

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



# Mémoire de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Système des Télécommunications

Présenté par

SELMANI ZAKARIA

&

BOUHIANI SOFIANE

## Systeme d'accès optiques G-PON

Proposé par : ABED AHCENE & HOUARI ABDERRAHMANE

Année Universitaire 2021-2022

## Dédicaces

---

*Je dédie ce modeste travail :*

*À celle qui attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, A mon chers  
père & A ma chère mère, à qui je souhaite une longue vie. À celui qui m'a appris le  
sens de la vie à mon symbole de foi et de courage.*

*À mon cher frère et mes chers Sœur.*

*À toute ma famille sans exception.*

*À qui pense toujours et prier pour moi.*

*À tous mes chers amis.*

*Lokman Ali Charaf Fayçal Abdou Otman Arbi*

*Taki Younes*

*Zakaria.*

## Dédicaces

---

*Je dédie ce mémoire ...*

*A la femme qui m'a mis au monde, celle qui a sacrifié tout pour moi,*

*Son bonheur, sa santé : ma mère, le noyau de mon esprit*

*A mon père, source d'énergie de ma réussite,*

*Ecole de mon éducation et principe de la vie,*

*Que DIEU les préserve pour moi.*

*A ma femme N-H qui m'a encouragé dans les moments difficiles et m'a donné tout  
son temps.*

*A mon cher Frère Youcef et à ma Sœur Siham.*

*A toutes ma famille.*

*A mes chers amis*

*Otman-Lokman-Ali-Charaf-Fayçal-Arbi-Younes-Taki-Fathi.*

*Sofiane.*

## Remerciements

---

Nous aimerions tout d'abord remercier Allah le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné l'effort et le courage d'améliorer nos études et d'élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos parents, nos familles et nos amis trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements de tous les instants.

Et nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation tout au long de notre cycle.

Nos remerciements vont aussi à notre encadreur Mr **Houari Abderrahmane** chef de centre d'amplification Boufarik et Notre Co-encadreur Monsieur **Abed Ahcene**.

---

## ملخص:

في الآونة الأخيرة، تطورت شبكات الوصول بسرعة كبيرة، مما يعني زيادة حادة في متطلبات النطاق الترددي للمستخدمين. ونتيجة لذلك، دخلت الألياف البصرية إلى المنازل في السنوات الأخيرة، عبر روابط FTTH والتي تستند إلى تقنية G-PON، يشير هذا النوع من الشبكات الضوئية إلى بنية من نقطة إلى نقطة متعددة النقاط بناءً على تعدد زمني لنقل بيانات لكل مستخدم.

يعتمد عملنا على شبكة FTTH، ويتم محاكاة هذه الشبكة باستخدام برنامج OPTISYSTEME من أجل تقييم أداء هذه الشبكة من حيث BER ومخطط العين والذي يجعل من الممكن مناقشة الجودة من نظام الإرسال البصري.

الكلمات المفتاحية: **Fibre Optique, Réseau d'accès, OPTISYSTEM**

---

## Résumé :

Ces derniers temps, les réseaux d'accès se sont développés très rapidement, ce qui suppose une forte augmentation des besoins en bande passante pour les utilisateurs, De ce fait la fibre optique a fait son entrée dans les foyers depuis quelques années, par les liaisons FTTH qui sont basées sur la technique G-PON, Ce type de réseau optique passif désigne une architecture point-multipoint basée sur un multiplexage temporel de la transmission de données de chaque utilisateur.

Notre travail est basé sur le réseau FTTH, La simulation de ce réseau est réalisée grâce au logiciel OptiSystem Optiwave afin d'évaluer les performances de ce réseau en termes de BER et diagramme de l'œil et qui permettant de discuter la qualité du système de transmission optique.

Mots clés : **Fibre Optique, Réseau d'accès, OPTISYSTEM**

---

## Abstract :

In recent times, access networks have developed very rapidly, which implies a sharp increase in bandwidth requirements for users. As a result, optical fiber has entered homes for a few years, through connections FTTH which are based on the G-PON technique, This type of passive optical network designates a point-to-multipoint architecture based on time division multiplexing of the data transmission of each user.

Our work is based on the FTTH network, the simulation of this network is carried out using the OptiSystem Optiwave software in order to evaluate the performance of this network in terms of BER and eye diagram and which makes it possible to discuss the quality of the system of optical transmission.

Key word : **Optical Fiber, Access Network, OPTISYSTEM**

---

# Listes des acronymes et abréviations

---

## A

**ATM** : Asynchronous Transfert Mode.

**APON** : ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

**APD** : Avalanche Photo Diode.

**AON** : Active Optical Network

## B

**BPON** : Broadband Passive Optical Network.

**BER** : Bit Error Rate.

**BPI** : Boitier Pied de l'Immeuble.

## C

**CA** : Centre d'Amplification.

## D

**DEL** : Light-Emitting Diode.

**DL** : Diode Laser.

**DEMUX** : démultiplexeurs.

## E

**EPON** : Ethernet Passive Optical Network.

## F

**FTTX** : Fiber To the ...

**FTTH** : Fiber to the Home.

**FTTB** : Fiber to the Building.

**FTTC** : Fiber to the Curb.

**FSAN** : Full Service Access Network.

**FO** : Fibre optique.

## G

**GPON** : Gigabit Capable Passive Optical Network.

## I

**ITU-T** : Union International des Télécommunications secteur Télécommunication.

**ITU** : International Télécommunication Union.

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

## L

**LASER** : Light Amplification by Simulated Emission of Radiation.

**LED** : Light Emitting Diode.

## **M**

**MUX** : Multiplexing / multiplexeur.

## **N**

**NA** : Noeud d'Accès.

**NF** : Nœud de flexibilité.

**NRO** : Noeud de Raccordement Optique.

**NRZ** : Non-Return to Zero.

## **O**

**OLT** : Optical Line Termination.

**ONT** : Optical Network Termination.

**ONU** : Optical Network Unit.

**OptiSystem** : Optical Communication System Design.

## **P**

**PON** : Passive Optical Network.

**PIN** : Positive Intrinsic Negative photodiode.

**P2P** : Point To Point.

**P2M** : Point To MultiPoint.

**PTO** : Prise Terminal Optique.

**PBO** : Point du Branchement Optique.

**PC** : pointe de concentration.

**PM** : point de mutualisation.

## **Q**

**Q** : facteur de qualité.

## **S**

**SDH** : Synchronous Digital Hierarchy.

**SRO** : Sous Répartiteur Optique.

**SR** : Sous-Répartiteur.

## **T**

**TEB** : Taux D'erreur Binaire.

**TDM** : Time Division Multiplexing.

**TDMA** : Time Division Multiple Access.

## **W**

**WDM** : Wavelength Division Multiplexing.

# Table des matières :

---

INTRODUCTION GENERALE :.....	1
<b>I. Chapitre 1 : Généralité sur la liaison optique :.....</b>	<b>2</b>
I.1 Introduction : .....	3
I.2 Définition d'une liaison par fibre optique :.....	3
I.2.1 Emetteur optique : .....	3
I.2.1.1 Source optique :.....	4
I.2.1.2 Modulateurs : .....	4
I.2.2 Récepteur optique :.....	5
I.2.3 Fibre optique : .....	6
I.2.3.1 Structure de la fibre optique : .....	6
I.2.3.2 Types de fibre optique : .....	7
I.2.3.3 Caractéristiques de la fibre optique :.....	9
I.2.3.4 Applications de la fibre optique :.....	12
I.2.3.5 Aventure et les inconvénients de la fibre optique : .....	13
I.3 Conclusion :.....	13
<b>II. Chapitre 2 : Les Réseau D'accès Optique : .....</b>	<b>14</b>
II.1 Introduction : .....	15
II.2 Réseaux d'accès optiques : .....	15
II.2.1 Technologie FTTX :.....	15
II.2.1.1 FTTC (Fiber to the Curb) : .....	16
II.2.1.2 FTTB (Fiber To The Building) :.....	16
II.2.1.3 FTTH (Fiber To The Home) :.....	17
II.3 Architecture des réseaux FTTH :.....	17
II.3.1 Architecture optique actives (AON) :.....	18
II.3.2 Architecture point à point (P2P) :.....	18
II.3.3 Architecture point à multipoint : .....	19
II.4 Comparaison entre les trois architecture P2P - P2M et AON : .....	20
II.5 Structure du réseau FTTH : .....	21
II.5.1 Nœud de raccordement optique (NRO) :.....	21
II.5.2 Sous répartiteur optique (SRO) : .....	22
II.5.3 Point de branchement optique (PBO) :.....	23
II.5.4 Prise terminal optique (PTO) : .....	23



II.6	Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network) :.....	24
II.6.1	Etude des éléments d'un réseau optique passif (PON) :.....	25
II.6.1.1	OLT (Optical Line Terminal) :.....	25
II.6.1.2	ONU (Optical Network Unit) :.....	27
II.6.1.3	Coupleur optique (splitter) :.....	27
II.6.2	L'architecture d'un réseau PON :.....	28
II.6.3	Principe de fonctionnement d'un réseau PON :.....	29
II.7	Différents standards d'un réseau PON : .....	31
II.7.1	Norme A-PON (ATM-PON) :.....	31
II.7.2	Norme B-PON (Broadband-PON) :.....	31
II.7.3	Norme E-PON (Ethernet PON) :.....	32
II.7.4	Norme G-PON (Gigabit PON) :.....	32
II.8	Performances d'un réseau optique passif : .....	33
II.8.1	Sécurité du PON :.....	33
II.8.2	Fiabilité du PON :.....	34
II.9	Avantages et inconvénients d'un réseau PON :.....	34
II.10	Conclusion :.....	34
<b>III.</b>	<b>Chapitre 3 : simulation d'un réseau FTTH G-PON ET FTTH B-PON :.....</b>	<b>35</b>
III.1	Introduction : .....	36
III.2	Présentation d'entreprise d'accueil :.....	36
III.2.1	Historique :.....	37
III.3	Présentation du logiciel Optisystem :.....	38
III.3.1	Description du logiciel optisystem :.....	38
III.3.2	Applications d'Optisystem :.....	39
III.3.3	Paramètres de qualité d'une liaison optique : .....	39
III.3.3.1	Le taux d'erreurs binaire :.....	39
III.3.3.2	Le facteur de qualité :.....	40
III.3.3.3	Diagramme de l'œil :.....	40
III.4	Étude des performances d'un réseau FTTH GPON :.....	41
III.4.1	Influence de la longueur de liaison optique OLT-ONT :.....	45
III.4.2	Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q.....	48
III.5	Conclusion :.....	50
	Conclusion générale :.....	64
	Bibliographie.....	65

## Liste des figures :

---

Figure I-1 Schéma synoptique d'un système de transmission optique. ....	3
Figure I-2 Structure d'un émetteur optique. ....	4
Figure I-3 Structure d'une fibre optique. ....	7
Figure I-4 Fibre monomode [30] ....	8
Figure I-5 Fibre à saut d'indice [30] ....	8
Figure I-6 Fibre a gradient d'indice [30] ....	9
Figure I-7 les causes d'atténuation. ....	10
Figure I-8 Dispersion modale. ....	11
Figure I-9 Dispersion chromatique. ....	12
Figure II-1 Topologie FTTX ....	16
Figure II-2 Structure d'un réseau FTTC. ....	16
Figure II-3 Structure d'un réseau FTTB. ....	17
Figure II-4 Structure d'un réseau FTTH ....	17
Figure II-5 Architecture point à point. ....	18
Figure II-6 Architecture point à multipoint. ....	19
Figure II-7 Chemin de la fibre ....	21
Figure II-8 Nœud de raccordement NRO ....	22
Figure II-9 Sous Répartiteur Optique ....	23
Figure II-10 Boitier Pied Immeuble. ....	23
Figure II-11 Prise Terminal Optique. ....	24
Figure II-12 les différents éléments d'un réseau PON. ....	25
Figure II-13 Les éléments constitutifs du PON. ....	25
Figure II-14 Optical Line Terminal (OLT). ....	26
Figure II-15 Shèma du module SFP de l'OLT ....	26
Figure II-16 Module Optique HUAWAI ....	26
Figure II-17 Coupleur Optique. ....	27
Figure II-18 Différents architecture utilisé en PON ....	28
Figure II-19 PON en sens montant ....	29
Figure II-20 PON en sens descendant. ....	30
Figure II-21 Architecture PON unidirectionnelle [27] ....	30
Figure II-22 Architecture PON bidirectionnelle [27] ....	31
Figure III-1 Interface graphique du logiciel Optisystem. ....	38
Figure III-2 Le diagramme de l'œil. ....	40
Figure III-3 Réseaux G-PON ....	41
Figure III-4 Réseaux G-PON [28] ....	41
Figure III-5 Chaîne de transmission FTTH GPON pour 4 lignes. ....	42
Figure III-6 Chaîne de transmission FTTH GPON pour une ligne. ....	42
Figure III-7 Bloc d'émission OLT. ....	43
Figure III-8 Canal de transmission du réseau FTTH GPON. ....	43
Figure III-9 Les paramètres de la fibre ....	44
Figure III-10 Paramètre d'Optical attenuator. ....	44

Figure III-11 Présentation de l'ONT. ....	45
Figure III-12 Le graphique l'évolution des performances (Q) .....	46
Figure III-13: diagramme de l'œil par variation de distance.....	47
Figure III-16 Le graphique l'évolution des performances (Q). ....	48
Figure III-17 Diagramme de l'œil par variation de débit. ....	49

## Liste des tableaux

---

Tableau I-1 comparaison entre la fibre monomode et multimode. ....	9
Tableau I-2 Les différentes causes d'atténuation. ....	10
Tableau II-1 Avantages et inconvénients de réseau P2P.....	19
Tableau II-2 Avantages et inconvénients de réseau P2M .....	20
Tableau II-3 : Comparaison entre les trois architectures P2P, PON.....	20
Tableau II-4 comparaison des standards PON. ....	32
Tableau III-1 les valeurs issues de la variation de la distance le facteur (Q). ....	46
Tableau III-3 les valeurs issues de la variation de débit sur le facteur Q. ....	48

## **INTRODUCTION GENERALE :**

Les réseaux d'accès connaissent un développement très rapide que ce soit au niveau de l'accès fixe et radio au bien aux réseaux mobiles, les nouveaux services multimédias et les applications utilisent des bandes passantes très élevées, ces applications à besoin d'un accès très haut débit, cet accès est assuré par des réseaux optiques qui utilisent la fibre optique en tant que support de transmission.

A l'arrivée de la fibre optique, le monde des télécommunications a connu énorme développement dans la qualité de transmission, il offre une grande bande passante et débit très élevée par rapport à les autres technologies, De ce fait la fibre optique a fait son entrée dans les foyers depuis quelques années, à travers les liaisons très haut débit FTTH.

Dans ce cadre, l'objectif de notre projet sera de voir les améliorations apportées par la fibre optique, notre travail est porté plus exactement sur l'étude du réseau FTTH, divisée en trois chapitres.

Le premier chapitre est basé sur des généralités concernant la fibre optique, les différentes caractéristiques et composants de la chaîne de transmission optique.

Pour la deuxième partie, elle sera consacrée aux réseaux d'accès optiques, nous commencerons par des généralités sur les réseaux FTTx, puis les architectures des réseaux FTTH et la structure d'installation du réseau, et on finira notre chapitre par les architectures, les standards et Les performances d'un réseau PON.

Le troisième chapitre fait l'objet de la simulation du réseau FTTH, tout d'abord nous allons présenter l'entreprise de Algérie télécom et une brève description de notre outil logiciel de travail « OPTISYSTEM », notre simulation est faite sur le system G-PON

---

*I. Chapitre 1 : Généralité sur la liaison optique :*

---

### I.1 Introduction :

La transmission par fibre optique est devenue une technologie commune qui a fait ses preuves dans le domaine des télécommunications, le principe de cette transmission consiste à diffuser l'information entre un émetteur et un récepteur tout en réduisant les risques de déformation du signal reçu, pour garantir une fiabilité maximale du transfert d'informations.

Ce chapitre sera consacré sur l'évolution de la transmission et les différents éléments d'une liaison par fibre optique, Nous allons donc commencer par le système de transmission optique, Les types de la fibre optique ses caractéristiques, ses avantages et ses inconvénients.

### I.2 Définition d'une liaison par fibre optique :

Une liaison en fibre optique se compose d'un émetteur optique et un récepteur optique reliés par une fibre optique. Le principe de cette liaison est de transporter les données avec une fibre optique sous forme lumineuse d'un point d'émission vers un point de réception.

[01]

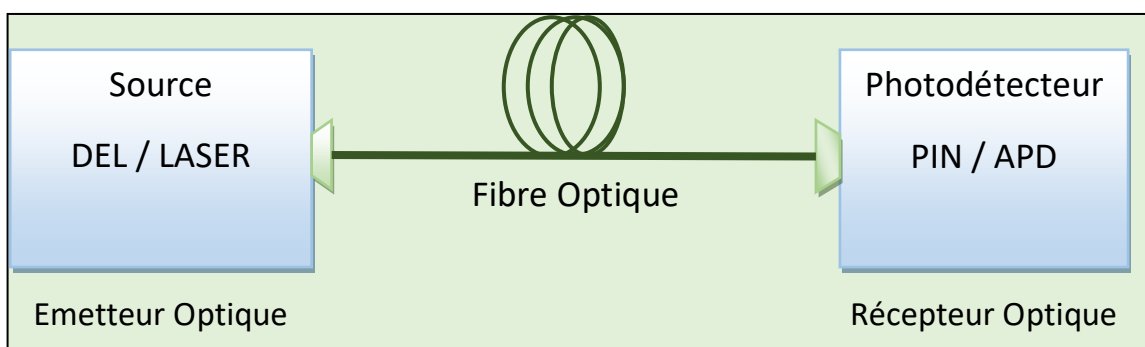


Figure I-1 Schéma synoptique d'un système de transmission optique.

Dans ce qui suit nous allons définir chaque élément de cette liaison.

#### I.2.1 Emetteur optique :

La partie émission d'une liaison optique contient plusieurs éléments. Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données.

La source optique et le modulateur parmi les composants très important.



Figure I-2 Structure d'un émetteur optique.

### I.2.1.1 Source optique :

Les sources optiques constituent des composants actifs dans le domaine de la communication par fibre optique leurs fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en énergie optique (conversion électro-optique). Le besoin d'augmenter la bande passante dans le système optique, impose le choix des sources à spectres réduit tel que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). [02]

- **Diode électroluminescente LED :**

Il s'agit d'une source incohérente et polychromatique, avec un spectre d'émission relativement large et un rayonnement moins directionnel, et est utilisé dans des systèmes de transmission qui n'exigent pas une bande passante très élevée.

- **Diode Laser (DL) :**

La diode laser est une source cohérente, monochromatique, et est utilisé pour les systèmes de transmission à grande distance, elle est caractérisée par :

- Une faible largeur spectrale
- Une bande passante importante.

### I.2.1.2 Modulateurs :

Utilisé pour convertir les données numériques en ondes, alors que les démodulateurs sont responsables de convertir les signaux optiques en données numériques, La meilleure façon de moduler et de démoduler le signal est d'utiliser des diodes laser.

Pour transmettre des informations à des systèmes optiques numériques, ils doivent être imprimés sur le signal afin d'être envoyés dans la fibre, ce que nous appelons la modulation, qui joue un rôle essentiel dans tout système de transmission, en effet cela nous permet de :

- Convertir l'information binaire en niveau de puissance de signal lumineuse.
- Produire des informations binaires à partir d'un signal physique.



Pour réaliser la modulation, on a deux possibilités.

- Modulation interne (direct)
- Modulation externe (indirect)

- **Modulation interne (directe) :**

La modulation directe peut être assimilée à une méthode de modulation classique, dans ce cas, le courant injecté à l'entrée des diodes est modulé directement, Cette modulation du courant qui traverse le laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation de l'intensité de la lumière émise. Plus le courant reçu par ses systèmes est élevé, plus l'intensité lumineuse qu'il délivrera sera élevée.

- **Modulation externe (indirect) :**

Un modulateur externe est un élément qui permet de moduler l'intensité ou la phase de la source lumineuse (LASER) en externe, Cette modulation est commandée par une tension externe qui est appliquée au modulateur.

La modulation externe offre plusieurs avantages. Il est plus rapide et peut donc transmettre des débits plus élevés.

### 1.2.2 Récepteur optique :

Le photo-détecteur est un élément essentiel pour les communications à fibre optique, Son rôle consiste à transformer le signal optique émis par la fibre optique en un signal électrique, à l'aide des dispositifs électroniques.

Les photo-détecteurs les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique sont les photodiodes PIN et APD. [02]

Dans la transmission optique les détecteurs doivent :

- Offrir un bon couplage de fibres.
- Avoir une bande passante suffisante.
- Être très sensible à la longueur d'onde qui fonctionne.
- Fiabilité élevée (efficacité quantique satisfaisante).
- Le délai de réponse est très court et le bruit supplémentaire est faible.

- **Photodiodes PIN (Positive Intrinsic Négative Photodiode) :**

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée de trois couches semi-conductrices : deux fortement dopées P+ et N+, entre lesquelles existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque), où il existe très peu de charges mobiles. Parce qu'elles sont peu coûteuses, simples à utiliser et de performance satisfaisante, les PIN sont les plus utilisées. [03]

- **Photodiode APD (Avalanche Photodiode) :**

Le APD (photodiode d'avalanche) est une diode PIN qui permet de réaliser une amplification de puissance, il est ainsi possible d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les APD sont aussi utilisées grâce à sa performance, leur gain important et la réponse la plus rapide, mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très grande. [03]

### I.2.3 Fibre optique :

La fibre optique désigne le support et la technologie associés à la transmission des données sous forme d'impulsions lumineuses émis par l'émetteur optique vers le récepteur optique dans un fil de verre ou de plastique très fin.

Il offre une vitesse d'information beaucoup plus élevée que des câbles coaxiaux et peuvent servir de support pour un réseau à large bande par lequel transitent aussi bien la TV, le téléphone, la visioconférence, ...etc. [04]

#### I.2.3.1 Structure de la fibre optique :

La fibre optique est composée de 3 éléments de base : un cœur, une gaine, un revêtement protecteur (une gaine en plastique).

- **Cœur** : Milieu diélectrique intérieur, conducteur de la lumière ou sera confiner la plus grande partie de l'énergie lumineuse véhiculé dans la fibre d'indice de réfraction  $n_1$ .
- **Gaine** : Entoure le cœur d'un milieu diélectrique, d'indice de réfraction  $n_2$  plus faible que celui du cœur. Les pertes des rayons lumineux se produisent dans la gaine.
- **Revêtement de protection** : Assure une protection mécanique de la fibre optique contre les parasites

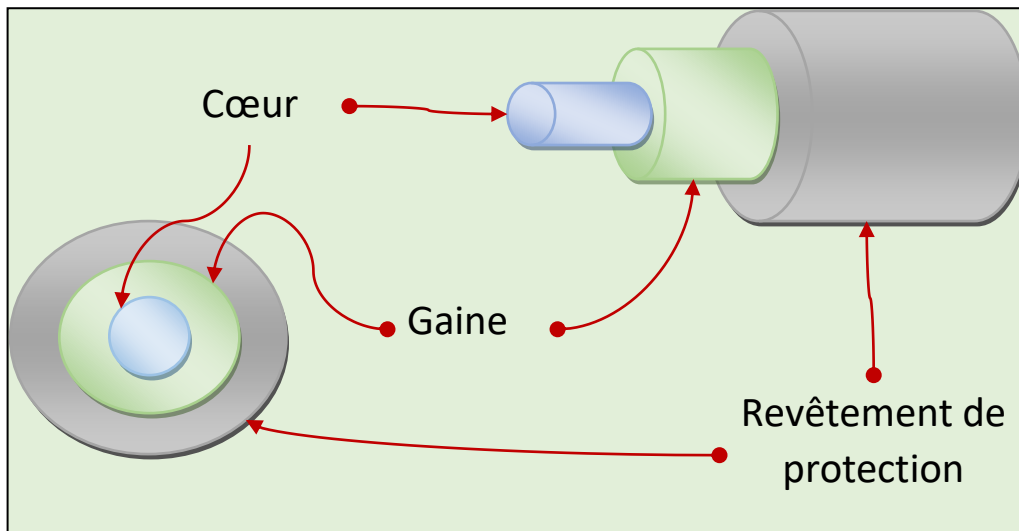


Figure I-3 Structure d'une fibre optique.

### I.2.3.2 Types de fibre optique :

Il existe deux types de fibre optique, la différence entre deux types dépend du diamètre de la fibre ainsi que de la façon dont la lumière est propagée au cœur de la fibre.

Ces deux types de fibre sont la fibre multimode et la fibre monomode.

- **Monomode** : où il n'existe qu'un seul mode de propagation de la lumière, le mode ligne droite.
- **Multimode** : lorsqu'il existe divers modes de propagation de la lumière dans le cœur de la fibre.

#### ➤ fibres optiques monomode :

La fibre optique monomode se caractérise par un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10  $\mu\text{m}$  en général), plus petit que le diamètre de la gaine (125 $\mu\text{m}$ ).

Un signal lumineux unique se propage au sein de cette fibre en ligne droite, La lumière est réalignée vers le centre au lieu de rebondir sur son bord comme dans la fibre multimode, Ce type de fibre est surtout utilisé en liaison longue distance à haut débit, et sa Bande passante environ de 10 GHz/km. [05]

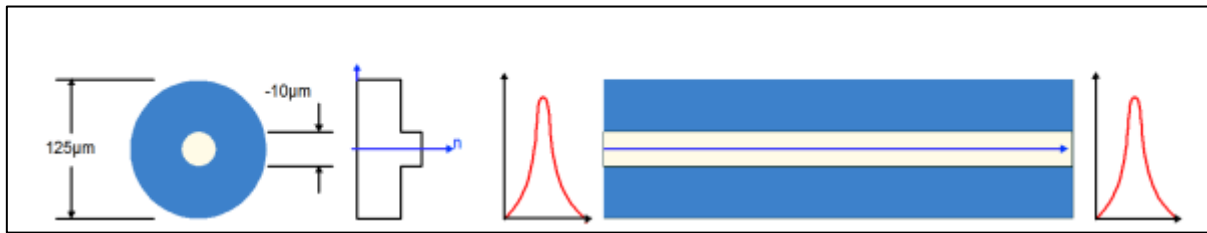


Figure I-4 Fibre monomode [30]

### ➤ fibres optiques Multimode :

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

#### • Fibre à saut d'indice :

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

La propagation de ses trajets lumineux se fait par différents chemins avec la même vitesse comme le montre la figure, le nombre des rayons arrive au récepteur avec des retards différentiels, mais ils deviennent importants pour les grandes distances qui engendrent une dispersion de l'énergie du signal, c'est pour cela que les fibres multimodes à saut d'indice sont destinées pour des transmissions courtes distances, et une bande passante comprise entre 10 et 50 Mhz/km. [05]

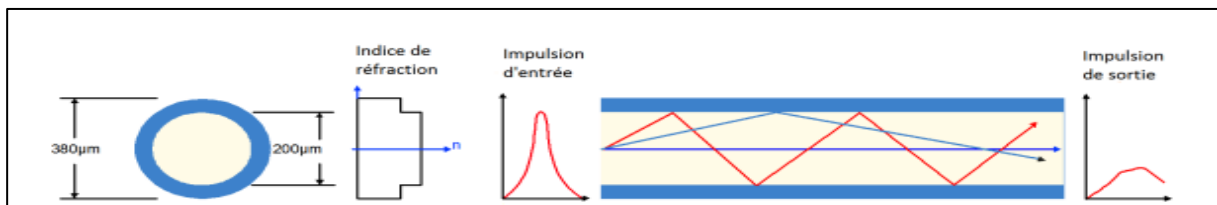


Figure I-5 Fibre à saut d'indice [30]

• **Fibre a gradient d'indice :**

Dans ces types de fibre, l'indice du cœur diminue progressivement vers l'extérieur à partir de l'axe du cœur vers l'interface cœur-gaine. Le diamètre du cœur est de 50  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ , les rayons lumineux à l'intérieur d'une fibre à gradient d'indice suivent un parcours sinusoïdal. Le cœur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche, cela permet de minimiser la dispersion modale, et comme tous les rayons sont refocalisés sur le centre de la fibre l'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faible que dans une fibre optique à saut d'indice, et sa bande passante se situant entre 100 et 1000 Mhz/km. [05]

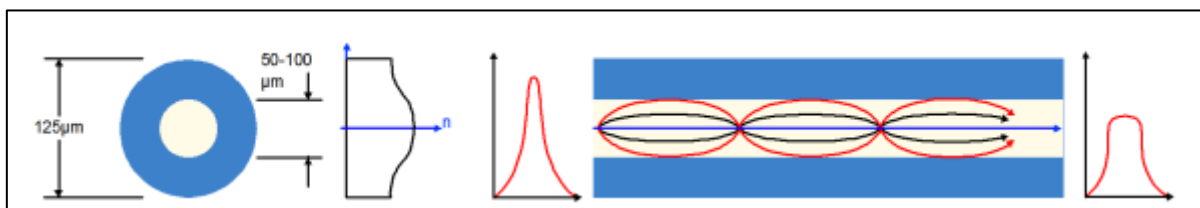


Figure I-6 Fibre a gradient d'indice [30]

Le tableau suivant résume la différence entre la fibre monomode et multimode :

Tableau I-1 comparaison entre la fibre monomode et multimode.

	Fibre monomode	Fibre multimode	
	/	Saute d'indice	Gradient d'indice
<b>Diamètre du cœur</b>	8 à 10 $\mu\text{m}$	100 à 200 $\mu\text{m}$	50 à 100 $\mu\text{m}$
<b>Bande passante</b>	10 GHz/km.	10 et 50 Mhz/km	100 et 1000 Mhz/km
<b>Atténuation</b>	0.1 à 0.5 dB/Km	3 dB/Km	1.5 à 3 dB/Km

**I.2.3.3 Caractéristiques de la fibre optique :**

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

➤ **L'Atténuation :**

Le signal dans la fibre optique perd de sa puissance quand il se propage et on appelle ce phénomène d'affaiblissement ou l'atténuation. Dans une fibre optique l'affaiblissement

## Chapitre 1 : Généralité sur la liaison optique

dépend de la longueur d'onde utilisée et la distance parcourue, est exprimée en dB ou dB/Km. [18]

L'atténuation provient principalement de phénomènes résumés dans la figure suivante [31] :

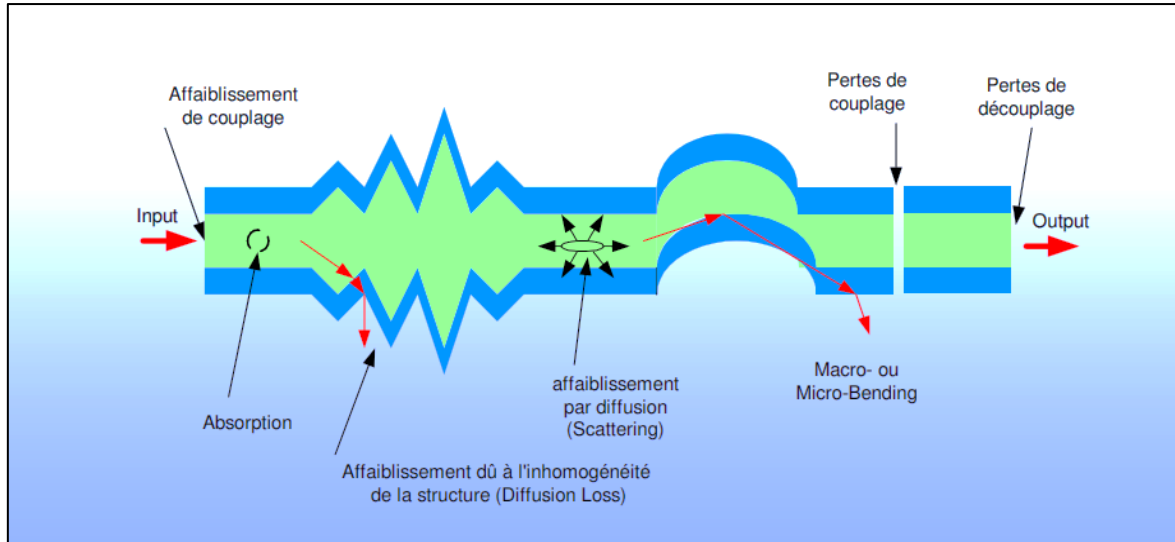
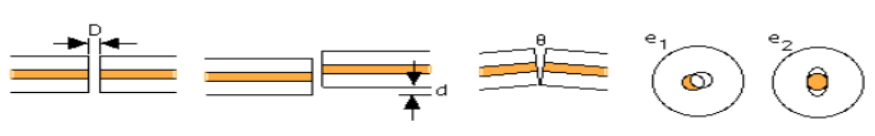


Figure I-7 les causes d'atténuation.

Le tableau suivant est pour expliquer les différents phénomènes de L'atténuation [19] :

Tableau I-2 Les différentes causes d'atténuation.

Types de pertes	Justification
<b>Absorption</b>	- Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
<b>Diffusion</b>	- Variation locale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. - Changement de densité ou de composition dans la matière.
<b>Courbes</b>	- Torsion dans la fibre non-respect du principe de réflexion totale interne.
<b>Couplage</b>	- Séparation longitudinale - Désalignement radial/angularaire - Excentricité/ellipticité du cœur 

### ➤ Dispersion :

Le phénomène de dispersion provoque la déformation du signal au cours de sa propagation dans la fibre, ce phénomène se traduit par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation,

Plusieurs phénomènes causant l'élargissement des impulsions lumineuses existent.

- Dispersion modale :

Qui résulte de la différence de temps de propagation des différentes modes qui se propagent dans la fibre multimode. [06]

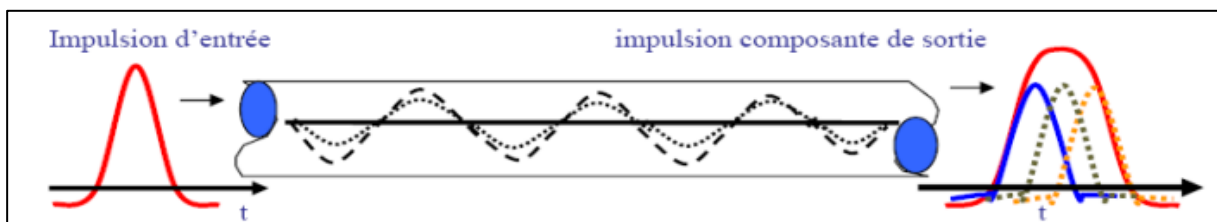


Figure I-8 Dispersion modale.

La dispersion modale est donnée par l'expression :

$$\Delta\tau_{\text{im}} = \frac{L \cdot (ON)^2}{2 \cdot C \cdot n_c}$$

Avec :

$ON$  : ouverture numérique.

$n_c$  : indice de réfraction du cœur.

$C$  : vitesse de la lumière dans le vide [m/s].

$L$  : longueur de la fibre [km].

- Dispersion chromatique :

Qui résulte de la différence de vitesses de groupes des différentes composantes spectrales du signal de transmission. [06]

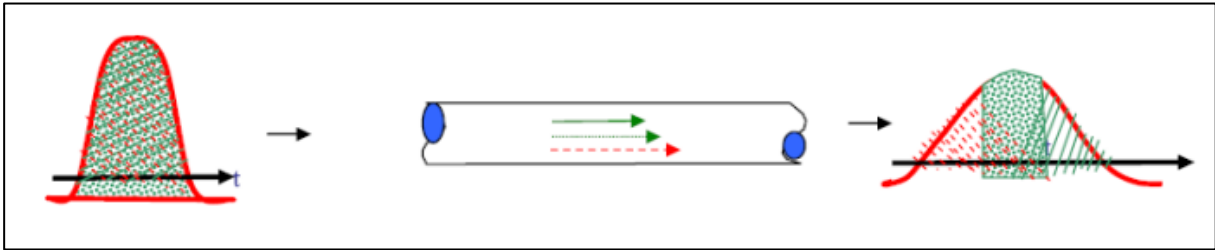


Figure I-9 Dispersion chromatique.

- Dispersion matériau :

L'élargissement est provoqué par le fait que l'indice de réfraction du verre est différent pour toutes les longueurs d'onde. Cette dispersion concerne les deux types de fibres optiques. Sa longueur d'onde est de 1300 nm.

- Dispersion de guidage :

Cette dispersion est due au fait que la lumière n'est pas strictement confinée dans le cœur. Et son élargissement tient au fait que la constante de propagation de la direction dépend de la longueur d'onde.

La dispersion chromatique est donnée par :

$$\Delta\tau_{ch} = D_{ch} \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

Avec :

$D_{ch}$  : coefficient de dispersion chromatique [Ps.nm<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>].

$\Delta\lambda$  : largeur spectrale de la source [nm].

$L$  : longueur de la fibre optique [km].

### I.2.3.4 Applications de la fibre optique :

Parmi les applications de la fibre optique nous pouvons citer :

- **L'audiovisuel** : pour la réalisation des réseaux câblés de télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné.
- **Domaine militaire** : la fibre optique répond aux besoins des lances missiles optiques, des systèmes de radars optiques ainsi que des systèmes de contrôles.
- **Les télécommunications** : pour la réalisation des réseaux à haut débit à grande distance en technologie WDM, SDH, ATM.



-

### I.2.3.5 Aventure et les inconvénients de la fibre optique :

#### ➤ **Avantage** [07] :

- Très faible atténuation.
- Bande passante très élevée.
- Faible poids, très petite taille, grande souplesse.
- Le système à fibre est plus facile et moins cher à fabriquer.

#### ➤ **Inconvénients** [07] :

- Puissance faible Les sources lumineuses sont limitées à une puissance faible,
- Fragilité La fibre optique est assez fragile et plus sensible aux dommages que les fils de cuivre.
- Les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer

## I.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé la structure globale de la chaîne de fibres optiques, et on a présenté les différents éléments qui forment la liaison optique, Avec une explication et définition pour chaque composant, et on y présente brièvement les avantages et les inconvénients des fibres optiques.

Pour conclure, nous pouvons dire que la fibre optique est certainement le meilleur moyen pour transporter l'information numérique à très haut débit, et les besoins dans ce domaine seront probablement en forte augmentation dans un avenir proche.

Dans la partie qui suit nous allons découvrir le réseau d'accès optique FTTX.

---

*II. Chapitre 2 : Les Réseau D'accès Optique :*

---

### II.1 Introduction :

Les réseaux optiques ont connu un développement rapide ces dernières années. Ce développement s'explique par le débit et la bande passante nécessaire pour les nouvelles applications et services destinés aux clients. La technologie FTTX (Fiber To The X) est la solution idéale pour avoir une bande passante plus élevée, dans cette technologie il existe plusieurs techniques de liaison avec des performances différentes.

Les techniques les plus utilisées dans l'FTTX c'est FTTH, FTTB et FTTC se différencient en fonction de la destination du réseau et de la technique de raccordement final.

Dans le cas FTTH on trouve le réseau optique passif PON (Passive Optical Network), qui peut fournir des débits très élevés aux clients, une grande zone de couverture, un déploiement de la fibre réduit à la suite de son architecture.

Ce chapitre présent en premier temps les différentes technologies utilisées dans la FTTX et leurs architectures associés puis décrit les topologies existantes.

### II.2 Réseaux d'accès optiques :

Le réseau d'accès optique est divisé en deux parties, une partie de fibre optique, et une partie conductrice en métal qui se rend au terminal de l'abonné. Ce réseau donne l'accès au réseau téléphonique public pour les applications vocales, tout comme il donne accès aux applications de transfert de données grâce à l'utilisation des technologies numériques.

On distingue entre les techniques FTTX (Fiber To The X) qui consistent à rapprocher le plus possible la fibre de l'utilisateur pour améliorer la qualité du service en particulier le débit. [24]

#### II.2.1 Technologie FTTX :

Les fibres optiques peuvent être utilisées en fonction de différentes topologies FTTX ou la variable < X > représente le point de terminaison de la fibre optique.

Les techniques les plus utilisées dans l'FTTX c'est FTTH, FTTB et FTTC. [08]

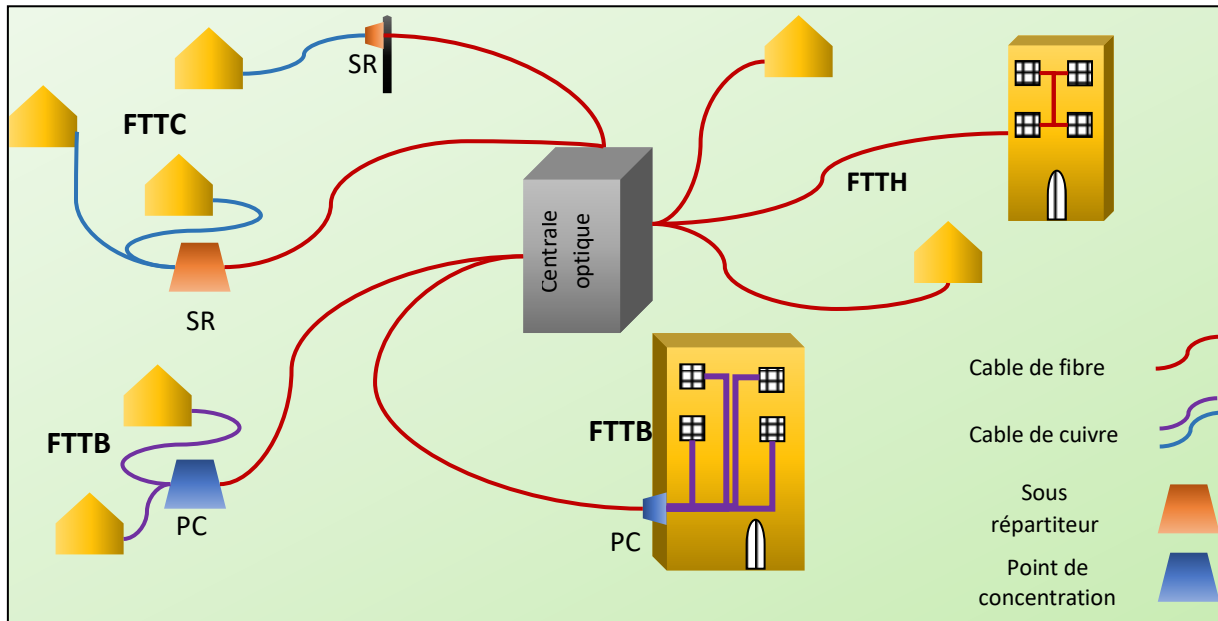


Figure II-1 Topologie FTTX

### II.2.1.1 FTTC (Fiber to the Curb) :

Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC), est utilisé pour savoir où il se trouve le point de terminaison de la fibre et sur lequel l'équipement réseau est installé, soit dans une armoire (sous répartiteur) ou sur un poteau. À partir du sous-répartiteur on termine la liaison avec l'abonné au cuivre, la figure II 2 suivante représente les différents composants d'un réseau FTTC. [10]

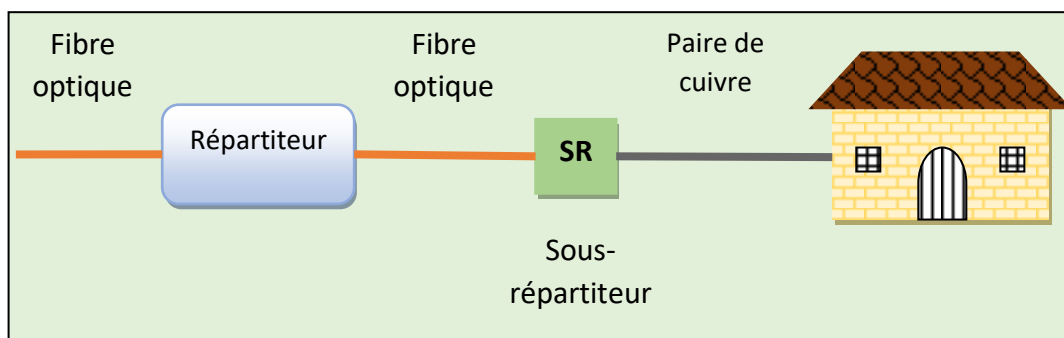


Figure II-2 Structure d'un réseau FTTC.

### II.2.1.2 FTTB (Fiber To The Building) :

Le point de distribution de FTTB est localisé au pied de l'immeuble, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier, soit dans un local technique, Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre. Les câbles de cuivre entre le

répartiteur et le PC (Point de Concentration) sera remplacé par des câbles à fibre optique pour augmenter la bande passante et la portée. [10]

La Figure II 3 suivante représente les différents composants d'un réseau FTTB.

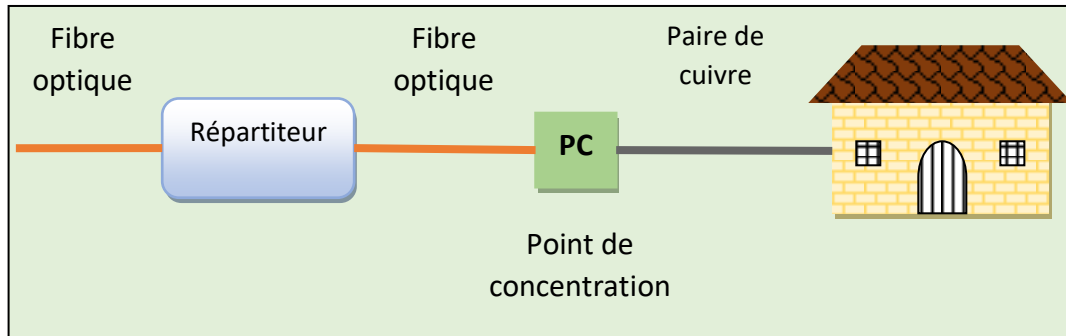


Figure II-3 Structure d'un réseau FTTB.

### II.2.1.3 FTTH (Fiber To The Home) :

La fibre jusqu'à au domicile (FTTH) crée une connexion optique directe jusqu'au l'abonné, Cette technologie fournit la plus grande bande passante existe, mais c'est le coût de déploiement le plus cher pour l'opérateur par rapport les autres technologies. [10]

La figure II 4 représente la structure du FTTH

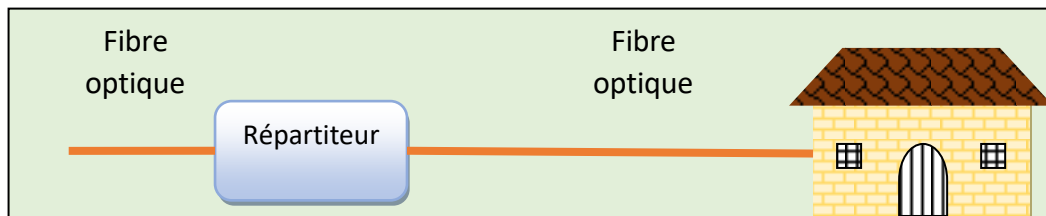


Figure II-4 Structure d'un réseau FTTH

## II.3 Architecture des réseaux FTTH :

La fibre optique est déployée du début à la fin du réseau jusqu'à l'abonné, Il n'utilise pas d'autres moyens technologiques. Il s'agit de la technique la plus intéressante en termes de vitesse pour l'abonné et de sécurité de transfert, mais sans oublier que c'est le coût d'installation le plus élevé pour l'opérateur. [09]

Actuellement il y a trois types d'architecture pour diriger la fibre vers le client final :

- Les architectures optiques actives (AON).

- Architecture point à point (P2P).
- Architecture point à multipoint (PON).

### II.3.1 Architecture optique actives (AON) :

L'architecture FTTH active ou AON (Active Optical Network), elle est basée sur des équipements actifs, comme des routeurs ou des commutateurs afin de gérer la distribution et la direction du signal pour les utilisateurs. Il peut couvrir une portée plus grande. Cependant, le coût de construction de cette solution est le plus élevé. [10]

Cette architecture n'ayant pas été adoptée par les opérateurs pour des raisons évidentes de coûts d'investissement et d'installation très élevés. [24]

### II.3.2 Architecture point à point (P2P) :

Cette architecture est la plus facile à utiliser dans le réseau d'accès optique, il s'agit d'avoir une connexion physique à fibre optique directement entre le central et l'abonné. La mise en œuvre de cette technologie est plus coûteuse, avec plus de fibres à produire et à connecter, chaque abonné sera connecté au répartiteur optique du réseau le plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Cela permet une étanchéité absolue entre les lignes des divers abonnés : pas de risque de sûreté, et garantie absolue de disponibilité totale de la ligne. [10]

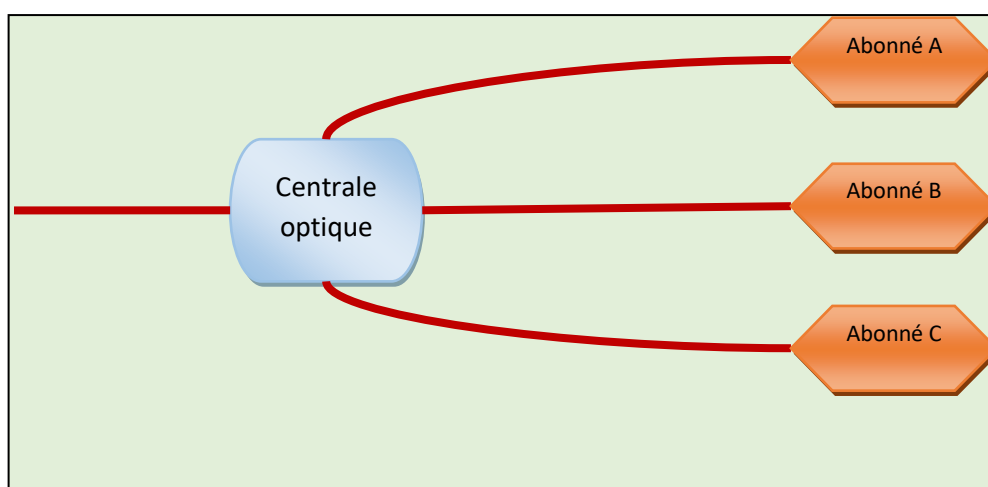


Figure II-5 Architecture point à point.

Le tableau suivant représenter brièvement les avantages et les inconvénients de P2P :

Tableau II-1 Avantages et inconvénients de réseau P2P

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Solution simple adaptée aux clients.</li><li>- Une plus grande flexibilité de service.</li><li>- Bande passante illimitée.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gestion au niveau de la centrale.</li><li>- Beaucoup de fibres à déployer.</li><li>- Prix d'installation très élevé.</li></ul>

### II.3.3 Architecture point à multipoint :

Un réseau point à multipoints (P2M) aussi appelé PON (Passive Optical network ou Réseau optique passif), le terme passif pour un coupleur qui ne comporte aucun élément électronique.

Dans cette structure, une seule fibre sort du centre optique du réseau et se divise en plusieurs fibres pour desservir plusieurs abonnés, Grâce à un équipement passif (coupleur ou splitter) situé à proximité de la zone à desservir.

Chaque site reçoit toutes les informations envoyées par l'équipement central OLT (Optical Line Terminal), et les reçoivent par l'équipement récepteur ONT (Optical Network Terminaison) de chaque abonné, chacun des OLT et ONT n'utilise que les données relatives à l'utilisateur qui y est raccordé. [10]

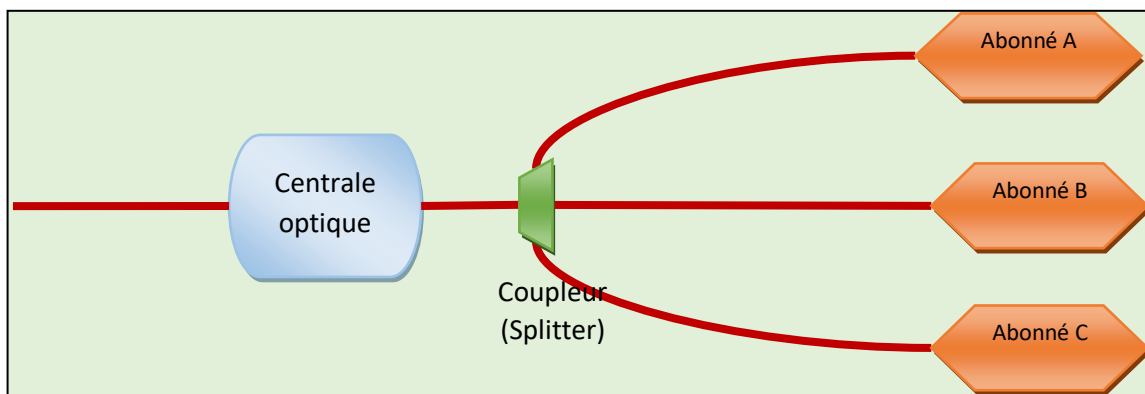


Figure II-6 Architecture point à multipoint.

Le tableau II 2 suivant représente les avantages et les inconvénients de P2M :

Tableau II-2 Avantages et inconvénients de réseau P2M

Les Avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Architecture favorable à la diffusion.</li> <li>- Aucun élément électronique active.</li> <li>- Réduit les frais d'exploitation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécurisation des données requises.</li> <li>- Bande passante limitée.</li> <li>- Zone de couverture limitée.</li> </ul>

#### **II.4 Comparaison entre les trois architecture P2P - P2M et AON :**

Le tableau suivant compare les caractéristiques de ces trois architectures [11].

*Tableau II-3 : Comparaison entre les trois architectures P2P, PON.*

Paramètre	P2P	P2M
<b>Fibre</b>	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
<b>Distance</b>	15Km	20Km
<b>Energie</b>	2 watt/abonné Dissipe au NA	0.6 watt/abonné dissipé au NA
<b>Débit Maximum</b>	100 Mbit/s ou 1Gbit/s symétrique selon connexion	Jusqu'à 2.5 Gbit/s en descendants et 1 Gbit/s en montant
<b>Débit Garantie</b>	100 Mbit/s ou 1 Gbit/s	Jusqu'à 78 Mbit/s descendant en split de 32
<b>Equipement Actif</b>	Non	Non



## II.5 Structure du réseau FTTH :

La solution FTTH est réalisée sur plusieurs nœuds et splitter, On trouvera ci-après les principales règles d'ingénierie à appliquer lors de la conception de réseaux d'accès FTTH.

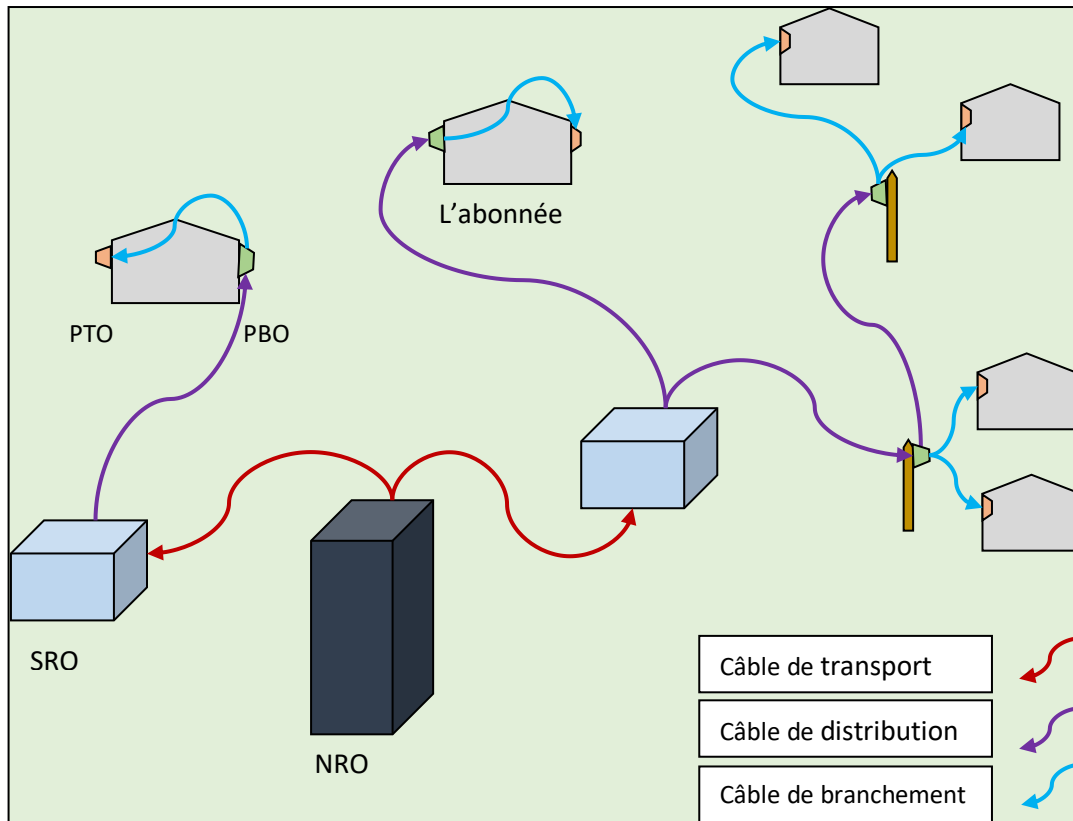


Figure II-7 Chemin de la fibre

### II.5.1 Nœud de raccordement optique (NRO) :

Le nœud de raccordement optique est le point de départ des liaisons optiques avec les utilisateurs.

Un NRO abrite ce qu'on appelle un OLT dont rôle est de faire le lien entre le réseau national optique et le réseau de distribution de chaque opérateur qui va vers les abonnés, L'OLT se présente sous forme de baies avec des cartes et des ports, Avec 17 cartes dans un OLT, on peut desservir 17 000 clients.

A partir du NRO, la fibre est transportée vers plusieurs zones dans lesquelles elle sera desservie à tous les abonnés qui y sont éligibles. C'est aussi depuis ce lieu que les opérateurs

activent ou désactivent les accès aux réseaux fibre optique. Le transport de la fibre qui part du NRO s'effectue via la technologie GPON (Gigabit Passive Optical Network)

Les éléments essentiels d'un NRO sont :

- Un onduleur.
- Des batteries de secours.
- Une climatisation.

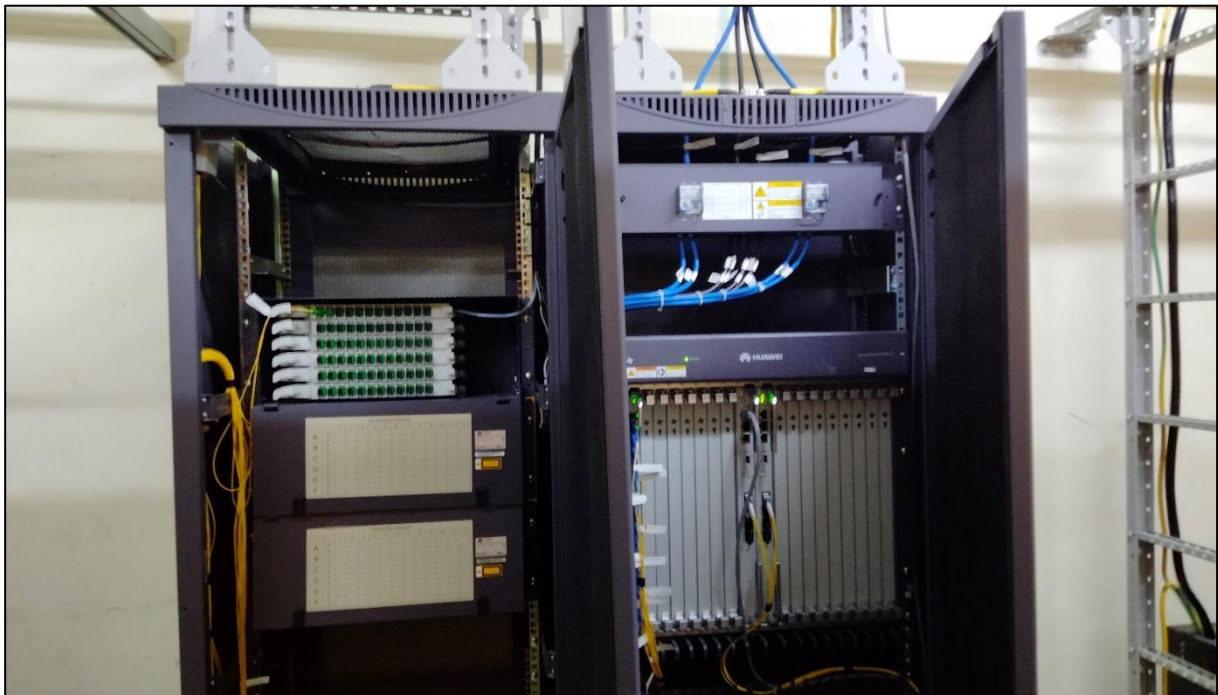


Figure II-8 Nœud de raccordement NRO

### II.5.2 Sous répartiteur optique (SRO) :

Le sous répartiteur optique appelé aussi point de mutualisation (PM), cela distribue la fibre depuis le nœud de raccordement optique jusqu'aux différents points de branchement optiques.

Il s'agit d'une armoire métallique comprenant trois parties : le côté gauche est dédié aux opérateurs, le coté droite correspond à la distribution vers les clients, la partie centrale est réservée au brassage. [24]



Figure II-9 Sous Répartiteur Optique

### II.5.3 Point de branchement optique (PBO) :

Le PBO c'est le point de branchement optique appelé aussi Boitier Pied de l'Immeuble (BPI), c'est l'une des dernières étapes du raccordement d'un réseau fibre.

Le PBO se présente sous la forme d'un boîtier qui permet le raccordement des câbles venant de l'extérieur et ceux de la colonne montante où se trouvent les points de branchement qui desservent ensuite chaque logement



Figure II-10 Boitier Pied Immeuble.

### II.5.4 Prise terminal optique (PTO) :

La Prise Terminale Optique PTO relie l'abonné au point de branchement (BPI) via un câble de branchement mono-fibre ou multifibre (mono-fibre est pour un seul raccordement de

fibre, multifibre ont jusqu'à 4 ports de connexion simultanés) selon la catégorie de l'abonné à desservir.

De là, vous pouvez connecter le modem optique ONT à cette prise afin de profiter des avantages de l'offre demandée.



Figure II-11 Prise Terminal Optique.

### II.6 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 des réseaux optiques passifs : optiques, car ils 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. [11]

Les réseaux PON ont fait l'objet de procédures de normalisation au niveau international par les principaux organismes de normalisation : l'ITU (International Telecommunication Union) et le FSAN (Full Service Access Network), l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). [11]

Ce réseau est démarré par le terminal de ligne optique (OLT) qui est situé au site du fournisseur de services, où ce (OLT) est connecté au câble d'alimentation à fibre optique qui

passé dans un coupleur passif, ce dernier composant fournit ensuite la connexion aux utilisateurs finaux (résidences, entreprises...) appelée ONT/ONU. [24]

La figure II 12 suivante représente les différents éléments d'un réseau PON.

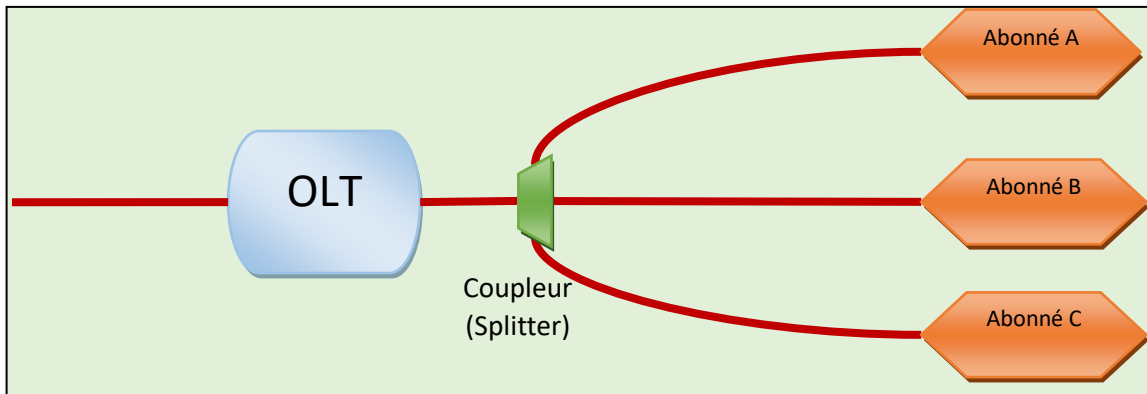


Figure II-12 les différents éléments d'un réseau PON.

### II.6.1 Etude des éléments d'un réseau optique passif (PON) :

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

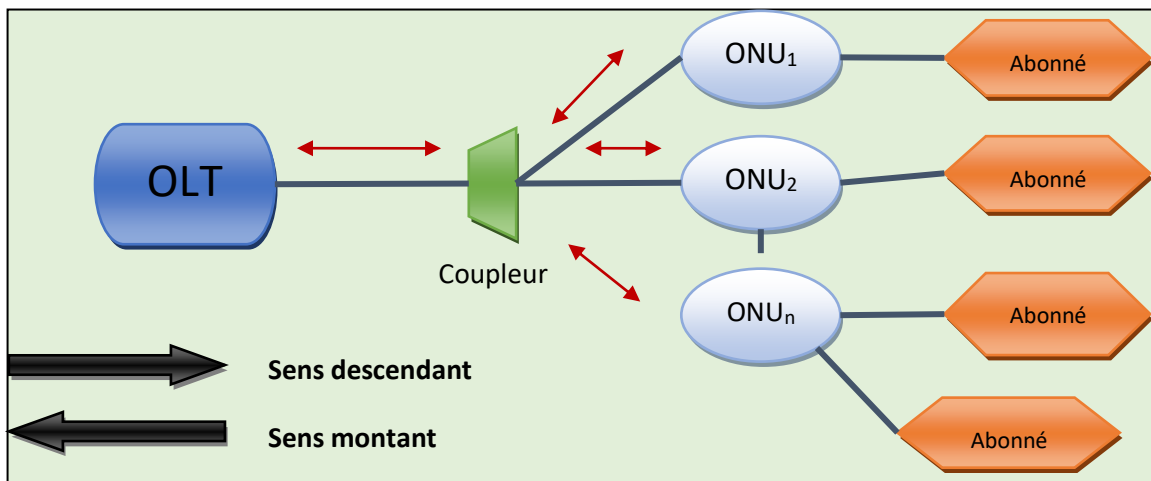


Figure II-13 Les éléments constitutifs du PON.

#### II.6.1.1 OLT (Optical Line Terminal) :

OLT est l'équipement maître d'accès optique pour les clients connectés au FTTX, Elle est Située dans un NRO (Nœud de Raccordement optique), la fonction d'un OLT est d'envoie et reçoit des signaux lumineux porteurs des données. [12]

Le module optique de l'OLT est composé par trois composants principaux : un laser DFB, un filtre WDM et une photodiode. [01]

- **DFB** : Distributed Feedback Laser à 1490nm.
- **Filtre WDM** : assure la coordination de multiplexage entre les différentes unités ONU.
- **Photodiode APD** : qui permet de convertir le signal électrique au signal optique utilisé par l'équipement du fournisseur de service.



Figure II-14 Optical Line Terminal (OLT).

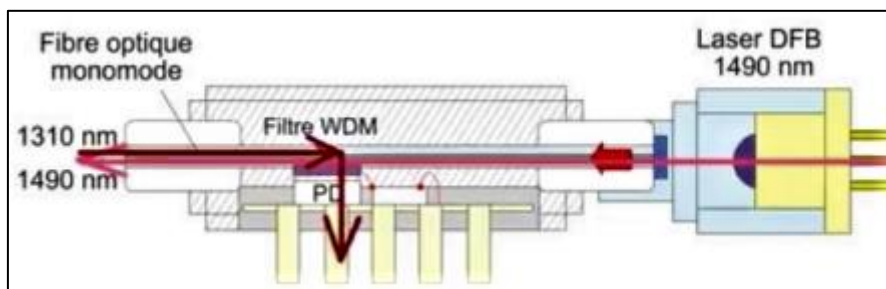


Figure II-15 Shéma du module SFP de l'OLT



Figure II-16 Module Optique HUAWEI



### II.6.1.2 ONU (Optical Network Unit) :

L'ONU ou 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. Il désigne un élément générique terminal du réseau d'accès optique FTTH.

L'ONU est le contact direct de l'OLT, l'ONU émet sur la même longueur d'onde pour des raisons de coût et de gestion de l'équipement.

L'ONT se compose d'un module optique, ce module est fonctionné de la même manière que le module OLT est composé par un laser Fabry Pérot (FP) opérant à 1310nm, un filtre WDM et un photo détecteur PIN. [01]

### II.6.1.3 Coupleur optique (splitter) :

Le coupleur optique « ou splitter » est un équipement passif installé sur le cheminement de la fibre optique entre l'OLT et les ONU, assure la fonction diviseur ou concentrateur de la transmission. C'est un équipement passif, son fonctionnement est basé sur la seule propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre. [13]

Dans le sens montant le coupleur permet de combiner par addition les signaux optiques, et dans le sens inverse (sens descendant) il divise le signal optique qui vient de l'OLT. Le coupleur n'est pas capable de modifier, de retarder ou de bloquer les signaux qui le traversent.



Figure II-17 Coupleur Optique

## II.6.2 L'architecture d'un réseau PON :

L'architecture d'un réseau PON qui est identique à celle d'un point à multipoint (P2M) dans cette architecture un coupleur (splitter) émet en même temps le même signal a plusieurs récepteurs.

L'architecture d'un réseau PON a pour but de réduire l'utilisation de la fibre optique, chaque nœud dans le réseau PON permet de séparer la fibre optique en branches secondaires connectées à un coupleur. On peut utiliser plusieurs coupleurs sur un trajet en fibre optique. [24]

Les architectures PON peuvent être en étoile, en arbre ou en bus. La structure en arbre étant la plus commune et la plus déployée pour les réseaux PON. [19]

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

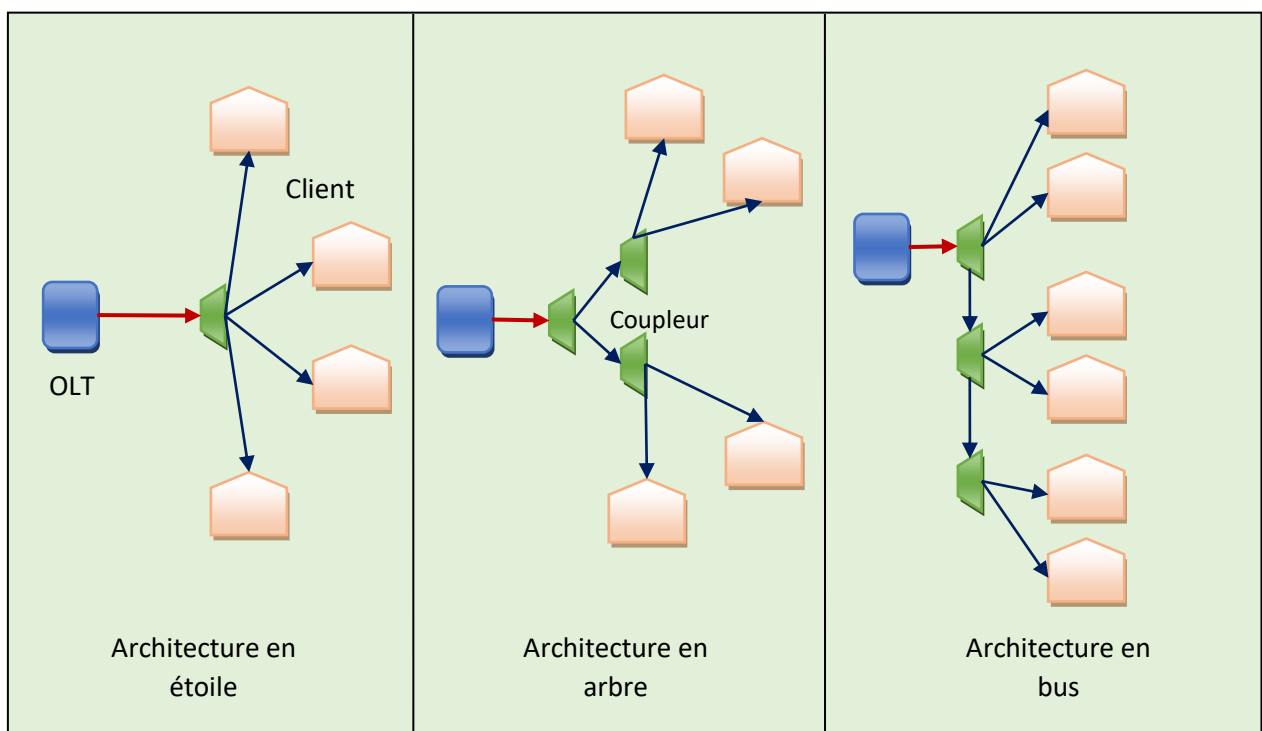


Figure II-18 Différents architecture utilisé en PON



### II.6.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON :

Les réseaux PON utilisent des coupleurs optiques pour diviser le signal descendant d'un OLT unique en plusieurs trajets descendants aux utilisateurs finaux. Ces mêmes coupleurs combinent de multiples chemins de signaux ascendants entre les utilisateurs finaux et le même OLT.

#### ➤ Sens montant :

Le coupleur étant passif, et les ONT émettant tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parvenaient simultanément au coupleur et ils ressortiraient sous la forme d'un mélange par l'OLT. [29]

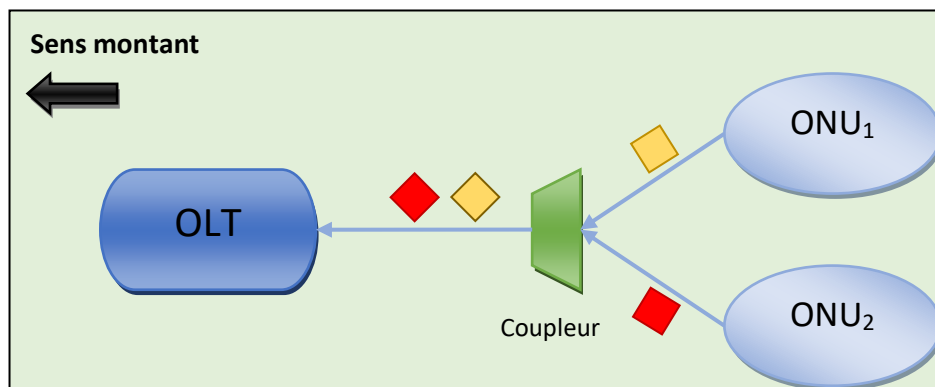


Figure II-19 PON en sens montant

#### ➤ 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 tel que la figure II 18 le montre. [29]

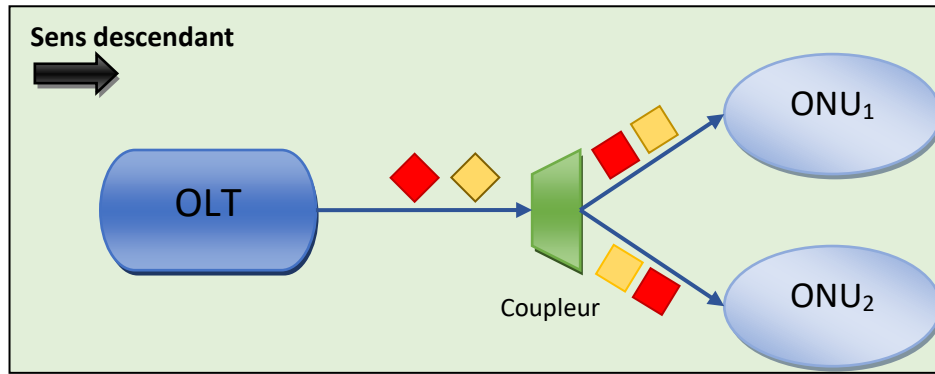


Figure II-20 PON en sens descendant

➤ **Architecture PON unidirectionnel :**

L'architecture PON unidirectionnelle se caractérise par un émetteur OLT (Optical Line Terminal), coupleurs et ONT (Optical Network Terminaison), chaque ONU (Optical Network Unit) ne reçoit que les données qui lui sont destinées, chaque client a un intervalle de temps bien précis pour émettre afin de ne pas interférer avec un autre client.

La figure II.19 montre une liaison unidirectionnelle ou une fibre est dédiée pour le sens montant et une autre pour le sens descendant. [13]

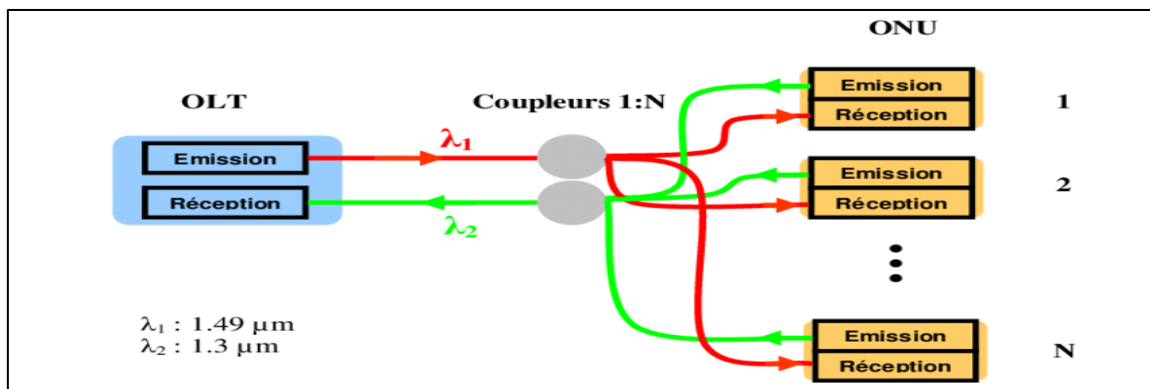


Figure II-21 Architecture PON unidirectionnelle [27]

➤ **Architecture PON bidirectionnel :**

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. 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]

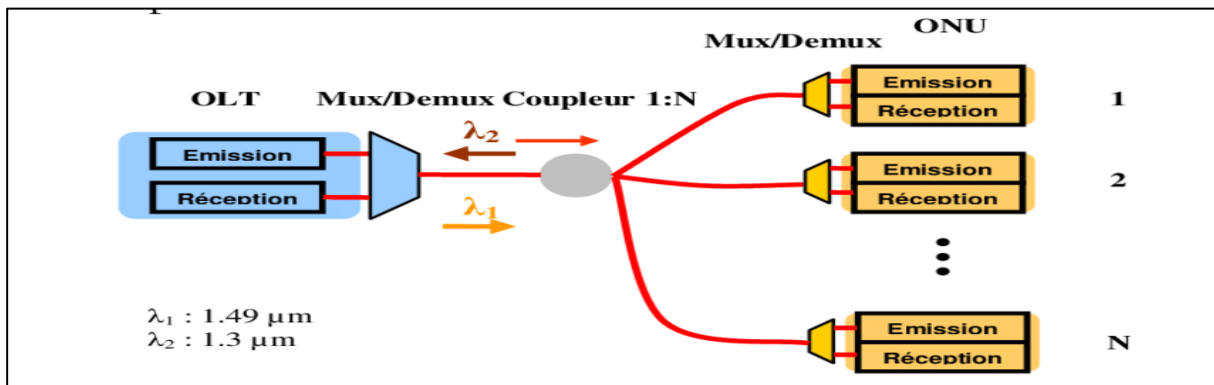


Figure II-22 Architecture PON bidirectionnelle [27]

## II.7 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).

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

### II.7.1 Norme A-PON (ATM-PON) :

Dans la section FTTH (Fiber To The Home), la méthode préférée est le réseau optique passif (ATM-PON) qu'ils ont normalisé. C'est un système point multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et permet des débits de 155 Mbit/s ou 622 Mbit/s pour le sens descendant, et un débit de 155 Mbit/s pour le sens montant.

Dans le sens descendant, on utilise le multiplexage cellulaire ATM, tandis qu'un protocole TDMA contrôle l'accès ascendant des abonnés au réseau. Cette solution reste compliquée et coûteuse, le débit est limité, ainsi qu'elle ne peut pas offrir de service vidéo. [14]

### II.7.2 Norme B-PON (Broadband-PON) :

Le BPON (Broadband PON) C'est une évolution de l'APON en vue de fournir d'autres services tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo. Il s'agit d'un réseau de diffusion par fibre optique en large bande, opérant un des trois modes descendant/montant suivants : 155Mbit/s / 155Mbit/s, 622Mbit/s / 155Mbit/s ou 622Mbit/s / 622Mbit/s pour jusqu'à 32

abonnés. Pour la voix et les données, les longueurs d'onde utilisées dans le sens descendant et montant sont 1490 nm et 1310 nm respectivement.

Le system BPON utilisé le multiplexage WDMA (Wavelength Division Multiple Acces) pour le sens descendant et le TDMA (Time Division Multiple Access) pour le sens montant. [14]

### II.7.3 Norme E-PON (Ethernet PON) :

Ce standard utilise le protocole Ethernet comme protocole de transport. Il présente un débit symétrique maximal de 1,25 Gb/s par port avec une portée d'environ 20 km, selon le nombre d'abonnés, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT. [13]

La différence principale entre EPON et APON est que dans les architectures EPON les données sont transmises en paquets de longueurs variables jusqu'à 1518 octets selon le protocole IEEE 802,3 pour l'Ethernet, tandis que dans un APON les données sont transmises en cellules de longueur fixe de 53 octets. [15]

### II.7.4 Norme G-PON (Gigabit PON) :

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. Le GPON (Gigabit capable PON), défini par la norme G.984, permet des débits de 2.5 Gbit/s en voie descendante sur une longueur d'onde 1490nm et un débit de 1.25Gbits/s sur une longueur d'onde de 1310nm pour la voie montante. Le GPON utilise un multiplexage TDM et le partage des ressources dans le sens montant s'effectue par le TDMA. [16]

Le taux de partage du ou des coupleur(s) 1vers 64 (voir 128) utilisateurs, la solution a comme portée de rayon de couverture 20km. [14]

Le tableau II 4 résume les caractéristiques des différentes normes définies précédemment : [17]

Tableau II-4 comparaison des standards PON.

Norme	A-PON	B-PON	E-PON	G-PON
-------	-------	-------	-------	-------

<b>Norme de recommandation</b>	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av	ITU-T G.984
<b>Protocoles</b>	ATM	ATM	Ethernet	(ATM, Ethernet, TDM)
<b>Longueur d'onde (descendant/montant)</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 20 Km	10 ou 20 Km	20Km	20Km

## **II.8 Performances d'un réseau optique passif :**

Le réseau PON fournit un mode d'exploitation sécurisé pour la protection des données, il assure également la fiabilité parce que la probabilité de panne d'équipement est faible.

### **II.8.1 Sécurité du PON :**

Le réseau PON a mis en place des mécanismes permettant à l'abonné de lire uniquement les données qui lui sont adressées. Le mécanisme de sécurisation employé est le suivant : [11]

- Le trafic descendant est crypté, chaque équipement client a sa propre clé cryptage/décryptage privée, de nouvelles clés sont automatiquement échangées par l'OLT et l'ONU.
- 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.
- 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.

### II.8.2 Fiabilité du PON :

Pour garantir la fiabilité du réseau PON, L'ITU a appliqué le principe de la redondance du réseau pour assurer la fiabilité du PON, en cas de panne d'un lien il bascule sur le lien secondaire. [11]

### II.9 Avantages et inconvénients d'un réseau PON :

#### ➤ **Avantage :**

- Au niveau de de la centrale, la PON réduit l'espace en partageant les ports d'équipement actif entre plusieurs abonnés.
- Aucun équipement électrique n'est nécessaire pour ce type de réseau.
- Un petit nombre de fibres optiques sont utilisées dans le réseau PON. [24]

#### ➤ **Inconvénients :**

- Si les câbles optiques mis en place correspondent au strict nécessaire à la réalisation d'un PON, alors la capacité d'évolution du réseau est limitée. On ne dispose d'aucune réserve de capacité d'aucune fibre excédentaire. On ne peut évoluer sans réaliser de nouvelles infrastructures d'accueil.
- Si un réseau est construit sur une architecture PON strict, celui-ci ne peut être partagé entre plusieurs fournisseurs des services qu'au niveau transport : un opérateur unique gère les OLT, et transporte jusqu'à l'abonné les données apportées à la centrale par des fournisseurs de service. [24]

### II.10 Conclusion :

Dans le présent chapitre, on présente un aperçu du réseau d'accès optique. Au début, on décrivait plusieurs techniques qui consiste à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur tel que FTTH (Fiber To The Home), et on a cité les différentes topologies utilisées pour ce déploiement.

Nous avons défini par la suite le réseau optique passif (PON) qui permet une minimisation des infrastructures fibres et les architecture correspondent avec les différents standards d'un réseau PON.

Dans le chapitre suivant nous allons fait une simulation d'un réseau FTTH G-PON sous le logiciel OptiSystem.

---

*III. Chapitre 3 : simulation d'un réseau FTTH G-PON ET FTTH B-PON :*

---



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

Après l'étude théorique résumée dans les deux chapitres précédents dans ce chapitre nous présenterons tous les travaux de simulation. Ces travaux, nous ont permis d'analyser les performances de la transmission de système G-PON

Une présentation des résultats obtenus sera discutée. Cela en variant les paramètres de la liaison telle que le débit, la distance entre l'émetteur et le récepteur...etc.

### **III.2 Présentation d'entreprise d'accueil :**

**Algérie Telecom** est leader sur le marché Algérien des télécommunications qui connaît une forte croissance. Offrant une gamme complète de services de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels.

Cette position s'est construite par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages.

ALGERIE TELECOM, est une société par actions à capitaux publics opérant sur le marché des réseaux et services de communications électroniques.

Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restructuration du secteur des Postes et Télécommunications, qui sépare notamment les activités Postales de celles des Télécommunications.

ALGERIE TELECOM est donc régie par cette loi qui lui confère le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par actions SPA.

L'activité majeure d'Algérie Télécom est de :

- Fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de messages écrits, de données numériques, d'informations audiovisuelles...
- Développer, exploiter et gérer les réseaux publics et privés de télécommunications.
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions avec tous les opérateurs des réseaux. [25]

### **III.2.1 Historique :**

La fibre optique a été introduite en Algérie en 1987. C'est la technologie principale qui avait constitué les réseaux de longues distances nationaux et internationaux.

Avant 2000, le réseau terrestre de FO totalisait 7244 km pour passer à 15 000 km en 2003 et à 47000 km à mi 2013.

De 2,5 Gbps de l'année 2000, la capacité du réseau de transport a atteint aujourd'hui 350 Gbps au Nord et 120 Gbps au Sud du pays.

Le plan d'action d'Algérie Télécom depuis 2014 vise la modernisation du réseau.

Cette modernisation n'est possible qu'à travers la densification de la Fibre Optique afin de permettre de fédérer les réseaux voix et data au niveau national ainsi que la généralisation de l'utilisation du support en Fibre Optique au niveau urbain, et ce par le remplacement des câbles de cuivre vétustes, très coûteux et source principale de la dégradation de la qualité de service.

Aussi, dans le cadre du plan de développement à l'horizon 2014, près de 2 200 Localités à plus de 1000 habitants sont programmées pour être raccordées à la Fibre optique, la distance est estimée à 23 935 km. [26]

### III.3 Présentation du logiciel Optisystem :

Au cours de notre travail nous avons opté par un logiciel de simulation des systèmes de communications optiques innovants qui conçoit, à faire des tests a la réalisation des simulations liaison optique il s'agit d'Optisystem

Optisystem est un programme élaboré par l'entreprise canadienne OPTIWAVE, Optical Communication System Design Software est un outil logiciel de simulation optique qui permet le test, conception et l'optimisation de tous types de liaisons optiques, caractérisé par sa simplicité d'utilisation et par sa variété des instruments de différent type dans sa bibliothèque. [20]

#### III.3.1 Description du logiciel optisystem :

Optisystem est un logiciel basé sur Windows qui contient principalement une fenêtre principale qui se compose de plusieurs parties comme la Figure III.1 se montre. [021]

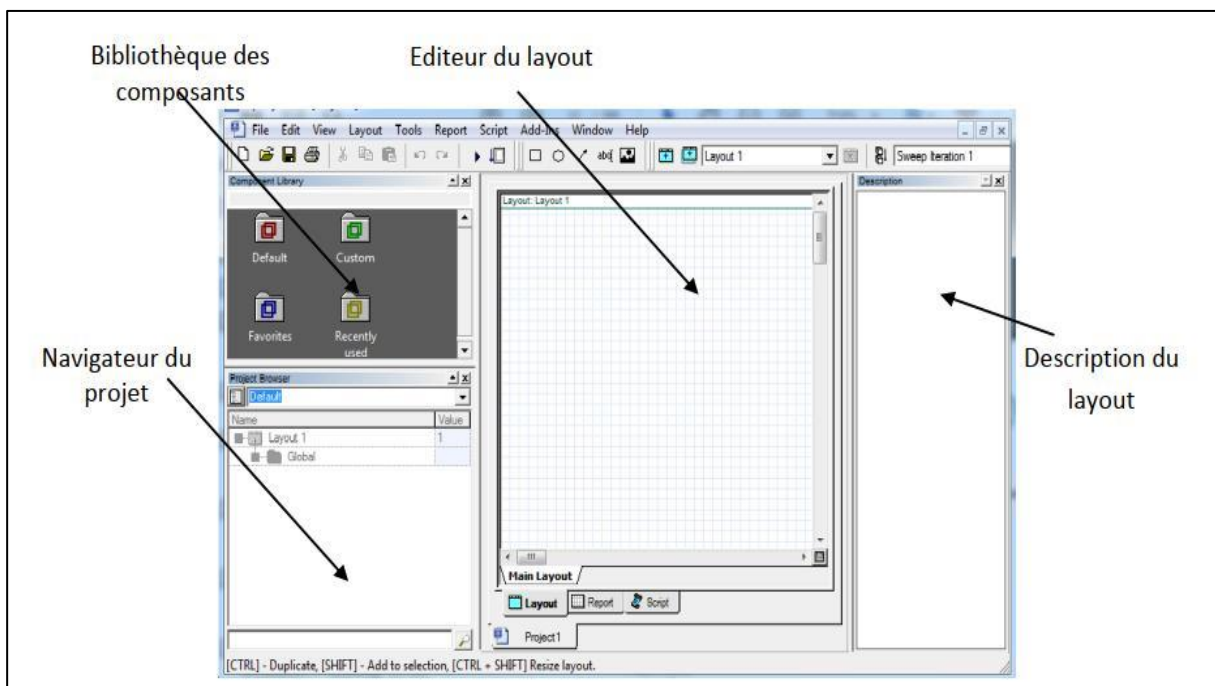


Figure III-1 Interface graphique du logiciel Optisystem.

- **Interface Optisystem** : elle contient une fenêtre principale repartie en plusieurs parties.

- **Bibliothèque** : elle est composée d'une base de données de divers composants existants.
- **Editeur du layout** : Permet d'éditer et de configuré du schéma en cours de conception
- **Projet en cours** : visualise divers fichiers et instrument correspondants au projet en cours.

### III.3.2 Applications d'Optisystem :

Parmi les diverses applications d'Optisystem nous allons citer quelque application qui sont utilisées plus :

- Le concept du système de communication optique des instruments au niveau de la couche physique.
- Le concept des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- Le concept d'émetteur de canal et d'amplificateur.

### III.3.3 Paramètres de qualité d'une liaison optique :

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

#### III.3.3.1 Le taux d'erreurs binaire :

Taux d'erreur sur les bits, BER est utilisé pour calculer le chemin transportant des données en calculant BER dans une chaîne de données, le BER est un paramètre clé utilisé pour évaluer les systèmes qui transmettent des données numérisées d'un emplacement à un autre.

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

À titre d'exemple, supposons cette séquence de bits transmise : 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 Et la séquence de bits reçue suivante : 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1

Le nombre d'erreurs sur les bits est dans ce cas de 3 Le taux d'erreurs binaire est de 3 bits incorrects partagé par 10 bits transférés ce qui donne un taux d'erreurs de 0,3 ou 30 %. [23]

### III.3.3.2 Le facteur de qualité :

C'est le facteur qui définit la qualité de n'importe quel signal qui a des moyennes et un bruit de variance même si ce dernier ne suit par une loi gaussienne donné par la relation suivante :

$$Q = \frac{I1 - I0}{\alpha1 - \alpha0}$$

### III.3.3.3 Diagramme de l'œil :

L'évaluation des imperfections du canal se fait par l'observation d'un « œil » obtenu en visualisant le signal reçu sur un oscilloscope. Le principe général est que plus l'aire centrale n'est petite, plus la qualité du signal reçu est mauvaise, plus le facteur de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé, (Figure III.2).

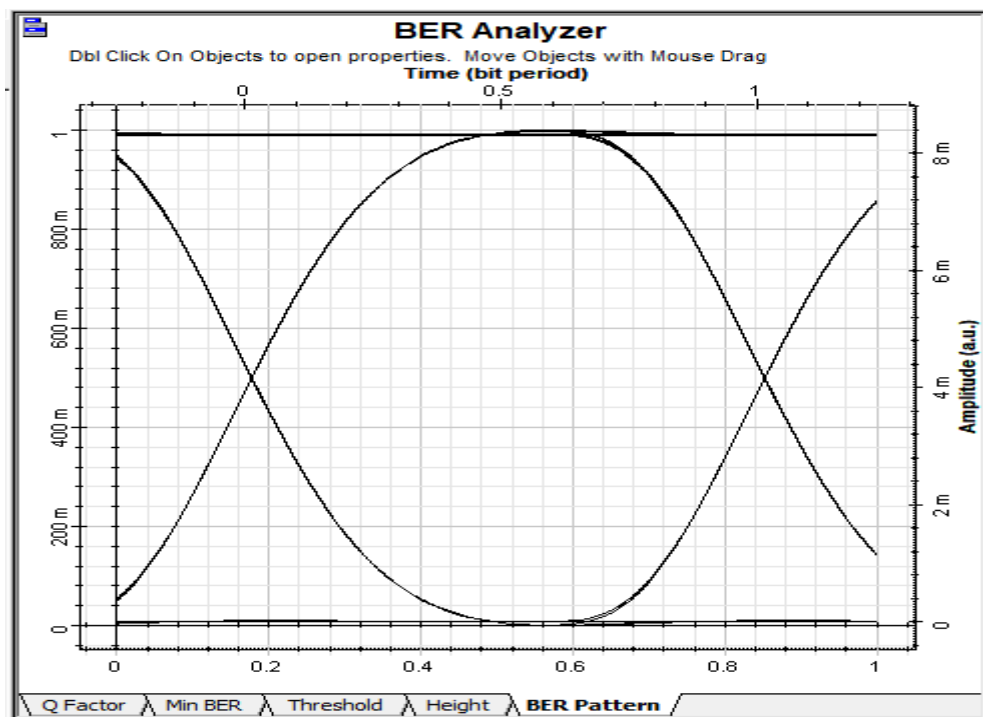


Figure III-2 Le diagramme de l'œil

### III.4 Étude des performances d'un réseau FTTH GPON :

Comme tous les réseaux de transmission traditionnels, la chaîne de transmission FTTH GPON se compose de trois blocs Bloc d'émission (OLT) canal de transmission Bloc de réception (ONT), Chaque bloc est caractérisé par son fonctionnement et ces composants

La Figure III.3 est un schéma synoptique qui représente un réseau G-PON.

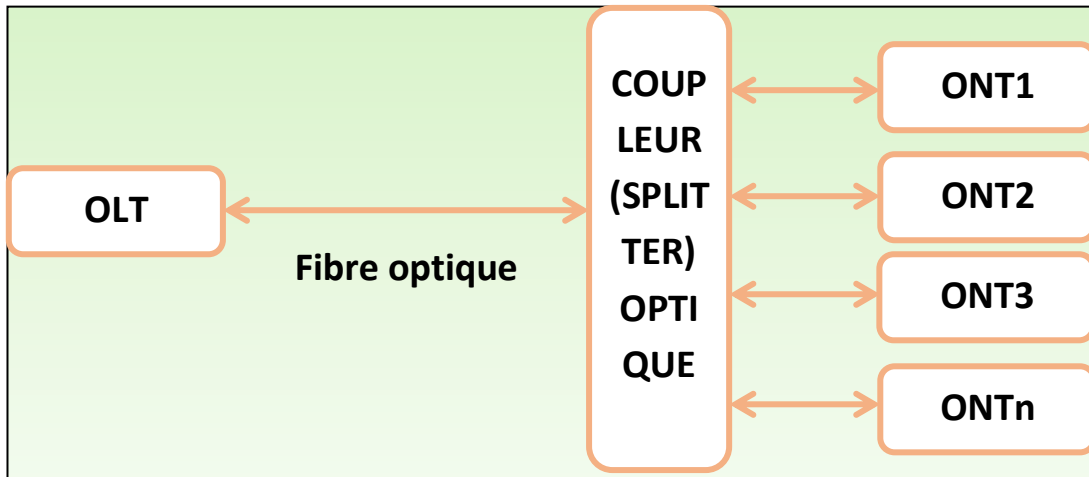


Figure III-3 Réseaux G-PON

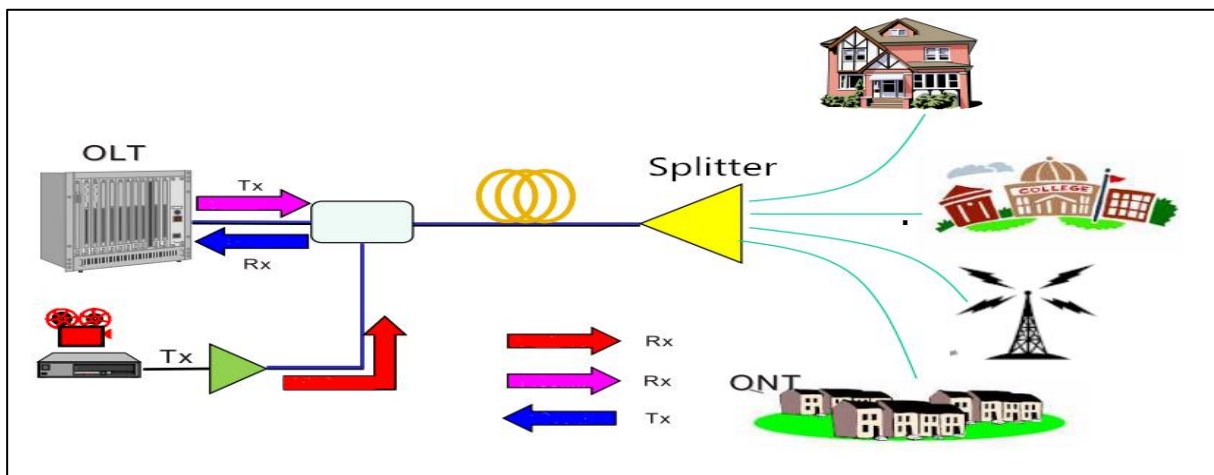


Figure III-4 Réseaux G-PON [28]

La Figure III.5 représente le schéma d'une liaison G-PON sur notre logiciel optisystem

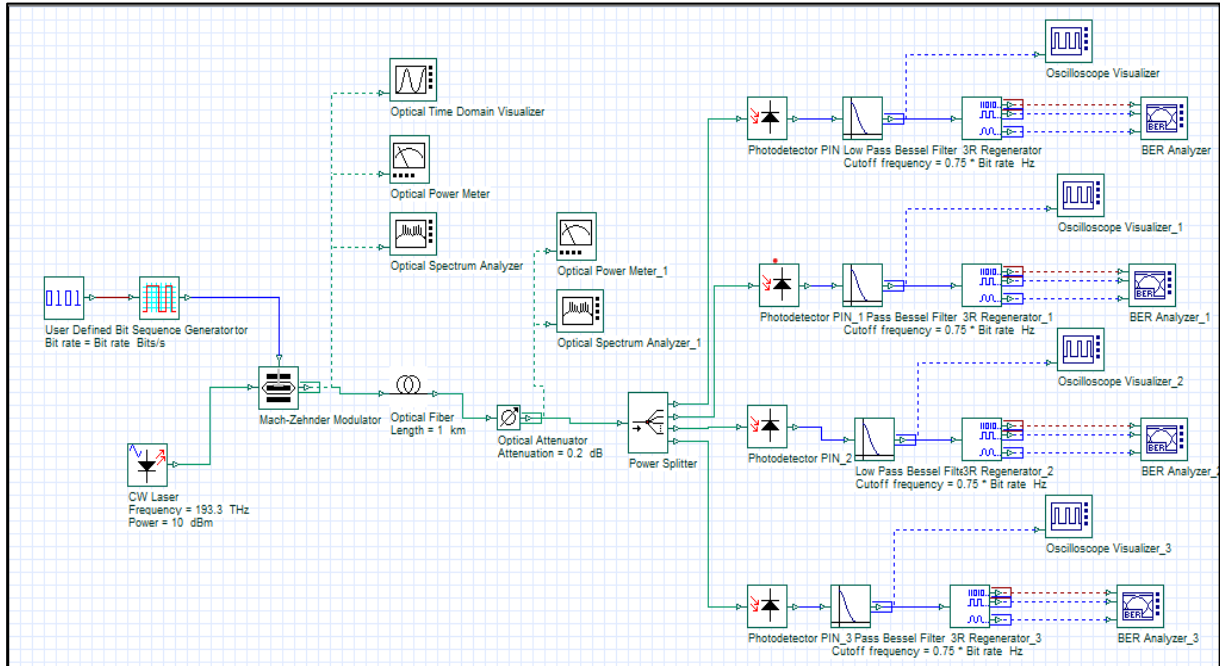


Figure III-5 Chaîne de transmission FTTH GPON pour 4 lignes.

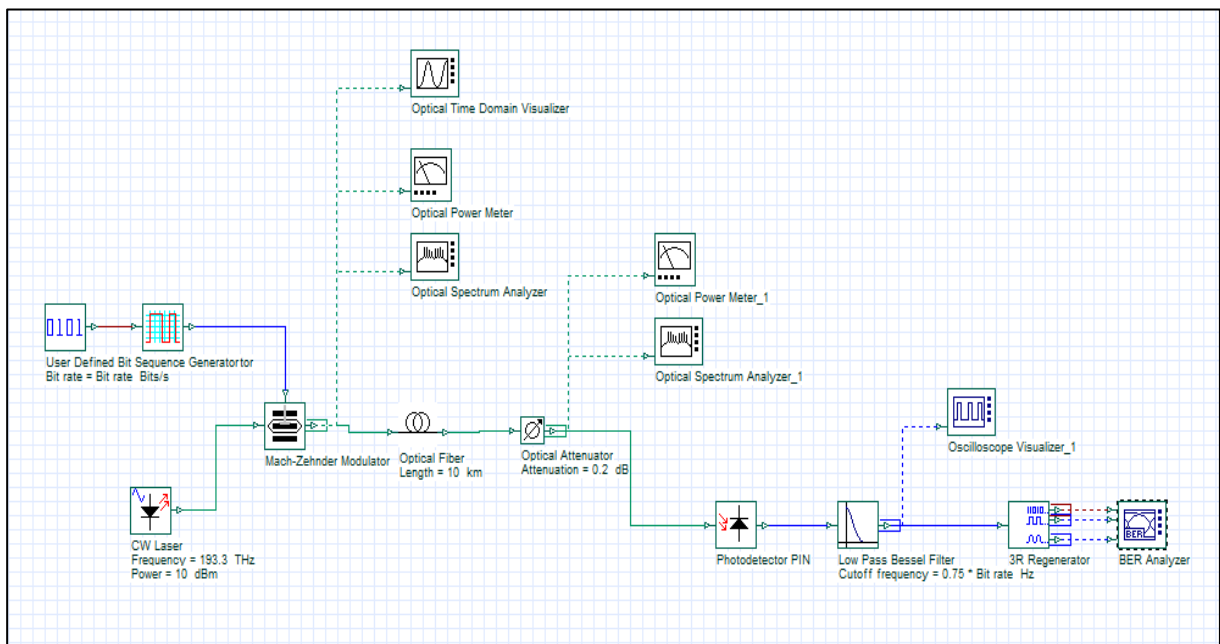


Figure III-6 Chaîne de transmission FTTH GPON pour une ligne.

➤ **Bloc d'émission OLT :**

Le rôle de ce bloc est de transmettre un signal optique continu et de le moduler sur la base des données binaires ainsi que le format choisi, l'émetteur est constitué de composants suivants.

- **CW Laser User Defined Bit Sequence Generator NRZ Pulse Generator Mach-Zehnder Modulator Optical time domain visualizer Optical power Optical spectrum analyzer**
- La Figure III.7 représenter Le schéma de block d'émission sur optisystem.

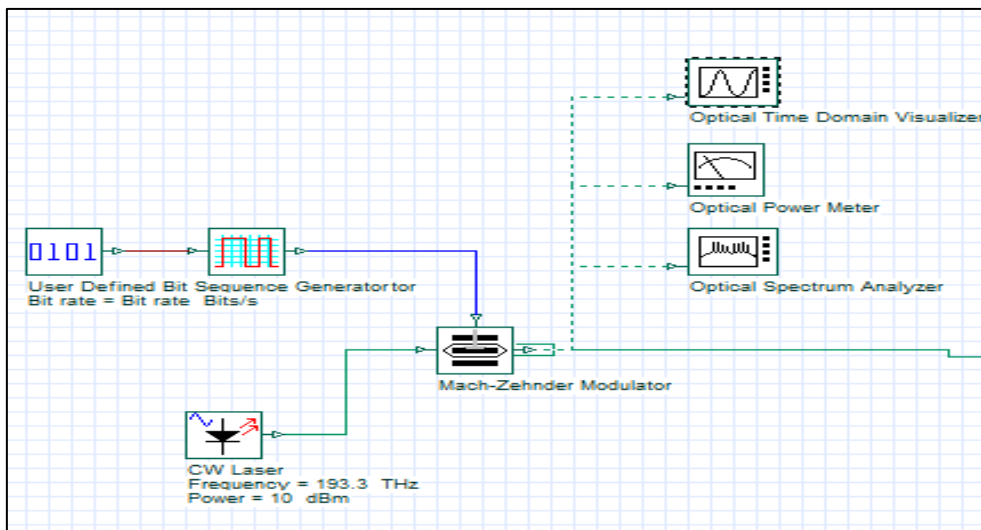


Figure III-7 Bloc d'émission OLT.

➤ **Canal de transmission :**

Représentation de canal de transmission sur Optisystem dans la Figure III.8 suivant.

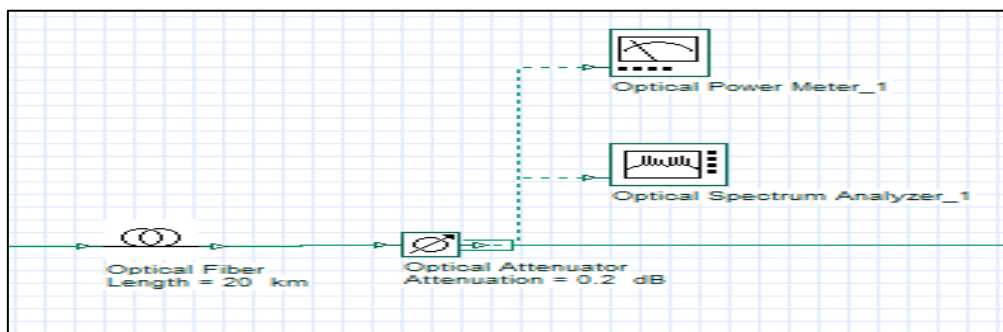


Figure III-8 Canal de transmission du réseau FTTH GPON.



- **La fibre optique** : représente le milieu de propagation de la lumière (données) entre l'OLT et l'ONT.

La figure III 9 suivante représente les paramétré de la fibre.

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference w	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Reference wavelength	1699.983	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	20	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation	0.6	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation vs. wavelengt	Attenuation.dat	...	Normal

Figure III-9 Les paramètres de la fibre

- **Optical attenuator** :

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	0.2	dB	Normal

Figure III-10 Paramètre d'Optical attenuator.

➤ **Bloc de réception ONT :**

Le récepteur est conçu pour recevoir le signal efficace désiré avec le BER minimum, afin de répondre aux besoins de la clientèle, Il contient

- **Photodétecteur PIN**
- **Low Pass Bessel**
- **BER analyzer**
- **Régénérateur 3R**



Tableau III-1 les valeurs issues de la variation de la distance le facteur (Q).

Longueur (Km)	Facteur de qualité
5	740.161
10	523.246
15	302.55
20	190.189
25	106.975
50	4.039

Dans ce tableau on a remarqué que l'augmentation de la distance impacte sur le facteur de qualité (Q) ce qui donne l'effet sur la qualité de la transmission de ces résultats. On peut dire que ce système fonctionne bien dans une distance inférieure à 50 km.

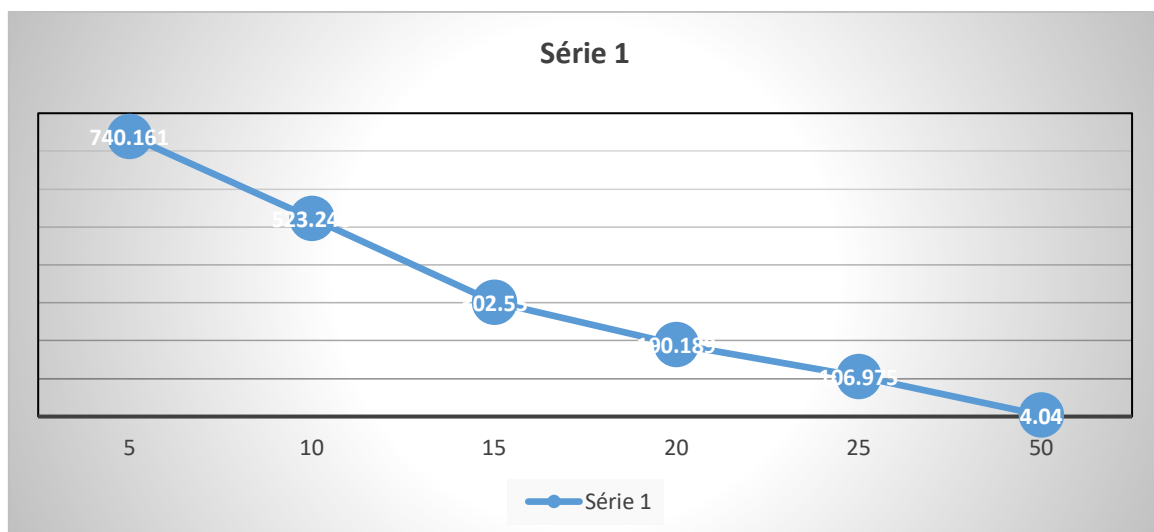


Figure III-12 Le graphique l'évolution des performances (Q)

La Figure III.13 afficher Les résultats obtenus de la simulation de la part de BER analyzer.

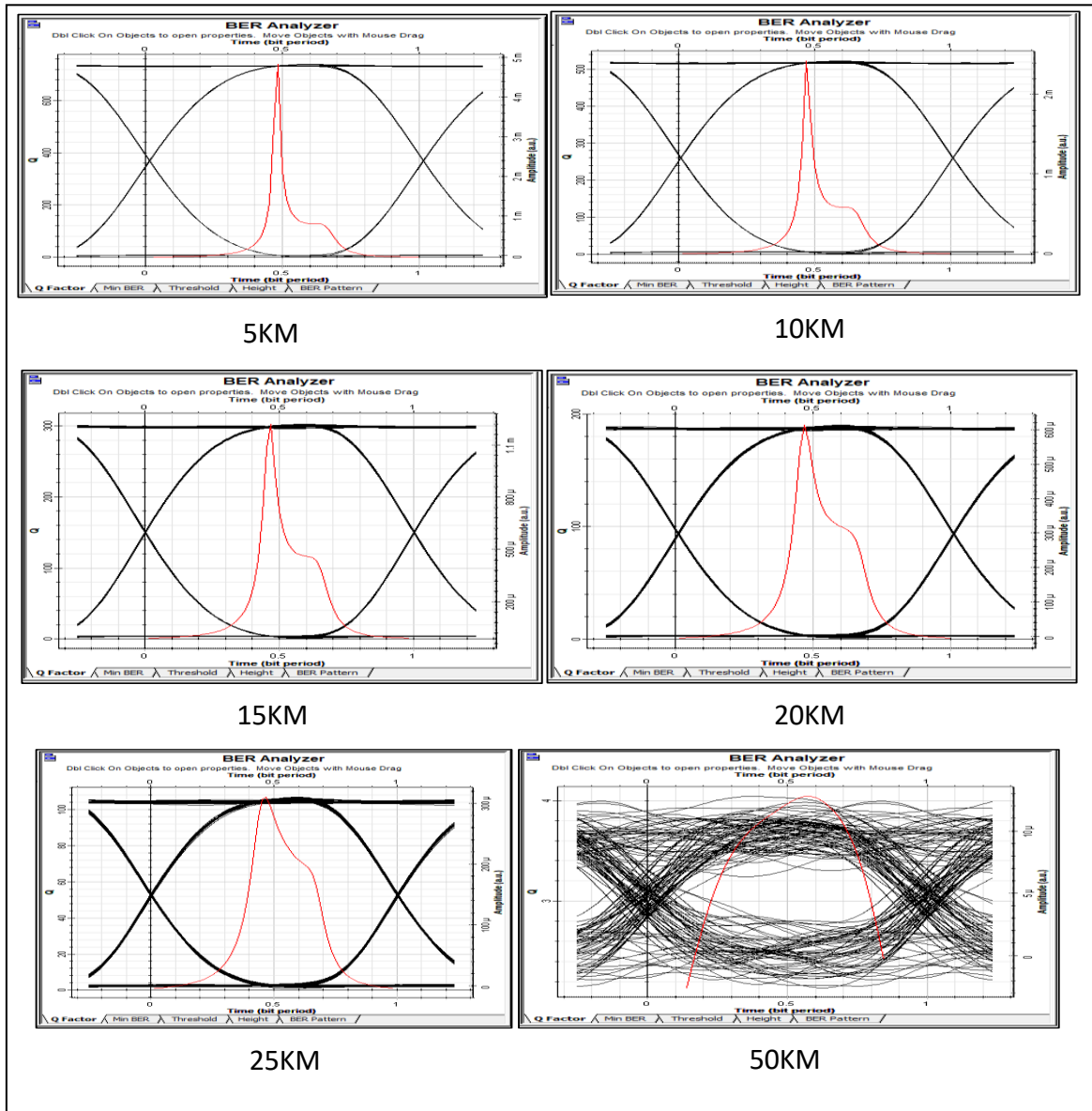


Figure III-13: diagramme de l'œil par variation de distance.

D'après les résultats obtenus de diagramme de l'œil de notre simulation nous notons que la variation de la distance de canal de transmission (fibre optique) impact sur la qualité de transmission de signal car en obtient une bonne qualité de transmission si la distance est inférieure à 50 km si la distance est supérieure à 50 km notre signal sera endommagé à cause de phénomène de dispersion chromatique

### III.4.2 Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q

Pour évaluer l'impact de débit sur le rendement, nous avons calculé le rendement (qualité du service) par rapport au facteur Q, les résultats de simulation sont groupés dans le tableau et nous avons également tracé sur le graphique l'évolution des performances Q pour différentes valeurs de débit (GB/s).

Le tableau III 3 suivant indique les résultats de facteur de qualité (Q) de plusieurs simulations selon l'augmentation du débit. Nous avons considéré la puissance de laser P=10 dBm et l'atténuation 0.6dB/km distance 10km.

Tableau III-2 les valeurs issues de la variation de débit sur le facteur Q.

Débit (GB/s)	Facteur de qualité
1	633.532
3	736.017
5	704.768
10	523.246
15	294.923
20	156.054
40	6.076

Après la simulation de la variation de débit sur la qualité de la transmission on remarque que la valeur du facteur de qualité (Q) se diminue quand augmente le débit de ce système cela donne que l'augmentation de débit impacte sur la qualité de transmission alors on note que la qualité de transmission est meilleure si on a un débit inférieur à 40Gb/s.

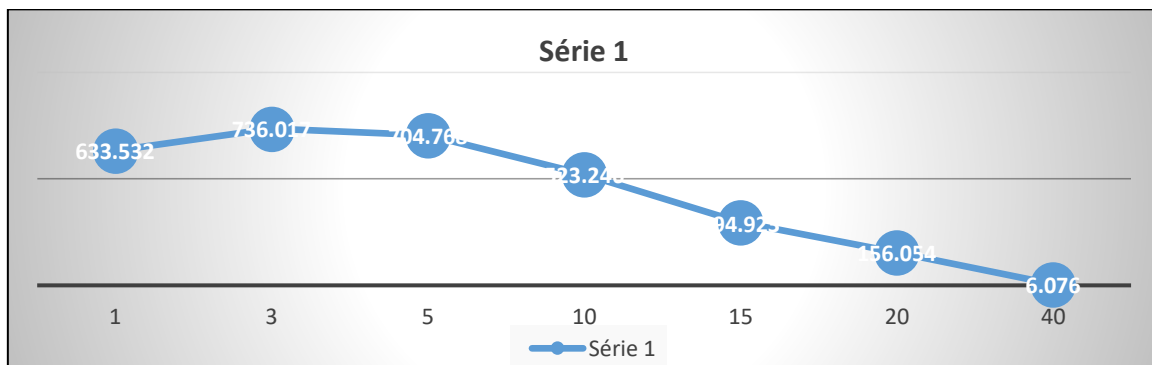


Figure III-14 Le graphique l'évolution des performances (Q).

La Figure III.17 représenter Les résultats obtenus de la simulation de la part de BER analyzer

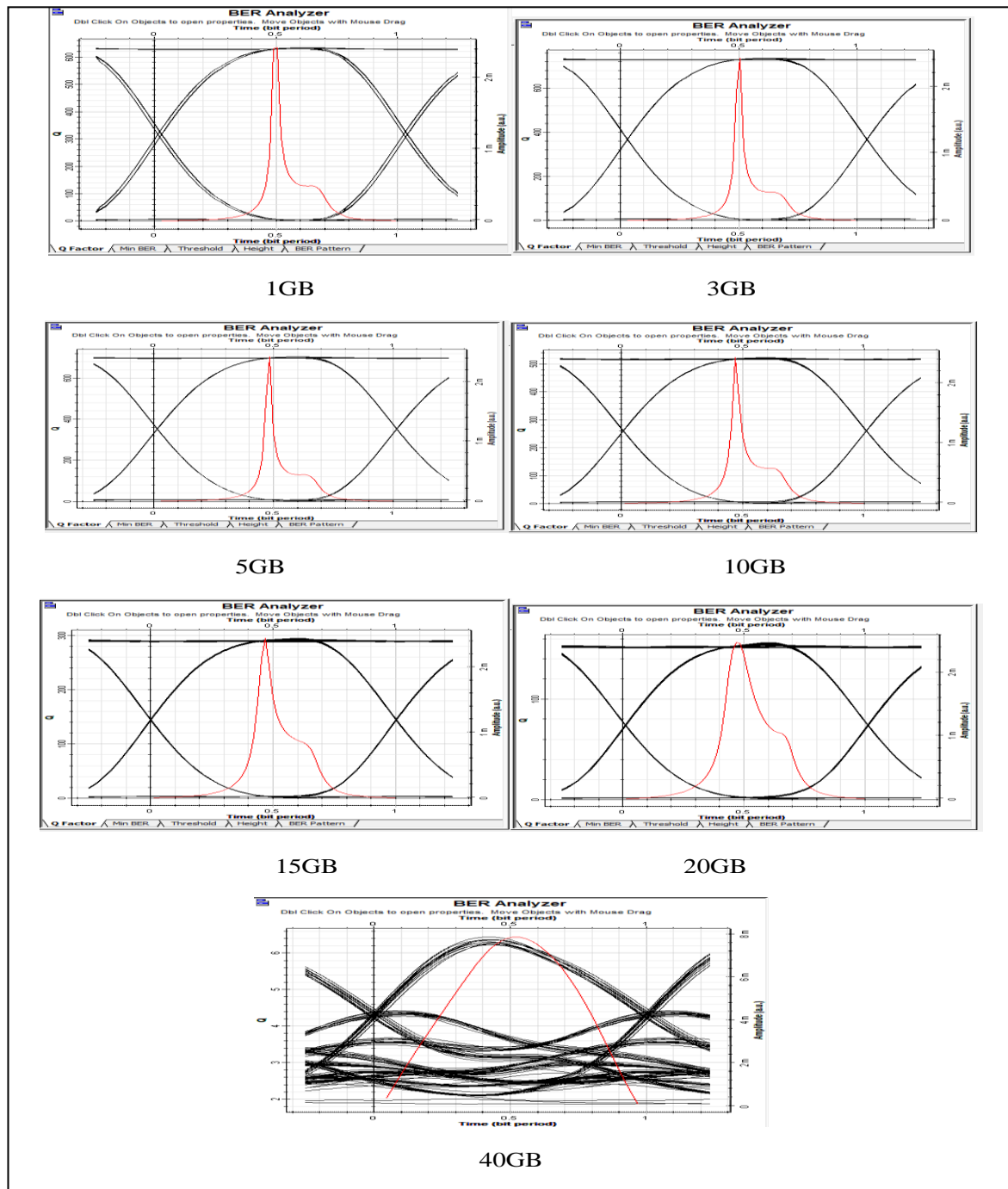


Figure III-15 Diagramme de l'œil par variation de débit.

En se référant sur les diagrammes de l'œil de la figure d'une variation de débit de 1GB/s jusqu'au 40GB/s en remarque que la qualité du signal se dégrade légèrement à moins de 40Gb/s si le débit est supérieur on obtient une distorsion du signal car notre signal sera endommagé.

### **III.5 Conclusion :**

Ces travaux de simulation sur architecture G-PON en utilisant le logiciel Optisystem-Optiwave.

Notre travaille et basé sur l'étude de l'impact de variation de débit et la distance, pour évaluera les performances de canal de transmission en impliquent l'impact de variation de débit et la distance.

### **Conclusion générale :**

Les réseaux d'accès évoluent très rapidement en ce qui concerne l'accès fixe et radio ou bien des réseaux mobiles aujourd'hui, les techniques de fibre optique sont pratiquement utilisées dans de nombreux domaines les télécommunications l'audiovisuel la médecine et le domaine militaire avant tout, ces travaux nous ont permis de renforcer et d'enrichir nos connaissances théoriques en domaine de télécommunications optiques.

Notre premier chapitre a permis de savoir les composants d'une liaison optique les différents types de fibre à savoir monomode et multimode. Aussi s'ajoute ces caractéristiques à savoir l'atténuation, et la dispersion les avantages et les inconvénients du support de transmission optiques ainsi que ses applications.

Le deuxième chapitre sera consacré aux réseaux d'accès optiques, les différents types des réseaux d'accès et la description des réseaux FTTX on a basé sur le système de FTTH où l'on parlait de différentes architectures point à point (P2P) et point à multipoint (P2M/PON) et leurs comparaisons, en détaillons les différents type de technologie point à multipoint (P2M/PON). Aussi s'ajoute les différentes parties d'un réseau d'accès FTTH comme l'OLT et l'ONU, le splitter.

Dans le troisième chapitre nous avons réalisé une simulation de la technologie GPON à l'aide de logiciel OPTISYTEM, Il s'agit d'évaluer la qualité de la transmission en variant quelques paramètres comme le débit et la distance qui peut avoir un impact sur la qualité de transmission.

En effet les résultats obtenus nous montrent une bonne transmission à une certaine distance et un certain débit.



## Bibliographie

---

- [01] Etude de cas : Bureau d'étude FTTH Présenté par : KABRE Mohamadi, Ingénieur conception réseau Télécom, Expert en réseau fibre optique,
- [02] Mlle Billai Hanane et Bendahmane Raouida « Etude d'un réseau optique ADM 10 Gbit/s »2013.
- [03] A.Dellal et E.Essafi, « Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [04] site officiel de Orange boutiquepro.orange.fr fonctionnement-de-la-fibre
- [05] site - syscope.net-G. Pinson - Physique Appliquée-Optoélectronique B33 / 5
- [06] me. ARRIBI Meriem. Melle. ELMAHI Aicha Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER La technique WDM en télécoms optiques avancées. UNIVERSITÉ MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA 2015-2016
- [07] site emrecmic.wordpress.com archives d'auteurs Minouprof 15/06/2016
- [08] <https://www.viavisolutions.com/fr-fr/conception-et-deploiement-dun-reseau-fttx>
- [09] Septembre 2009-43,-Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine-.
- [10] Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes < Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine>
- [11] Livre Blanc -Titre < Les réseaux PON (Passive Optical Network) >-18/12/2006
- [12] Fabienne Saliou ; <<Mémoire de Doctora de TELECOM PARIS TECH>> Etudes des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée - 14/06/2010.
- [13] « Mémoire SUR LES RESEAUX FTTH » ; COGISYS ; Architecture des systèmes de communication, Juillet 2009

- [14] MRABET. H ; « Cours Réseau d'accès optique ». Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis. - 2011
- [15] A.Degdag et H.Sayeh, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006
- [16] Recommendation ITU-T G.984.2 (2003), Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification.
- [17] Nakano Yuluo Hitachi<Technologie and applications of Passive Optical Network (PON)>
- [18] [http://igm.univmlv.fr/dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/pertes.html](http://igm.univmlv.fr/dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html)  
Université Paris Est-Marne la vallée
- [19] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique », Edition Dunod 1996.
- [20] Mohammed MOKRETAR & Nabil NOURA, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER < Étude et Conception d'un Système de Transmission Optique en Utilisant la Technologie WDM 4 x 20 Gbit/s > Chlef, Juil 2019.
- [21] <https://www.google.fr/optisystem>
- [22] Hilem Juba Hamadou Fouad ÉTUDE ET SIMULATIOn d'un RéseAu fttH BASé SUR LA NORME G-PON
- [23] [https://stringfixer.com/fr/Bit\\_Error\\_Rate\\_Test](https://stringfixer.com/fr/Bit_Error_Rate_Test)
- [24] Manuel interne « Huawei technologies » FTTx Field Operation.
- [25] site officiel d'Algérie Telecom
- [26] “WDM-PON is a key component in next generation access”, [www.Lightwave.htm](http://www.Lightwave.htm), 2019  
Lightwave Innovation Reviews Scores, 03 Mars 2019.
- [27] “WDM-PON is a key component in next generation access”
- [28] <https://choquantecp.medium.com/vue-densemble-du-r%C3%A9seau-d-acc%C3%A8s-gpon-ftth-670d7891e38c>

[29] Melle LOUAZANI, Melle MEDDANE < ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE > Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID- TLEMCEM 2016/2017

[30] HAMCHAOUI Massinissa, AMARA Serina < Etude d'un système FTTH > MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER, UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA, 2018/2019

[31] <rapport de stage fibre optique> <https://fr.scribd.com/doc/55911407/Stage-Fibres-Optiques> transférer par Frank Daurel 20-2011

---