

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Par : **CHAREF Chakib** et **BENSABER Mohammed Reda**

Sujet

Étude et performances des Fibres Optiques Plastiques (POF) dans les réseaux Locaux LAN

Soutenu publiquement, le **03 / 07 / 2019**, devant le jury composé de :

Président:	Mr KARIM Fethallah	MCA	UABB. Tlemcen
Examineur:	Mr CHIKH-BLED Mohammed EL-Kebir	PROF	UABB. Tlemcen
Encadreur :	Mr CHIKH-BLED Hicham	MAB	UABB. Tlemcen

Année Universitaire: 2018-2019

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre remerciements à « ALLAH » le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Ce PFE ne serait pas aussi riche et n'aurait pu voir le jour sans l'aide de Monsieur CHIKH BLED Hicham qui a accepté d'être notre encadreur durant cette année. Ces précieux conseils et son aide durant cette période de travail, ont contribué efficacement à l'avancement de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin et en particulier tous nos amis de la promotion ST.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère

Qui m'a guidé sur le chemin droit. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

École de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

A Mon frère Réda, je te souhaite la réussite au BAC

AUX jumeaux Ayoub et abdelhak, je te souhaite réussite au BEM

A mon petit frère Med amine

A tous mes amis et mes proches

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.

Charef Chakib

Je dédie ce modeste travail

Aux êtres les plus chers au monde

*A « Mes Parents » qui ont été toujours là pour moi et pour tous
ses efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir.*

A Mon frère Faycel, je te souhaite la réussite au BEM

A mon frère, ma petite sœur et toute la famille, Pour l'amour,

L'attention, l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté.

A mes amies

A tous ceux qui me sont chères

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime

Bensaber Med Reda

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicaces</i>	II
<i>Table des matières</i>	IV
<i>Table des figures</i>	VII
<i>Liste des Tableaux</i>	IX
<i>Liste des acronymes</i>	X
<i>Introduction générale</i>	1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunications optiques

I.1 Introduction.....	5
I.2 Définition générale d'un réseau	5
I.3 Les types des réseaux optiques	5
I.3.1 Les réseaux longue distance WAN (Wide Area Network).....	7
I.3.2 Les réseaux métropolitains MAN (Metropolitan Area Network)	8
I.3.3 Les réseaux d'accès LAN (Local Area Network).....	9
I.3.3.1 FTTH (Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office)	10
I.3.3.2 FTTB (Fiber To The Building)	11
I.3.3.3 FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet).....	11
I.4 La terminologie du réseau d'accès.....	11
I.5 Architectures de réseau d'accès optique.....	12
I.5.1 Architecture point à point (P2P).....	13
I.5.2 Point-à-Multipoint passif(PON)	14
I.5.2.1 Etude des éléments d'un réseau optique passif :.....	14
I.5.2.2 Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON) :.....	15
I.5.3 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON.....	15
I.6 Les différents standards d'un réseau PON	16
I.6.1 La norme APON.....	17
I.6.2 La norme BPON	18
I.6.3 La norme EPON	18
I.6.4 La norme GPON.....	19

I.7 Comparaison des standards d'un réseau PON :	20
I.6 conclusion	21
<i>Références bibliographiques</i>	22
Chapitre II : Présentation générale des caractéristiques des Fibres Optiques Plastiques (FOP)	
II.1 Introduction	24
II.2 La fibre optique	24
II.3 Propagation de la lumière dans la fibre optique	24
II.4 Structure de la fibre optique	26
II.5 Couplages de modes	26
II.6 Pertes de couplage	27
II.7 Les différents types de fibres FOP	27
II.7.1 Fibres FOP à saut d'indice (SI-FOP)	27
II.7.2 Fibres FOP à gradient d'indice (GI-FOP)	28
II.7.3 Fibres FOP multi-cœurs à saut d'indice (MC-FOP)	28
II.7.4 Fibres FOP à saut d'indice et à faible ouverture numérique (LOW-NA POF)	29
II.7.5 Fibres FOP à double sauts d'indice (DSI-POF)	29
II.8 Atténuation dans les fibres FOP	30
II.9 Dispersion dans les fibres FOP	33
II.9.1 La dispersion intermodale (ou modale)	33
II.9.2 La dispersion chromatique	34
II.9.2.1 Dispersion des guides d'onde	34
II.9.2.2 Dispersion du matériau	34
II.10 Bande passante dans les fibres POF	35
II.11 Avantages et inconvénients des Fibres Optiques Plastiques (FOP)	36
II.11.1 Les avantages	36
II.11.2 Les inconvénients	36
II.12 Comparaison des caractéristiques des FOP avec les fibres en silice	37
II.13 Applications des FOP	38
II.13.1 Dans le domaine de multimédia et télécoms	38
II.13.2 Applications dans l'automobile	38
II.13.3 Dans les réseaux locaux	38
II.14 Récapitulatif des diverses applications	39
II.15 Conclusion	39
<i>Références bibliographiques</i>	40

Chapitre III : Etude d'une transmission par FOP dans un système FTTH (Fiber To The Home)	
III.1 Introduction	42
III.2 Logiciel de Simulation (Optisystem)	42
III.2.1 Présentation du logiciel de simulation	42
III.2.2 Avantages du logiciel.....	44
III.2.3 Applications d'OptiSystem.....	44
III.3 Description et principe générale de l'architecture.....	45
III.3.1 Partie émission	46
III.3.1.1 Générateur binaire PRBS (pseudo random binary sequence)	46
III.3.1.2 Le format NRZ (Non-retour à Zéro).....	46
III.3.1.3 CW laser (Continuous Wave laser)	47
III.3.1.4 Le modulateur Mach-Zhender	48
III.3.2 Canal de propagation (fibre optique)	48
III.3.3 Partie réception	49
III.3.3.1 L'amplificateur à fibre dopée erbium EDFA (Erbium-doped fiber amplifieur) ...	49
III.3.3.2 photodiode PIN.....	50
III.3.3.3 Le filtre BESSEL.....	50
III.3.3.4 3R répéteur (3R regenerator).....	50
III.4 Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission	50
III.4.1 Taux d'erreurs binaires	51
III.4.2 Le facteur de qualité.....	51
III.4.3 Diagramme de l'œil	51
III.5 Résultats	52
III.5.1 Effet de variation de la longueur de la Fibre.....	54
III.5.2 Effet de la variation de la puissance d'émission.....	56
III.5.3 Effet de variation du débit.....	59
III.6 conclusion.....	61
<i>Références bibliographiques</i>	62
<i>Conclusion générale</i>	63

Table des figures

Chapitre I

Figure I. 1: Schématisation d'architecture d'un réseau optique.....	6
Figure I. 2: Les différents réseaux existant	7
Figure I. 3: Schématisation d'architecture d'un réseau longue distance WAN	8
Figure I. 4: Schématisation d'architecture d'un réseau MAN	9
Figure I. 5: Architecture « LAN».....	10
Figure I. 6: Structure d'un réseau FTTH/FTTO.	10
Figure I. 7: Structure d'un réseau FTTB.....	11
Figure I. 8: Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.	11
Figure I. 9: Terminologie du Réseau d'Accès.....	12
Figure I. 10: La Terminologie du Réseau d'Accès avec les techniques FTTx	12
Figure I. 11: Architecture point à point (P2P).....	13
Figure I. 12: Architecture point à multipoint passif(PON).	14
Figure I. 13: Les éléments constitutifs du PON.	15
Figure I. 14: L'évolution de technologie réseau optique passif PON	17
Figure I. 15: Schématique simplifiée du GPON	19

Chapitre II

Figure II. 1: Principe de la propagation de la lumière dans une fibre à saut d'indice.	24
Figure II. 2: Structure d'une fibre optique.	26
Figure II. 3: Couplage de modes par un centre de diffusion et une microcourbure.....	27
Figure II. 4: Exemples de mauvais alignements.	27
Figure II. 5: Atténuation des fibres FOP	29
Figure II. 6: Structure d'une fibre FOP à saut d'indice et à faible ouverture numérique.	29
Figure II. 7: La structure d'une fibre à double sauts d'indice (DSI-POF).	30
Figure II. 8: Atténuations pour les FOP de base PMMA et PS	31
Figure II. 9: Caractéristiques spectrales de la FOP en PMMA de diamètre 1000 µm	31
Figure II. 10: Atténuation des fibres multimodes.	32

Figure II. 11: Comparaison de l'atténuation pour différents milieux de propagation	32
Figure II. 12: Dispersion temporelle dans la FOP	33
Figure II. 13: Dispersion intermodale propagation d'un mode rapide et d'un mode lent.	34
Figure II. 14: La bande passante de la FOP.	35
Figure II. 15: Compensation de la caractéristique de filtre passe-bas en FOP.....	36
Figure II. 16 : Les différentes applications des FOP	39

Chapitre III

Figure III. 1 : Les fenêtres d'Optisystem.	43
Figure III. 2 : Les paramètres de la fibre utilisée.	44
Figure III. 3: Schéma synoptique de la liaison FTTH simulée sous Optisystem.	45
Figure III. 4 : Partie émission.....	46
Figure III. 5 : le codage de la donnée (101101) en format NRZ.....	47
Figure III. 6 : Spectre de puissance de la source optique.....	47
Figure III. 7 : Modulateur Mach-Zehnder en 3D	48
Figure III. 8 : Puissance optique avant et après émission	49
Figure III. 9 : Principe de fonctionnement d'un amplificateur à fibre dopée erbium EDFA... 49	
Figure III. 10: Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ.....	52
Figure III. 11: Schéma synoptique d'une liaison par FOP sous Optisystem.....	53
Figure III. 12: Variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre.	55
Figure III. 13: Variation de BER en fonction de la longueur de la fibre.	55
Figure III. 14: Diagrammes de l'œil, (01) : pour 10 m, (02) : pour 90 m.	56
Figure III. 15: Variation de facteur de qualité en fonction de la puissance d'émission.....	57
Figure III. 16: Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la puissance d'émission	58
Figure III. 17: Diagrammes de l'œil, (01) : pour 5dBm, (02) : pour 10dBm.....	58
Figure III. 18: Variation de facteur de qualité en fonction de débit.....	59
Figure III. 19: Variation de BER en fonction de la longueur de Débit.....	60
Figure III. 20: Diagrammes de l'œil, (01) : pour 0.5Gb/s, (02) : pour 6.5Gb/s.....	60

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1: Comparaison entre les trois types de réseau optique.	6
Tableau I. 2: Comparaison entre P2P et PON.	16
Tableau I. 3: Comparaison des standards PON.	21

Chapitre II

Tableau II. 1: Atténuation de 50 mètres de fibre FOP	28
Tableau II. 2 : Comparaison des caractéristiques des FOP avec les fibres en silice	37

Chapitre III

Tableau III. 1 : Caractéristiques de la fibre multimode.....	48
Tableau III. 2: Effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER.....	54
Tableau III. 3: Effet de la puissance d'émission sur le facteur de qualité et le BER.	57
Tableau III. 4: Effet du débit sur le facteur de qualité et le BER.....	59

Liste des acronymes

3D : Trois dimensions
3R : Re-amplification, reshaping and retiming
8k-UHDTV : 8k - ultra high definition television
APON: ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
ASE: Amplified Spontaneous Emission
ATM: Asynchronous Transfer Mode
BER: Bite Error Rate
BPON: Broadband Passive Optical Network
CATV: cable television
CD: chromatique dispersion
CO: Central Office
CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect
CW: Continuous Wave
D2B: domestique dual bus
DEL: diodes électroluminescentes
DSI: double sa:uts d'indice
EDFA : Erbium doped fiber amplifier
EPON : Ethernet Passive Optical Network
FDDI: Fiber Distributed Data Interface
FOP : fibre optique plastique
FSAN : Full Services Access Network
FTTB: Fiber To The Building
FTTC: Fiber to the Curb
FTTCab : Fiber to the Cabinet
FTTH: Fiber To The Home
FTTO: Fiber To The Office
FTTx : Fiber To The x
GAN : Global Area Network
GEM : GPON Encapsulation Method

GI : Gradient d'indice
GOF : Glass optical fiber
GPON : Gigabit Passive Optical Network
GPS : Global Positioning System
GSM : global system for mobile communications
IDB : intelligent transportation system data bus
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISI : inter dymbol interférence
LAN : Local Area Network
MAN : Metropolitan Area Network
MC : multi-cœurs
MOST :media oriente systèmes transport
NA : numerical aperture
NRZ : Non-retour à Zéro
ODN : Optical Distribution Network
OEO : optiques-électriques-optiques
OLT : Optical Line Terminal
ON : ouverture numérique
ONT : Optical Network Termination
ONU : Optical Network Unit
OSA : optical spectrum analyser
P2M : Point To Multipoint
P2P : point à point
PF : perfluoré
PIN : Positive Intrinsic Negative photodiode
PMMA : polyméthacrylate de méthyle
POF : plastic optical fibre
PON : Passive Optical Network
PRBS : Pseudorandom binary sequence
PS : polystyrene
Q : Facteur de Qualité
RLD : Réseau local domestique
SDH : Synchronous Digital Hierarchy
SI : saut d'indice

Si : silice
SONET : Synchronous Optical Network
TDM : Time division multiplexing
TDMA : Time Division Multiple Access
TEB : Taux d'erreur binaire
TV : Télévision
TVHD : Télévision Haute Définition
UIT-T : International Telecommunication Union
VDSL : Very high Digital Subscriber Line
WAN : Wide Area Network
WDM : Wavelength Division Multiplexing
WDMA : Wavelength Division Multiple Access

Introduction générale

Introduction générale

La première fibre optique plastique (FOP) a été fabriquée par Du Pont de Nemours, vers la fin des années 60. Le concept était intéressant : profiter des caractéristiques mécaniques des polymères et de leur mise en œuvre simple pour réaliser une fibre optique dont le cœur affiche des dimensions bien plus importantes (1 000 μm) que celles des fibres silice (9 μm). Du fait de la pureté insuffisante du matériau utilisé à l'époque, le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), l'atténuation se situait alors aux alentours de 1 000 dB/km. Au cours des années 80, il a été possible de réduire cette atténuation à la valeur intrinsèque du matériau : 125 dB/km pour une longueur d'onde de 650 nm. Mais, hormis pour certaines applications de niches, la fibre optique plastique n'avait que peu d'avantages à offrir. A la même époque, au Japon, le ministère de la Recherche anticipe un développement de cette technologie. Un consortium constitué de chimistes (Toray, Mitsubishi Rayon et Asahi Chemical), d'universitaires (laboratoire du Pr Koike, université de Keio) et d'utilisateurs potentiels (tels Sony et Matsushita) apporte alors une contribution majeure au développement industriel et à la commercialisation de fibres optiques plastiques à saut d'indice, composées en général d'un cœur de PMMA (980 μm) et d'une gaine de polymère fluoré, d'un indice de réfraction plus faible que celui du PMMA.

L'équipe du Pr Koike met ainsi au point la première fibre plastique à gradient d'indice. L'introduction de profils à gradient d'indice de réfraction dans le cœur permet d'augmenter considérablement la bande passante, comparativement à la fibre à saut d'indice. Pour de tels profils, l'indice de réfraction diminue continuellement en suivant, si possible, une loi parabolique depuis le centre du cœur jusqu'à la gaine. La lumière ne se propage plus en ligne droite, mais est constamment réfractée le long de l'axe de la fibre. En théorie, la dispersion de mode disparaît, et la bande passante augmente : les chercheurs japonais obtiennent une performance de transmission record de 1 GHz au kilomètre (valeur obtenue sur 50 m de fibre).

L'étape suivante a constitué à coupler le profil d'indice à un matériau de faible atténuation pour augmenter encore les performances. En 1995, le Pr Koike et son équipe, qui est maintenant propriétaire des principaux brevets de base pour la fabrication de FOP à gradient d'indice, et l'industriel Asahi Glass mettent au point ensemble une fibre optique plastique à gradient d'indice perfluorée, commercialisée aujourd'hui au Japon sous le nom de Lucina. Les performances de celle-ci sont impressionnantes : 1 Gbit/s sur 500 m à 850 nm, en 1998 ; 2,5 Gbit/s sur 300 m aux trois longueurs d'onde 650, 850 et 1 300 nm, en 1999 ; et 10

Gbit/s sur 100 m à 1 300 nm, en 2000. L'intérêt supplémentaire de cette fibre est la possibilité de réaliser des liaisons par multiplexage en longueurs d'onde sur un large domaine (de 650 à 1 300 nm).

Les travaux de notre mémoire de fin d'études ont pour objectif de faire une étude prospective sur les Fibres Optiques Plastiques (POF). Ce choix est motivé en raison de la forte croissance de la demande des POF dans un environnement local comme par exemple dans un véhicule, dans une entreprise, et dans les réseaux locaux LAN (Local Area Network). La technologie des POF (Polymer Optical Fiber) répond bien à ces besoins particulièrement pour des raisons de bas cout, et de facilité de déploiement. Après une présentation de l'état de l'art des POF dans les domaines de l'instrumentation optique, et des réseaux locaux LAN, une étude des performances d'une liaison se rapprochant des POF a été étudiée et simulée à l'aide du logiciel OptiSystem.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de télécommunications

Optiques

I.1 Introduction

Au cours des dernières années, on a observé une augmentation de la demande en débit et en grande bande passante à cause de la révolution de technologie et l'utilisation de multiples applications, tels que la vidéo haute définition (HD) et la vidéo 3D, le format de cinéma numérique 8k...Etc.

Par rapport aux autres supports filaires classiques, les avantages qu'offre la fibre optique en termes de débit découlent essentiellement des propriétés physiques parfaitement adaptées aux transmissions à très haut débit donc la solution a été la mise en place des réseaux d'accès optique de type FTTH (Fiber To The Home) à base d'architecture passive PON qui peut offrir des débits trop élevés aux abonnées avec un cout réduit.

Ce chapitre introduit les réseaux d'accès optiques et donne les différentes normes de réseau optique passif avec une comparaison entre eux.

I.2 Définition générale d'un réseau

Un réseau est un ensemble d'équipements connectés entre eux, utilisant des lignes physiques (câbles de cuivre, fibre optique, etc.) ou des ondes radio dans le but d'échanger des données selon des règles bien précises (protocoles). Si la liaison est physique (câble, fibre, etc.), le réseau est appelé fixe ; si la liaison est sous forme d'ondes radio, on parle d'un réseau sans fil. Un réseau se diffère des autres par le nombre d'éléments qui le composent, sa disposition géographique et le(s) protocole(s) qu'il utilise.

I.3 Les types des réseaux optiques

Un réseau optique est un réseau qui utilise la fibre optique comme une ligne de transmission, et généralement un réseau de télécommunication par fibre optique peut être décomposé en trois catégories :

- Les réseaux d'accès aussi appelé réseaux locaux LAN (Local Area Network).
- Le réseau métropolitain (MAN, Metropolitan Area Network).
- Le réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network).

La figure I.1 présente la Shématisation d'architecture d'un réseau optique :

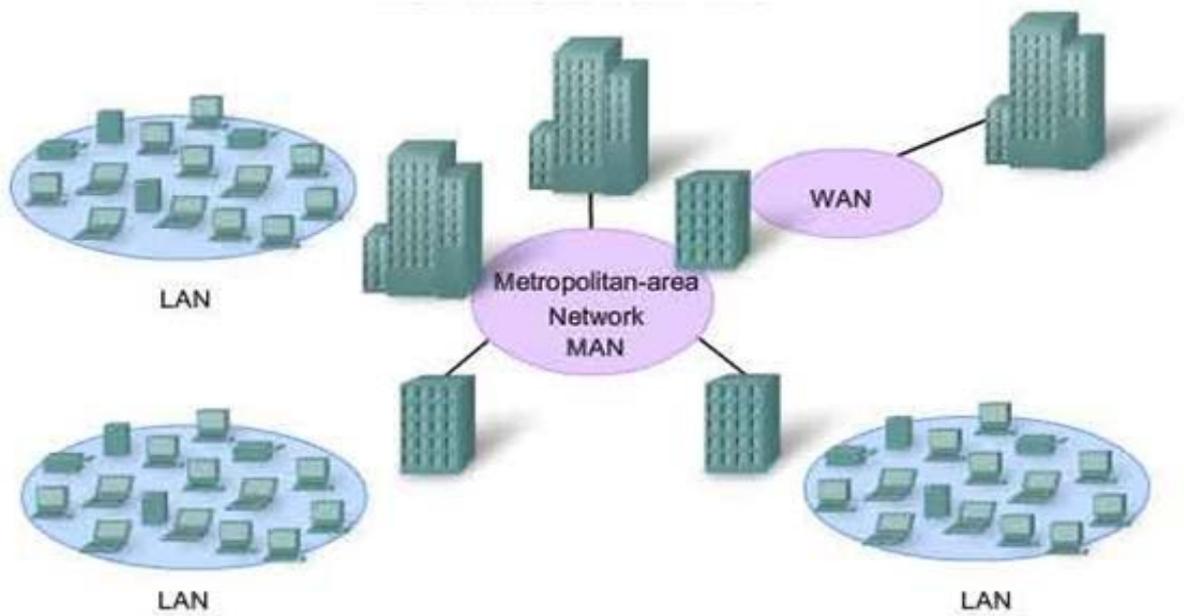


Figure I. 1: Schématisation d'architecture d'un réseau optique.

Les caractéristiques des trois types de réseau optique sont résumées dans le tableau ci-dessous [1].

	Réseau <i>LAN</i>	Réseau <i>MAN</i>	Réseau <i>WAN</i>
Nombre d'éléments	Un ensemble d'équipements, appartenant à une même société	Interconnecte plusieurs LANs	Interconnecte plusieurs LANs ou MANs
Dispersion géographique	Les machines sont situées sur un périmètre géographiquement restreint	Réseaux LANs géographiquement proches	Très grandes distances
Protocoles utilisés	Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.	FDDI, ATM, SDH, etc.	SDH, SONET, WDM, etc.

Tableau I. 1: Comparaison entre les trois types de réseau optique.

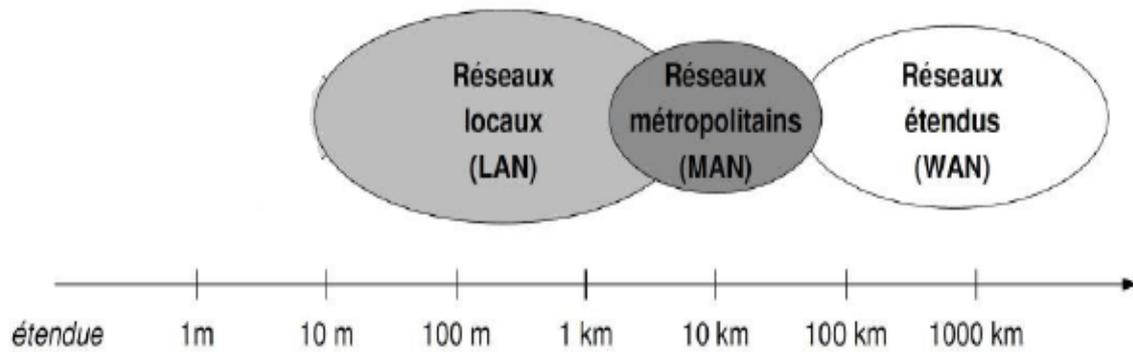


Figure I. 2: Les différents réseaux existant [2].

Nous allons donc présenter succinctement les caractéristiques de ces trois niveaux du réseau comme suivant :

I.3.1 Les réseaux longue distance WAN (Wide Area Network)

Ils sont aussi appelés réseaux WAN (Wide Area Network), qui sont généralement des réseaux avec une structure en maille ou en anneau où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexion varient entre 100 km et plus de 1000 km, couvrant des zones géographiques à l'échelle continentale. Elles sont constituées de toutes les grandes artères de transmission à travers le monde et supportent donc le commerce international. Ils utilisent en partie des liaisons à fibres ultra-élevées avec des débits transocéaniques. Comme des exemples de la taille de ces artères, on peut mentionner les liaisons transpacifiques entre le Japon et les Etats-Unis, qui atteignent une longueur de 9000 km, ou les liaisons transatlantiques entre l'Europe et les Etats-Unis sur des distances de transmission de 6000 km. Dans ces applications, les réseaux optiques sont omniprésents avec des débits de transmission allant de 2,5 à 10 Gbit/s par canal, pour atteindre une capacité totale de 640 Gbit/s.

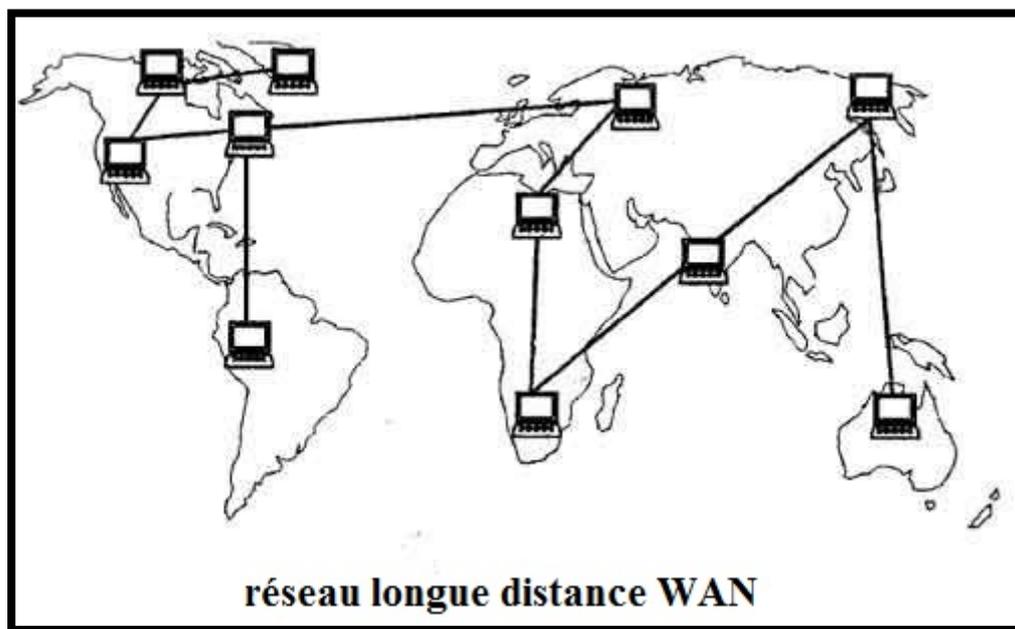


Figure I. 3: Schématisation d'architecture d'un réseau longue distance WAN

I.3.2 Les réseaux métropolitains MAN (Metropolitan Area Network)

Metropolitan Area Network (MAN), ou réseau métropolitain, est un réseau de télécommunications à large bande qui connecte plusieurs LANs géographiquement proches. Il s'agit généralement de différentes branches d'une société qui sont reliées à un MAN par des lignes louées. Des routeurs haute performance et des connexions fibre optique haute performance sont utilisés, ce qui fournit un débit de données beaucoup plus élevé que l'Internet. La vitesse de transmission entre deux nœuds distants est comparable à celle d'un réseau local. L'infrastructure de MAN est fournie par des opérateurs de réseaux internationaux. En tant que réseau métropolitain, les villes câblées peuvent être intégrées dans des réseaux étendus (WAN) et des réseaux mondiaux (GAN) au niveau international [3].

On mentionnera plusieurs applications MAN, comme suit [4] :

- Communication WAN avec les performances du LAN
- Transfert de fichiers
- Accès à un ordinateur performant
- Accès commun aux bases de données (p. ex. bibliothèques d'éléments graphiques)
- Serveur dédié (par ex. compilation, lien, serveur de calcul)
- Accès à distance aux fichiers (par ex. poste de travail en panne)
- Base de données distribuée (p. ex., dépendant d'un groupe de travail)
- Services et connexion distants :

- Transmission de la voix.
- Transmission vidéo.

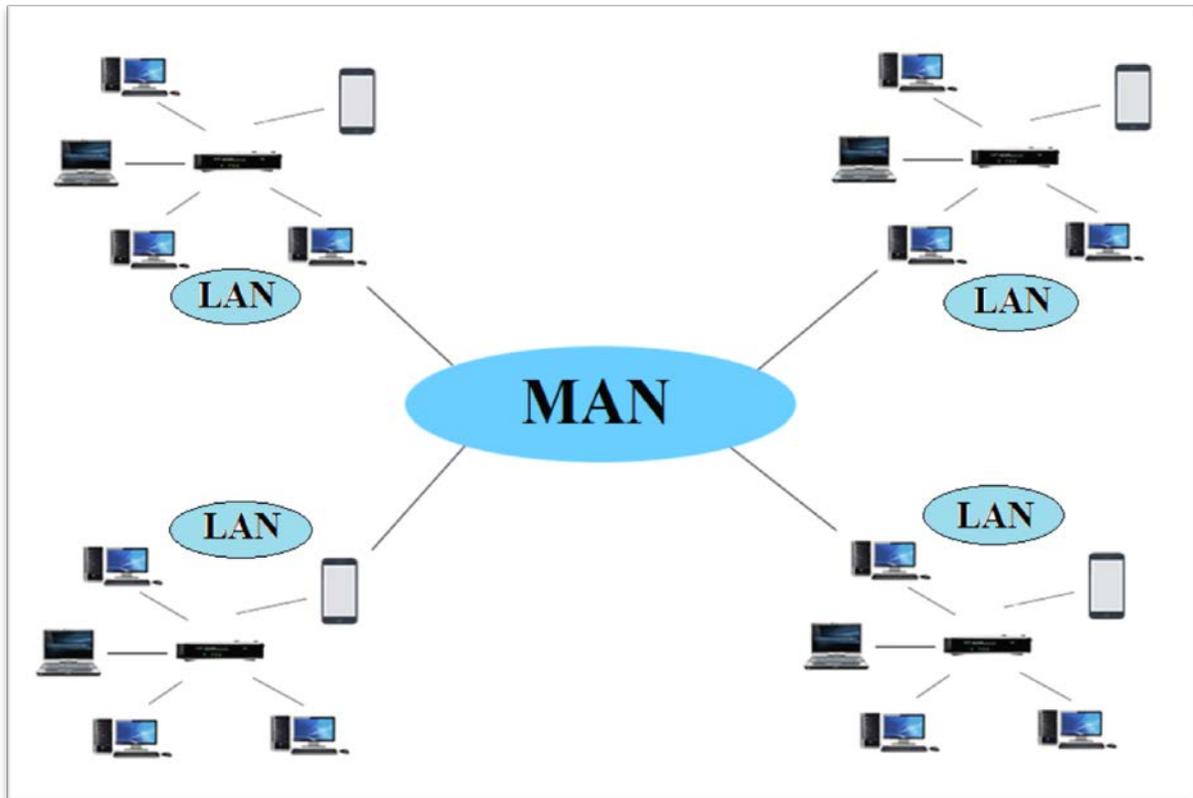


Figure I. 4: Schématisation d'architecture d'un réseau MAN

I.3.3 Les réseaux d'accès LAN (Local Area Network)

Le réseau d'accès optique couvrant des dimensions de l'ordre de courte distances, il se compose souvent d'une partie de fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

Ce réseau fournit l'accès au réseau téléphonique public pour les applications vocales, ainsi que l'accès aux applications de transfert de données (voix et vidéo) au moyen de techniques numériques.

La figure (I.5) montre l'architecture LAN.

I.3.3.2 FTTB (Fiber To The Building)

La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.

La figure (I.7) représente la structure d'un réseau FTTB.

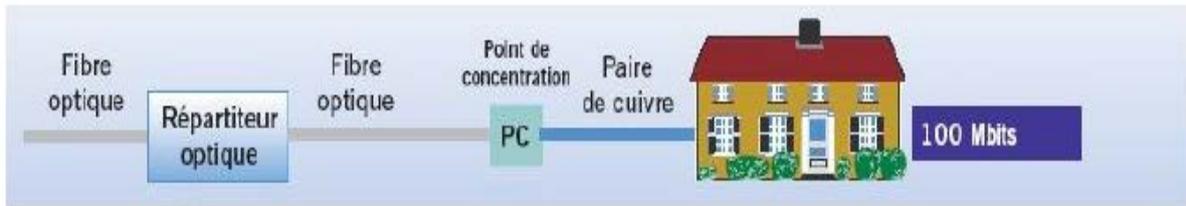


Figure I. 7: Structure d'un réseau FTTB.

I.3.3.3 FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab).

Il est envisagé, selon les cas, de réutiliser le réseau de terminaux en cuivre existant ou de mettre en place une distribution de terminaux par voie radio électrique.

La figure (I.8) représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab.

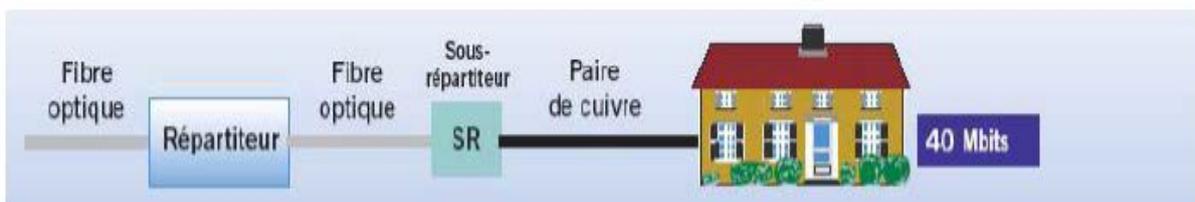


Figure I. 8: Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.

I.4 La terminologie du réseau d'accès

La structure du réseau d'accès se compose de trois parties: le central, le point d'éclatement et le client comme nous la montre la Figure I.9 ci-dessous.

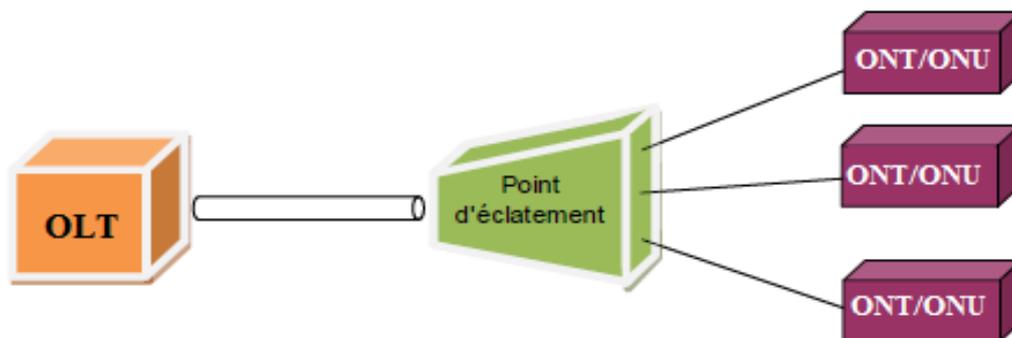


Figure I. 9: Terminologie du Réseau d'Accès.

- Le Central Optique (Central Office-CO) se compose de l'OLT (Optical Line Termination) qui est l'équipement d'émission-réception des données par des utilisateurs ou l'inverse.
- Le point d'éclatement est un composant qui divise le signal dans le sens descendant et additionne les signaux dans le sens montant.
- La partie client est la partie réceptrice des signaux descendants et émettrice des signaux montants. La partie client ONU (Optical Network Unit) permet la connexion entre plusieurs clients et suivie d'une transmission secondaire (cas des FTTCab/Curb/Building) ou ONT (Optical Network Termination) si elle est mono client FTTH.
- La partie entre l'OLT et l'ONU est appelée réseau de distribution ODN (Optical Distribution Network). Il présente de l'infrastructure passive du réseau [6].

La figure I.10 présente la Terminologie du Réseau d'Accès avec les techniques FTTx :

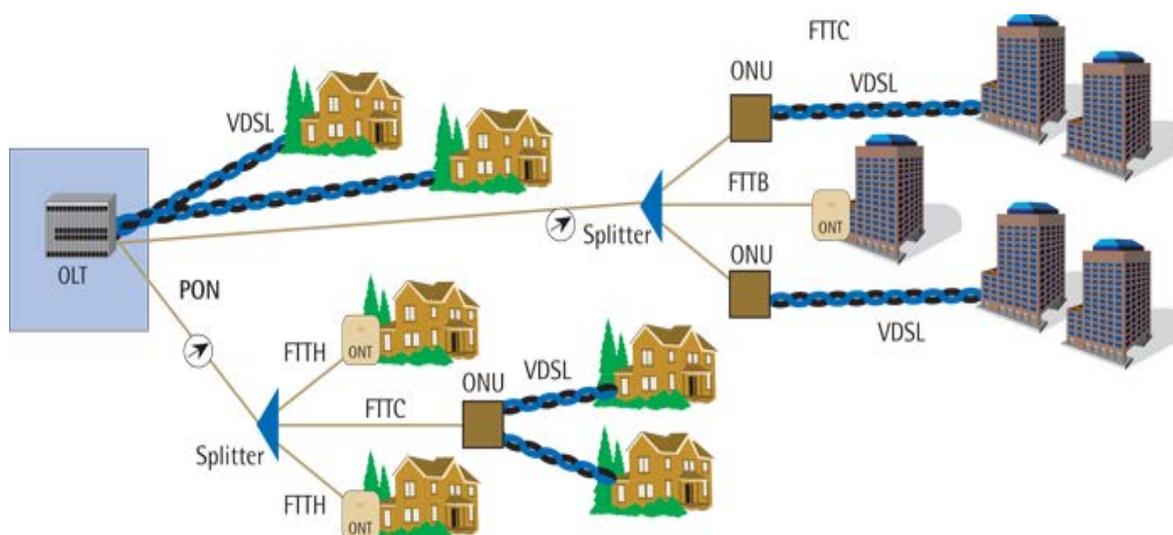


Figure I. 10: La Terminologie du Réseau d'Accès avec les techniques FTTx

I.5 Architectures de réseau d'accès optique

Les réseaux d'accès optique utilisés se présentent sous les architectures suivantes :

- L'architecture active, aussi appelée Point à Point (P2P).
- L'architecture passive est appelée point à multipoint (PON) (Passive Optical Network) ou P2M (Point To Multipoint).

I.5.1 Architecture point à point (P2P)

La topologie P2P est une architecture simple, chaque abonné possède une liaison physique par fibre optique connectée directement entre le central et le client [6], comme montre sur la Figure I.11.

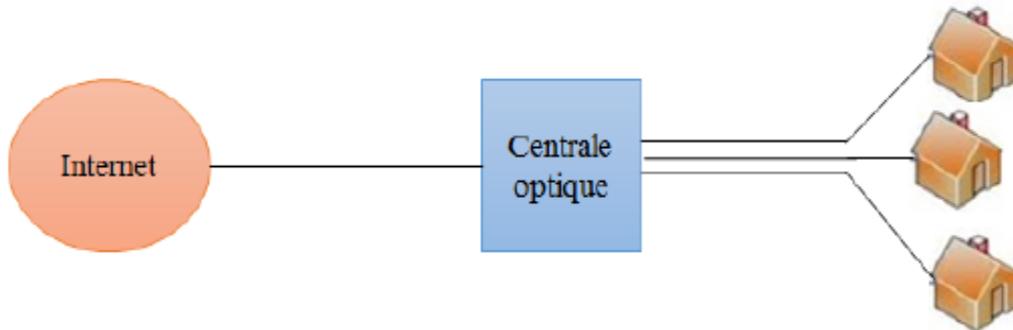


Figure I. 11: Architecture point à point (P2P).

Cette architecture point à point est plus coûteuse, car le nombre de fibres à produire et à connecter est plus élevé [6].

Les avantages

- Solution général convenable pour les clients particuliers et les entreprises.
- Le financement optique parfait car il n'y a pas d'éléments optiques entre l'OLT et l'ONT.
- La sécurité des informations est assurée car une ou deux fibres sont dédiées à chaque client.
- La gestion du réseau est très simplifiée.
- Largeur de bande illimitée.
- Plus économique dans les zones de faible densité pour les abonnés.
- Plus grande flexibilité du service.

Les inconvénients

- La gestion des fibres au niveau de la centrale.
- Pas de mutualisation de la fibre.

- Encombrement à l'intérieur du central en raison du grand nombre de transcrives.
- Pas de partage de port optique ou de l'OLT, beaucoup de fibres à étaler [5].

I.5.2 Point-à-Multipoint passif(PON)

PON (Passive Optical Network) représente un réseau d'architecture point à multipoints utilisé par tous les abonnés connectés à l'optique centrale, est caractérisé par un coupleur optique passif de 1 à N abonnés qui distribue l'énergie optique en plusieurs ports de sortie. La largeur de bande n'est pas attribuée à un seul abonné, mais chaque utilisateur est attribué à la capacité totale du système.

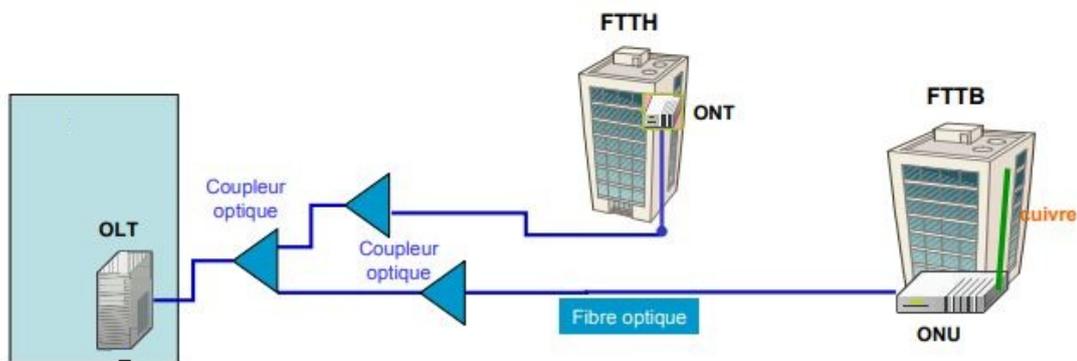


Figure I. 12: Architecture point à multipoint passif(PON).

Le réseau d'accès PON est moins coûteux quand on distribue la fibre à la maison. Les ingénieurs de recherche semblaient intéressés par cette architecture PON et surtout par son évolution future parce que c'est la solution sur laquelle les ingénieurs pourront compter à l'avenir [7].

I.5.2.1 Etude des éléments d'un réseau optique passif :

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur 3 éléments essentiels : OLT (Optical Line Terminal ou Terminaison de Ligne Optique), ONU (Optical Network Unit ou Unité de réseau optique), et l'élément passif qui est le coupleur ou (Splitter), représenté schématiquement dans la figure (figure I.13)

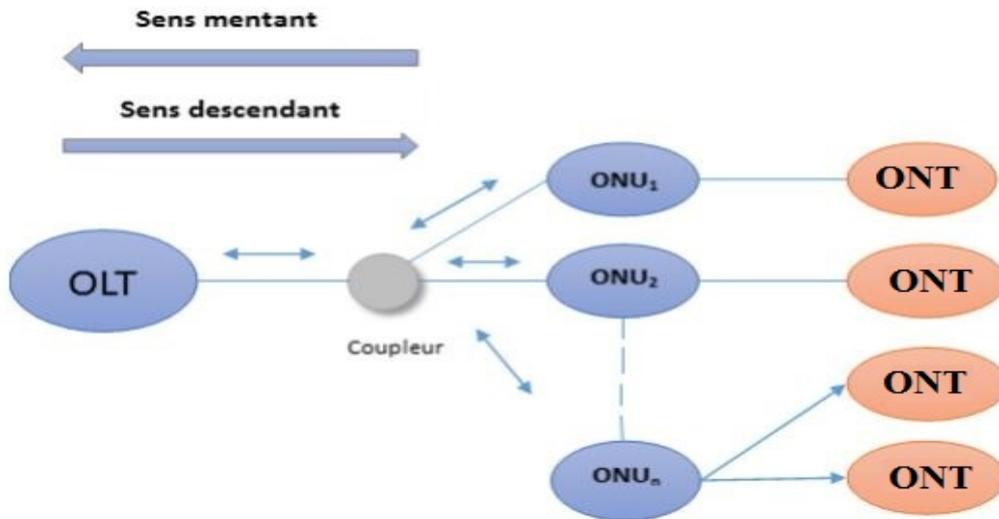


Figure I. 13: Les éléments constitutifs du PON.

I.5.2.2 Les avantages et les inconvénients d'un réseau optique passif (PON) :

Les avantages

- L'élément électronique dans le réseau d'accès est structure passive.
- Diminue les coûts en capital et les frais d'exploitation connexes.
- Les faibles coûts de maintenance de ces composants optiques passifs diminuent également le coût des mises à niveau et les coûts d'exploitation.
- Permet d'économiser sur la longueur de fibre qui sera placée, et donc sur la taille de l'infrastructure de réception.
- Architecture favorable à la diffusion.
- Flexibilité dans l'allocation de la largeur de bande.

Les inconvénients

- Aucun fonctionnement avec les autres réseaux.
- Largeur de bande commune et limitée.
- Sécurité des informations requise.
- Zone de couverture limitée : au maximum 20 km en fonction du nombre de divisions (plus de divisions = moins de distance).
- Compétences de planification difficiles pour les applications d'entreprise [5].

I.5.3 Comparaison entre les deux architectures P2P et PON

Le tableau ci-dessous donne une comparaison des deux architectures point à point et point à multipoint [5]:

Paramètre	Point à Point	PON
Gestion de chiffrement	Pas nécessaire	Requise
Gestion de la bande passante	Bande passante non partagée sur le réseau d'accès	Allocation dynamique de la bande en fonction des besoins des utilisateurs
Zone de desserte	L'habitat dispersé et pour les lignes spécialisées	Le résidentiels et pour les zones forte densité
Distance (kms)	15	20
Fibre	1 fibre par abonné de bout en bout	1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement, 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport
Energie	2 watt / abonné Dissipé	0,6 watt / abonné Dissipé
Débit garanti	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32
Débit maximum	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 2,5Gbit/s en descendant et 1Gbit/s en montant
Place occupée	1U pour 24 à 48abonnées	4U pour 512 à 2304 abonnés

Tableau I. 2: Comparaison entre P2P et PON.

I.6 Les différents standards d'un réseau PON

Au moment où la croissance du trafic Internet et des applications multimédia à haut débit augmente de façon exponentielle, comme la TVHD, la TV 3D, le format de cinéma numérique 8k-UHDTV ou même les services télé médicaux. La technologie du réseau optique passif (PON) qui est la base de FTTH, est l'un des puissants réseaux d'accès capable de fournir une bande passante de classe gigabit aux abonnés.

La figure I.14 présente l'évolution de technologie réseau optique passif PON :

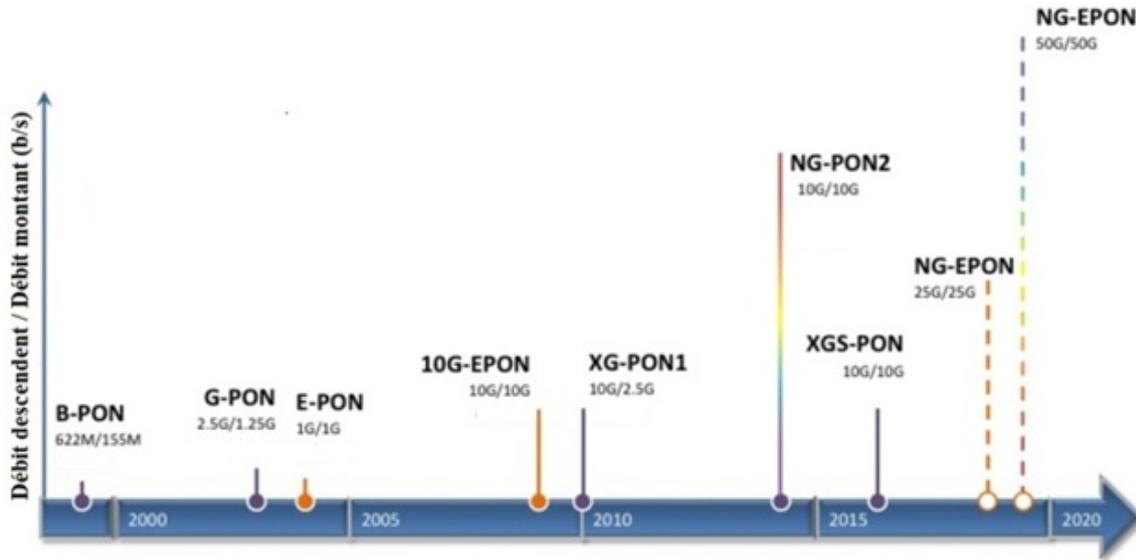


Figure I. 14: L'évolution de technologie réseau optique passif PON [8].

Le réseau PON est basé sur plusieurs normes, les plus connus sont classifiés comme suit :

I.6.1 La norme APON

Le système A-PON a été étudié pour fournir un réseau d'accès économique et universel par FSAN (Full Services Access Network), un groupe d'opérateurs et de fournisseurs multinationaux, qui est aujourd'hui une des plus grandes entreprises de télécommunications au monde [9].

Il s'agit simplement d'un système point à multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'UIT-T (l'Union internationale des télécommunications).

Avec APON, les données, la voix et la vidéo à haut débit peuvent être transmises aux abonnés sur une seule fibre optique. Un système APON peut connecter jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbit/s ou 155 Mbit/s en aval, 155 Mbit/s en amont). Dans le sens descendant, le multiplexage de cellules ATM est utilisé, tandis qu'un protocole TDMA contrôle l'accès en liaison montante des abonnés du réseau [5].

I.6.2 La norme BPON

BPON (Broad PON) est l'extension de la norme APON pour la fourniture d'autres services, tels que la diffusion Ethernet et vidéo (Diffusion vidéo). Il s'agit d'un réseau de distribution en fibre optique à large bande.

En effet, les récentes améliorations apportées à l'APON comprennent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde (WDM), d'une meilleure sécurité des données.

Pour cette évolution, l'ITU-T a officiellement changé de nom du système en PON à Large bande ou BPON.

Le BPON est actuellement utilisé dans l'un des trois modes de fonctionnement down/up :

- 155Mbits/s/155Mbits/s.
- 622Mbits/s/155Mbits/s.
- 622Mbits/s/s/622Mbits/s.

Les autres caractéristiques des réseaux BPON sont :

- Utilise le multiplexage TDMA pour le sens montant.
- Utilise le multiplexage WDMA pour le sens descendant.
- Distance OLT-ONU ne dépasse pas 20km.
- Un système BPON peut relier jusqu'à 32 abonnés au réseau PON.
- La voix et les données utilisent 1490nm et 1310nm pour le sens descendant et le sens montant respectivement.
- Pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant, la longueur d'onde 1550nm peut être utilisée.
- BPON est l'extension de l'APON avec l'intégration d'autres services tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo [10].

I.6.3 La norme EPON

Le standard EPON a été développé en novembre 2000, la norme a été rédigée par l'IEEE 802.3 en Juin 2004 [11]. Elle utilise le protocole "Multipoint Control et Protocol Ethernet" qui est une technologie de réseau local basé sur le principe que tous les utilisateurs d'un réseau Ethernet sont reliés à une même ligne de transmission et la communication se fait à l'aide d'un protocole appelé CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) ce qui signifie qu'il s'agit d'un protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse et de détection de collision. Les données sont transmises de l'OLT à l'ONU par

paquets de 1518 octets à 1,25 Gbit/s, chaque ONU ne prend en compte que les paquets qui la concernent.

Les avantages du PON Ethernet peuvent être résumés ainsi :

- Le raccordement EPON peut être facilement mise à niveau de 1Mbit/s à 155 Mbit/s.
- EPON utilise des composants optiques dans l'architecture point à multipoint qui sont plus simples et moins chers que l'électronique.
- La norme EPON permet de connecter jusqu'à 64 ONU au central par OLT sur une seule fibre optique pour un débit global élevée.
- Les protocoles ATM n'est plus nécessaire, d'où une forte économie en matériel [10].

I.6.4 La norme GPON

Le progrès de la technologie, le besoin en bande passante plus large, en plus de l'insuffisance de l'ATM, ont poussé à réviser le standard APON et à réfléchir à une autre solution appelée GPON (Gigabit PON) qui a été standardisée par l'ITU en 2003.

Le GPON est basé sur une architecture point-à-multipoint à base de multiplexage temporel. Il présente une architecture passive optique à base d'un coupleur de type de celle qui est schématisée ci-dessous. Le coupleur est achromatique pour permettre une transmission des longueurs d'ondes 1.3, 1.49 et 1.55 μm .

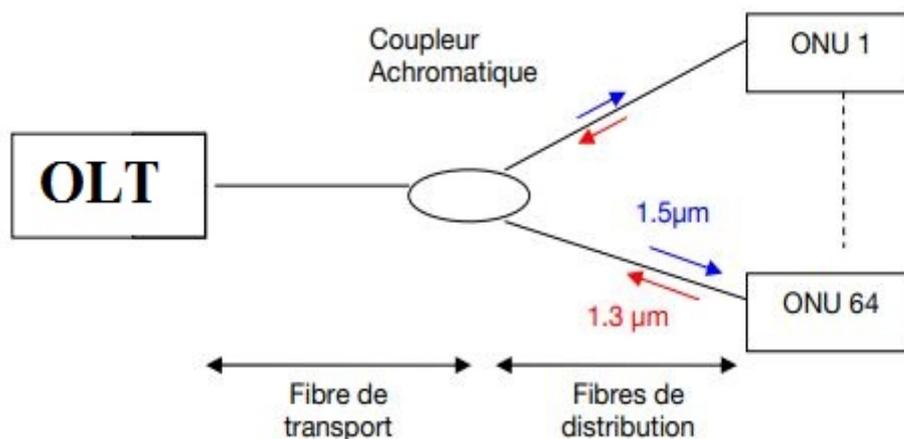


Figure I. 15: Schématisation simplifiée du GPON

Le multiplexage temporel alloue des paquets dans une trame temporelle pour chaque client. La synchronisation est quant à elle effectuée en permanence. La distance de fonctionnement de 20 km est fixée entre le central et le client le plus éloigné. Le débit va jusqu'à 2.5 Gbits/s dans le sens descendant et 1,24 Gbit/s dans le sens montant.

Sens descendant (de l'OLT vers l'ONT) :

Chaque client reçoit toutes les informations mais n'est autorisé à recevoir que les données qui lui sont destinés. La distribution des débits entre les clients peut être fixe ou variable.

Sens montant (de l'ONT vers l'OLT) :

Le partage des ressources dans le sens montant s'effectue par le TDMA (Time Division Multiple Access). Chaque client dispose d'un intervalle de temps bien précis pour émettre afin de ne pas interférer avec un autre client.

Cette technologie GPON présente des avantages et des inconvénients :

Avantages du GPON

- La structure est passive parce qu'elle est dépend sur des coupleurs optiques
- Le génie civil a été amélioré et le coût est faible
- la participation des infrastructures par les opérateurs de télécommunications
- L'architecture est propice à la diffusion
- L'OLT est partagé (un duplexeur au central pour 32 clients) [12].

Inconvénients du GPON

- Le coût optique est limité par le coupleur, ce qui est proportionnel à ses pertes avec le nombre de sorties
- Comme le débit est commun, il est donc limité
- La synchronisation est difficile pour la direction ascendante.
- La sécurité des données entrantes n'est pas idéale car tous les utilisateurs reçoivent la totalité du flux transmis par la centrale [12].

I.7 Comparaison des standards d'un réseau PON :

Le tableau ci-dessus présente les caractéristiques des différentes normes définies précédemment :

Norme	APON	BPON	EPON	GPON
Norme de recommandation	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av	G.984 (FSAN)
Protocoles	ATM	ATM	Ethernet avec accès CSMA/CD	GEM (ATM, Ethernet, TDM)
Longueur d'onde (descendant/montant)	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm
Débit descendant	155Mbit/s ou 622Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 10Gbit/s	2.5Gbit/s
Débit montant	155Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 1Gbit/s ou 10Gbit/s	1.25Gbit/s
Distance OLT/ONT	10 ou 20 Km	10 ou 20 Km	20Km	20Km

Tableau I. 3: Comparaison des standards PON.

I.6 conclusion

Ce chapitre a été consacré aux réseaux optiques, en donnant en premier lieu la définition générale et en détaillant les types des réseaux optiques. Les différentes topologies utilisées pour le déploiement des réseaux d'accès ont été présentées : point à point et point à multipoint.

Nous avons défini par la suite le réseau optique passif (PON), ses différents standards et on a conclu par une comparaison entre ces différents standards.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les caractéristiques, et les propriétés de fibres optiques plastiques (POF).

Références bibliographiques

- [1] Nassima Boudrioua, Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD, thèse de doctorant, l'Université Paul Verlaine – Metz, 2007.
- [2] Melle Billami Hanane et Bendahmane Raouida, Etude d'un réseau optique ADM 10 Gbit/s, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-BakrBelkaid-Tlemcen, 2013.
- [3] <https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/les-types-de-reseaux-informatiques-a-connaître>.
- [4] Annelore Buhmann, Metropolitan area network (MAN)-high speed LAN interconnection, Standard Elektik Lorenz AG Stuttgart, 1991.
- [5] Louazani Marwa et Meddane Samira, Eude des reseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-BakrBelkaid-Tlemcen, juin 2017.
- [6] Fabia Raharimanitra, Contribution à l'étude des architectures basees sur le multiplexage en temps et en longueur d'onde dans le réseau d'accès, permettant la migration vers la nouvelle génération de PON (NG-PON) à 10 GBIT/S, thèse de doctorant, Université de Bretagne-Sud, janvier 2012.
- [7] Sarah Benameur, La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission optique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable, thèse de doctorant, l'Universite de Sidi Bel-Abbes, 2015.
- [8] Jun Shan Wey et Junwen Zhang, Passive optical networks for 5G evolution, Article, Etats Unis, 2018.
- [9] Maeda, Y. (n.d.). ATM-PON FTTH access networks and services. OFC/IOOC . Technical Digest. Optical Fiber Communication Conference, 1999.
- [10] Hichem Mrabet « Cours Réseau d'accès optique » Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis, 2010-2011.
- [11] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/ffraux_FTTH/epon.html
- [12] Abdoulaye Halidou Bachirou et Kante Souleymane, Etude et planification du réseau FTTH pour les transmissions optiques à haut débit, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Djilali BounaamaKhemis Miliana, 2018.

Chapitre II

Présentation générale des caractéristiques des Fibres Optiques Plastiques (FOP)

II.1 Introduction

On assiste ces dernières années à une forte croissance de la demande des fibres optiques dans un environnement local comme par exemple dans un véhicule, et dans les réseaux locaux LAN (Local Area Network). La technologie des fibres optiques plastiques POF (Polymer Optical Fiber) répond bien à ces besoins particulièrement pour des raisons de bas coût, et de facilité de manipulation.

Dans ce chapitre nous allons étudier les principales caractéristiques et propriétés des fibres optiques plastiques, ainsi que leurs avantages, et enfin quelques concepts essentiels concernant leur utilisation dans les télécommunications optiques courtes distances.

II.2 La fibre optique

La fibre optique est un support de transmission permettant la propagation des signaux lumineux par réflexions totales à l'intérieur du cœur dans le cadre de l'optique géométrique.

II.3 Propagation de la lumière dans la fibre optique

L'énergie lumineuse est véhiculée dans le cœur d'indice $n_{\text{cœur}}$ entouré par la gaine dont l'indice de réfraction est n_{gaine} tel que $n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$.

La propagation des rayons lumineux dans le cœur de la fibre implique une condition sur l'inclinaison du rayon incident, donc sur l'angle d'incidence. L'angle d'incidence critique ou angle d'acceptance, est l'angle au-delà duquel le rayon n'est plus transmis dans la fibre [1].

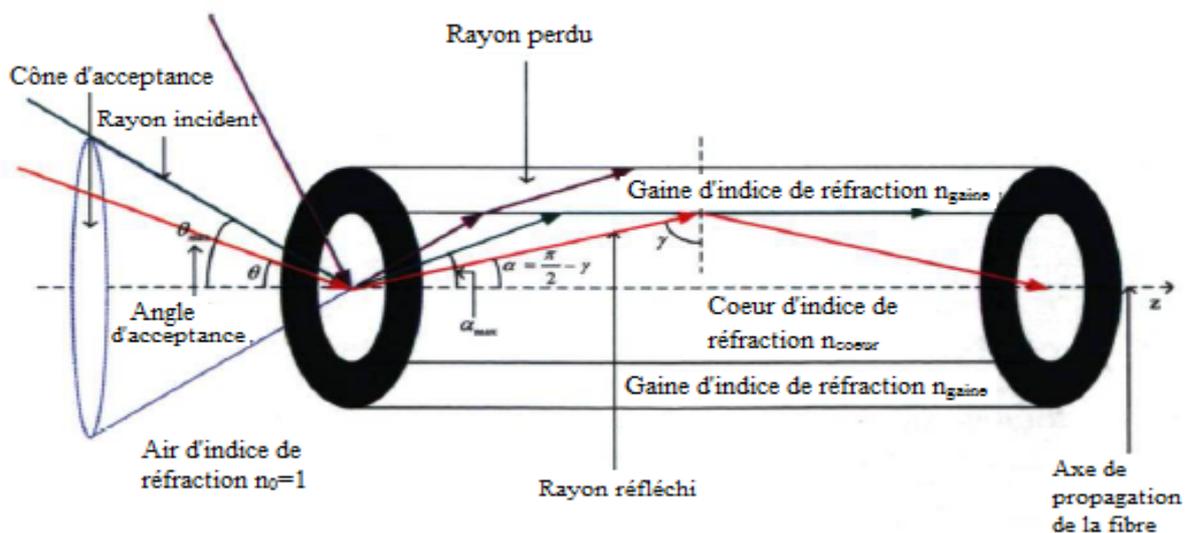


Figure II. 1: Principe de la propagation de la lumière dans une fibre à saut d'indice.

Supposons qu'un rayon lumineux arrivant de l'air d'indice de réfraction $n_0 = 1$ et pénètre dans la fibre. On veut trouver l'angle limite de réflexion totale interne. Soit θ_{max} l'angle d'incidence critique par rapport à la normale à la surface (voir figure II.1). En appliquant les lois de Snell-Descartes à l'interface air-cœur, on a :

$$n_0 \sin \theta_{max} = n_{coeur} \sin \alpha_{max} \quad (II.1)$$

$$= n_{coeur} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{max} \right) \quad (II.2)$$

γ_{max} est l'angle critique à l'intérieure de la fibre.

$$= n_{coeur} \cos \gamma_{max} \quad (II.3)$$

$$= n_{coeur} \sqrt{1 - \sin^2 \gamma_{max}} \quad (II.4)$$

Comme :

$$\sin \gamma_{max} = n_{gaine} / n_{coeur} \quad (II.5)$$

On alors :

$$n_0 \sin \theta_{max} = n_{coeur} \sqrt{1 - (n_{gaine} / n_{coeur})^2} \quad (II.6)$$

$$= \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (II.7)$$

Comme n_0 est égal à 1, il s'ensuit que :

$$\sin \theta_{max} = \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (II.8)$$

Tout rayon lumineux arrivant sur la face d'entrée de la fibre avec un angle inférieur à θ_{max} défini par l'équation (II.8), va se propager en zigzag jusqu'à l'autre extrémité de la fibre par réflexions totales internes successives. Si l'angle du rayon à l'entrée de la fibre est supérieur à l'angle d'incidence critique alors le rayon est réfracté dans la gaine.

On appelle cône d'acceptance, le cône de demi-angle au sommet θ_{max} . D'après l'équation (II.5), l'angle critique γ_{max} est donné par :

$$\gamma_{max} = \arcsin \left(\frac{n_{gaine}}{n_{coeur}} \right) \quad (II.9)$$

$$= \frac{\pi}{2} - \alpha_{max} \quad (II.10)$$

II.4 Structure de la fibre optique

La fibre optique est constituée de 3 parties : le cœur, la gaine, et le revêtement de protection.

- **Le Cœur** : est le canal de transmission de la lumière.
- **La Gaine** : est une couche qui entoure le cœur, elle permet de conserver les pertes des rayons lumineux.
- **Revêtement de protection** : est une couche généralement composé en plastique, qui couvre le cœur et la gaine. Il permet d'assurer la protection de la forme et la courbure de fibre [2].

La figure (II. 2) montre la structure d'une fibre optique.

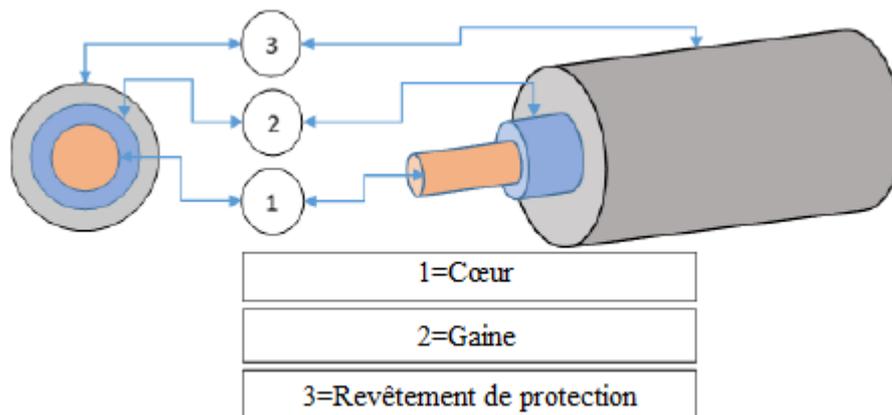


Figure II. 2: Structure d'une fibre optique.

II.5 Couplages de modes

L'angle d'injection de la lumière dans une fibre caractérise le mode, on s'attend donc à retrouver à l'autre extrémité de la fibre ce mode injecté. Ceci est vrai dans le cas d'une fibre idéale. En pratique, la fibre présente un certain nombre de défauts qui font qu'il se produit un mélange entre les divers angles de propagation.

Le couplage de modes produit un nouvel angle (figure II.3):

Les microcourbures : Elles apparaissent lors de la fabrication des câbles lorsque des contraintes mécaniques provoquent des microdéformations de la fibre, ce qui entraîne des pertes de lumière. Ces pertes augmentent très vite lorsque le diamètre de la fibre diminue.

La diffusion : Des défauts dans le cœur agissent comme centre de diffusion et vont transformer un mode en plusieurs autres modes qui vont être réémis à la même longueur d'onde, mais dans des directions différentes [1].

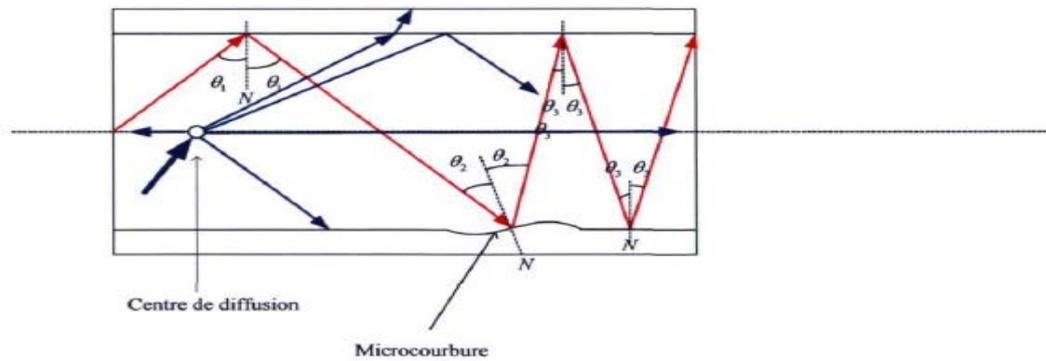


Figure II. 3: Couplage de modes par un centre de diffusion et une microcourbure.

II.6 Pertes de couplage

Lorsqu'une fibre est intégrée dans un dispositif, elle est associée à d'autres composants. Pour évoquer la jonction entre ces composants et la fibre on parle de couplage. Au niveau de ces jonctions on peut citer des différents défauts tel qu'un mauvais alignement, une différence de diamètre, une différence d'ouverture numérique ou encore un mauvais état de surface de la face d'entrée (ou de sortie) de la fibre, peuvent engendrer des pertes comme le montre la figure (II.4) [3].

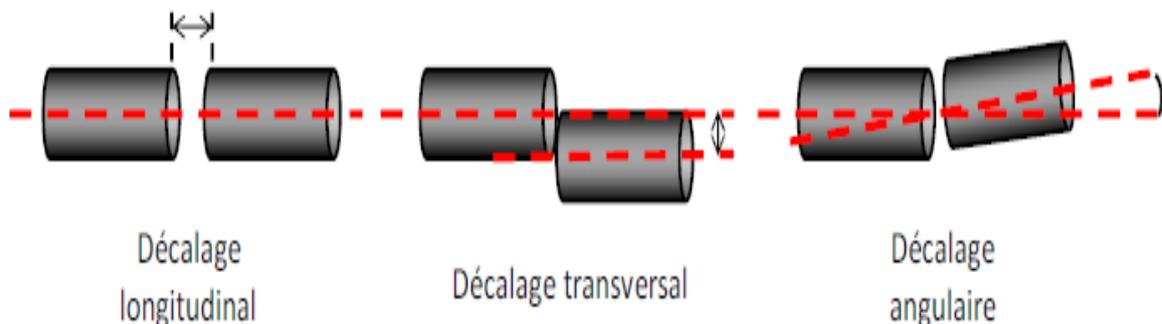


Figure II. 4: Exemples de mauvais alignements.

II.7 Les différents types de fibres FOP

II.7.1 Fibres FOP à saut d'indice (SI-FOP)

La transmission de la lumière à saut d'indice se propage par différents chemins d'un milieu à l'autre dans des temps différents.

La longueur d'onde de la fibre optique plastique à saut d'indice (SI-FOP) est visible. La courbe d'atténuation de la fibre FOP est représentée sur la figure (II.5).

On observe sur le graphe les différentes courbes d'atténuation aux longueurs d'onde Bleue, verte, jaune et rouge. L'atténuation à ces longueurs d'onde est respectivement de : 100 à 150 dB/Km. Pour un réseau domestique câblé de l'ordre de 50 mètres, les pertes par atténuation sont de l'ordre de 5 à 7,5 dB/Km [4].

II.7.2 Fibres FOP à gradient d'indice (GI-FOP)

La fibre optique plastique à gradient d'indice (GI-FOP) se compose de différents matériaux comme par exemple le polymère PMMA.

La fibre à gradient d'indice est représentée sur le graphe de la figure (II.5). On observe que la courbe de fibre optique plastique à gradient d'indice est supérieure par rapport la courbe de fibre optique plastique à saut d'indice [4].

II.7.3 Fibres FOP multi-cœurs à saut d'indice (MC-FOP)

Dans le projet européen POF – PLUS, un partenaire du projet a fourni une fibre PMMA multi-cœur. Cette fibre est composée de 19 cœurs disposés sur un diamètre équivalent (~ 1 mm) à celui des deux précédentes fibres étudiées. Ses performances en termes de pertes par courbure sont particulièrement intéressantes pour une application domestique. Cependant, là encore, aucun composant passif conçu pour cette technologie de fibre n'existe sur le marché.

La courbe d'atténuation de cette fibre (MC-PMMA) apparaît également sur le graphique de la figure (II.5). Elle est similaire à celle de la fibre à saut d'indice. Le faible écart entre les deux courbes d'atténuation des fibres SI- et MC-PMMA peut s'expliquer par des pertes supplémentaires induites par les interstices entre chaque cœur.

Le tableau (II.1) montre l'atténuation de 50 mètres de fibre FOP [4].

Longueur d'onde (nm)		470	520	590	650
Couleur		Bleu	Vert	Jaune	Rouge
Atténuation (dB/50m)	SI-PMMA	7,5	5	5,5	7,5
	GI-PMMA	> 20	26,5	16	14
	MC-PMMA	9	6	6,5	8,5

Tableau II. 1: Atténuation de 50 mètres de fibre FOP

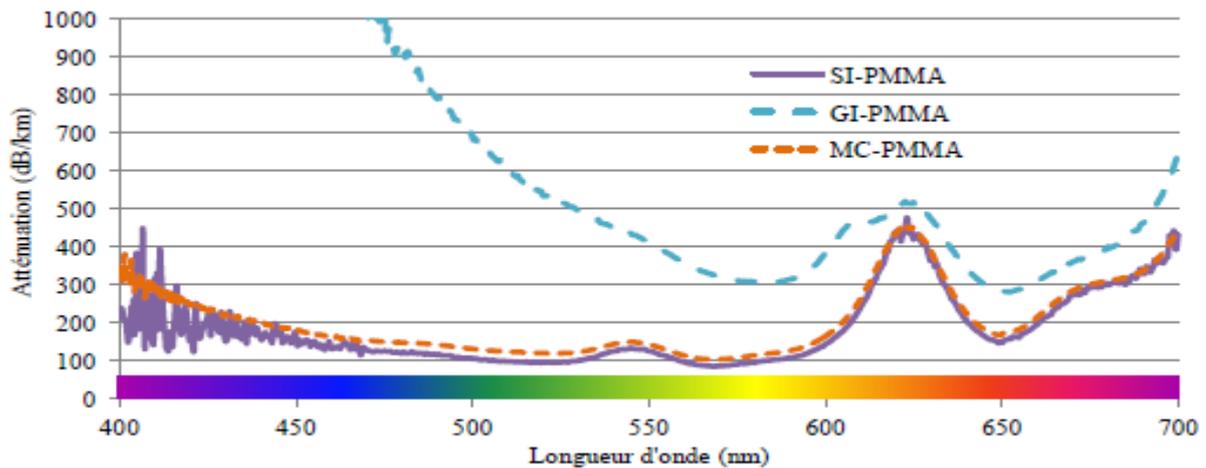


Figure II. 5: Atténuation des fibres FOP

II.7.4 Fibres FOP à saut d'indice et à faible ouverture numérique (LOW-NA POF)

Lorsqu'il s'est avéré nécessaire de remplacer les câbles en cuivre par des fibres optiques en polymère pour réaliser la transmission de débits de données en ATM (Asynchronous Transfer Mode) de 155 Mbit/s sur une distance de 50 m, une bande passante plus élevée était nécessaire pour le FOP. Au milieu des années 1990, trois fabricants importants ont développé ce qu'on appelle la FOP à faible ouverture numérique.

La première fibre optique plastique à saut d'indice et à faible ouverture numérique (LOW-NA POF) a été présentée en 1995 par Mitsubishi Rayon. La figure (II.6) montre la structure de la FOP. La différence d'indice de réfraction est d'environ 2%. Généralement le matériau de gaine a une composition modifiée de celui du cœur [5].

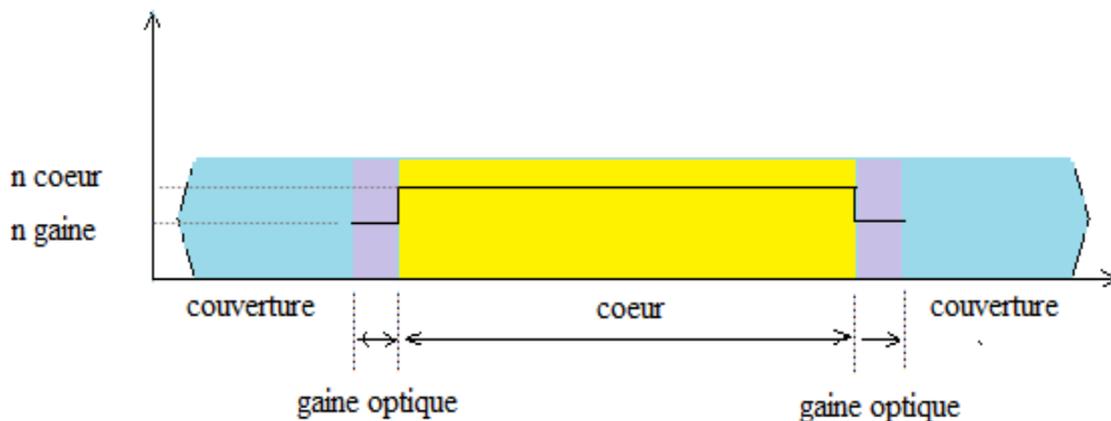


Figure II. 6: Structure d'une fibre FOP à saut d'indice et à faible ouverture numérique.

II.7.5 Fibres FOP à double sauts d'indice (DSI-POF)

La Fibre optique plastique à double sauts d'indice (DSI-POF) se compose de deux gaines autour du cœur. Chacune d'elles avec un indice de réfraction décroissant (Figure. II.7). Dans le cas de liaisons installées en ligne droite, le guidage de la lumière s'effectue

essentiellement par réflexions totales à l'interface entre le cœur et la gaine intérieure. Cette différence d'indice donne une ouverture numérique d'environ 0,30 qui est similaire à la FOP à faible ouverture numérique.

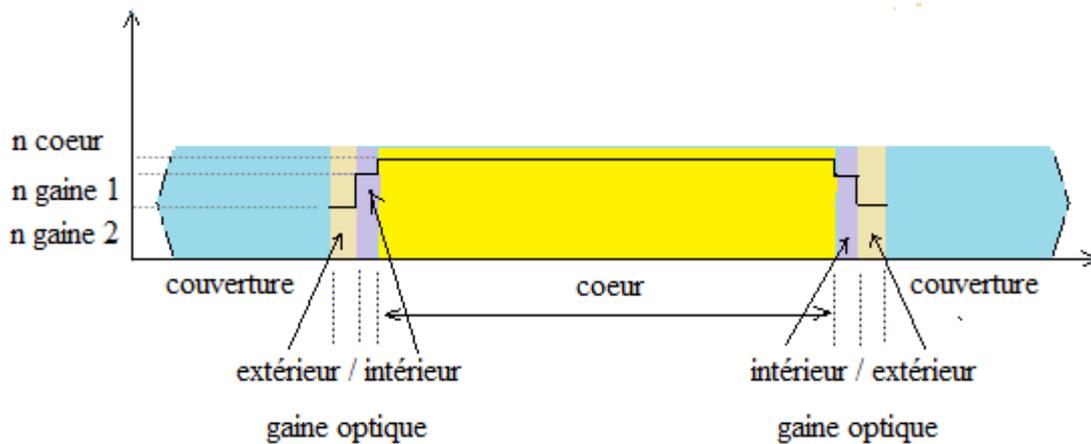


Figure II. 7: La structure d'une fibre à double sauts d'indice (DSI-POF).

Lorsque les fibres sont pliées, une partie de la lumière réfléchiée est découplée vers l'arrière en direction du cœur à la deuxième interface entre la gaine intérieure et la gaine extérieure. Cette lumière peut à nouveau être redirigée de manière à entrer dans la plage d'acceptation de la gaine intérieure. L'atténuation dans la gaine intérieure est nettement plus élevée que celle du cœur, La lumière qui se propage sur de longues distances à l'intérieur de la gaine intérieure sera tellement atténuée qu'elle ne contribuera plus à la propagation des impulsions. Sur des liaisons plus courtes, la lumière peut se propager à travers la gaine intérieure sans provoquer une trop grande dispersion [5].

II.8 Atténuation dans les fibres FOP

Dans une fibre optique la puissance diminue exponentiellement avec la distance z , comme indiqué dans l'expression suivante [6] :

$$P(Z) = P(0) 10^{-\alpha Z/10} \quad (\text{II.11})$$

Où $P(0)$ est la puissance optique du signal incident et $P(Z)$ la puissance du signal récupérée à l'autre extrémité.

La valeur de α est appelée le coefficient d'atténuation de la fibre optique, et il est exprimé par la valeur de l'atténuation en fonction de la longueur de la fibre, L'expression de l'atténuation est donnée par :

$$\alpha = -\frac{1}{z} 10 \cdot \log \frac{P(Z)}{P(0)} \text{ dB/Km} \quad (\text{II.12})$$

La figure (II.8) montre l'atténuation spectrale de deux matériaux différents utilisés pour la POF [7].

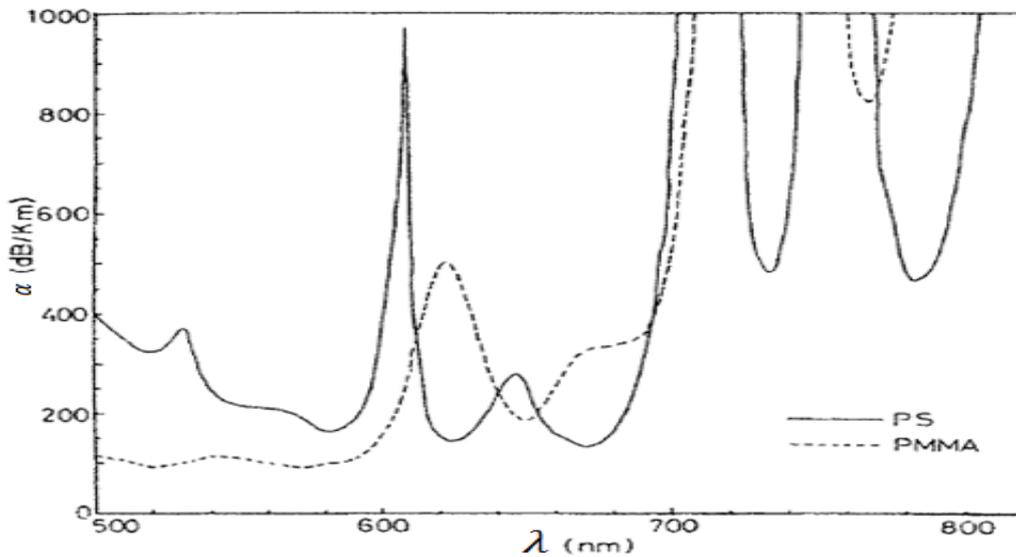


Figure II. 8: Atténuations pour les FOP de base PMMA et PS [7].

La figure (II.9) représente les caractéristiques spectrales pour la POF en PMMA de diamètre 1000 μm .

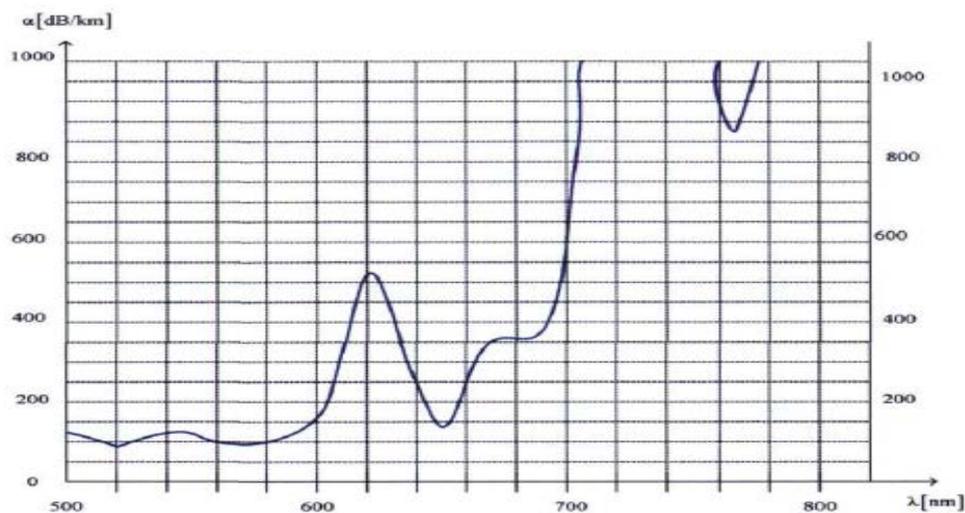


Figure II. 9: Caractéristiques spectrales de la FOP en PMMA de diamètre 1000 μm [1]

Le graphique de la figure (II.10) présente une comparaison entre les différentes atténuations des fibres multimodes éligibles pour le RLD.

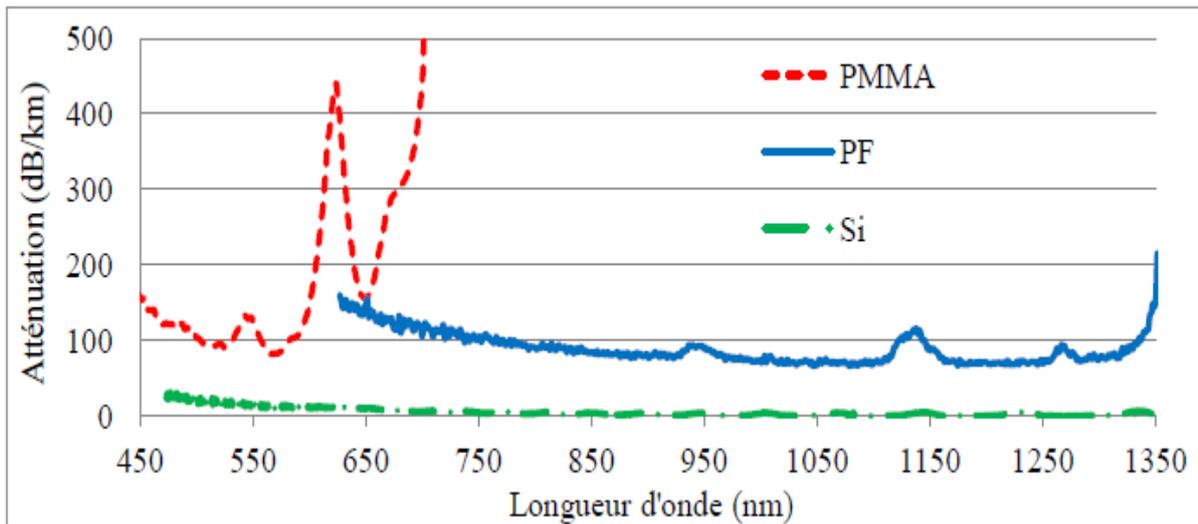


Figure II. 10: Atténuation des fibres multimodes.

D'après la figure (II. 10) on observe que la fibre multimode silice a les meilleures performances sur toutes les plages de longueurs d'onde par rapport aux deux autres fibres plastiques. Celles-ci ont néanmoins l'avantage d'être plus facilement manipulables et d'entraîner moins de contraintes sur l'alignement des fibres.

Actuellement, même si l'affaiblissement de la fibre demeure un paramètre important à prendre en compte, la bande passante devient aussi une caractéristique principale limitant et conditionnant le support des nouvelles applications. Sur ces solutions de fibre multimode, proposées pour le RLD [4].

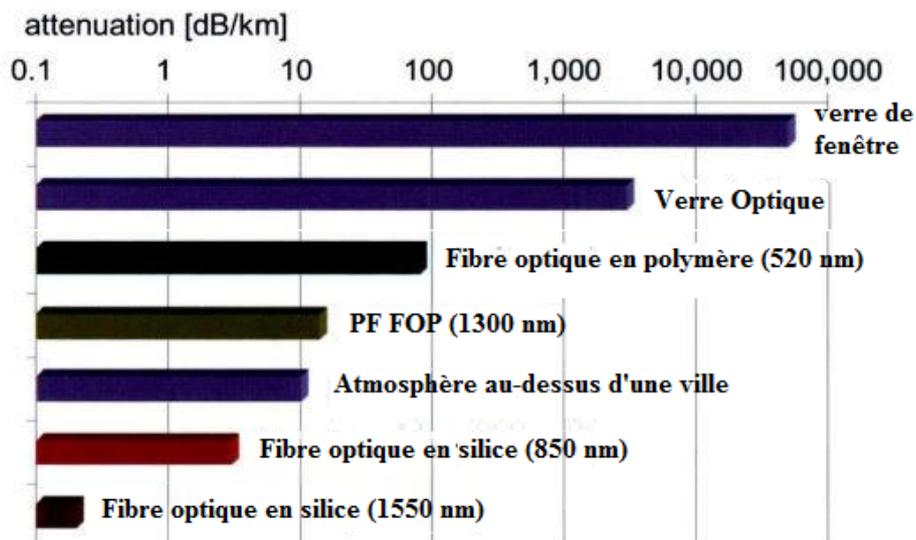


Figure II. 11: Comparaison de l'atténuation pour différents milieux de propagation [8]

La figure II.11 représente la comparaison de l'atténuation pour différents milieux de propagation.

II.9 Dispersion dans les fibres FOP

La dispersion réfère à tous les processus aboutissant à une différence du temps de propagation des différents modes. Elle entraîne une réduction de l'amplitude de modulation des hautes fréquences et un étalement temporel de l'impulsion. Plus on peut injecter d'impulsions lumineuses par unité de temps, plus la capacité de transmission de la fibre est grande.

Pour que l'information soit bien transmise, deux impulsions successives distinctes à l'entrée de la fibre doivent être également distinctes à la sortie. Cependant, dans la pratique il se produit dans la fibre un élargissement des impulsions appelée dispersion temporelle et deux impulsions distinctes à l'entrée de la fibre peuvent être mélangées à la sortie. En effet, lorsque l'on envoie une impulsion lumineuse infiniment étroite (Dirac) dans la fibre optique, celle-ci excite tous les modes de propagation de la fibre. À la sortie de la fibre, on constate alors un élargissement de l'impulsion dans le domaine temporel (c'est le phénomène de dispersion intermodale). Si le délai séparant deux impulsions est trop bref, les signaux se recouvrent en sortie. Cela a pour conséquence l'interférence entre symboles (ISI). L'élargissement des impulsions oblige donc à augmenter le temps entre deux impulsions successives, ce qui a deux formes de dispersion qui sont la dispersion modale ou intermodale et la dispersion chromatique dont la dispersion des guides d'onde et la dispersion du matériau [1].

La figure II.12 montre dispersion temporelle dans la FOP.

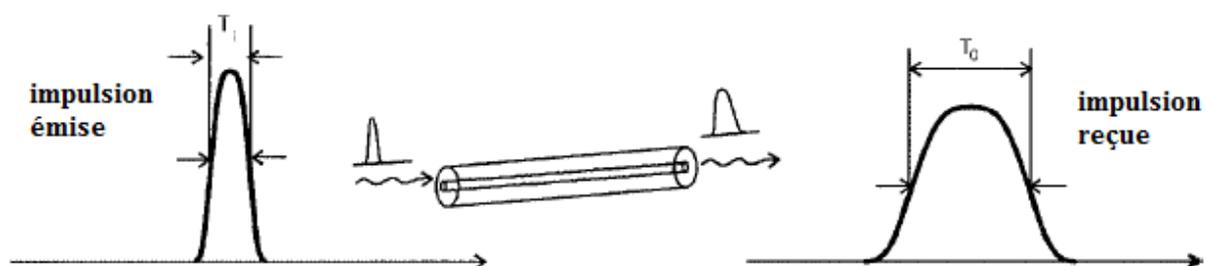


Figure II. 12: Dispersion temporelle dans la FOP [6]

II.9.1 La dispersion intermodale (ou modale)

La dispersion intermodale ou modale est la principale cause de dispersion dans les fibres multimodes. Elle limite la distance de propagation et le débit avec lequel on peut transmettre l'information. Inhérente aux fibres multimodes, elle n'existe pas dans les fibres

monomodes. La dispersion modale provient de la différence de temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus [9].

Elle est due à la différence de temps des trajets du rayon axial (mode rapide) et du rayon réfléchi critique (mode lent) comme le montre la figure (II.13).

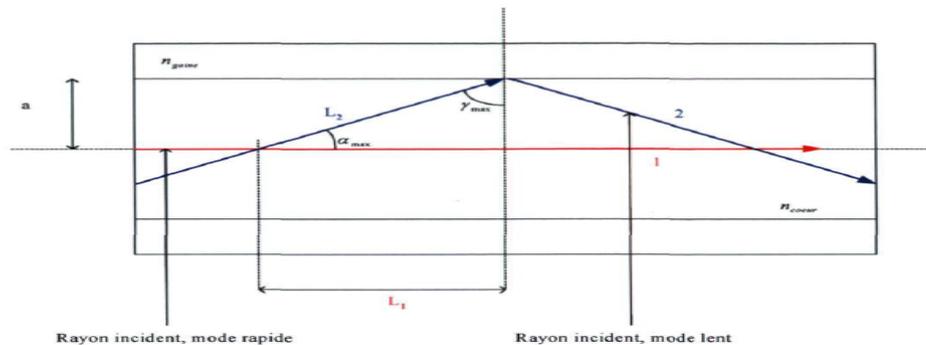


Figure II. 13: Dispersion intermodale propagation d'un mode rapide et d'un mode lent.

II.9.2 La dispersion chromatique

Chaque impulsion de lumière contient un nombre fini de longueurs d'onde qui se propagent de façon différente. La dispersion chromatique (CD) caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale et traduit la différence de vitesse de groupe. La dispersion chromatique est due aux retards de propagation pour les différentes composantes spectrales du signal.

Elle résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre la matériau, et la dispersion de guide, liée à la forme du profil d'indice.

II.9.2.1 Dispersion des guides d'onde

Pour les fibres monomodes, elle est due au fait qu'une partie de la lumière pénètre dans la gaine avec des angles et une profondeur différents. Elle est causée par la différence d'indice relative qui dépend aussi de la longueur d'onde.

Dans les fibres multimodes, seule une petite portion des modes élevés pénètre dans la gaine. De ce fait, l'effet de la dispersion des guides d'onde y est négligeable et n'est pas considérée dans les fibres multimodes à saut d'indice [10].

II.9.2.2 Dispersion du matériau

Une impulsion lumineuse issue de source optique est composée de plusieurs longueurs d'onde, L'indice de réfraction des fibres est différent selon la longueur d'onde de la lumière et chaque longueur d'onde se propage dans la fibre à une vitesse spécifique. La dispersion du

matériau varie donc selon la longueur d'onde d'utilisation. Elle est faible et souvent négligeable devant la dispersion modale [10].

II.10 Bande passante dans les fibres POF

La bande passante est décrite comme la bande de fréquences d'un système à l'intérieur de laquelle la transmission des signaux peut être réalisée avec une atténuation raisonnable. Dans les systèmes de FOP, Le facteur est généralement limité par la largeur de bande de la fibre créé par la dispersion modale, on peut décrire le SI-POF comme étant très proche d'un filtre passe-bas gaussien, nous utiliserons la définition suivante de la bande passante. La fréquence à laquelle l'amplitude d'un monochromatique modulé sinusoïdal a été réduit à 2 du niveau optique, La figure (II.14) illustre schématiquement cette définition.

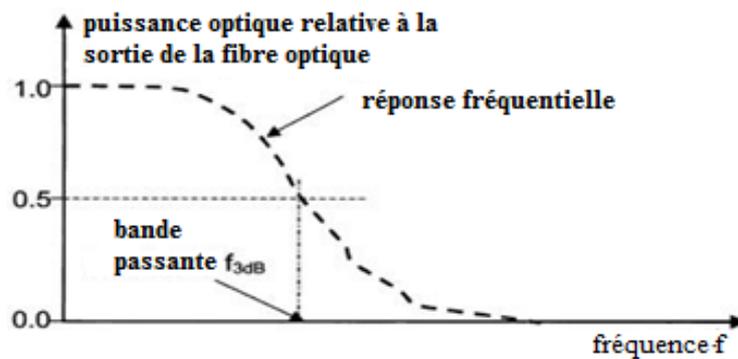


Figure II. 14: La bande passante de la FOP.

Néanmoins, la connaissance de la largeur de bande seule n'est pas suffisante pour estimer la capacité réelle de la liaison complète. Pour déterminer ce paramètre, il est en outre nécessaire de connaître la procédure de transmission actuelle ainsi que la fonction de transmission complète. Par exemple, il est possible de transmettre des signaux d'une largeur de bande sensiblement plus large si une compensation électrique de la réponse en fréquence a lieu, comme il montré schématiquement à la figure (II.15).

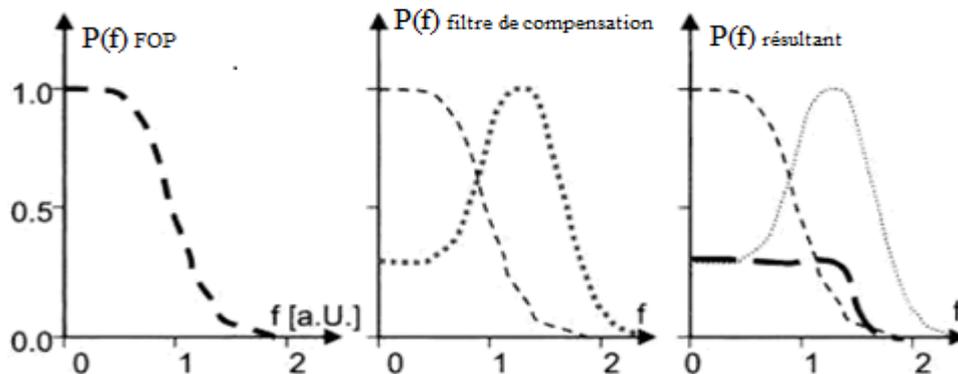


Figure II. 15: Compensation de la caractéristique de filtre passe-bas en FOP.

Un filtre passe-haut est utilisé pour la compensation dans le cas des basses fréquences. Le signal est atténué, dans le cas des hautes fréquences signal sont transmis sans atténuation. La fonction résultante a une largeur de bande nettement plus élevée, cependant, en raison du niveau global d'atténuation existant, un niveau de signal plus élevé est nécessaire [8].

II.11 Avantages et inconvénients des Fibres Optiques Plastiques (FOP)

II.11.1 Les avantages

On peut citer quelques avantages de FOP comme suivant:

- La fibre plastique a un cout moins élevé que la fibre en silice 0,1-1 €/mètre.
- Les émetteurs et récepteurs ont besoin de moins d'énergie par rapport aux émetteurs récepteurs en cuivre.
- L'installation de système utilise des équipements plus simples et moins couteux.
- Facile à raccorder et à manipuler (le diamètre de fibre en plastique est de 1mm tandis que la fibre de verre il est de 8 à 100 μm).
- FOP sont plus léger.
- Une plus grande flexibilité, résistance à la flexion et aux vibrations.
- Immunité aux interférences électromagnétiques.
- Insensible aux parasites [11].

II.11.2 Les inconvénients

- Pertes élevées pendant la transmission.
- Les fournisseurs de FOP sont limités dans le monde entier.
- Absence de norme et manque de certification dans le part des Installations.
- Manque de fibres à haute température (125°C).
- Difficultés de raccordement aussi bien entre deux fibres qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception. En laboratoire, on peut réaliser des connexions

pour lesquelles les pertes sont inférieures à 0,2 dB. Sur le terrain, il faut faire appel à des connecteurs amovibles, qui demandent un ajustement précis et occasionnent des pertes supérieures à 1dB.

- La durée de vie d'une fibre a environ 20 ans [11].

II.12 Comparaison des caractéristiques des FOP avec les fibres en silice

Il est intéressant de faire une comparaison des caractéristiques des FOP avec celles des fibres en silice. Le tableau II.2 ci-dessous dresse une comparaison des caractéristiques essentielles de ces deux types de fibres optiques [12].

Caractéristiques	Fibre optique plastique FOP	Fibre optique de verre GOF
Ouverture numérique	Fort 0.4	Faible [0.1 0.2]
Matériel	Plastique, e : PMMA	Verre
Diamètre de cœur	1mm	0.062 mm
Atténuation	200 dB/Km (à 650 nm)	2.9 dB/Km (à 850 nm)
Longueur de fibre à 100 Mbps	100 mètres	2 Km
Bande passante	Environ 10MHz*Km	200 MHz*Km
Longueur d'onde de fonctionnement	Bande de visible	Bande d'infrarouge
flexibilité	Flexible	Fragile
Connectivité	Facile à connecter, nécessite peu de formation et d'outils	Prend plus de temps, nécessite des Formation et outils spéciaux
Coût des composants et matériel d'essai	Faible	Coûteux

Tableau II. 2 : Comparaison des caractéristiques des FOP avec les fibres en silice

II.13 Applications des FOP

La fibre optique plastique POF a des applications dans de nombreux domaines.

II.13.1 Dans le domaine de multimédia et télécoms

La fibre plastique a l'avantage de légèreté, moins couteuse, plus simple à l'installation et en plus est insensible aux bruits électromagnétiques [13].

II.13.2 Applications dans l'automobile

La première fois que la fibre optique plastique prenait sa place dans le milieu de l'automobile, était en 1998 pour des véhicules luxueux tels que Mercedes-Benz puis jaguar et Peugeot via le réseau D2B.

En 2001 la plupart des concessionnaires adoptent cette technologie, principalement dans les véhicules haut de gamme comme l'entreprise MOTOROLA qui a commencé par équiper les BMW. L'industrie automobile a installé les premiers réseaux MOST 25 avec un débit de 25 Mb/seconde, puis le réseau MOST 50 de débit 50 Mb/seconde en même temps l'IDB-1394 qui est le standard 1394 de l'association américaine IEEE. Ce standard a plusieurs amendements depuis 2008 avec la version «1394-2008 – IEEE Standard for a High Performance Serial Bus » et l'industrie cherche toujours pour des évolutions dans ce domaine [14].

II.13.3 Dans les réseaux locaux

L'utilisation des produits moins couteux et fiables dans les réseaux locaux a été le rêve des ingénieurs depuis des années. Mais l'intégration optique n'a pas progressé aussi rapidement que l'intégration électronique à cause de plusieurs facteurs [13].

La figure (II.16) représente les différentes applications des FOP.

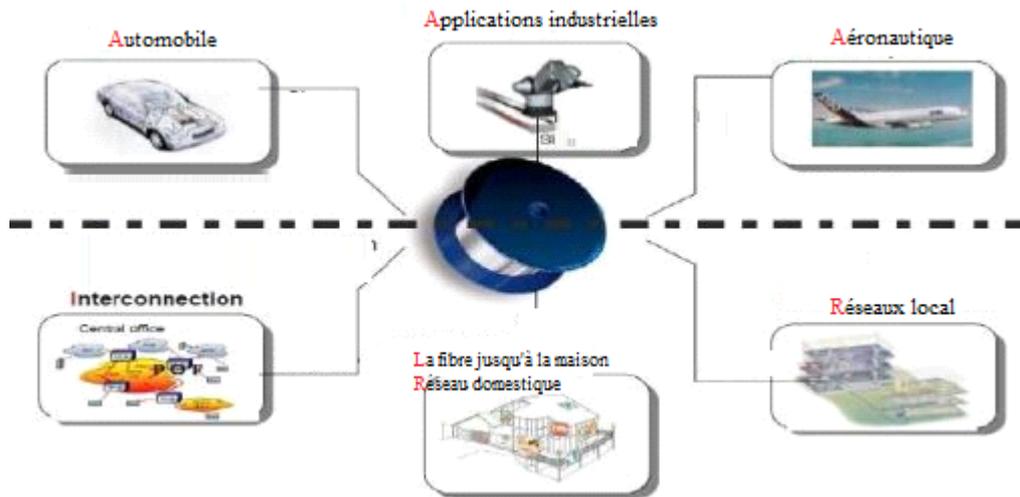


Figure II. 16 : Les différentes applications des FOP

II.14 Récapitulatif des diverses applications

Les fibres en silice sont parfaitement adaptées à la transmission simultanée et sur de grandes distances. Grâce au multiplexage en longueur d'onde, le débit de la transmission est amplifié. Les fibres optiques à base de silice sont beaucoup plus légères, et moins encombrantes que les fils de cuivre. Elles présentent l'avantage d'avoir de très faibles atténuations sur de grandes distances.

Quant aux Fibres Optiques Plastiques (FOP), leurs applications se limitent à des transmissions sur de faibles distances, à l'éclairage, et à leur rôle de capteur dans de nombreux domaines. Dans celui de l'automobile, les signaux multiplexés des radiotéléphones (GSM), des systèmes de positionnement (GPS), des lecteurs de CD, DVD, ...sont transmis par fibres optiques plastiques. La médecine a su également profiter des avancées technologiques sur les fibres optiques pour les utiliser comme un outil médical (prévention et soins de chirurgie laser).L'interférométrie à base de FOP est encore un vaste domaine d'étude et de recherche pour les mesures de vitesse par effet Doppler, de polarisation, de biréfringence, etc...

II.15 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter des caractéristiques des fibres optiques plastiques en général. Ensuite nous avons étudié la fibre optique plastique avec ses performances, avantages et inconvénients ainsi que ses applications sur les courtes distances.

Nous abordons dans le chapitre suivant, la simulation d'une transmission par FOP dans un système FTTH et l'interprétation des résultats.

Références bibliographiques

- [1] Togniclo Carolle Thon-Adjalin, Etude d'un système de transmission sur fibre optique plastique à saut d'indice, Mémoire, Université Laval Québec, 2011.
- [2] Louazani Marwa et Meddane Samira, Etude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-bakr Belkaid-Tlemcen, juin 2017.
- [3] Perrine Toupin, Fibres optiques microstructurées en verre de chalcogénure pour la détection d'espèces chimiques et la conversion de longueurs d'onde, Thèse Doctorant, Université Rennes, France, 2013.
- [4] Francis Richard, Etude des architectures optiques pour le réseau local domestique, basées sur la fibre multimode (polymère et silice) et le multiplexage en longueur d'onde, Thèse de doctorant, Université de Nantes, Juin 2012.
- [5] De Olaf Ziemann, Jürgen Krauser, Peter E.zamzow, Werner Daum, livre: POF Handbook: Optical short range transmission systems.
- [6] Joseba Zubia et Jon Arrue, plastic optical fibers: An introduction to their technological processes and applications, Spain, December, 2000
- [7] T. Kaino, polymer optical fibers, New York, 1992.
- [8] De Olaf Ziemann, Jürgen Krauser, Peter E.zamzow, Werner Daum, livre : POF-polymer optical fibers for data communication.
- [9] P. Lecoy, télécoms sur fibres optiques, lavoisier, Troisième édition revue et augmentée, 2008.
- [10] W. Daum, J. Krauser, P. E. Zamzow et O. Ziemann. Pof handbook – optical short range transmission systems, springer, Deuxième édition, 2008.
- [11] Paul Polishuk, Plastic Optical Fibers Branch Out, IEEE Communications Magazine, 2006.
- [12] <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-POF-and-GOF.html>
- [13] Plastic optical fiber international, Journal of engineering research and reviews issn 2348-697x (online) vol. 2, issue 4, pp: (95-105), October – December 2014.
- [14] <https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2016/01/photon201680p26.pdf>

Chapitre III

***Etude d'une transmission par FOP dans un
système FTTH (Fiber To The Home)***

III.1 Introduction

Le développement des télécommunications par fibre optique a multiplié les architectures des réseaux, les techniques de codage et les composants disponibles. L'influence de plusieurs paramètres pénalisant les performances de la liaison d'une part, et la complexité de conception des systèmes associés d'autre part a poussé, les chercheurs à utiliser des outils de simulation parce qu'ils constituent une assistance efficace pour trouver des solutions, aussi bien au niveau du composant qu'au niveau du système.

Dans ce chapitre nous allons étudier une chaîne de transmission optique par fibre multimode courte distance c'est-à-dire du type FTTH avec modulation du laser directe par le biais du logiciel de simulation Optisystem. La fibre optique plastique n'existe pas dans la librairie des composants du logiciel OptiSystem, et c'est la raison pour laquelle on s'est limité à une fibre multimode.

III.2 Logiciel de Simulation (Optisystem)

III.2.1 Présentation du logiciel de simulation

OptiSystem est un logiciel de conception, de tests et d'optimisation de n'importe quel type de liaison optique. OptiSystem possède un environnement de simulation puissante et une définition vraiment hiérarchique des composants et systèmes. Ses capacités peuvent être facilement élargies avec l'ajout de l'utilisateur de composants et d'interfaces continu à une gamme d'outils largement utilisés [1].

Ce logiciel est une application windows, elle contient essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties :

- **Bibliothèque** : une base de données de divers composants existants.
- **Editeur du Layout** : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- **Projet en cours** : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.
- **Une boîte à outils** : elle vous permet d'ajouter certaines indications (texte, rectangle, etc.) dans l'espace de travail pour plus de compréhension.

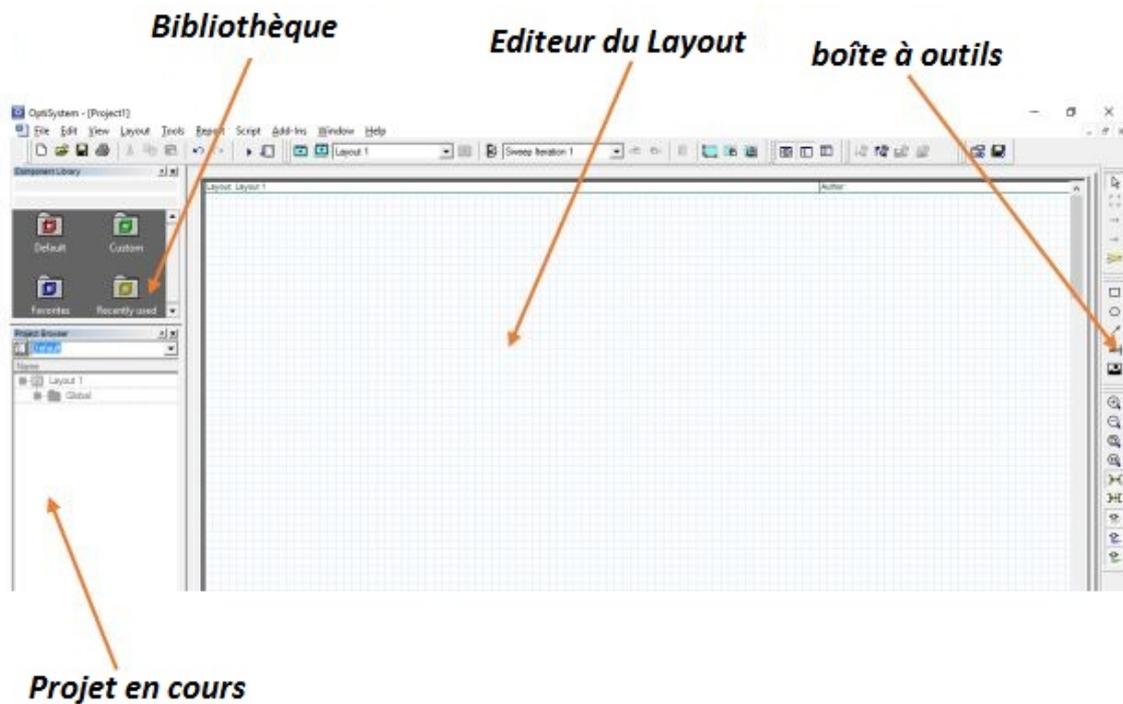


Figure III. 1 : Les fenêtres d'Optisystem.

OptiSystem est un logiciel très performant qui permet aussi de concevoir et de modéliser des composants optiques.

La figure III.2 représente un exemple des paramètres d'un composant optique qui est dans notre cas une fibre optique.

Double clic sur fibre optique

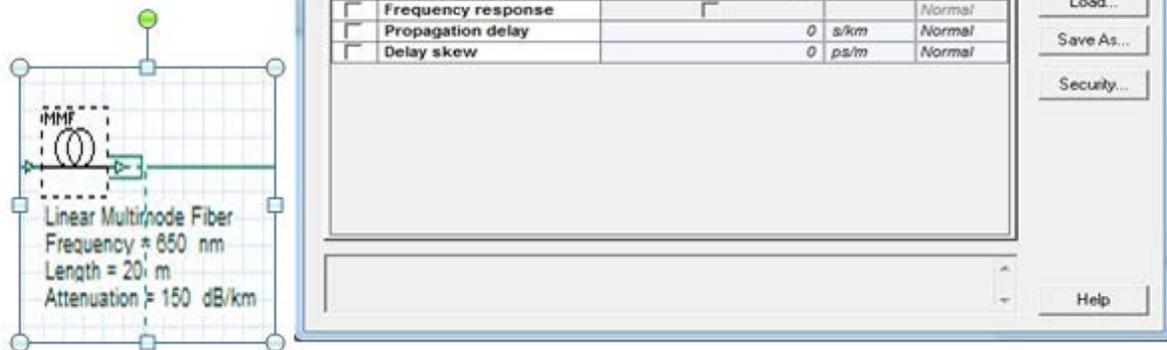


Figure III. 2 : Les paramètres de la fibre utilisée.

A l'aide de cette fenêtre on peut faire varier les paramètres de la fibre optique telle que la longueur d'onde, la longueur de fibre, l'atténuation et plusieurs paramètres de la fibre.

III.2.2 Avantages du logiciel

- La bibliothèque des composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels, il s'intègre aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
- Donne un aperçu des performances du système mondial des fibres optiques.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels.

III.2.3 Applications d'OptiSystem

Parmi les diverses applications d'OptiSystem nous allons citer les plus utilisées [2] :

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM la conception du réseau CATV (Câble Télévision).

- L'espace libre pour les systèmes optique (OSA).
- La conception d'anneau SONET/SDH.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

III.3 Description et principe générale de l'architecture

La figure III.3 présente l'architecture générale de notre liaison simulée par Optisystem. Elle se décompose de trois parties : partie émission, un canal de propagation (fibre optique) et une partie réception.

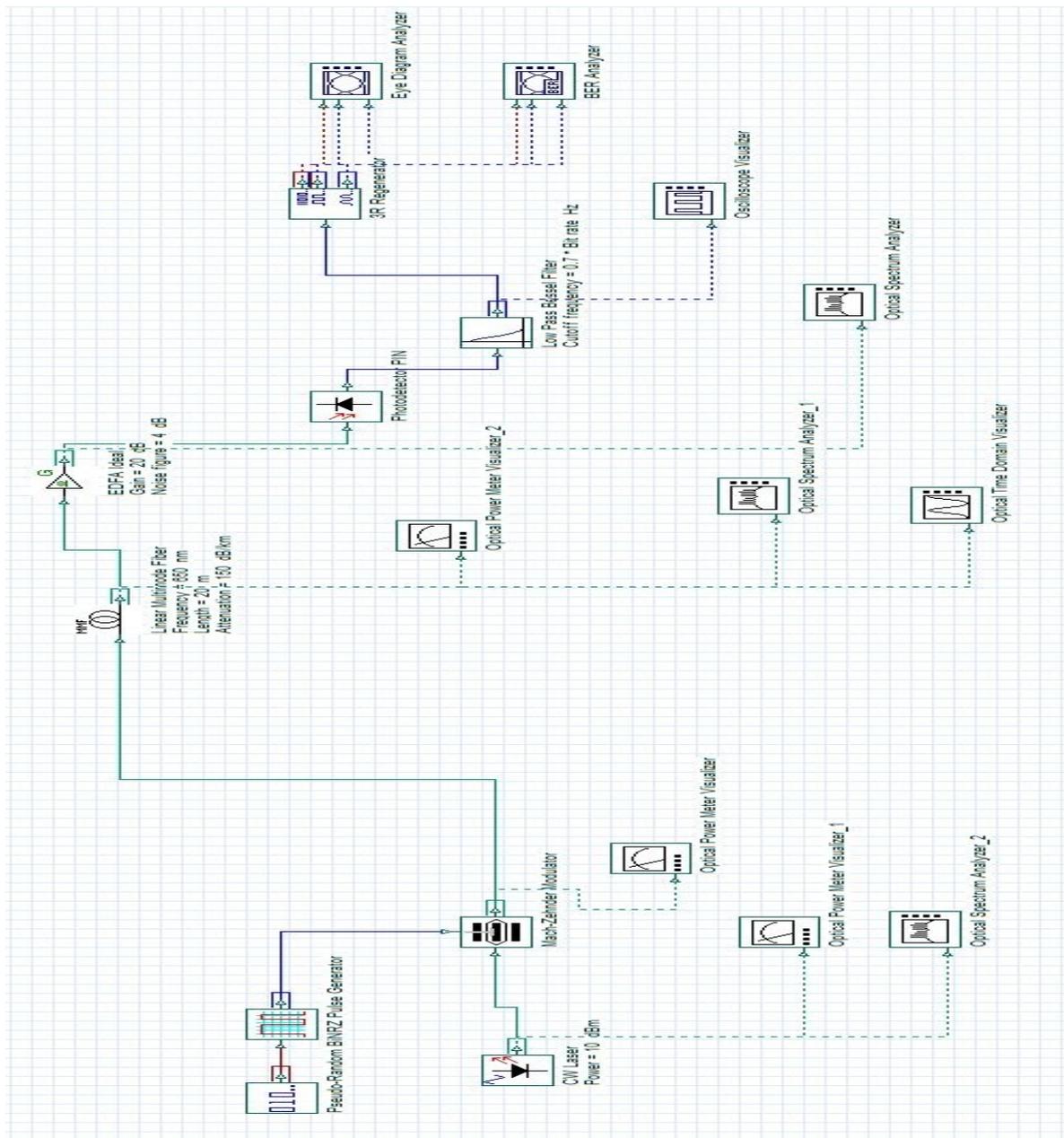


Figure III. 3: Schéma synoptique de la liaison FTTH simulée sous Optisystem.

III.3.1 Partie émission

Le but principal de la partie émission est de générer les signaux lumineux.

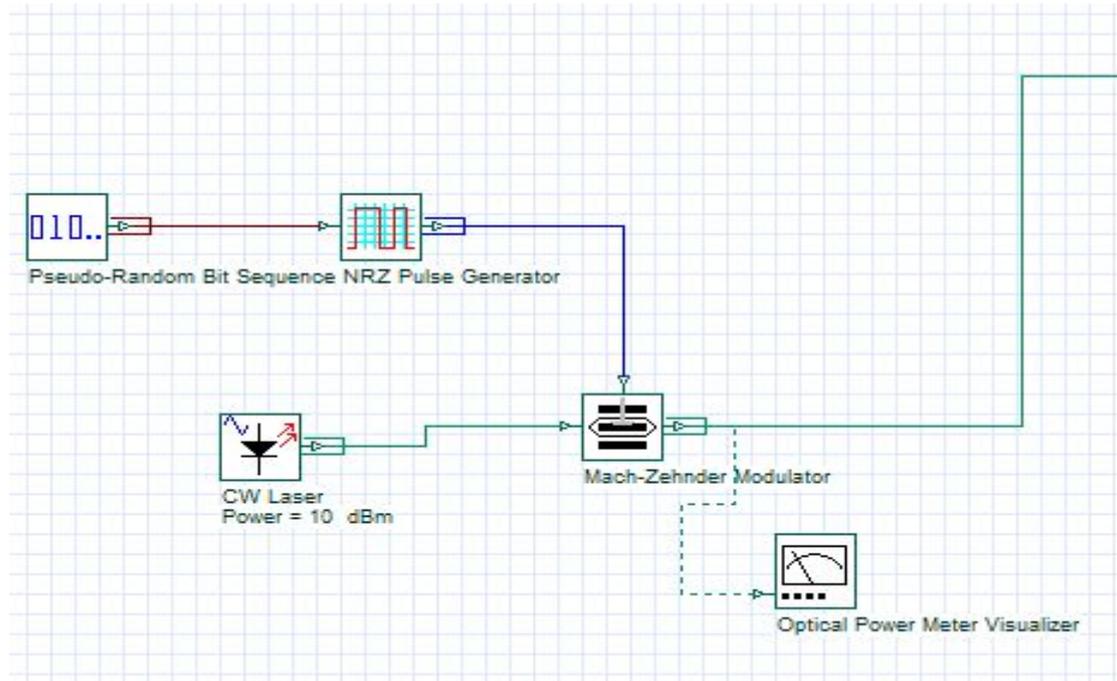


Figure III. 4 : Partie émission.

III.3.1.1 Générateur binaire PRBS (pseudo random binary sequence)

C'est un générateur qui produit une suite de de séquences binaires de « 0 » et de « 1 » logiques. Il est dit aléatoire car c'est une suite arbitraire. Cependant, lorsque la suite arrive à son terme, le générateur ne s'arrête pas de fonctionner. La séquence déjà transmise est à nouveau reproduite, d'où le qualificatif de pseudo-aléatoire [3].

III.3.1.2 Le format NRZ (Non-retour à Zéro)

La modulation utilisée dans cette liaison est le NRZ (Non-retour à zéro), dans un générateur NRZ le bit « 1 » est associé à une impulsion optique de durée égale au temps symbole (inverse du débit), le bit « 0 » correspond à l'absence du signal mais en pratique l'absence totale de signal n'existe pas puisque le taux d'extinction n'est jamais infini. Le format NRZ est utilisé pour des débits inférieurs à 10Gb/s [1] et la bande passante dans un format NRZ est égale à $\frac{1}{2}$ du débit.

La figure (III.5) montre le codage d'une donnée (101101) en format NRZ.

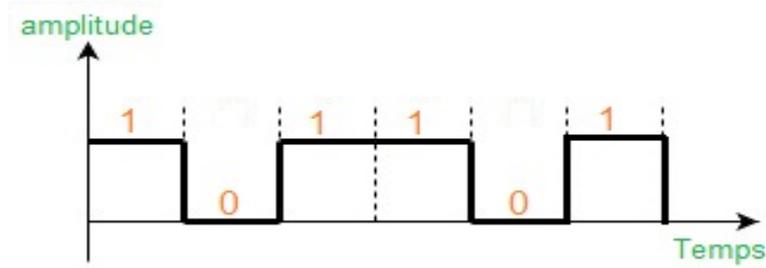


Figure III. 5 : le codage de la donnée (101101) en format NRZ.

III.3.1.3 CW laser (Continuous Wave laser)

La source choisie dans la simulation est une source continue. Elle émet à la longueur d'onde de 650 nm avec une puissance variable de 5 dBm à 10 dBm.

La figure (III.6) montre le spectre de puissance de la source optique utilisée dans la simulation. Le spectre est centré à 650 nm.

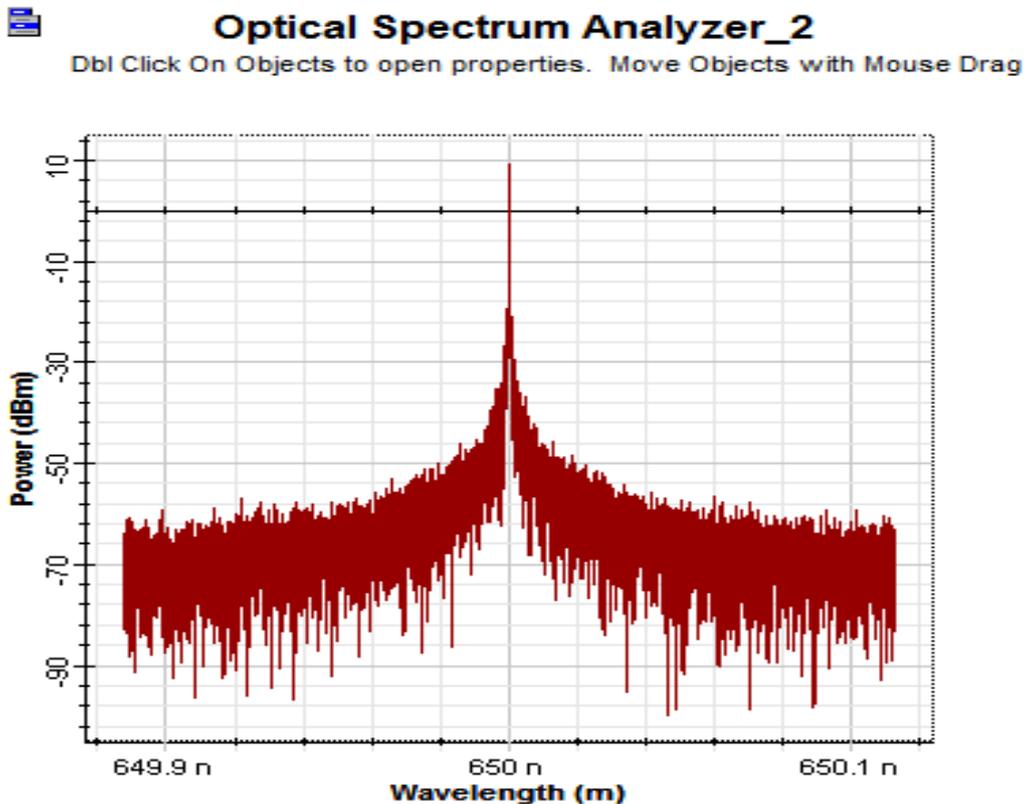


Figure III. 6 : Spectre de puissance de la source optique

III.3.1.4 Le modulateur Mach-Zehnder

Un modulateur Mach- Zehnder est utilisé pour contrôler l'amplitude d'une onde optique. C'est un interféromètre à deux bras. Lorsqu'une tension est appliquée sur l'un des bras, un déphasage est induit pour l'onde qui traverse ce bras. Lorsque les deux bras sont recombinaés, la différence de phase entre les deux ondes est convertie en une modulation d'amplitude [4].

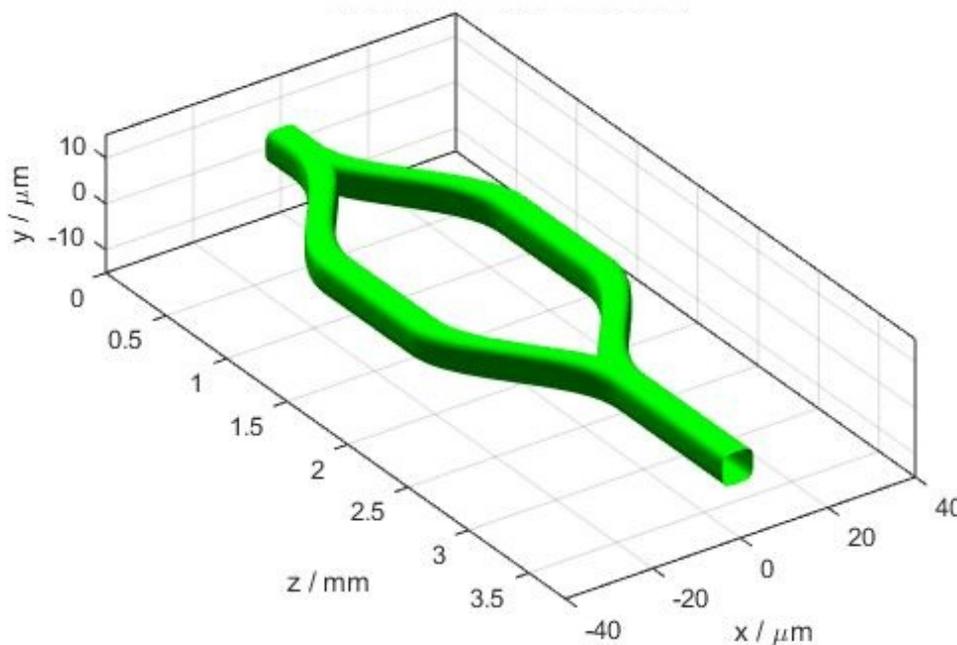


Figure III. 7 : Modulateur Mach-Zehnder en 3D

III.3.2 Canal de propagation (fibre optique)

Les caractéristiques de la fibre une fibre multimode sont résumées dans le tableau (III.1) ci-dessous :

Longueur	Longueur variable de 10 à 100 m
Atténuation	150 dB/km
Longueur d'onde de référence	650 nm

Tableau III. 1 : Caractéristiques de la fibre multimode.

Pour une longueur de fibre de 20 m nous avons une atténuation de 3 dB ($0.02 \text{ Km} \times 150 \text{ dB/km}$) (voir la figure III.8)



Figure III. 8 : Puissance optique avant et après émission

III.3.3 Partie réception

III.3.3.1 L'amplificateur à fibre dopée erbium EDFA (Erbium-doped fiber amplifier)

EDFA est un amplificateur optique qui amplifie directement un faisceau laser modulé, sans conversion optoélectronique. Il est habituellement utilisé pour améliorer l'intensité des signaux optiques transmis par un système de communication à fibre optique.

La Figure III.9 représente le principe de fonctionnement d'amplificateur à fibre dopée erbium EDFA.

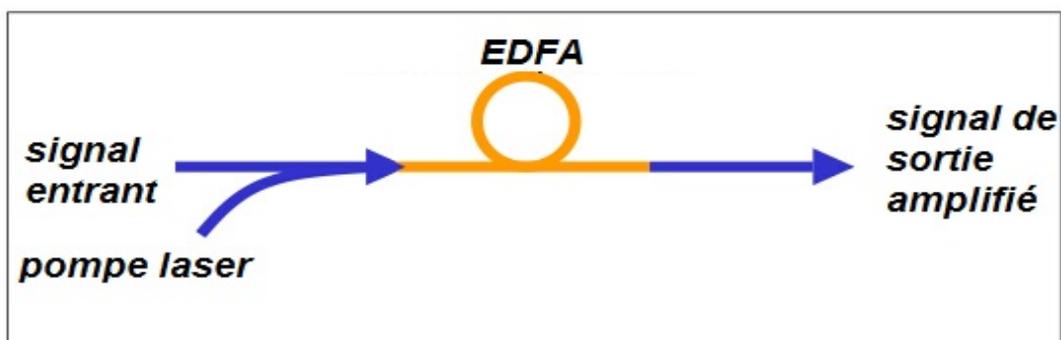


Figure III. 9 : Principe de fonctionnement d'un amplificateur à fibre dopée erbium EDFA

L'EDFA présente les avantages d'un gain élevé, d'une large bande passante, d'une puissance de sortie élevée, d'un rendement de pompage élevé, d'une faible perte d'insertion, ainsi qu'une insensibilité à l'état de polarisation.

- Il fournit une amplification en ligne du signal sans avoir besoin d'électronique, et le signal n'a pas besoin d'être converti en un signal électrique avant l'amplification. L'amplification est entièrement optique.
- Il assure un haut rendement de transfert de puissance de la pompe à la puissance du signal.
- L'amplification est indépendante d'un débit de données.
- Le gain est relativement plat [5].

III.3.3.2 photodiode PIN

La photodiode utilisée est une photodiode PIN. Son rôle est de convertir le signal optique en un signal électrique avec le minimum de distorsions. Les performances requises pour une photodiode sont : une rapidité de détection, une bonne sensibilité, et avec un bon rapport signal sur bruit.

III.3.3.3 Le filtre BESSEL

Le filtre Bessel, également désigné sous le nom de filtre de Thomson, est un filtre polynomial. Il permet de minimiser la distorsion d'un signal complexe lors d'une opération de filtrage [6].

III.3.3.4 3R répéteur (3R regenerator)

Le rôle d'un répéteur dans un système de communications à fibre optique est de régénérer un signal optique. Ce répéteur est utilisé pour étendre la portée des liaisons de communications optiques en surmontant les pertes dues à l'atténuation de la fibre optique.

Certains répéteurs corrigent également la distorsion du signal optique en le convertissant en un signal électrique. En traitant ce signal électrique et en retransmettant ensuite un signal optique. Ces répéteurs sont appelés optiques-électriques-optiques (OEO) en raison de la conversion du signal. Ces répéteurs sont aussi appelés régénérateurs pour la même raison.

III.4 Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission

Pour évaluer la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal sont le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q.

III.4.1 Taux d'erreurs binaires

Les données sont transmises sous forme numérique, c'est-à-dire suivant une séquence de données binaires. L'évaluation de la qualité d'une transmission numérique binaire exige la comparaison de la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus grâce au calcul du nombre de bits erronés c'est-à-dire le nombre de « 0 » détectés pour un symbole « 1 » émis ou vice versa.

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

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{III.1})$$

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

III.4.2 Le facteur de qualité

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

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_0} \quad (\text{III.2})$$

Où I_1 et I_0 sont respectivement les valeurs moyennes des photo-courants du symbole 1 et 0. δ_0 et δ_1 sont respectivement les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0. La mesure expérimentale du facteur Q d'un signal est difficile car on ne peut pas mesurer I_1 , I_0 , δ_0 et δ_1 directement. Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser la relation du Taux D'erreur Binaire TEB en fonction du facteur de qualité Q à condition que la distribution de puissance des symboles soit Gaussienne:

$$\text{TEB}(\text{BER}) = \frac{1}{2} \left[\text{erf} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

Avec **erf** est la fonction d'erreur complémentaire [3].

III.4.3 Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est la façon « visuelle » de juger la qualité d'un signal. Il est formé par la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. Plus le signal est de bonne qualité, plus le diagramme de l'œil est ouvert, plus le facteur de qualité est fort et ainsi plus la détection du signal sans erreur est facile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent

moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé [2].

La figure III.11 illustre le diagramme de l'œil d'un signal NRZ

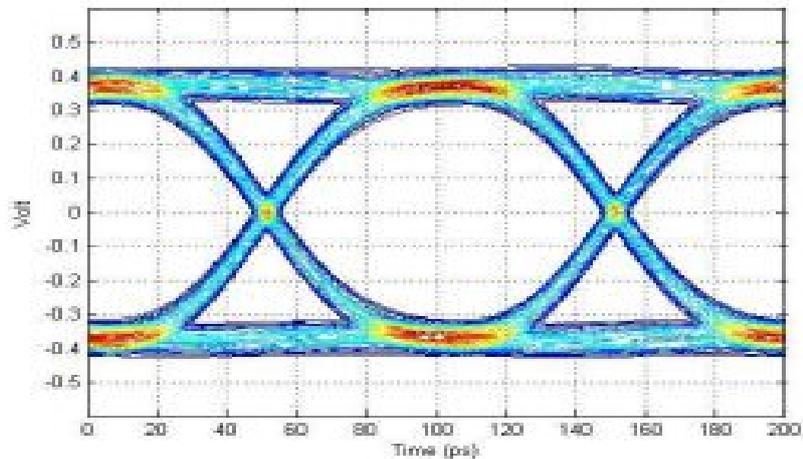


Figure III. 10: Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ.

III.5 Résultats

Dans cette partie nous allons évaluer les performances d'une transmission par FOP dans un système FTTH (Fiber To The Home) en étudiant l'influence de chaque paramètre sur la qualité de transmission dans le but de déterminer les meilleurs paramètres pour avoir un facteur de qualité élevé. La figure (III. 11) ci-dessous montre le schéma synoptique sous Optisystem de la chaine de transmission.

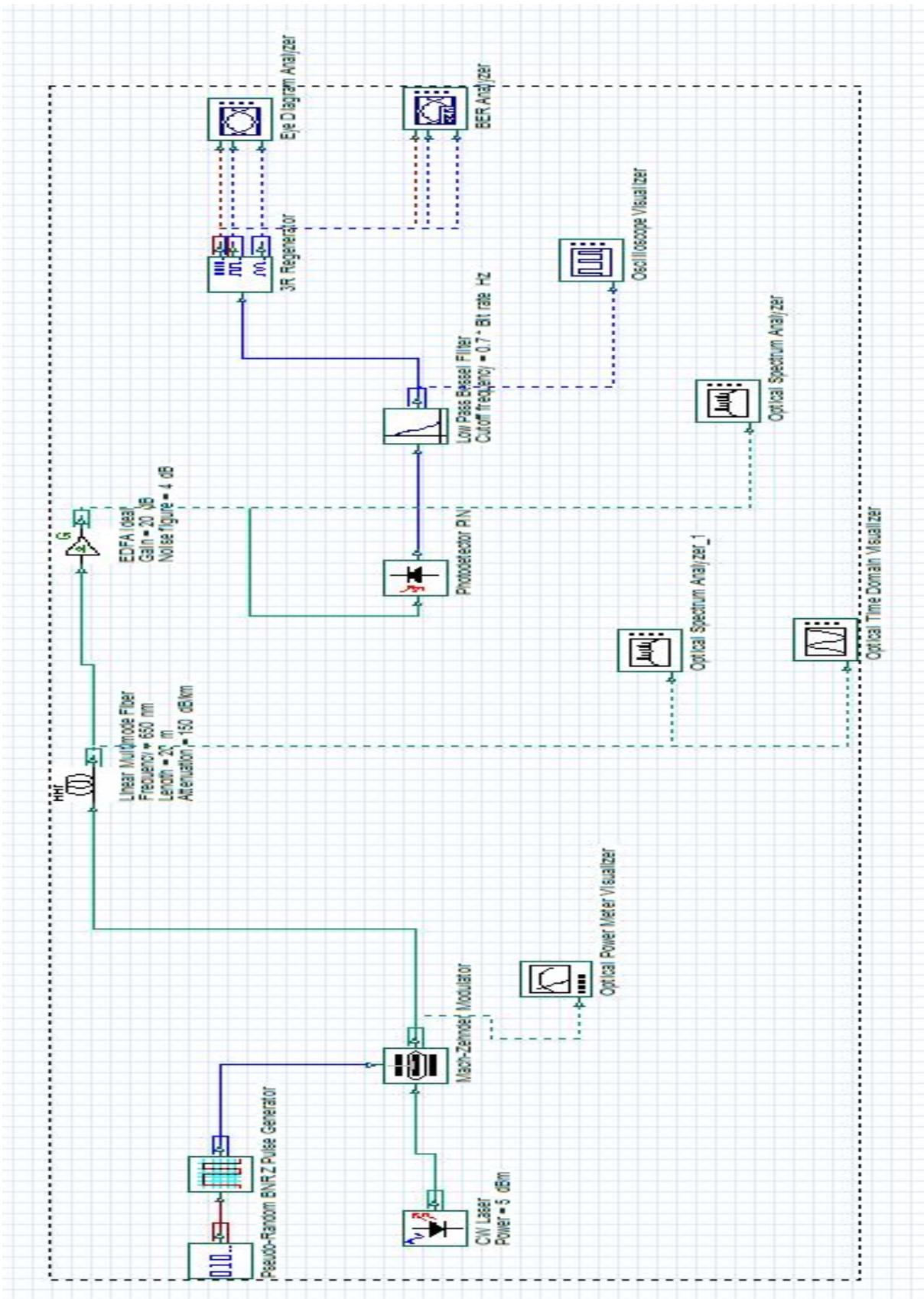


Figure III. 11: Schéma synoptique d'une liaison par FOP sous Optisystem.

III.5.1 Effet de variation de la longueur de la Fibre

La longueur de fibre optique a un effet sur la qualité de transmission à cause de l'atténuation. Pour le vérifier on peut faire varier par exemple la longueur de la fibre de 10 à 90 m (longueur de fibre pour les réseaux locaux) en fixant le débit à 1.5Gb/s, la puissance d'émission à 10dBm, et l'atténuation à 150 dB/km à la longueur d'onde de 650 nm. On note à chaque fois le BER et le facteur de qualité.

Le tableau (II. 2) ci-dessous montre les résultats de la simulation pour différentes longueurs de fibre :

Longueur de fibre (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Facteur de qualité Q	9.746	9.745	9.743	9.740	9.736	9.731	9.725	9.718	9.71
BER	$9.556 \cdot 10^{-23}$	$9.682 \cdot 10^{-23}$ *	$9.897 \cdot 10^{-23}$ *	$1.02 \cdot 10^{-22}$ *	$1.062 \cdot 10^{-22}$ *	$1.115 \cdot 10^{-22}$ *	$1.183 \cdot 10^{-22}$ *	$1.266 \cdot 10^{-22}$ *	$1.369 \cdot 10^{-22}$ *

Tableau III. 2: Effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER.

La Figure (III. 12) donne les variations du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre, tandis que la Figure (III. 13) donne les variations du BER en fonction de la longueur de la fibre.

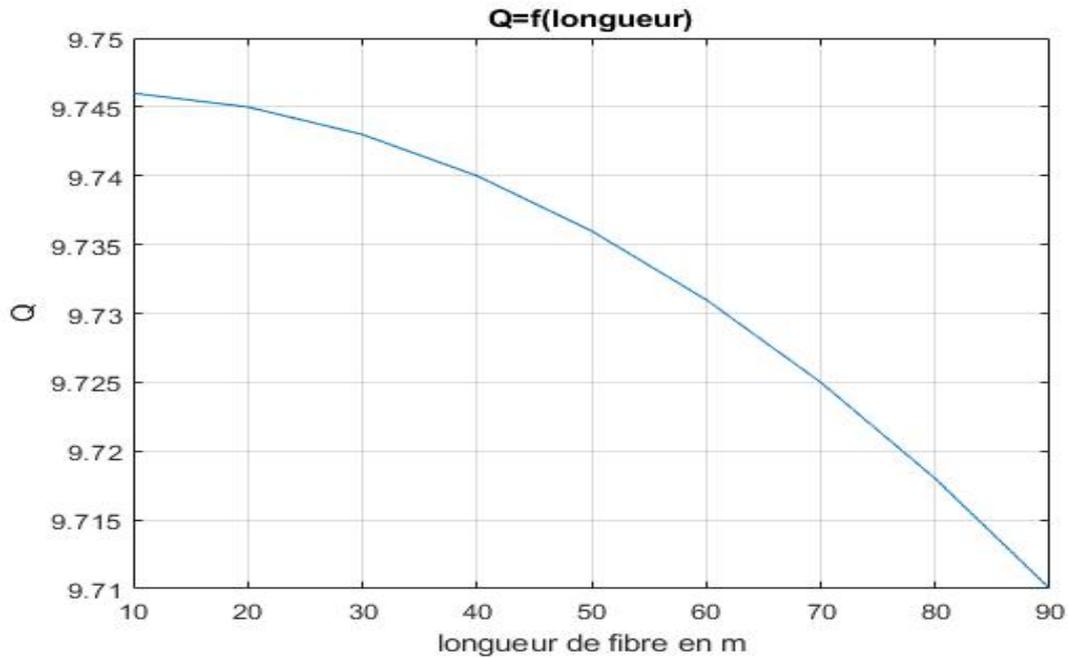


Figure III. 12: Variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre.

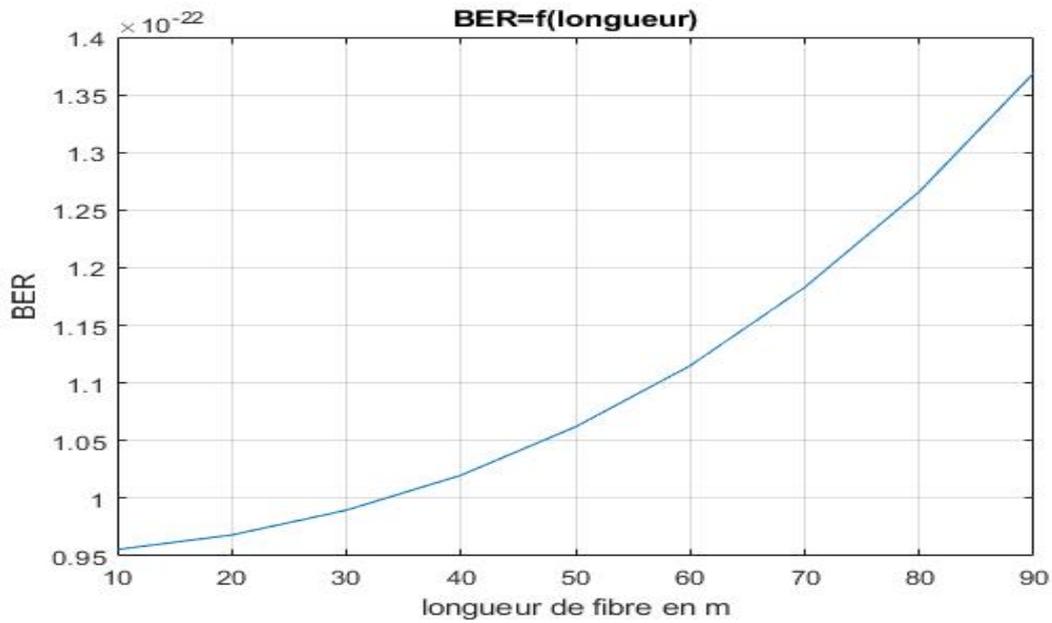


Figure III. 13: Variation de BER en fonction de la longueur de la fibre.

Les résultats présentés montrent que le facteur de qualité diminue en fonction de la longueur de fibre optique, par contre le taux d'erreur binaire augmente.

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que différentes dégradations dues principalement à la dispersion modale et chromatique ainsi que d'autres effets non linéaires.

La figure (III. 14) présente les diagrammes de l'œil pour les longueurs de fibre 10m et 90m :

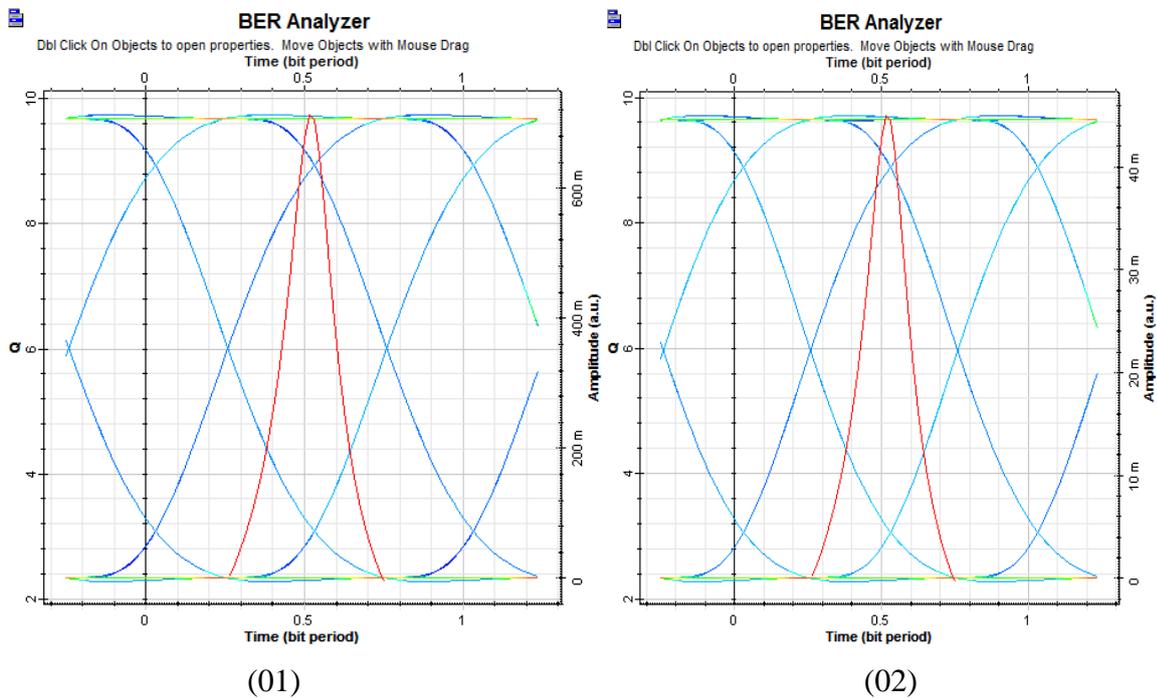


Figure III. 14: Diagrammes de l'œil.

(01) : pour 10 m.

(02) : pour 90 m.

D'après les deux diagrammes visualisés ci-dessous, on peut noter qu'il y'a une légère différence avec une bonne qualité de transmission.

III.5.2 Effet de la variation de la puissance d'émission

Les mesures ont été réalisées en faisant varier la puissance d'émission de la source lumineuse de 5dBm à 10 dBm avec un pas de 1 dBm en fixant le débit à 1.5 Gb/s. La longueur d'onde à 650 nm, la longueur de fibre à 50m et l'atténuation à 150 dB/km, et on note à chaque fois le BER et le facteur de qualité de la ligne.

Le tableau (III.3) montre les résultats pour différentes valeurs de la puissance d'émission :

Puissance d'émission (dBm)	5	6	7	8	9	10
Facteur de qualité Q	9.735	9.735	9.735	9.736	9.736	9.736
BER	$1.066 * 10^{-22}$	$1.065 * 10^{-22}$	$1.064 * 10^{-22}$	$1.063 * 10^{-22}$	$1.062 * 10^{-22}$	$1.062 * 10^{-22}$

Tableau III. 3: Effet de la puissance d'émission sur le facteur de qualité et le BER.

La Figure (III. 14) ci-dessous montre les variations du facteur de qualité en fonction de la puissance d'émission, tandis que la Figure (III. 15) présente les variations du taux d'erreur binaire en fonction de la puissance d'émission

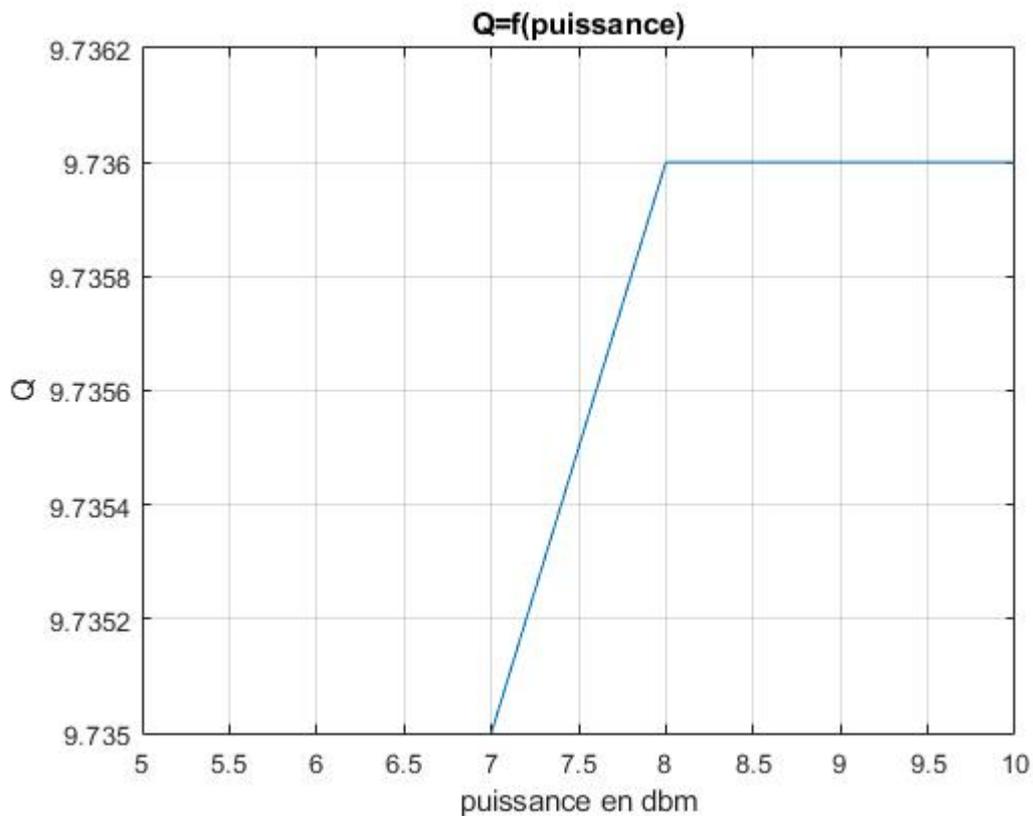


Figure III. 15: Variation de facteur de qualité en fonction de la puissance d'émission

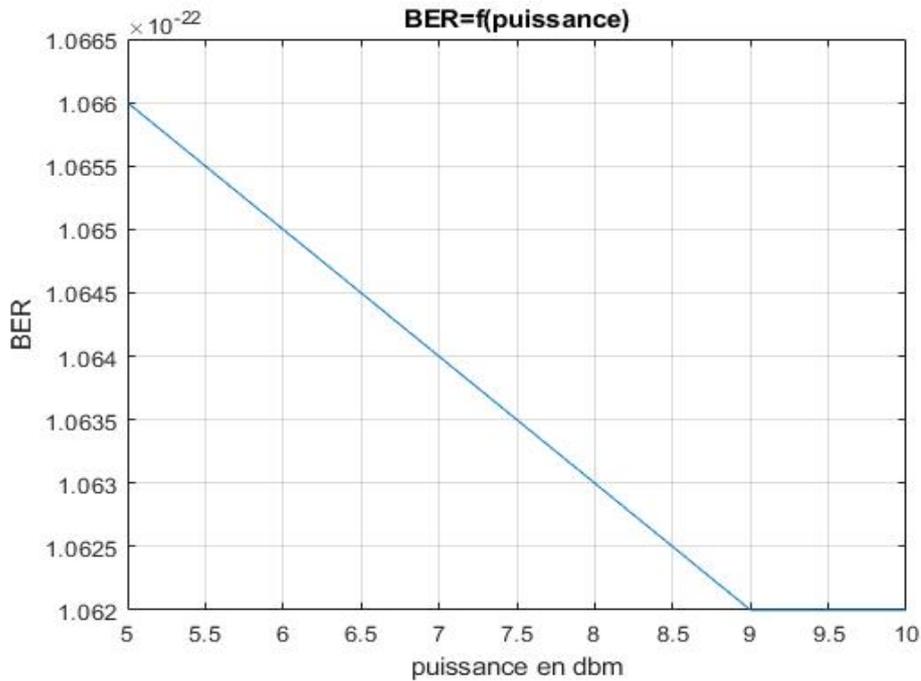


Figure III. 16: Variation du taux d'erreur binaire en fonction de la puissance d'émission

L'analyse de ces résultats montre que la qualité de transmission reste bonne (taux d'erreur 1.06×10^{-22} et le facteur de qualité 9.73) pour chaque valeur de puissance d'émission choisi ce. Ainsi, la puissance d'émission a peu d'influence.

La figure (III. 17) ci-dessous montre les digrammes de l'œil pour les puissances de 5 dBm et 10 dBm :

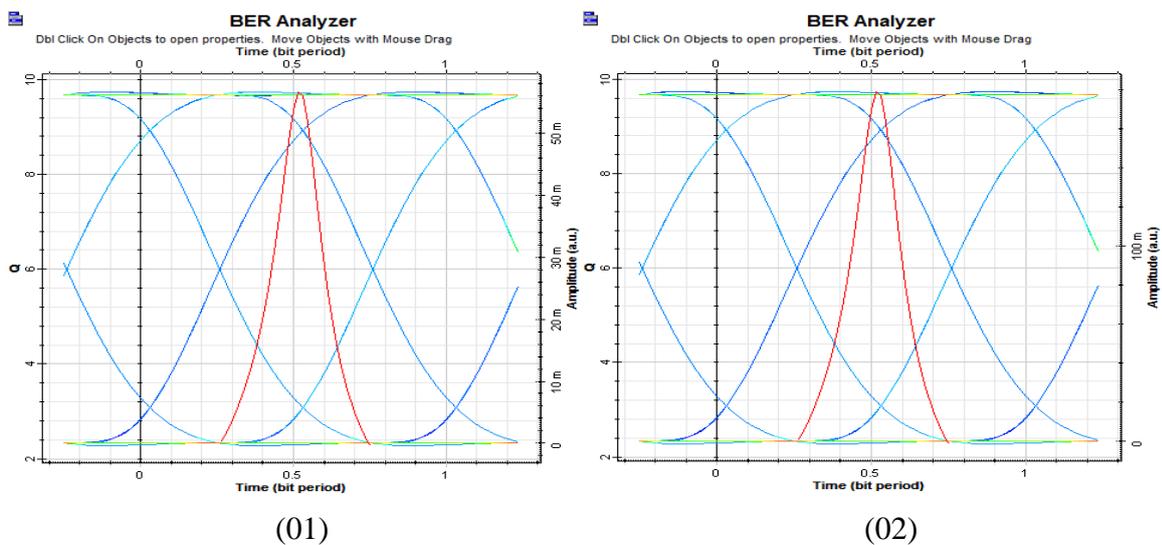


Figure III. 17: Diagrammes de l'œil.

(01) : pour 5dBm.

(02) : pour 10dBm.

D'après les deux diagrammes visualisés ci-dessous, on peut voir que la qualité de transmission reste bonne pour les deux puissances d'émission.

III.5.3 Effet de variation du débit

Nous allons procéder maintenant à la variation du débit binaire. Ce dernier est primordial pour la bonne transmission du signal car il faut toujours ajuster le débit avec différents paramètres comme la puissance et le support de transmission.

On va faire varier le débit de 0.5 Gb/s jusqu'à 6.5 Gb/s en fixant la longueur d'onde à 650 nm, la longueur de fibre optique à 50m, la puissance d'émission à 10 dBm et l'atténuation à 150 dB/km. Les résultats sont regroupés dans le tableau (III. 4) ci-dessous :

Débit (Gb/s)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5
Q	5.486	9.736	11.39	12.371	14.513	15.238	15.51
BER	2.055* 10 ⁻⁸	1.062* 10 ⁻²²	2.313* 10 ⁻³⁰	1.797* 10 ⁻³⁵	4.513* 10 ⁻⁴⁸	7.855* 10 ⁻⁵³	1.243* 10 ⁻⁵⁴

Tableau III. 4: Effet du débit sur le facteur de qualité et le BER.

La figure (III. 16) représente les variations du facteur de qualité en fonction de débit, et la Figure (III. 17) montre les variations du BER en fonction de la longueur de débit.

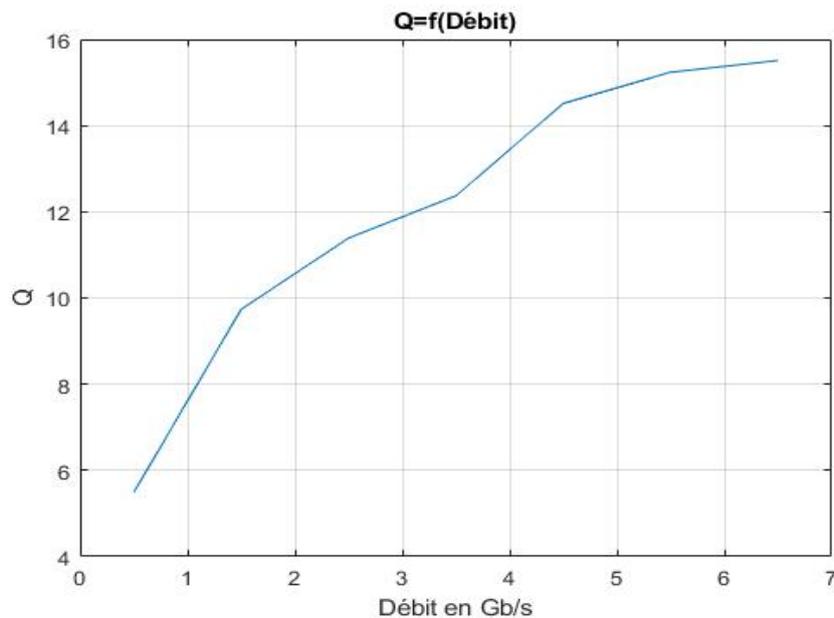


Figure III. 18: Variation de facteur de qualité en fonction de débit

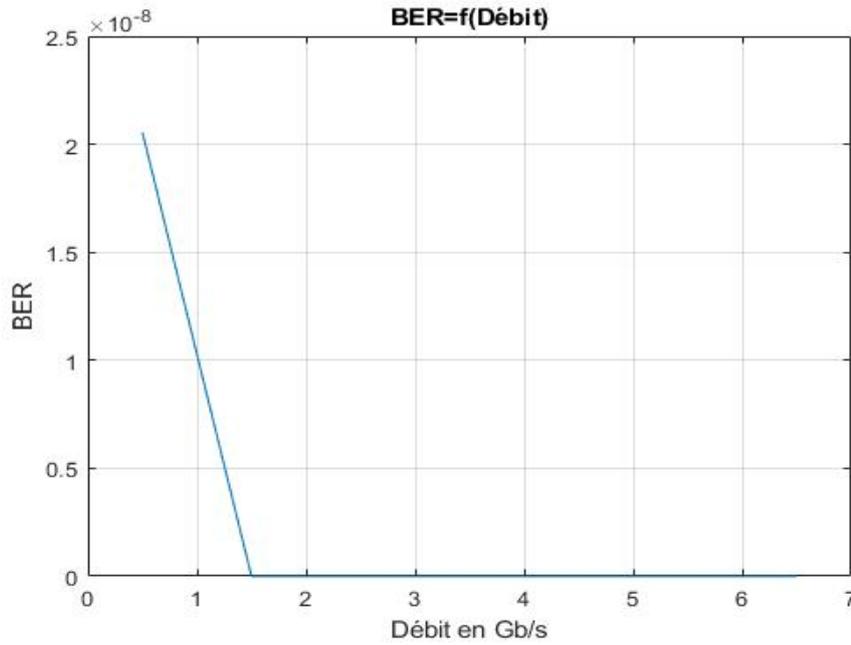


Figure III. 19: Variation de BER en fonction de la longueur de Débit

En observant ces résultats on peut noter que le facteur de qualité est minimal pour le débit de 0.5 Gb/s et plus le débit augmente le facteur de qualité augmente et le taux d'erreur binaire se diminue.

La figure (III. 20) montre le diagramme de l'œil pour les débits 0.5 Gb/s et 6.5 Gb/s :

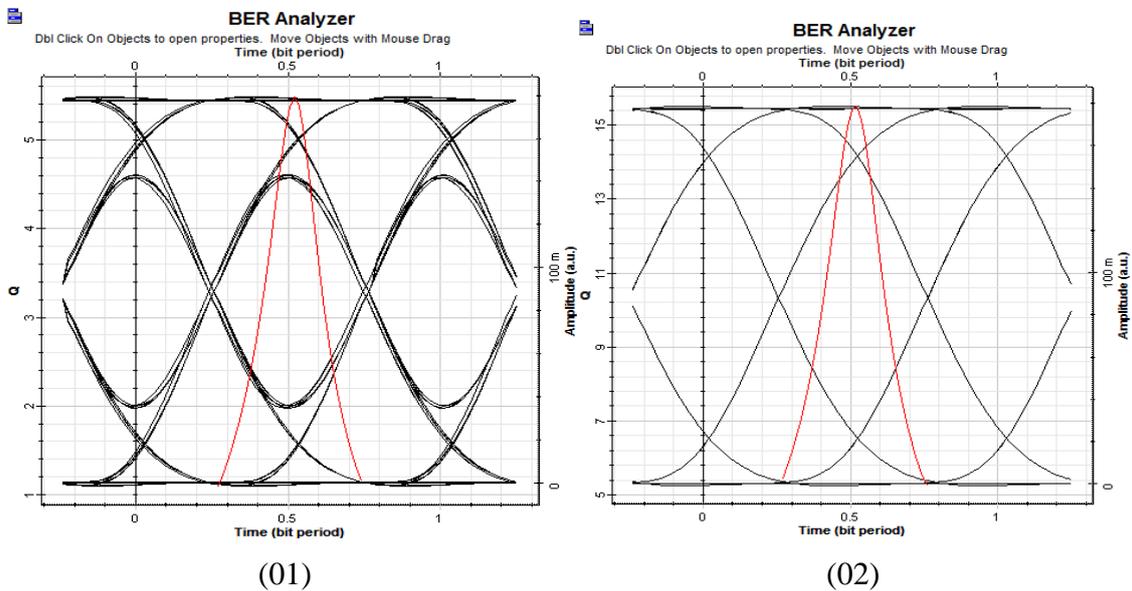


Figure III. 20: Diagrammes de l'œil.

(01) : pour 0.5Gb/s.

(02) : pour 6.5Gb/s.

D'après les deux diagrammes de l'œil pour les débits 0.5 Gb/s et 6.5 Gb/s on observe l'ouverture de diagramme (01) par rapport au diagramme (02) ce qui confirme que la qualité de transmission est bonne et en même temps confirme l'importance et l'influence de débit sur la qualité de transmission.

III.6 conclusion

Ce dernier chapitre a été consacré à l'étude d'une transmission par FOP dans les réseaux locaux. Afin d'étudier leurs performances nous avons étudié l'influence de quelques paramètres tels que la longueur de la fibre optique, la puissance d'émission ainsi que le débit binaire. L'analyse a été réalisée grâce au taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q.

Références bibliographiques

- [1] Louazani Marwa et Meddane Samira, Etude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, l'Université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, juin 2017.
- [2] Hadjeres Ismaïel Noura Imad, Etude et simulation de la technique CDMA appliqué aux transmissions optiques utilisant les réseaux de Bragg», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, l'Université Djilali BounaamaKhemis Miliana, 2015/2016.
- [3] Kimbiri Seydou et Kpemissi Eyana Piham, Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, l'Université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, 01 Juillet 2012.
- [4] <https://www.comsol.fr/model/mach-zehnder-modulator-15061>
- [5] <http://www.fiber-optic-solutions.com/introduction-fiber-amplifier-edfa.html>
- [6] http://www.traitement-signal.com/filtre_de_bessel.php

Conclusion générale

Conclusion générale et perspectives

En ce moment, avec l'augmentation de la demande des débits élevés à moindre coût jusqu'à l'utilisateur exige des développements conséquents en matière d'ingénierie sur la conception des réseaux d'accès FTTH. Les fibres optiques plastiques sont l'une des solutions pour atteindre ces objectifs.

La première partie de ce travail a été consacrée à l'étude des systèmes de télécommunications optiques ainsi qu'à la description des réseaux fibrés FTTX notamment les réseaux optiques passifs PON, leurs avantages et inconvénients, et les différents standards avec leurs caractéristiques et comparaison entre eux.

La partie suivante a été dédiée à l'étude des Fibres Optiques Plastiques (FOP) en précisant les types de la fibre optique plastique, ses caractéristiques et ses applications. Une comparaison entre les fibres optiques en silice et les fibres optiques plastiques a été présentée.

Dans la dernière partie une étude en termes de qualité de transmission d'une liaison par fibre multimode se rapprochant des caractéristiques d'une FOP dans un système FTTH à l'aide d'un logiciel OptiSystem a été mise en œuvre.

Les résultats obtenus sont très encourageants. La fibre optique plastique FOP reste une très bonne solution pour les réseaux locaux à cause des débits importants, la qualité de transmission et le coût faible de ce support de transmission.

Perspectives

Sur le plan pratique, les différentes méthodes principalement utilisées pour augmenter la bande passante d'un système à base de fibres POF sont les suivantes :

- En injectant la lumière selon une ouverture numérique inférieure à celle de la fibre, on limite le nombre de modes véhiculés. Par conséquent, la dispersion intermodale correspondante diminue et la bande passante augmente.
- En supprimant au niveau du récepteur les modes supérieurs, on ne tient pas compte des modes qui sont responsables d'une dispersion intermodale importante. On augmente dès lors la bande passante du système.
- En pré-distordant le signal par l'utilisation d'un filtre passe-haut (peaking), on compense l'effet dispersif de la fibre. Celui-ci est, en effet, assimilable à un filtre passe-bas.

– On peut aussi compenser l'effet dispersif par l'utilisation d'un filtre passe-haut au niveau du récepteur.

En utilisant ces différents concepts, il a été possible de transmettre sur une distance de 90 m un débit de 6.5Gb/s dans une fibre POF standard. L'ensemble des mesures prises pour augmenter la bande passante se fait au prix d'une perte de puissance et d'une diminution du rapport signal sur bruit. Par conséquent, ces méthodes sont possibles si le système dispose d'un surplus de ressources. Un autre exemple : dans le secteur automobile, la société Daimler-Chrysler est parvenu à transmettre 1Gbit/s sur une distance de 10 m.

Résumé

Les travaux présentés dans ce projet de fin d'études ont pour objectif de faire une étude prospective sur les Fibres Optiques Plastiques (POF) dans les domaines de l'instrumentation et des télécommunications optiques. Ce choix est motivé en raison de la forte croissance de la demande des POF dans un environnement local comme par exemple dans un véhicule, dans une entreprise, et dans les réseaux locaux LAN (Local Area Network). La technologie des POF (Polymer Optical Fiber) répond bien à ces besoins particulièrement pour des raisons de bas cout, et de facilité de déploiement. Après une présentation de l'état de l'art des POF dans les différents domaines, une étude des performances d'une liaison se rapprochant des POF a été étudiée et simulée à l'aide du logiciel OptiSystem.

Mots clés : Fibre Optique Plastique – POF – réseaux Locaux LAN – FTTHx - Atténuation- Dispersion- connecteurs – Bilan de liaison - Bande passante - Facteur de qualité.

Abstract

The work presented in this final year project aims to carry out a prospective study on Plastic Optical Fibres (POF) in the fields of instrumentation and optical telecommunications. This choice is justified because of the strong growth in the demand for POFs in a local environment such as in a vehicle, in a company, and in local area networks (LAN). POF (Polymer Optical Fiber) technology is well suited to these needs, particularly for reasons of low cost and ease of deployment. After a presentation of the state of the art of POFs in the different fields, a study of the performance of a link similar to POFs was studied and simulated using the OptiSystem software.

Keywords: Plastic Optical Fiber - POF - LANs - FTTHx - Attenuation - Dispersion - connectors - Link balance - Bandwidth - Quality factor.