

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



Université Amar Thelidji- Laghouat
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Réalisé par :

BENMEBAREK MANAL

Thème :

Etude et simulation les performances des réseaux optiques pour l'amélioration de l'efficacité de transmission FTTH

Jury de soutenance :

Nom et prénom	Grade	Qualité
BIRANE Mouhoub	MCA	Rapporteur
REGUIGUE Mourad	MCB	Président
SALEH Chaker	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Avant d'exposer notre thème, nous remercions le bon dieu qui nous a éclairci le chemin de savoir et nous a donné la volonté, le courage, et la patience nécessaire à la réalisation de ce travail.

*On présente nos premiers remerciements à notre encadreur **Mr, BIRANE MOUHOUB** Professeur à l'université de Laghouat, d'avoir accepté de nous encadrer ainsi que pour ses précieux conseils, ses encouragements tous au long de ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **REGUIQUE MOURAD** et **SALEH CHAKER** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.*

*On remercie encore tous nos enseignants **LHCENE MERAH** et **SAADI RAMDANI** durant les années des études.*

Nos derniers gratitude et non des moindres vont aux ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Dédicaces

Avant tous, je remercie le grand Dieu,

Qui nous a aidé à élaborer ce

Modeste travail.

Je dédie ce travail à :

À mes très chers parents 'BENMEBAREK LHADJ' et 'HAMDI KHADIDJA' qui ont beaucoup sacrifiés pour me faire réussir et pour leur patience et encouragement.

À mes Très chères sœurs 'AMEL' et 'DALLAL' et 'HANAA'

À toute la famille 'BENMEBAREK'

À mes tous amis

À la promotion Master Réseaux des Télécommunications 2022-2023

À tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

BENMEBAREK MANAL

الملخص :

شهد العالم في الآونة الأخيرة طلبا متزايدا لخدمة نقل البيانات عبر النطاق العريض ولمسافات طويلة ، حيث ان هذه الخدمة غير مضمونة في الوصلات الهيرتزية والخطوط الهاتفية النحاسية مما تطلب البحث والتوصل الى تكنولوجيا الالياف البصرية حتى البيت.

سنقوم بدراسة هذه التكنولوجيا (FTTH) و أنواعها و فوائدها .

لمحاكاة واختبار كفاءة النقل البصري FTTH ، استخدمنا تطبيق Optisystem ، الذي يدرس الروابط البصرية.

الكلمات المفتاحية : الالياف البصرية , FTTH , Optisystem .

Résumé :

Le monde a récemment été témoin d'une demande croissante pour la transmission de données à large bande et longue distance, car ce service n'est pas garanti dans les liaisons hertziennes et le cuivre, Tout cela explique la nécessité d'évoluer vers les « très hauts débits » utilisant les fibres optiques comme support (Fibre To The Home).

Nous étudierons cette technologie (FTTH) et ses types et avantages.

Pour la simulation et des tests l'efficacité de la transmission optique FTTH, nous avons utilisé application Optisystem, qu'étudier des liaisons optiques.

Les mots clé : La fibre optique, FTTH, Optisystem.

Abstract:

The world has recently witnessed a growing demand for broadband and long-distance data transmission, as this service is not guaranteed in microwave links and copper, all of which explains the need to move towards “very high speeds” using optical fibers as support (Fibre To The Home).

We will study this technology (FTTH) and its types and benefits.

For simulation and testing the efficiency of optical transmission FTTH, we used Optisystem application that study optical links.

Key words: Fiber optic, FTTH, Optisystem.

Sommaire

Remerciement	I
Dédicace	II
Résumé	III
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures	IX
Liste des abréviations	XV
Liste des symboles	XVII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralisés sur la transmission optique.

I.1 Introduction	3
I.2. Les supports de transmission.....	3
I.2.1 Les supports sans fils	3
I.2.1.1 Les liaisons infrarouges	3
I.2.1.2 Les liaisons hertziennes.....	4
I.2.1.3 les ondes radioélectriques.....	4
I.2.2 Les supports fils	5
I.2.2.1 Les câbles à paire torsadées.....	5
I.2.2.2 Les câbles coaxiaux.....	5
I.2.2.3 Les câbles à fibre optique.....	6
I.2.2.3.1 Historique	6
I.2.2.3.2 Les types de fibre optique	7
I.2.2.3.3 Comparaison entre les différents types de la fibre optique	9
I.2.2.3.4 Principe de fonctionnement	9
I.2.2.3.5 Les caractéristiques de fibre optique	10
I.2.2.3.6 Les effets linéaires et non linéaires dans la fibre optique	13
I.2.2.3.7 Les applications de la fibre optique	18
I.2.2.3.8 Les avantages et les inconvénients de la fibre optique	20
I.3 Transmission optique.....	20
I.3.1. Définition d'une liaison par fibre optique.....	20

I.3.2. Emetteur optique.....	21
I.3.3. Récepteur optique.....	25
I.4. Conclusion	26

Chapitre II : Les réseaux FTTH.
--

II.1. Introduction.....	28
II.2. Les réseaux optiques.....	28
II.2.1. Structure des réseaux	28
II.2.2. Les types des réseaux	28
II.2.2.1. Le réseaux longue distance (WAN)	28
II.2.2.2. Le réseaux métropolitain (MAN)	29
II.2.2.3. Le réseaux local (LAN)	29
II.3. La technologie FTTX.....	30
II.3.1. FTTC/FTTC ab.....	30
II.3.2. FTTO	30
II.3.3. FTTB.....	31
II.3.4. FTTH	31
II.3.4.1. Historique.....	32
II.3.4.2. Les composants active du réseau FTTH	33
II.3.4.3. Les composants passifs du réseau FTTH	35
II.3.4.3.1. Nœud de raccordement optique (NRO)	36
II.3.4.3.2. Sous répartiteur optique (SRO)	36
II.3.4.3.3. Boîtier Pied de l’Immeuble (BPI)	37
II.3.4.3.4. Prise Terminal Optique (PTO)	37
II.3.4.3.5. Le coupleur Optique	38
II.3.4.3.6. Jarretière Optique	38
II.3.4.4. Les principaux segments d’un réseau FTTH.....	39
II.3.4.5. Comparaison entre FTTH et ADSL	40

II.3.4.6.	Différentes topologie FTTH	41
II.3.4.6.1.	Les systèmes «point à point » P2P.....	41
II.3.4.6.2.	Les systèmes «double étoile active » AON.....	41
II.3.4.6.3.	Les systèmes « point à multipoint » PON.....	41
II.3.4.7.	Comparaison entre les deux architectures P2P et PON	43
II.3.4.8.	L'étude technico-économique d'un réseau FTTH	44
II.3.4.9.	Les avantages et les inconvénients.....	44
II.3.4.9.1	Les avantages.....	44
II.3.4.9.2	Les inconvénients	45
II.4	Conclusion.....	45

Chapitre III : Simulation de transmission FTTH dans le réseau optique.

III.1.	Introduction	47
III.2.	Présentation du logiciel OptiSystem	47
III.2.1.	Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem	47
III.2.2.	Applications du logiciel OptiSystem	47
III.2.3.	Avantages du logiciel OptiSystem	48
III.2.4.	Différents modes de simulation	48
III.3.	Interface du logiciel OptiSystem	48
III.3.1.	Démarrer OptiSystem	48
III.3.2.	Principales parties de l'interface graphique	49
III.3.2.1.	Bibliothèque des Composants	49
III.3.2.2.	Navigateur du Projet (Projet en cours)	50
III.3.2.3.	Editeur du layout	50

III.3.2.4.	Description du projet en cours	50
III.3.2.5.	Barre d'état	51
III.3.2.6.	Barre de menu	51
III.3.2.7.	Lancer une simulation	51
III.3.2.8.	Outils de visualisation	52
III.4.	Affichage des résultats à partir d'un appareil	52
III.5.	Représentation des Signaux dans Optisystem	53
III.6.	Critères de qualité d'une transmission	55
III.6.1.	Le facteur de qualité	55
III.6.2.	Taux d'erreurs binaire (BER)	55
III.6.3.	Diagramme de l'œil	56
III.7.	Conception d'une liaison optique	58
III.7.1.	Emetteur optique	59
III.7.2.	Le canal de transmission	60
III.7.3.	Récepteurs optiques	60
III.7.4.	Résultats de simulation	61
III.8.	Étude des performances d'un réseau FTTH	64
III.9.	La simulation de transmission FTTH avec fibre optique	69
III.10.	Influence des paramètres entre l'émetteur et récepteur OLT-ONT sur les performances d'un réseau FTTH	72
III.11.	Conclusion	73
	Conclusion général	75
	Référence	76

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralisés sur la transmission optique.

Tableau I.1 : Comparaissant entre les déférents types de la fibre optique. 9

Chapitre II : Les réseaux FTTH.

Tableau II.1: Caractéristiques type d'un OLT PON industriel 34

Tableau II.2 : Comparaison entre FTTH et ADSL 40

Tableau II.3: Comparaison entre P2P et PON. 43

Chapitre III : Simulation de transmission FTTH dans le réseau optique.

Tableau III.1: Descriptif des composants utilisés dans la simulation 56

Tableau III.2 : L'effet de la fréquence sur le facteur de qualité et BER 68

Tableau III.3 : L'effet de longueur sur le facteur de qualité 72

Tableau III.4 : L'effet de l'atténuation sur le facteur de qualité 72

Tableau III.5 : L'effet de puissance sur le facteur de qualité 73

Tableau III.6 : L'effet de débit sur le facteur de qualité 73

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralisés sur la transmission optique.

Figure I.1 : Liaison infrarouge.	3
Figure I.2 : Transmission hertzienne.	4
Figure I.3 : Les ondes radio sont caractérisées par leur longueur d'onde de 1 cm à plus de 100 m.	4
Figure I.4: La structure de câble à paire torsadée.	5
Figure I.5 : La structure du câble coaxial.	5
Figure I.6: La structure de la fibre optique.	6
Figure I.7 : Fibre monomode.	7
Figure I.8 : Fibre multi mode à saut d'indice et impulsions.	8
Figure I.9 : Fibre à gradient d'indice.	8
Figure I.10 : Propagation d'un rayon lumineux dans une fibre optique.	10
Figure I.11 : Ouverture numérique.	12
Figure I.12: Bande Passante d'une fibre multi mode.	12
Figure I.13 : La bande Passante de fibre monomode.	12
Figure I.14 : Effet de l'atténuation.	13
Figure I.15 : Atténuation spectrale d'une fibre optique.	14
Figure I.16: Dispersion chromatique.	16
Figure I.17 : Dispersion modale.	16
Figure I.18 : Illustration des effets de la Dispersion de polarisation.	16

Figure I.19 : Schéma récapitulatif des différents types de pertes dans une fibre optique...	17
Figure I.20 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.	18
Figure I.21 : Un endoscope.	19
Figure I.22 : Chirurgie.	19
Figure I.23 : Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.	19
Figure I.24 : Eclairage.	19
Figure I.25 : Les décorations.	19
Figure I.26 : Schéma d'une liaison optique.	21
Figure I.27 : Schéma représentatif de la diode LED.	21
Figure I.28 : Schéma représentatif de la diode laser.	22
Figure I.29 : La modulation directe.	22
Figure I.30 : La modulation externe.	23
Figure I.31 : Configuration schématique d'un simple amplificateur à fibre dopée à l'erbium..	24
Figure I.32 : Le découpage en temps entre les différentes connexions.	24
Figure I.33 : Le découpage en longueur d'onde entre les différentes connexions.	25
Figure I.34 : Photodiode PIN.	25
Figure I.35 : Photodiode PDA.	26

Chapitre II : Les réseaux FTTH.
--

Figure II.1 : Architecture typique du réseau de télécommunications.	28
Figure II.2 : Schéma montrant le réseau métropolitain (MAN).	29

Figure II.3 : Le réseau local.	29
Figure II.4 : Les différentes architectures FTTH.	30
Figure II.5 : Structure d'un réseau FTTC/FTTC ab.	30
Figure II.6 : Structure d'un réseau FTTO.	31
Figure II.7 : Structure d'un réseau FTTB.	31
Figure II.8 : Architecture de FTTH.	32
Figure II.9: Croissance du débit au cours des années.	32
Figure II.10 : Schéma global d'un réseau FTTH.	33
Figure II.11 : Ligne optique terminal OLT.	34
Figure II.12: Coupleur optique (splitter).	35
Figure II.13: Terminal de réseau optique ONT.	35
Figure II.14 : Composants passifs du réseau FTTH.	35
Figure II.15 : Nœud de raccordement optique.	36
Figure II.16 : Sous répartiteur optique.	36
Figure II.17 : Boîtier pied immeuble.	37
Figure II.18 : Prise terminal optique.	37
Figure II.19 : Modem optique.	38
Figure II.20 : Coupleur optique.	38
Figure II.21 : Jarretière optique.	39
Figure II.22: Les segments d'un réseau FTTH.	39
Figure II.23 : Topologie FTTH point à point (P2P).	41
Figure II.24 : Topologie FTTH en double étoile active (AON).	41
Figure II.25 : Topologie FTTH en PON.	42

Chapitre III : Simulation de transmission FTTH dans le réseau optique.

Figure III.1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.	49
Figure III. 2 : La bibliothèque du logiciel Optisystem.	49
Figure III. 3: Navigateur du projet	50
Figure III. 4: Editeur du layout.	50
Figure III. 5: Fenêtre de description du projet en cours	51
Figure III. 6: Fenêtre montre le lancement de la simulation	52
Figure III. 7: Outils de visualisations.	52
Figure III. 8: Types de signaux	53
Figure III.9 : Signaux binaires.	54
Figure III.10 : Signaux optique.	55
Figure III. 11: Exemple d'un diagramme de l'œil.	56
Figure III.12 : Chaîne de transmission optique.....	59
Figure III.13: Bloc d'émission optique.....	59
Figure III.14: Canal de transmission optique.....	60
Figure III.15: Bloc de récepteur optique.....	60
Figure III. 16 : Signal temporel à la sortie du modulateur Mach-Zehnder	61
Figure III. 17 : Spectre du signal temporel à la sortie du modulateur Mach-Zehnde	61
Figure III. 18 : Les données à la sortie de l'émetteur.....	61
Figure III. 19 : Signal temporel à la sortie de la fibre optique longueur (1km)	62
Figure III. 20 : Signal temporel à la sortie de la fibre optique longueur (50km).	62

Figure III. 21 : Signal temporel à la sortie de Bessel.....	62
Figure III. 22 : les donnees à l'entrée du récepteur.....	63
Figure III. 23 : Le diagramme de l'œil pour L=1km et F=193.1THZ et P= 7dBm dans fibre optique	63
Figure III. 24 : Le diagramme de l'œil pour L=50km et F=193.1THZ et P= 7dBm dans fibre optique	63
Figure III.25 : Chaîne de transmission FTTH.	64
Figure III. 26 : Bloc d'émission OLT du réseau FTTH.	64
Figure III. 27 : canal de transmission du réseau FTTH.....	65
Figure III. 28 : Bloc de réception du réseau FTTH	65
Figure .III.29 : le signal temporel à la sortie d'OLT dans réseaux FTTH	66
Figure.III.30 : le signal temporel à l'entrée de ONT dans réseaux FTTH	67
Figure.III.31 : le signal temporel à la sortie de ONT dans réseaux FTTH	67
Figure III. 32 : Le diagramme de l'œil pour L=16km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH	67
Figure III. 33 : Le diagramme de l'œil pour L=25km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH	67
Figure III. 34 : Le diagramme de l'œil pour D=1Gbits/s et L=16km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH	68
Figure III. 35 : Le diagramme de l'œil pour D=1Gbits/s et L=25km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH	68
Figure III.36 : Chaîne de transmission FTTH avec fibre optique	69
Figure .III.37 : le signal temporel à la sortie d'OLT dans réseaux FTTH avec fibre optique..	69
Figure.III.38 :le signal temporel à l'entrée de ONT dans réseaux FTTH avec fibre optique..	70
Figure.III.39 :le signal temporel à la sortie de ONT dans réseaux FTTH avec fibre optique..	70

Figure III. 40 : Le diagramme de l'œil pour $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P= 10\text{dBm}$ dans fibre optique	70
Figure III. 41 : Le diagramme de l'œil pour $D=1\text{Gbits/s}$ et $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P= 10\text{dBm}$ dans fibre optique	71
Figure III. 42 : Le diagramme de l'œil pour $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P= 10\text{dBm}$ dans réseaux FTTH avec fibre optique.....	71
Figure III. 43 : Le diagramme de l'œil pour $D=1\text{Gbits/s}$ et $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P= 10\text{dBm}$ dans réseaux FTTH avec fibre optique.....	72

LISTE DES ABRÉVIATIONS

A

- ADP** Avalanche photodiode
- AOS** Amplificateurs optiques à semi-conducteurs
- AON** Active Optical network
- ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line
- APON** ATM-Based Passive Optical Network (réseau optique passif ATM)
- ATM** Asynchronous Transfert Mode

B

- BPON** Broadband Passive Optical Network

D

- DEL** Les diodes électroluminescente
- DL** Les diodes laser

E

- EDFA** Erbium Doped Fiber Amplifier
- Er³⁺** Erbium, ion (3+)

- EPON** Ethernet Passive Optical Network

F

- FTTH** Fibre To The Home
- FTTB** Fibre To The Building
- FTTC** Fibre To The Curb
- FFTC ab** Fibre To The Cabinet
- FTTO** Fibre To The Office
- FTTX** Fibre to the X

- FAI** Fournisseur d'Accès Internet
- FSAN** Full Service Access Network
- FSO** Free Space Optics

G

- GPON** Gigabit-capable Passive Optical Network

I

- ITU_T** International télécommunication union_Télécommunications
- IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ITU- T** International Telecommunication Union - Telecommunication

L

LAN Local Area Network

M

MAN Metropolitan Area Network

N

Nd³⁺ Neodymium, ion (Nd³⁺)

NRO Nœud de Raccordement Optique

NA Nœud d'Accès

O

OLT Optical Line Terminal

ONT Optical Network Terminaison

OMCI ONU Management Control
Interface

P

PIN Positive Intrinsic Negative diode

P2P point à point

PON Passive Optical network

PM Les points de mutualisation

PBO Point de Branchement Optique

Q

Q Facteur de Qualité

S

STP Shielded twisted pairs

T

TDM Time Division Multiplexage

TEB Le taux d'erreur binaire

U

UTP Shielded twisted pairs

W

WDM Wavelength Division Multiplexing

WAN Wide area network

LISTE DES SYMBOLES

GHz	Giga hertz	T	La période
Mbits	Miga bits	FC	Fréquence de coupure
s	Second	ϵ_2	Permittivité du cœur
m	Mètre	ϵ_1	Permittivité de la gaine
KHz	Kilo hertz	θ_c	angle critique
Cm	Centimètre	L	Longueur de la fibre
μm	Le micromètre	$\Delta\tau_n$	Le retard temporel entre le rayon
Gbits	Giga bits	A	atténuation en décibel (dB)
Mhz	Miga hertz	P_e	Puissance fournie par l'émetteur en Watt (W)
ON	Ouverture numérique	P_r	Puissance reçu en Watt (W)
BP	bande passante	α	Le coefficient d'atténuation linéique
n	indice de réfraction	nm	nanomètre
C	La vitesse de la lumière dans le vide	D_{CM}	Dispersion chromatique du matériau
V	La vitesse de la lumière dans la matériau étudié	D_{CG}	Dispersion chromatique du guide
Δ	saut d'indice entre cœur et la gaine	τ_t	Temps de transite
n_c	L'indice de réfraction du cœur.		
n_g	L'indice de réfraction de la gaine		
λ	Longueur d'onde dans le vide		
C	Célérité dans le vide		
f	Fréquence de l'onde		

D_{CGM}	La dispersion chromatique	Mo	Méga octets
OH-	Les ions hydroxydes	Min	minute
N	nombre de porteuses optiques	H	heure
Mps	Mégabit par seconde	THZ	Téra hertz
Go	Giga octets	P	La puissance
		D	Débit
N	Nombre de porteuses optiques		

Introduction générale

Dans le réseau de télécommunication les supports de transmission transportent ses données sous forme de signaux, entre les interfaces réseaux, on distingue les supports fils et sans fils.

Parmi les supports de transmission, Les fibres optiques, qui sont largement utilisées dans les télécommunications parce qu'elles possèdent des caractéristiques qui les distinguent des câbles de cuivre, y compris leur capacité à transmettre une grande quantité d'informations sur de longues distances, où elles sont divisées en deux types fibres multi mode et fibres monomodes.

Le passage à l'optique dans la boucle local commun sous le terme générique FTTX (fibre To The X), parmi lesquels la fibre jusqu'au domicile FTTH c'est la solution d'accès par fibre, le principe avantage d'un accès internet FTTH est l'augmentation des performances du réseau, notamment des vitesses plus élevées sur une longue distance, que l'ancienne méthode utilisant des câbles coaxiaux, des conducteurs à paires torsadées et le DSL ne peut atteindre, cette technologie consiste à trois solutions envisageables : P2P, PON, AON.

Notre travail est organisé en trois chapitres :

Nous débuterons le premier de ce chapitre par une étude générale d'une transmission optique, en premier lieu on va donner les types de support de transmission, ensuite nous allons définir les principes, les caractéristiques, les différents types de fibre, les applications, En suite on a étudié les généralités de liaison optique d'un émetteur à récepteur.

Dans le second chapitre on va définir la généralité de la technologie FTTH, définition, les composants, les différentes technologies, la comparaison avec ADSL et les avantages, les inconvénients.

Ensuite dans le troisième chapitre sera une simulation des réseaux optiques dans la transmission FTTH en utilisant le logiciel OPTISYSTEME.

En fin on terminera ce travail par une conclusion générale et perspective d'avenir.

Chapitre I :
Généralisé sur la
transmission
optique

I.1 introduction :

Pour que les informations puissent circuler au sein d'un réseau informatique, il est nécessaire de relier les différents équipements à l'aide des supports de transmission.

Un support de transmission est un canal de liaison, on distingue : avec fil (câble coaxial, paire torsadée, fibre optique) et sans fil (liaison infrarouge, liaison hertzienne, ondes électrique).

La fibre optique est le meilleur support en raison des avantages très haut débit et faible atténuation et longue distance.

Globalement une liaison optique est composé d'un émetteur (les diodes, les modulations,.. etc) et d'un récepteur (les photolectures) reliés par une fibre optique.

I.2. Les supports de transmission :

- Généralement on classe les supports en deux catégories :
 - **les supports libres (sans fil) :** les liaisons hertziennes et liaisons infrarouges.
 - **les supports guidés (fil) :** câble paire torsadée, câble coaxial, fibre optiques.

I.2.1. Les supports sans fils :

I.2.1.1. Les liaisons infrarouges :

La liaison infrarouge est utilisée dans des réseaux sans fil (réseaux infrarouges). Il lie des équipements infrarouges qui peuvent être soit des téléphones soit des ordinateurs, Théoriquement les liaisons infrarouges ont des débits allant jusqu'à 100Mbits/s et une portée allant jusqu'à plus de 500m. [1]

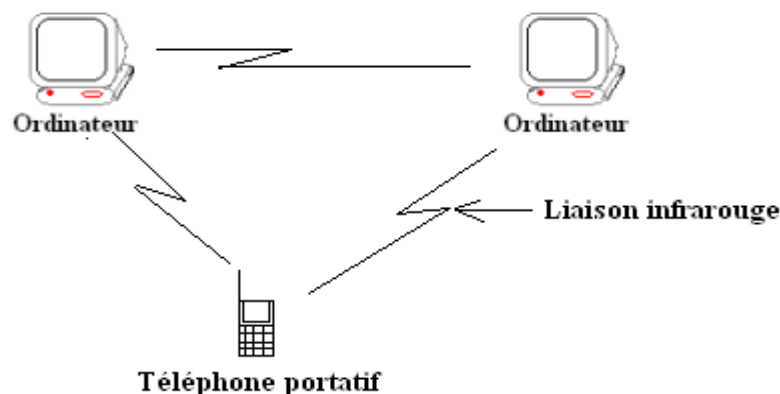


Figure I.1 : Liaison infrarouge. [2]

I.2.1.2. Les liaisons hertziennes :

Les faisceaux hertziens reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles émettant dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique, la transmission se fait entre des stations placées en hauteur. [3]



Figure I.2 : Transmission hertzienne [4]

I.2.1.3. Les ondes radioélectriques :

Les ondes radioélectriques correspondent à des fréquences comprises entre 10 kHz et 2 GHz. Un émetteur diffuse ces ondes captées par des récepteurs dispersés géographiquement. Contrairement aux faisceaux hertziens, il n'est pas nécessaire d'avoir une visibilité directe entre émetteur et récepteur, car celui-ci utilise l'ensemble des ondes réfléchies et diffractées. En revanche, la qualité de la transmission est moindre car les interférences sont nombreuses et la puissance d'émission est beaucoup plus faible. [3]



Figure I.3 : Les ondes radio sont caractérisées par leur longueur d'onde de 1 cm à plus de 100 m. [5]

I.2.2. Les supports fils :

I.2.2.1. Les câbles à paires torsadées :

La paire torsadée est constituée de deux fils de cuivre isolés d'une épaisseur d'environ 1mm. Ces fils sont enroulés l'un sur l'autre, cela permet de réduire les radiations électromagnétiques perturbatrices. [6]

En réseau informatique on distingue deux types de câbles à paires torsadées : les câbles STP blindée (shielded twisted pairs), les câbles non blindée (UTP) (Unshielded twisted pair).

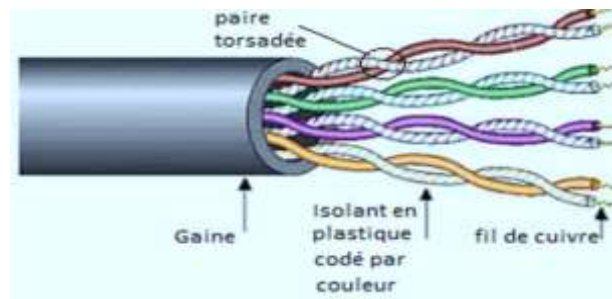


Figure I.4 : La structure de câble à paire torsadée [5]

I.2.2.2. Les câbles coaxiaux :

Un câble coaxial est composé de deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant et enveloppés dans une gaine pour éviter les perturbations dues aux bruits externes (figure I.5). [5]



Figure I.5 : La structure du câble coaxial. [7]

I.2.2.3. Les câbles à fibre optique :

La fibre optique est un support physique de transmission permettant la transmission de données à haut débit grâce à des rayons optiques. Une fibre optique est une guide d'onde cylindrique qui transmet l'information sous forme, de lumière à travers des longues distances avec un débit élevé. [8]

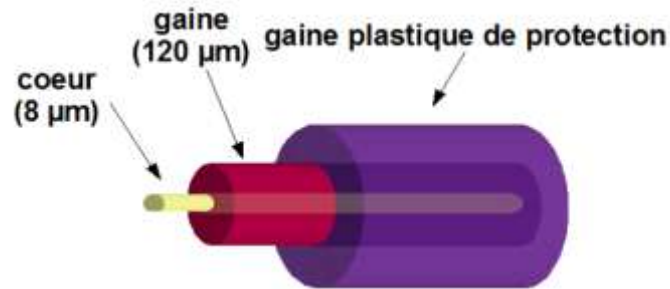


Figure I.6: La structure de la fibre optique. [8]

La fibre optique est un guide d'onde cylindrique, composée des éléments de base suivants :

- **Le cœur :** C'est la région centrale de la fibre qui permet le guidage des ondes lumineuses, d'indice de réfraction n_1 .
- **La gaine :** Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui du cœur, ce qui permet par conséquent, la réflexion totale et perpétuelle des modes à l'interface cœur-gaine.
- **Le revêtement :** Le revêtement assure la protection. [9]

I.2.2.3.1. Historique :

Au début des années 1950 c'était les premières années d'applications fructueuses de la fibre optique.

Après l'invention du laser en 1960, les télécommunications par la fibre optique étaient possibles. Le laser offrit l'occasion de transmettre un signal sur une grande distance. Dans sa publication en 1964, Charles Kao, des Standard Télécommunication Laboratoire, décrivit un système de communication à longue distance et à faible atténuation en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Cette technique est souvent considérée comme la première transmission des données par la fibre optique.

Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. [10]

I.2.2.3.2. Les types de fibre optique :

➤ Il existe 2 grands types de fibres:

A. Fibre monomode :

Parmi ses caractéristiques, le cœur très fin, dans le but que la propagation des signaux soit directe, la dispersion du signal est quasiment nulle, les rayons suivent un seul trajet.

Ce type est essentiellement utilisé pour les grandes distances (supérieur à 1Km), à débit important (environ 100 Gbits/km), et nécessite peu de nœuds de raccordement.

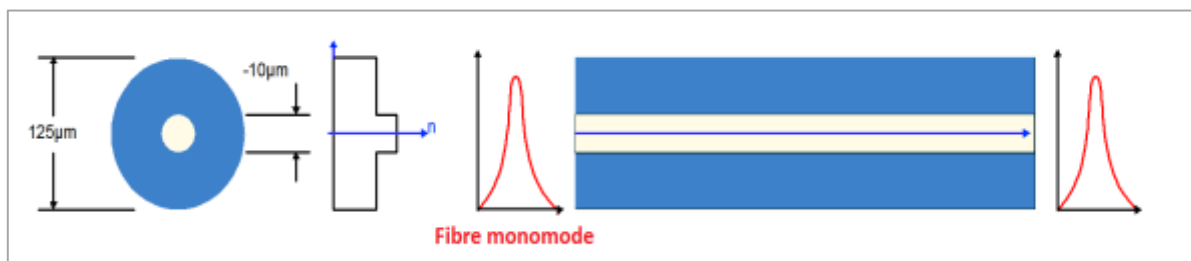


Figure I.7 : Fibre monomode. [11]

- **Débit:** environ 100 Gbit/s
- **Portée maximale:** environ 100 Km
- **Affaiblissement:** de 0,2 à 0,5 dB/Km. [12]

B. Fibre multi mode :

Plusieurs modes de propagation coexistent, Ce type est utilisé pour les courtes distances (centaine de mètres) et un débit plus faible (1Gbits/km environ), elle est utilisée pour les réseaux privés.

a. Fibre multi mode à saut d'indice :

C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux LAN. Cette fibre possède un cœur très large dont le diamètre du cœur varie entre 100 μm et 200 μm , dans lequel on peut avoir plusieurs modes de propagation de la lumière, et celui de la gaine varie de 150 μm à 250 μm , et l'atténuation du signal est très importante.

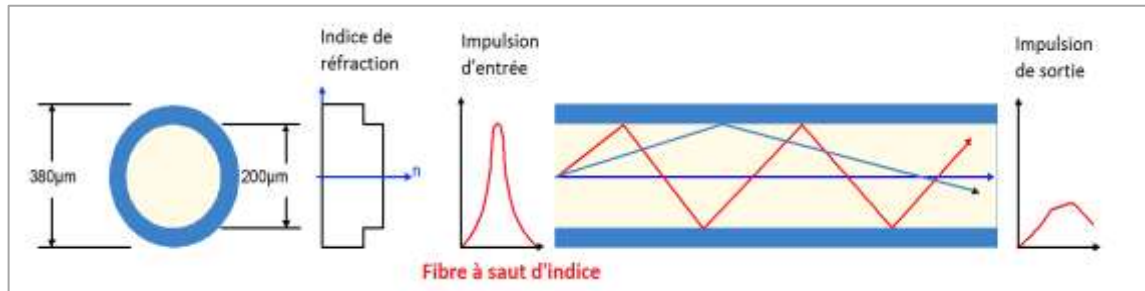


Figure I.8 : Fibre multi mode à saut d'indice et impulsions. [11]

- **Débit:** environ 100 Mbit/s
- **Portée maximale:** environ 2 Km
- **Affaiblissement:** jusqu'à 10 dB/Km. [12]

b. Fibre à gradient d'indice :

Dans ce cas il n'y a pas de différence entre l'indice de réfraction entre cœur et la gaine le diamètre diminue progressivement vers l'extérieur. Le diamètre de la gaine est de 150 μm et celui du cœur est de 50-100 μm .

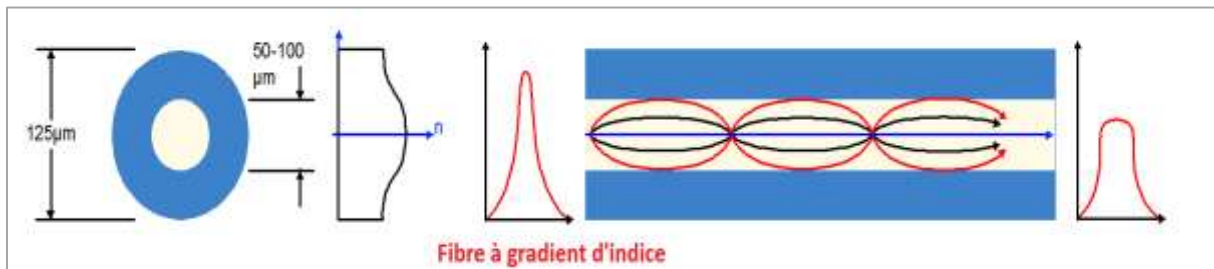


Figure I.9 : Fibre à gradient d'indice. [11]

➤ Les caractéristiques de la fibre multi mode à gradient d'indice sont

- **Débit:** environ 1 Gbit/s.
- **Portée maximale:** environ 2 Km.
- **Affaiblissement:** ~10 dB. [12]

I.2.2.3.3. Comparaissant entre les différents types de la fibre optique :

Tableau I.1 : Comparaissant entre les déférents types de la fibre optique. [13]

Structure	Avantage	inconvénients	Applications pratique
Multi mode à saut d'indice	-Grande ouverture numérique -Connexion facile -Faible prix -Facilite de mis en œuvre	-Pertes -Dispersion - distorsion élevées du signal	-Communications courtes distances -réseaux locaux
Multi mode à gradient d'indice	-Bande passante raisonnable -bonne qualité de transmission	-Difficile à mettre en œuvre	-Communications courtes -moyennes distances
Monomode	-Bande passante très grande -atténuation très faible - faible dispersion	-Prix très élevé	-Communications longues distances

I.2.2.3.4. Principe de fonctionnement :

L'utilisation de la réflexion totale interne fait que la fibre optique soit complètement différente des autres techniques de transmission de données. Ce principe de cette technologie fait que lorsqu'un rayon lumineux accède à l'intérieur d'une fibre optique, par l'une de ses extrémités avec un certain angle, il subit plusieurs réflexions totales internes (**figure I.10**). Ce rayon se propage jusqu'à l'autre extrémité de l'à fibre sans perte, en suivant un parcours en zigzag. [14]

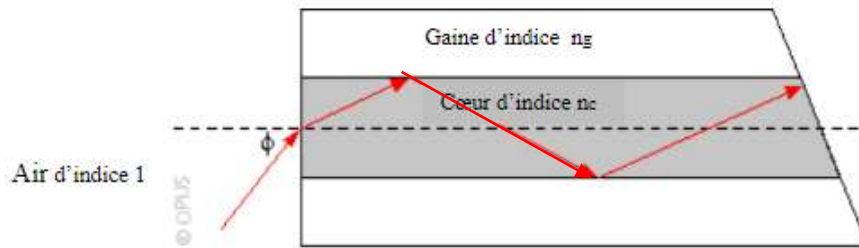


Figure I.10 : Propagation d'un rayon lumineux dans une fibre optique.

➤ Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres :

- L'indice de réfraction d'un matériau correspond au rapport $n = \frac{c}{v}$, où c représente la vitesse de la lumière dans le vide qui est égale à 3.10^8 m/s, et v est la vitesse de la lumière dans le matériau étudié. [13]
- **La différence d'indice normalisé**, qui donne une mesure du saut d'indice entre cœur et la gaine.

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c} \quad (\text{I.1})$$

n_c : L'indice de réfraction du cœur.

n_g : L'indice de réfraction de la gaine. [14]

I.2.2.3.5. Les caractéristiques de Fibre optique :

a) Propagation :

La lumière est une onde électromagnétique que l'on définit habituellement par sa longueur d'onde dans le vide.

$$\lambda = C.T = \frac{c}{f} \quad (\text{I.2})$$

C : Célérité dans le vide = 3.10^8 m/s

f : Fréquence de l'onde.

La lumière infrarouge utilisée dans les fibres optiques est dans les longueurs d'ondes : $0,85\mu\text{m}$, $1,3\mu\text{m}$ et $1,5\mu\text{m}$ principalement.

➤ loi de Snell:

La loi de Snell Descartes permet de relier l'angle de la lumière incidente à l'angle réfracté en fonction des indices des milieux : $n_1 > n_2$ [9]

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\text{I.3})$$

b) Fréquence de coupure :

Lorsque la lumière pénètre dans une fibre, il faut que la fréquence de celle-ci soit supérieure à une fréquence de coupure déterminée par le diamètre de la fibre. En pratique, le diamètre de la fibre ne doit pas être inférieur à la longueur d'onde à transmettre.

$$FC = \frac{0.23 \cdot 10^9}{\alpha \sqrt{\varepsilon_2 \varepsilon_1}} \quad (\text{I.4})$$

ε_2 : Permittivité du cœur.

ε_1 : Permittivité de la gaine.

c) L'ouverture numérique :

L'ouverture numérique (ON) est une caractéristique de la fibre optique liée à l'angle d'acceptance, elle est calculée à partir des indices de réfraction du cœur et de la gaine. Elle est donnée par la relation suivante :

$$ON = \sqrt{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} \quad 0 \leq ON \leq 1 \quad (\text{I.5})$$

Le cône d'acceptation est déterminé en utilisant l'ouverture numérique $ON = \sin \theta_c$
Avec :

θ_c : angle critique. [9]

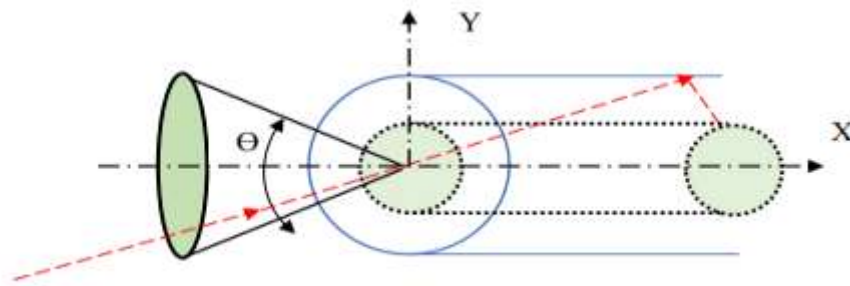


Figure I.11 : Ouverture numérique.

d) La bande passante :

La capacité de transmission de données d'une fibre optique s'exprime en mégahertz. Kilomètres. La bande passante dépend du type de fibre, mais la fibre monomode peut charger beaucoup plus d'informations que la fibre multi mode.

1. Cas de fibre multi mode :

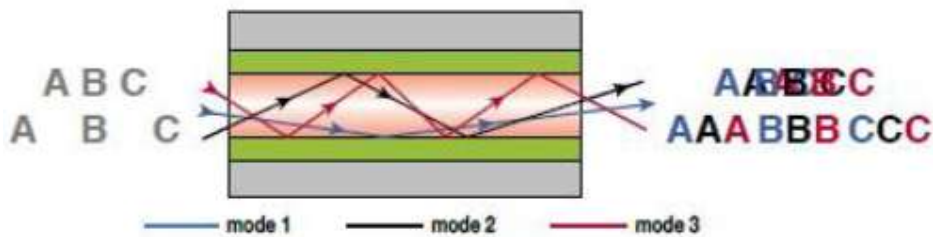


Figure I.12: Bande Passante d'une fibre multi mode.

L'information (A, B ou C) se propage à travers la fibre selon n modes et se transforme comme si elle était "divisée" n fois. Par exemple, dans la figure ci-dessus, le chemin du mode 3 est plus long que le chemin du mode 2 et le chemin du mode 2 est plus long que le chemin du mode 1. Il faut donc limiter le débit et laisser un espace suffisant.

2. Cas de fibre monomode :



Figure I.13 : La bande Passante de fibre monomode.

L'information (A, B ou C) se propage dans la fibre selon un mode unique et ne se déforme pas. Par conséquent, l'information peut être rapprochée, Atteignez un débit beaucoup plus élevé. [15]

- La bande passante pour une longueur de la fibre « L » est :

$$BP = \frac{L}{\Delta\tau_1 + \Delta\tau_2} \quad (I.6)$$

Avec :

$\Delta\tau_1$: Le retard temporel entre le rayon le plus incliné ($\theta = \theta_c$) et le rayon parallèle à l'axe ($\theta = 0^\circ$). Ou :

θ_c : L'angle critique.

$\Delta\tau_2$: Le retard temporel résultant d'une variation de longueur d'onde en fonction de l'indice due à la dispersion intrinsèque du matériau. [16]

I.2.2.3.6. Les effets linéaires et non linéaires dans la fibre optique :

La propagation sur fibre optique comprend de nombreux effets physiques tels que **les effets linéaires** et **des effets non linéaires** variés dont il faudra analyser les conséquences sur la qualité de transmission.

A. L'effet linéaire :

a. L'atténuation :

La lumière se propage la longe de la fibre s'atténue progressivement, l'amplitude s'affaiblit au cours de la transmission, tout en dépendant de la distance parcourue le signal.

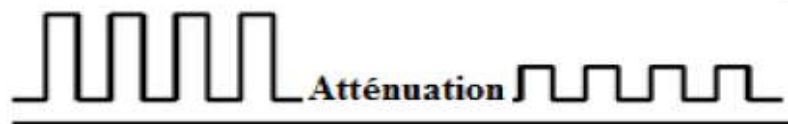


Figure I.14 : Effet de l'atténuation.

L'atténuation A d'un signal se propageant dans un câble ou une fibre optique est égale à :

$$A = 10 \log \frac{P_e}{P_r} \quad (\text{I.7})$$

A : atténuation en décibel (dB)

P_e : Puissance fournie par l'émetteur en Watt(W)

P_r: puissance reçu en Watt (W)

Le coefficient d'atténuation linéique α est égal au rapport de l'atténuation **A** sur la longueur du fil :

$$\alpha = \frac{A}{L} \quad (\text{I.8})$$

α : Coefficient d'atténuation linéique en décibel par mètre ($\text{dB} \cdot \text{m}^{-1}$).

A : atténuation en décibel (dB).

L : longueur du fil (m).

L'atténuation dans les fibres optiques découle de plusieurs mécanismes. L'absorption intrinsèque du matériau constitutif provoque une augmentation très rapide des pertes aux basses longueurs d'onde. Les impuretés présentes dans le matériau peuvent créer diverses bandes d'absorption. Dans le cas de la silice Pure, le minimum théorique d'atténuation devrait descendre à 0,14 dB/km vers $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$. De plus, les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion.

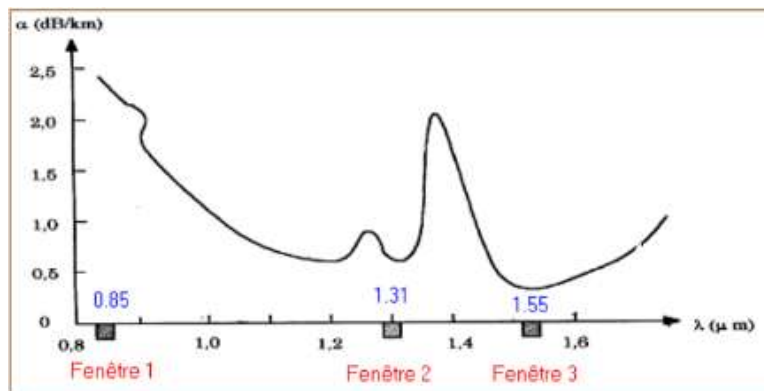


Figure I.15 : Atténuation spectrale d'une fibre optique.

L'atténuation minimale de 0,22 dB/km n'est pas très loin du minimum théorique pour la silice. La différence s'explique par le fait que l'on ne peut pas utiliser de la silice pure. On doit doper soit le cœur, soit la gaine et cela augmente les fluctuations de composition et donc les pertes par diffusion. [15]

b. La dispersion :

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal, étalant l'impulsion au fur et à mesure qu'elle se propage à travers la fibre optique. Il existe trois types d'écart :

- **Dispersion chromatique :**

La dispersion en longueur d'onde est une combinaison de deux types de dispersion, la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'ondes. Le premier est dû à la dépendance à la longueur d'onde de l'indice de réfraction.

En effet, **la dispersion du matériau** est très faible par rapport à une longueur d'onde d'environ 1300 nm, et cette dispersion est présente dans toutes les fibres optiques, qu'elles soient monomodes ou multi modes. **La dispersion des guides d'ondes** est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Cela est dû au fait que la distribution de la lumière en mode basique sur le noyau et la gaine dépend de la longueur d'onde. [17]

➤ La dispersion chromatique est donnée par :

$$D_{CGM} = \frac{\tau_t}{Ld\lambda} \quad (\text{I.9})$$

$$D_{CGM} = D_{CM} + D_{CG} \quad (\text{I.10})$$

D_{CM} : Dispersion chromatique du matériau.

D_{CG} : Dispersion chromatique du guide.

τ_t : Temps de transit.

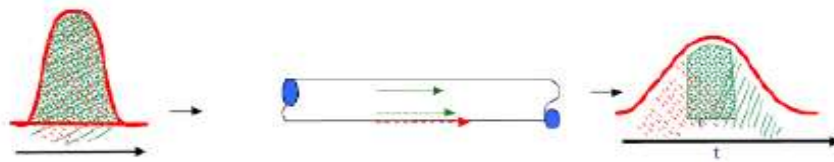


Figure I.16:Dispersion chromatique.

- **Dispersion modale :**

Qui résulte de la différence de temps de propagation des différentes modes qui se propage dans la fibre multi modes.

La dispersion est une grandeur très importante pour les télécoms à grandes distances. Les fibres monomodes en silice offrent actuellement la meilleure fiabilité et la plus grande bande passante que toute autre fibre, indispensables pour une propagation du signal sur de longues distances ou pour le WDM. [18]

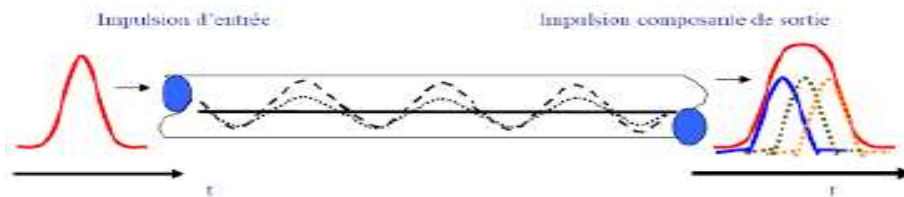


Figure I.17 : Dispersion modale.

- **Dispersion de polarisation :**

Cette dispersion due à la biréfringence de la fibre provoque une déformation de l'impulsion optique car les constantes de propagation des deux grands états de polarisation diffèrent légèrement. Afin de corriger avec précision la dispersion de polarisation de la fibre installée, il est nécessaire de la mesurer au préalable. [17]

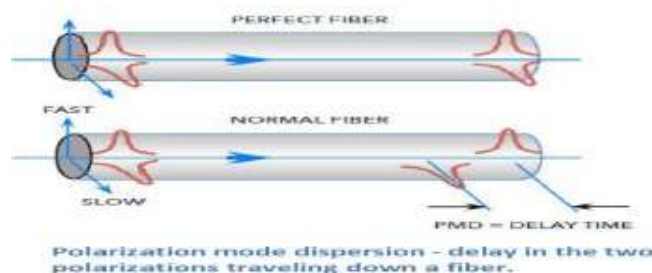


Figure I.18 : Illustration des effets de la Dispersion de polarisation. [17]

c. Pertes dans la fibre optique :

Un schéma récapitulatif des différents types de pertes dans une fibre optique est représenté dans la **Figure 1.19**.

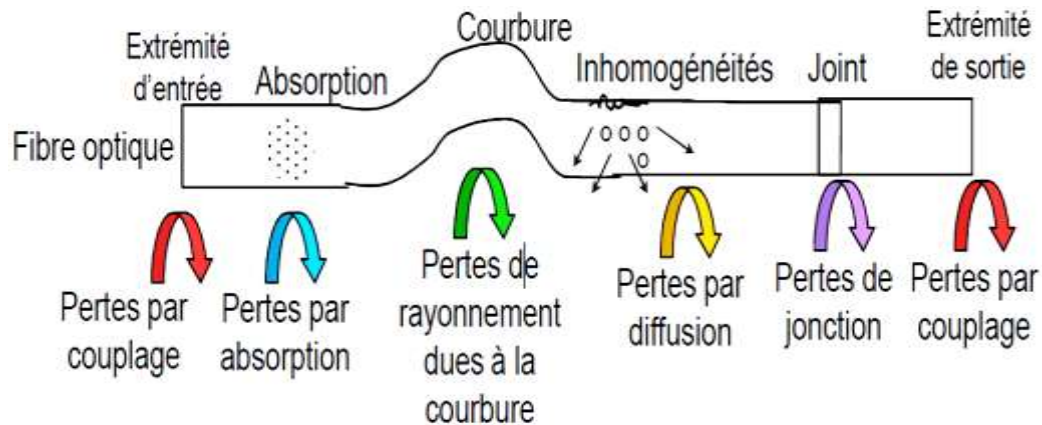


Figure I.19 : Schéma récapitulatif des différents types de pertes dans une fibre optique.

- **L'absorption :**

Les phénomènes mis en jeu ici sont régis par les lois des échanges d'énergie au niveau des atomes constituant le matériau de la fibre (absorption intrinsèque) ou ceux constituant les impuretés de ce matériau, comme les ions hydroxydes OH⁻ (absorption extrinsèque).

- **Pertes par couplage :**

Lors de l'injection dans la fibre optique, l'intégralité du rayonnement incident ne rentre pas dans le cœur ou ne se propage pas dans la fibre.

- **Pertes de connectique :**

Lorsqu'on raccorde bout à bout deux fibres optiques on voit apparaître des pertes ponctuelles ces pertes sont dues à une séparation longitudinale, un désalignement radial, un désalignement angulaire, une excentricité des cœurs ou une ellipticité des cœurs. [18]

B. L'effet non linéaire :

a. L'effet Kerr :

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variable. Fréquence du signal optique émis et élargit le spectre jusqu'à quelques GHz.

L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique :

$$n = n_0 + n_2 \quad (\text{I.11})$$

Avec :

n_0 : Une constante

n_2 : Une fonction quadratique de la puissance.

b. Les effets Raman et Brillouin :

L'effet Raman est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des phonons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques. [19]

I.2.2.3.7. Les applications de la fibre optique :

- **Les télécommunications :**

Les télécommunications utilisent la fibre optique pour envoyer des informations telles que des téléphones, des images et des données.



Figure I.20 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

- **La médecine :**

➤ la médecine, où la fibre optique est notamment utilisée :

En chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine

En endoscopie, pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.



Figure I.21 : Un endoscope.



Figure I.22: Chirurgie.

- **Les capteurs (température, pression, etc.) :**

La fibre optique peut être utilisée dans le domaine des capteurs: le gyroscope à fibre optique est un instrument qui peut être utilisé dans les navires, sous-marins, avions ou satellites pour fournir une vitesse angulaire. [20]

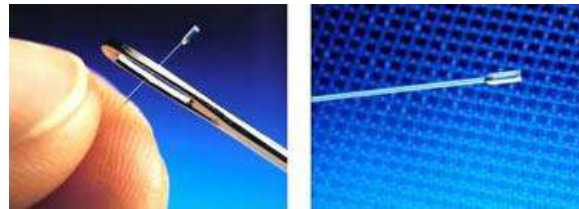


Figure I.23: Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins. [20]

- **L'éclairage :**

Dans le domaine de l'éclairage, la fibre optique est également largement utilisée dans l'aménagement de la muséographie, de l'architecture, des espaces de loisirs publics et domestiques. [17]



Figure I.24:Eclairage.



Figure I.25: Les décorations.

I.2.2.3.8. Les avantages et les inconvénients de la fibre optique :

a) Les Avantages :

- La fibre optique possède plusieurs avantages dont on peut citer :
 - **La sécurité** Les fibres optiques sont immunisées aux parasites électromagnétiques et elles-mêmes n'émettent aucune radiation, elles sont aussi très difficile à pirater.
 - **Faible atténuation** Elles ont une atténuation du signal moins importante que celle du câble cuivre et du câble coaxial.
 - **Large bande passante** elle offre une capacité de transport bien plus élevée que le cuivre.
 - **Isolation éclectique** Les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions, même en voisinage d'installations à haute tension.
 - **Faible poids** La masse d'un câble à fibre optique est de l'ordre de quelques grammes.
 - **Souplesse d'installation** Les câbles peuvent être installés dans tous les endroits désirés comme être immergés sous l'eau, ils sont moins sensibles et moins influencés par le gaz et la de la température. [21]

b) Les inconvénients :

- **Coût** : les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer, mais durent plus longtemps que les câbles de cuivre.
- **Transmission** : la transmission du signal dans les câbles de fibres optiques doit se répéter au long d'une certaine distance grâce à des appareils amplificateurs .
- **Fragilité** : Quand le câble est rayé ou fissuré, les fibres peuvent être cassées ou perdent la transmission.
- **Protection** : Les fibres exigent plus de protection autour du câble comparé au cuivre. [15]

I.3. Transmission optique :

I.3.1. Définition d'une liaison par fibre optique :

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est converti d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur. [22]

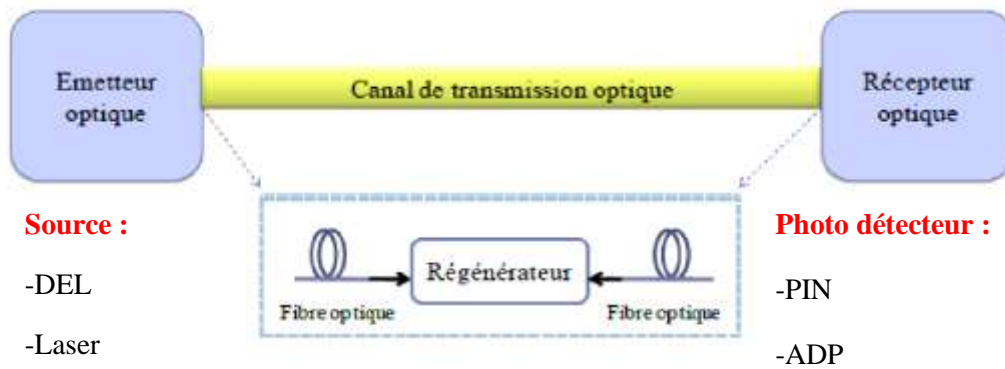


Figure I.26 : Schéma d'une liaison optique. [23]

I.3.2. Emetteur optique :

a. Source optique :

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

En télécommunication optique, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus large impose le choix de sources à spectre réduit telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). [22]

1. Diode électroluminescente :

Une LED est une jonction PN polarisée en direct. Les électrons ou les trous qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leur recombinaison donne lieu à une émission de la lumière (**Figure I.27**). Ces diodes sont généralement utilisées pour les applications bas débit. C'est pour ces raisons que nous ne parlerons dans la suite que des diodes lasers à semi-conducteurs. [24]

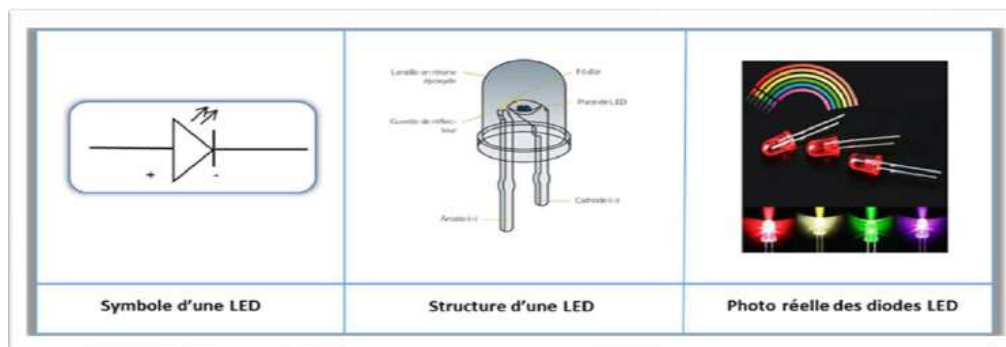


Figure I.27 : Schéma représentatif de la diode LED. [11]

2. Diode laser :

Cette diode est un semi-conducteur utilisé pour la transmission des signaux lumineux à une longue distance. Pour obtenir l'effet laser (acronyme de « amplification de la lumière par émission stimulée de radiation »), il est nécessaire d'avoir suffisamment d'électrons et de photons incidents (excitateurs), pour cela, il faut enfermer cette jonction dans une cavité résonante (voir figure I.28). [11]

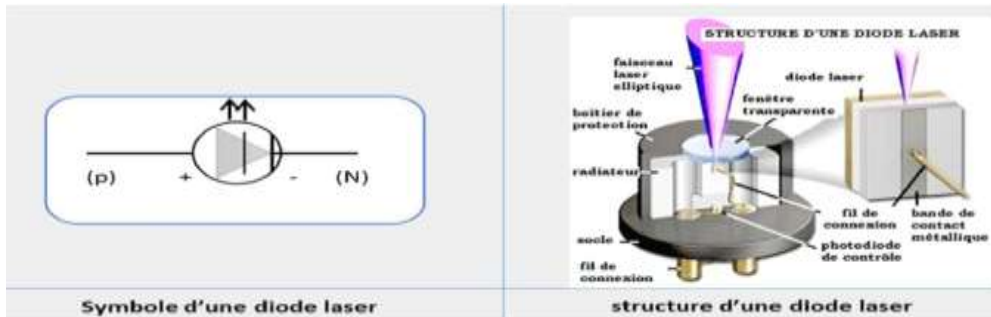


Figure I.28 : Schéma représentatif de la diode laser. [11]

b. Les modulations :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, qui est une fonction essentielle de tout système de transmission. Pour réaliser la modulation d'émission, on a deux possibilités : [25]

- **La modulation directe :**

La modulation directe représente la modulation la plus simple car elle consiste à moduler directement par le courant d'alimentation du laser sans l'aide d'un modulateur externe l'intensité de la lumière émise par ce laser (la modulation se fait dans le laser lui-même). [26]

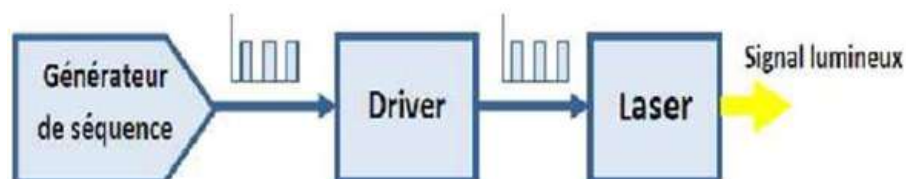


Figure I.29 : La modulation directe. [27]

- **La modulation externe :**

La modulation la plus utilisée dans les télécommunications à haut débit sur de longues distances est la modulation externe, son principe consiste à utiliser un modulateur externe pour modifier l'un des paramètres de l'onde lumineuse et parvenir à moduler le signal lumineux car le courant injecté à la diode restera constant. [26]

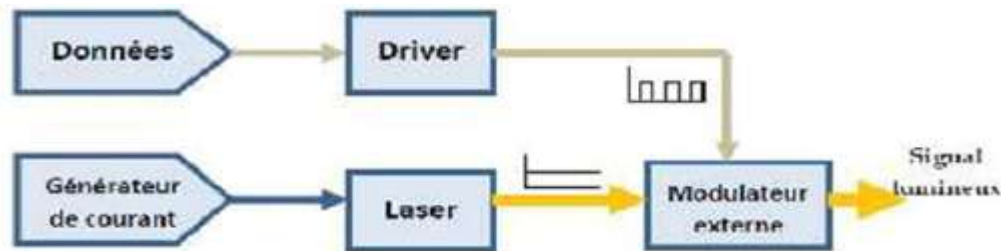


Figure I.30 : La modulation externe. [27]

- c. **Les amplificateurs optiques :**

Un amplificateur optique est un composant qui permet d'amplifier directement la lumière sans la contrainte d'une conversion optique-électronique. Il est utilisé pour compenser l'atténuation dans la fibre optique. Selon la nature du milieu amplificateur, on distingue :

- Les amplificateurs optiques à semi-conducteurs (AOS).
- Les amplificateurs **EDFA** utilisant une fibre optique dopée avec des ions terres rares (Er^{3+} , Nd^{3+} ou autre) qui sont pompés optiquement.
- les amplificateurs optiques utilisant l'**effet Raman stimulé**. [28]

Actuellement, la technologie la plus utilisée pour amplifier le signal est l'amplification à fibre dopée Erbium (**EDFA : Erbium Doped Fibre Amplifier**)

1. **Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier) :**

Les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium L'EDFA est un amplificateur composé d'une petite longueur de fibre dopée aux ions Er^{3+} . Le signal optique à amplifier ainsi que le laser pompe (apportant l'énergie) sont couplés dans la fibre dopée et émettent dans la même direction.

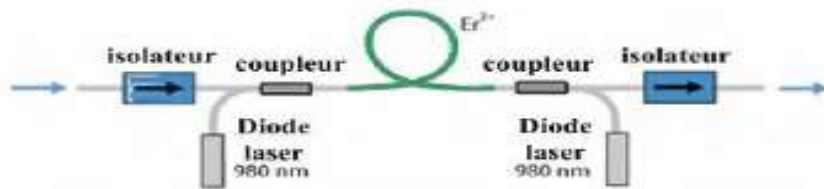


Figure I.31: Configuration schématique d'un simple amplificateur à fibre dopée à l'erbium.

Deux diodes laser (LD) fournissent la puissance de pompage de la fibre dopée à l'erbium. La lumière de la pompe est injectée via des coupleurs à fibres dichroïques. Les isolateurs optiques réduisent la sensibilité de l'appareil aux réflexions.

La configuration illustrée contient également deux isolateurs optiques. L'isolateur à l'entrée empêche la lumière provenant de l'émission spontanée amplifiée de perturber les étages précédents, tandis que celui à la sortie supprime le laser (voire la destruction) si la lumière de sortie est réfléchiée vers l'amplificateur. Sans isolateurs, les amplificateurs à fibre peuvent être sensibles aux reflets. [29]

d. Les modes de transmission :

1. Multiplexage TDM (Time Division Multiplexage) :

Ce mode de transmission est censé diviser la bande passante de la fibre optique en unités de temps, que vont partager les diverses communications, ce qui permet à l'émetteur de conduire plusieurs canaux numériques élémentaires à faible débit sur un même support de communication à plus haut débit.

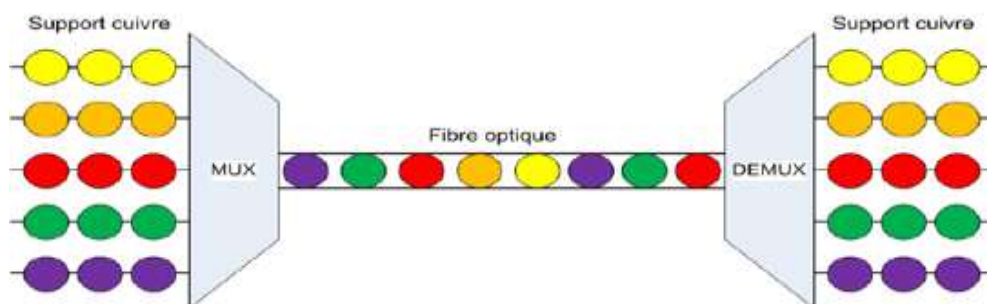


Figure I.32 : Le découpage en temps entre les différentes connexions.

2. Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplexing):

Le multiplexage en longueur d'onde, nécessite d'envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit. C'est la

bande passante qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur. Et chaque sous-bande est affectée à une voie comme c'est expliqué dans la **figure (I.33)**. [30]

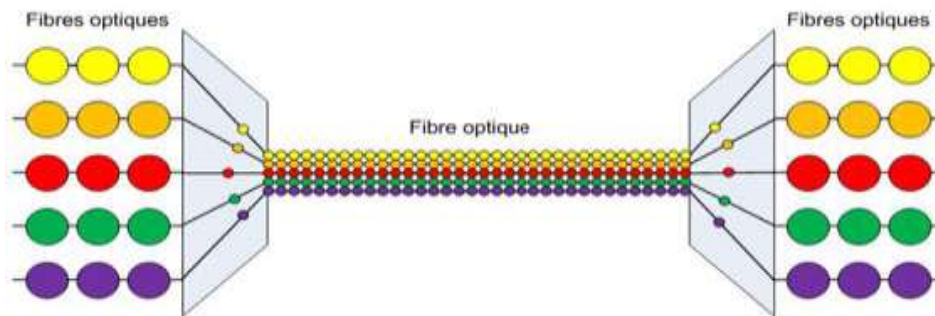


Figure I.33 : Le découpage en longueur d'onde entre les différentes connexions. [30]

I.3.3. Récepteur optique :

Le rôle de récepteur est de récupérer la séquence binaire sous forme électrique. Le récepteur est équipé notamment d'un détecteur constitué d'une ou plusieurs photodiodes. [31]

- **Photodiode PIN :**

Photo diode PIN est une jonction PN intercalée par une couche intrinsèque I, dans le but de diminuer le dopage de N pour augmenter d'avantage le courant électrique générer par la jonction. [26]

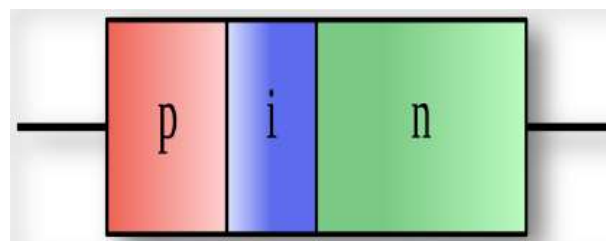


Figure I.34 : Photodiode PIN. [26]

- **Photodiode APD :**

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. (Voir **figure I.35**). [32]

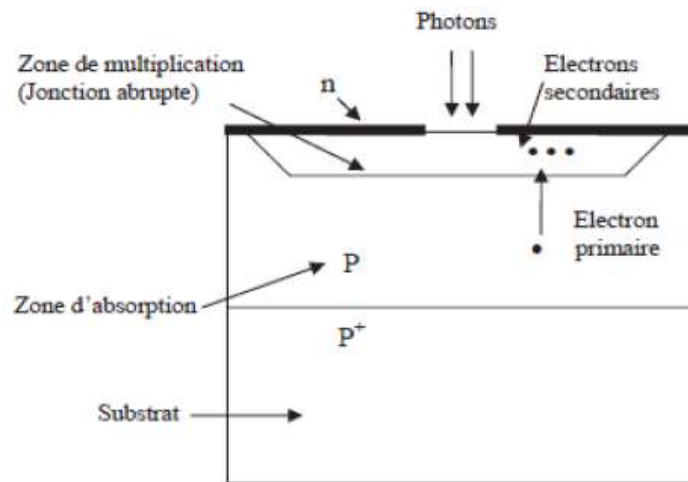


Figure I.35 : Photodiode PDA. [32]

- **Circuit de filtrage:**

Le filtrage du signal reçu au niveau du récepteur a pour but de réduire le bruit en sortie, il est filtré dans la plus petite bande passante possible en considérant les interférences inter symboles, cela signifie que le symbole de la réponse du filtre s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins. [33]

I.4. Conclusion :

Nous avons présenté, au cours de ce chapitre, les types de support de transmission puis à a été consacré à une description détaillée de la fibre optique (l'historique, les types, les caractéristique, les domaines d'application,... etc.), Nous avons aussi étude de transmission optique les éléments d'émission et de réception.

Dans le chapitre suivant, nous étudierons en détail la technologie FTTH pour offrir à l'usager une connexion à très haut débit en adoptant la fibre optique jusqu'à domicile.

Chapitre II :
Les réseaux
FTTH

II.1 introduction :

Dans un réseau de télécommunications, la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'expédition jusqu'au point de destination, comporte trois réseaux principaux (LAN , MAN, WAN) , le réseau local (LAN) on utilise différents technologie FTTH les plus importantes sont : FTTB , FTTC , FTTO , FTTH , Parmi eux, il y a la technique FTTH (Fibre To The Home) c'est La fibre optique va jusqu'au domicile nous dériverons trois principales architectures point à point (P2P), double étoile active(AON) , point à multipoints (PON).

II.2 les réseaux optiques :

II.2.1. Structure des réseaux :

Selon la nature du réseau dans lequel il se situe, le système optique peut légèrement différer. Nous allons donc présenter succinctement les caractéristiques de ces trois niveaux du réseau (**Figure II.1**).

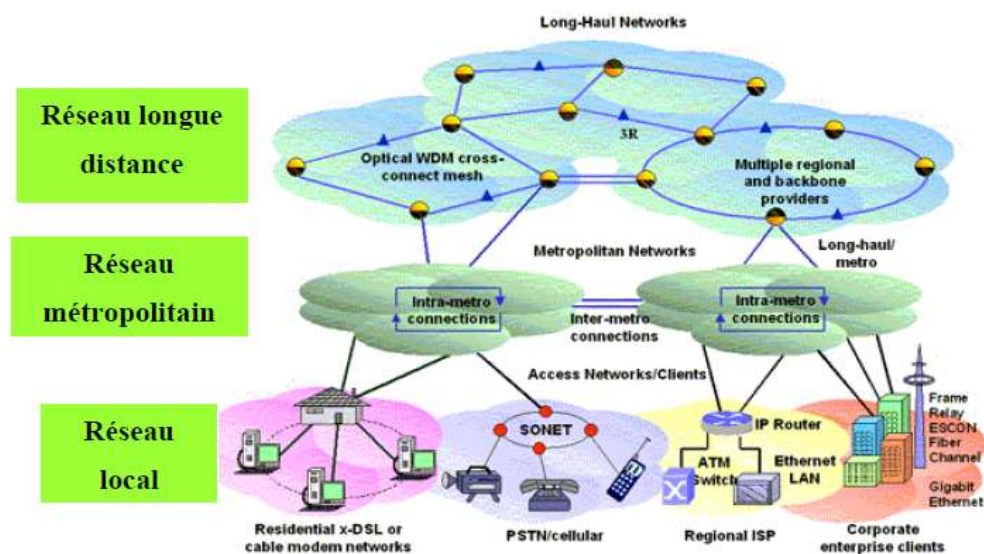


Figure II.1 : Architecture typique du réseau de télécommunications. [34]

II.2.2. Les types des réseaux :

II.2.2.1. Le réseau longue distance (WAN) :

Les réseaux cœur ou les réseaux WAN sont généralement des réseaux dotés d'une structure maillée ou en anneaux où les débits de transmission de données sont supérieurs à

100 Gbit/s. Les distances d'interconnexions varient entre la centaine de kilomètres et plus de mille kilomètres, couvrant ainsi des zones géographiques à l'échelle des continents. [35]

II.2.2.2. Le réseau métropolitain (MAN) :

Un réseau métropolitain, est un réseau composé d'ordinateurs habituellement utilisés dans les villes, il permet de collecter le flux d'information venant des réseaux d'accès et de le transmettre au réseau cœur. [36]

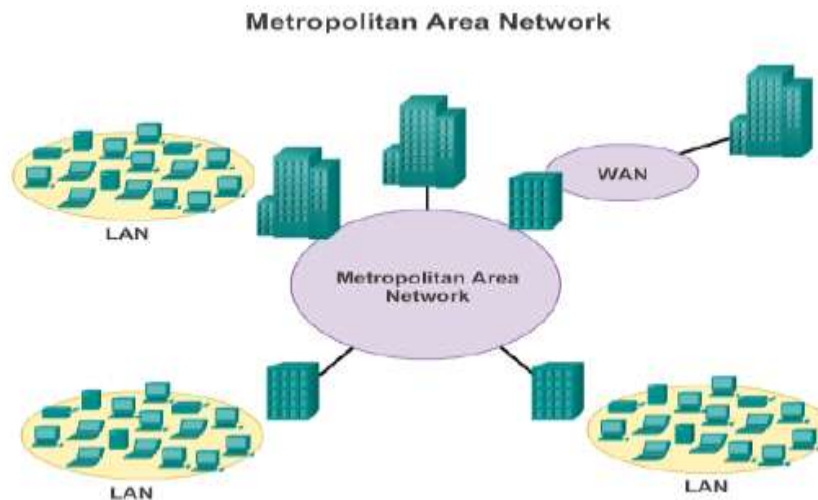


Figure II.2 : Schéma montrant le réseau métropolitain (MAN). [18]

II.2.2.3. Le réseau local (LAN) :

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain [34], en utilisant différents technologies d'accès telle que: WIFI, Ethernet, FTTH. [36]

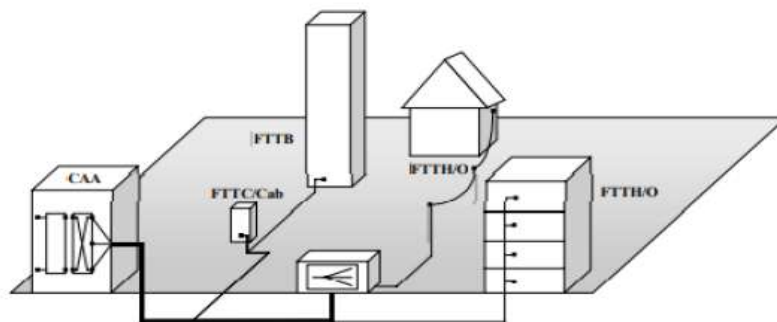


Figure II.3 : Le réseau local. [34]

II.3 la technologie FTTX :

FTTX (Fibre to the X) c'est la fibre ou le X peut être déployée selon diverse topologies. Ces topologies permettent des débits élevés et grâce à elles tout le monde aura les mêmes débits en ville ou en zone rurale. [37]

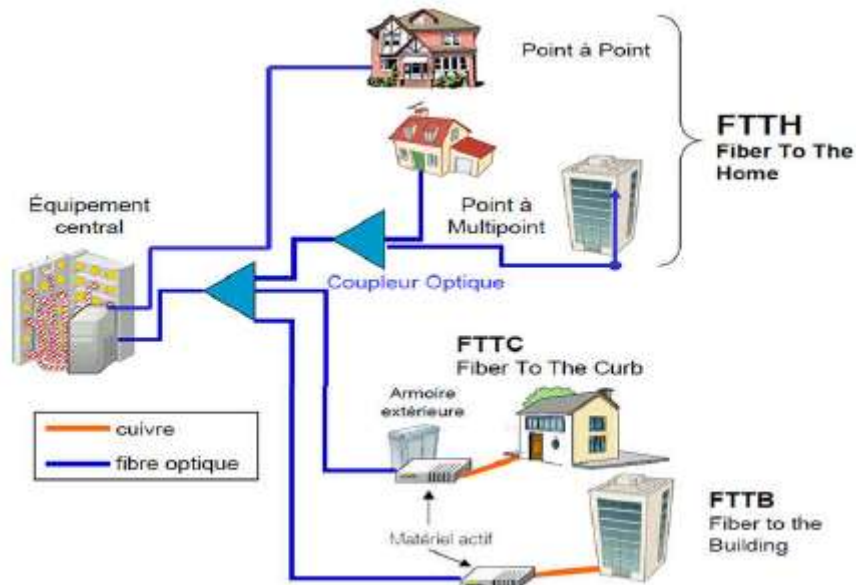


Figure II.4 : Les différentes architectures FTTX. [38]

II.3.1. FTTC/FTTC ab (Fibre To The Curb / Fibre To The Cabinet) : la terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique.



Figure II.5 : Structure d'un réseau FTTC/FTTC ab. [39]

II.3.2. FTTO (Fibre To The Office) : la terminaison de réseau optique, qui est propre à un abonné donné, est implantée dans ses locaux. La fibre va donc jusqu'à son bureau, et la partie terminale en cuivre est très courte.



Figure II.6 : Structure d'un réseau FTTO. [39]

II.3.3. FTTB (Fibre To The Building) : la terminaison de réseau optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique généralement situé en sous-sol, soit dans une armoire ou un conduit de palier. Elle est partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre. [34]

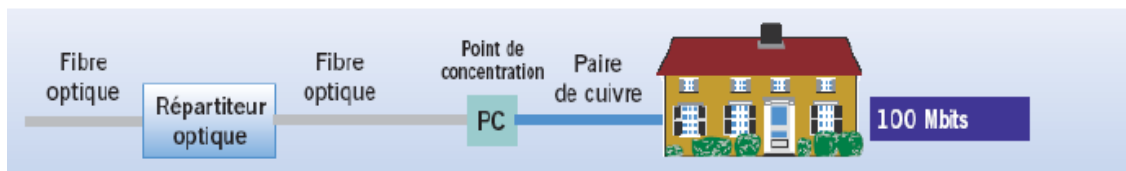


Figure II.7 : Structure d'un réseau FTTB. [39]

II.3.4 FTTH :

Le FTTH est le choix le plus pérenne en termes d'évolution du débit car le client est raccordé intégralement en fibre optique. Cette technologie qui définit un type d'infrastructure de communication permettant l'accès à Internet et aux services associés à des débits atteignant de jusqu'à 100 Mbit/s symétriques, soit des débits très supérieurs.

Cette technologie correspond au déploiement de la fibre optique depuis le NRO (lieu d'implantation des équipements de transmission de l'opérateur) jusqu'aux logements ou Locaux à usage professionnel. Le FTTH permet donc de bénéficier de tous les avantages techniques de la fibre sur l'intégralité du réseau jusqu'à l'abonné. Il se distingue d'autres types de déploiement qui combinent l'utilisation de la fibre optique avec des réseaux en câble ou en cuivre. [38]

➤ Quels services sont accessibles via le haut débit FTTH:

- TV over IP Service.
- Vidéo à la demande communément appelée (VoD).
- Service audio à la demande.
- Bande passante à la demande (configurable par l'utilisateur et/ou le service).
- Enseignement à distance.

Chapitre II : Les réseaux FTTH

-Téléphonie vocale et vidéo sur IP : Connexion sous contrôle de commutateurs souples situés au centre.

-Jeux interactifs, même les jeux 3D et les jeux multi-joueurs.

-VPN sur large bande.

-Service VPN d'accès à distance. [22]

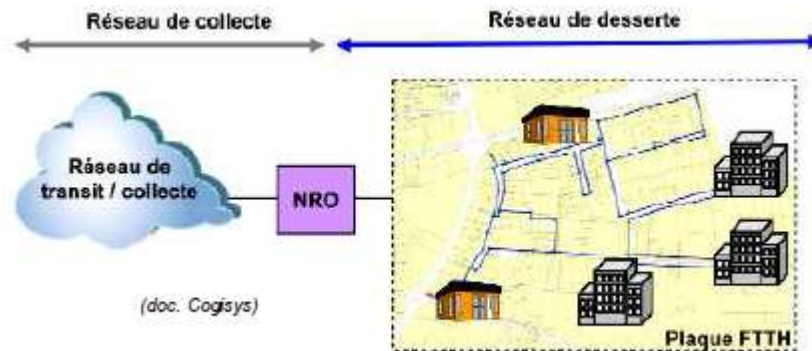


Figure II.8 : Architecture de FTTH. [40]

II.3.4.1. Historique :

En 2006, des réseaux FTTH existent déjà en milieu urbain en Asie du Sud-est et aux Etats Unis, ainsi que dans quelques agglomérations européennes. Actuellement des projets sont aussi en cours dans certains pays d'Afrique du nord, notamment au Maroc, ici en Algérie surtout avec l'achèvement du fameux projet "E-government" qui relie toutes les communes du pays en fibre, certains complexes résidentiels, sites, et même des entreprises sont déjà équipés. La figure ci-dessous indique l'augmentation de débit en fonction des années. [37]

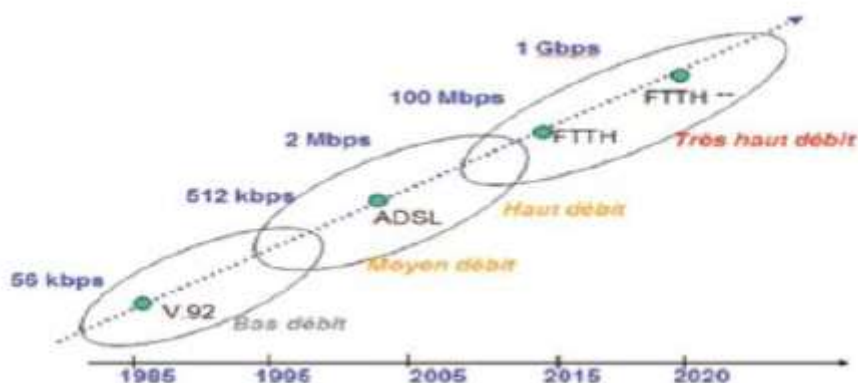


Figure II.9: Croissance du débit au cours des années.

II.3.4.2. Les composants active du réseau FTTH :

- Tous les réseaux FTTH considérés comportent deux composants actifs :
 - l'OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », localisé au NA (Nœud d'Accès) qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un Switch ou un routeur,
 - l'ONT « Optical Network Terminaison » ou « Terminaison de Réseau Optique » (également appelée ONT « Optical Network Terminaison » dans le cas d'une terminaison multi-utilisateurs dans une architecture **PON**), situé chez l'abonné et qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un simple convertisseur de media.

Le PON intègre un troisième composant qui est passif : le « splitter » ou coupleur/dé coupleur, situé au NA et/ou au nœud de flexibilité, qui permet d'effectuer le partage entre les abonnés.

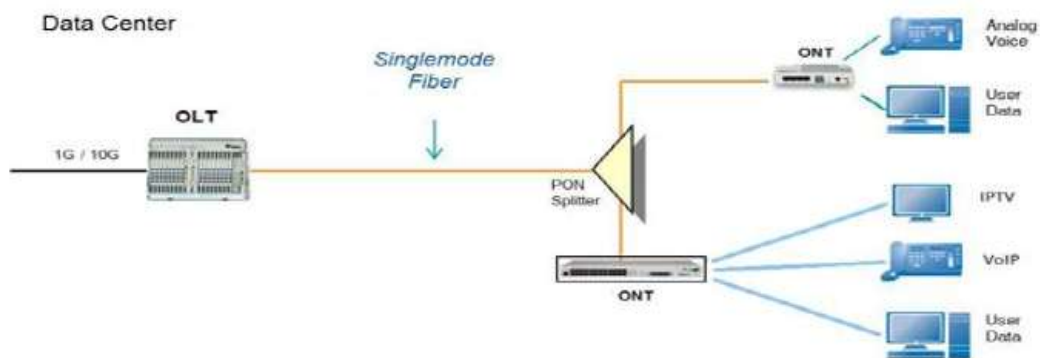


Figure II.10 : Schéma global d'un réseau FTTH.

▪ OLT (Optical Line Terminal) :

L'OLT est installé dans le NA (Nœud d'Accès). C'est un équipement actif qui transforme le signal électrique venant du réseau de l'opérateur, en signal optique en direction des ONT usagers. Il inclut :

- la gestion du protocole point à multipoint.
- les fonctions d'authentification des ONTs et des usagers du PON,
- la gestion de la qualité par l'allocation dynamique de la bande passante disponible.

Un OLT est généralement un châssis rack able dans lequel sont insérées des cartes d'interfaces permettant de connecter (**Figure II.11**), 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.



Figure II.11 : Ligne optique terminal OLT.

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.

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).

Tableau II.1: Caractéristiques type d'un OLT PON industriel.

Nombre de cartes	Nombre de PON par Carte	Nombre de Clients par PON	Nombre d'abonnés Potentiels
16	1	32	512
Longueur	Largeur	Hauteur	Poids
505 mm	482 mm	177 mm	20 Kg

- **Coupleurs optiques ou splitter (Spécifiques au PON) :**

Les coupleurs sont des éléments passifs qui permettent de partager le signal optique vers N ONT dans le sens descendant et d'agréger N signaux optiques en un seul signal dans le sens montant, N peut varier de 2 à 64 dans un réseau PON. Une configuration classique est d'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.



Figure II.12 : Coupleur optique (splitter). [22]

- **ONT (Optical Network Termination) :**

L'ONT est l'équipement actif installé chez l'abonné qui permet de transformer le signal optique venant de l'OLT en signal électrique. Une « box » pourra lui être connecté pour la livraison des services triple Play. Il réalise les fonctions relatives à Qualité de Service, en liaison avec l'OLT. Dans le cas où ce boîtier doit servir une fonction vitale (alarme, numéro d'urgence), son alimentation électrique doit être secourue. [10]



Figure II.13: Terminal de réseau optique ONT. [22]

II.3.4.3. Les composants passifs 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 principales d'ingénieries à appliquer lorsqu'on fait le dimensionnement des réseaux d'accès FTTH.

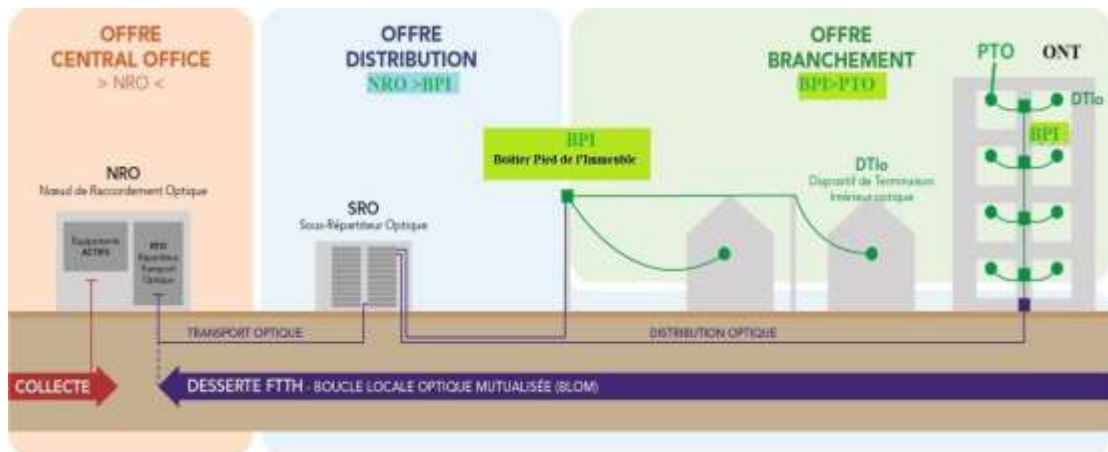


Figure II.14 : Composants passifs du réseau FTTH.

II.3.4.3.1. 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 convergent 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).



Figure II.15 : Nœud de raccordement optique.

II.3.4.3.2. 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.

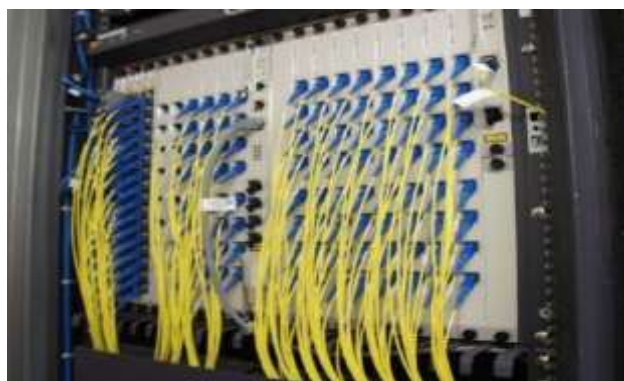


Figure II.16 : Sous répartiteur Optique.

II.3.4.3.3. 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.



Figure II.17 : Boîtier pied Immeuble.

II.3.4.3.4. 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.



Figure II.18 : Prise terminal Optique.

a. Modem Optique:

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



Figure II.19 : Modem optique.

II.3.4.3.5. 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.

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

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



Figure II.20 : Coupleur optique.

II.3.4.3.6. Jarretière Optique:

Désigne une ensemble intégrant 1 à 2 fibre sur gainées (1,6 à 2,8 mm) et équipée de fiches à chaque extrémité utilisée en vue de raccorder les fibres arrimées sur un tiroir optique à un équipement. [41]



Figure II.21 : Jarrettière optique. [41]

II.3.4.4. Les principaux segments d'un réseau FTTH:

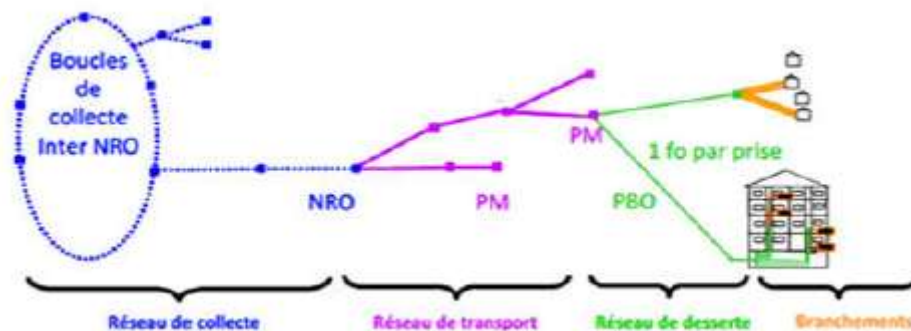


Figure II.22 : Les segments d'un réseau FTTH.

Typiquement, un réseau de télécommunication en fibre optique jusqu'à l'abonné est constitué de 4 principaux segments :

- Collecte
- Transport
- Desserte
- Branchement

✓ **Le réseau de collecte** : permet l'interconnexion des nœuds principaux de réseaux appelés NRO.

✓ **Le réseau de transport** : (NRO → PM) permet de desservir les points de mutualisation (PM) à partir des nœuds principaux de réseau (NRO). Chaque opérateur peut construire son propre réseau de transport mais l'utilisation d'un réseau commun (public ou privé) est à privilégier.

- ✓ **Le réseau de desserte** : (PM → PBO) est le réseau capillaire qui dessert depuis les Points de Mutualisation (PM) les points de branchements (PBO) à partir desquels sont réalisés les branchements d'abonnés. Il est obligatoirement unique et mutualisé entre tous les acteurs. Neutre technologiquement, il peut être construit par un opérateur privé ou par une personne publique, appelé « opérateur d'immeuble ».
- ✓ **Les branchements** : constituent la partie terminale du réseau jusqu'aux prises d'abonnés situés dans les locaux (logements, entreprises, sites publics). Ils sont généralement effectués au moment de la souscription d'un contrat de fourniture de services par un utilisateur final auprès d'un FAI (Fournisseur d'Accès Internet). L'opérateur commercial se rapproche de l'opérateur d'immeuble qui a déployé le réseau jusqu'aux points de branchements pour obtenir toutes les informations techniques nécessaires. Les branchements peuvent être réalisés soit par l'opérateur d'immeuble, soit l'opérateur commercial si ce dernier en fait la demande. [38]

II.3.4.5. Comparaison entre FTTH et ADSL :

- Le tableau ci-dessus résume une comparaison entre FTTH et ADSL :

Tableau II.2 : Comparaison entre FTTH et ADSL. [22]

Type de fichier	Taille moyenne	FTTH		ADSL	
		Débit symétriques (montant et descendant 100Mps)		Débit Descendant 8Mps	Débit Montant 1Mps
		Durée downloade	Durées uploades	Durée downloade	Durées uploades
Film en haute définition (1080px)	30 Go	40 min		8 h 20 min	66 h 40 min
Film qualité DVD	4.7 Go	6 min 16 s		1 h 18 min	10 h 24 min
Film qualité Divx	1Go	1 min 20 s		16 min 40 s	2 h 14 min
100 photo 8 méga pixels non compressées	2.4 Go	3 min 20 s		40 min	5 h 20 min
20 fichiers audio mp3	100 Mo	8 s		1 min 40 s	13 min 20 s

II.3.4.6. Différents topologie FTTH :

➤ Dans une topologie FTTH, plusieurs systèmes peuvent être envisagés :

II.3.4.6.1 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 :

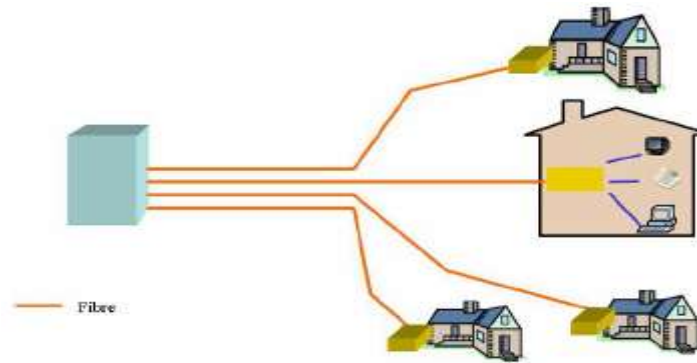


Figure II.23 : topologie FTTH point à point (P2P).

II.3.4.6.2 les systèmes peuvent également être conçus dans une configuration en « double étoile active », que l'on appelle **AON (Active Optical Network)** :

- ✓ un équipement « actif » est installé à proximité d'une « grappe » d'utilisateurs d'un secteur géographique donné et regroupe ces utilisateurs,
- ✓ la terminaison finale peut être réalisée en fibre optique après avoir opéré une nouvelle conversion électro-optique du signal.

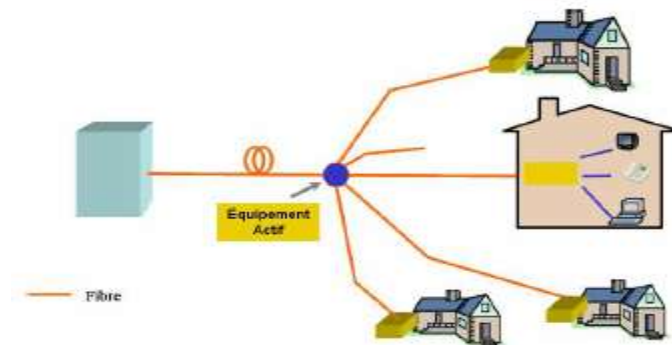


Figure II.24 : topologie FTTH en double étoile active (AON).

II.3.4.6.3 les systèmes « point à multipoint » regroupés sous le terme générique de **PON (Passive Optical Network)**.

- ✓ un coupleur optique passif est installé en lieu et place de l'équipement actif décrit précédemment.
- ✓ ces systèmes recouvrent plusieurs normes qui se sont succédées au cours du temps (B-PON, E-PON et maintenant G-PON). [42]

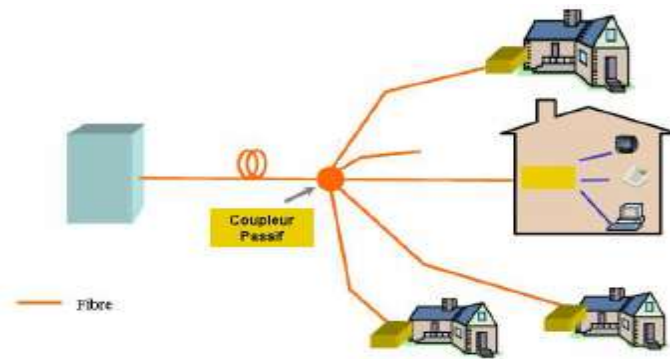


Figure II.25 : topologie FTTH en PON. [42]

➤ Types de technologies de réseau PON :

Il existe plusieurs standards X-PON qui sont normalisés soit par IUT, IEEE ou du groupe FSAN (FULL Service Access Network) ces dernières sont classifiées comme suit :

a. 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 normalisé dans le standard G.982. 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.

b. 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). 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 down Stream/up Stream : 155 Mbit / s, 155 Mbit / s, 622 Mbit / s, 622 Mbit / s.

c. 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.

d. 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. [41]

II.3.4.7. Comparaison entre les deux architectures P2P et PON :

➤ Le tableau ci-dessus résume une comparaison entre P2P et PON :

Tableau II.3: Comparaison entre P2P et PON. [22]

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

II.3.4.8. L'étude technico-économique d'un réseau FTTH :

➤ L'étude technico-économique du déploiement d'un réseau FTTH sur un territoire comprend 3 étapes principales :

a. Etude de piquetage : Il s'agit de réaliser des relevés sur le terrain sur la structure de l'habitat, la densité de logement, les infrastructures existantes, etc. qui serviront à définir des poches d'habitat cohérentes et caractériser les plaques FTTH.

Dans le cas d'un projet à long terme, une analyse macroscopique s'appuyant sur la connaissance du territoire, complétée si besoin par des données administratives (découpe du territoire ; type d'habitat urbain, périurbain, ou rural, à dominante pavillonnaire ou collectif ; densité de population) et techniques (mode de pose envisagée pour l'adduction en domaine privé) peut se substituer à la véritable étude terrain.

b. Etude de l'architecture des plaques FTTH : Pour chaque plaque FTTH, sont décrits la localisation du NRO et des points de mutualisation, le mode de pose retenue (sous-terrain, en façade, en aérien), l'architecture du réseau de desserte (point-à-point, PON), le dimensionnement des câbles optiques,...

c. Evaluation du coût de déploiement : A partir des données précédentes et d'hypothèses sur le coût de réalisation et d'exploitation du réseau, il est possible de dégager le profil de rentabilité de chaque plaque FTTH, en déterminant pour chacune d'elle, le coût moyen de raccordement à la prise. On peut ainsi définir différentes stratégies d'action prenant en considération le périmètre des plaques à desservir et le phasage du déploiement. [38]

II.3.4.9. Les avantages et les inconvénients :

➤ Cette technologie présente les avantages et les inconvénients suivants :

II.3.4.9.1. Les avantages :

- Les débits de téléchargement (en émission et réception) proposés sont largement supérieurs à ceux de l'ADSL.
- La latence est considérablement réduite.
- Les possibilités de saturation de la connexion en heures de pointe sont quasiment nulles. [38]

II.3.4.9.2. Les inconvénients :

- Le déploiement du FTTH est extrêmement onéreux et nécessite énormément de travaux de génie civil, surtout dans les zones rurales et à faible densité de population.
- Le déploiement du FTTH est lourd pour les opérateurs car il nécessite de nombreux investissements et d'accords et partenariats avec des communes, régions ... etc. [41]

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes technologies de FTTX qui sont utilisées dans le réseau local (LAN) , ainsi que nous étudions les généralités de la technologie FTTH : les composants , les types , les avantages, les inconvénientsect.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude de simulation de la fibre jusqu'à son domicile FTTH.

Chapitre III :
Simulation de
transmission FTTH dans
le réseau optique

III.1. Introduction :

Après une présentation de transmission optique FTTH dans les deux premiers chapitres, nous allons simuler notre transmission FTTH , sous le logiciel OptiSystem qui est un outil de simulation de systèmes de communications optiques , Dans un premier temps, on va présenter le logiciel OptiSystem, puis une étude des performances des réseaux optiques pour efficacité de transmission FTTH.

III.2. Présentation du logiciel OPTISYSTEM :

OptiSystem est un logiciel développé par la société canadienne Optiwave, il permet aux ingénieurs et aux chercheurs de concevoir, de simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique. La diversité des systèmes simulés peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions réalisées par l'utilisateur et qui peuvent être ajoutées aux systèmes simulés. Le logiciel « OptiSystem » permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique, il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optiques.

III.2.1. Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem :

- Les principales caractéristiques du logiciel sont :
 - Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifique en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
 - La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
 - Les outils de visualisation avancée produit le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation.
 - Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiseurs sur le moniteur au même port.

III.2.2. Applications du logiciel OptiSystem :

- Parmi les diverses applications d'OptiSystem, nous allons citer les plus utilisées :
 - La conception du système de communication optique.
 - Calculs du taux d'erreur binaire (BER ou TEB) et du bilan de liaison.

- Conception des réseaux TDM/WDM et les réseaux optiques passifs (PON).
- Conception des Systèmes optiques en espace libre (FSO).
- Conception de la carte de dispersion.
- Conception d'émetteur, du canal, de l'amplificateur et du récepteur.

III.2.3. Avantages du logiciel OptiSystem :

- Le logiciel OptiSystem permet de:
 - Obtenir un aperçu des performances du système de fibre optique.
 - Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
 - Présenter virtuellement des options de conceptions. La démarche à suivre pour simuler un système optique se décompose en deux étapes :
 - a. **Construire le schéma bloc.**
 - b. **Analyser le schéma.**

III.2.4. Différents modes de simulation :

- Le logiciel Optisystem offre trois modes de simulation :
 - 1) **Le mode normal** : où il suffit d'entrer la valeur du paramètre désiré.
 - 2) **Le mode de balayage (Sweep)** : Où la valeur du paramètre varie suivant une courbe donnée.
 - 3) **Le mode scripte** : où le paramètre est évalué comme une expression arithmétique.

III.3. Interface du logiciel OptiSystem :

III.3.1 Démarrer OptiSystem :

- Pour lancer OptiSystem, nous devons effectuer l'action suivante:
 - Dans le menu Démarrer, sélectionnez : Programs > Optiwave Software> OptiSystem 7 >
 - OptiSystem se charge et l'interface utilisateur graphique apparaît et une fenêtre principale réparti en plusieurs parties apparaît (**figure III.1**).

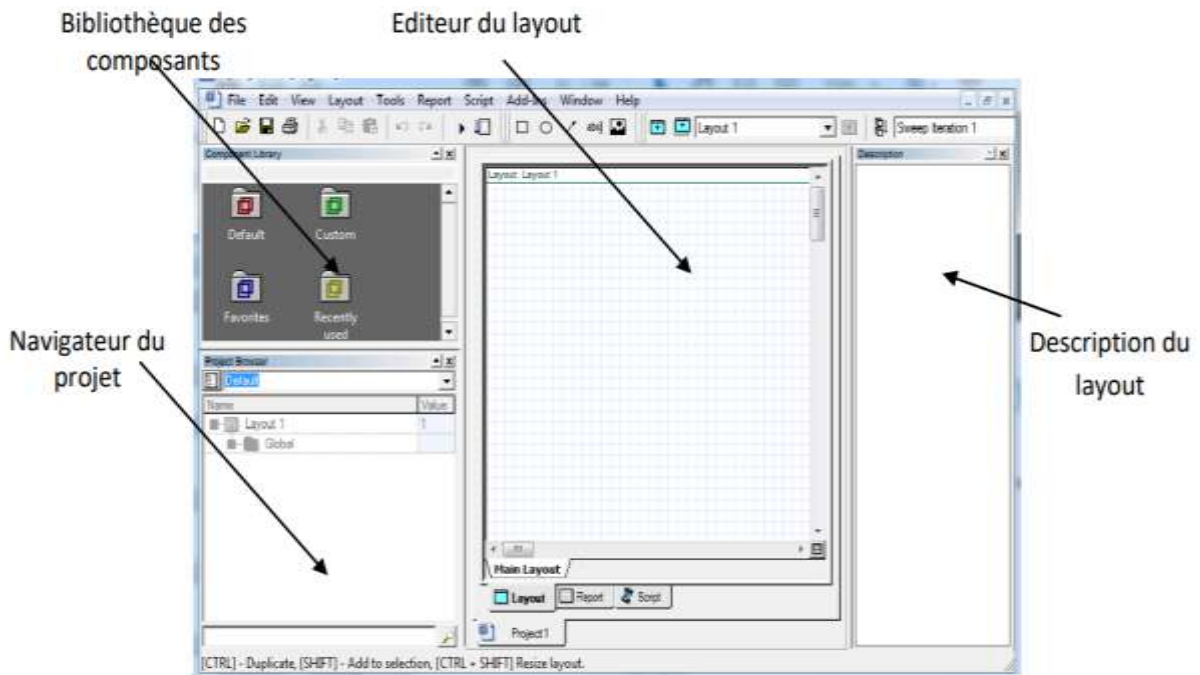


Figure III.1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.

III.3.2. Principales parties de l'interface graphique : L'interface graphique de l'OptiSystem contient une fenêtre principale réparti en plusieurs parties:

III.3.2.1. Bibliothèque des Composants :

La bibliothèque des Composants nous donne accès aux différents composants afin de concevoir et créer le système de communication désiré, elle est apparait comme le montre la (figure III.2).



Figure III. 2 : La bibliothèque du logiciel optisystem.

III.3.2.2. Navigateur du Projet (Projet en cours) :

Cette fenêtre contient tous les composants utilisés lors du projet afin de pouvoir accéder plus rapidement aux différents composants, particulièrement dans le cas d'un projet complexe qui contient un nombre important de composants. La **figure III.3** représente le navigateur de projet.

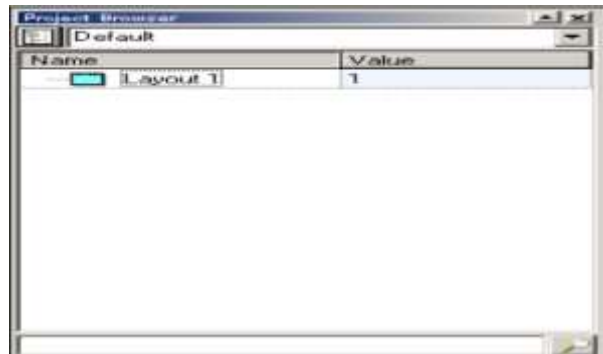


Figure III. 3: Navigateur du projet.

III.3.2.3. Editeur du layout :

C'est la fenêtre principale dans laquelle vous insérez des composants dans la mise en page, modifiez les composants et créez des connexions entre les composants. Il permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.

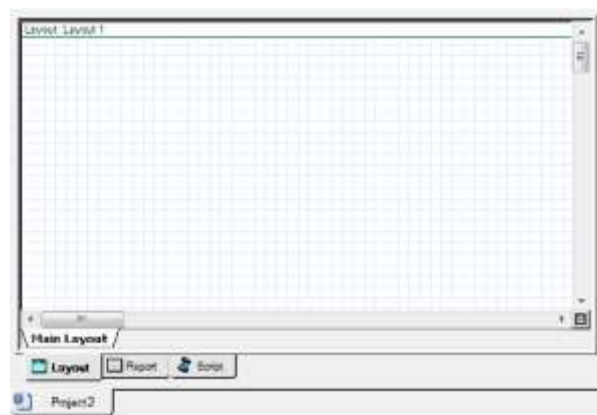


Figure III. 4: Editeur du layout.

III.3.2.4. Description du projet en cours :

Visualise et affiche des informations détaillées sur le projet en cours (les divers fichiers et composants correspondants au projet en cours).

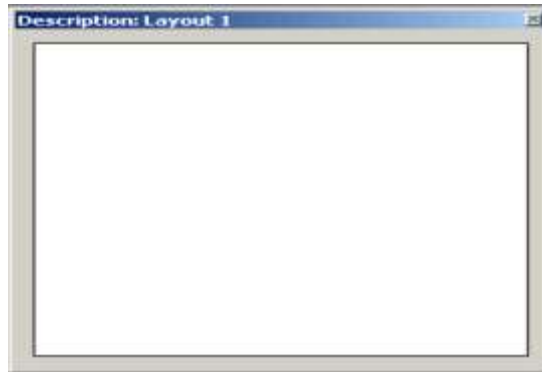


Figure III. 5: Fenêtre de description du projet en cours.

III.3.2.5. Barre d'état :

Affiche des informations sur la progression du calcul du projet, des conseils utiles sur l'utilisation d'OptiSystem, Ainsi que d'autres aides. La barre d'état est située sous la fenêtre de mise en page du projet (en bas de Présentation du projet).

[CTRL] - Duplicate, [SHIFT] - Add to selection, [CTRL + SHIFT] Resize layout.

III.3.2.6. Barre de menu :

La barre de menu contient les éléments disponibles dans le logiciel OptiSystem. Beaucoup de ces éléments de menu sont également disponibles sous forme de boutons dans les barres d'outils ou à partir d'autres listes.



III.3.2.7. Lancer une simulation :

Pour exécuter une simulation, procédez comme suit. (**Voir figure III.6**). [43]

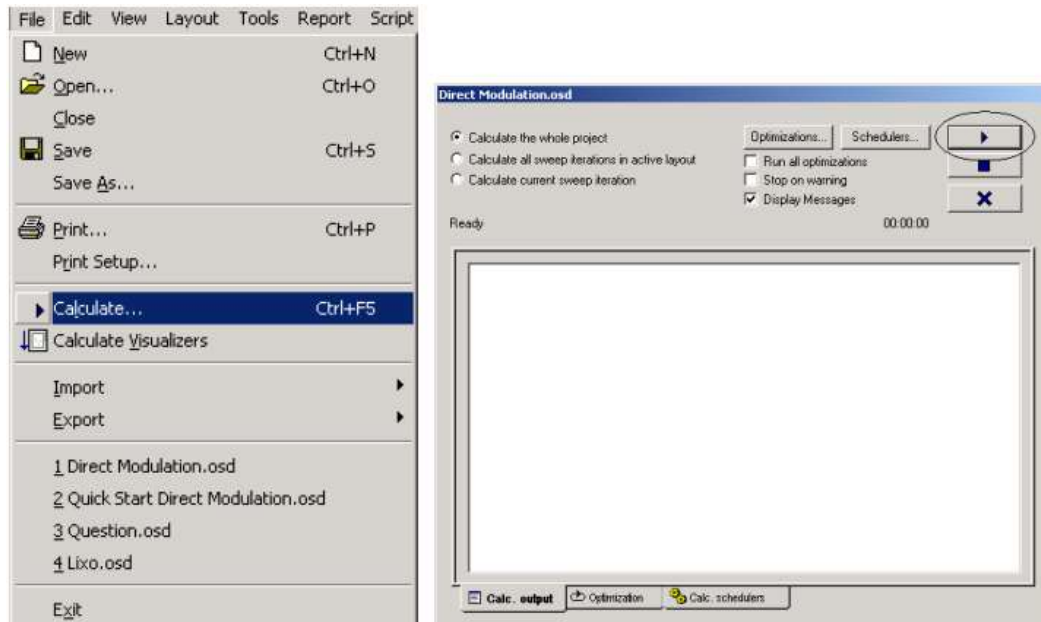


Figure III. 6: Fenêtre montre le lancement de la simulation. [43]

III.3.2.8. Outils de visualisation :

OptiSystem est très riche en outils de visualisation, qui permettent d'afficher les résultats à pour chaque composant utilisé lors de la conception. On trouve les visualisateurs optiques et électriques. (Voir figure III.7)

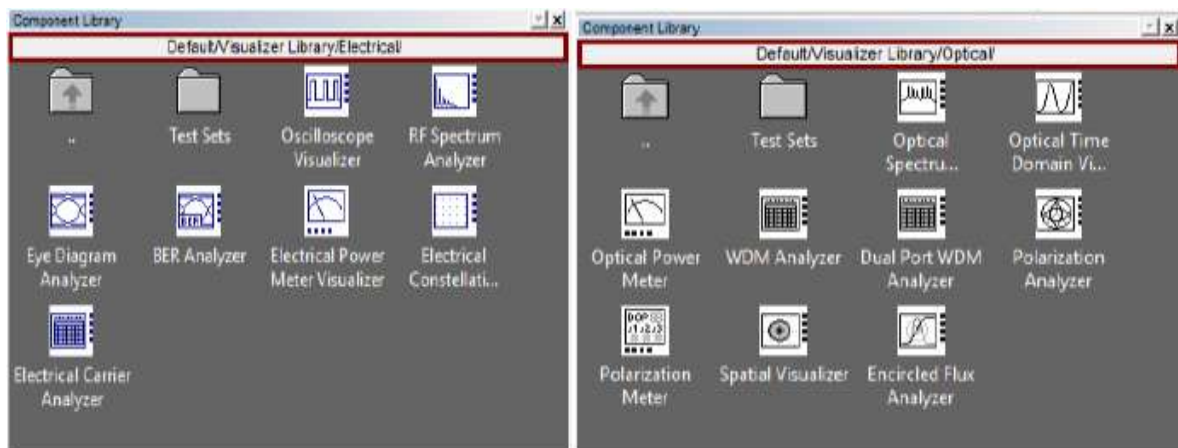


Figure III. 7: Outils de visualisations.

III.4. Affichage des résultats à partir d'un appareil :

Pour afficher les graphiques et les résultats générés par la simulation, il faut faire double cliques sur le visualiseur dans la structure du projet.

- ✓ Analyseur de spectre optique: Affiche le signal optique modulé dans le domaine fréquentiel.
- ✓ Visualiseur optique en domaine temporel: Affiche le signal optique modulé dans le domaine temporel.
- ✓ Oscilloscope: Affiche le signal électrique après le code PIN dans le domaine temporel.
- ✓ Analyseur BER(BET): mesure les performances du système en fonction du signal avant et après la propagation.

III.5. Représentation des Signaux dans Optisystem :

Pour rendre l'outil de simulation plus souple et plus efficace, il est essentiel qu'il fournisse des modèles à différents niveaux d'abstraction, y compris le système, sous-système, et les niveaux de composants. OptiSystem dispose d'une définition hiérarchique de composants et systèmes, nous permettant d'utiliser des outils spécifiques pour l'optique intégrée et permettant à la simulation d'aller aussi profond que la précision désirée l'exige.

Différents niveaux d'abstraction impliquent des représentations de signaux différents. La représentation du signal doit être aussi complète que possible afin de permettre une simulation efficace. Il ya cinq types de signaux dans la bibliothèque du logiciel tous régis par un code de couleur (**Voir figure III.8**).

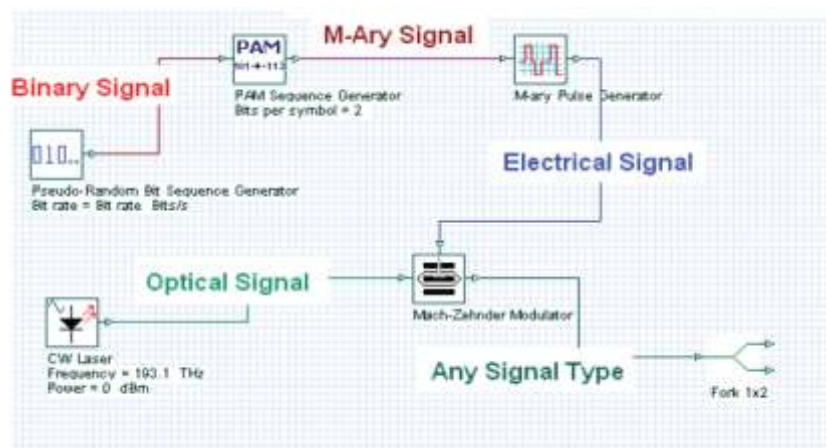


Figure III. 8: Types de signaux.

a) Signaux électriques :

Les signaux électriques sont générés par des composants tels que des générateurs d'impulsions dans la bibliothèque des émetteurs et des photo détecteurs dans la bibliothèque des récepteurs. Les signaux électriques sont constitués de la forme d'onde du signal échantillonné dans le domaine temporel. Les propriétés principales du signal électrique sont les variances de bruit de signal dans le domaine temporel et les densités spectrales de puissance de bruit dans le domaine de fréquence.

b) Signaux binaires :

Les signaux binaires sont générés par des composants tels que des générateurs de séquence de bits. Les générateurs d'impulsions de la bibliothèque des émetteurs et les commutateurs numériques de la bibliothèque réseau utilisent ce signal en tant que données d'entrée. Un signal binaire consiste en une séquence de uns et de zéros, ou de marques et d'espaces. La propriété principale du signal binaire est le débit binaire. [18]

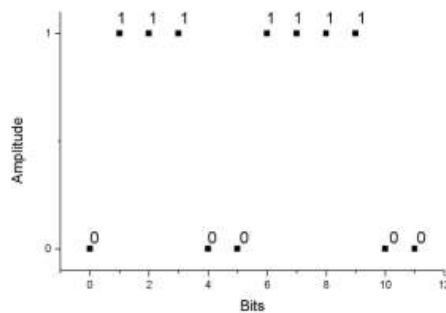


Figure III.9 : Signaux binaires. [44]

c) Signaux optiques :

Les signaux optiques sont générés par des composants tels que les lasers dans la bibliothèque des émetteurs. Les signaux optiques permettent différentes représentations de signaux:

- signaux échantillonnés.
- signaux paramétrés.
- bacs à bruit.

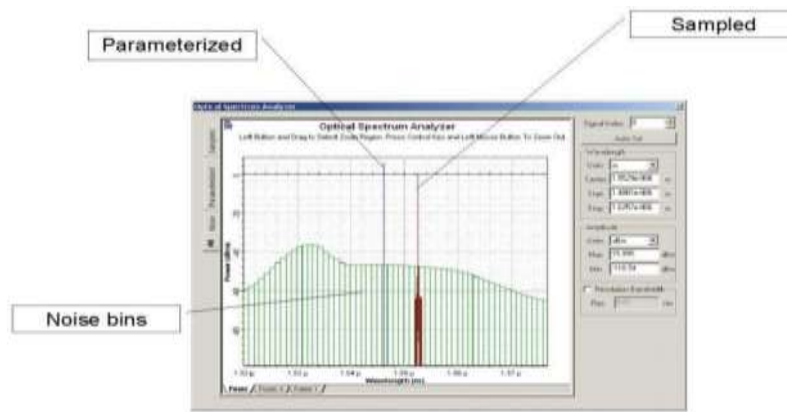


Figure III.10 : Signaux optique.

d) Les signaux M-Ary :

Les signaux M-Ary sont des signaux à plusieurs niveaux utilisés pour des types spéciaux de codage, tels que PAM, QAM, PSK et DPSK. Les signaux M-Ary sont similaires aux signaux binaires. Cependant, les signaux M-Ary peuvent avoir n'importe quel niveau au lieu de seulement les niveaux haut (1) et bas (0), ou les marques et les espaces.

Exemple: Emetteur à modulation externe.

III.6. Critères de qualité d'une transmission :

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

III.6.1. Le facteur de qualité :

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

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_2} \tag{III.1}$$

Ou I_1 et I_2 sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile δ_1 et δ_2 sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

III.6.2. Taux d'erreurs binaire (BER) :

Le moyen quantitatif pour évaluer la qualité d'une transmission consiste à évaluer la probabilité d'erreur, qui correspond à la probabilité de prendre une décision erronée sur un

bit. Le taux d'erreur binaire (TEB) est le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits émis. Le récepteur prend une décision sur la présence d'un symbole "1" ou "0" selon le niveau de signal reçu à un instant donné appelé instant de décision. Si les fluctuations d'amplitude et temporelles sont importantes, la tension d'un symbole "1" peut passer au-dessous du seuil et la tension d'un symbole "0" au-dessus du seuil, des erreurs sont alors commises. Un TEB acceptable à la réception est généralement inférieur à 10^{-9} .

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombres de bits erroné}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{III.2})$$

III.6.3. Diagramme de l'œil :

La meilleure façon de juger la qualité d'un signal est d'observer son diagramme de l'œil représentant la superposition synchrone de tout symbole binaire de la séquence transmise. Plus le signal est de mauvaise qualité Q, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus Q est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Ce diagramme est un moyen visuel efficace jugeant la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé. [18]

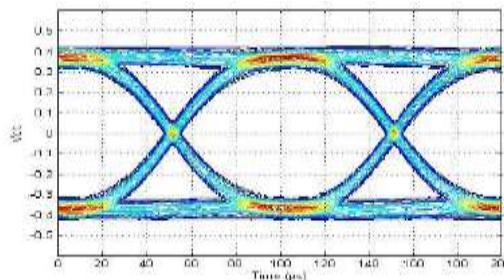
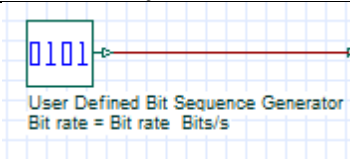
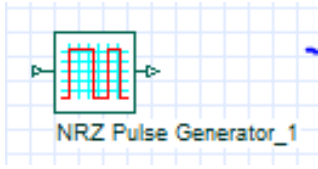
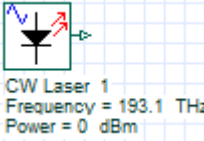
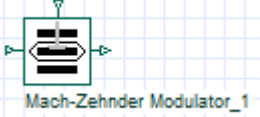
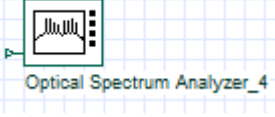
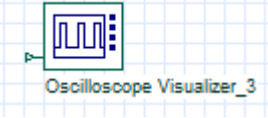
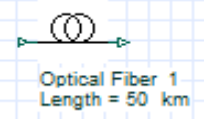
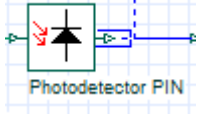
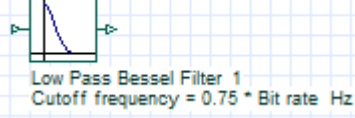
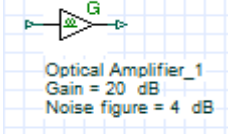
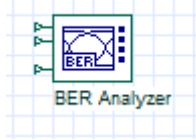
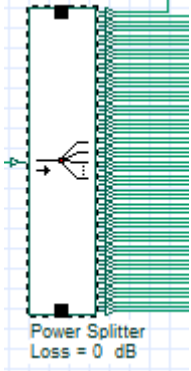
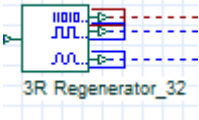
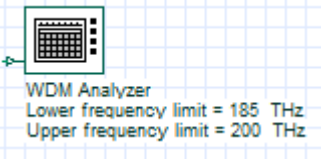


Figure III. 11: Exemple d'un diagramme de l'œil. [18]

Tableau III.1: Descriptif des composants utilisés dans la simulation.

Eléments	Symbol	Description
User Defined Bit Sequence Generator		peut être utilisé pour générer une séquence de bits définie par l'utilisateur.
NRZ Pulse Generator		Permet aux utilisateurs de créer une séquence d'impulsions non retournées à zéro codées par une entrée de signal numérique

<p>CW Laser</p>	 <p>CW Laser 1 Frequency = 193.1 THz Power = 0 dBm</p>	<p>Génère un signal optique d'onde continue</p>
<p>M Z M</p>	 <p>Mach-Zehnder Modulator_1</p>	<p>Convertit le signal électrique en signal optique</p>
<p>Optical Spectrum Analyzer</p>	 <p>Optical Spectrum Analyzer_4</p>	<p>mesurer et afficher la distribution de puissance d'une source optique sur une longueur d'onde donnée.</p>
<p>Oscilloscope Visualizer</p>	 <p>Oscilloscope Visualizer_3</p>	<p>Affiche le signal électrique après le PIN dans le domaine temporel</p>
<p>Optical Fiber</p>	 <p>Optical Fiber 1 Length = 50 km</p>	<p>C'est un moyen de transport de signal lumineux</p>
<p>Photo detector PIN</p>	 <p>Photodetector PIN</p>	<p>photodiode détecte le signal optique et le convertir en signal électrique.</p>
<p>Low Pass Bessel Filter</p>	 <p>Low Pass Bessel Filter 1 Cutoff frequency = 0.75 * Bit rate Hz</p>	<p>Filtre le signal et minimiser le bruit en sortie du récepteur PIN.</p>
<p>Optical Amplifier</p>	 <p>Optical Amplifier_1 Gain = 20 dB Noise figure = 4 dB</p>	<p>Il a pour rôle d'amplifier simultanément plusieurs signaux multiplexés en longueurs d'onde.</p>
<p>BER Analyzer</p>	 <p>BER Analyzer</p>	<p>Mesure les performances du système et affiche les deux valeurs de facteurs de qualité Q et BER et le diagramme de l'œil.</p>

<p>Power Splitter</p>		<p>Est un composant qui divise également la puissance du signal d'entrée entre ses sorties .</p>
<p>3R Regenerator</p>		<p>ce composant permet d'analyser et de calculer le BER</p>
<p>WDM analyzer</p>		<p>Ce composant doit ajouter des éléments (analyseur de réseau optique), connecter des ports optiques, exécuter la simulation, recueillir les résultats de simulation et tracer les résultats de simulation.</p>

III.7. Conception d'une liaison optique :

Dans son synoptique le plus général et le plus simple possible, un système de télécommunications optique est constitué d'un (émetteur, canal de transmission, récepteur) donné par la chaîne de **la figure (III.12)**.

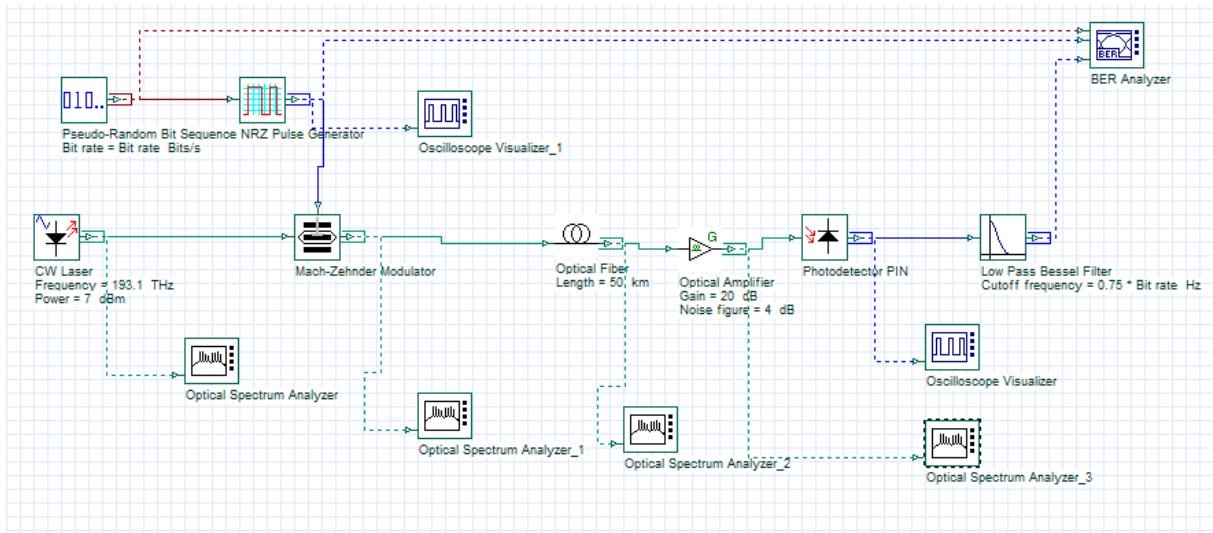


Figure III.12 : Chaîne de transmission optique.

III.7.1. Emetteur optique :

- Les taches de l'émetteur optique sont:
 - convertir le signal électrique en un signal optique.
 - Injecter le signal optique résultant dans la fibre optique.
- Un émetteur optique est modélisé par :
 1. source optique.
 2. générateur d'impulsions électriques.
 3. modulateur optique.

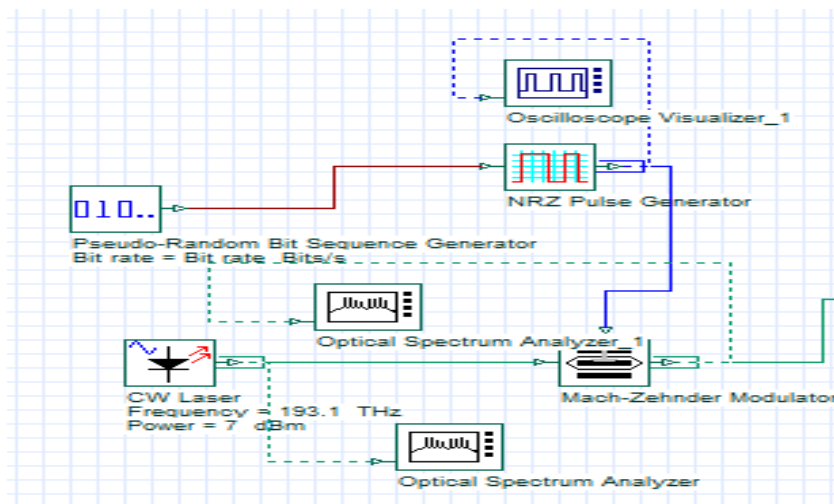


Figure III.13: Bloc d'émission optique.

La puissance de lancement est un paramètre important lors de la conception d'une chaîne de transmission, généralement ce paramètre est exprimé en dBm.

III.7.2. Le canal de transmission :

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

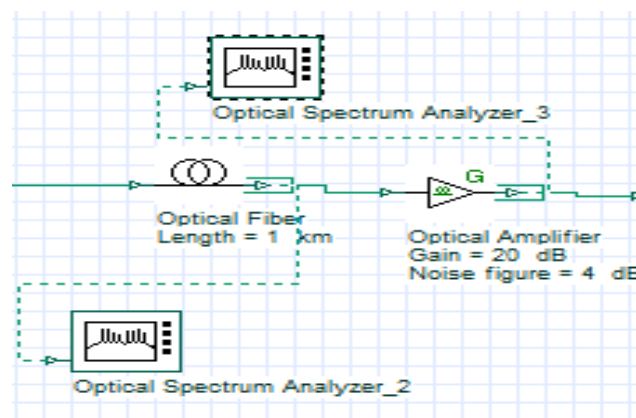


Figure III.14: Canal de transmission optique.

III.7.3. Récepteurs optiques :

Un récepteur optique convertit le signal optique reçu à sortie de la fibre en un signal électrique. Le récepteur est constitué des composants suivants:

- photo-détecteur.
- filtre.

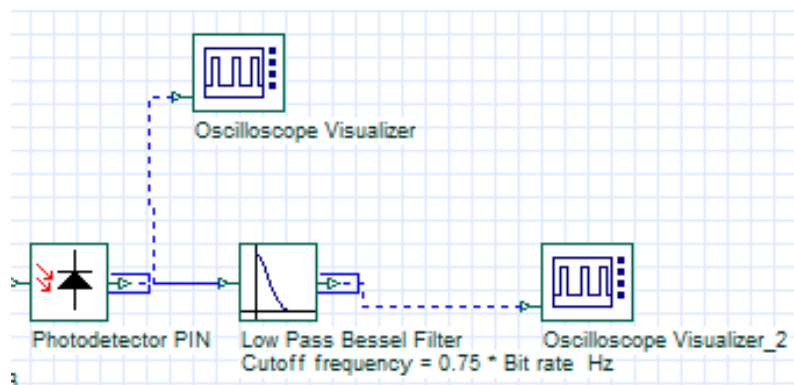


Figure III.15: Bloc de récepteur optique.

III.7.4. Résultats de simulation :

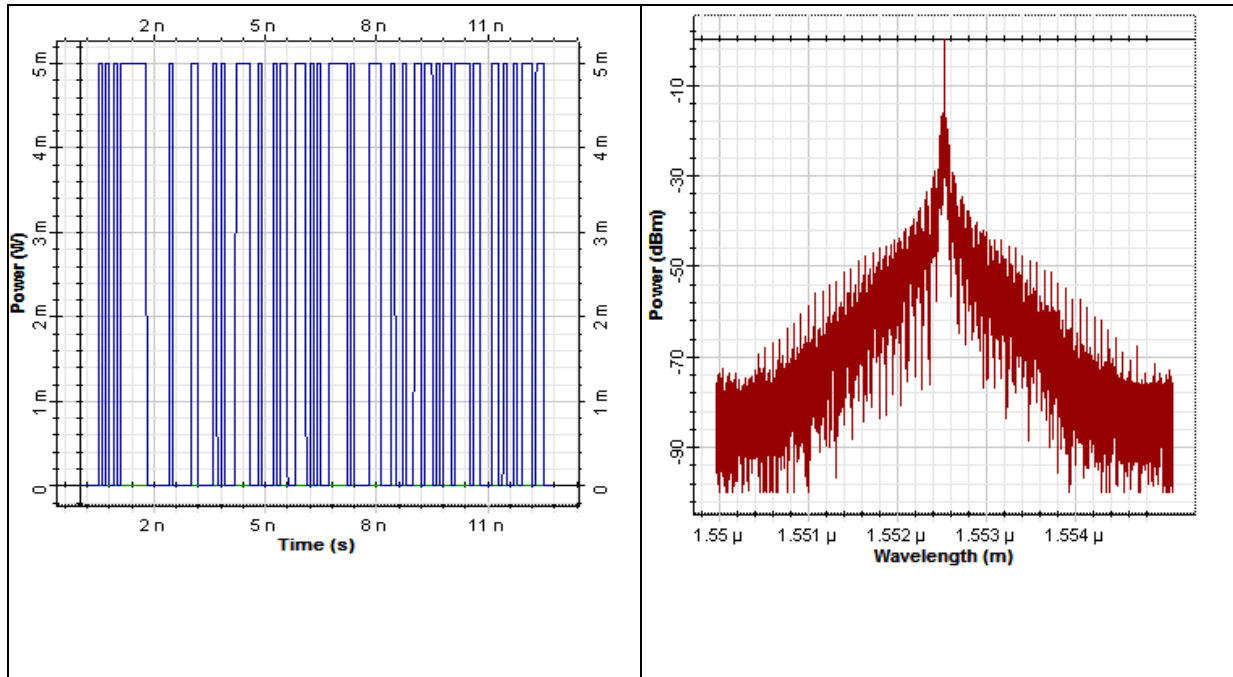


Figure III. 16 : Signal temporel à la sortie du modulateur Mach-Zehnder.

Figure III. 17 : Spectre du signal temporel à la sortie du modulateur Mach-Zehnder.

WDM Analyzer		
Frequency (THz)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)
193.1	3.5032381	-29.220419

Figure III. 18 : Les données à la sortie de l'émetteur.

1. D'après notre support physique de transmission qui est la fibre optique de longueur 1 et 50 Km (voir figure III. 19 et 20) :

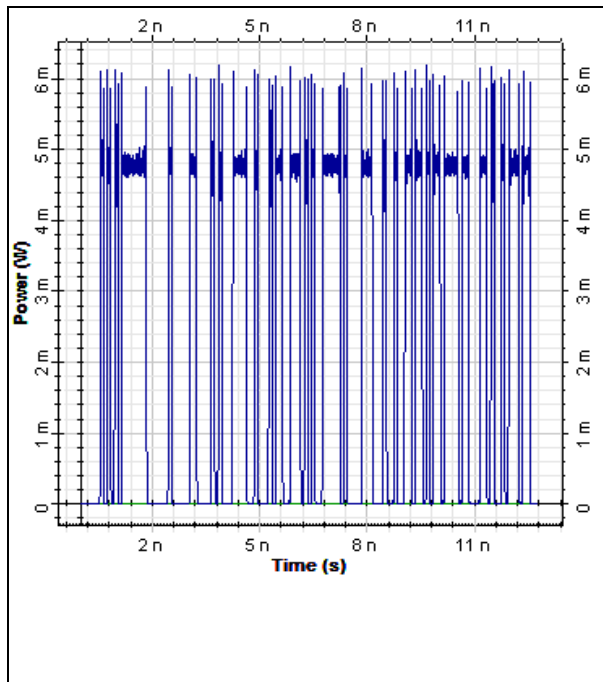


Figure III. 19 : Signal temporel à la sortie de la fibre optique longueur (1km).

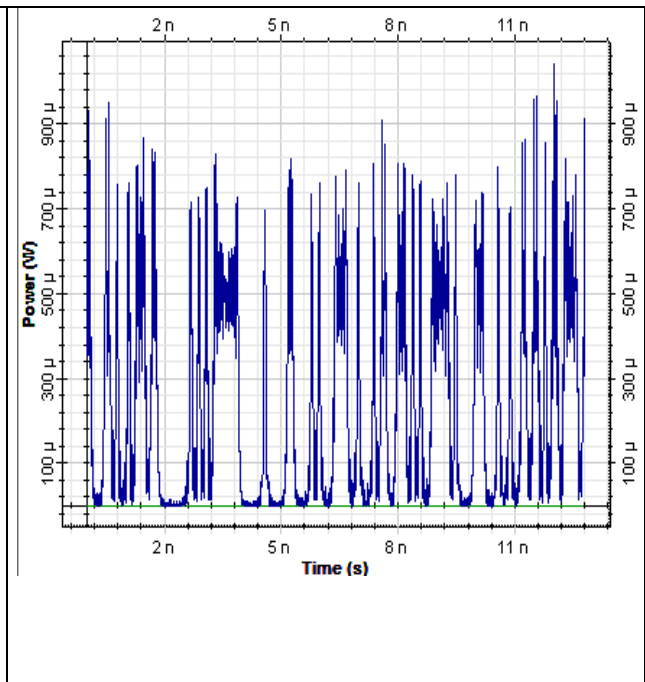


Figure III. 20 : Signal temporel à la sortie de la fibre optique longueur (50km).

2. A partir le récepteur de notre montage qui est constitué d'une diode photo détectrice en série avec le filtre passe bas de Bessel, l'effet perturbateur sur la qualité du signal, est considéré comme le facteur principal de la distorsion du signal, voir le **figure III. 21** qui le signal temporels à la sortie du filtre.

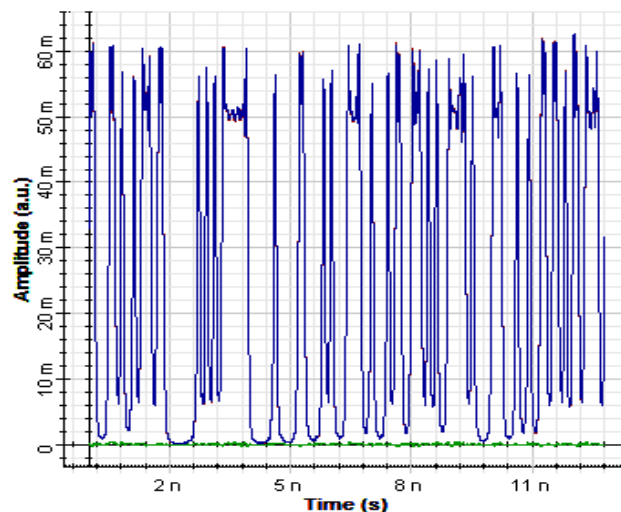


Figure III. 21 : Signal temporel à la sortie de Bessel.

WDM Analyzer

Frequency (THz)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)
193.1	13.505562	-33.978119

Figure III. 22 : les données à l'entrée de la récepteurs.

3. Enfin, on a utilisé l'instrument (Le TEB analyseur) pour juger la qualité du signal, on a trouvé les résultats suivants : voir **figure III. 23 et 24.**

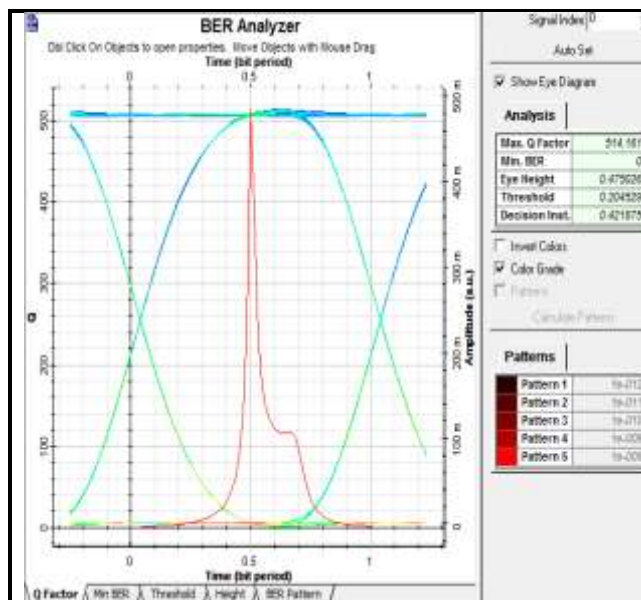


Figure III. 23 : Le diagramme de l'œil pour L=1km et F=193.1THZ et P= 7dBm dans fibre optique.

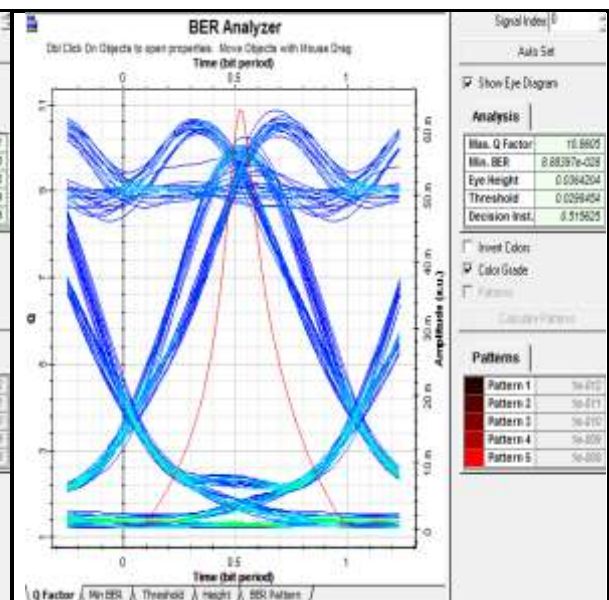


Figure III. 24 : Le diagramme de l'œil pour L=50km et F=193.1THZ et P= 7dBm dans fibre optique.

➤ D'après les Figures nous consultez que :

- ✓ plus la valeur de longueur de canal n'augmente, le facteur de Qualité diminue. où à L=1km le facteur de qualité était Q= 514,161 et à L = 50km le facteur de qualité était Q=10.8605. En raison des pertes, qui comprennent la dispersion, et pour résoudre ce problème, nous utilisons la compensation.
- ✓ La valeur min obtenue de BER très inférieure à la valeur BER acceptable pour les applications de transmissions numériques qui est 10^{-9} .

III.8. Étude des performances d'un réseau FTTH :

Comme tous les systèmes de transmission classique, la chaîne de transmission de type FTTH se compose de trois blocs. Chaque bloc se caractérise par son fonctionnalité et ces composants.

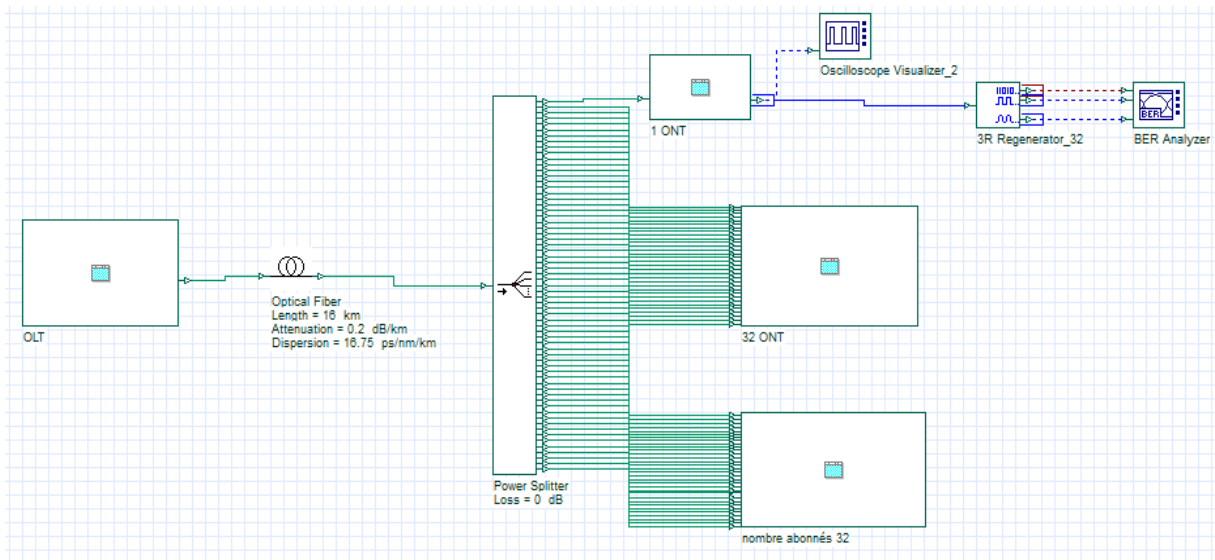


Figure III.25 : Chaîne de transmission FTTH.

- Bloc d'émission OLT :

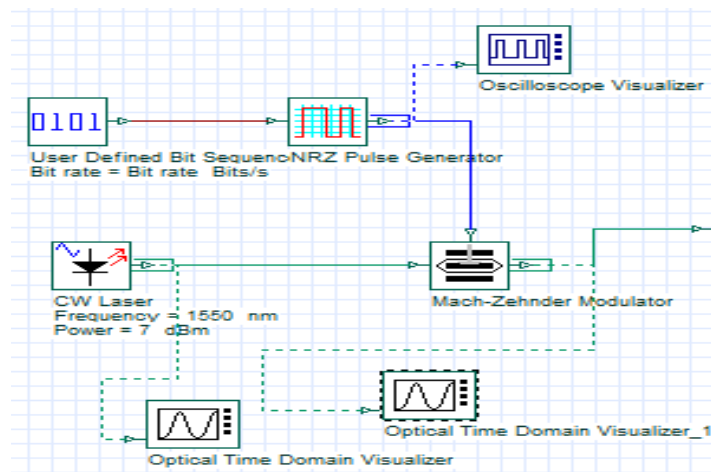


Figure III. 26: Bloc d'émission OLT du réseau FTTH.

Rôle de ce bloc est d'émettre un signal optique continu et de le moduler en fonction des données binaires et du format choisi. Dans les systèmes que nous allons étudier, l'émetteur est constitué de composants suivant :

- CW Laser : La diode électroluminescente utilisée pour la source de lumière à large bande

Chapitre III : Simulation de transmission FTTH dans le réseau optique

- User Defined Bit Sequence Generator: Générateur de séquence de bits (données à transmettre).
- NRZ Pulse Generator: générateur d'impulsions sans retour.
- Mach-Zehnder Modulator: Le modulateur Mach-Zehnder utilisé pour contrôler l'amplitude d'une onde optique et de graver le signal informatique (électrique) sur le signal lumineux (LASER).

- Canal de transmission :

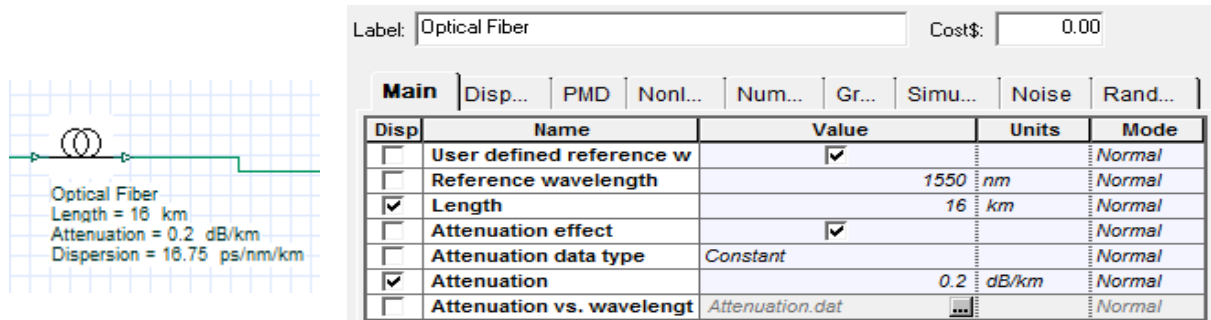


Figure III. 27 : canal de transmission du réseau FTTH.

La fibre optique représente le milieu de propagation de la lumière (données) entre OLT-ONT.

- Bloc de réception :

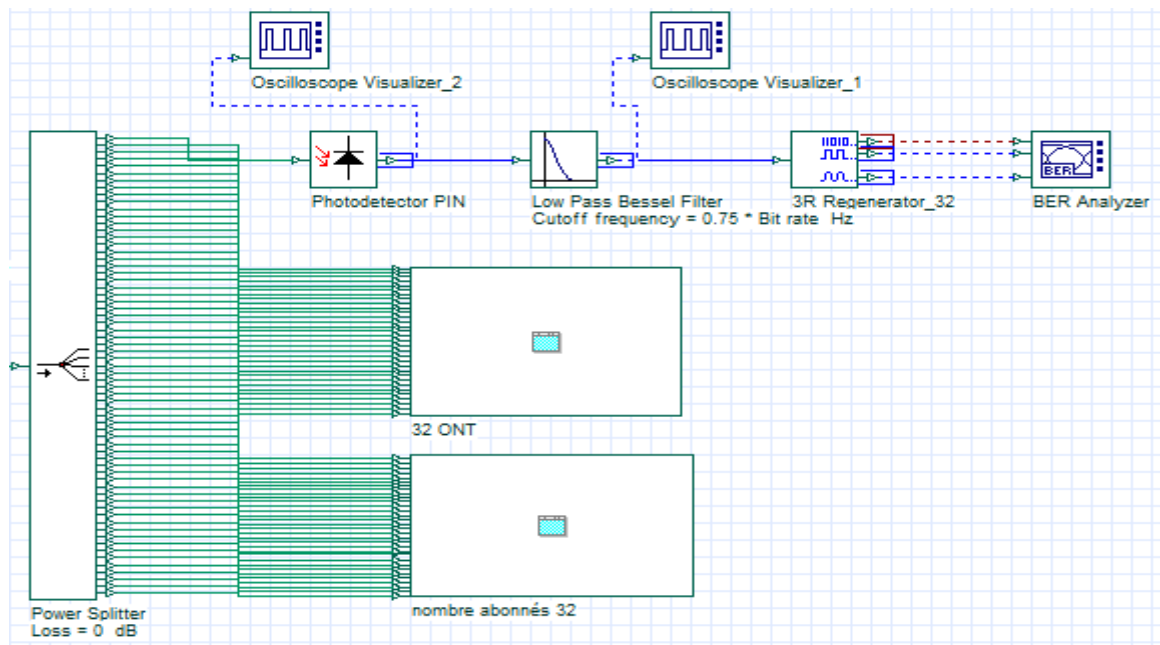


Figure III. 28 : Bloc de réception du réseau FTTH.

La conception du récepteur consiste à recevoir le signal efficace souhaité avec le minimum de BER, afin de répondre aux besoins des clients. Il comprend :

- Photodetector PIN: photodiode détecte le signal optique et le convertit en signal électrique.
- Low Pass Bessel Filter: Afin de minimiser le bruit en sortie du récepteur PIN.
- 3R Regenerator: ce composant permet d'analyser et de calculer le BER.
- BER : ce composant affiche les deux valeurs de facteurs de qualité Q et BER et le diagramme de l'œil.

De nombreux paramètres ont une influence sur les performances tels que :

- la longueur de la liaison optique OLT-ONT dans le système FTTH.
- la puissance de transmission de données entre OLT-ONT dans système FTTH.
- le nombre d'utilisateurs qui communiquent simultanément dans le système de communication FTTH.

Nous allons par conséquent évaluer l'impact de ces différents paramètres sur les performances du système FTTH.

▪ Les résultats de simulation :

- émission :

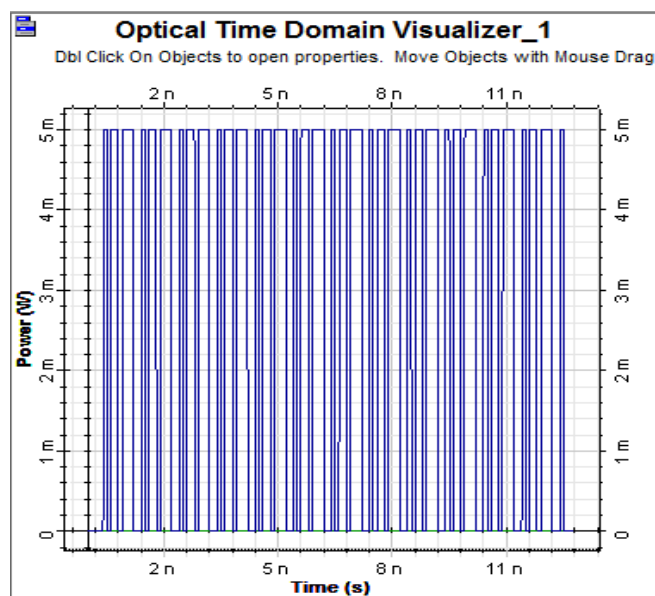


Figure .III.29 : le signal temporel à la sortie d'OLT dans réseaux FTTH.

- Canal de transmission :

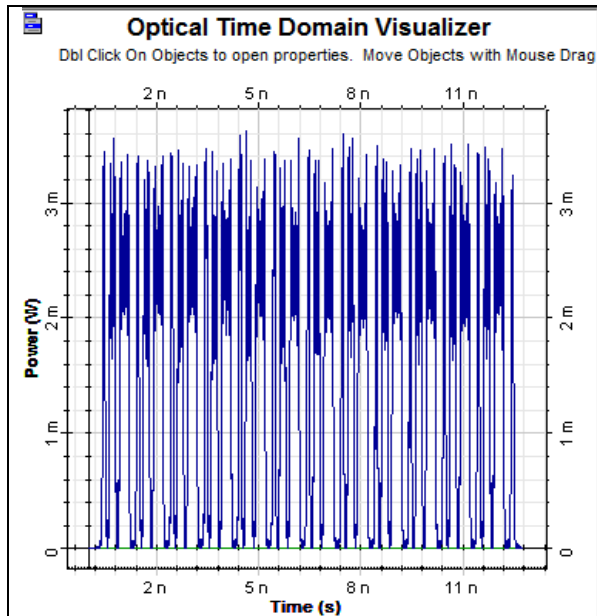


Figure.III.30 : le signal temporel à l'entrée de ONT dans réseaux FTTH.

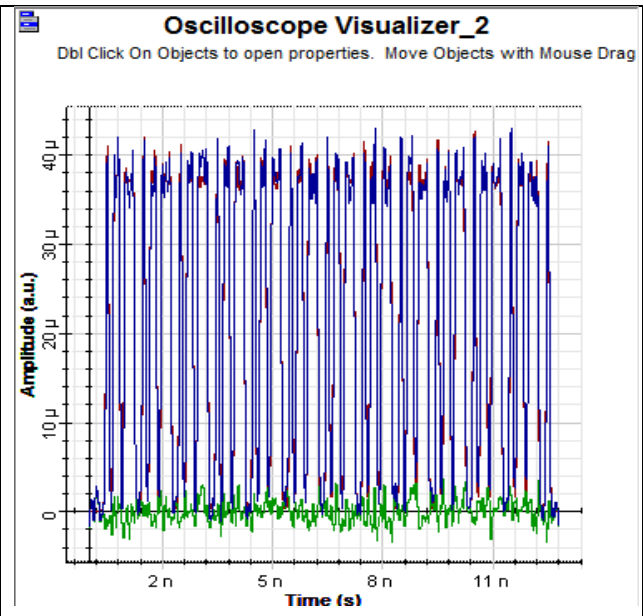


Figure.III.31 : le signal temporel à la sortie de ONT dans réseaux FTTH.

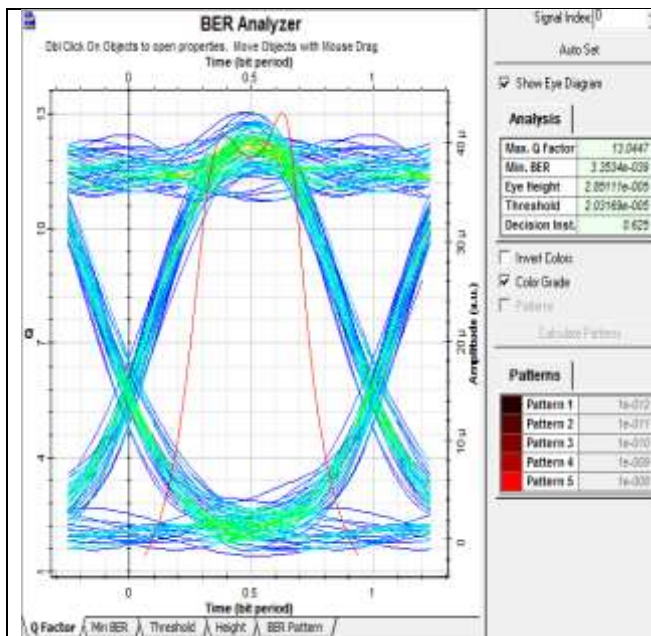


Figure III. 32 : Le diagramme de l'œil pour L=16km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH.

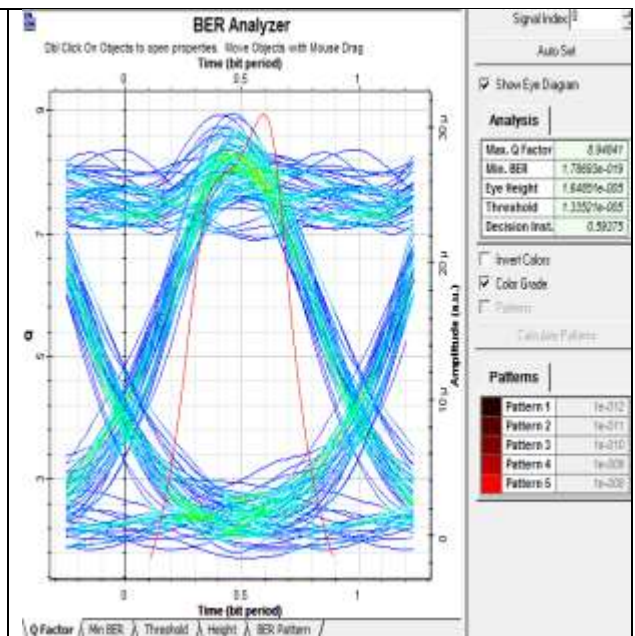


Figure III. 33 : Le diagramme de l'œil pour L=25km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH.

Tableau III.2 : L'effet de la fréquence sur le facteur de qualité et BER.

fréquence	Facteur de Q	BER
1510	14.345	$5.65518e^{-047}$
1550	13.0447	$3.3534e^{-039}$
1610	10.9783	$2.4262e^{-028}$
1650	10.5741	$1.96213e^{-029}$

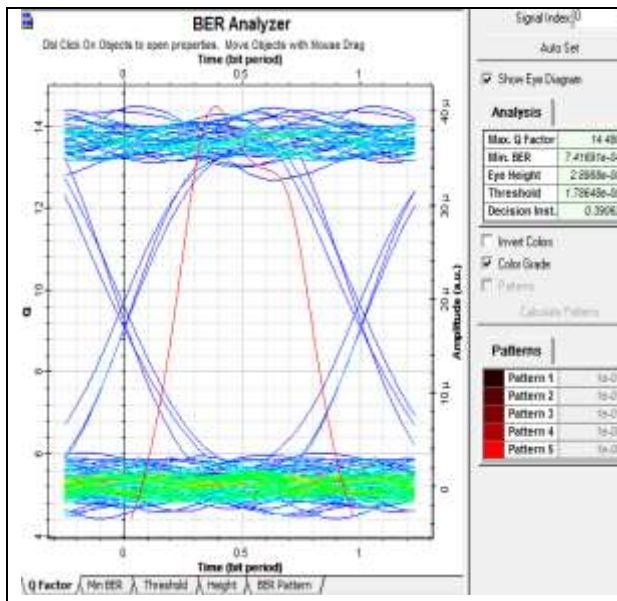


Figure III. 34 : Le diagramme de l'œil pour D=1Gbits/s et L=16km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH.

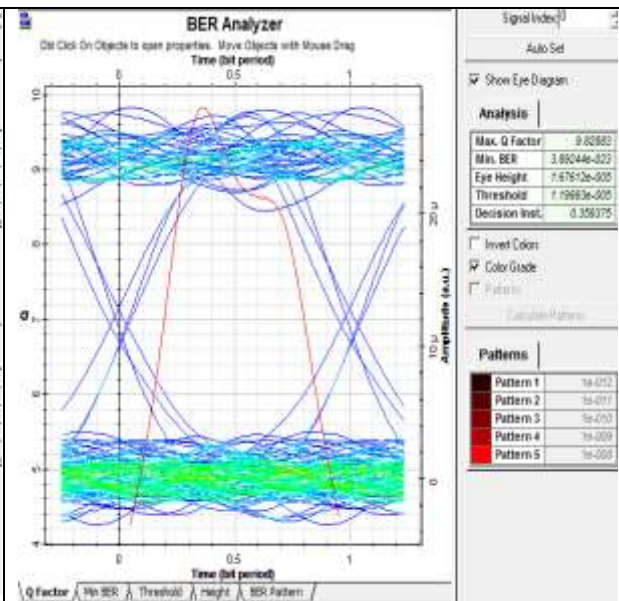


Figure III. 35 : Le diagramme de l'œil pour D=1Gbits/s et L=25km et F=1550nm et P= 7dBm dans réseaux FTTH.

- A travers **les figures (III. 32.33.34.35)** et **le tableau (III.2)** on remarque que plus la fréquence et la longueur de canal sont élevés plus le facteur de qualité diminuer ou bien l'inverse et plus la valeur de BER sont élevés.

III.9. simulation de transmission FTTH avec fibre optique :

- Le montage de simulation de transmission FTTH avec fibre optique :

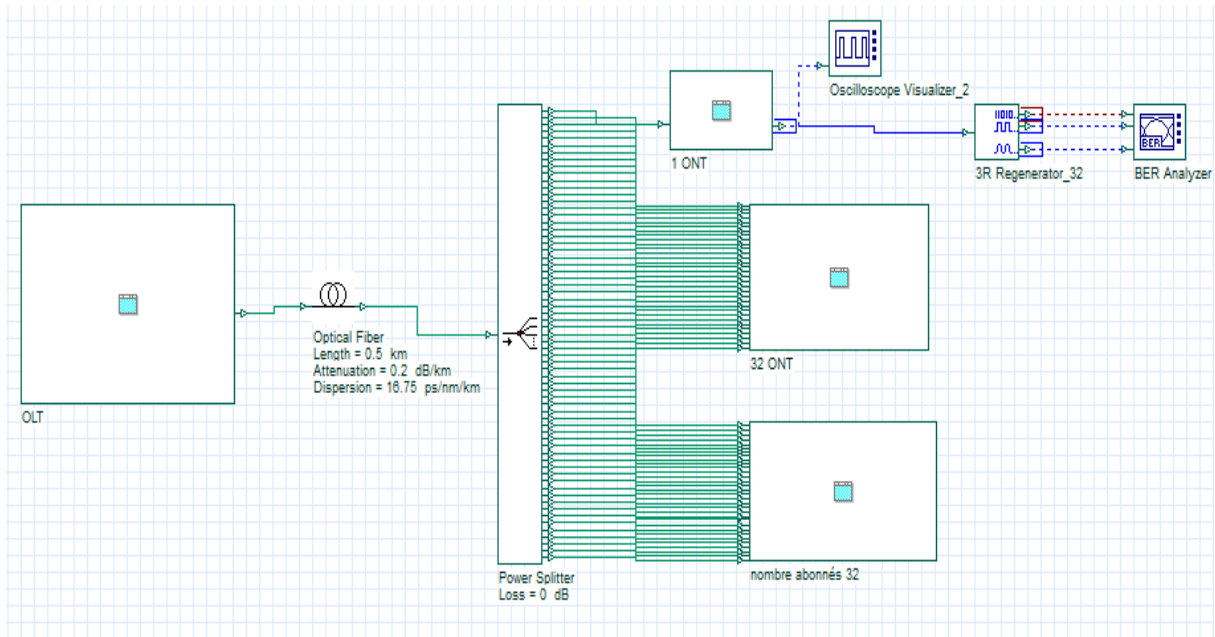


Figure III.36 : Chaine de transmission FTTH avec fibre optique.

- Les résultats de simulation :
- émission :

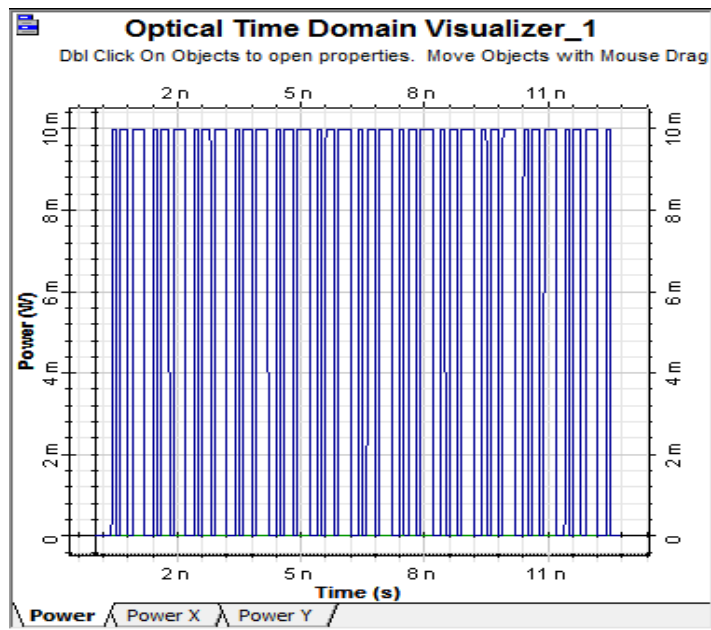


Figure .III.37 : le signal temporel à la sortie d'OLT dans réseaux FTTH avec fibre optique.

- Canal de transmission :

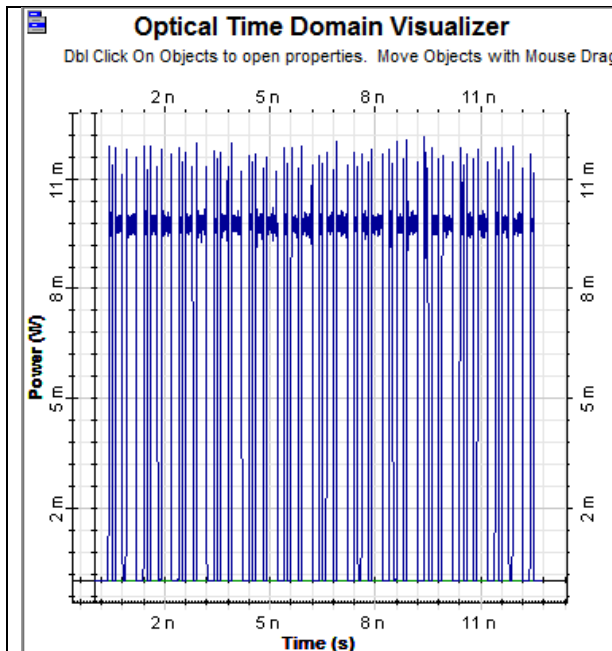


Figure.III.38 : le signal temporel à l'entrée de ONT dans réseaux FTTH avec fibre optique.

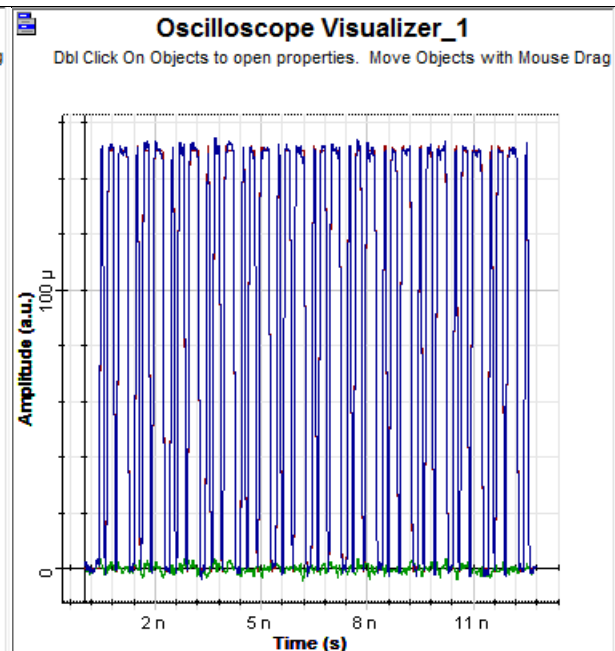


Figure.III.39 : le signal temporel à la sortie de ONT dans réseaux FTTH avec fibre optique.

4. Enfin, on a utilisé l'instrument (Le TEB analyseur) avec et sans réglage de la valeur de débit pour juger la qualité du signal, on a trouvé les résultats suivants :

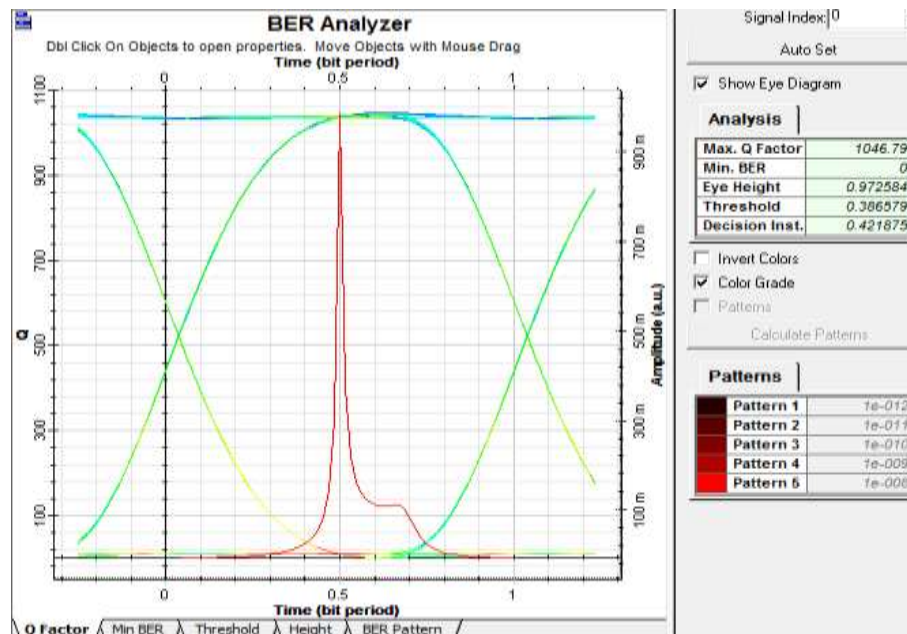


Figure III. 40 : Le diagramme de l'œil pour L=0.5km et F=1550nm et P= 10dBm dans fibre optique.

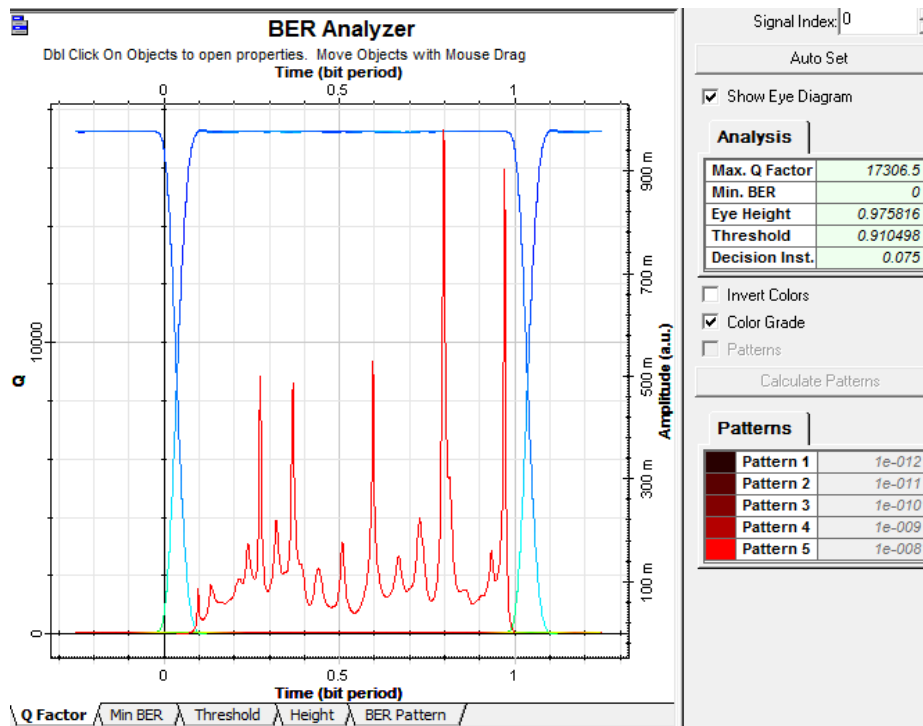


Figure III. 41 : Le diagramme de l'œil pour $D=1\text{Gbits/s}$ et $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P=10\text{dBm}$ dans fibre optique.

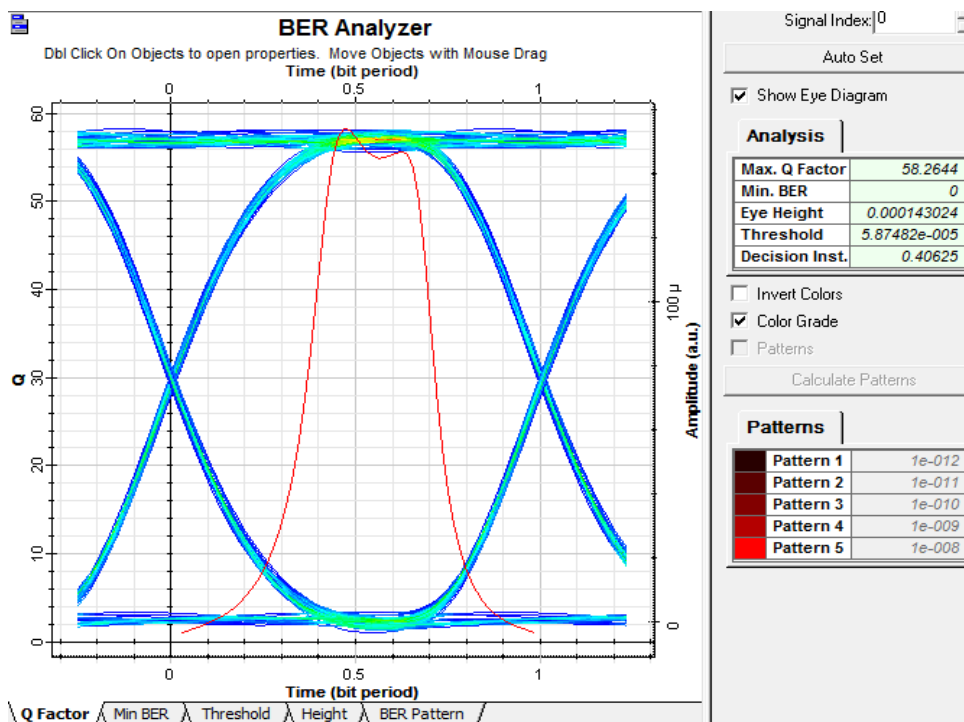


Figure III. 42: Le diagramme de l'œil pour $L=0.5\text{km}$ et $F=1550\text{nm}$ et $P=10\text{dBm}$ dans réseaux FTTH avec fibre optique.

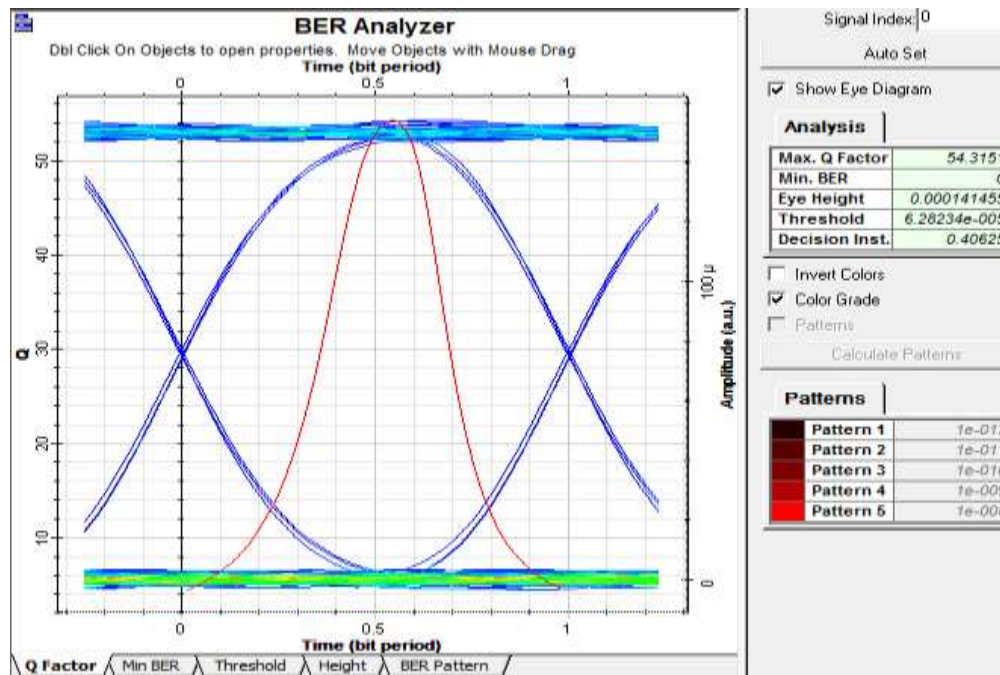


Figure III. 43 : Le diagramme de l’œil pour D=1Gbits/s et L=0.5km et F=1550nm et P= 10dBm dans réseaux FTTH avec fibre optique.

III.10. Influence des paramètres entre l’émetteur et récepteur OLT-ONT sur les performances d’un réseau FTTH:

Les tableaux suivants montre le changement du facteur de qualité est considéré comme le facteur principal de la distorsion du signal, lorsqu'on fait varier les paramètres entre l’émetteur et le récepteur (l’atténuation, le débit, la longueur, la puissance) :

Tableau III.3 : L’effet de longueur sur le facteur de qualité.

Longueur	Facteur de Q
0.5km	58.2644
5km	44.4054
15km	19.2798
30km	10.3736

Tableau III.4 : L’effet de l’atténuation sur le facteur de qualité.

Atténuation	Facteur de Q
0.2	58.2644
0.3	57.6361
0.4	57.0141
0.5	56.3985

Tableau III.5 : L'effet de puissance sur le facteur de qualité.

Puissance	Facteur de Q
5	19.619
7	30.223
10	58.2644
15	160.152

Tableau III.6 : L'effet de débit sur le facteur de qualité.

Débit	Facteur de Q
1	54.3151
1.5	14.4946
3	5.997
4.5	5.1533

- ✓ A travers **les tableaux (III.3, 4,6)** on remarque que il y a une relation négative plus les paramètres (l'atténuation, la longueur, le débit) sont élevés plus le facteur de qualité diminuer ou bien l'inverse alors plus les performances du réseau FTTH se diminuer. Ceci s'explique par l'atténuation du signal optique dans son trajectoire de propagation ce qui conduit à des pertes d'information. Par conséquent, plus les paramètres (la distance, l'atténuation, le débit) entre OLT et ONT (canal) augmente, plus l'atténuation du signal augmente, et donc plus les performances du réseau FTTH se diminuer.
- ✓ Nous remarquons sur **le tableau (III.5)** il y a une relation positive que plus le facteur de qualité avec l'augmentation de la puissance optique, alors les performances du réseau de transmission FTTH augmentent.

III.11. Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre à l'étude des performances de transmission FTTH par simulation à l'aide du programme OPTISYSTEM. Dans un premier temps, nous avons réalisé le montage de fibre optique et le montage de FTTH. Puis au nous avons raccordement entre la fibre optique et le réseau FTTH. Et nous avons mesuré les performances de chaque montage au travers des valeurs de facteur de qualité et le BER. A la fin de ce chapitre nous avons

présenté Influence des paramètres entre l'émetteur et récepteur OLT-ONT sur les performances d'un réseau FTTH.

En fin de compte, nous concluons que des paramètres tels que l'atténuation, la longueur, le débit, la puissance sont ceux qui déterminent qui est la meilleure performance et efficacité de transmission par le choix de fibre.

Conclusion générale

L'évolution des télécommunications optique a été mise en évidence par la découverte de nouvelles technologies pour transmettre l'information à des vitesses très élevées que celles utilisées dans l'ADSL. La demande de conception de réseau d'accès de type FTTH a augmenté parce qu'il s'agit de la solution la plus appropriée pour la transmission de données à très haute vitesse.

Dans ce mémoire nous sommes familiarisés avec le programme optisystem pour les applications fibre optique et ses fonctionnalités, et nous avons fait un montage de fibre optique et le montage de réseau FTTH, puis nous avons déduit les paramètres les plus importants qui affectent les performances de FTTH comme la longueur et l'atténuation et le débit et la puissance et la fréquence. Qui plus ces paramètres (l'atténuation, la longueur, le débit) sont élevés plus le facteur de qualité diminuer ou bien l'inverse alors plus les performances du réseau FTTH se diminuer. Et plus la puissance sont élevés plus le facteur de qualité élevée.

À la fin de cette mémoire, l'objectif de ces études consiste à proposer et donner des solutions qui peuvent être aidé la fibre optique pour améliorer la performance des paramètres de la chaîne de transmission.

Comme perspective de notre travail on propose à technique intelligent pour suivre les performances des lignes de transmission.

Références

[1]	Joel NLANDU NSIANTIMA , Apport de la fibre optique face aux enjeux de la NTIC dans la ville de kinshasa, Institut supérieur des techniques appliquées Kinshasa - Gradué en radio-transmission 2014.
[2]	site SAMOMOI.com , consulté le 06/06/2023 , URL : https://www.samomoi.com/reseauxinformatiques/reseau-infrarouge.php
[3]	cours « téléphonie » TEL 56 chapitre2:Support de transmission en téléphonie, département électronique-LMD-Licence télécommunications-TEL 56-version 00/2015.
[4]	MOSTARI LATIFA , Polycopié de Cours : Supports de Transmission, Destiné aux étudiants de la 3ème Licence en Télécommunications, UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI CHLEF, Décembre 2019.
[5]	Supports de Transmission, MI 106 & GI 105, Département de Génie Industriel.
[6]	Thierry Ditchi , cours de lignes de transmission, sorbonne université.
[7]	Dr. Randa BEDRA , COURS de Supports de Transmission, Université Mousfa-Benboulaid- Batna 2-,L'année universitaire : 2019-2020.
[8]	David Massoubre , « Composant passif à absorbants saturables sur InP pour la régénération tout-optique à très hauts-débits », Présentée pour obtenir Le grade de docteur en sciences de l'université paris xi orsay, université paris xi ufr scientifique d'orsay, 23 Novembre 2006.
[9]	Mlle Rahmouni Imen & Mlle Moussaoui Faiza , « Etude et Optimisation des liaisons optiques », Présenté pour obtenir LE DIPLOME DE MASTER, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 07/09/2019.
[10]	Mr. BENOUDINA Abderahmanne & Mr. HARROUZ Abdallah , « Simulation et Réalisation d'un réseau FTTH : Cas ville de Ghardaïa », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université Ziane Achour de Djelfa, 01/06/2019.
[11]	HAMIDOU Khadidja Lamia & GAOUAR Mohammed Badis , « Etude d'un

	<p>système de transmission par fibre optique, Et la supervision des liaisons optiques de la DD-T du groupe Sonelgaz » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master , université Aboubakr Belkaid _ Tlemcen_, 24/09/2020.</p>
[12]	<p>GUESSOUM ASSIA, « OPTIMISATION DU COUPLAGE OPTIQUE PAR MODIFICATION DES BOUTS DES FIBRES OPTIQUES », pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, Université ferhat abbas – setif 1, 17/01/2013.</p>
[13]	<p>Tahi Mimouna Merabta & Chadouli Sabra, « Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg A Fibre : Compensation De La Dispersion Chromatique Dans Une Ligne De Transmission Optique », En vue de l'obtention du diplôme de Master, Université de Blida 1, Promotion : 2019.</p>
[14]	<p>Frittis Bouchra & Abdelhakimi Ikram, « Etude et simulation des performances des réseaux d'accès optiques par le multiplexage (PON- WDM) », Pour l'obtention du diplôme de Master, UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY – SAIDA, 12 /07/2021.</p>
[15]	<p>ARRIBI Meriem & ELMAHI Aicha, « La technique WDM en télécoms optiques avancées », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, université mustapha stambouli de mascara, 23 JUIN 2016.</p>
[16]	<p>SLIMI Ouidette, « MICROLENTILLAGE D'UNE FIBRE OPTIQUE », e précision Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF UFAS (ALGERIE), 04 /01/2011.</p>
[17]	<p>KHITER nacire & REBHI chaima, « étude simulation des paramètres d'une chaine de transmission optique en utilisant la technique de multiplexage », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, université de Laghouat, promotion : 2021/2022.</p>
[18]	<p>GAOUAT ibtissem, « Conception et analyse d'un système de communication optique WDWM » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, , Université Mohamed Khider de Biskra, mercredi 30 septembre 2020.</p>

[19]	SAOUD Abderrezzak & GADI Abdelkader & REDOUANI Mohammed , « Analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, en juin 2021.
[20]	MESSAOUDI Roumaissa , « ETUDE PAR SIMULATION LES EFFETS DES AMPLIFICATEURS OPTIQUE SUR LE SIGNAL » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI), 30/06/2021.
[21]	BOUSSADA Rabea & CHIDAH Ferial , « L'influence du profil de la fibre optique sur la transmission » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA, 09 juillet 2019.
[22]	Safi BOUAMAMA & Abdelillah DJEMAI , « Conception et configuration des réseaux optiques GPON » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université Abou-Bekr Belkaïd-Tlemcen , 27 septembre 2020.
[23]	Melle.Wassila BERROUANE , « étude de conception d'un chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III.-Nitrures » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de doctorat 3 ^{ème} cycle LMD,université Djillali liabes sidi bel abbes , année universitaire : 2017/2018.
[24]	Nassima BOUDRIOUA , « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » , Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paul Verlaine – Metz, Ecole Doctorale IAEM – Lorraine, 25 octobre 2007
[25]	Melle BILLAMI Hanane et Melle BENDAHMANE Raouida , « Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université Abou-Bekr Belkaïd-Tlemcen, juin 2013.

[26]	BOUSSADA Rabea & CHIDAH Feriel , « L'influence du profil de la fibre optique sur la Transmission », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA, le 09 juillet 2019.
[27]	Frittis Bouchra & Abdelhakimi Ikram , « Etude et simulation des performances des réseaux d'accès optiques par le multiplexage (PON- WDM) », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY – SAIDA, le 12 /07/2021.
[28]	Pr. Balboul Younes , cour « Transmission sur Fibre Optique », Département Génie électrique et informatique, ENSA de Fès, S5-GTR-M36.
[29]	Mr. Ziane Ilyas & Mr. Boudaoud Hichem , « Etude et simulation d'un amplificateur SOA : convertisseur de longueurs d'ondes », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, université abou bekr belkaid tlemcen, 29 Septembre 2021.
[30]	Khenniche Mohamed Oussama , « Etude comparative entre l'ADSL et la Fibre Optique », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master , Université Mohamed Khider de Biskra , dimanche 27 septembre 2020.
[31]	Hamidreza Khaleghi , « Influence des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) sur la transmission cohérente de signaux optiques à format de modulation multi-porteuses (CO-OFDM) », Autre Université de Bretagne occidentale - Brest, 2012, Français, NNT : 2012BRES0034, tel-00829663.
[32]	Melle LOUAZANI Marwa & Melle MEDDANE Samira , « 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, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID- TLEMCEN, juin 2017.
[33]	LITIM Salsabil & BELAID Chourouk , « Simulation d'une chaîne optique multiplexée », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA , Année Universitaire: 2019/2020.
[34]	J.L.VERNEUIL , « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à

	40 Gbit/s » , Thèse de Doctorat, l'université de Limoges, novembre 2003.
[35]	BOUFRIDA Naim & LAYADA Selsabil , « Planification et dimensionnement d'un réseau d'accès optique WDM/GPON », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université 8Mai 1945 – Guelma, Juillet 2021.
[36]	Saàda Amina & Seddaoui Radia , « Etude et caractérisation des architectures G-PON et X-GPON pour le réseau FTTH » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 15 / 07 / 2021.
[37]	SEDDIK YAMINA KHEIRA & SEGHIUER HOUDA , « Etudes Des Propriétés Des Fibres Optiques Utilisées En FTTH » , mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, Année universitaire 2018/2019.
[38]	GUERCH Azeddine Yahia & Ziane Aissa , « Déploiement d'un Réseau FTTx », Projet de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme Master Télécommunications, Université ziane achour-Djelfa-, Année Universitaire : 2018- 2019.
[39]	HICHEM Mrabet , « Cours Réseau d'accès optique », Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis, Année universitaire 2010-2011.
[40]	Claude Lahache , « d-ploiement-de-la-fibre-optique-ftth », consulté le 09/06/2023, URL : https://fr.scribd.com/document/451782599/d-ploiement-de-la-fibre-optique-ftth#
[41]	BENABDERRAHMANE Benamar & CHELDA Belhadj , « ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX OPTIQUES GPON », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, Université abou-bekr belkaid- Tlemcen, septembre 2020.
[42]	C.R.E.D.O , 2007_CREDO_Developpement_des_reseaux_a_tres_haut_debit Guide de mise en place de réseaux fibres optiques FTTH , consulté le 09/06/2023, URL : https://www.cercle-credo.com/wp-content/uploads/2022/01/2007_CREDO_Developpement_des_reseaux_a_tres_haut_debit.pdf

[43]	TP N°1 : Initiation à l'utilisation du logiciel « OptiSystem », Université de Mohamed Boudiaf – M'sila , Faculté de Technologie Département d'Electronique Option : M2 – STLC, Année Universitaire 2021/2022.
[44]	HAMMACHE HAMZA RACHED , « ETUDE ET SIMULATION DES PERTES DANS UNE LIAISON FIBRE OPTIQUE AVEC APPLICATION » , Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université de Bijaia, Promotion 2015/2016.