

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

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par

Oussama Amraoui

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Étude et simulation d'un réseau FTTH basé sur la norme GPON

Soutenu le 04/07/2024 devant le jury composé de :

| | | |
|------------------|----------|-----------|
| Acheli dalila | Pr umbb | président |
| Meraihi yassine | Pr umbb | Examineur |
| Belhabchia malik | Ing umbb | Encadrant |

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord à remercier Dieu qui nous a donné l'aide, la patience et le courage durant toute cette longue année d'étude.

En seconde lieu, Un très grand merci à nos parents pour leur encouragement et leur soutien, que Dieu les garde pour nous.

*On tient aussi à remercier notre encadreur au sien de l'université **belhabchia mallik**, pour tout son aide, sa disponibilité et ces précieux conseils.*

Nos vifs remerciements s'adressent également au membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre sujet en acceptent d'évaluer notre travail.

Merci.

A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.

Merci à tous de m'aider à devenir meilleur.

Oussama amraoui

Dédicace

À Ma Mère

Affable, honorable, aimable, tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Tu n'as jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour ses enfants, en me guidant sur le bon chemin dans ma vie et mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

À Mon Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eus pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit des sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À Ma Famille

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien indéfectible et votre amour inconditionnel tout au long de mon parcours académique. Votre encouragement constant et votre présence réconfortante ont été essentiels à la réalisation de ce projet de fin d'études. Merci de croire en moi et de m'inspirer chaque jour.

Avec tout mon amour et ma reconnaissance.

À Mes Camarades

Ainsi qu'à tous mes camarades avec qui j'ai partagé une partie de mon parcours, et avec qui j'ai vécu des moments inoubliables de joie et de folie au cours de ces années universitaires. Votre complicité et votre amabilité ont été précieuses. Merci du fond du cœur.

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.

ملخص :

تقدم شبكات FTTH (الألياف الضوئية حتى المنزل) وصولاً إلى الإنترنت عالي السرعة عبر الألياف الضوئية، مع سرعات تصل إلى 2.5 جيجابت في الثانية، متجاوزة بكثير 20 ميجابت في الثانية التي تقدمها ADSL. يعد نشرها أكثر تكلفة من البدائل مثل الألياف حتى التقسيم الفرعي أو المبنى مع النهاية في VDSL. تستخدم دراستنا برنامج OptiSystem من Optiwave لمحاكاة أداء شبكة FTTH ، من خلال تقييم معايير مثل معدل الأخطاء البتية (BER) ومخطط العين. يعتبر الشبكة الضوئية السلبية (PON) ، خاصة بنية GPON ثنائية الاتجاه، مرجعاً من حيث النطاق الترددي العالي. توفر محاكاتها معلومات قيمة حول أداء شبكة FTTH.

كلمات مفتاحية : (الألياف الضوئية حتى المنازل) , الشبكة الضوئية السلبية.

Résumé :

Les réseaux FTTH (Fibre jusqu'au domicile) offrent un accès Internet très haut débit via la fibre optique, avec des vitesses allant jusqu'à 2,5 Gbit/s, dépassant largement les 20 Mbps de l'ADSL. Leur déploiement est plus coûteux que les alternatives telles que la fibre jusqu'au sous-répartiteur ou l'immeuble avec terminaison en VDSL.

Notre étude utilise le logiciel OptiSystem d'Optiwave pour simuler les performances du réseau FTTH, en évaluant des paramètres tels que le taux d'erreurs binaires (BER) et le diagramme de l'œil. Le réseau optique passif (PON), notamment l'architecture GPON bidirectionnelle, est une référence en termes de haut débit. Nos simulations fournissent des informations précieuses sur les performances du réseau FTTH.

Mots clés:

FTTH,PON.

Abstract:

FTTH (fiber-to-the-home) networks offer very high-speed Internet access via optical fiber, with speeds of up to 2.5 Gbit/s, well above the 20 Mbps of ADSL. Their deployment is more costly than alternatives such as fiber-to-the-node or VDSL-terminated buildings.

Our study uses Optiwave's Opti System software to simulate FTTH network performance, evaluating parameters such as bit error rate (BER) and eye diagram. The Passive Optical Network (PON), in particular the bi-directional GPON architecture, is a benchmark in terms of broadband. Our simulations provide valuable information on FTTH network performance.

Key words:

FTTH, PON.

Liste des abréviations

| | |
|--------------------|--|
| APD: | Avalanche Photo Diode. |
| A-PON: | Asynchronous Transfert Mode Passive Optical Network. |
| ATM: | Asynchronous Transfert Mode. |
| ADSL: | Asymétrique Digital Subscriber Line. |
| AES: | Advanced Encryption Standard. |
| | |
| B-PON: | Broadband Passive Optical Network. |
| BER: | Bit Error Rate. |
| | |
| CR : | Contre-Réaction. |
| CO : | Central office. |
| CDMA : | Carrier division multiple Access. |
| | |
| DL : | Diodes Laser. |
| DEL : | Diode Electroluminescente. |
| DWDM: | Dense Wavelength Division Multiplexing. |
| | |
| E-PON: | Ethernet Passive Optical Network. |
| | |
| ONT: | Optical Network Termination. |
| OLT: | Optical Line Terminal. |
| ON: | Ouverture Numérique. |
| ONU: | Optical Network Unit. |
| OptiSystem: | Optical Communication System Design. |
| | |
| P2P: | Point to Point. |
| P2MP | Point to multi Point. |
| PDH: | Plesiochronous Digital Hierarchy. |
| PIN: | Positive Intrinsic Photodiode. |
| PON: | Passive Optical Network. |
| | |
| RTC: | Réseau Téléphonique Commuté. |
| 3R: | Retiming Reshaping Regenerating. |
| | |
| SRO: | Sous-Répartiteur Optique. |
| SDH: | Synchronous Digital Hierarchy. |
| | |
| FTTB: | Fiber To The Building. |
| FTTC: | Fiber To The Curb. |
| FTTH: | Fiber To The Home. |

FDMA: Frequency-Division Multiple Access.

LAN: Local Area Network.

LASER: Light Amplifier Simulated Emission Radiated.

LED: Light Emitting Diode.

MAN: Metropolitan Area Network.

MSAN: Multi Service Access Node.

NRO: Nœud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return-to-Zero.

NGN : Next Generation Network.

TM : Terminal Multiplexer.

TDM : Time Division Multiplexing.

VDSL: Very high bit rate Digital Subscriber Line (Ligne Numérique d'Abonnée très haut débit).

VPN: virtual private network.

WAN: Wide Area Network.

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

| | |
|---|---|
| Introduction Générale | 1 |
| Problématique : | 2 |
| Objectif : | 2 |
| Chapitre I Généralités sur les systèmes de Transmission optique | 3 |
| 1 Introduction : | 3 |
| 2 Constitution d'une fibre optique : | 3 |
| 3 Types de fibre optique : | 4 |
| 3.1 Fibres multimodes: | 4 |
| 3.2 Fibres optiques multimodes à saut d'indice : | 4 |
| 3.3 Fibres optiques multimodes à gradient d'indice : | 5 |
| 3.4 Fibres monomodes: | 5 |
| 4 Comparaison entre fibre monomode et multimode : | 6 |
| 5 Caractéristiques d'une fibre optique : | 6 |
| 5.1 L'Atténuation: | 6 |
| 5.2 La dispersion : | 7 |
| 5.2.1 La dispersion chromatique : | 7 |
| 5.2.2 La dispersion modale : | 7 |
| 6 Avantages et inconvénients d'une fibre optique : | 7 |
| 6.1 Avantages: | 7 |
| 7 Inconvénients: | 8 |
| 8 Applications : | 8 |
| 9 Les types de connecteur de fibre optique : | 8 |
| 9.1 Avantage: | 9 |
| 9.2 Inconvénient: | 9 |

| | |
|--|----|
| 10 Définition d'une liaison par fibre optique : | 9 |
| 10.1 Emetteur (source optique): | 10 |
| 10.2 Diode DEL (électroluminescente): | 10 |
| 10.3 Diode laser (DL): | 10 |
| 10.4 Tronçons de fibres optiques: | 11 |
| 10.5 Amplificateurs: | 11 |
| 10.6 Bloc récepteur: | 11 |
| 11 Réseaux Optiques : | 13 |
| 11.1 Réseaux longue distance WAN: | 14 |
| 11.2 Réseaux métropolitains MAN: | 14 |
| 11.3 Réseaux locaux LAN: | 14 |
| 12 Conclusion : | 15 |
| Chapitre II Etude détaillée du Réseau FTTH..... | 16 |
| Introduction..... | 16 |
| 1 Les Catégories de technologie FTTx : | 16 |
| 2 Technologie FTTH | 19 |
| 3 Les couches du réseau d'accès : | 20 |
| 3.1 La couche d'infrastructure: | 20 |
| 3.2 La couche optique passive: | 20 |
| 3.3 La couche optique active: | 21 |
| 4 Différents Composants d'un réseau optique : | 22 |
| 4.1 OLT (Terminal de Ligne Optique) : | 22 |
| 4.2 Splitter (Diviseur) de Fibre Optique : | 22 |
| 4.3 ONT (Terminal de Réseau Optique) : | 23 |
| 4.4 Architecture du Réseau d'Accès GPON FTTH : | 23 |
| 5 Architecture du réseau d'accès optique FTTH. : | 24 |
| 5.1 Les topologies point-à-multipoint (P2MP) : | 25 |
| 5.2 Les topologies point-à-point (P2P) : | 25 |

| | |
|--|----|
| 6 Comparaison entre les deux architectures P2P et P2MP : | 26 |
| 7 Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network) : | 28 |
| 7.1 L'architecture d'un réseau PON: | 28 |
| 8 Principe de fonctionnement d'un réseau PON : | 30 |
| 8.1 Sens montant du type PON : | 30 |
| 8.2 Sens descendant du PON: | 31 |
| 9 Quelques avantages et inconvénients d'un réseau optique passif (PON) : | 31 |
| 9.1 Avantages : | 31 |
| 9.2 Inconvénients: | 31 |
| 10 Les différents standards d'un réseau PON : | 32 |
| 10.1 Norme APON (ATM PON): | 32 |
| 10.2 Norme BPON (Broadband PON): | 32 |
| 10.3 Norme EPON (Ethernet PON): | 32 |
| 10.4 Norme GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network): | 33 |
| 11 Sécurité dans GPON : | 34 |
| 12 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON : | 35 |
| 12.1 Avantages: | 35 |
| 12.2 Inconvénients: | 35 |
| 13 Comparaison des standards d'un réseau PON : | 35 |
| 14 Les techniques de multiplexages (FDMA, TDMA, CDMA, WDMA) : | 36 |
| 14.1 La technique FDMA: | 36 |
| 14.2 La technique TDMA: | 37 |
| 14.3 La technique CDMA: | 37 |
| 14.4 La technique WDMA: | 38 |
| 15 Conclusion : | 38 |
| Chapitre III Simulations & Résultats..... | 39 |
| Introduction : | 39 |
| 1 Présentation du logiciel OPTISYSTEM : | 39 |

| | |
|--|----|
| 2 Description du logiciel OPTISYSTEM : | 39 |
| 3 Critères de qualité d'une transmission : | 41 |
| 3.1 Le facteur de qualité: | 41 |
| 3.2 Le taux d'erreurs binaire (BER) : | 42 |
| 3.3 Le diagramme de l'œil: | 42 |
| 4 Schéma du réseau à simuler : | 43 |
| 4.1 Sens descendant: | 44 |
| 4.1.1 Un transmetteur optique : | 45 |
| 4.1.2 Un multiplexeur Optique : | 45 |
| 4.1.3 Circulateur bidirectionnel : | 45 |
| 4.1.4 Optical Null : | 45 |
| 4.1.5 Optical Delay (retard optique) : | 46 |
| 4.1.6 La fibre optique (ligne de transmission) : | 46 |
| 4.2 Coupleur optique: | 46 |
| 4.3 Blocs des utilisateurs: | 47 |
| 4.3.1 Splitter bidirectionnel : | 47 |
| 4.3.2 Un régénérateur du signal : | 47 |
| 4.3.3 Un analyseur du Taux d'Erreur Binaire : | 47 |
| 4.4 ONU | 47 |
| 4.4.1 Un amplificateur optique : | 48 |
| 4.4.2 Un récepteur optique : | 48 |
| 4.4.3 Un filtre passe bas : | 48 |
| 4.4.4 Emetteur optique : | 48 |
| 4.4.5 Dynamic Y select : | 49 |
| 5 Simulations & résultats : | 49 |
| 5.1 Signaux à la sortie pour une fibre d'1 KM : | 49 |
| 5.2 Signaux à la sortie pour une fibre de 100 KM : | 51 |
| 5.3 Signaux à la sortie pour une fibre de 147 KM : | 52 |

| | |
|---|----|
| 6 Influence de l'amplificateur optique sur la qualité de transmission : | 58 |
| 7 Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q : | 63 |
| 8 Effet de l'atténuation sur la transmission : | 64 |
| 9 Conclusion..... | 67 |
| ConclusionGénérale..... | 68 |
| Référencesbibliographiques..... | 70 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1: constitution d'une fibre optique..... | 3 |
| Figure 2: Schéma d'une fibre multimodes à saut d'indice..... | 4 |
| Figure 3: Schéma d'une fibre multimodes à gradient d'indice..... | 5 |
| Figure 4: Trajet du signale dans une fibre monomode..... | 5 |
| Figure 5: Les diamètres du cœur et de la gaine d'une fibre monomode..... | 5 |
| Figure 6: Différents types de connecteurs fibre optique. | 9 |
| Figure 7: Schéma d'une liaison optique [5]..... | 10 |
| Figure 8: Bloc de réception dans système de transmission optique.[6] | 12 |
| Figure 9: Schéma du réseau de télécommunications.[7]..... | 13 |
| Figure 10: Différentes technologies FTTX..... | 17 |
| Figure 11: Réseaux optique jusqu'au point de distribution.[30]..... | 18 |
| Figure 12: Réseaux optique jusqu'à l'utilisateur.[30] | 18 |
| Figure 13: Structure d'un réseau FTTH..... | 20 |
| Figure 14: Les couches d'un réseau d'accès..... | 21 |
| Figure 15: Composants du réseau d'accès GPON FTTH.[28] | 22 |
| Figure 16: Architecture du réseau d'accès GPON FTTH.[28]..... | 23 |
| Figure 17: point-à-multipoint (P2MP). point-à-point (P2P)..... | 25 |
| Figure 18: L'architecture unidirectionnelle [13]. | 27 |
| Figure 19: L'architecture bidirectionnelle [13]. | 27 |
| Figure 20: Schéma d'un réseau PON.[30] | 29 |
| Figure 21: Différents architecture utilisé en PON.[30]..... | 30 |
| Figure 22: Architecture Sens montant. | 30 |
| Figure 23: Architecture Sens descendant..... | 31 |
| Figure 24: Architecture GPON. | 34 |
| Figure 25: les fenêtres d'OPTISYSTEM 7.0..... | 40 |
| Figure 26: Bibliothèque des composants..... | 41 |
| Figure 27: Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON). | 44 |

| | |
|---|----|
| Figure 28: Sens descendant du réseau..... | 45 |
| Figure 29: coupleur optique..... | 46 |
| Figure 30: Bloc de l'entreprise. | 47 |
| Figure 31: ONU. | 48 |
| Figure 32: paramètres du projet. | 49 |
| Figure 33: Q Facteur. | 50 |
| Figure 34: diagramme de l'œil..... | 50 |
| Figure 35: Q facteur pour 100 km..... | 51 |
| Figure 36: diagramme de l'œil pour 100 km. | 52 |
| Figure 37: Q facteur pour 147 km..... | 53 |
| Figure 38: diagramme de l'œil pour 147 km. | 53 |
| Figure 39: Variation de la distance en fonction du facteur de qualité Q..... | 54 |
| Figure 40: Diagramme de l'œil par variation de la distance..... | 55 |
| Figure 41: Variation de la distance en fonction du facteur de quelité Q. | 56 |
| Figure 42: Diagramme de l'œil par variation de la distance (signal déformé). | 57 |
| Figure 43: amplificateur optique à la sortie de la fibre. | 58 |
| Figure 44: Variation du facteur de qualité Q en fonction de la distance..... | 59 |
| Figure 45: Diagramme de l'œil par variation de la distance (signal amplifié). | 60 |
| Figure 46: Variation du facteur de qualité Q en fonction de la distance..... | 61 |
| Figure 47: Diagramme de l'œil par variation de la distance (signal amplifié). | 62 |
| Figure 48: Courbe d'influence de variation du débit sur le facteur Q. | 63 |
| Figure 49 : Diagramme de l'œil en fonction de la variation du débit. | 64 |
| Figure 50: Courbe du facteur Q en fonction d'atténuation. | 65 |
| Figure 51: Diagramme de l'œil en fonction de variation d'atténuation..... | 66 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Comparaison entre fibre monomode et multimode. [3] | 6 |
| Tableau 2: comparaison entre P2P et P2MP.[12]..... | 26 |
| Tableau 3: récapitulatif des performances des PON normalisés : [23], [24], [25]..... | 36 |
| Tableau 4: DESCRIPTIF DES COMPOSONS UTILISES DANS LA SIMULATION..... | 43 |
| Tableau 5: Effet de variation de distance sur le facteur Q. | 54 |
| Tableau 6: Effet de variation de distance sur le facteur Q. | 56 |
| Tableau 7: Effet de variation de distance sur le facteur Q. | 58 |
| Tableau 8: Effet de variation de distance sur le facteur Q. | 61 |
| Tableau 9: variation du facteur de qualité en fonction du débit binaire..... | 63 |
| Tableau 10: Effet d'atténuation sur le facteur Q..... | 65 |

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Introduction Générale

Introduction générale :

L'évolution rapide des réseaux d'accès, qu'ils soient fixes, sans fil ou mobiles, a engendré un développement considérable des réseaux câblés à base de fibre optique. Ces avancées ont eu un impact majeur dans de nombreux domaines, civils et militaires. Les fibres optiques se démarquent par leur bande passante et leurs débits bien supérieurs à ceux offerts par d'autres technologies.

A l'arrivée de la fibre optique, le monde des télécommunications a connu un grand essor en compensant les performances et l'offre en bande passante et débits que le cuivre n'est plus en mesure de répondre face à la demande du très haut débit des nouveaux services multimédias.

Dans ce cadre, L'objectif de ce projet est d'analyser et d'optimiser les performances de transmission du système G-PON (Gigabit Passive Optical Network) en utilisant la technique de multiplexage en longueur d'onde (WDM). Plus précisément, nous allons étudier l'impact de différents paramètres, tels que la longueur de la fibre optique, le débit de liaison, l'atténuation et le facteur de qualité, sur l'efficacité et la fiabilité du système de transmission, répartie en trois chapitres, le premier chapitre est basé sur des généralités concernant la fibre optique, les différentes caractéristiques et composants de la chaîne de transmission optique.

Ensuite, le deuxième est consacré à une étude détaillée du réseau FTTH, des différentes technologies FTTx existantes ainsi que des principaux types tels que le B-PON, l'A-PON, le G-PON, etc. Il aborde leurs caractéristiques ainsi que les services offerts par le réseau FTTH.

Et pour finir, nous abordons le troisième chapitre qui traite de la simulation du réseau FTTH. Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement notre outil de travail, le logiciel "OPTISYSTEM". La simulation est basée sur la variation de la distance de la liaison, ainsi que sur la variation du débit de transmission et l'effet d'atténuation sur notre liaison optique, dans le but d'évaluer son efficacité

Problématique :

Dans le cadre de notre étude et simulation d'un réseau FTTH (Fiber To The Home) basé sur la norme G-PON (Gigabit Passive Optical Network), nous souhaitons aborder la problématique suivante :

Quels sont les principaux facteurs influençant les performances d'un réseau FTTH basé sur la norme G-PON, et comment ces facteurs affectent-ils la capacité du réseau à maintenir des débits élevés ?

Objectif :

L'objectif de ce projet est d'analyser et d'optimiser les performances de transmission du système G-PON (Gigabit Passive Optical Network) en utilisant la technique de multiplexage en longueur d'onde (WDM). Plus précisément, nous allons étudier l'impact de différents paramètres, tels que la longueur de la fibre optique, le débit de liaison, l'atténuation et le facteur de qualité, sur l'efficacité et la fiabilité du système de transmission.

*Chapitre I Généralités sur les systèmes de
Transmission optique*

1 Introduction :

La fibre optique a été développée dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (aujourd'hui Corning Incorporated) au cours des années 1970. Une fibre optique est un fil très fin en verre ou en plastique qui peut conduire la lumière. Elle est utilisée pour transmettre des données et de la lumière. Le signal lumineux permet de transporter de grandes quantités de données à la vitesse de la lumière sur des distances allant de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres. La fibre optique offre un débit d'information beaucoup plus élevé que les câbles coaxiaux et peut être utilisée pour créer un réseau à large bande passante qui peut prendre en charge la télévision, le téléphone, la visioconférence et les données informatiques.

2 Constitution d'une fibre optique :

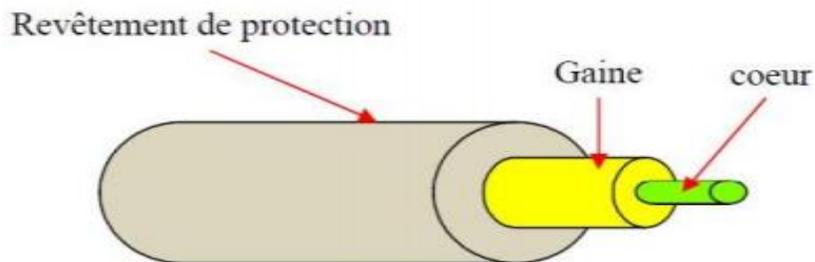


Figure 1: constitution d'une fibre optique [31]

La fibre optique est constituée de trois éléments :

Le cœur : Est un milieu dans lequel une quantité d'énergie lumineuse véhiculée au sein de la fibre sera confiné au voisinage du centre dont l'indice de réfraction est dans laquelle se propage la lumière.

La gaine : Elle est la partie qui enveloppe le cœur dont la réfraction est plus faible.

Revêtements de protection : Assure une protection mécanique de la fibre optique contre les parasites elle est de l'ordre de 230 μ m.

3 Types de fibre optique :

On peut classer les fibres optiques en deux catégories selon leurs diamètres et la propagation de la longueur d'onde.

3.1 Fibres multimodes:

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multimode si le cœur a un grand diamètre par rapport à la longueur d'onde. Pour les fibres de silice, ce diamètre est de l'ordre de 50 à 200 μm , tandis que pour les fibres plastiques, il est de 0,5 à 1 (mm). Dans une fibre multimode, les différents rayons se propagent longitudinalement grâce aux réflexions totales qu'ils subissent à l'interface entre le cœur et la gaine, en empruntant des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont différents, ce qui entraîne une dispersion dite multimodale. Ces fibres sont généralement utilisées pour les réseaux locaux (qui ne s'étendent pas sur plus de deux kilomètres), les débits bas ou encore pour des longueurs d'onde proches de 850 nm. Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (dont le débit est limité à 50 Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (dont le débit est limité à 1 Gb/s). [1]

3.2 Fibres optiques multimodes à saut d'indice :

Le type le plus simple de fibre multimodes est la fibre optique à saut d'indice (step-index fibre), dans laquelle les indices du cœur et de la gaine sont voisins de 1,5 pour les fibres de silice.

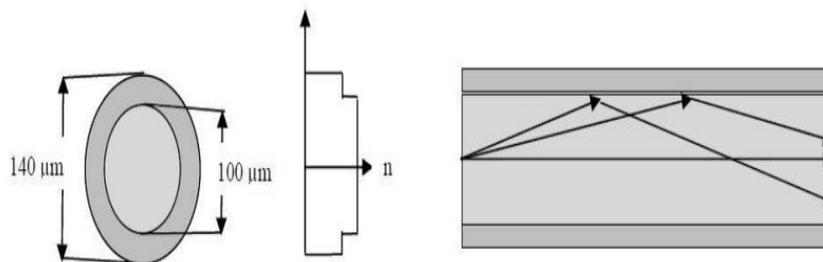


Figure 2: Schéma d'une fibre multimodes à saut d'indice [32]

3.3 Fibres optiques multimodes à gradient d'indice :

Les fibres à gradient d'indice (graded-index fibre) ont été spécialement conçues pour les télécommunications afin de minimiser l'effet de la dispersion intermodale sans trop réduire l'ouverture numérique et donc la puissance couplée. L'indice de leur cœur diminue suivant une loi d'allure parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine. Ainsi, les rayons suivent des trajectoires sinusoïdales, et ceux qui passent par le milieu d'indice le plus faible ont le trajet le plus long, ce qui augmente leur vitesse et permet d'égaliser approximativement les temps de propagation.

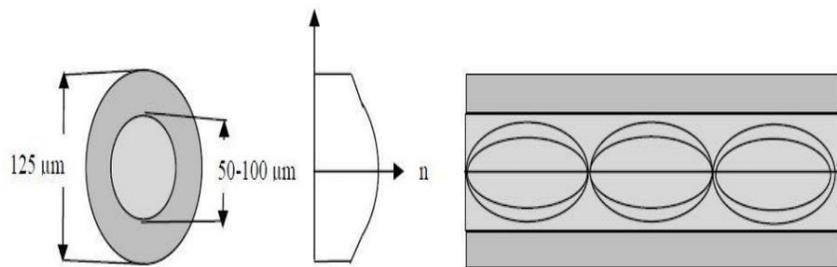


Figure 3: Schéma d'une fibre multimodes à gradient d'indice [32].

3.4 Fibres monomodes:

C'est le faible diamètre du cœur 8 à 10 μm , du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal, qui les différencie des précédentes. De ce fait, le trajet du rayon lumineux ne change pas, pour ainsi dire. Peu de rebonds, donc peu de pertes. C'est pour cette raison que ce type de fibre est le plus souvent réservé aux transmissions sur de très longues distances. [2]

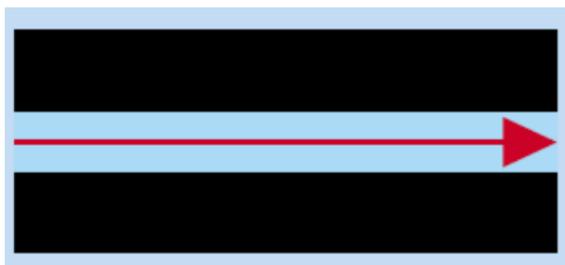


Figure 4: Trajet du signal dans une fibre monomode.

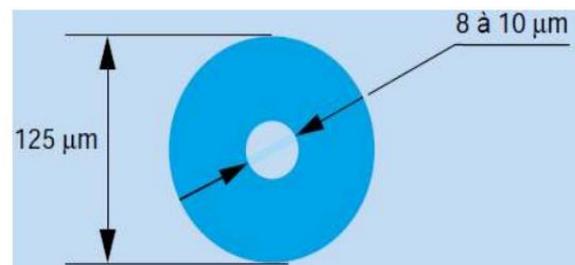


Figure 5: Les diamètres du cœur et de la gaine d'une fibre monomode.

4 Comparaison entre fibre monomode et multimode :

Le tableau ci-dessous résume une comparaison des deux fibres monomode et multimode :

| Fibre | Monomode | Multimode |
|-------------|-----------------------------|----------------|
| Dispersion | Faible | Forte |
| Connexion | Délicate | Facile |
| Atténuation | Faible | Forte |
| Utilisation | Haut débit, longue distance | Réseaux locaux |

Tableau 1: Comparaison entre fibre monomode et multimode. [3]

5 Caractéristiques d'une fibre optique :

L'atténuation et la dispersion sont des paramètres principaux de la caractérisation des fibres optiques :

5.1 L'Atténuation:

L'atténuation, également connue sous le nom de phénomène d'affaiblissement, se produit lorsqu'un signal optique perd de sa puissance lorsqu'il se propage dans une fibre optique.

L'atténuation est exprimée en dB ou dB/km. Dans une fibre optique, l'affaiblissement dépend de la longueur d'onde utilisée et de la distance parcourue.

L'atténuation dans la fibre a plusieurs origines :

- ✓ Les pertes par absorption moléculaire sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et par les impuretés qu'elle contient.
- ✓ Pertes par micro-courbures : elles sont principalement causées par les techniques de fabrication et se manifestent par une irrégularité de l'interface entre le cœur et la gaine.
- ✓ Pertes par courbures : lorsqu'on courbe une fibre, l'angle d'incidence diminue, ce qui a pour conséquence soit une conversion de mode, soit un rayonnement dans la gaine.

- ✓ Pertes par épissurage : elles sont causées par le couplage.

5.2 *La dispersion :*

Le phénomène de dispersion est responsable de l'élargissement des impulsions au fur et à mesure de leur propagation. Cela limite la bande passante du canal à fibre optique. Il existe deux types de dispersion :

5.2.1 *La dispersion chromatique :*

Cela résulte de la différence de vitesses de groupe des différentes composantes spectrales du signal de transmission.

5.2.2 *La dispersion modale :*

Cela résulte de la différence de temps de propagation des différentes modes qui se propagent dans la fibre multimode.

La dispersion est une grandeur très importante dans le domaine des télécommunications à longue distance.

Les fibres monomodes en silice offrent actuellement la meilleure fiabilité et la plus grande bande passante par rapport à toutes les autres fibres. Elles sont indispensables pour une propagation efficace du signal sur de longues distances ou pour le WDM.

6 *Avantages et inconvénients d'une fibre optique :*

6.1 *Avantages:*

Les fibres optiques offrent de nombreux avantages pour les télécommunications :

- Une bande passante optique très élevée, ce qui permet une grande capacité de transmission (débit de plusieurs téraoctets par seconde).
- Absence de rayonnement, ce qui élimine les interférences.
- Il est impossible d'écouter ou d'intercepter les signaux lumineux qui circulent à l'intérieur d'une fibre optique, ce qui rend son utilisation particulièrement intéressante pour les applications militaires.
- La perte de signal sur de longues distances est très faible.

- La durée de vie d'une fibre optique est de plusieurs décennies, soit plus de 100 ans environ.
- Le mode de transmission est le plus fiable et le plus sécurisé. La fibre ne perd pas de lumière, ce qui garantit une transmission sécurisée et exempte de perturbations.

- Légèreté : un câble de cuivre de 900 paires pèse environ 8 000 kg/km, tandis qu'un câble de fibre optique de 900 paires pèse environ 660 kg/km.
- Plage de températures environnementales : une fibre optique peut fonctionner dans une vaste plage de températures.

7 Inconvénients:

- les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer.
- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.
- Le verre de la fibre optique est fragile. Les brins de fibres optiques peuvent se casser facilement.
- La transmission sur fibre optique nécessite de répéter à des intervalles de distance.

8 Applications :

- Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.

- Réseaux locaux en environnement bruité.
- Médecine et chirurgie.
- Télévision : Téléconférence, liaison caméra studio.
- Capteurs.
- Téléphonie vocale et vidéo sur IP.

- Transmission numérique a haute débit.

9 Les types de connecteur de fibre optique :

Il existe plusieurs types de connecteurs de fibre optique. Voici les principaux LC, SC, ST, FC, E2000



Figure 6: Différents types de connecteurs fibre optique [33].

Ces connecteurs peuvent être utilisés pour relier des câbles de fibre optique à des équipements tels que des commutateurs, des routeurs et des convertisseurs de médias.

9.1 *Avantage:*

- Le raccordement est robuste et amovible.

9.2 *Inconvénient:*

- Ce raccordement engendre des pertes de lumière.

10 *Définition d'une liaison par fibre optique :*

Le principe des communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme de lumière d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. Pour ce faire, l'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur.

Ensuite, ce signal optique est injecté dans une fibre optique. À la réception, le signal subit le processus inverse, c'est-à-dire une conversion optique-électrique, grâce à un récepteur. [4]

En résumé, une liaison optique est constituée d'un émetteur et d'un récepteur qui sont reliés par une fibre optique.

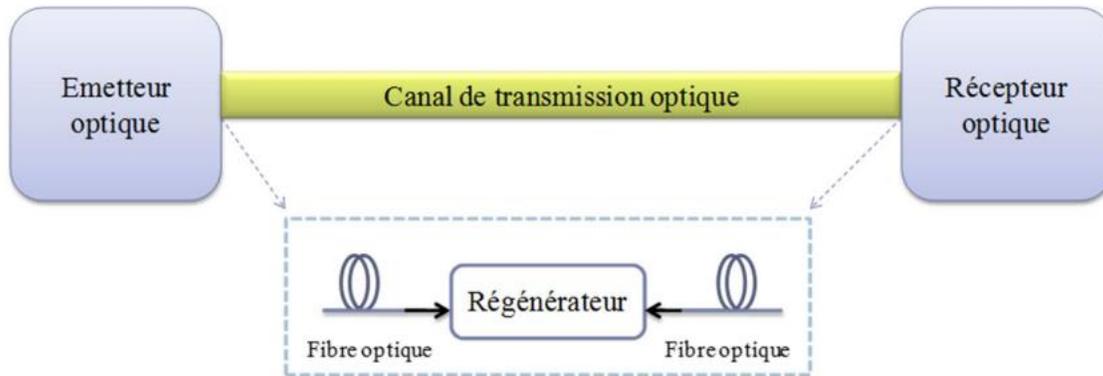


Figure 7: Schéma d'une liaison optique [5].

10.1 Emetteur (source optique):

Les sources optiques jouent un rôle essentiel dans le domaine de la communication par fibre optique. Elles sont chargées de convertir l'énergie électrique en énergie optique, ce que l'on appelle la conversion électro-optique.[5]

Dans le domaine des télécommunications optiques, il est essentiel d'utiliser des sources à spectre réduit pour répondre aux besoins de bande passante plus large. C'est pourquoi les diodes laser (DL) et les diodes électromagnétiques (DEL) sont couramment utilisées. [5]

10.2 Diode DEL (électroluminescente):

La diode électroluminescente (DEL) est le composant émetteur le plus simple. Elle est une source incohérente et polychromatique, avec un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif. Elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes. La DEL a un spectre typique d'émission continu spontané et assez large, ce qui la rend fortement sensible à la dispersion chromatique. [4]

10.3 Diode laser (DL):

Le laser est l'acronyme anglais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (en français, amplification de la lumière par émission stimulée de radiations). La diode laser est

une source cohérente et monochromatique utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance. Elle se caractérise par sa faible largeur spectrale et sa bande passante importante. Son spectre est monomode longitudinalement. [4]

10.4 Tronçons de fibres optiques:

Une fois que le signal optique est émis par la source et modulé selon le format choisi, il est introduit dans la première fibre optique du système. Ainsi, il peut commencer à se propager sur une distance allant de quelques centaines de kilomètres pour les systèmes métropolitains, à plus de 10 000 kilomètres pour les systèmes sous-marins les plus longs. La fibre optique, qui est un guide d'onde diélectrique de géométrie cylindrique, sert de support à la propagation de la lumière.

10.5 Amplificateurs:

Bien que l'atténuation des fibres optiques soit très faible, un signal qui se propage à travers celles-ci ne peut pas être détecté au-delà de quelques centaines de kilomètres de propagation, au maximum.

Afin de remédier à cela, des répéteurs, essentiellement composés d'amplificateurs, doivent être placés de manière périodique le long de la ligne optique. Ceci permet de redonner de l'énergie au signal, lui permettant ainsi d'être détecté de manière optimale.

10.6 Bloc récepteur:

Après avoir été propagé le long d'une série de fibres optiques et d'amplificateurs, le signal atteint le récepteur. Le rôle du récepteur est de convertir la séquence binaire en signal électrique. Le récepteur est équipé d'un détecteur, composé d'une ou plusieurs photodiodes, qui convertit le signal optique en signal électrique. Parfois, les photodiodes sont précédées d'un démodulateur qui permet de récupérer l'information binaire lorsqu'elle est stockée dans la phase du signal optique. Une fois détecté, le signal électrique alimente une bascule de décision, qui génère un signal binaire "1" si le signal électrique détecté est supérieur à un certain seuil appelé seuil de décision, et "0" s'il est inférieur. [6]

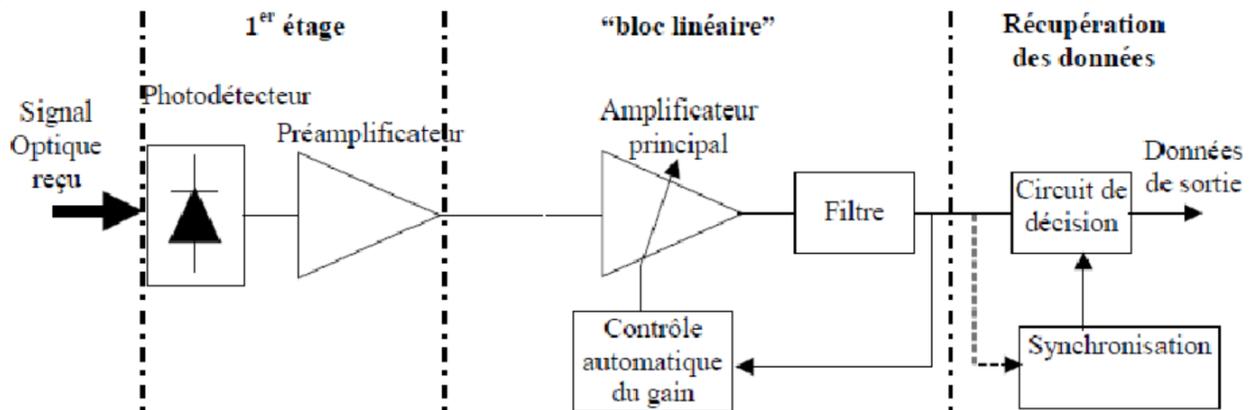


Figure 8: Bloc de réception dans système de transmission optique.[6]

Le bloc de 'premier étage' composé du photodétecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.

Le bloc 'linéaire', composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.

Le bloc 'récupération des données', correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.

Photodiodes PIN : Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

Amplification électrique : Le courant émis par la photodiode, malgré la présence d'un préamplificateur, reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur en sortie de photorécepteur.

Filtrage : Afin de minimiser le bruit en sortie du récepteur, il faut filtrer le signal numérique dans une bande ΔF qui soit le plus petit possible, tout en ne créant pas d'interférences intersymboles (IES), c'est-à-dire telle que la réponse du filtre à un symbole s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins.

Circuit de décision : Le circuit de décision effectue deux opérations : il échantillonne la tension électrique puis compare l'échantillon au seuil de décision pour décider que la donnée émise était un 0 (échantillon inférieur au seuil) ou un 1 (échantillon supérieur au seuil). L'échantillonnage

s'effectue à un instant appelé instant de décision. La séquence binaire obtenue est transmise à l'analyseur de taux d'erreur-également appelé valise de réception.

11 Réseaux Optiques :

Dans un réseau de télécommunications, la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'expédition jusqu'au point de destination, comporte trois maillons principaux :

- Les réseaux longue distance WAN
- Les réseaux métropolitains MAN
- Les réseaux locaux LAN

Un schéma de l'architecture de ces réseaux est illustré en Figure 9.

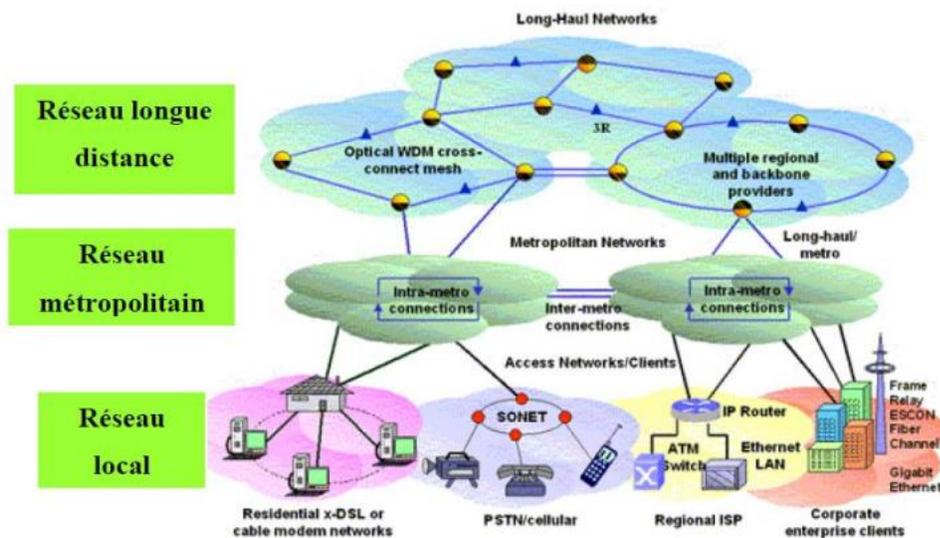


Figure 9: Schéma du réseau de télécommunications.[7]

Tous ces maillons doivent répondre à la demande croissante de capacité des réseaux de télécommunications, peu importe le type de service utilisé. [7]

La structure des différentes couches de ce réseau est détaillée ci-dessus.

11.1 Réseaux longue distance WAN:

Les réseaux longue distance sont très efficaces et permettent des transferts de débit jusqu'à des térabits par seconde. Cependant, ils nécessitent une conversion Optique/Electronique/Optique (O/E/O) pour resynchroniser, façonner et réamplifier les signaux. Les nouvelles générations de réseaux longue distance deviennent des optiques passifs, comprenant des compensateurs de dispersion, des amplificateurs optiques, des filtres et des isolateurs, qui permettent la transmission d'informations sur des milliers de kilomètres sans conversion électronique. [8]

11.2 Réseaux métropolitains MAN:

Les réseaux métropolitains ont généralement une longueur de 80 à 150 km avec six à huit nœuds, tandis que les réseaux d'accès ont une longueur de 10 à 40 km avec trois ou quatre nœuds et des embranchements vers des sites distants. Ils se distinguent nettement des réseaux longue distance par leurs lignes interurbaines et leurs multiplexeurs pour l'insertion et l'extraction. Ces réseaux introduisent un haut degré de connectivité optique et ont généralement un trafic important avec une concentration liée à l'interconnexion. Ils gèrent également divers formats, protocoles et données de transmission, souvent équipés de transpondeurs universels multibits. [6]

11.3 Réseaux locaux LAN:

Le réseau optique local, qui s'étend sur 2 à 50 km, est plus important que le réseau métropolitain en raison de la réduction des coûts et des exigences accrues en matière de multiservices. Il est souvent composé de fibres optiques et de conducteurs métalliques, atteignant le terminal abonné, malgré les débats en cours entre la fibre optique, le câble coaxial et la distribution par radiofréquence. [7]

12 Conclusion :

La fibre optique est considérée comme la meilleure méthode pour utiliser la lumière comme moyen de transmission dans les systèmes de télécommunications. À l'intérieur de la fibre, la lumière se propage tout en étant guidée vers le récepteur. Bien que la présence de pertes et d'atténuation dues à ses caractéristiques physiques rende la fibre optique imparfaite, elle reste tout de même un excellent moyen de transmission.

Chapitre II Etude détaillée du Réseau FTTH

Introduction

Les moyens de télécommunication ont connu une croissance exponentielle depuis le début du vingtième siècle, avec l'avènement de nouveaux services liés au multimédia. Une demande croissante de haut débit de transmission d'informations a été observée, ce qui a conduit à l'utilisation de la technologie FTTH pour connecter les particuliers dans un avenir proche. Ce moyen de transmission va entraîner un changement radical dans le domaine des télécommunications à travers le monde.

Actuellement, Internet est utilisé pour diffuser des programmes de télévision, contrôler des usines, interconnecter des banques, gérer des transmissions militaires, suivre des opérations médicales ou effectuer des appels téléphoniques. De plus en plus de services gourmands en bande passante, tels que le partage de contenus, le stockage en ligne, la télévision haute définition (TV3D et TVHD), les jeux en ligne, le Peer To Peer, l'enseignement à distance et la télémédecine, viennent s'ajouter à la liste des services couramment utilisés.

Ce chapitre porte sur une étude de la technologie FTTH (Fibre To The Home), qui permet d'accéder à la fibre optique jusqu'à l'abonné.

1 Les Catégories de technologie FTTx :

La figure (Figure 10) ci-dessous représente les différentes technologies FTTX [29]:

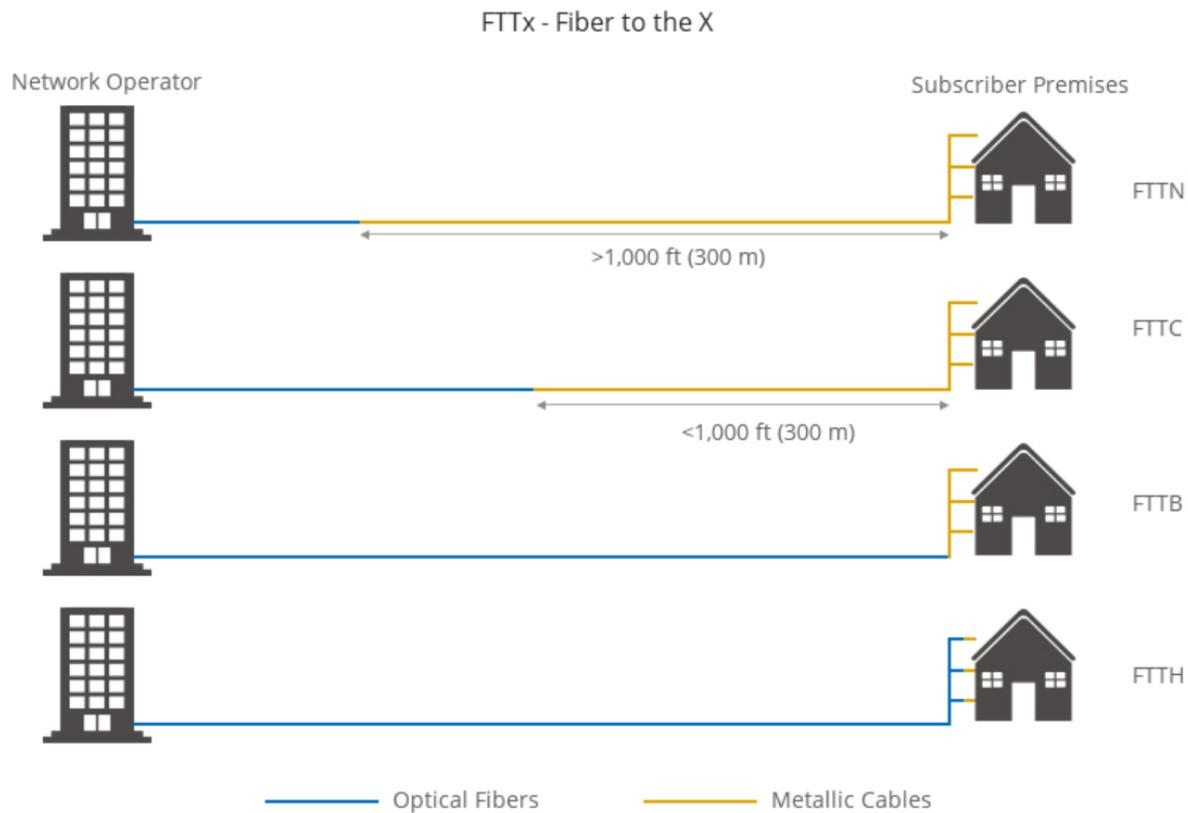


Figure 10: Différentes technologies FTTX [34]

Les réseaux FTTX peuvent être classés en deux grandes catégories :

- ✓ Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution.[30]

✓ Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur. [30]

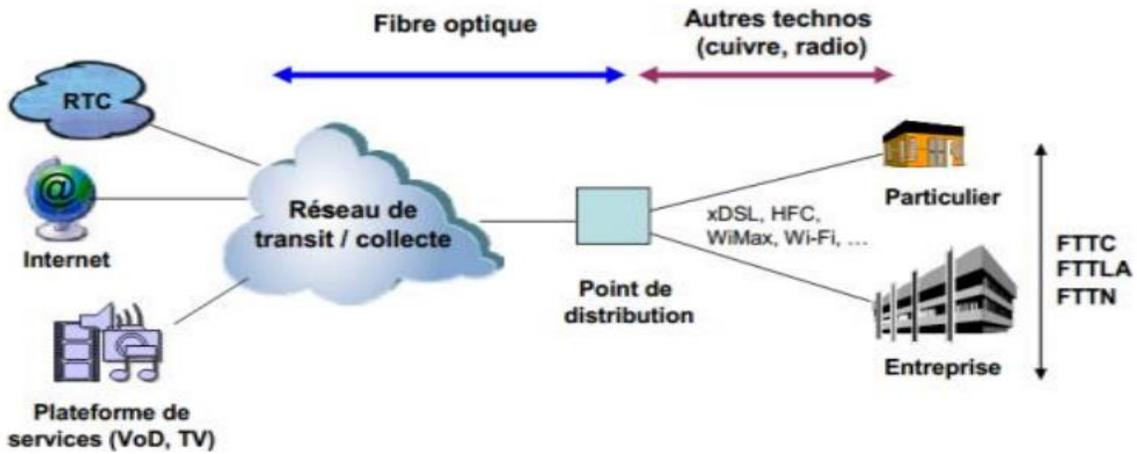


Figure 11: Réseaux optique jusqu'au point de distribution.[30]

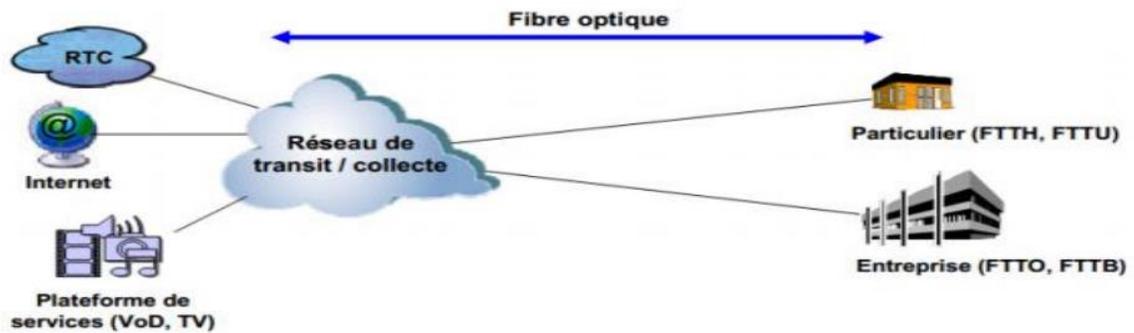


Figure 12: Réseaux optique jusqu'à l'utilisateur.[30]

2 Technologie FTTH

Les réseaux FTTH font partie de la famille des systèmes de transmission FTTx dans le domaine des télécommunications. Ces réseaux, considérés comme des réseaux à large bande, ont la capacité de transporter de grandes quantités de données à des débits très élevés jusqu'à un point proche de l'utilisateur final. La famille FTTx comprend plusieurs technologies utilisant la fibre optique comme moyen de transmission des signaux numériques.

Voici les services disponibles via la connexion haut débit FTTH :

- ✓ Service de télévision sur IP.
- ✓ Vidéo à la demande (VoD).
- ✓ Service audio à la demande.
- ✓ Bande passante configurable selon les besoins de l'utilisateur et/ou du service.
- ✓ Enseignement à distance.
- ✓ Téléphonie vocale et vidéo sur IP : connexion gérée par des commutateurs souples situés au centre.
- ✓ Jeux interactifs, y compris les jeux 3D et les jeux.
- ✓ VPN à large bande.
- ✓ Service VPN d'accès à distance.

Le FTTH (Fibre jusqu'à l'abonné - Fibre to the Home) désigne le déploiement de la fibre optique depuis le nœud de raccordement optique (où se trouvent les équipements de transmission de l'opérateur) jusqu'aux logements ou locaux professionnels. Le FTTH permet ainsi de profiter de tous les avantages techniques de la fibre sur l'ensemble du réseau jusqu'à l'abonné. Il se distingue d'autres types de déploiement qui combinent la fibre optique avec des réseaux câblés ou en cuivre. Il est actuellement possible d'atteindre des débits de 2,5 Gbit/s en téléchargement et de 1,2 Gbit/s en téléversement sur une même fibre, qui peut être partagée entre 64 clients.[9]

Le déploiement de la partie terminale des réseaux (boucle locale) se réfère à :

- ✓ Dans les rues (déploiement horizontal).

- ✓ Puis dans les immeubles (déploiement vertical dans les immeubles collectifs).
- ✓ Enfin jusqu'aux logements (raccordement final).

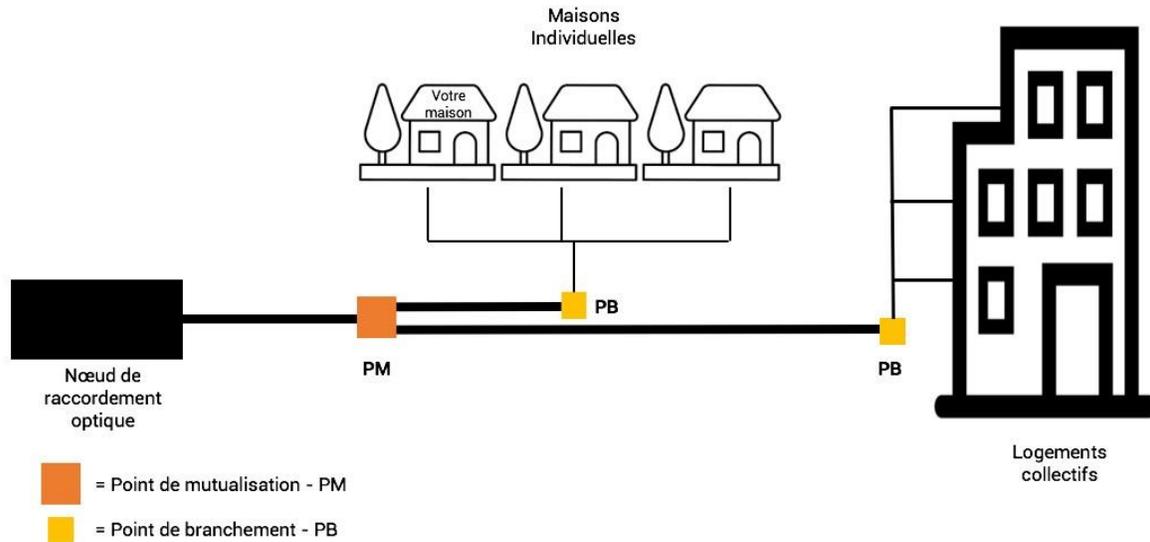


Figure 13: Structure d'un réseau FTTH [35].

3 Les couches du réseau d'accès :

Afin de concevoir et de dimensionner les différents éléments d'un réseau à très haut débit, il est nécessaire de structurer les différentes composantes en trois couches.

3.1 La couche d'infrastructure:

Composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques.

3.2 La couche optique passive:

Comprenant notamment les câbles optiques, les boîtiers d'épissurage et les baies de brassage.

3.3 La couche optique active:

Qui transporte les services. Elle est constituée des équipements actifs.

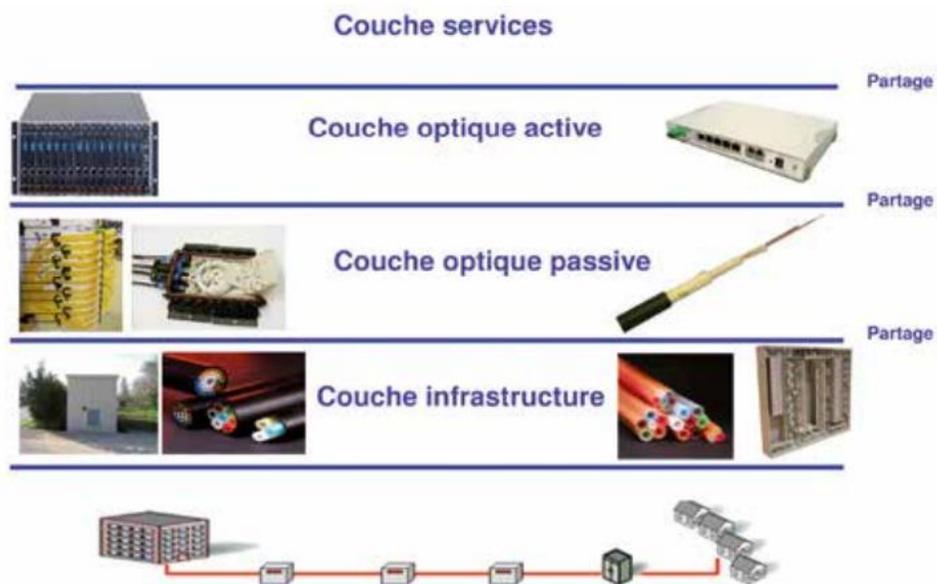


Figure 14: Les couches d'un réseau d'accès.

4 Différents Composants d'un réseau optique :

Un terminal de ligne optique (OLT), des répartiteurs à fibre optique et un terminal de réseau optique (ONT) sont les trois composants du réseau d'accès GPON FTTH. [28]

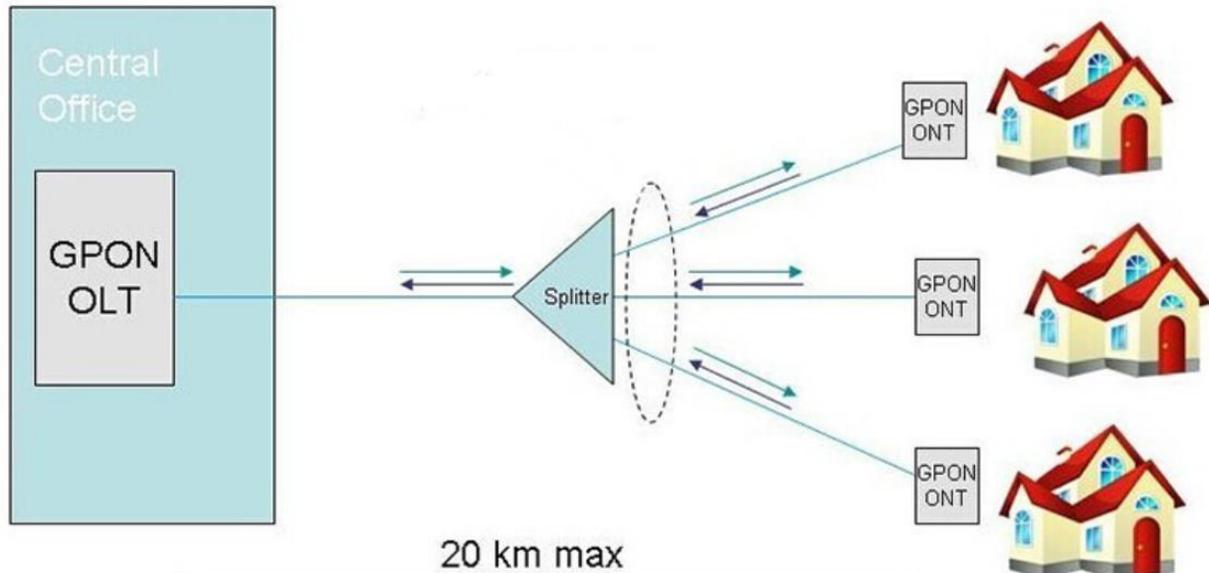


Figure 15: Composants du réseau d'accès GPON FTTH. [28]

4.1 OLT (Terminal de Ligne Optique) :

OLT est un dispositif qui sert de point terminal pour fournir les services d'un réseau optique passif. Il est généralement situé dans un centre de données ou dans la salle d'équipement principale. C'est le moteur qui alimente le système FTTH. Un OLT convertit les signaux optiques en signaux électriques et les transmet à un commutateur Ethernet central. Il remplace les multiples commutateurs de couche 2 au niveau de la distribution. Le signal de distribution OLT est relié au câblage du backbone ou horizontal par des répartiteurs optiques, qui sont connectés au terminal du réseau optique à chaque sortie de la zone de travail. [28]

4.2 Splitter (Diviseur) de Fibre Optique :

Le splitter de fibre optique divise la puissance du signal. Cela signifie que chaque lien de fibre qui entre dans le splitter peut être divisé en un certain nombre de fibres qui sortent du splitter. En général, trois niveaux de fibres ou plus correspondent à deux niveaux de splitters ou plus. Cela permet à de nombreux utilisateurs de partager chaque fibre. Le splitter de fibre optique passif

possède les caractéristiques suivantes : une large plage de longueurs d'onde de fonctionnement, une faible perte d'insertion et une uniformité, des dimensions minimales, une grande fiabilité, ainsi qu'une politique de protection et une capacité de survie du réseau. [28]

4.3 *ONT (Terminal de Réseau Optique) :*

L'ONT est déployé dans les établissements du client. Il est connecté à l'OLT au moyen d'une fibre optique et ne comporte aucun élément actif dans la liaison. Dans le cas du GPON, l'émetteur-récepteur de l'ONT assure la connexion physique entre les établissements du client et l'OLT du bureau central. [28]

4.4 *Architecture du Réseau d'Accès GPON FTTH :*

Avec une topologie en arborescence, le GPON permet d'optimiser la couverture tout en minimisant la fragmentation du réseau, réduisant ainsi la puissance optique requise. [28]

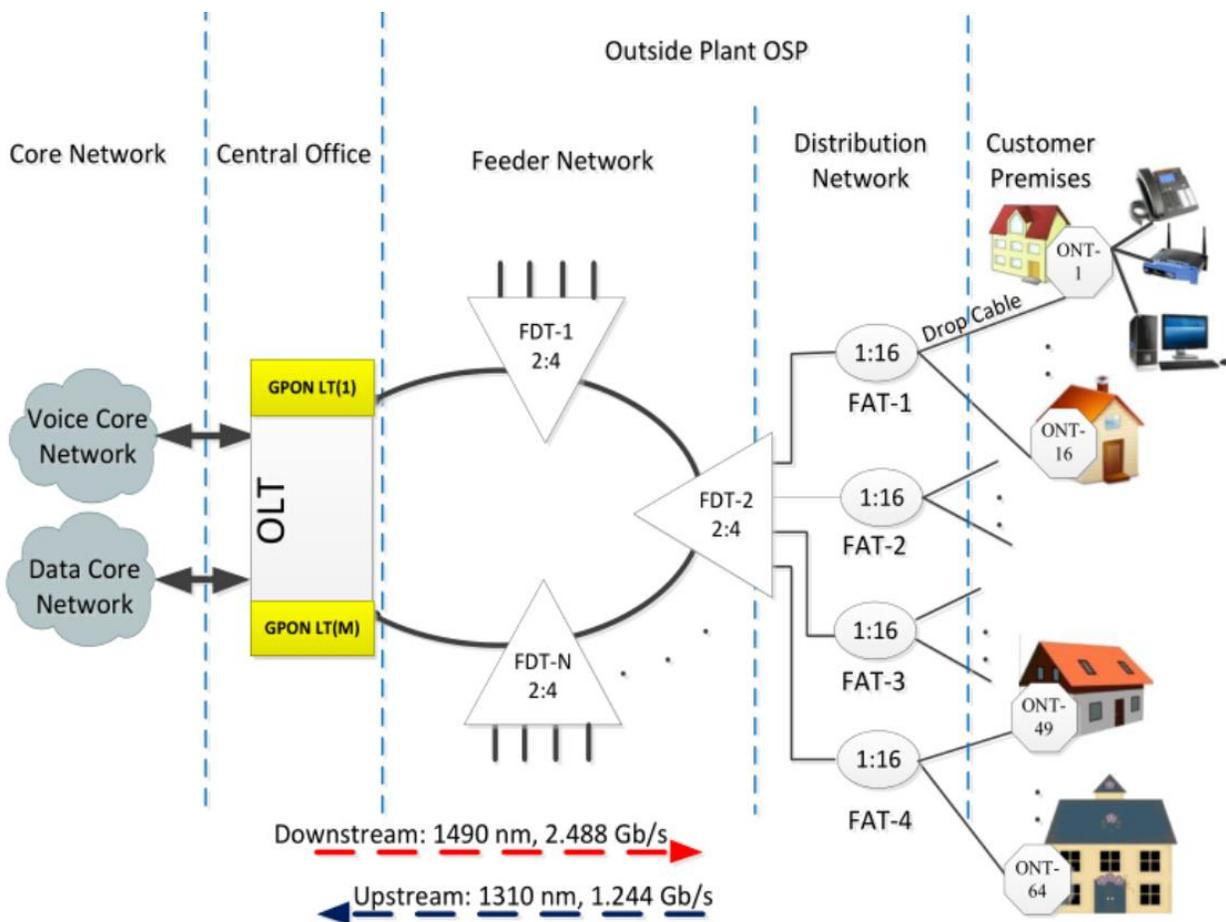


Figure 16: Architecture du réseau d'accès GPON FTTH.[28]

Un réseau d'accès FTTH est composé de cinq zones : une zone centrale, une zone de bureau central, une zone de distribution d'alimentation, une zone de distribution et une zone d'utilisateur (voir l'image ci-dessus).

5 Architecture du réseau d'accès optique FTTH. :

Deux types de topologies physiques permettent d'acheminer la fibre jusqu'au client final :

- ✓ Architecture point à point
- ✓ Architecture point à multipoint.

L'architecture du réseau fait référence à la conception d'un réseau de communication et fournit un cadre pour spécifier le réseau, des composants physiques aux services. Le réseau d'accès est la partie du réseau de communication qui se connecte directement aux utilisateurs finaux.

Afin de spécifier l'interopérabilité des infrastructures passives et actives, il est important de faire une distinction claire entre les topologies utilisées pour le déploiement des fibres (l'infrastructure passive) et les technologies utilisées pour transporter les données sur les fibres (l'équipement actif). Les deux topologies les plus couramment utilisées sont le point-à-multipoint, qui est souvent combiné avec une technologie de réseau optique passif (PON), et le point-à-point, qui utilise typiquement des technologies de transmission Ethernet.[11]

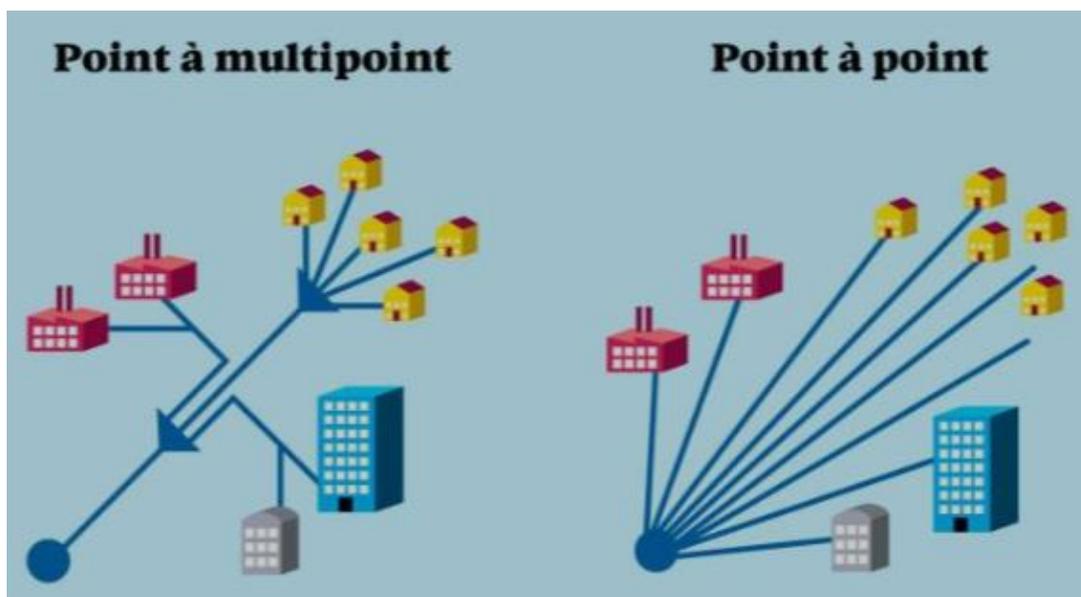


Figure 17: point-à-multipoint (P2MP). point-à-point (P2P)

5.1 Les topologies point-à-multipoint (P2MP) :

Permettent d'utiliser une seule fibre "alimentatrice" du bureau central (ou POP) jusqu'à un point de ramification, d'où une fibre individuelle et dédiée est déployée vers chaque abonné. Une technologie de réseau optique passive telle que le GPON utilise des diviseurs optiques passifs au(x) point(s) de ramification, et les données sont encodées de manière à ce que les utilisateurs ne reçoivent que les données qui leur sont destinées.

La technologie Active Ethernet peut également être utilisée pour contrôler l'accès des abonnés dans une topologie point-à-multipoint, en nécessitant le déploiement de commutateurs Ethernet sur le terrain. Chaque client dispose d'une connexion logique point-à-point, et l'utilisateur final n'envoie et ne reçoit que les données qui lui sont destinées. [11]

5.2 Les topologies point-à-point (P2P) :

Fournissent des fibres dédiées entre le nœud d'accès (ou POP) et l'abonné. Chaque abonné dispose d'une connexion directe avec une fibre dédiée. Le trajet du bureau central (CO) jusqu'au client peut être composé de plusieurs sections de fibres reliées par des connecteurs ou des raccords, mais il fournit un chemin optique continu du nœud d'accès jusqu'à la maison. [11]

La plupart des déploiements FTTH point-à-point existants utilisent Ethernet, qui peut être combiné avec d'autres systèmes de transmission pour les applications commerciales (par exemple, Fibre Channel, SDH/SONET). Cette topologie peut également inclure des technologies PON en plaçant des diviseurs optiques passifs dans le nœud d'accès.

Quelle que soit l'architecture du réseau, il est important de prendre en compte l'impact de la conception sur l'évolutivité du réseau à l'avenir. Un réseau FTTH est un investissement à long terme, et la durée de vie prévue du câble souterrain est d'au moins 25 ans. Cependant, sa durée de fonctionnement sera probablement bien plus longue. Étant donné que l'équipement actif risque d'être mis à niveau plusieurs fois au cours de cette période, il devrait être possible de réutiliser l'infrastructure. Les décisions prises en début de projet FTTH auront donc des conséquences à long terme. [11]

6 Comparaison entre les deux architectures P2P et P2MP :

Le tableau ci-dessus résume une comparaison des deux architectures point à point et point à multipoint :

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

Tableau 2: comparaison entre P2P et P2MP.[12]

Dans une architecture P2MP, deux autres architectures peut exister appelés unidirectionnel et bidirectionnel [13].

Dans l'architecture unidirectionnel deux fibres sont utilisées, une pour sens en amont et l'autre pour le sens en aval [13].

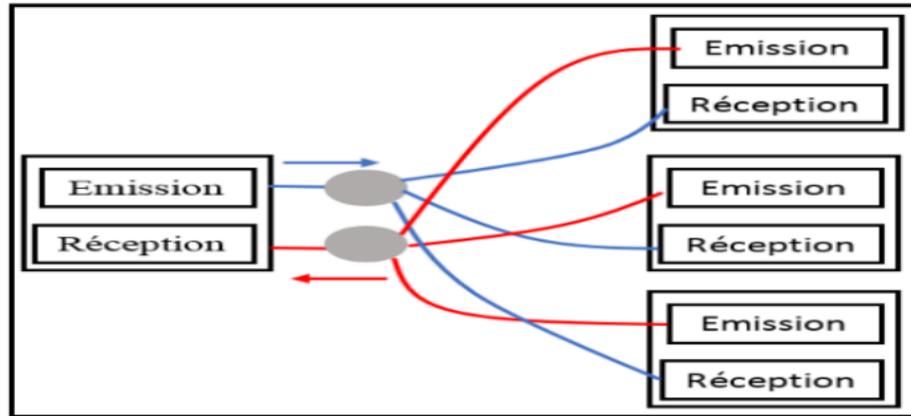


Figure 18: L'architecture unidirectionnelle [13].

Dans une architecture de réseau PON bidirectionnelle, les données sont transmises en amont et en aval à l'aide d'un seul câble à fibre optique. Contrairement à l'architecture unidirectionnelle qui nécessite des fibres séparées pour la transmission dans chaque direction, l'utilisation d'une seule fibre pour les deux sens présente un avantage majeur : la réduction de la quantité de fibre nécessaire, ce qui peut entraîner une diminution des coûts de déploiement [13].

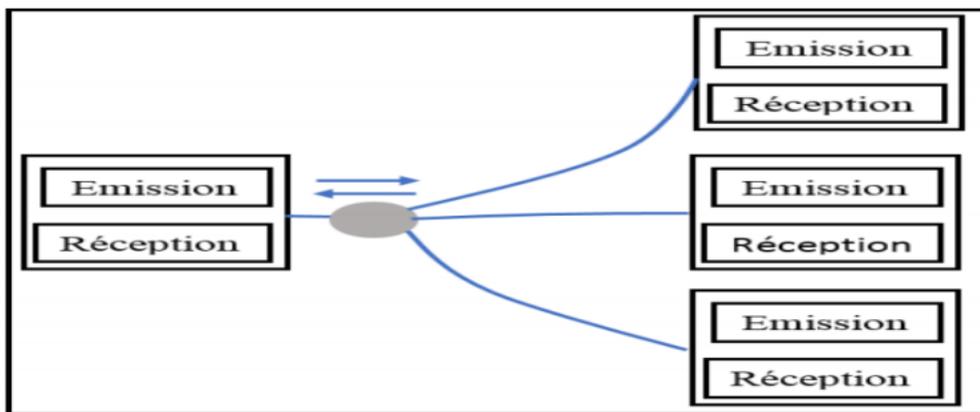


Figure 19: L'architecture bidirectionnelle [13].

7 Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network) :

L'acronyme PON (Passive Optical Network) signifie "Réseau d'accès optique passif". Il s'agit d'un réseau de fibres optiques utilisant une topologie point à multipoint et des séparateurs optiques pour transmettre des données d'un point d'émission unique à plusieurs points d'extrémité utilisateur. Dans ce contexte, le terme "passif" fait référence à l'état non alimenté des fibres optiques et des composants de division/combinaison.

Contrairement à un réseau optique actif, l'énergie électrique n'est nécessaire qu'aux points d'émission et de réception, ce qui rend un PON intrinsèquement plus efficace en termes de coûts d'exploitation. Les réseaux optiques passifs sont utilisés pour transmettre simultanément des signaux dans les directions montante et descendante entre les points d'extrémité de l'utilisateur. [14]

7.1 L'architecture d'un réseau PON:

La figure (20) montre l'architecture d'un réseau PON qui est similaire à celle d'un réseau point à multipoint. Dans cette architecture, un coupleur (splitter) diffuse simultanément le même signal à plusieurs récepteurs. L'objectif d'un réseau PON est de réduire l'utilisation des fibres optiques. Il s'agit de réseaux en forme d'arbre, où chaque nœud permet de séparer la fibre optique en branches secondaires connectées à un coupleur. Plusieurs coupleurs peuvent être utilisés le long d'une fibre optique [15].

L'utilisation de coupleurs permet de créer des arbres de transmission passifs. Ces arbres se caractérisent par une seule fibre partant de l'OLT, qui est un élément fondamental des réseaux PON. Les réseaux PON utilisent à la fois le multiplexage temporel et le multiplexage en longueur d'onde pour minimiser le nombre de fibres optiques utilisées dans le réseau. .[15]

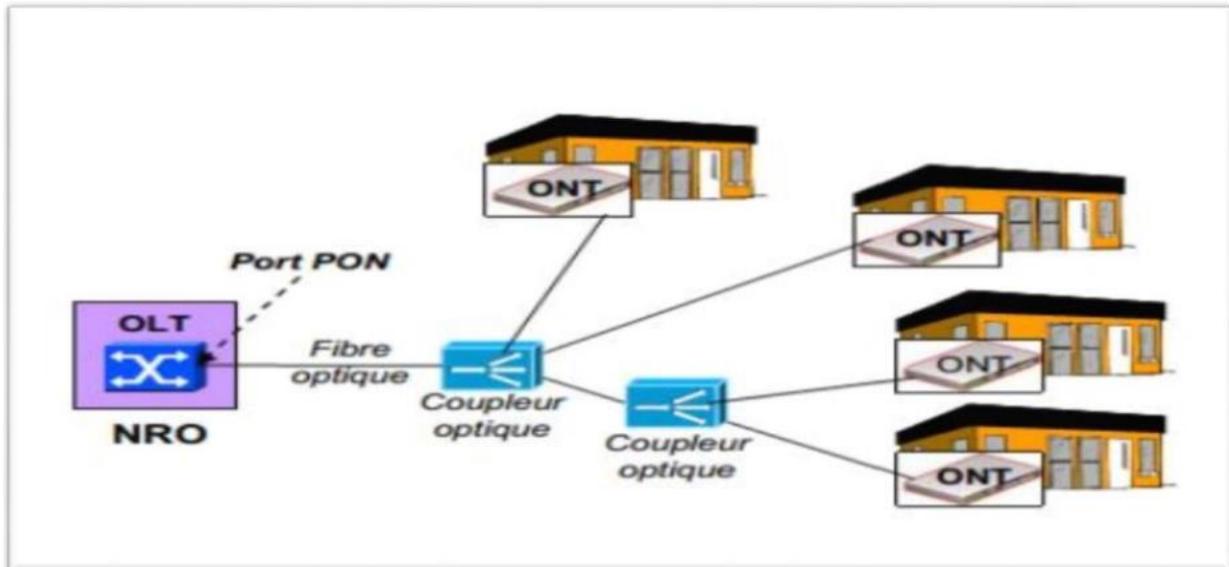


Figure 20: Schéma d'un réseau PON.[30]

Les architectures PON peuvent être organisées en :

- a) **Étoile** (un coupleur en sortie de chaque port PON de l'OLT dessert n ONT).[30]
- b) **Arbre** (en cascade des coupleurs, un coupleur pouvant desservir plusieurs sous-branches).[30]
- c) **Bus** (sérialisation des coupleurs). [30]

C'est l'architecture en arbre qui est la plus souvent déployée, avec deux niveaux de coupleurs optiques (par exemple, un coupleur situé au NRO ou dans un sous-répartiteur optique, et un deuxième coupleur situé au plus près des abonnés).[30]

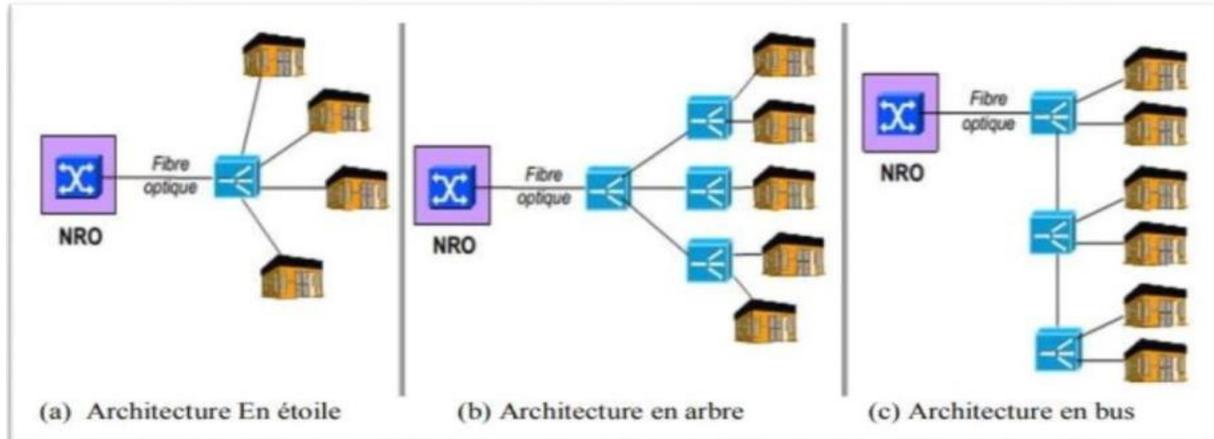


Figure 21: Différents architectures utilisées en PON.[30]

8 Principe de fonctionnement d'un réseau PON :

8.1 Sens montant du type PON :

Étant donné que le coupleur est passif et que toutes les ONT émettent à la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT atteignent simultanément le coupleur, ils sortiront sous la forme d'un mélange indéchiffrable pour l'OLT. C'est pourquoi on utilise une technique de partage du temps de parole appelée Time Division Multiplexing (TDM) [16].

L'OLT attribue successivement à chaque ONT un intervalle de temps (quelques microsecondes) pendant lequel cette ONT est autorisée à émettre seule (voir figure 22). Si une ONT a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui accorde plus de temps de parole, et inversement, elle réduit le temps de parole des ONT qui émettent peu.

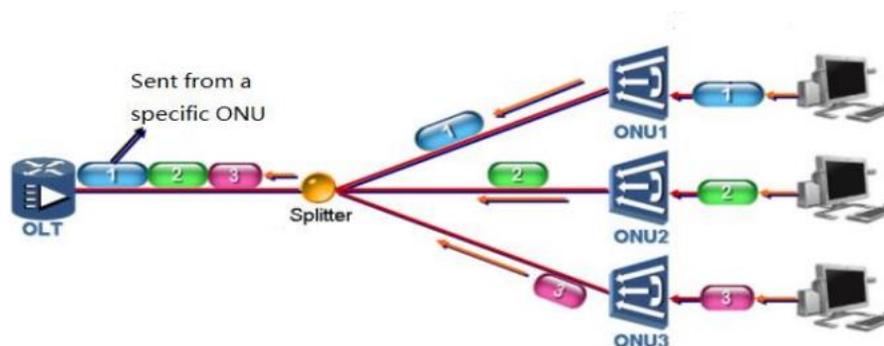


Figure 22: Architecture Sens montant.

8.2 Sens descendant du PON:

Dans le sens descendant, chaque abonné ne reçoit que les informations qui le concernent. Tous les OLT reçoivent l'ensemble des données, mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné, tel que montré dans la figure .23 [16].

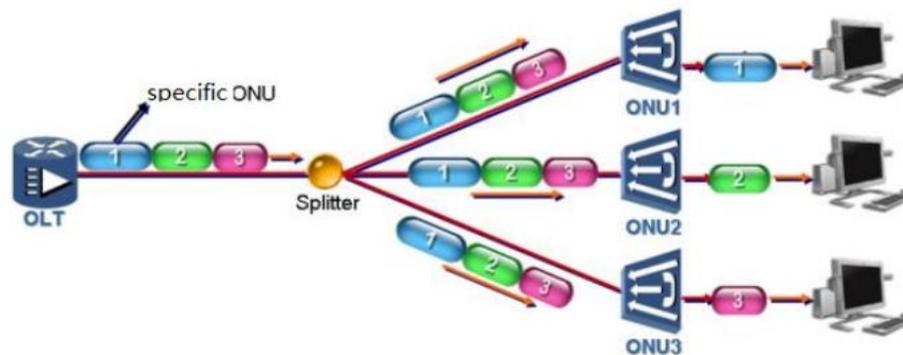


Figure 23: Architecture Sens descendant.

9 Quelques avantages et inconvénients d'un réseau optique passif (PON) :

9.1 Avantages :

- ✓ Peu de fibres optiques sont employées dans le réseau PON
- ✓ Aucun local alimenté en énergie n'est nécessaire dans ce type de réseau, ce qui entraîne des économies d'investissement, d'exploitation et de maintenance.
- ✓ Au niveau de la centrale, le PON permet d'économiser de l'espace grâce au partage des ports des équipements actifs entre plusieurs abonnés.

9.2 Inconvénients:

- ✓ Si un réseau est construit sur une architecture PON strict, celui-ci ne peut être partagé entre plusieurs fournisseurs des services qu'au niveau transport : un opérateur unique gère les OLT, et transporte jusqu'à l'abonné les données apportées aux centrales par des fournisseurs de service.

10 Les différents standards d'un réseau PON :

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

10.1 Norme APON (ATM PON):

Un protocole PON basé sur ATM Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournit un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbits/s ou 155Mbits/s en aval, 155Mbits/s en amont) développé par FSAN, Avec l'APON, les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre. Il a ensuite été nommé Broadband Réseaux optiques passifs (B-PON) par l'UIT-T [17], [18].

10.2 Norme BPON (Broadband PON):

Une évolution du protocole APON précédent C'est un réseau de distribution en fibre optique à large bande a été introduite en 1999 ; il a été accepté par l'Union internationale des télécommunications (UIT) L'architecture du BPON est très flexible et s'adapte bien à différents scénarios. En vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo) Ce réseau opère avec des débits down Stream/up Stream : 155Mb/s, 155Mb/s, 622Mb/s ,622Mb/s. [19]

10.3 Norme EPON (Ethernet PON):

Est un réseau dans lequel la topologie point-multipoint (P2MP) est mise en application. Le travail de EPON a été commencé en mars 2001 par le groupe d'étude IEEE 802.3ah et terminé en juin 2004 basé sur Ethernet comme protocole de transport, la norme E-PON supporte le service « triple play : Voie, Data et la vidéo sur IP ». Les données sont transmises en paquets de longueurs

variables jusqu'à 1.518 octets. [20] [21]

10.4 Norme GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network):

GPON a une capacité améliorée par rapport à APON et BPON. Il est défini par les séries de recommandations UIT-T G.984.1 à G.984.4 qui définissent les caractéristiques générales. GPON peut transporter non seulement Ethernet, mais le trafic ATM et TDM en utilisant la méthode d'encapsulation GPON (GEM).

Les principales caractéristiques de la norme GPON sont :

- ✓ Portée physique d'au moins 20 km, avec prise en charge d'une portée logique jusqu'à 60 km.
- ✓ GPON prend en charge le service triple play et plusieurs options de débit de données utilisant le même protocole.
- ✓ Gestion de services de bout en bout avec de bonnes capacités (exploitation, administration, maintenance et fourniture).

GPON identifie 7 combinaisons de vitesses de transmission comme suit :

0.15552 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

0.62208 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

1.24416 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

0.15552 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

0.62208 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

1.24416 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

2.48832 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

-Parmi eux, 1.24416 Gbit / s en up, 2.48832 Gbit / s en down est le courant dominant combinaison de vitesse prise en charge à l'heure actuelle.

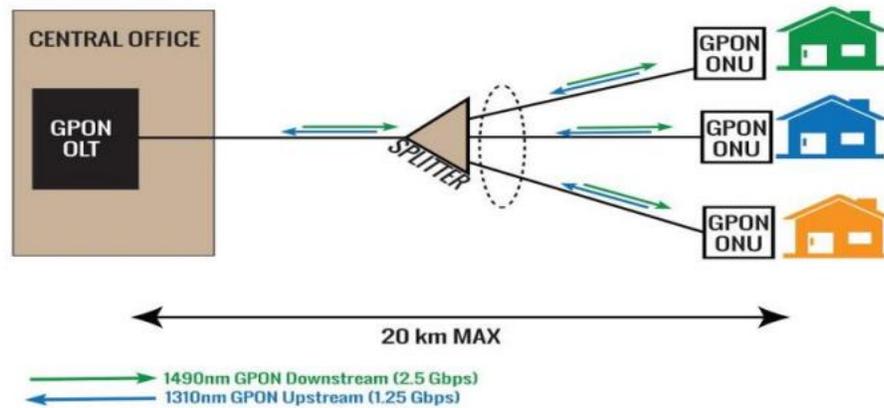


Figure 24: Architecture GPON [36].

11 Sécurité dans GPON :

Les données en aval sont diffusées à toutes les ONU et chaque ONU alloue du temps pour traiter les données qui lui appartiennent. Par conséquent, un utilisateur malveillant peut reprogrammer sa propre ONU et capturer toutes les données en aval appartenant à toutes les ONU connectées à cette OLT.

En amont, GPON utilise une connexion point à point pour assurer la sécurité du trafic contre l'écoute. Par conséquent, toutes les informations confidentielles en amont (telles que la clé de sécurité) peuvent être envoyées en texte clair.

La recommandation GPON G.984.3 décrit l'utilisation d'un mécanisme de sécurité des informations pour garantir que les utilisateurs n'ont accès qu'aux données qui leur sont destinées. L'algorithme de chiffrement à utiliser est le standard de chiffrement avancé (AES). Il accepte des clés de 128, 192 et 256 bits, ce qui rend le chiffrement extrêmement difficile à compromettre. Une clé peut être modifiée périodiquement sans perturber le flux d'informations pour améliorer la sécurité.[22]

12 Avantages et inconvénients d'un réseau GPON :

12.1 Avantages:

- ✓ La structure est passive car elle est à base de coupleurs optiques.
- ✓ Le génie civil est optimisé et le coût réduit.
- ✓ Infrastructure partiellement partagée (économie sur la fibre).
- ✓ L'architecture est favorable à la diffusion.
- ✓ L'OLT est partagé (un duplexeur au central pour 32 clients)

12.2 Inconvénients:

- ✓ Le débit étant partagé, il est donc limité.
- ✓ La synchronisation est complexe pour le sens montant.
- ✓ La sécurité des données en réception n'est pas optimale car l'ensemble des utilisateurs reçoit l'ensemble du flux émis par le central. Cependant la confidentialité est assurée par un Processus de cryptage (G983/G984). Il reste la sécurité du réseau qui peut être mise à mal par injection malveillante de signal perturbateur d'un ONT.
- ✓ L'ONU doit fonctionner au débit agrégé (2,5 Gbit/s par exemple), qui est très supérieur Au débit utile.

13 Comparaison des standards d'un réseau PON :

Le tableau ci-dessous résume une comparaison des récapitulatif des performances des PON normalisés :

| NORMES | APON | BPON | EPON | GPON |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------|--------------------------|
| Standard | ITU G983 | ITU G983 | IEEE 802.3ah | ITU G984 |
| Débit descendant | 155Mbit/s ou 622Mbit/s | 155Mbit/s ou 622Mbit/s | 1.25Gbit/s | 2.5Gbit/s |
| Débit montant | 155Mbit | 155Mbit/s ou 622Mbit/s | 1.25Gbit/s | 1.25Gbit/s |
| Modes de trafic | ATM | ATM | Ethernet | GEM (ATM, Ethernet, TDM) |
| Nombre de clients | 64 max | 64 max | 32 max | 64 max |
| Longueur d'onde (descendant/montant) | 1490nm/1310nm | 1490 nm/1310nm | 1490nm/1310 nm | 1490 nm/1310 nm |
| Budget optique | 15/20/25 dB | 15/20/25 dB | 15/20 dB | 15/20/25/28dB |
| Distance OLT-ONT | 20 Km | 20 Km | 20 Km | 60 Km |

Tableau 3:récapitulatif des performances des PON normalisés : [23], [24], [25].

14 Les techniques de multiplexages (FDMA, TDMA, CDMA, WDMA) :

14.1 La technique FDMA:

La méthode de multiplexage FDMA (Frequency Division Multiple Access) consiste à attribuer une bande de fréquence à chaque utilisateur. C'est le procédé le plus ancien de ce genre, principalement en raison de sa faisabilité technologique.

En utilisant un filtre sélectif basé sur la fréquence désirée de l'utilisateur, il est possible de récupérer les données lors de la réception. [26].

14.2 La technique TDMA:

La technique TDMA (Accès Multiple par Répartition dans le Temps) repose sur la répartition des ressources dans le temps, ce qui permet la transmission de signaux provenant de plusieurs utilisateurs sur une même bande de fréquence. Chaque utilisateur dispose d'une courte période de temps appelée "slot". Dans le cadre de la téléphonie fixe et mobile GSM, le TDMA est utilisé pour partager les ressources entre les opérateurs de téléphonie. Sur le plan optique, le TDMA peut être mis en œuvre de deux manières : l'ETDM (Multiplexage Temporel Électrique) où le multiplexage et le démultiplexage sont réalisés électroniquement, et l'OTDMA (Multiplexage Temporel Optique) où ces opérations sont réalisées optiquement. La technique FDMA (Frequency Division Multiple Access) est un procédé de multiplexage qui alloue une bande de fréquence à chaque utilisateur. Il s'agit du plus ancien des procédés de ce type, principalement en raison de sa faisabilité technologique. [26].

En utilisant un filtre sélectif accordé sur la fréquence de l'utilisateur souhaité, les données peuvent être récupérées lors de la réception [26].

Ce qui est avantageux avec cette technique, c'est qu'elle ne requiert aucune gestion de fréquences pour les séquences de données à transmettre.

14.3 La technique CDMA:

La technique CDMA (Accès Multiple par Répartition de Code) permet la transmission simultanée des données aux utilisateurs sur la même bande de fréquences. Elle repose sur le principe d'étalement de spectre, où plusieurs émetteurs transmettent une information en même temps à l'aide d'un même récepteur sur une même bande de fréquence. Les avantages du CDMA dans le domaine des radiofréquences ont suscité l'intérêt des chercheurs et des techniciens en télécommunications pour son application dans le domaine optique et photonique. [27].

14.4 La technique WDMA:

L'adaptation optique de cette méthode est la technique d'accès multiple par longueur d'onde (WDMA - Wavelength Division Multiple Access). Son fonctionnement consiste à envoyer des séquences de données modulées par plusieurs lasers de longueurs d'ondes variées sur une surface même connexion à l'aide d'un multiplexeur WDM. Lorsque le signal est reçu, un filtre optique choisit la longueur d'onde qui correspond au signal à récupérer. [25].

L'un des avantages de cette technique est de ne pas nécessiter la gestion temporelle des séquences de données à transmettre.

15 Conclusion :

Ce chapitre présente une vue d'ensemble du réseau PON (Passive Optical Network) qui permet de réduire l'usage des infrastructures en fibre optique pour desservir plusieurs utilisateurs, ce qui entraîne une réduction des coûts de gestion et de maintenance du réseau.

Ensuite, nous explorons les différents standards de réseau PON tels que APON, BPON, EPON, et GPON, qui sont au cœur de notre intérêt. Ces normes visent à offrir des débits allant jusqu'à 2 Gbit/s sur une distance de 20 km. Les performances, telles que la sécurité et la fiabilité, sont notre objectif, et nous nous efforçons de les atteindre en utilisant les techniques de multiplexage les plus avancées, telles que FDMA, TDMA, CDMA et WDMA, qui ont été discutées dans ce chapitre.

Chapitre III Simulations & Résultats

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les travaux de simulation que nous avons effectués pour évaluer les performances d'un système WDM-GPON à l'aide du logiciel Optisystem.

Nous commencerons par donner une brève description des différentes applications du logiciel Optisystem. Ensuite, nous décrirons le modèle de liaison optique proposé ainsi que les différentes architectures WDM-GPON simulées.

Enfin, nous présenterons les résultats obtenus.

1 Présentation du logiciel OPTISYSTEM :

Le logiciel OPTISYSTEM, développé par une société canadienne appelée OPTIWAVE, est un logiciel de conception de systèmes de communication optiques. Il permet aux chercheurs, scientifiques et ingénieurs en télécommunications optiques de modéliser, simuler, analyser et concevoir des systèmes optiques. Les systèmes d'OPTISYSTEM possèdent un environnement de simulation puissant et une définition hiérarchique des composants et systèmes. Leurs capacités peuvent être facilement étendues grâce à l'ajout continu de composants et d'interfaces par l'utilisateur, ce qui les rend compatibles avec une large gamme d'outils. La démarche à suivre se divise en deux étapes :

1. Construire le schéma bloc.
2. Analyser le schéma.

2 Description du logiciel OPTISYSTEM :

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

- ✓ La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique
- ✓ Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.

- ✓ La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- ✓ L'espace libre pour les systèmes optique.
- ✓ La conception d'anneau SONET/SDH
- ✓ La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

OPTISYSTEM comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties :

- ✓ Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- ✓ Vue d'ensemble du projet : permet la visualisation miniature de layout en cours d'édition.
- ✓ Bibliothèque : une base de données de divers composant existant, elle contient tout type de modèle qui permet de réaliser les différents schémas.

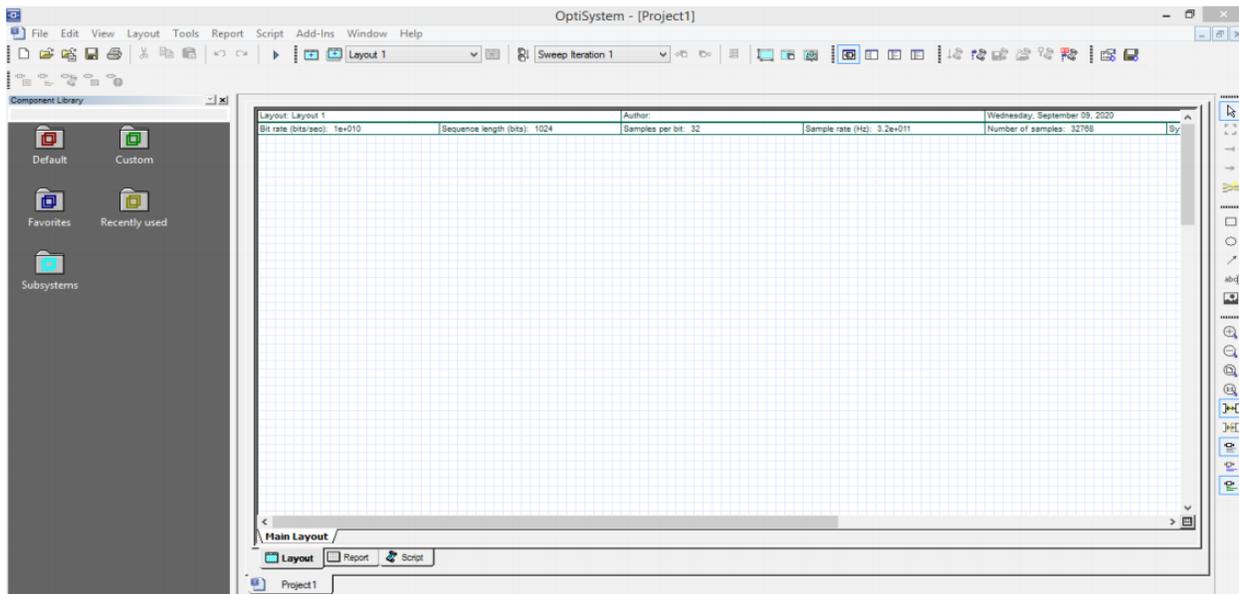


Figure 25: les fenêtres d'OPTISYSTEM 7.0.

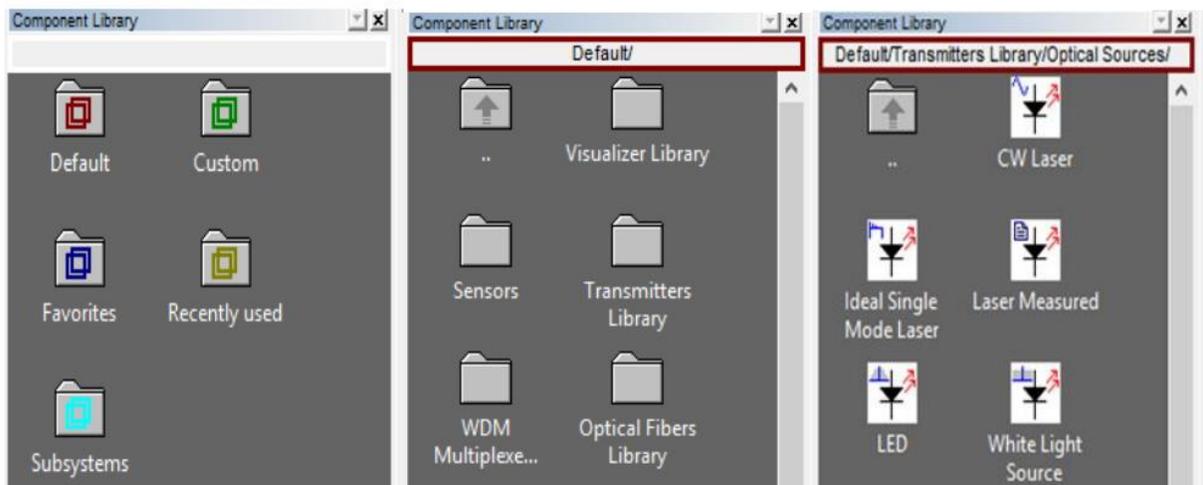


Figure 26: Bibliothèque des composants.

3 Critères de qualité d'une transmission :

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

3.1 Le facteur de qualité:

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

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_2}$$

Ou I_1 et I_0 sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile, δ_1 et δ_2 sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

3.2 Le taux d'erreurs binaire (BER) :

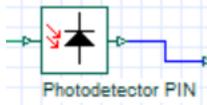
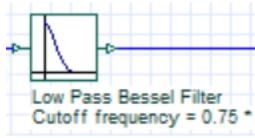
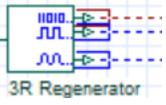
Etant donné que les systèmes de transmission des données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires, le critère le plus intuitif permettant d'évaluer la qualité du signal transmis est la comparaison entre la séquence binaire à l'émission et celle à la réception nous parlons dans ce cas de taux d'erreur binaire. Il est défini par le rapport entre le nombre de bit envoyés et le nombre de bit reçus . Il se définit comme suit :

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

3.3 Le diagramme de l'œil:

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Il s'agit d'une méthode visuelle pour évaluer la qualité d'un signal. Si la qualité du signal est mauvaise, le diagramme de l'œil est fermé. Plus le facteur de qualité est faible, plus il est difficile de détecter le signal sans erreurs.

Le tableau ci-dessous est utilisé à fin de mieux comprendre les schémas des titres suivants :

| Eléments | Symbole | Description |
|-----------------------|---|---|
| Photodetector PIN |  | Photodiode détecte le signal optique et le convertit en signal électrique |
| LowPass Bessel Filter |  | Filtre le signal et minimiser le bruit en sortie du récepteur PIN. |
| 3R Regenerator |  | Ce composant permet d'analyser et de calculer le BER. |

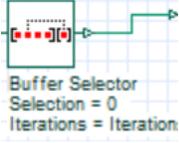
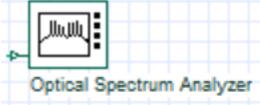
| | | |
|---------------------------|---|---|
| BER Analyzer |  | Mesure les performances du système et affiche les deux valeurs de facteurs de qualité Q et BER et le diagramme de l'œil. |
| Buffer Selector |  | Est utilisé pour sélectionner les données de signal associées à une itération spécifiée dans une série d'itérations. |
| Optical spectrum analyzer |  | Est un instrument de précision conçu pour mesurer et afficher la distribution de puissance d'une source optique sur une plage de longueur d'onde spécifiée. |

Tableau 4: DESCRIPTIF DES COMPOSANTS UTILISES DANS LA SIMULATION.

4 Schéma du réseau à simuler :

Notre travail consistera à fournir des connexions en fibre optique à des zones ou des endroits spécifiques.

Dans la figure 27 nous présentons le schéma du réseau FTTH pour l'architecture (WDM-GPON) sur le simulateur Optisystem.

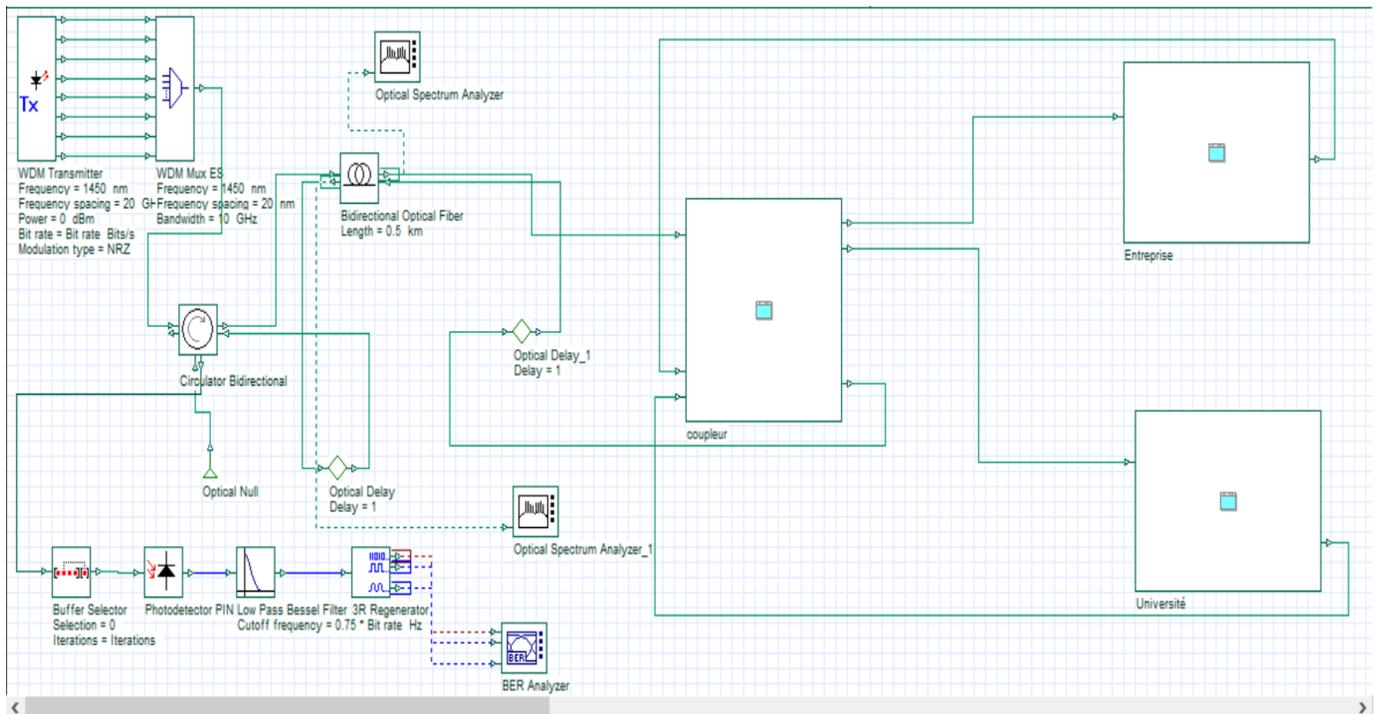


Figure 27: Schéma du réseau FTTH (WDM-GPON).

4.1 Sens descendant:

Dans la figure ci-dessous, nous présentons le sens descendant du réseau GPON.

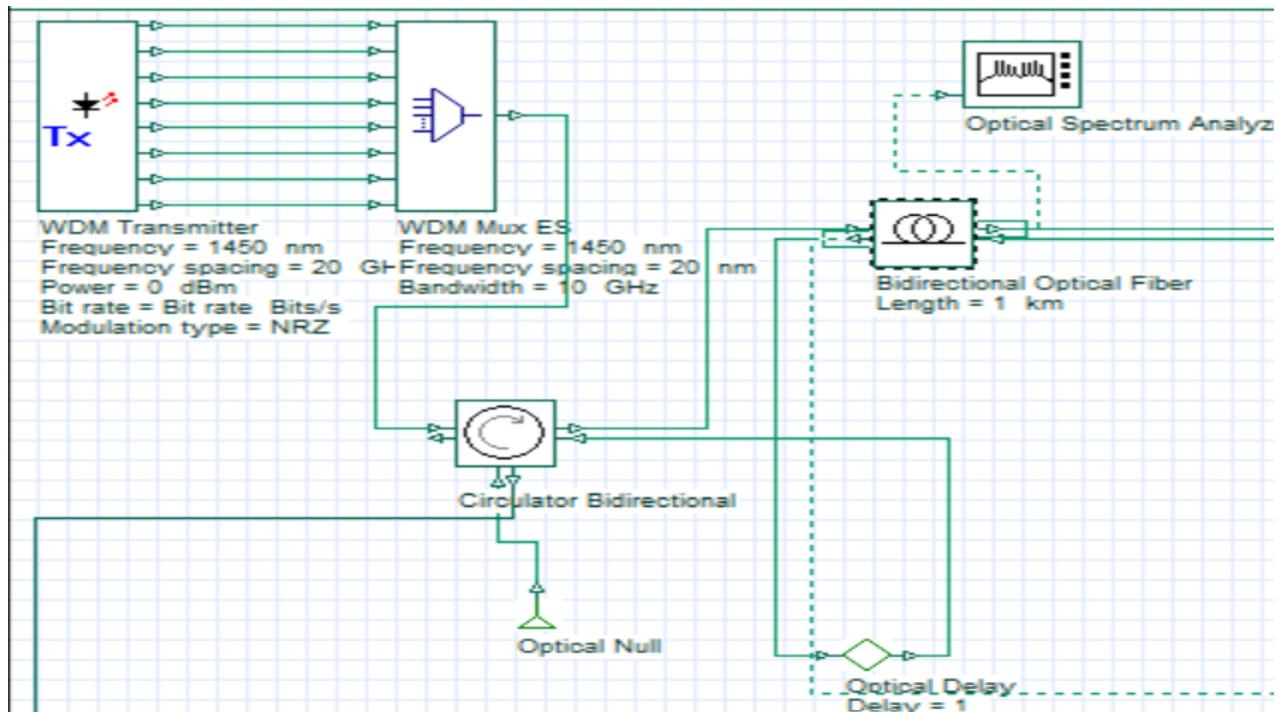


Figure 28: Sens descendant du réseau.

Comme la figure ci-dessus montre le réseau est composé par :

4.1.1 Un transmetteur optique :

Le transmetteur WDM est constitué d'un module comprenant généralement une diode LASER émettant à une fréquence de 1450 nm, avec un espacement de 20 nm, ainsi qu'un modulateur de type NRZ.

4.1.2 Un multiplexeur Optique :

Utilisez le type de multiplexage WDM avec une longueur d'onde de 1450 nm, un espacement de 20 nm et une bande passante de 10 GHz.

4.1.3 Circulateur bidirectionnel :

Un composant à trois ports est conçu de telle manière que chaque faisceau entrant ressort par le port suivant.

4.1.4 Optical Null :

Son rôle est de générer un signal optique de valeur nulle.

4.1.5 Optical Delay (retard optique) :

Le retard du signal optique est généré en envoyant des signaux nuls au port de sortie. Cela entraîne un retard des étapes de transfert des données du port d'entrée du composant vers le port de sortie, en fonction du nombre d'étapes choisi dans les propriétés du composant.

4.1.6 La fibre optique (ligne de transmission) :

Une fibre bidirectionnelle d'une longueur de 1 km avec une atténuation de 0,2 dB/km en termes de puissance.

4.2 Coupleur optique:

Le coupleur optique présenté sur la figure suivante (Figure 29) est un équipement passif. Son rôle est de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant. Ce coupleur est composé d'un multiplexeur/démultiplexeur optique à une longueur d'onde de 1450 nm pour la multiplication et 1270 nm pour la démultiplication. L'espacement entre les deux longueurs d'onde est de 20 nm et la bande passante est de 10 GHz respectivement.

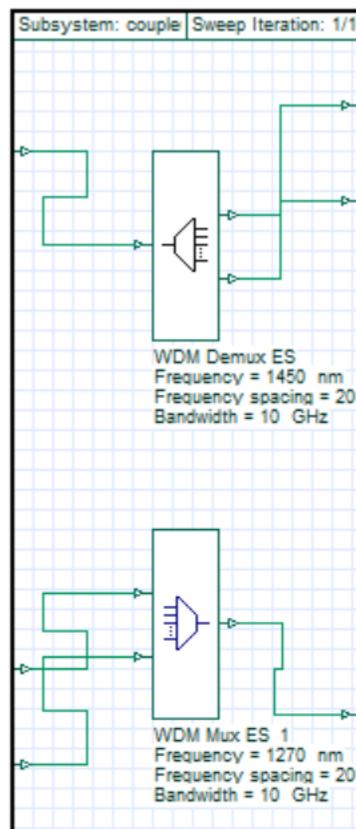


Figure 29: coupleur optique.

4.3 Blocs des utilisateurs:

Dans notre travail, nous avons installé deux zones (blocs) de fibre optique, à savoir l'université et l'entreprise. La figure ci-dessous illustre les composants de chaque bloc respectif.

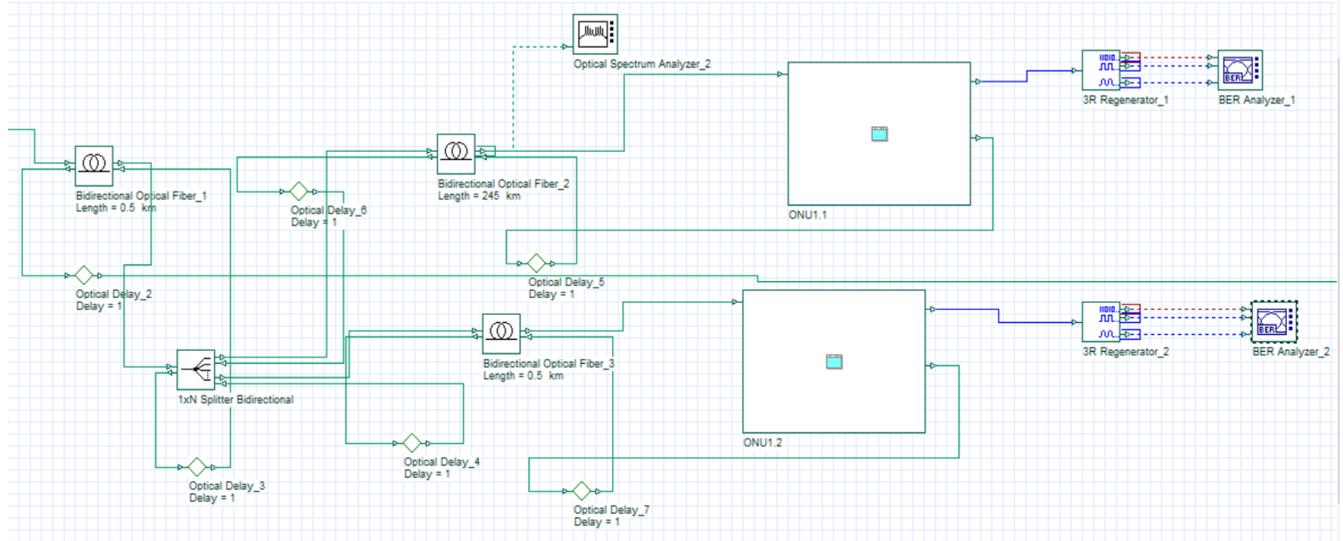


Figure 30:Bloc de l'entreprise.

Tous les blocs disposent des mêmes composants et parmi ces derniers on trouve :

4.3.1 Splitter bidirectionnel :

Ce composant est un répartiteur et combineur de puissance avec un nombre arbitraire de ports d'entrée et dans cette simulation on a mis 5 ports.

4.3.2 Un régénérateur du signal :

type 3R.

4.3.3 Un analyseur du Taux d'Erreur Binaire :

C'est la méthode utilisée pour évaluer les performances d'un système, et comparer les bits envoyés avec les bits reçus, grâce à cet outil, on visualise le diagramme de l'œil.

4.4 ONU

L'abonné est représenté par une ONU (Optical Network Unit) dans la structure FTTH. Cette ONU comprend une partie émission et une partie réception qui contiennent des composants tels que le photodétecteur et le filtre de Bessel. Chaque ONU est reliée à un répéteur qui assure les fonctions de régénération, de remise en forme et de resynchronisation du signal.

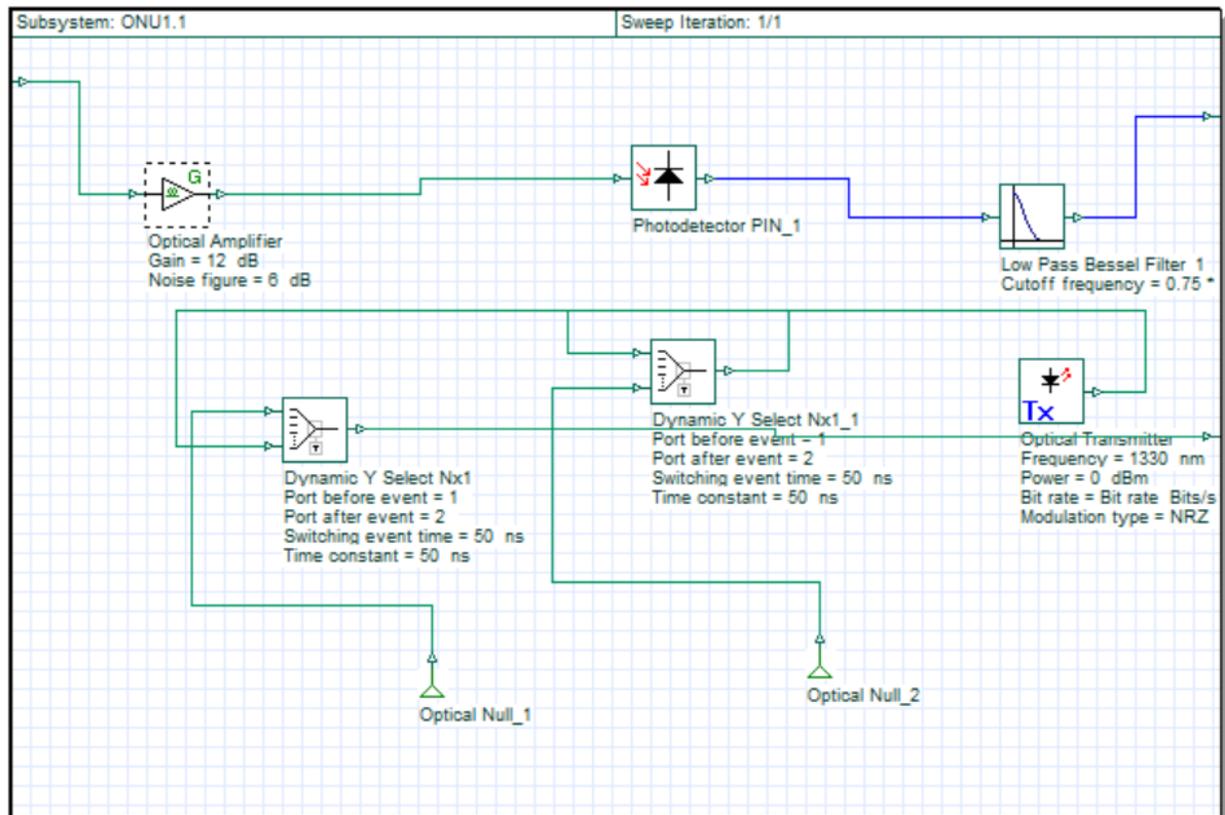


Figure 31: ONU.

Dans la partie de réception on trouve :

4.4.1 Un amplificateur optique :

D'un gain de 12 dB et d'un bruit de 6 dB, qui amplifie le signal lumineux.

4.4.2 Un récepteur optique :

Photodiode PIN, transformant le signal optique en électrique, qui permet d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçues.

4.4.3 Un filtre passe bas :

Du type Bessel permettant d'extraire l'information utile d'une fréquence de Coupure $= 0.75 * \text{symbole rate}$ (taux du symbole). Par contre dans la partie de transmission on dispose.

4.4.4 Emetteur optique :

L'émetteur optique est une version à canal unique du composant émetteur WDM, composé d'une fréquence de 1330 nm et d'un modulateur de type NRZ.

4.4.5 Dynamic Y select :

Il permet de contrôler les différentes valeurs d'atténuation et les valeurs de phases.

5 Simulations & résultats :

Dans cette partie, nous allons simuler le projet FTTH-GPON et visualiser les résultats obtenus. Cela inclut le facteur Q ainsi que le diagramme de l'œil. Nous allons également faire varier la distance de la fibre pour mieux observer les différences. La figure ci-dessous présente les paramètres de l'ensemble du projet.

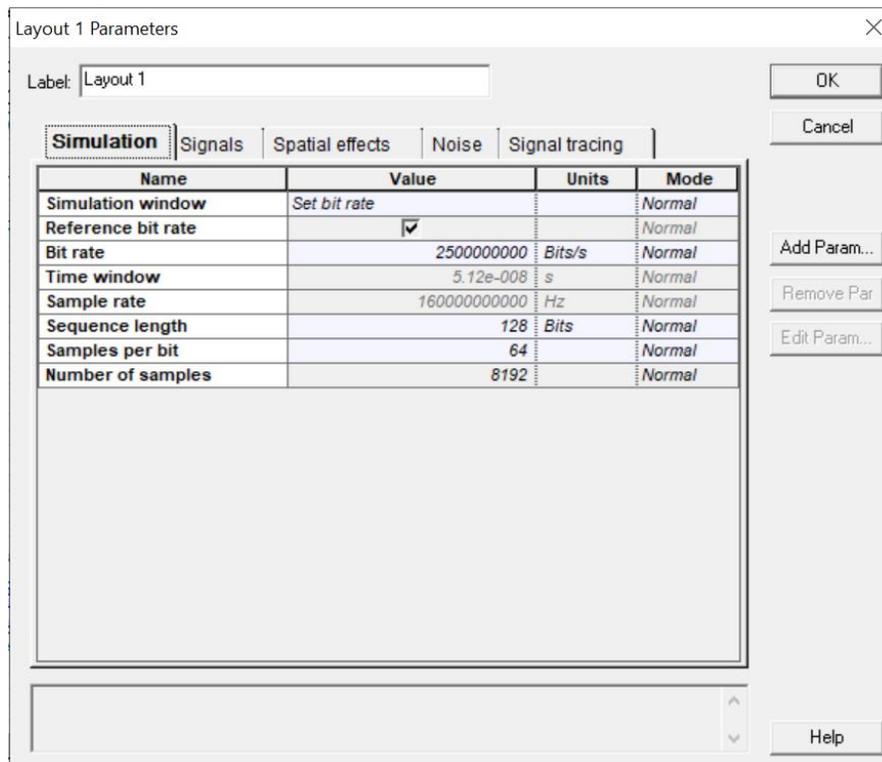


Figure 32: paramètres du projet.

5.1 Signaux à la sortie pour une fibre d'1 KM :

La figure 33 suivants présente le facteur de qualité dans la distance 1 km.

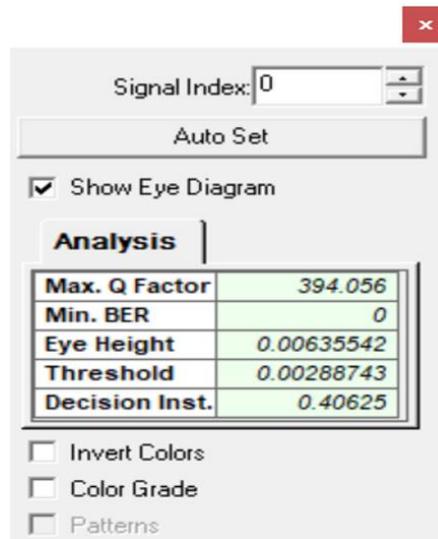


Figure 33: Q Facteur.

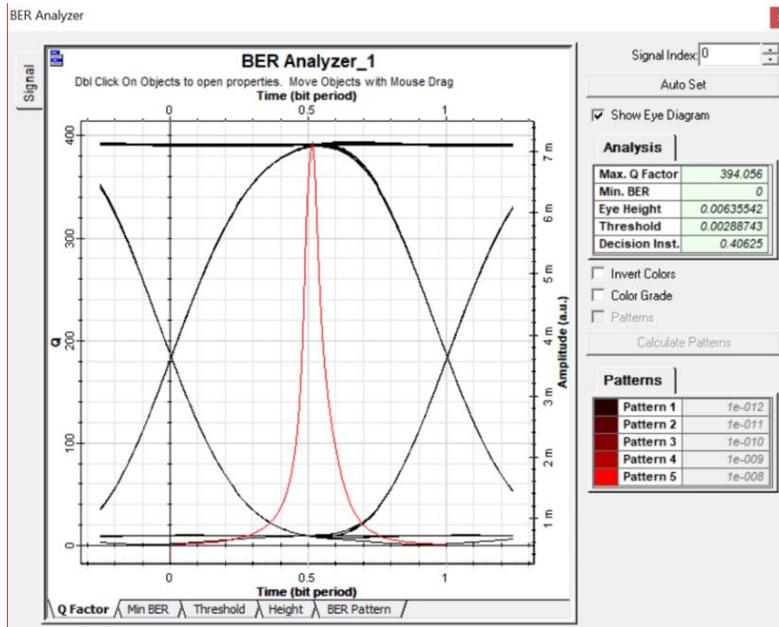


Figure 34: diagramme de l'œil.

Commentaires :

On remarque, d'après la figure 33, que le facteur de qualité atteint une valeur optimale lors de la réception. Cette observation est également confirmée par la figure 34, qui représente le diagramme de l'œil et montre que celui-ci est bien ouvert. Par conséquent, on peut conclure que le signal est transmis avec succès sur une distance de 1 km.

5.2 Signaux à la sortie pour une fibre de 100 KM :

Si nous modifions la distance de la fibre à 100 km, les résultats présentés dans les figures ci-dessous seront obtenus :

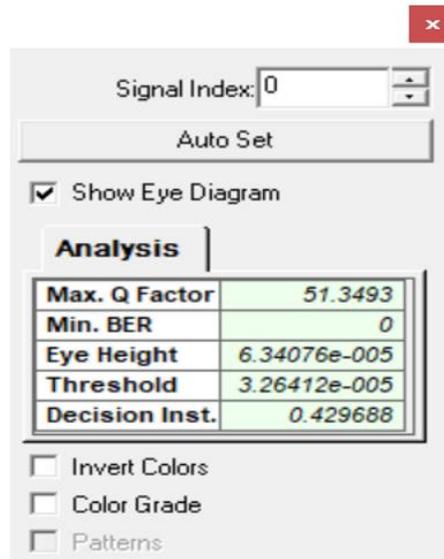


Figure 35: Q facteur pour 100 km.

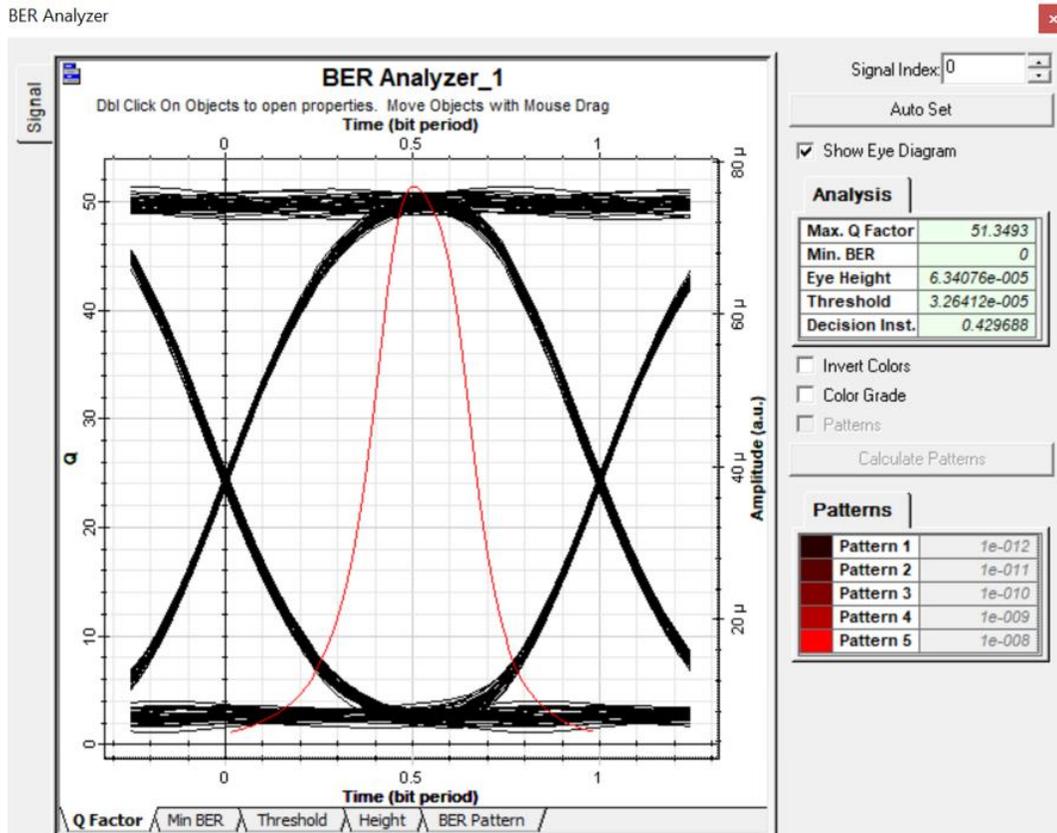


Figure 36: diagramme de l'œil pour 100 km.

Commentaire :

En observant la figure 36 pour une fibre de 100 km, on constate que le facteur Q a diminué. Le diagramme de l'œil pour cette distance a subi une dégradation (gigue d'amplitude), mais il reste acceptable et permet la transmission du signal.

5.3 Signaux à la sortie pour une fibre de 147 KM :

Si la distance de la fibre est modifiée à 147 km, les résultats suivants sont présentés dans les figures ci-dessous :

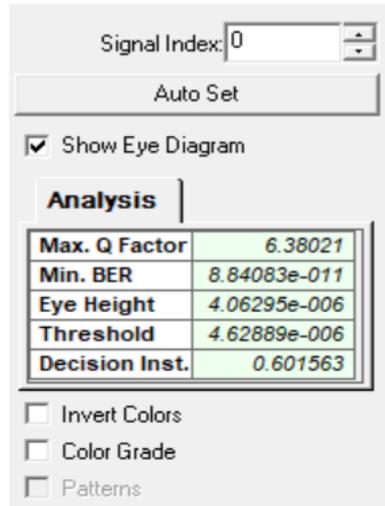


Figure 37: Q facteur pour 147 km.

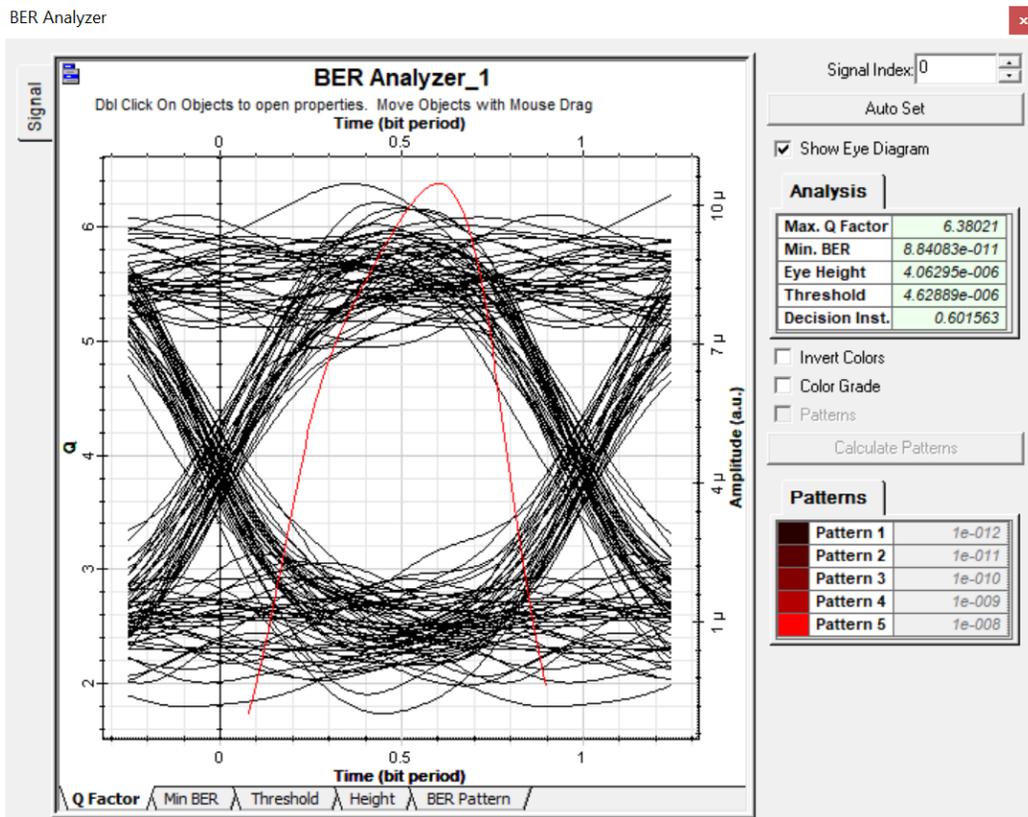


Figure 38: diagramme de l'œil pour 147 km.

Commentaire :

En visualisant la figure 37 pour une fibre de 147 km, on remarque que le facteur Q tend vers zéro, ce qui signifie que le signal est complètement déformé (perte du signal). Le diagramme de l'œil correspondant (figure 38) montre un œil fermé, ce qui indique une mauvaise transmission.

Le tableau 5 contient les valeurs résultant de la variation de la distance en fonction du facteur de qualité Q, avec les paramètres de simulation suivants : un débit de 2,5 Gbits/s et une atténuation de 0,2 dB/km.

| | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Distance (km) | 5 | 25 | 45 | 65 | 85 | 105 | 125 | 145 |
| Facteur (Q) | 375.943 | 331.207 | 235.248 | 148.192 | 93.451 | 42.175 | 17.993 | 7.251 |

Tableau 5: Effet de variation de distance sur le facteur Q.

D'après le tableau 5, on remarque que plus la distance augmente, plus le facteur de qualité diminue progressivement. Il est donc nécessaire de tenir compte de la distance lors d'une transmission afin d'obtenir une qualité optimale du signal à la réception.

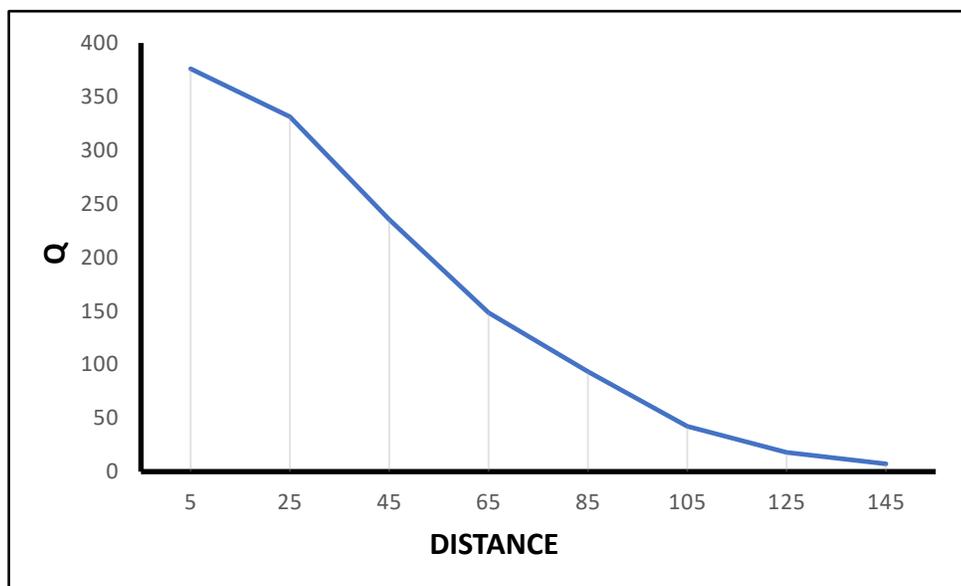


Figure 39: Variation de la distance en fonction du facteur de qualité Q.

Nous avons tracé la courbe du facteur Q en fonction de la distance sur la figure 39. Nous pouvons observer que la courbe décroît, ce qui confirme que le facteur de qualité diminue lorsque la distance augmente. Par exemple, à une distance de 5 km, le facteur Q est de 375,943, tandis qu'à une distance de 145 km, il est de 7,251. Finalement, le facteur de qualité s'annule à une distance de 170 km.

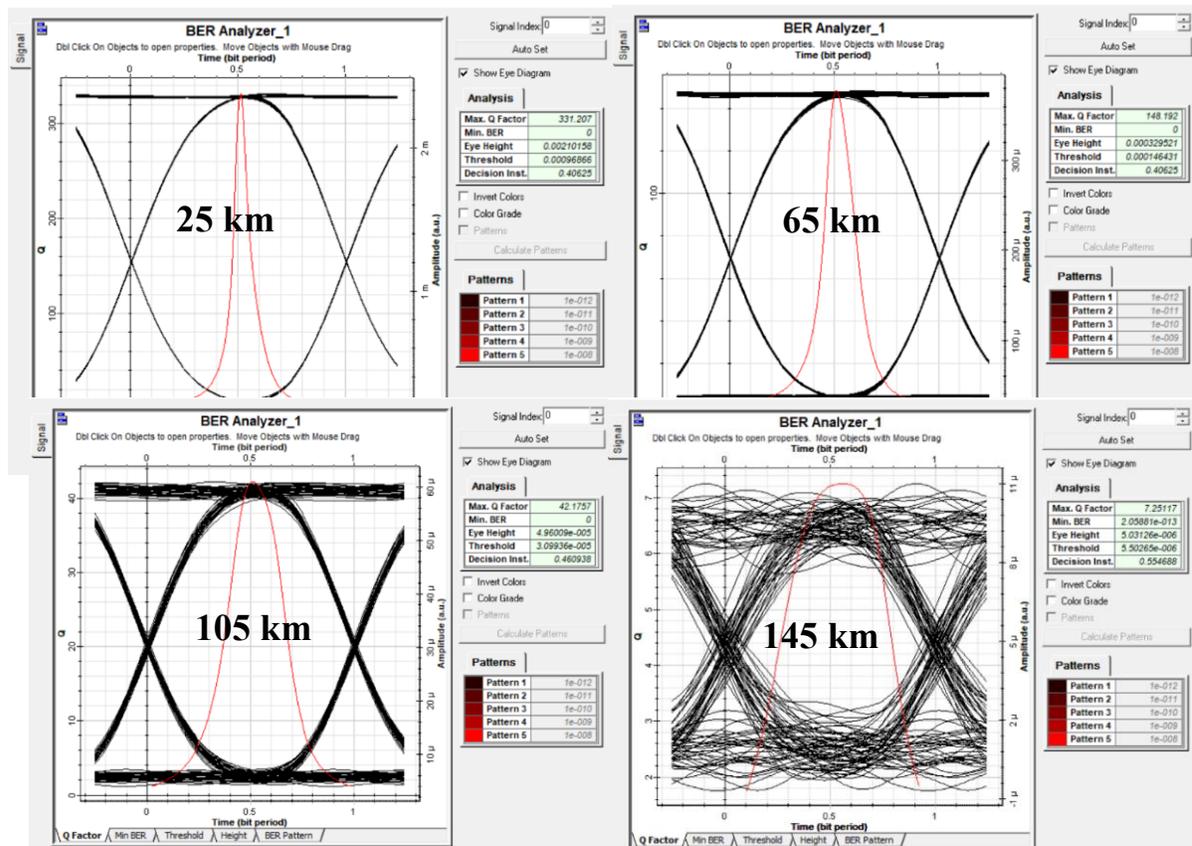


Figure 40: Diagramme de l'œil par variation de la distance.

D'après les graphiques de la figure 40, on observe sur le diagramme de l'œil une dégradation de plus en plus légère causée par l'augmentation de la distance (des giges d'amplitude se forment). Plus la qualité de transmission est meilleure, plus l'œil s'ouvre ; dans le cas contraire, il se ferme.

À une distance de plus de 145 km, le BER Analyzer nous donne un signal de mauvaise qualité, avec un facteur inférieur à 7 (signal déformé).

Le tableau 6 contient les valeurs qui résultent de la variation de la distance sur le facteur de qualité Q , avec les paramètres de simulation suivants : débit de 2,5 Gbits/s et atténuation de 0,2 dB/km. La distance varie de 145 km à 170 km.

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Distance (km) | 145 | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 |
| Facteur (Q) | 7.251 | 5.506 | 4.635 | 3.399 | 2.902 | 0 |

Tableau 6: Effet de variation de distance sur le facteur Q .

D'après le tableau 6, on remarque que plus la distance augmente, plus le facteur de qualité diminue progressivement, allant de 145 km à 165 km, jusqu'à ce qu'il s'annule complètement à 170 km.

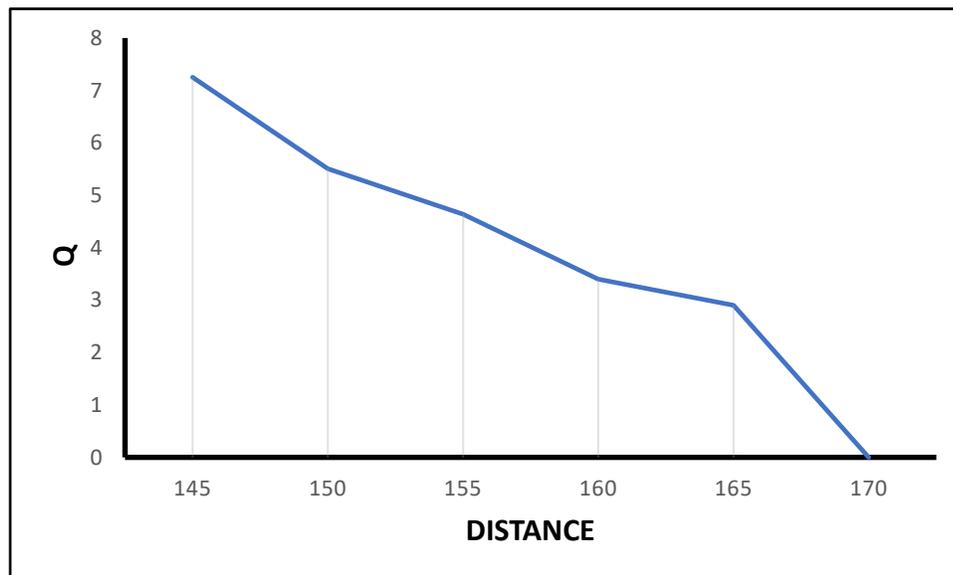


Figure 41: Variation de la distance en fonction du facteur de qualité Q .

Nous avons tracé sur la figure 41 la courbe du facteur Q en fonction de la distance. Nous avons observé que la courbe décroît, confirmant ainsi que lorsque la distance augmente, le facteur

de qualité diminue. Par exemple, à une distance de 145 km, le facteur Q est de 7,251, tandis qu'à une distance de 165 km, il est de 2,902, et il atteint finalement zéro à une distance de 170 km.

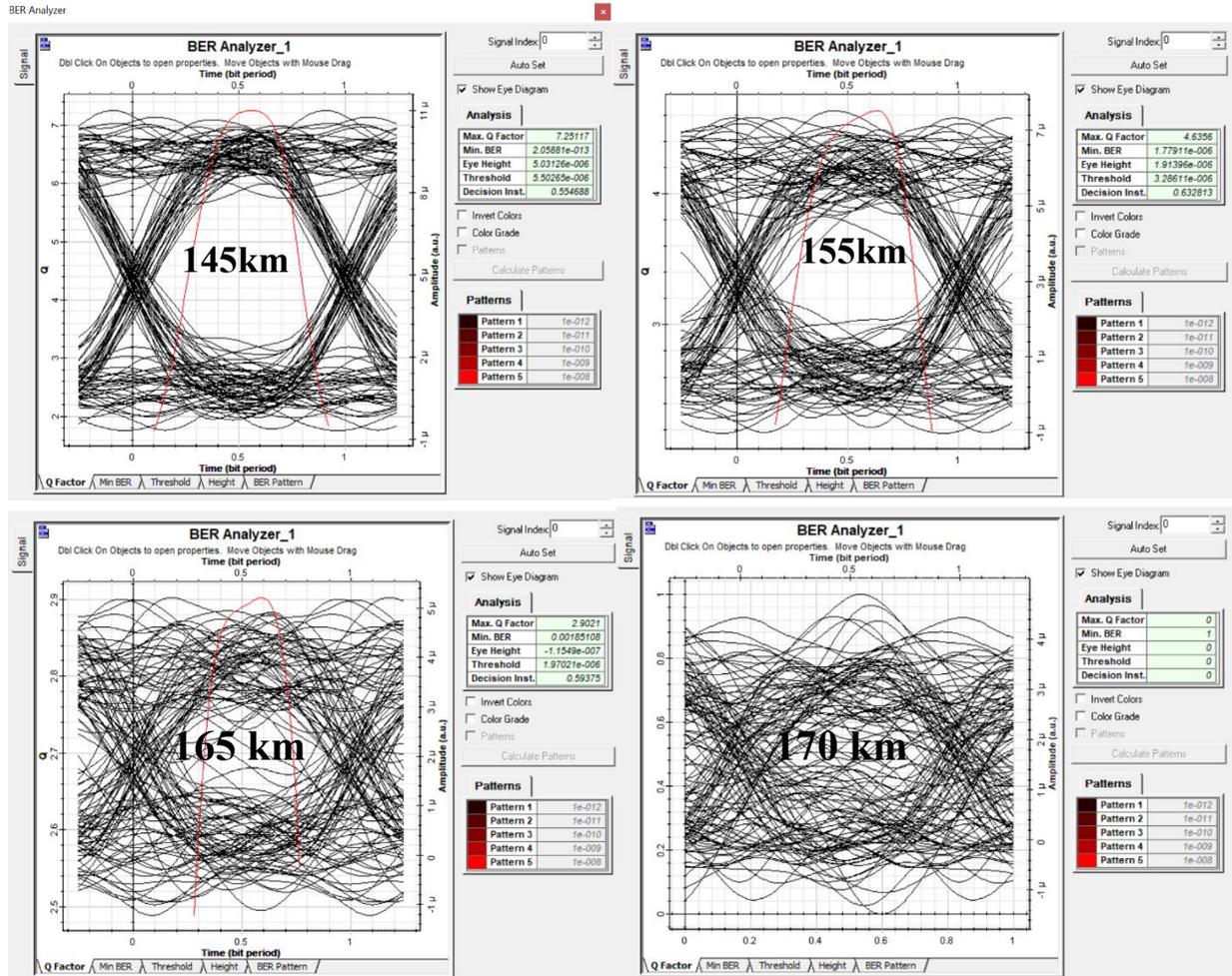


Figure 42: Diagramme de l'œil par variation de la distance (signal déformé).

D'après ces graphiques (figure 42), on constate une mauvaise qualité du signal sur le diagramme de l'œil entre la distance de 155 km et 165 km, ainsi qu'à une distance de 170 km où aucun signal n'est détecté.

À une certaine distance, l'atténuation et la déformation du signal émis peuvent rendre sa récupération impossible.

6 Influence de l'amplificateur optique sur la qualité de transmission :

Pour régénérer et récupérer ce signal déformé, on a ajouté un amplificateur optique à la sortie de la fibre, comme indiqué dans la figure ci-dessous :

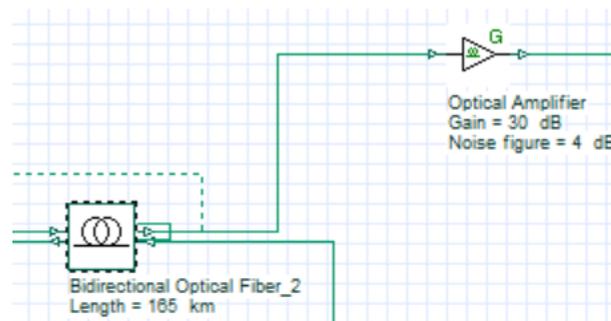


Figure 43: amplificateur optique à la sortie de la fibre.

Le tableau 7 contient les valeurs résultant de la variation de la distance et de son impact sur le facteur de qualité Q , avec les paramètres de simulation suivants : un débit de 2,5 Gbits/s et une atténuation de 0,2 dB/km. Les distances varient de 145 km à 170 km après l'ajout de l'amplificateur optique.

| | | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Distance (km) | 145 | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 |
| Facteur (Q) | 132.221 | 123.316 | 116.105 | 100.766 | 105.508 | 84.998 |

Tableau 7: Effet de variation de distance sur le facteur Q .

Dans le tableau 7, il est observé que le facteur de qualité diminue progressivement à mesure que la distance augmente, passant de 132,221 à 84,998 entre 145 km et 170 km. Par exemple, à 145 km, le facteur de qualité est de 132,221, tandis qu'à 170 km, il est de 84,998. De plus, il est

remarqué qu'après l'ajout de l'amplificateur optique, le facteur de qualité augmente par rapport au tableau III.3, en particulier à la distance de 170 km, où il était précédemment nul.

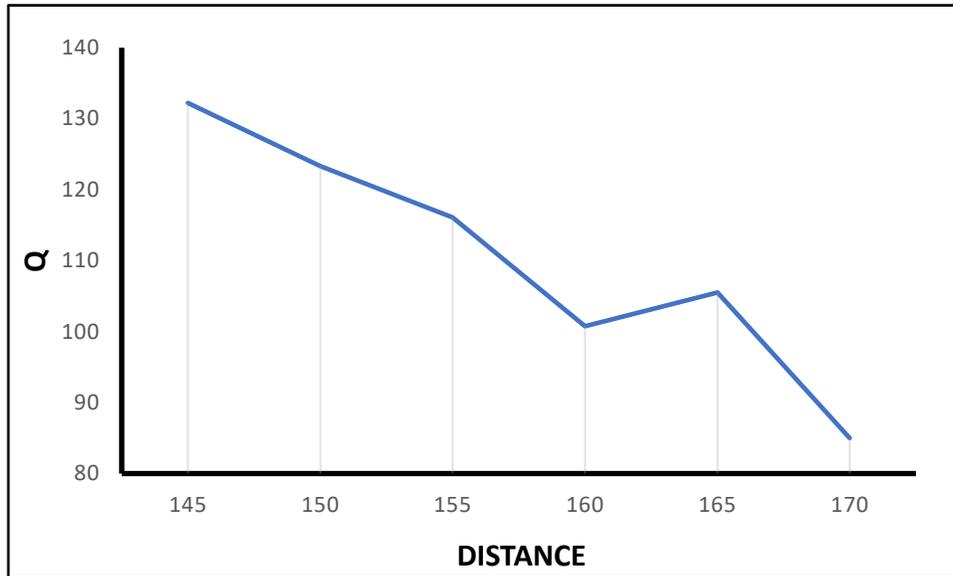


Figure 44: Variation du facteur de qualité Q en fonction de la distance.

En examinant la figure 44, nous pouvons constater que la courbe décroît. Le facteur de qualité Q diminue à mesure que la distance augmente. Par exemple : ($D=145$ km, $Q=132,221$) et ($D=170$ km, $Q=84,998$), jusqu'à atteindre zéro.

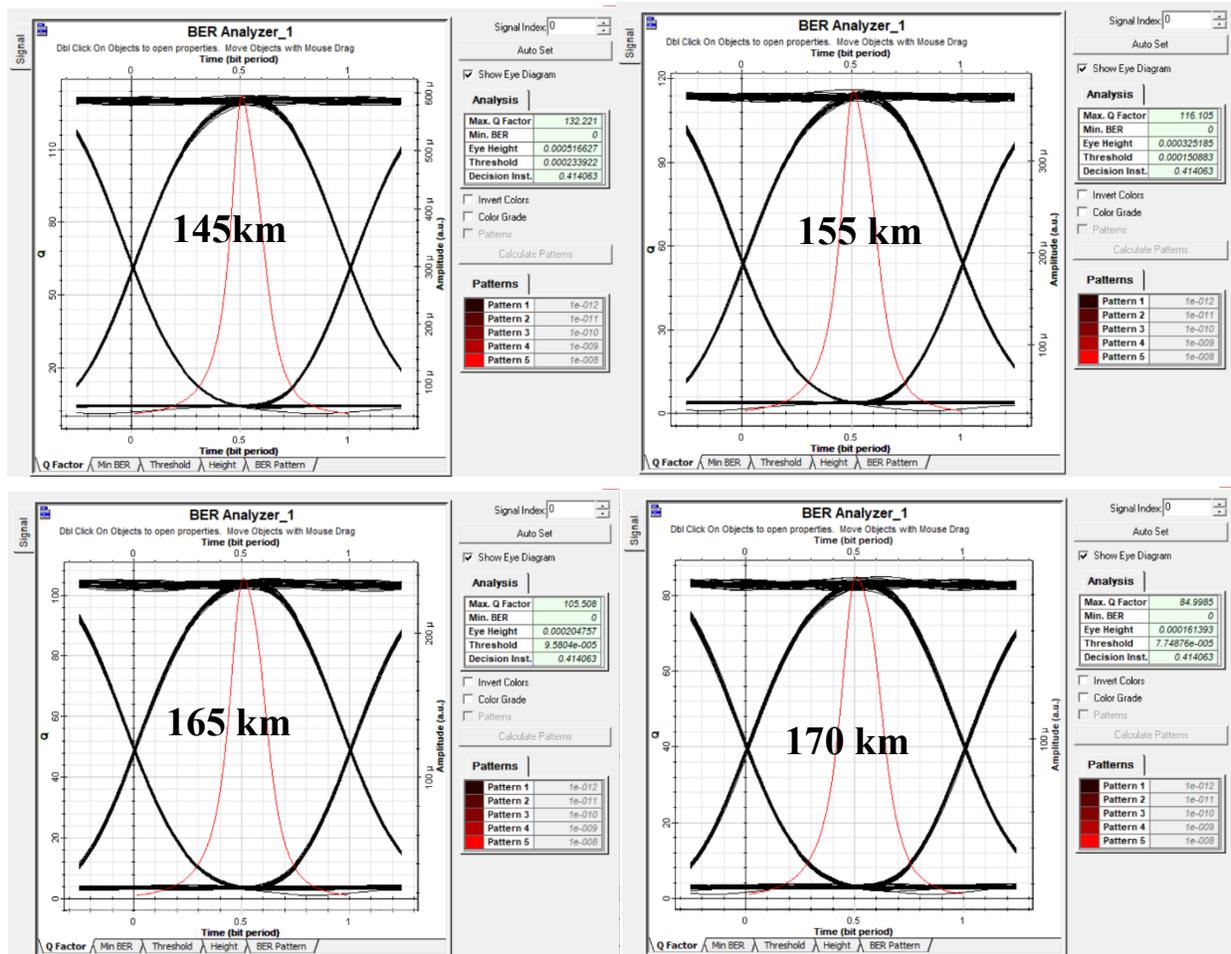


Figure 45: Diagramme de l’œil par variation de la distance (signal amplifié).

Commentaires :

Selon la figure 45, pour une fibre de 145 km à 170 km (signal amplifié), on remarque que le facteur Q est d'une valeur satisfaisante. Lors de l'observation du signal à la réception, on remarquera que celui-ci n'a pas subi de déformation importante. Le diagramme de l'œil (figure 45) présente un œil ouvert sans gigue, confirmant ainsi une bonne transmission du signal.

- ✓ L'amplificateur optique joue un rôle crucial dans la régénération des signaux fortement atténués en les amplifiant.

Le tableau 8 présente les valeurs obtenues en modifiant la distance et en observant son impact sur le facteur de qualité Q , en utilisant les paramètres de simulation suivants : débit de 2,5 Gbits/s et atténuation de 0,2 dB/km. Les distances vont de 170 km à 234 km après l'ajout de l'amplificateur optique.

| | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Distance (km) | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 |
| Facteur (Q) | 84.998 | 67.729 | 45.458 | 30.469 | 20.180 | 12.602 | 8.657 |

Tableau 8: Effet de variation de distance sur le facteur Q .

Dans le tableau 8, on observe une diminution progressive du facteur de qualité à mesure que la distance augmente. Par exemple, la valeur de Q passe de 84.998 lorsque la distance est de 170 km à 8.657 lorsque la distance est de 230 km. Cette diminution est particulièrement marquée à la distance de 230 km, qui était auparavant nulle.

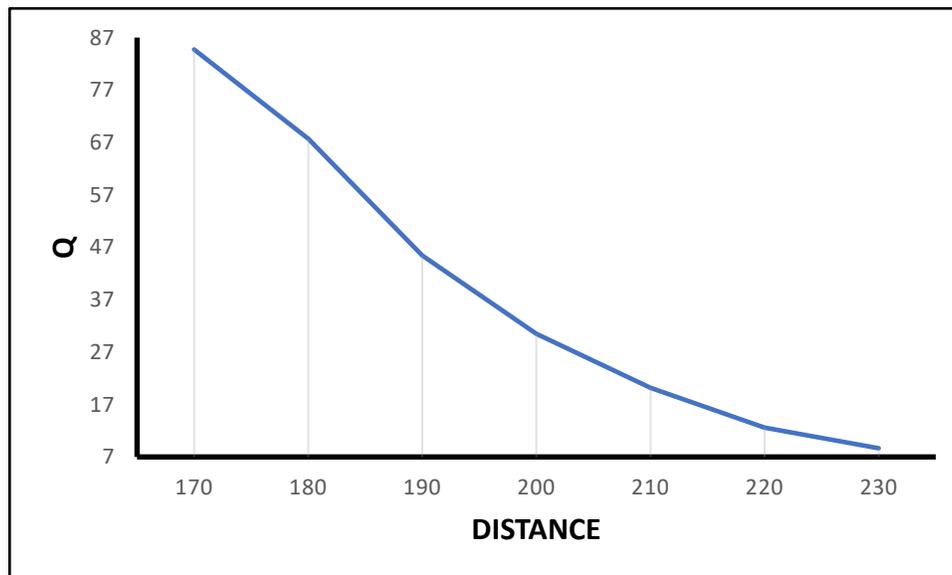


Figure 46: Variation du facteur de qualité Q en fonction de la distance.

En observant la figure 46, nous constatons que la courbe est décroissante. Le facteur de qualité Q diminue à mesure que la distance augmente. Par exemple, à une distance de 170 km, Q est de 84.998, tandis qu'à une distance de 230 km, Q est de 8.657. Au-delà de 230 km, le facteur de qualité Q atteint zéro.

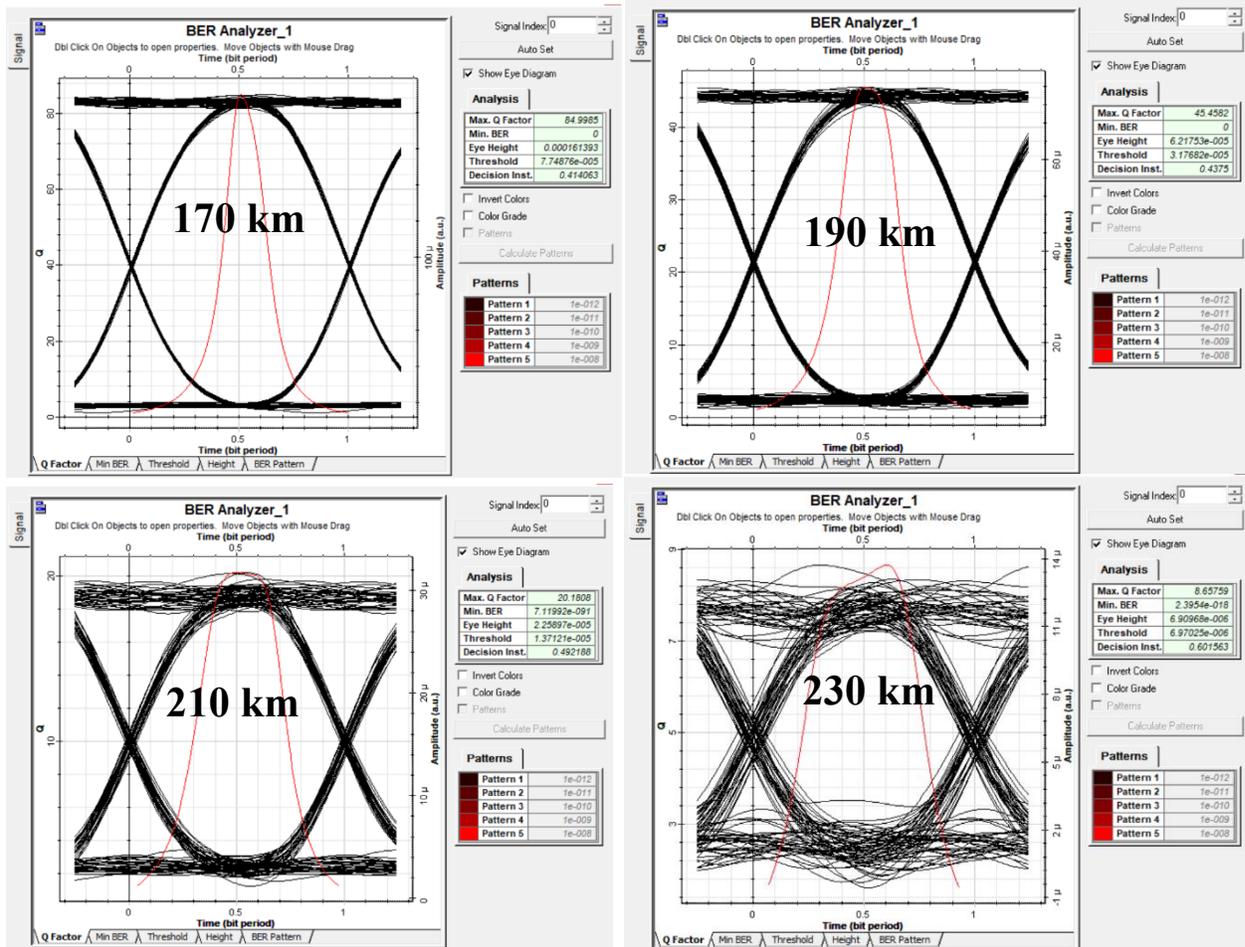


Figure 47: Diagramme de l'œil par variation de la distance (signal amplifié).

Commentaires:

D'après la figure 47, pour une fibre de 170 km à 230 km (signal amplifié), on peut observer que le facteur Q présente une valeur satisfaisante. Lorsque l'on examine le signal à la réception, on constate qu'il n'a pas subi de déformation significative. Le diagramme de l'œil (figure III.47) montre un œil ouvert sans gigue, ce qui confirme que le signal a été transmis correctement sur une distance maximale de 230 km en fonction du facteur Q. Au-delà de cette distance, le signal se déforme.

7 Influence du débit de transmission sur le facteur de qualité Q :

Afin d'observer l'effet du débit sur le facteur Q , nous allons effectuer notre simulation en utilisant les paramètres suivants : une distance de 50 km et une atténuation de 0,2 dB/km.

| | | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|-------|---------|--------|-------|
| Débit (Gbits/s) | 0.5 | 1 | 2 | 2.5 | 5 | 10 |
| Facteur Q | 752.685 | 484.176 | 278.6 | 241.234 | 34.494 | 4.671 |

Tableau 9: variation du facteur de qualité en fonction du débit binaire.

En se basant sur le résultat obtenu dans le tableau 9, le facteur de qualité reste presque constant jusqu'à un débit de 2,5 Gbit/s. Au-delà de cette valeur, il diminue de manière exponentielle.

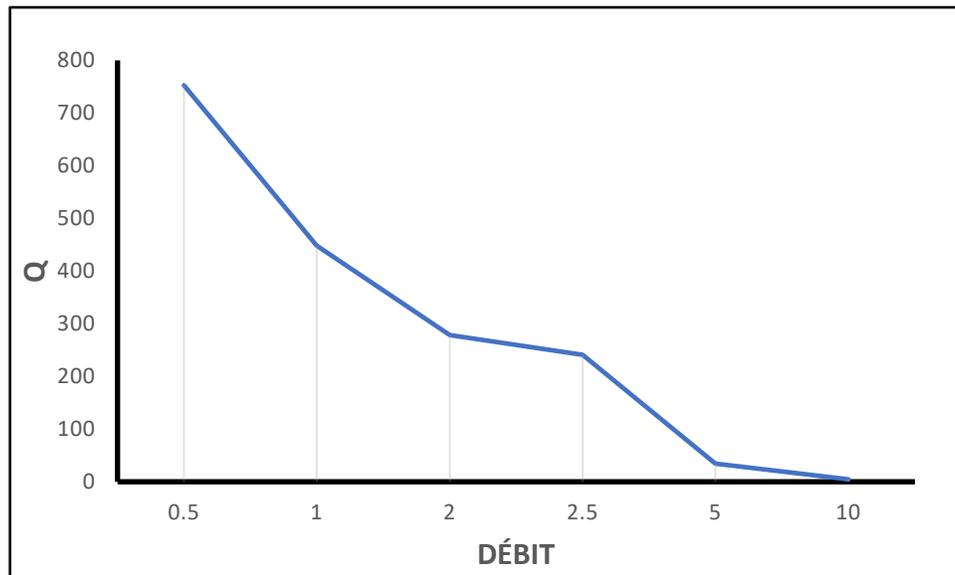


Figure 48: Courbe d'influence de variation du débit sur le facteur Q .

On remarque d'après ce graphe que jusqu'à 5 Gb/s, la qualité du signal est bonne. Au-delà de cette valeur, le signal se dégrade. Nous constatons également que chaque architecture de réseau a un débit optimal, au-delà duquel la qualité se détériore.

La figure suivante montre le diagramme de l'œil en fonction du débit de la liaison.

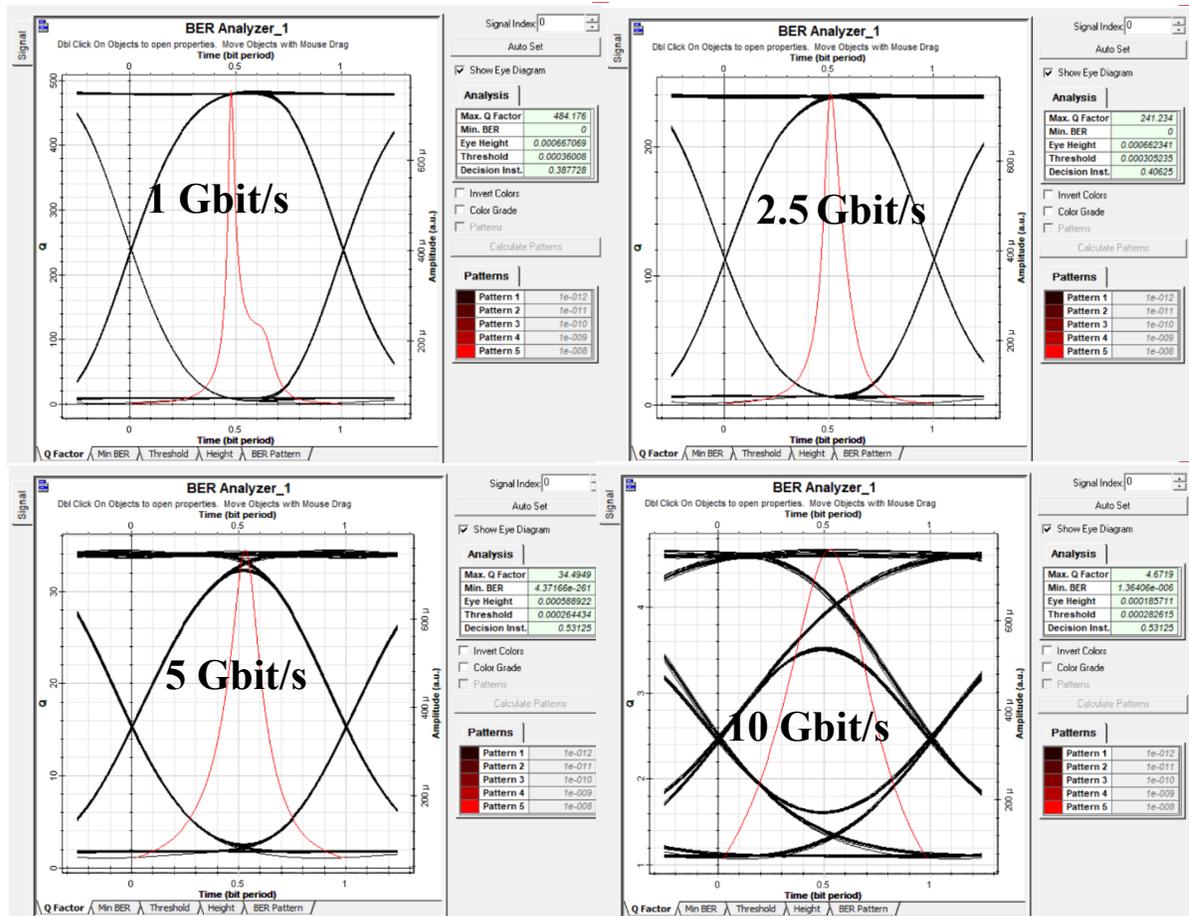


Figure 49 : Diagramme de l'œil en fonction de la variation du débit.

En analysant les diagrammes de l'œil de la figure 49, on constate une légère dégradation du diagramme de l'œil, allant de 1 Gb/s à 5 Gb/s. Cela indique une ouverture satisfaisante de l'œil et une bonne qualité de signal. Cependant, à 10 Gb/s, l'œil est presque fermé, ce qui indique une réception médiocre.

8 Effet de l'atténuation sur la transmission :

Le tableau 10 présente les résultats de la variation de l'atténuation en fonction du facteur Q, avec les paramètres d'entrée suivants : un débit de 2,5 Gb/s et une distance de 50 km.

| | | | | | | |
|---------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|
| Pertes (dB/km) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| Facteur Q | 276.23 | 241.234 | 140.159 | 51.773 | 16.815 | 5.479 |

Tableau 10: Effet d'atténuation sur le facteur Q.

L'atténuation du signal a un impact majeur sur le facteur de qualité Q, comme indiqué dans ce tableau. Plus l'atténuation est élevée, plus le facteur Q diminue considérablement.

La figure suivante représente la courbe de variation du facteur Q pour chaque valeur d'atténuation.

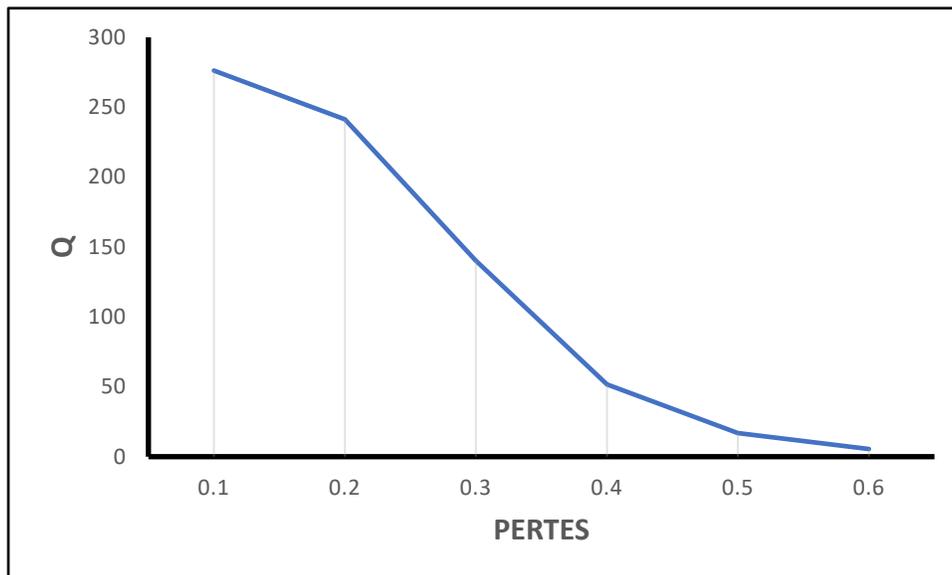


Figure 50: Courbe du facteur Q en fonction d'atténuation.

En observant cette courbe, on remarque que l'importance de l'atténuation dans un réseau doit être soulignée, car sa variation a une influence significative sur la transmission. L'effet de la variation de l'atténuation sur la transmission est représenté sur le diagramme de l'œil dans la figure

51 ci-dessous :

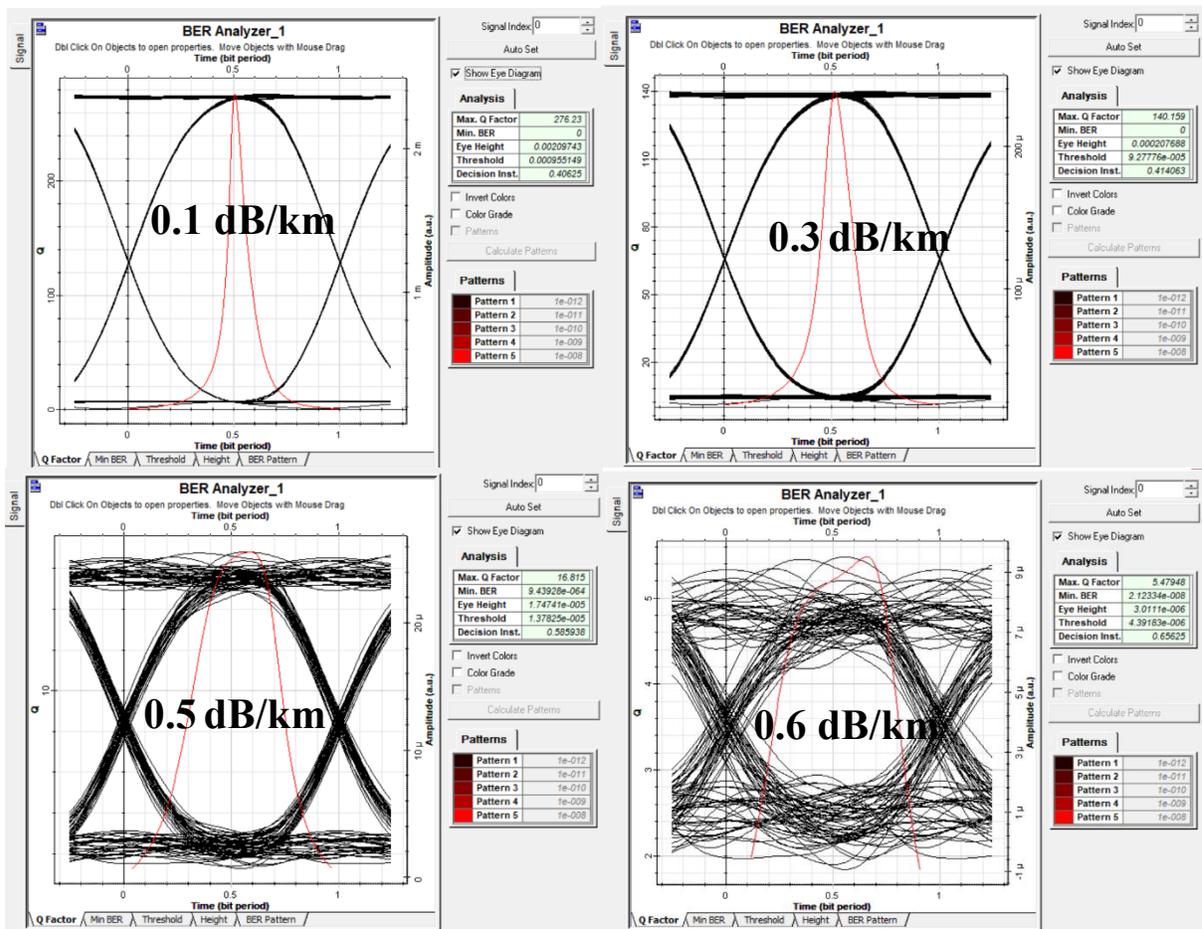


Figure 51: Diagramme de l'œil en fonction de variation d'atténuation.

Sur ce diagramme de l'œil, il est clair que l'œil tend à se fermer davantage à mesure que l'atténuation augmente, et vice versa. Par conséquent, nous pouvons conclure que l'atténuation a un impact significatif sur la transmission, car le signal émis n'atteint plus la réception.

9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué des recherches sur les performances de transmission du système G-PON, qui utilise le multiplexage en longueur d'onde WDM en agissant sur différents paramètres tels que la longueur de la fibre, le débit de liaison, l'atténuation et le facteur de qualité.

Ces mesures nous ont permis d'évaluer la qualité de la transmission pour le sens descendant et montant du réseau, tout en respectant les valeurs utilisées en télécom optique.

En tenant compte des résultats des simulations effectuées dans ce chapitre pour les différentes architectures WDM/G-PON envisagées, nous pouvons conclure qu'il est nécessaire de prendre en compte la technologie, l'architecture, la distance, l'atténuation, les longueurs d'ondes et le débit lors de l'installation d'une liaison optique à très haut débit.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce contexte, notre projet vise à simuler les améliorations de la qualité de service et du débit apportées par la fibre optique par rapport aux autres moyens de transmission. Notre étude se concentre spécifiquement sur le réseau FTTH.

Après une simulation détaillée de la fibre optique et de ses caractéristiques telles que l'atténuation, la bande passante, la diffusion et la dispersion, nous avons examiné les différents composants d'un réseau FTTH (Fiber To The Home) ainsi que leurs comparaisons. Nous avons également discuté des différentes architectures PON (Passive Optical Network), ainsi que des éléments constitutifs d'un réseau d'accès FTTH, tels que l'OLT (Optical Line Terminal) et l'ONU (Optical Network Unit), le splitter, et les divers domaines d'application.

Nous avons simulé une liaison WDM-GPON (Wavelength Division Multiplexing Gigabit Passive Optical Network) en faisant varier les paramètres tels que la distance, le débit et l'atténuation, à l'aide du logiciel OPTISYSTEM. Les résultats obtenus ont montré une bonne transmission à une certaine distance, de 1 km jusqu'à 145 km, et après 150 km une mauvaise qualité de transmission. Pour améliorer la qualité de transmission, nous avons ajouté un amplificateur optique à la sortie de la fibre optique, ce qui a permis d'obtenir une bonne transmission à une certaine distance, de 145 km jusqu'à 170 km. Cette architecture peut supporter une atténuation de 0,1 dB/km jusqu'à 0,6 dB/km et un débit de 0,5 Gbit/s jusqu'à 5 Gbit/s, offrant ainsi des résultats intéressants avec une bonne qualité de transmission.

Suite à notre étude, nous avons conclu que les réseaux optiques peuvent atteindre des débits importants tout en assurant une transmission de bonne qualité. Toutefois, il est essentiel de prendre en compte en permanence les compromis entre les besoins des utilisateurs, les distances et les débits.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Medjdoub Fadila. Optimisation Par La Simulation Système D'une Chaîne De Transmission Numérique Par Fibre Optique Haut Débit. Mémoire De Magister Université Abou Bekr Belkaid 3 Tlemcen.2010.
- [2] Jean Louis Verneuil. Simulation De Systèmes De Télécommunications Par Fibre Optique A 40 Gbit/S. Université De Limoges 2003.
- [3] Boulila Rachid & Daouche Salim. Etude Des Différents Multiplexages Dans Les Liaisons Par Fibre Optique. Memoire De Master Université Saad Dahlab De Blida.2012.
- [4] Tahi Mimouna Merabta & Chadouli Sabra. Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg a fibre : compensation de la dispersion chromatique dans une ligne de Transmission Optique. Mémoire Master Institut d'aéronautique et des Etudes spatiales Iaes blida.2019.
- [5] Hamchaoui Massinissa & Amara Serina.Etude D'un Système Ftth (Fiber To The Home).Memoire Master Université A.Mira-Bejaia.2019.
- [6] Sarah Benameur. La Mise En Ouvre Dans Une Chaîne De Transmission Optique à Haut Débit De Filtres Optiques A Longueur D'onde Centrale Réglable. Thèse De Doctorat Université De Sidi Bel-Abbes.2015.
- [7] Jean-Louis Verneuil. Simulation De Systèmes de Télécommunications Par Fibre Optique à 40 Gbits/S.These De Doctorat Université De Limoges.2003.
- [8] Boudaoud Radhwane. Contribution A L'étude Des Performances Et limitations D'une Liaison Cdma Optique Haut Débit. Mémoire De Magister Université Abou Bekr Belkaid 3 Tlemcen.2010.
- [9]: Fiber to the home Council Europe FTTH Handbook Edition 6, par Eileen Connolly Bul, année 2014.
- [10] : http://offres.neuf.fr/fibre_optique/home-fibre-optique.Html www.avoirlafibre.com
- [11] fibre to the home council Europe FTTH Handbook Edition 7, par Eileen Connolly Bul, annee 2016.

- [12] AMELLEL SABRINA. Filière : Télécommunications ,Spécialité : Réseaux et Télécommunications, <<Contribution à l'étude des fibres optiques FTTH en Algérie >>,. Boumerdes : s.n., 2019-2020.
- [13] S. FEROUÏ, « Etude D'un Réseau B-PON Bidirectionnel », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en télécommunication, Université Aboubakr Belkaïd–Tlemcen –Faculté de TECHNOLOGIE, promotion 2013. [En ligne] .
- [14]: A. D. Kersey A review of recent developments in fiber optic sensor technology. Optical fiber Technology, 2:291.317, 1996.
- [15] : EFOR T : les technologies PDH SDH et WDM <http://www.efort.com>.
- [16] : « Mémoire SUR LES RESEAUX FTTH » - Juillet 2009 ; COGISYS ; Architecture des systèmes de communication.
- [17] Hamchaoui Massinissa & Amara Serina.Etude D'un Système Ftth (Fiber To The Home).Memoire Master Université A.Mira-Bejaia.2019.
- [18] Sami Lallukka & Pertti Raatikainen. Passive Optical Networks. VTT Technical Research Centre of Finland.2006.
- [19] Deek Shakocher.Investigation Of FTTH Architectures Based On Passive Optical Networks. Mémoire De Master Universite Thapar.2012.
- [20] Lam, Cédric F. Passive Optical Networks Principles and Practice. United States of America.2007.
- [21] Bedadda Ayman & Guediri lazhar. Etude Et Analyse Des Performances D'un Réseau Optique Passif Large Bande Bidirectionnel (BPON). Memoire De Master Universite Echahid Hamma Lakhdar El-Oued .2018.
- [22] Hiba Altahir Alameen Altahir. Performance Evaluation of Gigabit Passive Optical Network (Gpon) Access Technology. B.Sc. (HONS) Electrical and Electronics Engineering. University Of Khartoum.2017.
- [23] Guerch Azeddine Yahia Et Ziane aissa. Déploiement D'un Réseau FTTX. Memoire De Master Université Ziane Achour De Djelfa.2019.

[24] Nassima Boudrioua. Etude Et Optimisation D'une Chaîne De Transmission Numérique Sur Fibre Optique : Vers Une Compensation Electronique De La Pmd. These De Doctorat Ecole Doctorale Iaem 3 Lorraine. 2007.

[25] Payoux Franck. Etude Des Reseaux D'accès Optiques Exploitant Le multiplexage En Longueurs D'onde. Thèse De Doctorat L'école Nationale Supérieure Des Telecommunications de Bretagne. 2006.

[26] KOURAT Mohamed, MOULAY Saiha. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES, << ETUDE ET SIMULATION D'UN RESEAU OPTIQUE PASSIF (PON)>>. SAIDA : s.n., 2018-2019. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES.

[27] F. Saliou, « Etude des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée », phdthesis, Télécom ParisTech, 2010.

[28] FS Community. (n.d.). *Components and architecture of GPON FTTH access network*. <https://community.fs.com/fr/article/components-and-architecture-of-gpon-ftth-access-network.html>

[29] FS Community. "A Comprehensive Understanding of FTTx Network." FS Community, <https://community.fs.com/article/a-comprehensive-understanding-of-fttx-network.html>. 2020.

[30] Champsaur, Paul. [LE DÉPLOIEMENT DE LA FIBRE OPTIQUE FTTH (FIBER TO THE HOME)]. ARCEP, 2014. http://www.arcep.fr/fileadmin/uploads/tx_gspublication/rapport-final-paul-champsaur_2014_01.pdf.

[31] Moussa, Abou. "Étude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau." Mémoire Online. 2017.

[32] Bulfone, Christian. "Introduction aux réseaux." Licence MIASHS. Accessed June 30, 2024.

[33] insys integrated systems. Fibre optique. Version 01, avril 2015.

[34] Margaret. "Comprehensive Understanding of FTTx Network." FS Community, 27 July 2020.

[35] Conity. "Le raccordement à la fibre en secteur diffus." Conity, 4 Feb. 2021.

[36] STL. "Everything about GPON (Gigabit Passive Optical Network)." Last modified June 2022.