sens descendant) qui correspondent respectivement aux standards APON, BPON, EPON, GPON. On a remarqué que plus on augmente le débit plus la qualité de transmission se détériore.

Après, pour le standard G-PON on a joué sur le nombre d'utilisateurs et la distance entre l'OLT et l'ONU, et à partir du résultats obtenus on a trouvé que la meilleure qualité de transmission est avec 8 utilisateurs.

## Conclusion Générale

Pour satisfaire l'énorme demande de la bande passante et des offres de services à large bande, la technologie FTTH est désormais une technologie qui devra être mise en service vu qu'elle a plusieurs avantages, la conception d'un réseau FTTH nous a permis d'atteindre des débits largement supérieurs à ceux de l'ADSL utilisés.

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

Dans le premier chapitre nous avons étudié les différents types des réseaux d'accès et la description des réseaux FTTx, dites réseaux optiques passifs PON, après on a vu les différentes architectures et standards, et les débits offerts avec une comparaison entre ces standards.

Au cours de deuxième chapitre, nous avons étudié les différents équipements qui constituent un réseau PON ainsi que l'exploitation d'un réseau FTTH dans une ville.

Dans le troisième et le dernier chapitre nous avons effectué une simulation de la technologie GPON avec une fibre bidirectionnelle à l'aide de logiciel OPTISYTEM afin d'évaluer la qualité de transmission en variant quelques paramètres (débit, nombre d'utilisateurs...etc) qui peuvent avoir un impact sur la qualité de transmission, cela nous a permis de voir le changement des critères qu'on a ciblés (facteur de qualité, BER) au cours de notre simulation.

Nous avons conclu qu'avec l'utilisation de la technologie GPON on peut atteindre des débits importants avec une bonne qualité de transmission.

# *Bibliographie*

- [1]:ADOMAYA Cédric.“IMPLEMENTATION DU FLEXIGRID WDM DANS UN RESEAU D’ACCES OPTIQUE”.UNIVERSITE D’ABOMEY-CALAVI,2019.
- [2]:R et M France ; 09/2006 << Déploiement FTTH >>.
- [3]: Cercle C.R.E.D.O . “Développement des réseaux à très haut débit Guide de mise en place de réseaux fibres optiques FTTH“. Juin 2007.
- [4]:Livre Blanc -Titre < Les réseaux PON (Passive Optical Network) >-18/12/2006.
- [5]:ABDOULAYE HALIDOU Bachirou et KANTE Souleymane , “Etude et planification du réseau FTTH pour les transmissions optiques à haut débit”. Master's thesis, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana ,2018.
- [6]:«mémoire sur les réseaux FTTH»- juillet2009 ; COGISYS ;Architecture des systèmes de communication.
- [7]: Recommandation UIT-T G.982 (11/96), Réseaux d’accès optiques pour la prise en charge des services fonctionnant jusqu’au débit primaire du RNIS ou à des débits équivalents.
- [8]:Recommandation ITU-T G.983.1 (1998), Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).
- [9]:A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.
- [10]:Patrick Gielkens – RBC, Product SME – FTTH February 27th, 2020
- [11]: ITU-T G.984.2 (2003) amendment 2, PMD Layer Specification, March 2008.
- [12]: Fabia Nirina Raharimanitra.Contribution à l’étude des architectures basées sur le multiplexage en temps et en longueur d’onde dans le réseau d’accès, permettant la migration vers la nouvelle génération de PON (NG-PON) à 10 Gbits/s. Optique / photonique. Télécom Bretagne, Université de BretagneSud, 2012. Français. fftel-00740848
- [13]: « Mémoire SUR LES RESEAUX FTTH » - Juillet 2009 ; COGISYS ; Architecture des systèmes de communication
- [14]:Recommandation ITU-T G.989.2 (2014) – Amendment 1(04/2016), 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendment 1.
- [15]: Dr. Hadj Ali BAKIR,Polycopié de cours destiné aux étudiants Master 2 en télécommunication,Université Hassiba Benbouali de Chlef,2019.
- [16]:<https://medium.com/@choquantecp/wdm-pon-vs-gpon-vs-xg-pon-5cf009d3414b>
- [17]: Martin Maier (Université du Québec, Montréal) & Dr Navid Ghazisaidi (Verizon) aux Presses universitaires de Cambridge , 2011.
- [18]: HAMCHAOUI Massinissa et AMARA Serina. “Etude d’un système FTTH (Fiber To The Home)“.Master's thesis ,UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA 2019
- [19] : Tel. Louazani et Meddane. “Etude Des Reseaux D’acces Optique Exploitant Le Multiplexage En Longueurs D'onde”. Master's thesis, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID- TLEMCEN, 2017.
- [20]: MAATALLA Meriem et OUZANI Siham.”Étude et simulation d’un réseau de transmission à très haut débit FTTH.”, INSTITUT NATIONAL DES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET DES TECHNOLOGIES DE L’INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION ABDELHAFID BOUSSOUF, Juin 2019.
- [21]: ©1996-2019 Focus Technology Co., Ltd.
- [22]: Chine De Bonne Qualité Câble à fibre optique Fournisseur . © 2016 - 2020 ttifiber.com
- [23]: Laurent Guillo, Naveena Genay & Philippe Chanclou, Recherche &

Développement, RESA/ANA ,Septembre 2009, FTTx et systèmes GPON.

[24]: Alaa Hamza Khader , "Bidirectional Wave Division Multiplexing Passive Optical Networks", thèse de master , The Islamic University of Gaza, March, 2013.

[25]: "WDM-PON is a key component in next generation access",

www.Lightwave.htm »,2019 Lightwave Innovation Reviews Scores, 03 Mars 2019.

[26]: "WDM-PON is a key component in next generation access", www.Lightwave.htm », 2019 Lightwave Innovation Reviews Scores, 03 Mars 2019.

[27]: Francis RICHARD,"Etude des architectures optiques pour le réseau local domestique, basées sur la fibre multimode (polymère et silice) et le multiplexage en longueur d'onde",THÈSE DE DOCTORAT, ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET MATHÉMATIQUES (STIM)2012.

[28]: Martin Maier (Université du Québec, Montréal) & Dr Navid Ghazisaidi (Verizon) aux Presses universitaires de Cambridge (2011).

[29] : <https://community.fs.com/fr/blog/an-overview-of-gpon-ftth-access-network.html>

[30] : Copyright © 2020 Vodafone New Zealand Ltd



## **Résumé :**

Le GPON est basé sur une architecture point à multipoint à base de multiplexage temporel. Il présente une architecture passive optique à base d'un coupleur achromatique pour permettre une transmission des longueurs d'onde 1.3, 1.49 et 1.55  $\mu\text{m}$ .

La norme ITU-T définissant le GPON (Giga PON) est la série G.984.x. Le GPON utilise un multiplexage temporel pour 16, 32, 64 (voir 128 utilisateurs) qui partagent un débit de 2.5 Gbit/s pour le sens descendant et 1.25 Gbit/s pour le sens montant.

Dans ce travail, on s'intéresse à étudier la conception, configuration et les performances d'un réseau GPON qui utilise la fibre optique comme un support et l'une des techniques d'accès multiple en termes de Taux d'Erreur binaire (TEB) et le facteur de qualité Q. Les résultats vont être obtenu à l'aide du logiciel de simulation Optisystem .

**Mots clés :** Fibre optique, techniques d'accès, GPON optique, Optisystem.

## **Abstract :**

GPON is based on a point-to-multipoint architecture using time-division multiplexing. It features a passive optical architecture based on an achromatic splitter to allow transmission of 1.3, 1.49 and 1.55  $\mu\text{m}$  wavelengths.

The ITU-T standard defining GPON (Giga PON) is the G.984.x series. GPON uses time-division multiplexing for 16, 32, 64 (see 128 users) sharing a data rate of 2.5 Gbit/s for downlink and 1.25 Gbit/s for uplink.

In this work, we are interested in studying the design, configuration and performance of a GPON network that uses optical fiber as a medium and one of the multiple access techniques in terms of Bit Error Rate (BER) and Quality Factor Q. The results will be obtained using the simulation software Optisystem.

**Keywords:** Optical fiber, access techniques, optical GPON, Optisystem .