



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

UNIVERSITE IBN KHALDOUN – TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE

DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : **Réseaux et Télécommunication**

En vue de créer une startup



PHOTON'23

Par :

BECHIKH Amel
BENHAMIDI Aicha

Sur le thème

**Étude des performances d'un système de coexistence
G-PON et XGS-PON.**

Soutenu publiquement le 10/07/2023 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr DAOUD Mohamed Amine	MAA	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Président
Mr KHERICI Cheikh	MCB	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Encadrant
Mr BEKKAR Mohamed	MAA	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Examineur
M ^{me} BELADJINE Khaldia	MCA	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Représentant de la maison de l'entrepreneuriat
Mr ABBES Habib Karim	Licence	C/Dept. Commercial à Algérie Télécoms Tiaret, R/ partenaire économique	

Année universitaire :
2022-2023.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord, Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et le courage pour terminer nos études et à élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos chers parents pour les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir réussir. Nous remercions tout particulièrement notre encadreur Monsieur **KHERICI Cheikh** pour ses conseils pendant la réalisation de ce mémoire, son aide appréciable et ses encouragements tout au long de notre travail.

Nos remerciements s'adressent également aux examinateurs Monsieur **DAOUD Mohamed Amine**, Monsieur **BAKKAR Mohamed** et Madame **BELADJINE Khaldia** pour avoir accepté de lire et d'évaluer notre mémoire.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin.

*D*édicaces

Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU**
De m'avoir donné la force et le courage de mener
à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

À mon cher papa, merci pour ton soutien infini,
et ta grande confiance en mes capacités,

Je te suis redevable pour tous les succès que j'ai accomplis.

À ma mère, merci de rester à mes côtés tout au long de ces années,
pour ton encouragement, ton amour et tes prières.

À ma grand-mère qui m'a toujours accompagné avec ses prières bénies.

À mon oncle, mon deuxième père, et **à sa femme**

À mon cher frère, Ahmed, qui a toujours été à mes côtés lorsque j'avais besoin de lui.

A mes jeunes frères Abed El Majid et Abed El Djalil et **mes cousins** Rayane, Ridha,
Radwane et Youssef

À toute ma famille et mes collègues.

À ma partenaire, Aicha, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

À tous ceux qui m'ont aidé, que ce soit de près ou de loin, pendant mes études.

Amel

*D*édicaces

Après cinq ans d'études, l'assistance de mes enseignants ainsi que celle de mon entourage m'ont permis de réaliser ce modeste mémoire que je dédie :

À mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin,

À ma mère qui a été à mes côtés, m'a soutenu et encouragé depuis mon enfance

jusqu'à ce jour,

À mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis.

À ma chère sœur Houria et son fils Abdalilah.

À mes chers frères, et leurs épouses,

À Sadjed, Rayan, Younes, le cœur de la maison.

À toute ma famille ,Et à tous ceux qui me sont chers.

À tous mes amis de la faculté avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.

À mon binôme Amel et à toutes les personnes qui ont cru en moi.

AICHA

Table des matières

Introduction générale	-2-
CHAPITRE I : Notions sur la fibre optique.	
I.1 Introduction.....	- 5 -
I.2 Notions sur la fibre optique	- 5 -
I.2.1 La fibre Optique.....	- 5 -
I.2.1.1 Structure de la fibre optique.....	- 5 -
I.2.1.2 Principe et fonctionnement de la fibre optique	- 6 -
I.2.1.3 Différents catégories de fibres optiques	- 6 -
I.2.1.4 Différents types de fibres optiques	- 8 -
I.2.1.5 Les caractéristiques de la fibre optique	- 8 -
I.2.1.6 Applications de la fibre.....	- 13 -
I.2.1.7 Avantages de la fibre optique.....	- 15 -
I.2.1.8 Inconvénients de la fibre optique	- 16 -
I.3 Conclusion :	- 16 -
CHAPITRE II : La chaine de transmission optique.	
II.1 Introduction	- 18 -
II.2 Présentation d'une chaine de transmission optique	- 18 -
II.2.1 Bloc d'émission.....	- 18 -
Figure II- 7 : Modulation directe.....	- 22 -
II.2.2 Support de transmission.....	- 22 -
II.2.3 Récepteur optique	- 25 -
II.3 Conclusion	- 28 -
CHAPITRE III : Les réseaux PON (Passive Optical Network).	
III.1 Introduction	- 30 -
III.2 Les réseaux optiques passifs (PON)	- 30 -
III.2.1 Architecture d'un réseau optique passif (PON).....	- 30 -
III.2.2 Topologie des réseaux PON	- 31 -
III.2.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON.....	- 32 -
III.2.3.1 Sens montant du type PON	- 32 -
III.2.3.2 Sens descendant du PON.....	- 32 -
III.2.3.3 Architecture PON unidirectionnelle	- 32 -
III.2.3.4 Architecture PON bidirectionnelle	- 33 -
III.2.4 Types de réseau PON	- 33 -

III.3 GPON (Gigabit PON).....	- 35 -
III.4 XGS PON.....	- 36 -
III.5 Différence entre GPON, XGPON et XGSPON	- 37 -
III.6 Comparaison.....	- 38 -
III.7 La coexistence GPON et XGSPON	- 38 -
III.8 Conclusion.....	- 39 -
CHAPITRE IV : Simulation et interprétations des résultats.	
IV.1 Introduction.....	- 41 -
IV.2 Description du logiciel OptiSystem.....	- 41 -
IV.2.1 Interface du logiciel OptiSystem	- 41 -
IV.2.2 Applications du logiciel OptiSystem	- 44 -
IV.2.3 Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission	- 44 -
IV.3 Etude du système de coexistence GPON et XGS-PON	- 47 -
IV.3.1 Description du système simulé	- 47 -
IV.3.2 Paramètres de simulation.....	- 54 -
IV.3.3 Impact de la longueur sur le système de coexistence GPON et XGSPON	- 54 -
Figure IV-13: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (b).....	- 56 -
IV.3.4 Impact de la puissance du laser sur le système de coexistence GPON et XGSPON	- 64 -
IV.3.5 Impact du format de modulation sur le système de coexistence GPON et XGSPON.....	- 69 -
IV.3.6 Impact de la dispersion chromatique (CD) et les effets non-linières (XPM, SPM) sur le système de coexistence GPON et XGSPON	- 73 -
IV.4 Conclusion	- 78 -
BMC " Business Model Canevas	-80-
Conclusion générale et perspectives.....	- 93 -
Bibliographie :.....	- 97 -
Webographie :	Error! Bookmark not defined.
Résumé	-103-

Liste des figures

Figure I-1: Structure d'une fibre optique.....	- 5 -
Figure I-2: Principe de la réfraction des rayons incidents [2]	- 6 -
Figure I-3: Fibre optique monomode [3].....	- 7 -
Figure I-4: Fibre multimode à saut d'indice [3].....	- 7 -
Figure I-5: Fibre multimode à gradient d'indice [3].	- 8 -
Figure I-6: Effet de l'atténuation [7].	- 9 -
Figure I-7: Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique.....	- 10 -
Figure I-8 : Effet de la dispersion de mode de polarisation (PMD).....	- 10 -
Figure I-9 : Fibre optique vs Paire de cuivre.	- 13 -
Figure I-10 : Un endoscope.	- 14 -
Figure I-11 : Chirurgie.....	- 14 -
Figure I- 12 : Eclairage.....	- 15 -
Figure I-13 : Capteurs pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.	- 15 -
Figure II-1 : Schéma général d'un système de transmission par fibre optique.	- 18 -
Figure II- 2: Schéma synoptique de l'émetteur.	- 19 -
Figure II-3 : Codage RZ [17].....	- 20 -
Figure II- 4 : Codage NRZ [17].	- 20 -
Figure II-5 : Diode laser.	- 20 -
Figure II-6: Diode LED.....	- 21 -
Figure II- 7 : Modulation directe.....	- 22 -
Figure II-8 : Modulation externe.	- 22 -
Figure II-9 : Principe de fonctionnement d'un EDFA.	- 23 -
Figure II-10 : Principe du multiplexage WDM [19].	- 24 -
Figure II- 11 : Principe d'une liaison WDM.	- 25 -
Figure II- 12 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe [20].....	- 26 -
Figure III-1 : Architecture d'un réseau PON [22].	- 31 -
Figure III-2 : Topologies d'un réseau PON [23].	- 31 -
Figure III-3 : PON en sens montant [24].	- 32 -
Figure III- 4 : Architecture PON unidirectionnelle.	- 33 -
Figure III- 5 : Architecture PON bidirectionnelle.	- 33 -
Figure III- 6 : Architecture de G-PON [25].	- 34 -
Figure III-7: Le principe du GPON.	- 36 -
Figure III- 8 : Le principe du XGSPON.	- 36 -
Figure III-9: Evolution de GPON vers le XGSPON [28].	- 37 -
Figure III- 10 : La coexistence GPON et XGSPON.....	- 39 -
Figure IV-1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.	- 42 -
Figure IV-2 : Bibliothèque des composants	- 42 -
Figure IV-3 : Navigateur du Projet.	- 43 -
Figure IV-4 : Fenêtre de présentation du projet en cours.....	- 43 -

Figure IV- 5 : Fenêtre de description du projet en cours.....	- 44 -
Figure IV-6 : Représentation schématique du facteur de qualité Q.....	- 46 -
Figure IV-7 : Diagramme de l'œil.	- 47 -
Figure IV- 8 : Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (OLT) avec le support....	- 49 -
Figure IV-9: Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (ONU).	- 50 -
Figure IV-10: Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (sens ONU vers OLT)...	- 51 -
Figure IV-11: Schéma global du système de coexistence GPON et XGSPON (2 utilisateurs)..	- 52 -
Figure IV- 12 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =10 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =10 km (b).....	- 56 -
Figure IV-13: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (b).	- 56 -
Figure IV-14: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =30 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =30 km (b).....	- 57 -
Figure IV- 15: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =30 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =30 km (b).....	- 57 -
Figure IV-16: Facteur de qualité Q en fonction de la longueur L.	- 58 -
Figure IV- 17 : TEB en fonction de la longueur L.....	- 58 -
Figure IV-18 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =30 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =30 km (b).....	- 59 -
Figure IV-19: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =30 km (a), Diagramme.....	- 60 -
Figure IV-20: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =70 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =70 km (b).....	- 60 -
Figure IV-21: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =70 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =70 km (b).	- 61 -
Figure IV-22: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =120 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L =120 km (b).....	- 61 -
Figure IV-23 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =120 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L =120 km (b).	- 62 -
Figure IV-24 : Facteur de qualité Q en fonction de la longueur L.	- 64 -
Figure IV-25: BER en fonction de la longueur L.	- 64 -
Figure IV-26: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = -12 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = -12 dBm et L = 80 km (b).	- 65 -
Figure IV-27: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = -12 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = -12 dBm et L = 80 km (b).....	- 65 -
Figure IV-28 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 0 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 0 dBm et L = 80 km (b).....	- 66 -
Figure IV-29 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 0 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 0 dBm et L = 80 km (b).	- 66 -
Figure IV-30 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down} avec P = 12 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down} avec P = 12 dBm et L = 80 km (b).....	- 67 -
Figure IV-31 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up} avec P = 12 dBm et L = 80 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up} avec P = 12 dBm et L = 80 km (b).	- 67 -

Figure IV-32: Facteur de qualité Q en fonction de la puissance du laser (a), TEB en fonction de la puissance du laser (b).	- 68 -
Figure IV- 33 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down-NRZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down-NRZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (b).....	- 70 -
Figure IV-34 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (b).....	- 70 -
Figure IV-35 : Impact du format de modulation,.....	- 71 -
Figure IV- 36 : Impact du format de modulation,.....	- 71 -
Figure IV-37: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up-NRZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up-NRZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (b).	- 71 -
Figure IV-38 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (b).....	- 72 -
Figure IV-39 : Impact du format de modulation,.....	- 72 -
Figure IV- 40: Impact du format de modulation,.....	- 72 -
Figure IV- 41 : Présence de la dispersion chromatique CD.	- 74 -
Figure IV-42 : Présence des effets non linéaires XPM et SPM.....	- 74 -
Figure IV-43 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down-NRZ-Sans-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down-NRZ-Sans-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (b).....	- 75 -
Figure IV-44 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up-NRZ-Sans-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up-NRZ-Sans-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (b).	- 75 -
Figure IV- 45 : Diagramme de l'œil pour le GPON _{Down-NRZ-Avec-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Down-NRZ-Avec-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (b).....	- 76 -
Figure IV- 46: Diagramme de l'œil pour le GPON _{Up-NRZ-Avec-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON _{Up-NRZ-Avec-CD-NE} avec P = 0 dBm et L = 20 km (b).	- 76 -
Figure IV-47: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires,	- 77 -
Figure IV-48 : Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires,	- 77 -
Figure IV-49: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires,	- 77 -
Figure IV-50: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires,	- 78 -

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Formules de la bande passante..... - 9 -
Tableau II-1: Différents types du multiplexage WDM..... - 25 -
Tableau III- 1 : Comparaison entre les trois standards de réseau PON..... - 35 -
Tableau III-2 : Comparaison entre les trois standards, le GPON, le XGPON et le XGSPON...
..... - 38 -
Tableau IV-1 : Les éléments qui constituent l'architecture du système proposé. - 53 -
Tableau IV-2: Paramètres du système de coexistence GPON et XGSPON. - 54 -
Tableau IV-3 : Impact de la longueur de la fibre sur le facteur de qualité Q (*sans
amplification*). - 55 -
Tableau IV-4 : Impact de la longueur de la fibre sur le facteur de qualité Q et le BER (*avec
amplification*). - 63 -
Tableau IV- 5: Impact de la puissance du laser sur le facteur de qualité Q et le BER (*avec
amplification*). - 68 -
Tableau IV-6 : Impact du format de modulation sur le facteur de qualité Q ($P = 0 \text{ dBm}$) pour
le sens aval (*Down*). - 69 -
Tableau IV-7 : Impact du format de modulation sur le facteur de qualité Q ($P = 0 \text{ dBm}$) pour
le sens amont (*Up*). - 69 -
Tableau IV- 8 : Impact de la dispersion chromatique CD et les effets non linéaires NE sur le
facteur de qualité Q ($P = 0 \text{ dBm}$, *NRZ*) dans les deux sens *aval (Down)* et *amont (Up)*. .. - 73 -

Tableau II-1: Différents types du multiplexage WDM. - 25 -

Liste des abréviations

AES	: Advanced Encryption Standard
APD	: Avalanche Photodiode
APON	: ATM PON
B2B	: Business to Business.
B2C	: Business to Customer
BER	: Bit Error Rate
BMC	: Business Model Canvas
BPON	: Broadband Passive Optical Network
CD	: Chromatic Dispersion
CW	: Continuous Wave Laser
CWDM	: Coarse Wavelength Division Multiplexing
DCF	: Dispersion Compensating Fiber
DGD	: Differential Group Delay
DL	: Diode Laser.
EDFA	: Erbium Doped Fiber Amplifier
EPON	: Ethernet Passive Optical Network
FTTB	: Fiber To The Building
FTTC	: Fiber To The Curb
FTTCab	: Fiber To The Cabinet
FTTCell	: Fibre To The Cell
FTTH	: Fiber To The Home
FTTLA	: Fiber To The Last Amplifier
FTTN	: Fiber To The Node/Neighborhood
FTTO	: Fiber To The Office
FTTP	: Fiber To The Premises
FTTS	: Fiber To The Street
FTTx	: Fiber To The x (H, B, C, O, P, ..etc.)
FWM	: Four Wave Mixing
GPON	: Gigabit Passive Optical Network
IES	: Interference Inter Symbol
IoT	: Internet of Thing.
IP	: Internet Protocol
IP-TV	: Internet Protocol-Television
LED	: Light Emitting Diode
NE	: Non linear Effect
NGPON2	: 2 nd Next-Generation Passive Optical Network
NRZ	: Non-Return to Zero
NZDSF	: Non-Zero Dispersion Shifted Fiber

ODN	: Optical Distribution Network
OLT	: Optical Line Termination
ONT	: Optical Network Terminal
ONU	: Optical Network Unit
PIN	: Positive Intrinsic Negative Photodiode
PMD	: Polarisation Mode Dispersion
PON	: Passive Optical Network
PRBS	: Pseudo-Random Binary Sequences
Q	: Quality factor.
RZ	: Return to Zero
SBS	: Stimulated Brillouin Scattering
SMF	: Single Mode Fiber
SOA	: Semi-conductor Optical Amplifier
SPA	: Société Par Action.
SPM	: Self-Phase Modulation
SRS	: Stimulated Raman Scattering
T1/E1	: American Standard/European Standard
TCP	: Transmission Control Protocol
TDM	: Time Division Multiplexing
TDMA	: Time Division Multiple Access
TEB	: Taux d'Erreur Binaire
UDP	: User Datagram Protocol.
UDWDM	: Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing
UIT-T	: Union Internationale des Télécommunications
VoD	: Voice over Data
WDM	: Wavelength Division Multiplexing.
WWDM	: Wide Wavelength Division Multiplexing
XGPON	: Extended Gigabit PON
XGSPON	: Extended Gigabit Symmetrical PON
XPM	: Cross Phase Modulation



Introduction générale



De nos jours, le secteur des télécommunications a connu une expansion remarquable, en particulier dans les transmissions à large bande via des fibres optiques. L'extension de la bande passante signifie qu'une vaste gamme de fréquences est disponible pour transmettre des informations. Plus cette gamme de fréquences est large, plus la quantité d'informations pouvant être transmise simultanément est importante.

Au cours de la dernière décennie, les nouvelles technologies de transmission optique et de mise en réseau ont connu une croissance significative, notamment avec l'émergence de la 5G, de l'internet des objets (*IoT*) et des villes intelligentes. Ces développements ont également stimulé une industrie beaucoup plus efficace, exigeant une bande passante gigantesque et des débits très élevés de l'ordre de *1 Tbps*. Ces avancées s'accompagnent d'une pléthore de solutions innovantes [1].

Les réseaux à fibre optique sont devenus indispensables pour fournir des services d'internet rapides et fiables. La technologie PON (*Passive Optical Network*) a joué un rôle essentiel dans cette évolution en permettant une connectivité à large bande passante à partir d'une infrastructure optique partagée.

Deux normes PON récemment utilisées, à savoir le GPON (*Gigabit PON*) et le XGSPON (*Extended Gigabit Symmetrical PON*). Le GPON est une technologie bien établie qui offre des débits allant jusqu'à 2.5 Gbps en aval et 1.25 Gbps en amont, tandis que le XGSPON est une technologie plus récente offrant des débits plus élevés de 10 Gbps dans les deux sens (*aval et amont*).

A cet effet, nous nous concentrons sur l'évaluation des performances d'un système de coexistence GPON et XGSPON. La coexistence de ces deux technologies sur un même réseau présente des avantages pour les opérateurs de réseaux, car elle leur permet de fournir des services à différentes vitesses en fonction de besoins de leurs abonnés.

Le but principal du système de coexistence GPON et XGSPON est de permettre une transition en douceur et une intégration harmonieuse des réseaux existants basés sur le GPON avec les nouvelles installations utilisant la technologie XGSPON. Le GPON est une technologie établie et largement déployée, offrant des débits de données élevés mais inférieurs à ceux de XGSPON. Le XGSPON, en revanche, offre des vitesses plus élevées et une capacité accrue pour répondre aux besoins croissants en bande passante des utilisateurs.



Ce système permet aux opérateurs de télécommunications de mettre à niveau progressivement leur infrastructure GPON vers XGSPON tout en maintenant la connectivité et les services existants. Cela garantit une transition fluide sans perturber les clients et minimise les coûts liés au remplacement complet de l'équipement GPON.

Le travail de ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une notion générale sur la fibre optique telles que, les principes de base, les avantages, les types de fibres optiques, les applications ainsi que son évolution future. Le second chapitre se concentre sur une étude détaillée de la chaîne de transmission optique, comprenant le bloc d'émission, le support de transmission et le bloc de réception. Le troisième chapitre porte sur les réseaux PON (*Passive Optical Network*) et les principaux types de structures de réseaux utilisés, tels que le BPON, l'EPON, le GPON, le XGPON, le XGSPON, ...etc.

Le dernier chapitre, quant à lui, est consacré aux différentes simulations du système de coexistence et son comportement en termes de taux d'erreur binaire (*BER*), de facteur de qualité *Q* ainsi que le digramme de l'œil. Une comparaison détaillée sera évaluée entre les différentes technologies de réseaux PON afin de choisir la meilleure pour une contribution efficace. Une conclusion générale des travaux de ce mémoire résumera les différentes études et contributions présentées dans ce contexte et introduira les perspectives des travaux également futurs.

La seconde partie de ce mémoire se concentrera sur une étude de faisabilité visant à créer une startup dans ce domaine. Cette étude comprendra une analyse de marché et une évaluation financière, dans le but de concrétiser le projet de recherche sur le terrain.



Chapitre I

Notions sur la fibre optique

I.1 Introduction

Les fibres optiques sont actuellement le support de transmission de l'information le plus fiable et le plus sécurisé dans le monde des télécommunications. Elles sont flexibles et disposent une grande exploitation de la bande passante qui permet d'augmenter le débit, la portée ainsi que le nombre d'utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux concepts de la fibre optique en décrivant les caractéristiques qu'elle dispose notamment la bande passante, le débit binaire, l'atténuation, la dispersion chromatique, la dispersion de mode de polarisation, les effets non linéaires ainsi que les types et le domaine d'application sans oublier les avantages et les inconvénients.

I.2 Notions sur la fibre optique

I.2.1 La fibre Optique

La fibre optique est un fil très fin en verre avec $62.5 \mu\text{m}$ d'épaisseur au maximum, permet de transmettre plusieurs signaux (couleurs) entre deux extrémités à travers la lumière qui est guidée dans le cœur, la transmission des données se fait sur de grandes distances, Elle offre un débit d'information évidemment supérieur à celui des câbles coaxiaux [1].

I.2.1.1 Structure de la fibre optique

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

- Une partie centrale de la fibre optique (Cœur) où la lumière est transmise, avec un indice de réfraction n_1 .
- Une partie qui entoure le cœur appelée la gaine optique, qui permet la réflexion totale de la lumière, avec un indice de réfraction n_2 , où : $n_1 > n_2$.
- Une partie qui assure la protection de la fibre optique (revêtement primaire).

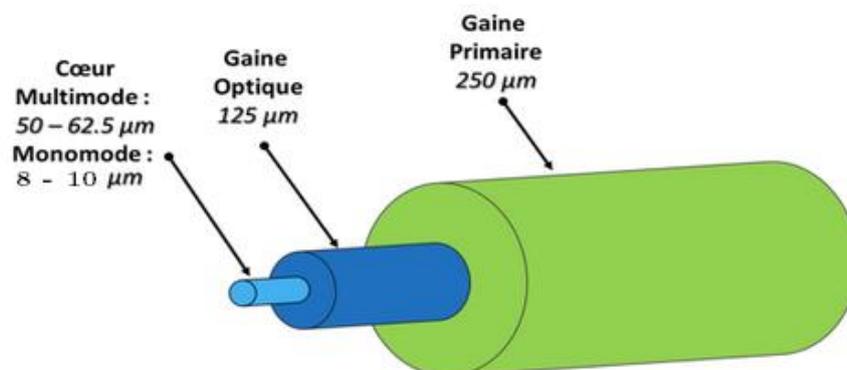


Figure I-1: Structure d'une fibre optique.

I.2.1.2 Principe et fonctionnement de la fibre optique

Dans la fibre optique, la transmission de la lumière se fait par ce que l'on appelle le phénomène de la réflexion totale (Total Internal Reflection), phénomène qui survient lorsqu'un rayon lumineux arrive sur la surface de séparation de deux milieux d'indices différents (cœur et gaine optique).

La transmission de l'information est basée sur le principe de la réfraction des rayons incidents sur la surface cœur-gaine, avec un indice de réfraction de la partie qui entoure le cœur (la gaine) est inférieur à celui de la partie centrale de la fibre (le cœur).

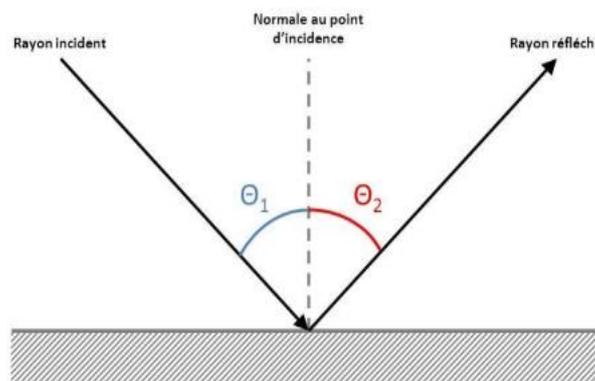


Figure I-2: Principe de la réfraction des rayons incidents . [2]

Lorsqu'un faisceau de lumière se propage le long d'une fibre optique, il est réfléchi sur la paroi interne de la fibre et rebondit de manière répétée jusqu'à atteindre l'autre extrémité de la fibre. Cette propriété de réflexion interne totale permet de transmettre des données à haut débit sans perte de signal, même lorsque la fibre est pliée entre l'émetteur et le récepteur. [3].

I.2.1.3 Différents catégories de fibres optiques

En fonction de la longueur d'onde utilisée et du diamètre du cœur, on définit deux catégories de fibres optiques, à savoir :

- La fibre optique monomode.
- La fibre optique multimode.

1. La fibre optique monomode

Parmi ses caractéristiques, le diamètre du cœur est très petit (8 μm -10 μm), dans le but que la propagation des signaux soit directe, la dispersion du signal est quasiment nulle, les rayons suivent un seul trajet.

Ce type est essentiellement utilisé pour des grandes distances ($L > 100$ km), avec un débit très élevé (~ 100 Gbit/s), et nécessite peu de nœuds de raccordement [4].

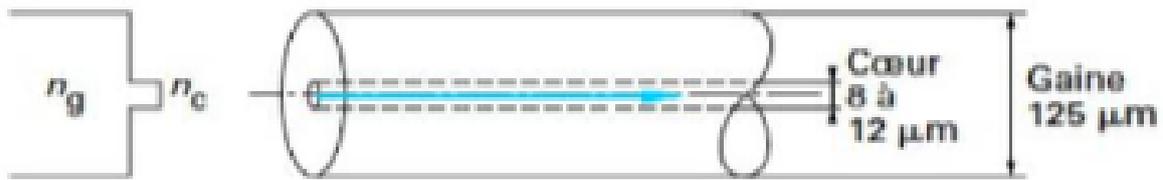


Figure I-3: Fibre optique monomode [5].

2. La fibre optique multimode

La fibre optique multimode est le premier type fabriqué dans le domaine des télécommunications, cette dernière possède un cœur de grand diamètre par rapport à celle monomode (62.5 μm). Les faisceaux lumineux peuvent suivre des chemins différents grâce aux réflexions totales qu'elles subissent à l'interface cœur/gaine, ces rayons arrivent à des moments différents en raison des différentes vitesses qu'elles empruntent ce qui résulte une dispersion dite multimodale qui génère une forte dispersion du signal lumineux, à cause de la multiplication des modes de propagations (dispersion modale). Ce type de fibre est divisée en deux catégories [6] :

- La fibre multimode à saut d'indice (débit limité à 50 Mbit/s)
- La fibre multimode à gradient d'indice (débit limité à 1 Gbit/s).

2.1 La fibre multimode à saut d'indice

Ces fibres sont composées d'un cœur d'indice n_1 et d'une gaine optique d'indice n_2 (avec $n_2 < n_1$), et une rupture d'indice (saut d'indice). La réflexion totale se produit à l'interface de la gaine et ainsi le rayon lumineux se propage dans le noyau.

Les rayons lumineux ne se réfléchissent pas sur la gaine sous le même angle car ils ne suivent pas le même chemin de propagation, c'est-à-dire qu'ils ne disposent pas le même temps de propagation à se déplacer jusqu'à l'arrivée. Progressivement, si la longueur augmente, le temps de propagation des impulsions augmente, cela signifie un risque de chevauchement entre les impulsions de sortie.



Figure I-4: Fibre multimode à saut d'indice [5].

Cette fibre est utilisée généralement pour transmettre l'information sur une courte distance comme des capteurs industriels ou des équipements médicaux [1].

2.2 La fibre multimode à gradient d'indice

Puisque la vitesse de propagation des rayons lumineux est déterminée par l'indice, la vitesse de transmission des rayons en périphérie est plus rapide que la transmission au centre de la fibre, qui tend à compenser la distance la plus longue parcourue par les rayons externes.

Les rayons arrivent presque en même temps cela produit un étalement des impulsions d'autant plus faible.



Figure I-5: Fibre multimode à gradient d'indice [5].

Cette fibre est utilisée pour transmettre des informations sur des longues distances (~ 10 km) comme les réseaux locaux d'entreprise, les réseaux locaux industriels et les centres de données avec des débits très élevés.

I.2.1.4 Différents types de fibres optiques

Plusieurs types de fibres optiques sont recommandées par l'UIT-T sont comme suit :

1. **G-651** : Fibres multimodes à 850 nm ;
2. **G-652** : Fibre monomode standard à 1310 nm optimisée ;
3. **G-652c** : Fibre à faible pic d'eau pour le CWDM ;
4. **G-653** : Zero Dispersion point Shifted à 1550 nm, provoque facilement le FWM ;
5. **G-654** : Coupe de w/l décalé, câble sous-marin ;
6. **G-655** : Dispersion non nulle décalée (bande C), la dispersion limite la distance à 100 km et empêche le FWM (Four Wave Mixing) ;
7. **G-655b** : NZDSF avancé (S, C band).

I.2.1.5 Les caractéristiques de la fibre optique

Les paramètres principaux qui caractérisent les fibres optiques sont les suivants :

1. Atténuation

L'atténuation est une perte de transmission due aux longues distances. Elle est exprimée par le rapport de la puissance optique d'entrée P_i et la puissance optique de sortie P_o de l'unité logarithmique du décibel.



Figure I-6: Effet de l'atténuation [7].

L'atténuation est généralement exprimée en décibels par unité de longueur :

$$\alpha_{dB} \times L = 10 \log_{10} (p_i/p_0) \quad \text{Equation (1)}$$

- α_{dB} : est l'atténuation du signal par unité de longueur exprimée en dB/km.
- L : est la longueur de la fibre exprimée en km.

2. Bande passante

C'est un intervalle de fréquence sur lequel le signal ne subit pas un affaiblissement supérieur à une certaine valeur en dB (*généralement 3 dB* $\rightarrow A(f)$ à 50%).

La bande passante dépend du type de fibre, la fibre monomode permet d'avoir un débit beaucoup plus important que la fibre multimode [8].

Le tableau suivant montre les différentes formules pour calculer la bande passante de chaque type de fibre optique :

Dénomination	FO Multimodes à saut d'indice	FO Multimodes à gradient d'indice	FO Monomodes
Bande passante pour 1 km.	5 à 100 MHz.	300 à 10 ³ MHz.	100 GHz.
Formule de la Bande Passante. $\Delta \lambda, B_0$ et γ : sont fournis par le constructeur.	$W = \frac{B_0}{L^\gamma}$	$W = \frac{1}{\sqrt{\frac{L^{2\gamma}}{B_0^2} + \frac{DC^2(\lambda) \cdot \Delta \lambda^2 \cdot L^2}{0.35^2}}}$	$W = \frac{0.35}{DC(\lambda) \cdot \Delta \lambda \cdot L}$

Tableau I-1 : Formules de la bande passante.

- W : est la bande de fréquence où les signaux sont correctement reçus.

3. La dispersion

Le phénomène de dispersion est la soumission du signal injecté dans la fibre optique de longueur L à la déformation.

Dans une fibre optique, la dispersion est la somme de deux dispersions principales, il s'agit :

- La dispersion de mode de polarisation (PMD).
- La dispersion chromatique (CD).

3.1 La dispersion chromatique (CD)

La dispersion chromatique (CD) ou *intra-modale* est définie comme la dérivée du temps de propagation de groupe par rapport à la longueur d'onde, pour une longueur de fibre de 1 km. Elle est la somme de deux dispersions : *la dispersion du matériau* et *la dispersion due au guidage de l'onde* [9].

Elle entraîne différents temps de propagation et un élargissement temporel des impulsions émises. Cet étalement devient relativement important à certaines distances.



Figure I-7: Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique.

L'élargissement est calculé selon la formule suivante :

$$\tau = CD(ps.\eta m^{-1}.km^{-1}) \times L(km) \times \Delta\lambda(\eta m) \quad \text{Equation (2)}$$

Où :

CD : Le coefficient de dispersion chromatique ($ps.\eta m^{-1}.km^{-1}$).

L : La longueur de la fibre (km).

$\Delta\lambda$: La largeur spectrale de la source (ηm).

3.2 La dispersion de mode de polarisation (PMD)

La dispersion modale est causée par l'asymétrie ou la non-homogénéité du profil d'indice dans le cœur de la fibre lors de sa fabrication. Cela crée un effet photoélastique, entraînant une biréfringence et une polarisation variable. En conséquence, les deux modes de propagation de la lumière sont excités simultanément, chacun ayant sa propre vitesse de propagation. Cette différence de temps de propagation est appelée DGD (*Differential Group Delay*). Le DGD est une variable aléatoire qui suit une loi de Maxwell [10].

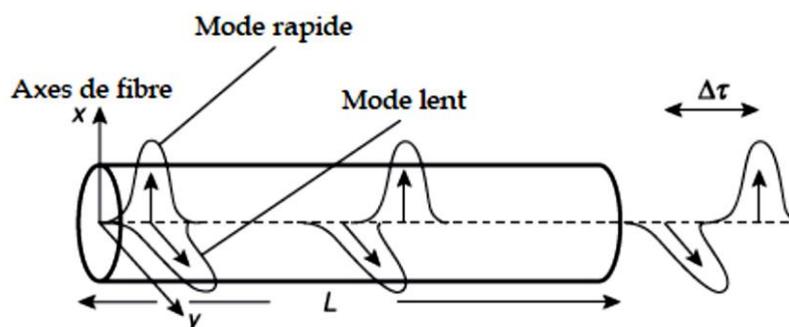


Figure I-8 : Effet de la dispersion de mode de polarisation (PMD).

Sa valeur est déterminée par la formule suivante :

$$\langle \Delta\tau \rangle = \text{Coe}f_{PMD} \sqrt{L} \quad [ps] \quad \text{Equation (3)}$$

Où :

$\text{Coe}f_{PMD}$: est le coefficient de PMD en $ps/km^{-1/2}$

4. Les effets non linéaires

En transmission optique, il existe de nombreux effets non linéaires tels que l'effet Kerr, l'effet Raman et l'effet Brillouin.

4.1 Effet de Kerr

L'effet de Kerr, nommé d'après le physicien écossais John Kerr qui la découvrit en 1875, est un phénomène qui étend la loi de réfraction lors de la propagation de la lumière à travers des milieux d'indice variable. [11].

L'indice de réfraction n peut alors être exprimé comme une fonction non linéaire du champ électrique E .

$$n = n_0 + n_2 |E|^2 \quad \text{Equation (4)}$$

Où :

E : est le champ électrique.

n_0 : est la contribution linéaire.

n_2 : est le coefficient de Kerr qui dépend du matériau.

Une première conséquence de l'effet Kerr se traduit par l'auto modulation de phase (SPM), la modulation de phase croisée (XPM) et le mélange à quatre ondes (FWM).

Dans le quatrième chapitre (simulations et résultats), nous tiendrons en compte les deux effets non linéaires à savoir l'auto modulation de phase (SPM) et la modulation de phase croisée (XPM).

a) Auto modulation de phase (SPM)

L'auto modulation de phase est un phénomène qui se manifeste par la dépendance de l'indice de réfraction de la puissance dans un milieu non linéaire. Cet effet a été observé pour la première fois en 1970.

Si un champ intense se propage au sein d'une fibre optique de longueur L alors celui-ci va subir un déphasage non linéaire auto-induit via une modification locale de l'indice.

Le déphasage non linéaire, qui est proportionnel à l'intensité de l'onde, est calculé à l'aide de l'équation suivante [12] :

$$\Delta\varphi = \gamma P_0 L_0 \quad \text{Equation (5)}$$



Où :

$\Delta\varphi$: est le déphasage induit par l'auto-modulation de phase.

γ : est le coefficient de non-linéarité de la fibre.

P_0 : est la puissance optique incidente.

L_0 : est la longueur de la fibre.

b) Modulation de phase croisée (XPM)

La modulation de phase croisée est un phénomène où une onde optique de forte puissance altère l'indice de réfraction de la fibre optique, provoquant ainsi un changement de phase dans une autre onde optique se propageant en parallèle dans la même fibre. Cette interaction peut entraîner des interférences et des distorsions dans le signal optique [13].

$$\Delta\varphi = \gamma P_2 L_2 \quad \text{Equation (6)}$$

Où :

$\Delta\varphi$: est le déphasage induit par la modulation de phase croisée.

γ : est le coefficient de non-linéarité de la fibre.

P_2 : est la puissance optique de la deuxième onde incidente (onde de modulation).

L_2 : est la longueur de la fibre parcourue par la deuxième onde.

c) Mélange à quatre ondes (FWM)

Le mélange à quatre ondes est un phénomène non linéaire observé dans les fibres optiques lorsqu'il y a la coexistence de trois ondes optiques à différentes fréquences. Ce phénomène engendre la création d'une quatrième onde optique, dont la fréquence est déterminée par une relation spécifique.

La formule pour le mélange à quatre ondes (*Four-Wave Mixing, FWM*) dans les fibres optiques est donnée par :

$$\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3 \quad \text{Equation (7)}$$

Où :

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ et ω_4 : représentent les fréquences des ondes optiques impliquées dans le processus de mélange à quatre ondes.

4.2 Diffusions Raman

Ce sont des phénomènes optiques résultant de l'interaction entre la lumière et les vibrations moléculaires d'un matériau. Cet effet a été découvert en 1928 par le physicien indien *Chandrashekhara Venkata Raman*, d'où son nom.

Lorsque la lumière rencontre une molécule, une partie de son énergie est transférée aux vibrations moléculaires, ce qui entraîne un changement de fréquence de la lumière diffusée. Ce changement de fréquence est caractéristique des molécules dans l'échantillon, ce qui permet d'identifier et d'analyser les composés chimiques. Les diffusions Raman (SRS : *Stimulated Raman Scattering*) sont largement utilisées dans des domaines tels que la spectroscopie, l'analyse chimique, la caractérisation des matériaux et la biologie.

4.3 Diffusions Brillouin Stimulées

La diffusion Brillouin stimulée est un phénomène optique dans lequel la lumière incidente interagit avec les vibrations acoustiques dans un matériau. Ce phénomène est nommé d'après le physicien français *Léon Brillouin*, qui l'a décrit pour la première fois en 1922. Lorsque la lumière incidente rencontre des ondes acoustiques, une partie de son énergie est transférée à ces ondes, ce qui entraîne un changement de fréquence de la lumière diffusée. Ce changement de fréquence, appelé décalage de *Stokes*, est proportionnel à la fréquence de l'onde acoustique et peut être utilisé pour déterminer les propriétés acoustiques du matériau. La diffusion Brillouin Stimulée est utilisée dans des applications telles que la mesure de la température, la détection de contraintes et la caractérisation des fibres optiques.

I.2.1.6 Applications de la fibre

Le domaine d'application de la fibre optique est vaste. Ses différents avantages permettent son utilisation dans de multiples applications à savoir :

a. Les télécommunications

Dans les télécommunications, les fibres optiques sont utilisées pour transmettre des informations qu'il s'agisse d'une conversation téléphonique, d'une image ou de données. C'est l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est la plus importante.

Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300000 pour la fibre optique. Utilisée notamment pour les réseaux à haut débit (*câbles transatlantiques*) à très faible atténuation de 0.28 dB/km, avec un débit peut atteindre 1 Tbit/s [14].



Figure I-9 : Fibre optique vs Paire de cuivre.

b. La médecine

La première utilisation majeure des fibres optiques a été en médecine, où elles sont encore largement utilisées aujourd'hui. Elles sont utilisées en médecine pour diagnostiquer des problèmes de santé et traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, les câbles à fibres optiques transmettent la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par des organes internes et reçue par un autre câble à fibre optique qui transmet cette lumière à un système d'imagerie vidéo. Ainsi, un aperçu de haute qualité en temps réel de ce qui se passe in vivo est possible. Un exemple d'une telle utilisation est l'endoscopie, notamment en gastro-entérologie.



Figure I-10 : Un endoscope.

Pour un traitement chirurgical, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus en chirurgie associée à un faisceau laser, il est possible de : enlever les tumeurs, réparer les rétines.



Figure I-11 : Chirurgie.

c. La défense

L'armée a reconnu l'importance de la fibre optique et son efficacité dans la fourniture d'une meilleure productivité et la sécurité des données supplémentaires car il est durable, léger et peut être utilisé dans des environnements difficiles.

d. L'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, la fibre optique est également largement utilisée dans l'aménagement des musées, des bâtiments et des espaces de divertissement publics et domestiques. Est un outil courant dans les balises, les décorations, la signalisation directionnelle ou encore la signalisation routière.



Figure I- 12 : Eclairage.

e. Les capteurs

Les capteurs sont utiles pour mesurer la pression, la force, la variation de température, ... etc. Ils ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques.

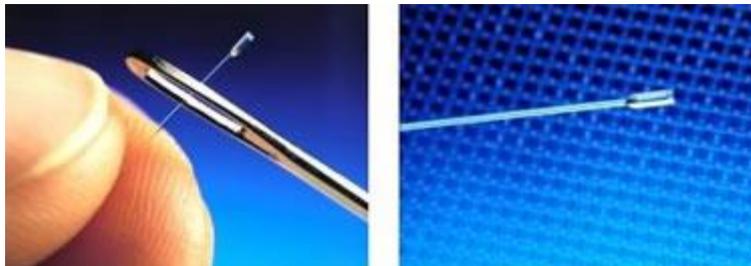


Figure I-13 : Capteurs pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.

I.2.1.7 Avantages de la fibre optique

La fibre optique présente plusieurs avantages notamment dans le domaine des télécommunications, car elle possède une large bande passante et peut transmettre de très hauts débits sur une longue distance, parmi ces avantages [15]:

1. Petite taille et poids ;
2. Grande bande passante ($> 50 \text{ GHz}$ pour 1 km de longueur) ;
3. Longues liaisons non répétées ($> 70 \text{ km}$ en fonctionnement) ;
4. Sources lumineuses peu coûteuses disponibles.
5. Isolation électrique ;
6. Immunité aux interférences et à la diaphonie ;
7. Sécurité d'informations ;



8. Faible perte de transmission (5 dB/km à $<0,25 \text{ dB/km}$ typique) ;
9. Robustesse et flexibilité ;
10. Fiabilité du système et facilité d'entretien ;
11. Faible coût potentiel ;
12. Évolutivité future.

I.2.1.8 Inconvénients de la fibre optique

Parmi les inconvénients on trouve :

1. La dispersion, qui peut provoquer une dégradation du signal, et les pertes d'atténuation, qui nécessitent l'utilisation de dispositifs d'amplification tels que les amplificateurs optiques.
2. Limitée au domaine terrestre, elles sont souvent utilisées dans l'espace aérien.
3. Fragilité : la fibre optique est plutôt fragile et plus vulnérable aux dommages par rapport aux fils de cuivre.
4. Elles ont besoin plus de protection autour du câble que le cuivre.
5. Production moins chère, mais son installation est coûteuse.

I.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exprimé des notions de base sur la fibre optique, notamment son fonctionnement, sa constitution, ses caractéristiques en termes de bande passante, du débit, de dispersions, ...etc., après nous avons décrit les différents domaines d'application à savoir, la médecine, la défense, les télécommunications, ...etc., et nous avons terminé par ses avantages et ses inconvénients.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons la chaîne de transmission optique avec des différents blocs qui les constituent à savoir, le bloc d'émission, le support de transmission et le bloc de réception.



Chapitre II

La chaîne de transmission optique

II.1 Introduction

Les télécommunications optiques ont pris une importance considérable dans les réseaux de communication longue distance, en grande partie grâce à la bande passante élevée et aux pertes très faibles de la fibre optique. Cela a permis la conception de systèmes de transmission à très haute capacité, ce qui rend la fibre indispensable dans les réseaux métropolitains, transnationaux et intercontinentaux.

Dans cette première partie, nous décrivons les différents éléments constitutifs d'une chaîne de transmission optique, en commençant par l'émetteur (*laser, driver, modulateur...*), en poursuivant avec le support de transmission qui est la fibre optique, puis en abordant les principales caractéristiques du récepteur optique.

Après nous terminerons en présentant les différents types d'accès multiples qui peuvent être utilisés dans une liaison de transmission optique. L'objectif est de fournir une description synthétique de chaque élément, en décrivant leur rôle, leur fonctionnement, leurs caractéristiques et limites.

II.2 Présentation d'une chaîne de transmission optique

Les systèmes de télécommunications, se basent sur trois parties fondamentales :

Bloc d'émission, le support de transmission et le bloc de réception.

- Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif (*la diode laser*) qui permet de convertir un signal sinusoïdal électrique en un signal optique.
- Le support de transmission (*la fibre optique, amplificateurs optiques en ligne, multiplexeurs/démultiplexeurs WDM, DWDM, CWDM, ...etc.*) qui permet de transporter une porteuse optique modulée contenant l'information.
- Le récepteur (*bloc de réception*) permet de récupérer le signal électrique véhiculé en utilisant une conversion *optique/électrique*.

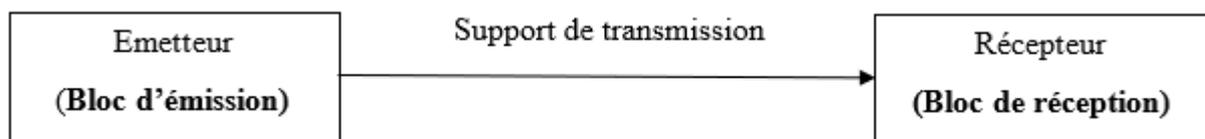


Figure II-1 : Schéma général d'un système de transmission par fibre optique.

II.2.1 Bloc d'émission

Pour transmettre l'information (*lumière*), il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques, ces conversions sont effectuées par des composants particuliers et après on transmet ce signal optique sur un support de transmission.

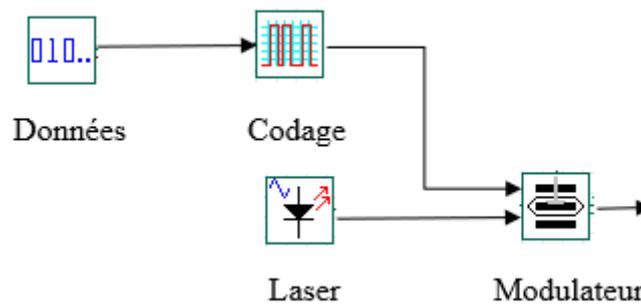


Figure II- 2: Schéma synoptique de l'émetteur.

a) Les données

a.1 Codage de source

Le codage de source est un processus qui réduit la taille des données tout en préservant les informations importantes. Il existe deux types d'algorithmes de compression de données : la compression sans perte, qui conserve toutes les données sans perte, et la compression avec perte, qui sacrifie certains détails pour une compression plus élevée.

a.2 Codage de canal

Le codage de canal est une technique utilisée dans les systèmes de communication pour améliorer la fiabilité de la transmission des données en présence de bruit ou d'interférences. Il consiste à ajouter des bits supplémentaires aux données d'origine afin de détecter et corriger les erreurs lors de la réception.

b) Codage en ligne

Les télécommunications utilisent souvent des fibres optiques pour transmettre l'information sous forme numérique, c'est-à-dire en utilisant des codes binaires constitués de 0 et de 1.

Il existe plusieurs types de formats d'encodage, nous prenons le RZ et le NRZ :

- Le codage RZ divise chaque bit de données en intervalles de temps, où le signal optique revient à zéro (*niveau bas*) au milieu de l'intervalle. Cela crée des transitions fréquentes du signal, ce qui facilite la synchronisation et la détection du signal [16].

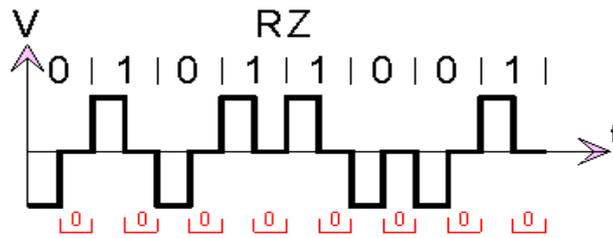


Figure II-3 : Codage RZ [17].

- Le codage NRZ maintient le signal optique à un niveau constant (*niveau bas ou niveau haut*) pendant toute la durée d'un intervalle de temps correspondant à un bit de données. Contrairement au codage RZ, il n'y a pas de retour à zéro au milieu de l'intervalle. Le codage NRZ est simple et largement utilisé, mais il peut poser des défis en termes de synchronisation et de détection du signal.

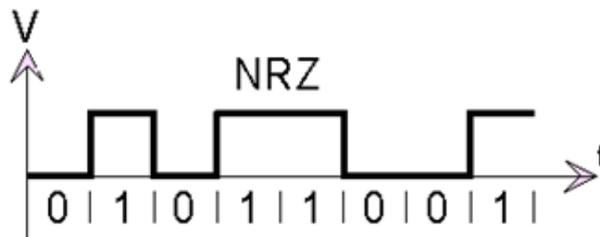


Figure II- 4 : Codage NRZ [17].

c) Les sources optiques

Elles jouent un rôle essentiel dans les communications optiques. Leur fonction principale consiste à convertir le signal électrique en une forme optique et le transmettre à travers la fibre optique. On distingue deux types de sources optiques :

- Les diodes laser (DL)**

La diode laser est une source de lumière cohérente et monochromatique, capable de produire un rayonnement d'émission stimulée, caractérisée par une large bande passante et une faible largeur spectrale. Elle est couramment employée dans les systèmes de transmission à longue distance pour assurer une communication efficace sur des grandes distances.



Figure II-5 : Diode laser.

▪ Diode électroluminescente (LED)

Une diode électroluminescente ou LED (*Light Emitting Diode*) est un composant émetteur simple qui fonctionne sur le principe de l'émission spontanée de la lumière. La lumière émise par une LED présente un large spectre et une faible directivité, Elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes.

Les LED se trouvent couramment dans les véhicules, le matériel informatique, les téléphones et autres dispositifs électroniques, et elles sont disponibles en différentes couleurs telles que le vert, le jaune et le rouge (*Figure II-6*).



Figure II-6: Diode LED.

d) La modulation

La modulation consiste à transformer un signal porteur à l'aide d'un signal modulant. Dans le contexte de la modulation optique pour les télécommunications, on se concentre sur deux méthodes principales de modulation des ondes optiques.

d.1 Modulation directe

La modulation directe est une technique de modulation où le processus de modulation est effectué à l'intérieur de la source lumineuse. L'intensité du signal lumineux est directement modulée par la source lumineuse elle-même en variant le courant électrique qui lui est appliqué.

Bien que cette méthode soit plus simple et économique, elle présente des limitations en termes de taux de modulation et de distance de transmission du signal.

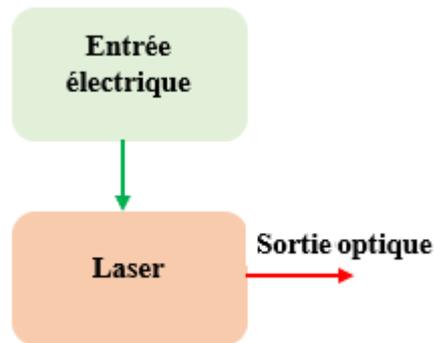


Figure II- 7 : Modulation directe.

d.2 Modulation externe

La modulation externe est une technique de modulation où le processus de modulation est réalisé après la source lumineuse, à l'aide d'un dispositif externe de modulation. Le signal lumineux émis par la source est introduit dans ce dispositif, où un signal électrique est appliqué pour modifier ses caractéristiques telles que son amplitude ou sa fréquence. Cette technique offre une modulation plus flexible et des performances améliorées, mais elle peut être plus complexe et coûteuse que la modulation directe.

Il existe deux types de modulateurs externes :

1. *Les modulateurs de type Mach-Zehnder ;*
2. *Les modulateurs Electro-absorbants.*

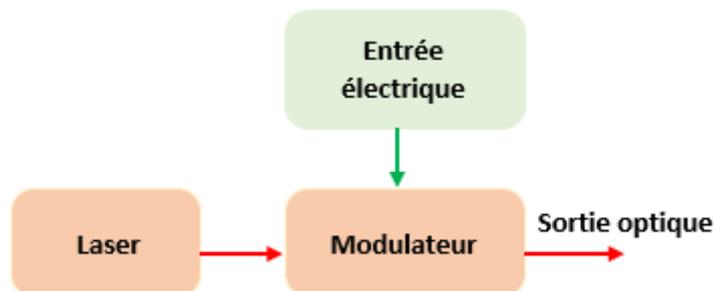


Figure II-8 : Modulation externe.

II.2.2 Support de transmission

1. Fibre Optique

Elle a été décrite dans le premier chapitre.

2. Amplificateur optique en ligne

Effectivement, il existe trois familles d'amplificateurs optiques couramment utilisés en télécommunications optiques.

2.1 Amplificateur optique (EDFA)

EDFA, amplificateur à fibre dopée Erbium, joue un rôle crucial dans les réseaux optiques modernes. Il est composé de segments de fibres optiques de différentes longueurs contenant des ions de terre rare, principalement de l'Erbium. Ces ions présentent une transition radiative spécifique située autour de $1.55 \mu\text{m}$. Par le biais d'un processus de pompage optique, les ions de terre rare sont excités et inversent leur population, passant dans un état excité. Ce pompage optique est généralement effectué à des longueurs d'onde d'environ de 980 nm ou 1480 nm .

Lorsque le signal optique traverse la fibre dopée, il stimule les ions Erbium à revenir à leur état fondamental, ce qui entraîne une émission radiative stimulée autour de $1.55 \mu\text{m}$. Cette émission radiative stimulée permet d'amplifier le signal optique initial [18].

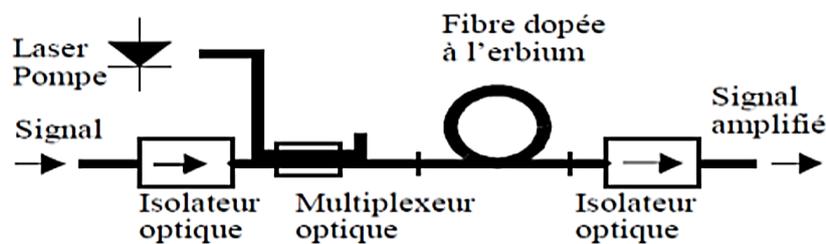


Figure II-9 : Principe de fonctionnement d'un EDFA.

2.2 Amplificateur à semi-conducteur (SOA)

Un amplificateur à semi-conducteur (SOA) est un dispositif optoélectronique capable dans des conditions appropriées, d'amplifier un signal lumineux entrant. Les recherches sur les amplificateurs à semi-conducteur ont commencé lorsque les lasers à semi-conducteur ont été développés avec une fiabilité acceptable pour un fonctionnement continu. La structure de base d'un SOA est similaire à celle d'une diode laser, à la différence qu'il n'y a pas de miroir aux extrémités, mais plutôt un revêtement anti-reflets déposé sur les faces pour minimiser les réflexions de la lumière à l'intérieur du circuit. Ce dispositif d'amplification est compact et présente l'avantage d'être alimenté électriquement [18].

2.3 Amplificateur Optique à effet Raman

Les amplificateurs Raman jouent un rôle significatif dans les systèmes de transmission optique sur de longues distances, ce qui en fait les premiers dispositifs optiques non linéaires largement utilisés dans les télécommunications. Ils exploitent le principe de la diffusion Raman, un effet non linéaire à deux photons, où un photon de pompe est absorbé et un photon de plus

faible énergie est émis simultanément avec l'émission d'un phonon. L'amplificateur Raman utilise la fibre de transmission elle-même comme un milieu d'amplification.

3. Multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing)

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (*WDM*) est une méthode qui permet de maximiser la bande passante disponible dans une fibre optique et d'augmenter la capacité du réseau. Cette technique consiste à transmettre différents signaux sur une même fibre optique en les combinant à l'aide d'un multiplexeur. Chaque canal dispose d'une bande passante propre, ce qui permet à tous les signaux d'être transmis simultanément plutôt que d'être divisés et envoyés à des moments différents. Les signaux combinés sont ensuite séparés par un démultiplexeur à l'unité de réception et détectés par un photodétecteur.

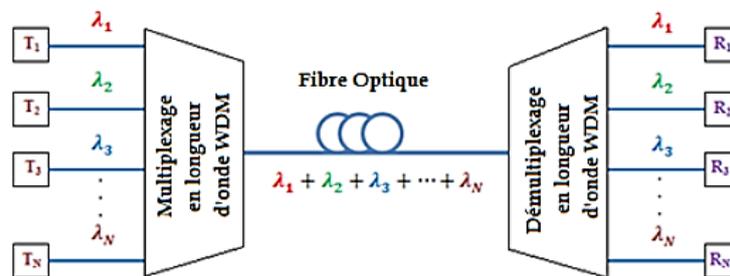


Figure II-10 : Principe du multiplexage WDM [19].

Le but principal du système WDM est d'augmenter à la fois le débit de données et la distance de transmission. Cependant, l'utilisation de cette technique peut entraîner des problèmes tels que la diaphonie, les effets non linéaires du mélange à quatre ondes (*FWM*) et la modulation de phase croisée (*XPM*). Ces problèmes sont causés par l'espacement étroit entre les canaux (*1.6 nm* ou *0.8 nm*), qui peut provoquer des interférences entre les canaux adjacents. La plage de longueurs d'onde autorisée dans la bande C de transmission, qui va de *1530 nm* à *1565 nm*, est définie par la norme *ITU-T G 692*. Pour déterminer l'espacement entre les longueurs d'onde, on peut utiliser la formule suivante :

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \Delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda \quad \text{Equation (8)}$$

Avec :

C : la vitesse de la lumière [m/s].

$\Delta\lambda$: la différence entre les longueurs d'ondes [nm].

$\Delta\nu$: l'espacement entre les canaux [GHz].

Le multiplexage et le démultiplexage en longueurs d'onde sont réalisés en utilisant des composants optiques tels que des coupleurs WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) ou des multiplexeurs.

3.1 Principe

La figure II.11, illustre un système conventionnel utilisant la technique de multiplexage WDM. Au niveau de l'émission, N canaux avec un débit nominal D sont multiplexés, tandis qu'à la réception, le signal global de $N \times D$ est démultiplexé en N canaux distincts. Cela signifie que la fibre transporte un multiple de N canaux, ce qui équivaut à N fibres distinctes transportant chacune un seul canal. Cette méthode permet ainsi d'augmenter considérablement la capacité d'un réseau sans avoir à modifier son infrastructure physique.

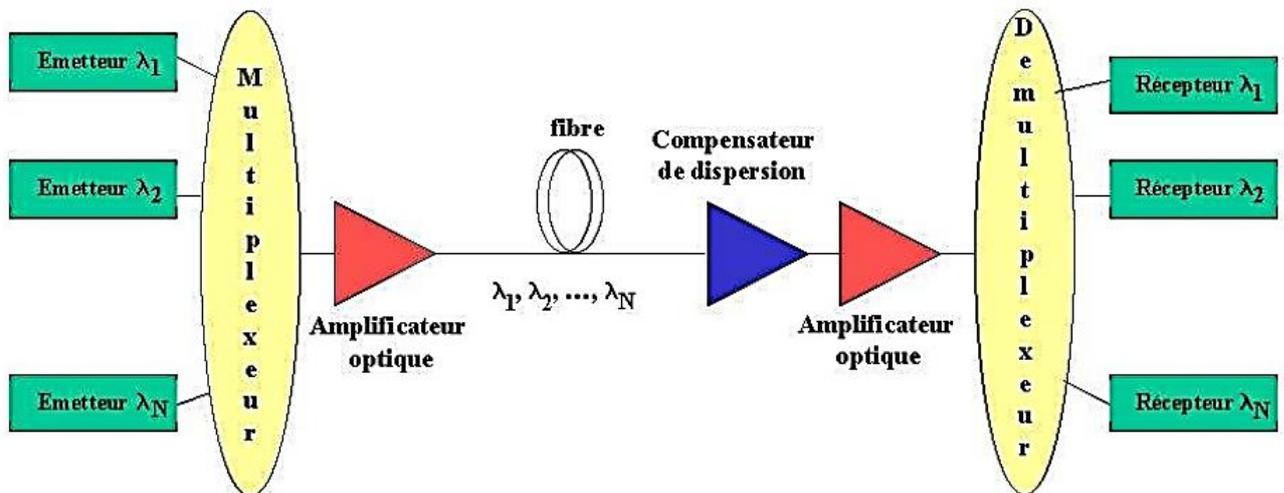


Figure II- 11 : Principe d'une liaison WDM.

3.2 Types de systèmes WDM

Les types de systèmes WDM peuvent être classés en fonction de l'espacement entre les canaux et du nombre de canaux, ainsi que de la bande de signaux utilisée (*voir tableau II-1*).

Type de multiplexage	Espacement entre les canaux (nm)	Nombre de canaux	Longueur d'onde (nm)
WWDM	24.5	4	1275.7 – 1349.2
CWDM	20	18	1270 - 1610
DWDM	0.8	160	1530 - 1625
UDWDM	0.4 et 0.1	400	1625 - 1675

Tableau II-1: Différents types du multiplexage WDM.

II.2.3 Récepteur optique

L'unité réceptrice est le dernier étage de la chaîne de transmission qui reçoit le signal optique issu de la fibre et le convertit en un signal électrique afin d'extraire les données transmises. Le

but du récepteur est de convertir efficacement le signal optique en signal électrique en utilisant la méthode de détection directe.

Le module récepteur est constitué de plusieurs blocs fonctionnels dont trois parties sont représentées en détail dans la figure II-12 et expliquées dans le paragraphe ci-après.

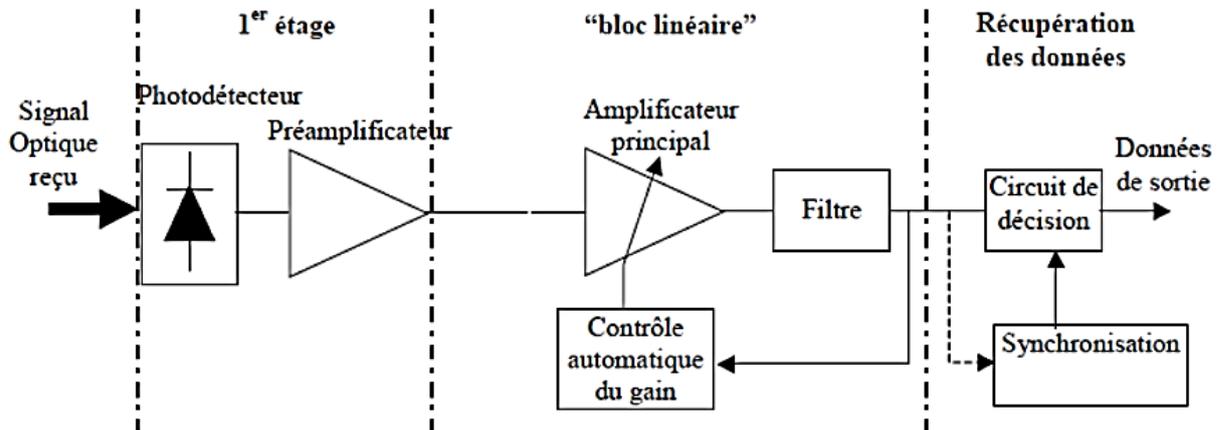


Figure II- 12 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe [20].

- Le bloc « premier étage » est constitué d'un photo détecteur. Un préamplificateur peut être ajouté pour générer un courant optique suffisamment fort, même si le signal optique reçu est faible ou le photo détecteur insensible
- Le bloc linéaire est composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre pour réduire le bruit.
- Le bloc de récupération de données est la dernière étape du récepteur et comprend un circuit de décision et un circuit de synchronisation pour récupérer le rythme.

a) Bloc 1^{er} étage

a.1 Le photodétecteur

Dans une liaison à fibre optique, l'interface optique de réception utilise un photodétecteur pour convertir le signal lumineux en signal électrique tout en minimisant les pertes de qualité du signal. Les photodétecteurs à semi-conducteurs sont couramment utilisés car ils offrent une sensibilité élevée, une vitesse élevée et une facilité d'utilisation, répondant ainsi aux exigences de performance des systèmes de transmission optique [16].

▪ Principe de la photodétection

Lorsque les photons traversent la fibre optique et sont absorbés par le matériau semi-conducteur du détecteur, ils excitent des électrons de la bande de valence à la bande de conduction. Les électrons libérés créent une paire électron-trou pour chaque photon absorbé.

Un champ électrique maintient les porteurs dans des zones de concentration préférentielles, ce qui génère un photo-courant détectable. Ainsi, les informations transportées par les photons peuvent être récupérées et utilisées dans le système de transmission optique.

- **Différents types de photodétecteurs**

- 1. Photodiodes PIN (*Positive Intrinsèque Négative Photodiode*)**

La photodiode polarisée en inverse est fabriquée à partir de trois couches semi-conductrices, dont deux sont fortement dopées $P+$ et $N+$, et la troisième est une couche de grande résistivité (*presque intrinsèque*), qui contient très peu de charges mobiles. Elle est très populaire en raison de son faible coût, de sa facilité d'utilisation et de ses performances satisfaisantes [21].

- 2. Photodiode APD (*Avalanche Photodiode*)**

Lorsque la puissance lumineuse est faible, les courants détectés peuvent se mélanger avec le courant d'obscurité, ce qui affecte le rapport signal à bruit. Pour améliorer cette situation, les diodes d'avalanche à gain interne (*APD*) sont utilisées. Les APD amplifient la puissance et génèrent un signal électrique plus fort même à partir d'une faible puissance lumineuse. Cependant, elles sont plus coûteuses et plus complexes à utiliser en raison de leur polarisation inverse élevée [21].

- b) Bloc linéaire**

- b.1 Amplificateur électrique**

Bien qu'un préamplificateur soit présent, le courant émis par la photodiode reste souvent insuffisant, ce qui nécessite l'utilisation d'un amplificateur électrique avec une large bande passante en sortie du photorécepteur. Le gain nécessaire peut être élevé car la détection est quadratique, ce qui implique qu'il faut 2 dB électriques pour compenser 1 dB optique.

- b.2 Circuit de filtrage**

Afin de réduire le bruit accompagnant le signal en sortie de la photodiode PIN, il est nécessaire d'appliquer un filtrage du signal numérique dans une bande de fréquence allant de 0 à ΔF . Cette bande doit être aussi étroite que possible pour minimiser le bruit, tout en évitant la création d'une interférence entre symboles (ISI), c'est-à-dire une situation où la réponse du filtre à un symbole annule les symboles voisins.

Selon le critère de *Nyquist*, on sait qu'un filtre passe-bas rectangulaire ayant une largeur de $\Delta F = Fr/2$ (Fr étant la fréquence du signal) satisfait à cette propriété. Cependant, ce filtre

théorique n'est pas réalisable en pratique. De plus, ce critère s'applique aux impulsions de *Dirac*, et non aux impulsions au format NRZ (*Non-Return-to-Zero*).

Par conséquent, on utilise le "*filtre pratique de Nyquist*", qui présente une largeur de bande de bruit approximativement égale à $\Delta F = 0.8 \times Fr$ dans des conditions courantes. Ce filtre permet de réduire le bruit tout en préservant la qualité du signal dans les systèmes de transmission de données.

c) Récupération des données

c.1 Circuit de décision

Le bloc de décision, composé d'un circuit de récupération d'horloge et d'un détecteur de seuil, il est utilisé pour reconstituer la séquence binaire à partir du signal électrique récupéré. Le diagramme de l'œil est utilisé comme outil visuel pour prendre des décisions fiables en ajustant le seuil de décision. Cela permet d'assurer une récupération précise des données binaires dans le système de transmission.

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une analyse approfondie de la chaîne de transmission optique. Nous avons commencé par examiner la partie d'émission, en étudiant les lasers, les LED et les modulateurs. Ensuite, nous avons examiné en détail les amplificateurs, en couvrant différents types d'amplificateurs, ainsi que les multiplexeurs optiques et leurs différentes variantes.

Enfin, nous avons abordé la partie de réception de la chaîne de transmission. L'objectif de ce chapitre était de fournir toutes les informations nécessaires pour comprendre l'architecture de notre système de coexistence. Dans le chapitre suivant, nous aborderons les réseaux PON et leurs descriptions.

Chapitre III

Les réseaux PON (Passive Optical Network)

III.1 Introduction

La demande croissante de services intégrant la voix, les données et la vidéo a ouvert le chemin au développement de nouvelles techniques de transmission dans le but ultime de réaliser un réseau d'accès à large bande. Les réseaux optiques passifs (PON) constituent l'une des alternatives offertes aux opérateurs de télécommunications, ils permettent de délivrer des services interactifs à haut débit jusqu'au domicile. Ils ont été considérés comme étant la solution la plus économique avec l'introduction de la fibre optique dans les réseaux d'accès.

L'objectif de ce chapitre consiste à présenter les différents standards des réseaux passifs optiques (PON), ainsi qu'une étude de deux systèmes qui constituent le système de coexistence GPON et XGSPON.

III.2 Les réseaux optiques passifs (PON)

Un PON, qui signifie "*réseau optique passif*", est un type de réseau de télécommunication qui utilise des lignes à fibres optiques pour transmettre des données. Ce système est considéré comme "*passif*" car il utilise des séparateurs non alimentés pour acheminer les données vers plusieurs destinations à partir d'un emplacement central. Contrairement aux réseaux point à point, les réseaux PON sont des systèmes point à multipoint (P2MP), ce qui les rend plus efficaces pour transmettre des données.

III.2.1 Architecture d'un réseau optique passif (PON)

Les trois principaux éléments constitutifs du réseau PON sont illustrés dans la figure III-1, au niveau central, il y a un équipement actif appelé OLT (*Optical Line Termination*), qui envoie et reçoit les signaux lumineux porteurs des données.

Au niveau de l'abonné, il y a un équipement actif appelé ONU (*Optical Network Unit*) ou ONT (*Optical Network Terminal*), qui assure la connexion du réseau aux interfaces spécifiques de l'utilisateur, telles que le connecteur RJ45 en cuivre pour l'accès *Internet*, le connecteur coaxial pour la télévision, le connecteur RJ11 en cuivre pour le téléphone analogique, ...etc.

Des composants passifs ou actifs sont installés le long du chemin de la fibre optique entre l'OLT et l'ONU. Leur rôle est de diviser le signal optique pour la transmission descendante (*de l'OLT vers l'ONU*) et de recomposer le signal à partir des multiples signaux remontants (*de l'ONU vers l'OLT*). Ces équipements sont généralement appelés "*splitter*" ou "*séparateurs*" [22].

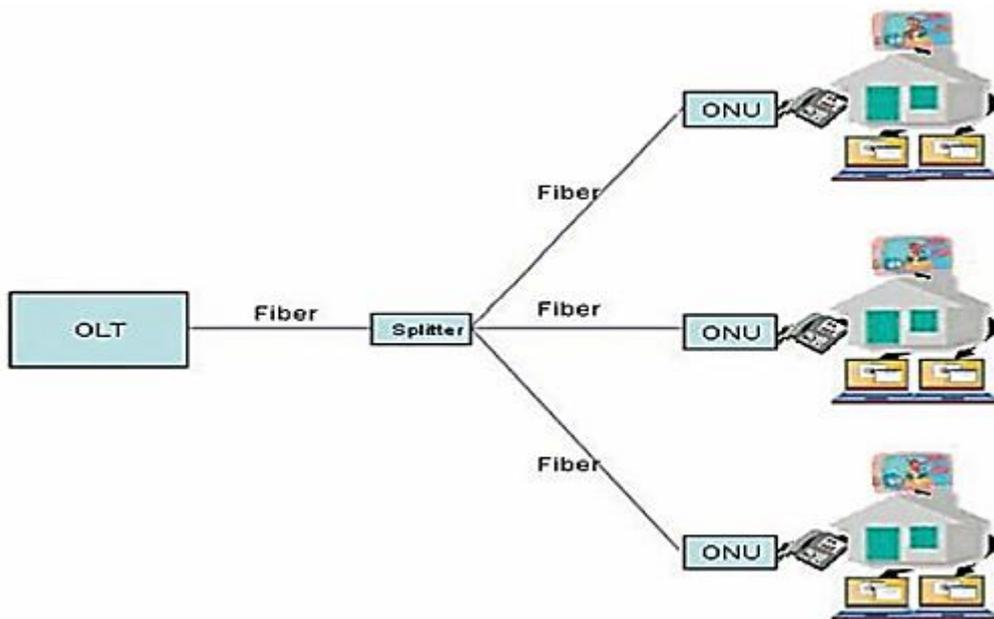


Figure III-1 : Architecture d'un réseau PON [22].

III.2.2 Topologie des réseaux PON

Le PON propose trois configurations de base : l'anneau, l'arbre et le bus. L'arbre est la configuration la plus utilisée en raison de sa capacité à maintenir une puissance de signal stable. L'anneau peut être utilisé avec un double anneau pour améliorer la redondance et la fiabilité du réseau. La configuration en bus permet de connecter toutes les stations à un même support, mais présente des défis en termes de partage du support physique.

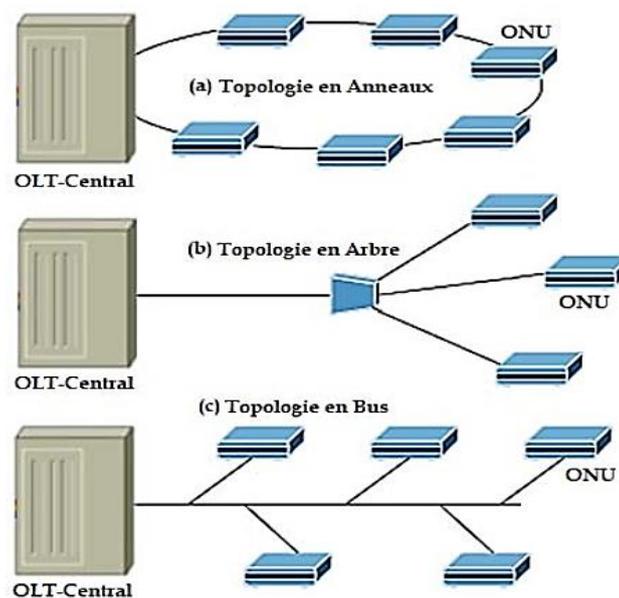


Figure III-2 : Topologies d'un réseau PON [23].

III.2.3 Principe de fonctionnement d'un réseau PON

III.2.3.1 Sens montant du type PON

Comme le coupleur est passif et que tous les ONT émettent à la même longueur d'onde, si deux ONT émettent simultanément, leurs signaux se mélangeraient et deviendraient illisibles pour l'OLT. Pour éviter cela, on utilise une méthode appelée partage du temps de parole le TDMA (*Time Division Multiple Access*). L'OLT alloue à chaque ONT un intervalle de temps en rotation, généralement quelques microsecondes, pendant lequel il est autorisé à émettre seul. Si un ONT a beaucoup de données à transmettre, l'OLT lui donne plus de temps de parole, tandis que pour ceux qui émettent moins, l'OLT réduit leur temps de parole.

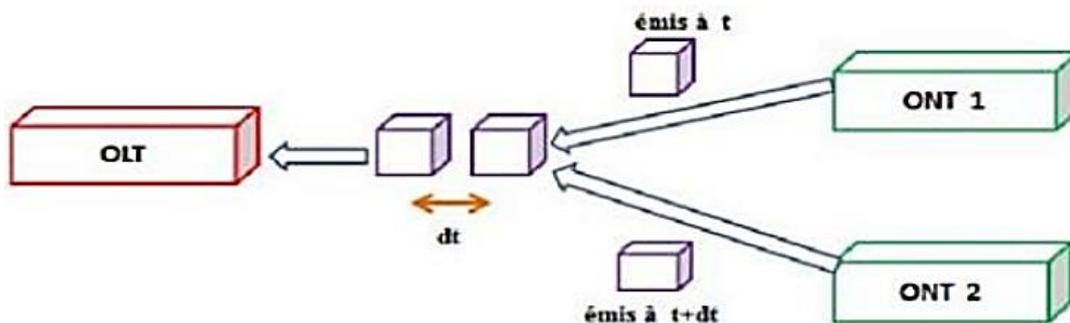


Figure III-3 : PON en sens montant [24].

III.2.3.2 Sens descendant du PON

Chaque abonné ne reçoit que les informations qui lui sont pertinentes en descendant, tandis que tous les ONT reçoivent toutes les données, mais seul l'ONT concerné les transmet dans le réseau interne de l'abonné, comme illustré dans la figure III-4.

III.2.3.3 Architecture PON unidirectionnelle

La structure de la PON unidirectionnelle comprend un émetteur OLT (*Optical Line Termination*), des coupleurs et des ONT. Chaque ONU (*Optical Network Unit*) ne reçoit que les données qui lui sont destinées, et chaque client a un créneau horaire précis pour émettre afin d'éviter toute interférence avec les autres clients. La figure III-3 illustre une connexion unidirectionnelle où une fibre est spécifiquement dédiée à la transmission ascendante et une autre à la transmission descendante.

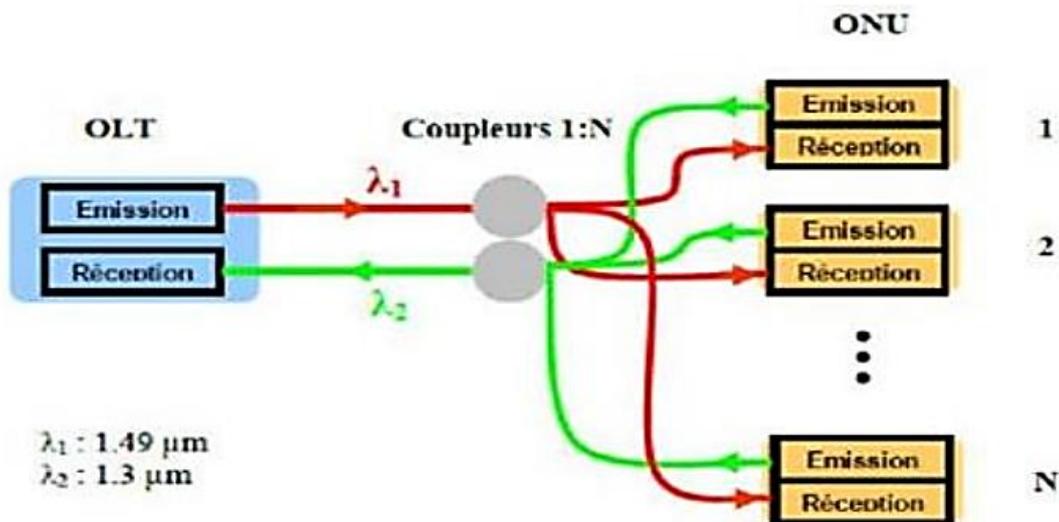


Figure III- 4 : Architecture PON unidirectionnelle.

III.2.3.4 Architecture PON bidirectionnelle

Elle a pour but de simplifier le réseau en économisant la fibre optique, en réduisant les points de connexion, et elle nécessite l'utilisation d'un multiplexeur de longueur d'onde généralement intégré aux modules d'émission et de réception.

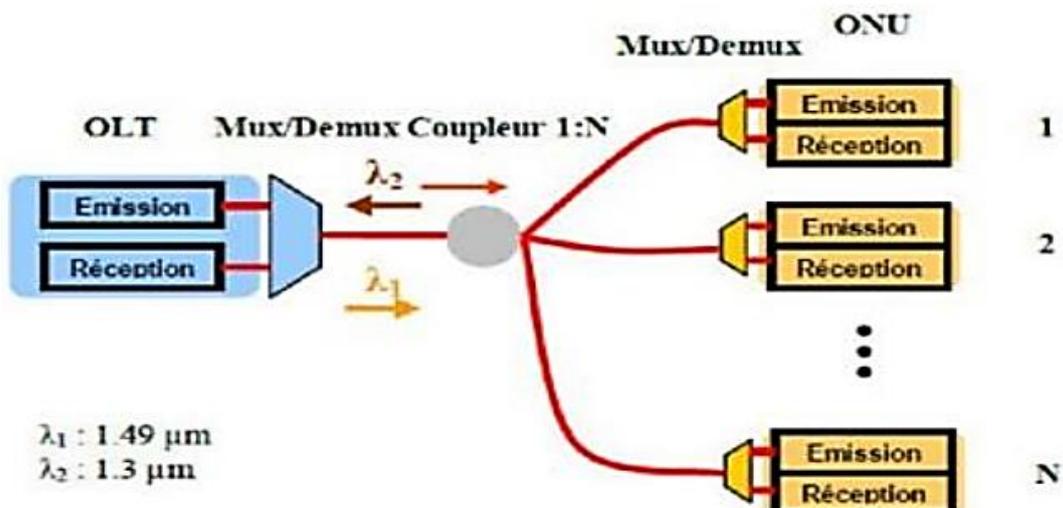


Figure III- 5 : Architecture PON bidirectionnelle.

III.2.4 Types de réseau PON

▶ APON

Le nom complet d'APON est Réseau Optique Passif en mode de transfert asynchrone (ATM-PON). En tant que premier système PON, APON utilise la technologie ATM pour transférer des données dans des paquets ou des cellules de taille fixe. Dans APON, la transmission en aval est un flux continu ATM avec un débit binaire de 155 Mbps ou 622 Mbps. La transmission en amont se fait sous forme de rafales de cellules ATM à 155 Mbps.

► BPON

BPON, également appelé PON à large bande, est la version améliorée de APON. Il utilise la technique de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) pour la transmission en aval, avec un débit de transmission allant jusqu'au 622 Mbps. Il fournit également plusieurs services à large bande tels que l'ATM, l'accès Ethernet et la distribution vidéo. De nos jours, BPON est plus populaire que l'APON.

► EPON

EPON ou Ethernet PON utilise des paquets Ethernet au lieu de cellules ATM. Les débits amont et aval de l'EPON peuvent atteindre jusqu'au 10 Gbps. Il est largement utilisé dans les architectures FTTP ou FTTH pour desservir plusieurs utilisateurs. Avec les avantages de l'évolutivité, de la simplicité, de la commodité, de la multidiffusion et de la capacité de fournir un accès complet aux services, de nombreuses régions asiatiques adoptent l'EPON pour leurs réseaux.

► GPON

Le Gigabit PON est le développement de BPON. Il prend en charge différents taux de transmission avec le même protocole. Le débit de données maximal en aval est de 2.5 Gbps et en amont de 1.25 Gbps. Il est également largement utilisé pour les réseaux FTTH. Cependant, par rapport à l'EPON, ses tailles de rafale et sa surcharge de couche physique sont plus petites.

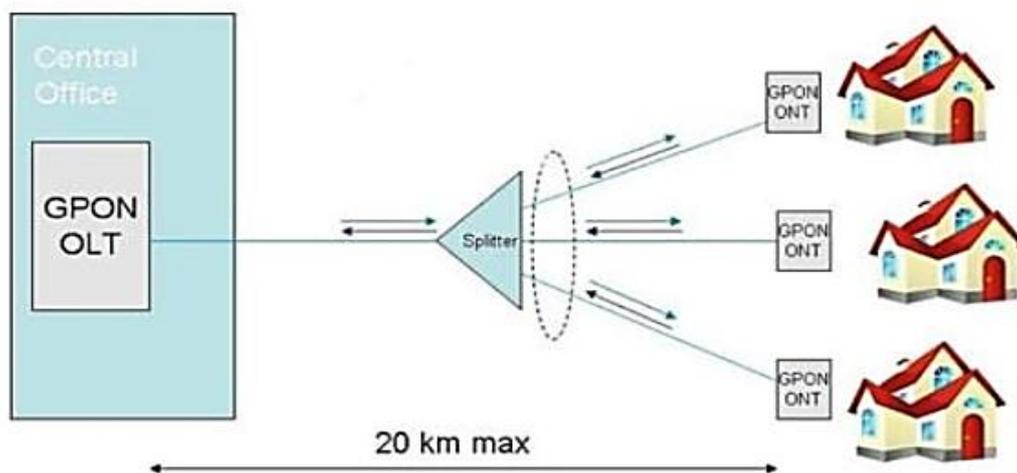


Figure III- 6 : Architecture de G-PON [25].

Le tableau III-1 ci-après, illustre une comparaison de débit entre BPON, EPON et GPON :

	BPON	EPON	GPON
Débit de données (<i>sens descendant</i>)	600 Mbit/s	1 Gbit/s	2.54 Gbit/s
Débit de données (<i>sens montant</i>)	150 Mbit/s	1 Gbit/s	1.25 Gbit/s
Format de transmission	Ethernet	ATM	ATM+TDM+Ethernet

Tableau III- 1 : Comparaison entre les trois standards de réseau PON.

III.3 GPON (Gigabit PON)

Le GPON est une variante du réseau PON qui fait partie de la norme *ITU-T G.984.x*. Il utilise différentes longueurs d'onde pour la transmission de données, avec *1490 nm* en aval (*Downstream*) et *1310 nm* en amont (*Upstream*). Pour la distribution de la télévision en aval, une longueur d'onde de *1550 nm* est utilisée. Les débits de transmission du GPON sont de *2488.32 Mbps* en aval et de *1244.16 Mbps* en amont. Les paquets dans le système GPON sont gérés selon le protocole ATM et utilisent une méthode d'encapsulation pour transporter d'autres protocoles tels que l'Ethernet, IP, TCP, UDP, T1/E1, vidéo et VoIP. Le chiffrement utilisé dans le GPON est de type AES (*Advanced Encryption Standard*) pour sécuriser les données en aval de l'OLT vers l'ONU.

Le GPON utilise généralement le multiplexage en longueur d'onde (*WDM*) et comprend un équipement OLT, un ONU et un splitter (*séparateur*) avec une capacité maximale de *1:128*, ce qui signifie qu'il peut prendre en charge jusqu'au 128 ONU. Dans le sens amont (*Upstream*) de l'ONU vers l'OLT, le GPON utilise le protocole TDMA (*Time Division Multiple Access*) pour éviter les collisions entre les transmissions [26].

L'atténuation entre l'ONU et l'OLT est spécifiée en trois classes selon la norme *ITU-T G.982* : classe A avec une atténuation de 20 dB, classe B avec une atténuation de 25 dB et classe C avec une atténuation de 30 dB [27].

La Figure II-7, montre le principe de fonctionnement du GPON basé sur l'Ethernet et/ou le TDM.

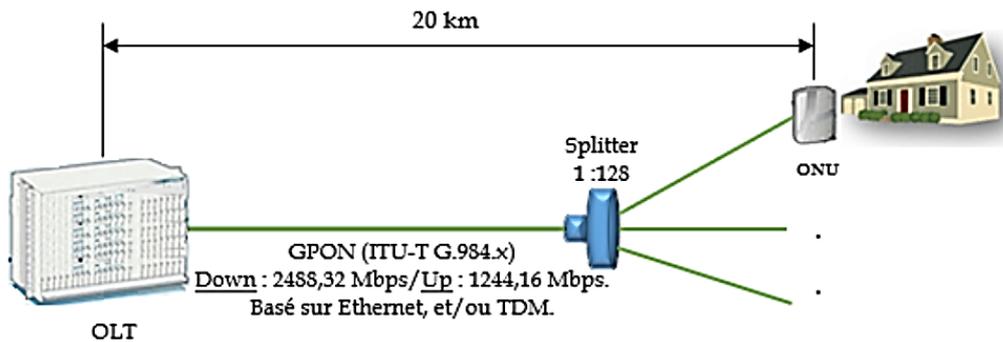


Figure III-7: Le principe du GPON.

III.4 XGS PON

Le XGSPON est une variante similaire du XGPON qui a été développée en 2016 selon la norme *ITU-T G.9807.1*. Il s'agit d'une version symétrique du GPON offrant une bande passante plus élevée. Son déploiement à grande échelle a commencé en 2018, offrant un débit symétrique de 10 Gbps en aval (*Downstream*) et de 10 Gbps en amont (*Upstream*).

Le XGSPON utilise des longueurs d'onde spécifiques pour la transmission des données. En aval, la longueur d'onde utilisée est de 1577 nm (*dans la plage de 1575 nm à 1580 nm*), tandis qu'en amont, la longueur d'onde est de 1270 nm (*dans la plage de 1260 nm à 1280 nm*). Dans le sens aval de l'OLT vers l'ONU, le XGSPON utilise la technique TDM (*Time Division Multiplexing*), tandis que dans le sens amont de l'ONU vers l'OLT, il utilise la technique TDMA (*Time Division Multiple Access*).

Le XGSPON peut prendre en charge jusqu'au 256 ONU avec une distance maximale de l'ODN (*Optical Distribution Network*) de 100 km. Cela permet une connectivité étendue et une prise en charge de nombreux abonnés sur une grande distance [19].

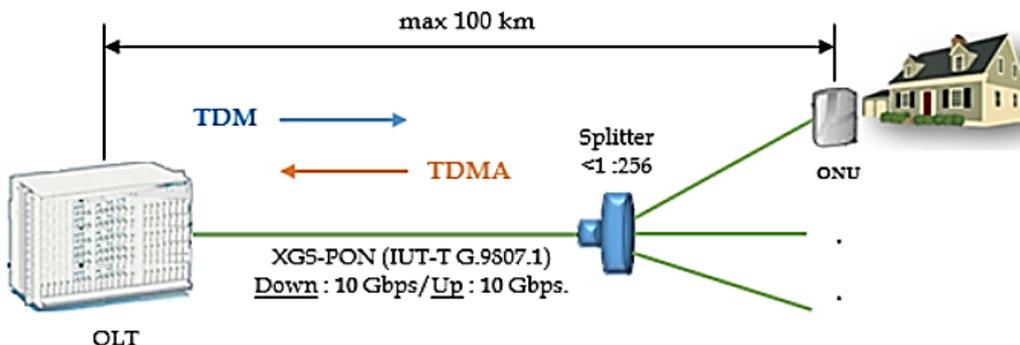


Figure III- 8 : Le principe du XGSPON.

III.5 Différence entre GPON, XGPON et XGSPON

Avec le développement des télécommunications ces dernières années, GPON a évolué progressivement vers XGPON et XGSPON. PON est devenu la technologie dominante pour la construction de réseaux *FTTx*, mais avec la forte demande des utilisateurs pour des débits très élevés tels que la vidéo OTT et la TV 4K, l'utilisation commerciale de 10G GPON a été mise à l'ordre du jour par de nombreux opérateurs. De plus, du point de vue des normes techniques et du développement de la chaîne industrielle, 10G GPON a été amélioré, ce qui en fait le meilleur choix pour la construction de réseaux FTTH à haut débit [28].

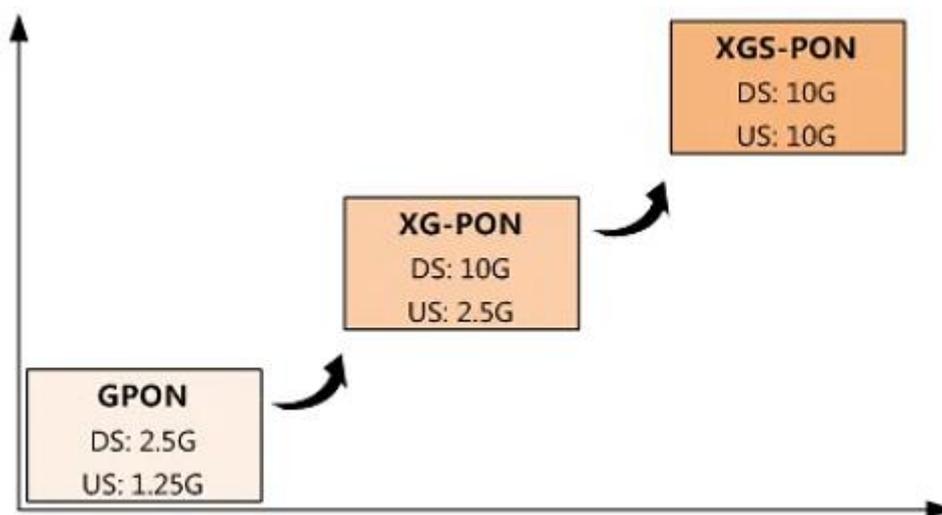


Figure III-9: Evolution de GPON vers le XGSPON [28].

III.6 Comparaison

Le tableau III-2 ci-après, illustre une comparaison de débit entre le GPON, le XGPON et le XGSPON :

	GPON	XGPON	XGSPON
Standard	IUT-T G.984.x.	IUT-T G.987.1.	IUT-T G.9807.1.
Débit descendant (<i>Down</i>)	2.488 Gbps.	10 Gbps.	10 Gbps.
Débit montant (<i>Up</i>)	1.244 Gbps.	2.5 Gbps.	10 Gbps.
Longueur d'onde descendante (<i>Down</i>)	1490 nm.	1490 nm.	1577 nm.
Longueur d'onde montante (<i>Up</i>)	1310 nm.	1310 nm.	1270 nm.
Longueur d'onde descendante vidéo (<i>Down</i>)	1550 nm/IP.	1550 nm/IP.	1550 nm/IP.
Distance ODN	20 km.	20 - 40 km.	100 km.
Nombre d'utilisateurs (<i>Max split</i>)	128.	256.	256.
Débit garantie par utilisateur	19.44/9.76 Mbps.	78.125/19.44 Mbps.	39.06/39.06 Mbps.
Budget de liaison	20/25/30 dB.	14-29/16-31/ 18-33/20-35 dB.	28/29 dB.
Coexistence	XGPON, XGSPON, NGPON2.	GPON, XGSPON, NGPON2.	GPON, XGPON, NGPON2.
Domaine d'application	FTTH, FTTB, FTTC, IP-TV, VoD, Internet très haut débit.	FTTCell, FTTH, FTTB, FTTO, FTTC/Cab, Business.	FTTCell, FTTH, FTTB, FTTO, FTTC/Cab, Business.

Tableau III-2 : Comparaison entre les trois standards, le GPON, le XGPON et le XGSPON.

III.7 La coexistence GPON et XGSPON

Pour permettre à XGSPON de partager l'ODN avec GPON, la solution Combo est adoptée car les longueurs d'onde de liaison *montante/descendante* de XGS-PON sont différentes de celles de GPON. Le module optique Combo de XGSPON combine le module optique GPON, le module optique XGSPON et le coupleur WDM.

Lors de la transmission dans la direction montante, le signal optique entre dans le port Combo XGSPON et le coupleur WDM filtre le signal GPON et le signal XGSPON en fonction de leur longueur d'onde respective. Ensuite, ces signaux sont envoyés vers différents canaux.

Dans la direction descendante, les signaux GPON et XGSPON sont multiplexés à travers le WDM (*ou CE : Coexistence Element*) et le signal combiné est envoyé vers l'ONU à travers l'ODN. Les différents types d'ONU sélectionnent la longueur d'onde requise via un filtre interne pour recevoir le signal, en raison de leurs longueurs d'onde différentes.

XGSPON prend en charge naturellement la coexistence avec XGPON, et la solution Combo de XGSPON permet l'accès mixte de trois types d'ONU : GPON, XGPON et XGSPON. Le module optique Combo de XGSPON est également appelé module optique Combo à trois

Chapitre III : Les réseaux PON (Passive Optical Network).

modes. Le module optique Combo XGPON est quant à lui appelé module optique Combo à deux modes car il permet l'accès mixte des ONU GPON et ONU XGPON [29]

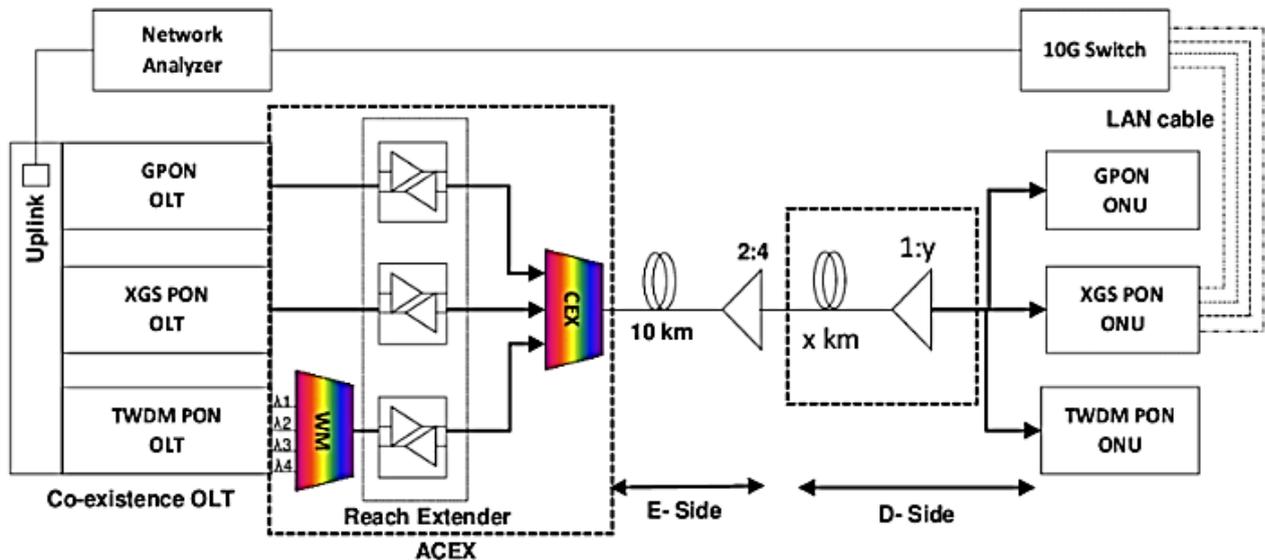


Figure III- 10 : La coexistence GPON et XGSPON. [29]

III.8 Conclusion

Le réseau PON est une technologie de réseau de télécommunications fiable et efficace pour fournir des services à haut débit à une grande variété de clients. Ils sont largement utilisés dans les réseaux de télécommunications modernes et constituent une solution viable pour répondre aux besoins croissants de connectivité à très haut débit.

Dans ce chapitre, nous avons fourni une généralité sur les réseaux PON, les topologies et les types, ainsi que sur le système de coexistence GPON et XGSPON. Nous avons également comparé le GPON avec le XGPON et le XGSPON, afin d'aborder la coexistence de GPON et le XGSPON.

L'objectif de ce chapitre est d'approfondir notre compréhension des réseaux PON et d'acquérir des connaissances plus approfondies avant d'aborder le chapitre suivant. Le dernier chapitre se concentrera sur la simulation et l'interprétation des résultats obtenus à l'aide du logiciel de simulation OptiSystem.

Chapitre IV

Simulation et interprétations des résultats

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble du travail de simulation que nous avons effectué afin d'évaluer les performances d'un système de coexistence GPON et XGS-PON à l'aide du logiciel OptiSystem.

Nous commençons par une brève présentation du logiciel OptiSystem ainsi que ses différentes caractéristiques.

Ensuite, nous allons évaluer les performances du système de coexistence dans un réseau d'accès optique bidimensionnel, une comparaison et optimisation en termes de taux d'erreur binaire TEB (ou BER), de diagramme de l'œil et de facteur de qualité Q sera établie.

Ce chapitre nous permet d'examiner les résultats de simulation en tenant compte de plusieurs paramètres tels que la distance (*la portée*), la puissance d'émission du laser, le format de modulation (*RZ et NRZ*) et les effets non linéaires (*XPM et SPM*).

Les simulations sont réalisées sous le logiciel OptiSystem version 20. Ce logiciel permet la simulation des systèmes de communication optique de n'importe quel type de liaison d'un large éventail de réseaux optiques. Il répond aux différentes applications de conception et de modélisation des réseaux optiques passifs de type GPON, XGSPON, ...etc. ainsi que tous les réseaux optiques hybrides basés sur des techniques d'accès.

IV.2 Description du logiciel OptiSystem

OptiSystem est un logiciel développé par une société canadienne appelée *Optiwave*, il permet aux utilisateurs de concevoir, de simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique.

IV.2.1 Interface du logiciel OptiSystem

L'interface graphique d'OptiSystem est divisée en plusieurs parties (*voir Figure IV-1*).

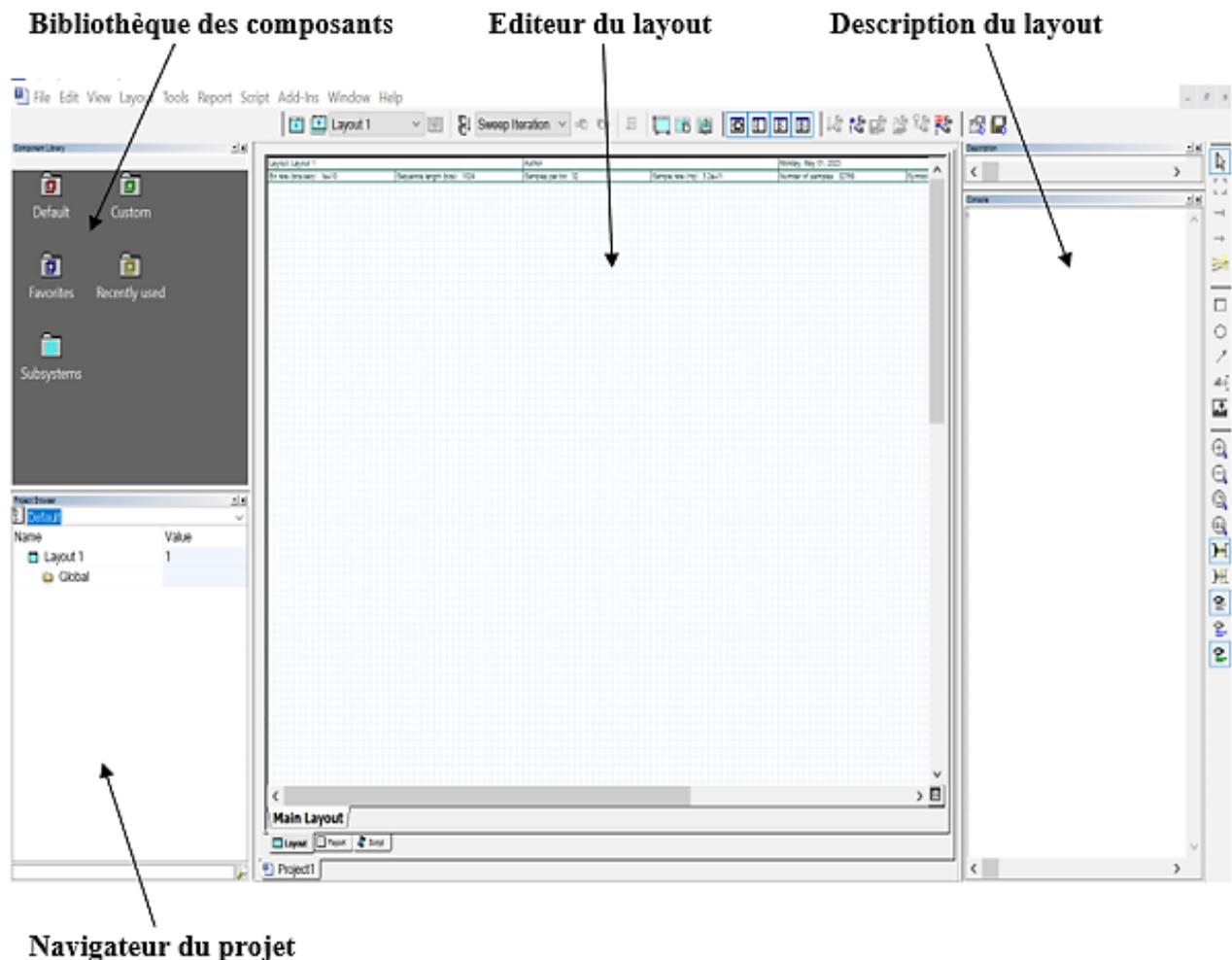


Figure IV-1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.

a. Bibliothèque des Composants

La bibliothèque des composants contient tous les composants qui nous permettent de concevoir des systèmes de communication optique tels que les réseaux PON, les réseaux mobiles, les réseaux d'accès, ...etc.

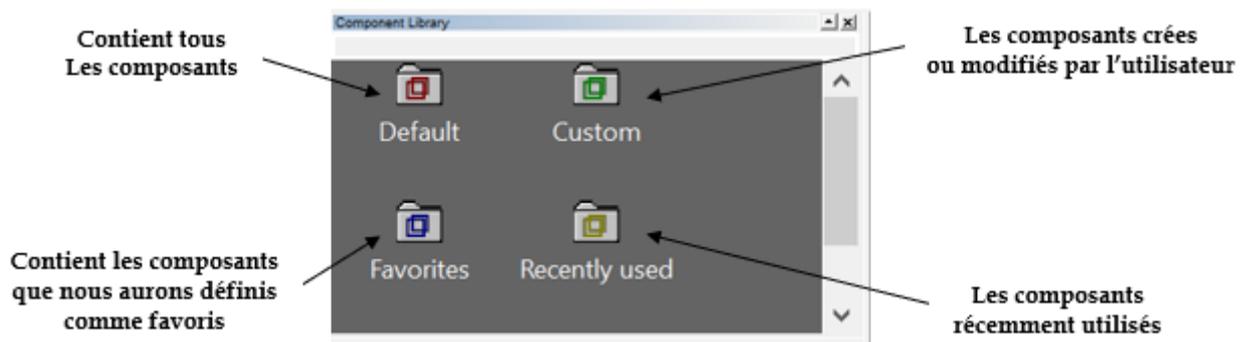


Figure IV-2 : Bibliothèque des composants

b. Navigateur du Projet (Projet en cours)

Permet un accès plus rapide à tous les composants utilisés dans le projet (voir Figure IV-3)

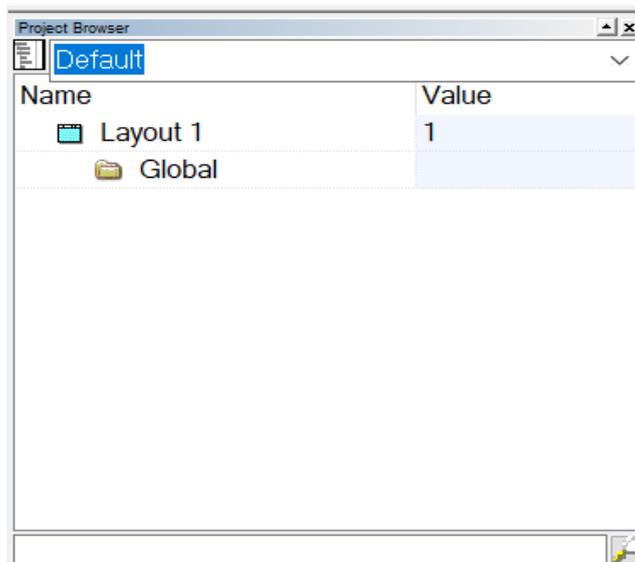


Figure IV-3 : Navigateur du Projet.

c. Editeur du layout

L'éditeur de layout permet de modifier et de configurer le schéma en cours de conception (voir Figure IV-4).

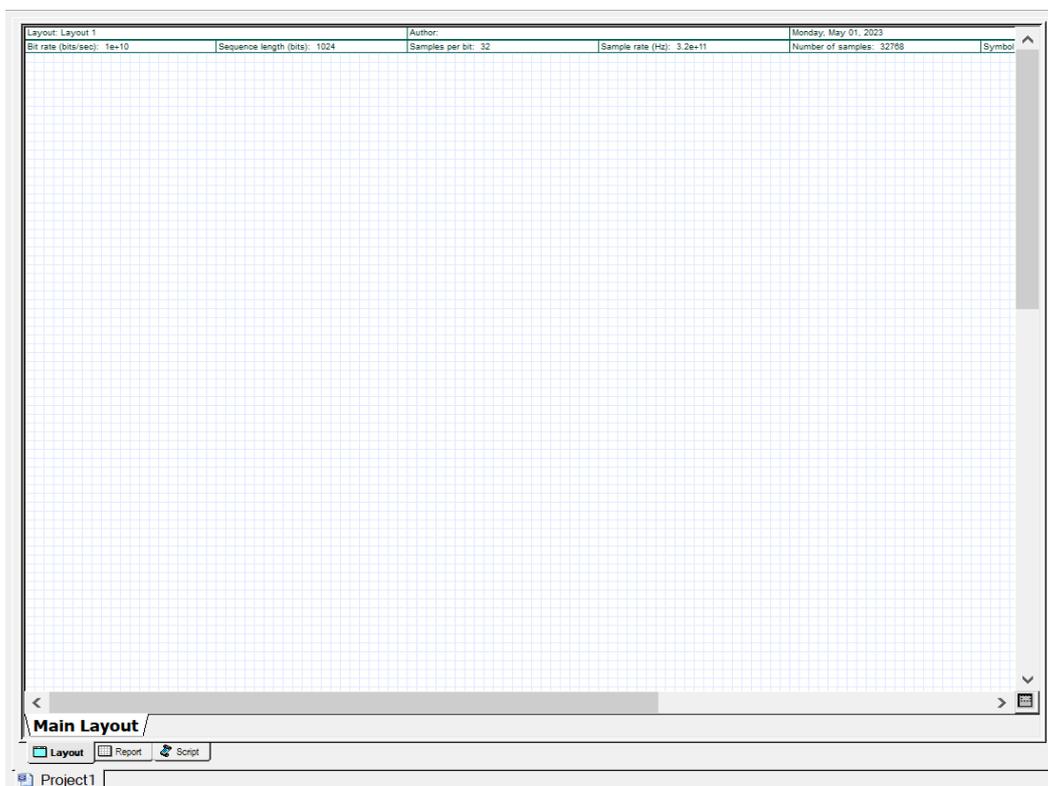


Figure IV-4 : Fenêtre de présentation du projet en cours.

d. Description du layout

Permet de visualiser et de présente les différents fichiers et les éléments associés au projet en cours.

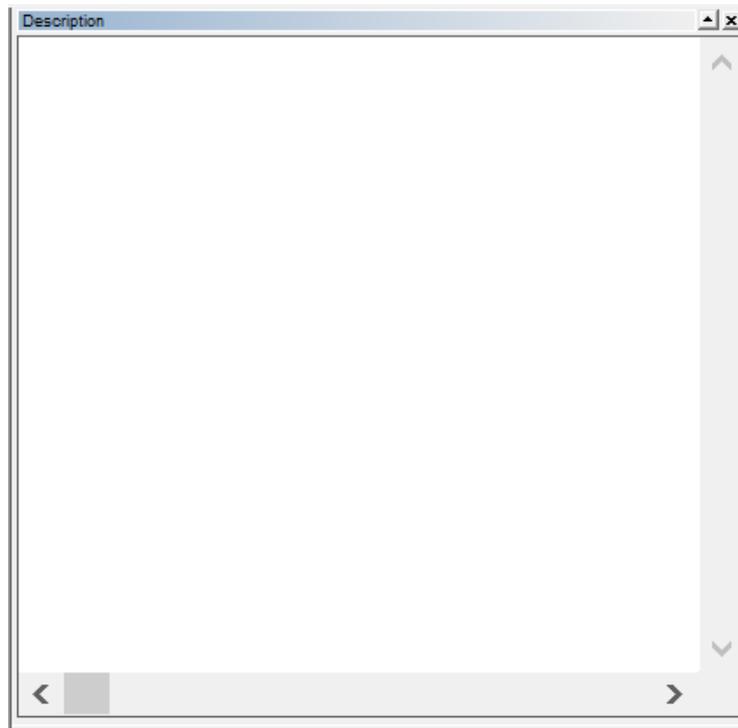


Figure IV- 5 : Fenêtre de description du projet en cours.

IV.2.2 Applications du logiciel OptiSystem

Voici quelques-unes des applications les plus couramment utilisées par OptiSystem :

- Conception de systèmes de communication optique, du niveau de composants à la couche physique.
- Calcul du taux d'erreur binaire (BER ou TEB) et du bilan de liaison.
- Conception des réseaux TDM/WDM et des réseaux optiques passifs (PON).
- Utilisation de l'espace libre pour les systèmes optiques (OSA).
- Conception d'émetteurs de canaux et d'amplificateurs.

IV.2.3 Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission

Il existe plusieurs critères et méthodes pour évaluer la qualité de la transmission optique, cependant les trois critères principaux pour mesurer cette qualité sont comme suit : le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire TEB (ou BER) et le facteur de qualité Q.

1. Taux d'erreurs binaires TEB (ou BER)

Les informations sont transférées en format numérique, ce qui signifie qu'elles sont transmises sous forme de séquences de données binaires. Pour évaluer la qualité d'une transmission numérique binaire, il est nécessaire de comparer la séquence de symboles envoyée

à celle qui est reçue. Cela est fait en calculant le nombre de bits incorrects, c'est-à-dire le nombre de fois où un "0" est détecté pour un symbole "1" émis, ou vice versa. Le taux d'erreur binaire TEB est alors défini comme le nombre de bits erronés divisé par le nombre total de bits transmis.

$$BER = TEB = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits totaux envoyés}} \quad \text{Equation (9)}$$

En communications optiques, un système est considéré comme étant de haute qualité si son taux d'erreur binaire (BER) est inférieur ou égal à 10^{-9} , avec un facteur de qualité (Q) supérieur ou égal à 6 en fonction du système. Dans notre système, le diagramme de l'œil est un indicateur qui suit la performance du réseau optique et détermine toute dégradation qui peut affecter la qualité du service. Notez bien que si l'œil est complètement ouvert cela signifie que le système présente un meilleur facteur de qualité Q et vice versa.

2. Facteur de qualité Q

Le facteur de qualité d'un système est une mesure qui n'a pas d'unité et qui indique la quantité d'énergie perdue par le signal. Pour minimiser cette perte, il est souhaitable que le coefficient de qualité atteigne des valeurs maximales. Le facteur Q et la bande passante sont directement proportionnels, ce qui signifie que si Q est élevé, la bande passante sera réduite. Dans notre domaine, ce facteur est limité à une valeur égale à 6. La formule qui définit cette relation est donnée comme suit [30] :

$$Q_i = \left| \frac{D - \mu_i}{\sigma_i} \right|, \quad i = 0,1 \quad \text{Equation (10)}$$

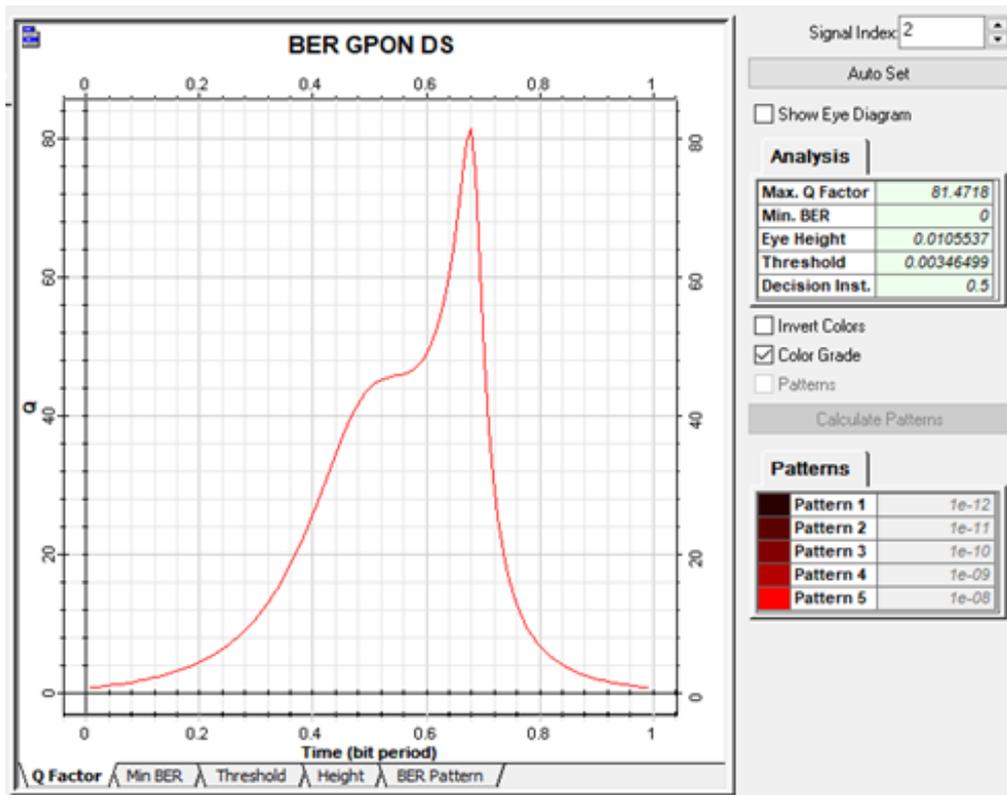


Figure IV-6 : Représentation schématique du facteur de qualité Q.

3. Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est une méthode "visuelle" pour évaluer la qualité d'un signal. Il est créé en superposant tous les symboles binaires du signal émis. Si le signal est de bonne qualité, le diagramme de l'œil sera plus ouvert, le facteur de qualité sera plus élevé, et la détection du signal sans erreur sera plus facile. Ainsi, le diagramme de l'œil est un moyen visuel excellent pour évaluer la qualité du signal, mais cela dépend de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé [31].

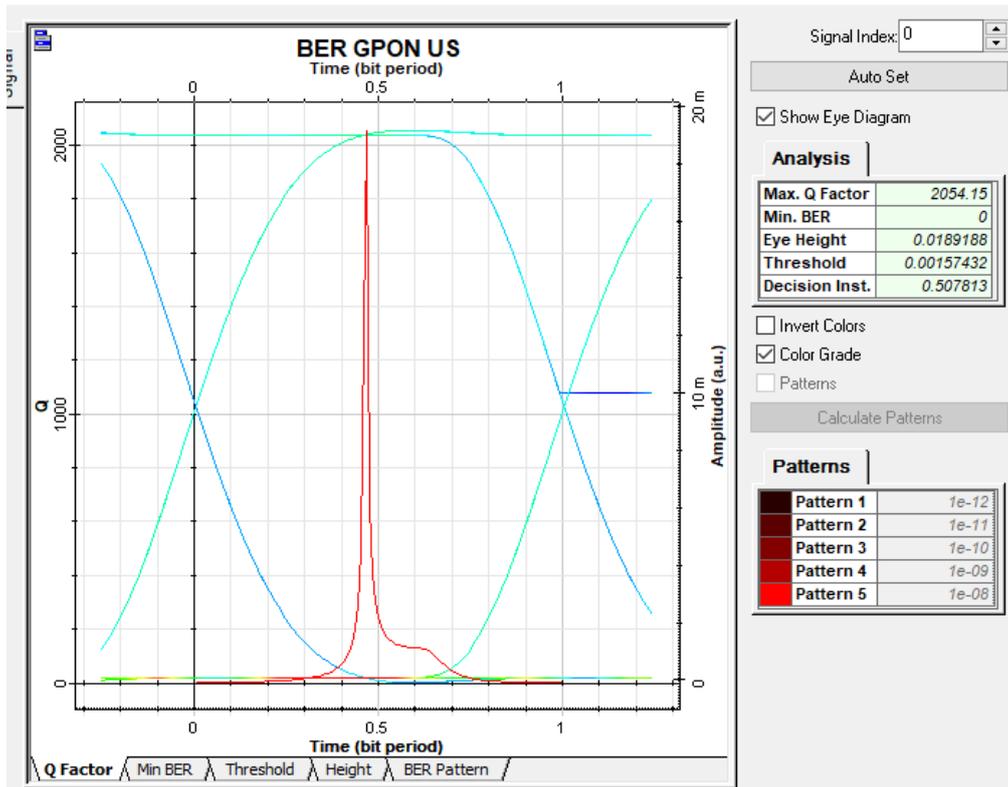


Figure IV-7 : Diagramme de l’œil.

Remarque :

Le diagramme de l’œil est caractérisé par un élargissement temporel des impulsions du signal dû à la dispersion chromatique (CD) ce qui engendre des interférences entre les symboles (IES).

IV.3 Etude du système de coexistence GPON et XGS-PON

IV.3.1 Description du système simulé

Le système de coexistence simulé présente deux technologies différentes à savoir le GPON (Gigabit Passive Optical Network) et le XGS-PON (Extended Gigabit Symmetrical Passive Optical Network). Ce système est utilisé dans le réseau optique passif (PON), fonctionnant simultanément sur une même infrastructure (*architecture*). La simulation de notre système nous permet d’évaluer et de comprendre comment ces deux technologies peuvent coexister et partager efficacement les ressources du réseau.

Dans notre étude, nous allons adopter trois méthodes d’optimisations, la première c’est de simuler le système sans compensation de la dispersion chromatique et sans amplification du signal en ignorant les effets non linéaires et la dispersion chromatique (CD). Ensuite lorsque le signal reçu commence à se dégrader pour certaines distances, nous adoptons la deuxième méthode en ajoutant un amplificateur optique de type EDFA (*Erbium Doped Amplifier*). La

troisième méthode c'est de simuler le système en tenant compte les effets non linéaires (XPM, SPM) et la dispersion chromatique (CD) tout en gardant des meilleures performances.

L'architecture de notre système est décomposée en trois étages, à savoir l'étage de l'émetteur (*OLT : Optical Line Terminal*), le support de transmission (*Fibre optique bidirectionnelle*) et l'étage de la réception (*ONU : Optical Network Unit*). Le système de coexistence est un réseau PON, il dispose de deux sens de communications, il s'agit de sens descendant (*Downstream*) et de sens montant (*Upstream*).

Nous allons évaluer les performances dans les deux sens de transmission en étudiant l'impact de la longueur de la liaison (*la portée*), de la puissance d'émission du laser et du type de format de modulation (RZ et NRZ) sur le système de coexistence.

Le système à simuler comporte deux canaux en aval et deux canaux en amont. L'OLT transmet toutes les longueurs d'onde sur la même fibre optique de différentes longueurs de liaison allant de 10 km à 180 km, à des différentes puissances d'émission allant de -12 dBm à 12 dBm avec deux types de formats de modulation.

La figure IV-8 ci-après, montre l'architecture d'un émetteur du système de coexistence OLT avec deux utilisateurs (*1 pour GPON et 1 pour XGS-PON*) et le support de transmission (*Fibre optique bidirectionnelle*).

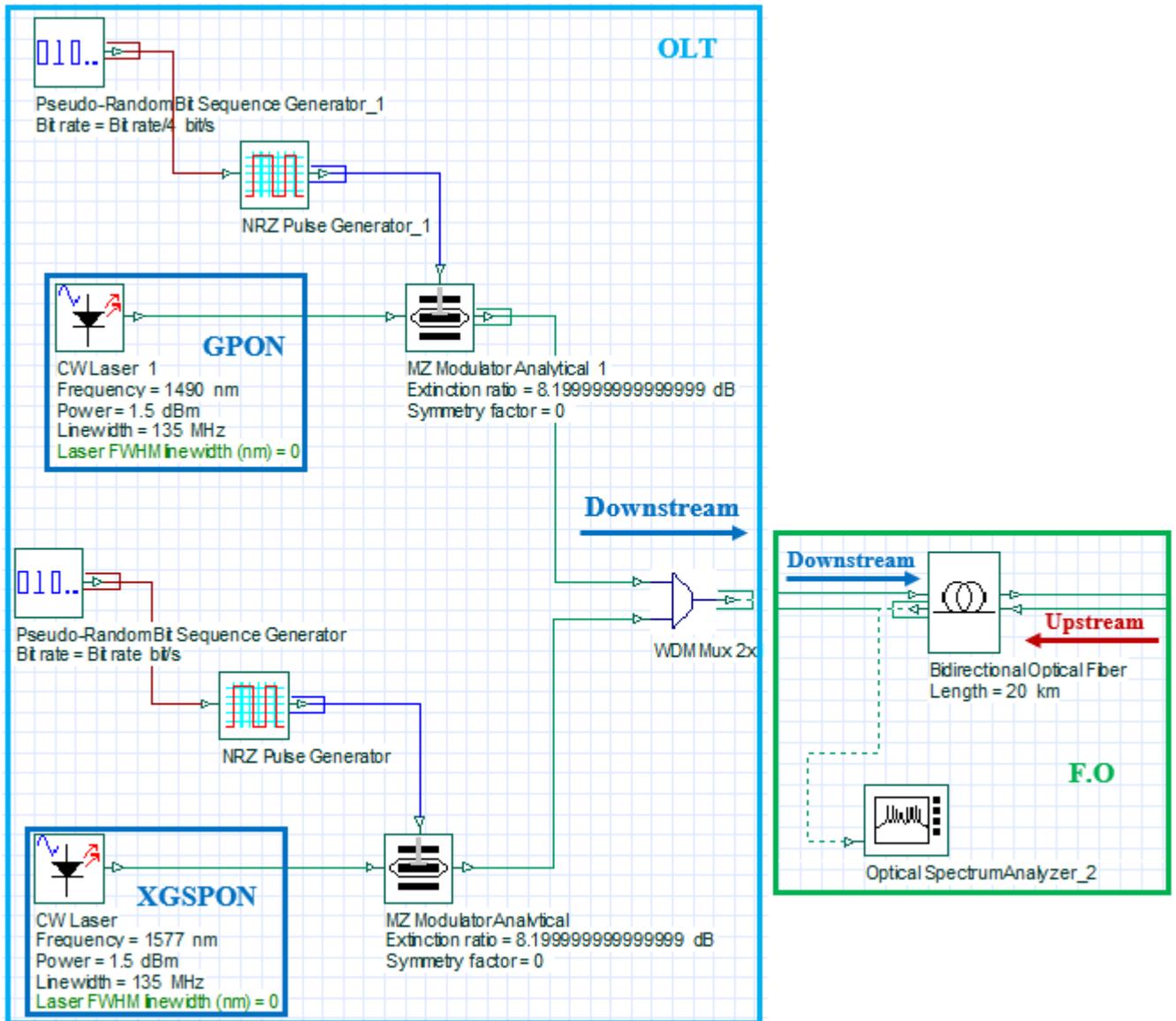


Figure IV- 8 : Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (OLT) avec le support De transmission (*Fibre optique bidirectionnelle*).

La figure IV-9, montre l'architecture d'un récepteur du système de coexistence ONU avec deux utilisateurs (*1 pour GPON et 1 pour XGS-PON*) ainsi la figure IV-10, montre le sens *Upstream* c.à.d. le sens ONU vers OLT.

La figure IV-11, montre l'architecture globale du système de coexistence GPON et XGSPON.

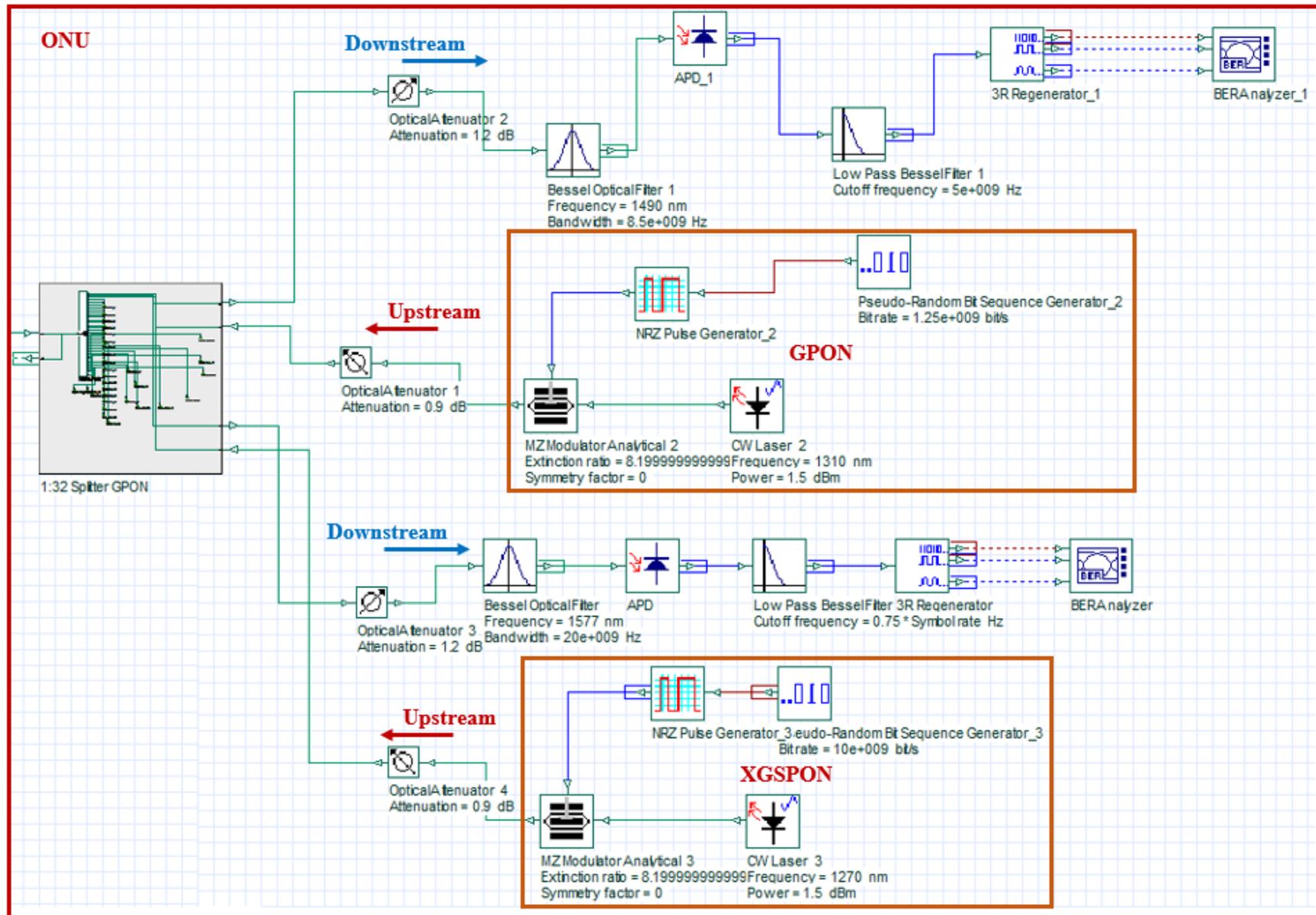


Figure IV-9: Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (ONU).

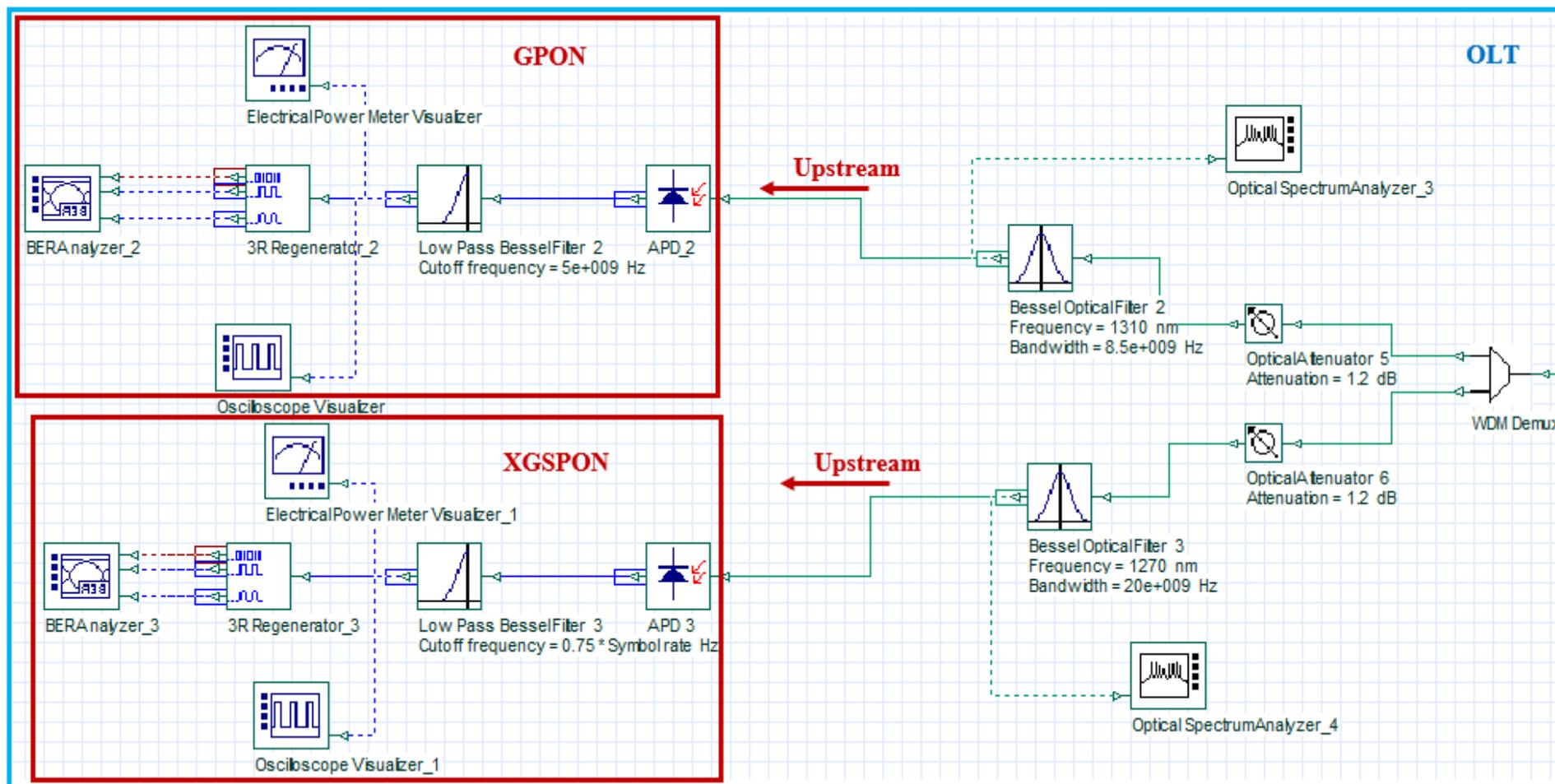


Figure IV-10: Schéma du système de coexistence pour 2 utilisateurs (sens ONU vers OLT).

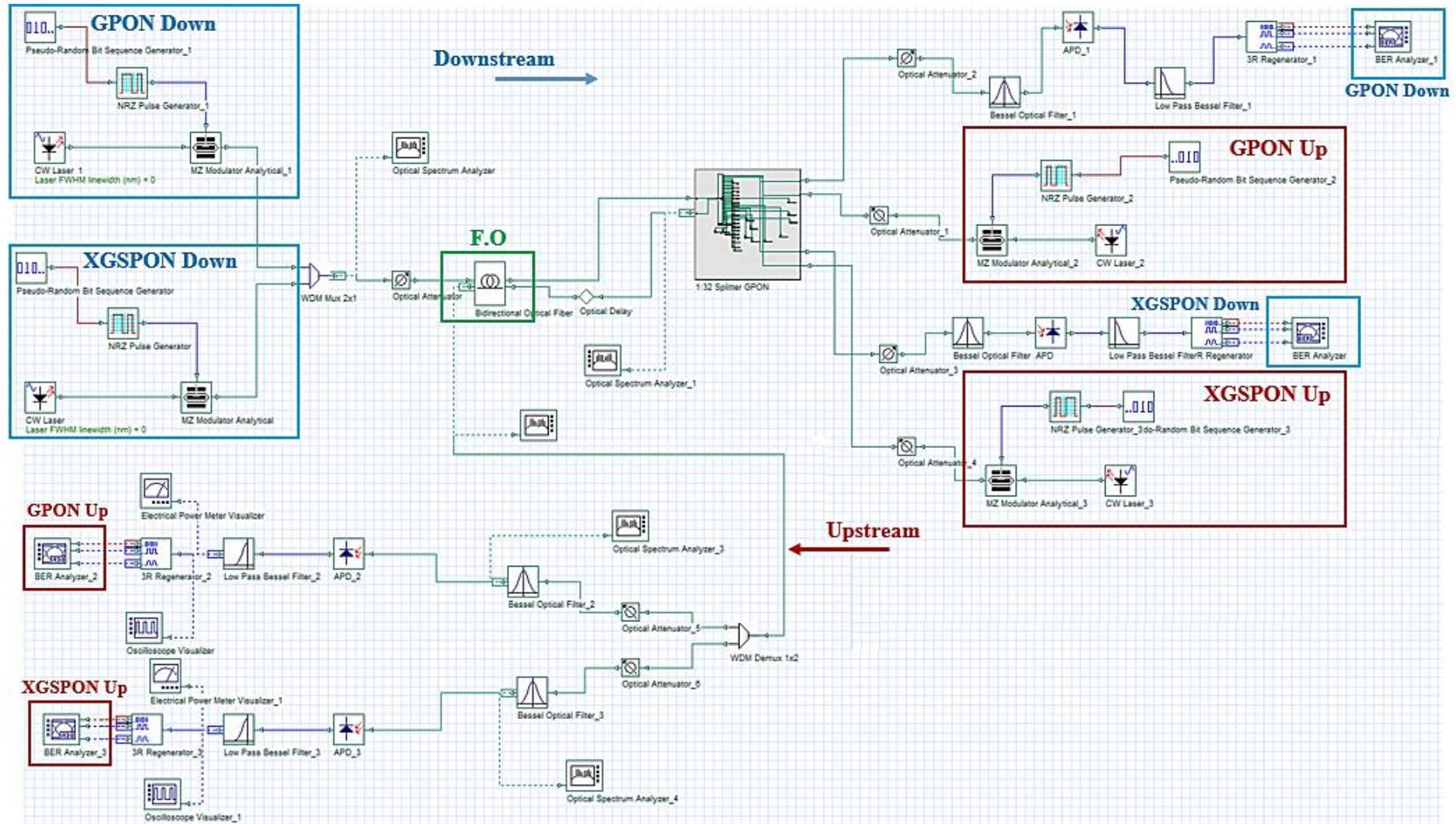


Figure IV-11: Schéma global du système de coexistence GPON et XGSPON (2 utilisateurs).

Dans le tableau ci-dessous, nous définissons les éléments qui constituent l'architecture du système proposé.

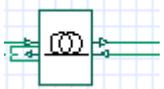
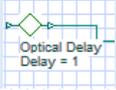
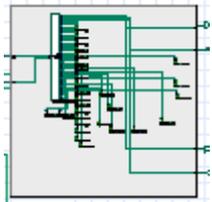
<i>Elément</i>	<i>Bloc en OptiSystem</i>	<i>Fonction</i>
Générateur de bits pseudo aléatoire PRBS		Il s'agit d'un dispositif qui produit une séquence binaire de bits aléatoires ou pseudo-aléatoires. Cette séquence est utilisée comme source de données à transmettre sur le lien optique.
Type de codage (format de modulation)		Améliorer la robustesse et l'intégrité des données transmises dans une chaîne de transmission optique.
Laser CW (Continuous Wave Laser)		Le laser CW est une source de lumière optique continue. Il génère un faisceau de lumière cohérente qui sert de signal optique porteur des données à transmettre. La fréquence et la puissance du laser peuvent varier en fonction des exigences du système de transmission.
Modulateur Mach-Zehnder		Le modulateur Mach-Zehnder est un dispositif optique qui modifie l'intensité de la lumière en fonction du signal électrique qui lui est appliqué.
WDM		Permet de multiplexer plusieurs signaux optiques à différentes longueurs d'onde (<i>couleurs</i>) sur une seule fibre optique.
Fibre optique bidirectionnelle		Permettant aux deux technologies d'utiliser la même infrastructure de fibre optique tout en séparant les signaux optiques grâce à l'utilisation de différentes longueurs d'onde.
Retard Optique (Optical Delay)		Facilite la technique d'accès pour les clients dans le sens amont (<i>Upstream</i>).
Séparateur/Combinateur (Splitter)		Séparateur (<i>Down</i>) et combineur (<i>Up</i>) du puissance.
Filtre Passe bas de Bessel		Permettant d'extraire l'information utile.
Filtre Passe bande de Bessel		Utilisé pour filtrer des signaux optiques avec une large bande passante, tout en conservant une réponse impulsionnelle relativement étroite.
Récepteur optique (PIN Photodiode)		Permet de transformer le signal optique en électrique, et d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçus.
Régénérateur 3R		C'est un répéteur de type 3R, son rôle est de resynchronisé le signal optique.
Analyseur du taux d'erreur binaire (BER Analyser)		C'est une 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.

Tableau IV-1 : Les éléments qui constituent l'architecture du système proposé.

IV.3.2 Paramètres de simulation

Les données générées à l'aide d'un générateur de séquences binaires pseudo-aléatoires (*PRBS : Pseudo-Random Binary Sequences*) sont modulées optiquement à l'aide d'un modulateur externe (*Mach-Zehnder Modulator : MZM*), générant des signaux NRZ ou RZ à un débit de 2.5 Gbps/canal dans le sens aval et 1.25 Gbps/canal dans le sens amont pour le système GPON. D'autre part pour le système XGSPON un débit de 10 Gbps/canal dans les deux sens aval et amont.

Les données modulées sont combinées dans un multiplexeur WDM sur une fibre optique bidirectionnelle constituant le support de transmission.

Le tableau IV-2 ci-dessous, montre les paramètres utilisés dans notre système.

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>
Débit binaire	GPON: 2.5 Gbps/canal (<i>Downstream</i>), 1.25 Gbps/canal (<i>Upstream</i>). XGSPON: 10 Gbps/canal (<i>Downstream et Upstream</i>).
Puissance de Laser	-12 dBm, -10 dBm, -8 dBm, -5 dBm, 0 dBm, 5 dBm, 8 dBm, 10 dBm, 12 dBm.
Générateur d'impulsions	NRZ, RZ.
Longueur de la fibre SMF	10 km, 20 km, 30 km, 40 km, 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km, 100 km, 110 km, 120 km.
Nombre d'utilisateurs	2 (<i>1 GPON, 1 XGSPON</i>).
Longueur d'onde (<i>Downstream</i>)	1490 nm (GPON), 1577 nm (XGSPON).
Longueur d'onde (<i>Upstream</i>)	1270 nm (GPON), 1310 nm (XGSPON).
Gain d'amplificateur	28 dB.
Dispersion chromatique CD	0, 17 ps/nm/km.
Dispersion de mode de polarisation PMD	0.5 ps/km ^{1/2} .
Atténuation	0.2 dB/km
Effets non linéaires (XPM, SPM)	Sans et avec.

Tableau IV-2: Paramètres du système de coexistence GPON et XGSPON.

IV.3.3 Impact de la longueur sur le système de coexistence GPON et XGSPON

a) 1^{ère} optimisation (sans amplification du signal optique) :

Dans cette simulation, nous allons étudier l'impact de la longueur de la fibre optique sur la qualité de transmission en calculant le TEB, le facteur de qualité Q et en visualisant le diagramme de l'œil pour mieux comprendre les performances du système.

Tout d'abord nous allons fixer la puissance à 0 dBm avec un format de modulation de type NRZ et nous varions la longueur de la fibre jusqu'à obtenir des meilleurs facteurs de qualité Q.

L (km)	10	20	30
Q GPON _{Down}	21.43	13.37	7.89
Q GPON _{Up}	20.31	12.96	7.39
Q XGSPON _{Down}	10.71	7.07	4.01
Q XGSPON _{Up}	12.25	8.3	4.9
BER GPON _{Down}	3.26E-102	4.17E-41	1.44E-15
BER GPON _{Up}	4.37E-92	9.10E-39	7.22E-14
BER XGSPON _{Down}	4.39E-27	7.40E-13	2.93E-05
BER XGSPON _{Up}	1.11E-34	5.09E-17	4.68E-07

Tableau IV-3 : Impact de la longueur de la fibre sur le facteur de qualité Q (*sans amplification*).

Dans le sens aval et amont du système de coexistence pour une longueur de 10 km et une puissance de 0 dBm et d’après les figures IV-12 et IV-13, nous constatons que l’œil est complètement ouvert, mais pour une longueur L = 30 km (voir figure IV-14 et IV-15), les performances du système de coexistence commencent à se détériorer au-delà de cette valeur avec un facteur de qualité respectivement : $Q\text{-GPON}_{\text{Down}} = 7.89$, $Q\text{-GPON}_{\text{Up}} = 7.39$, $Q\text{-XGSPON}_{\text{Down}} = 4.01$ et $Q\text{-XGSPON}_{\text{Up}} = 4.9$

De même, nous remarquons que si la longueur de la liaison augmente, le facteur de qualité Q diminue, cela signifie que la longueur est un facteur déterminant.

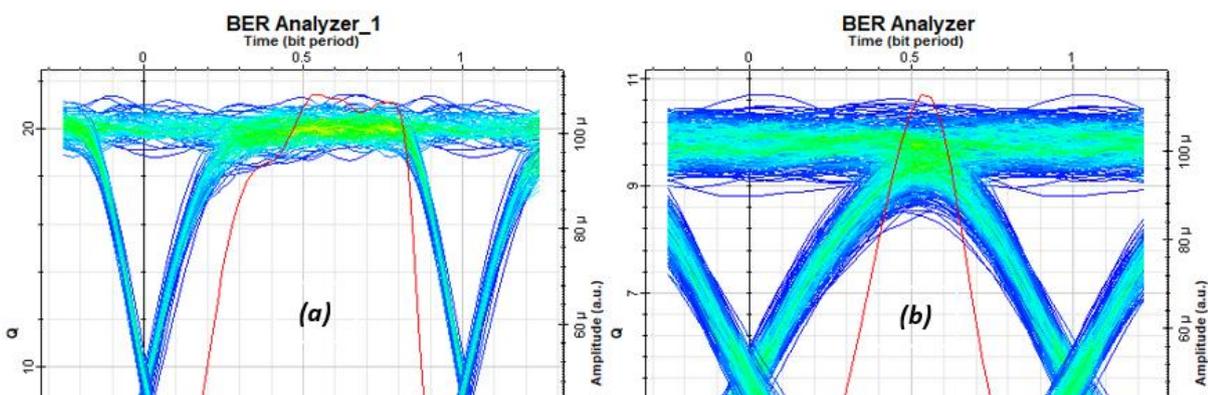


Figure IV- 12 : Diagramme de l’œil pour le GPON_{Down} avec P = 0 dBm et L =10 km (a),
 Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Down} avec P = 0 dBm et L =10 km (b).

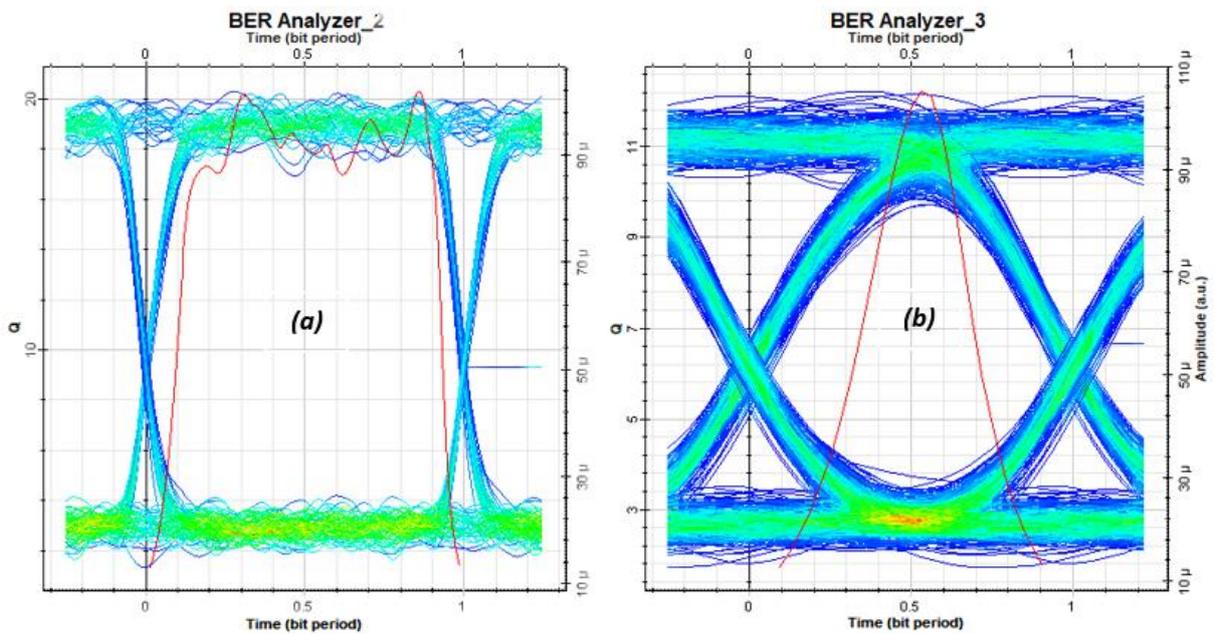


Figure IV-13: Diagramme de l’œil pour le GPON_{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (a),
 Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Up} avec P = 0 dBm et L =10 km (b).

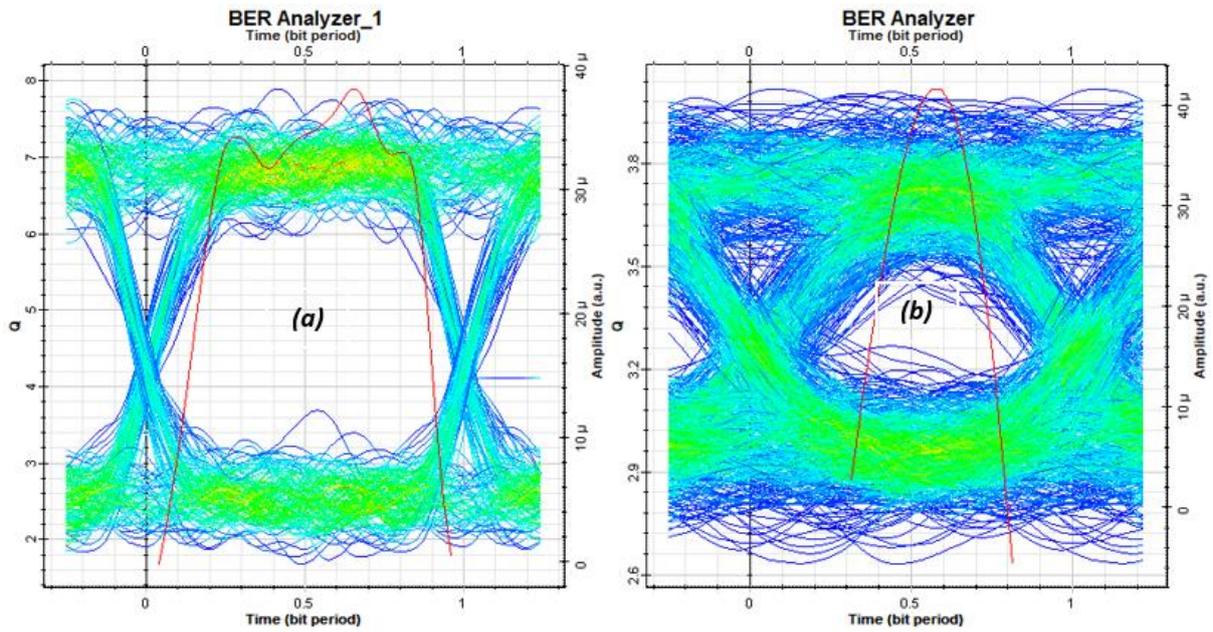


Figure IV-14: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (b).

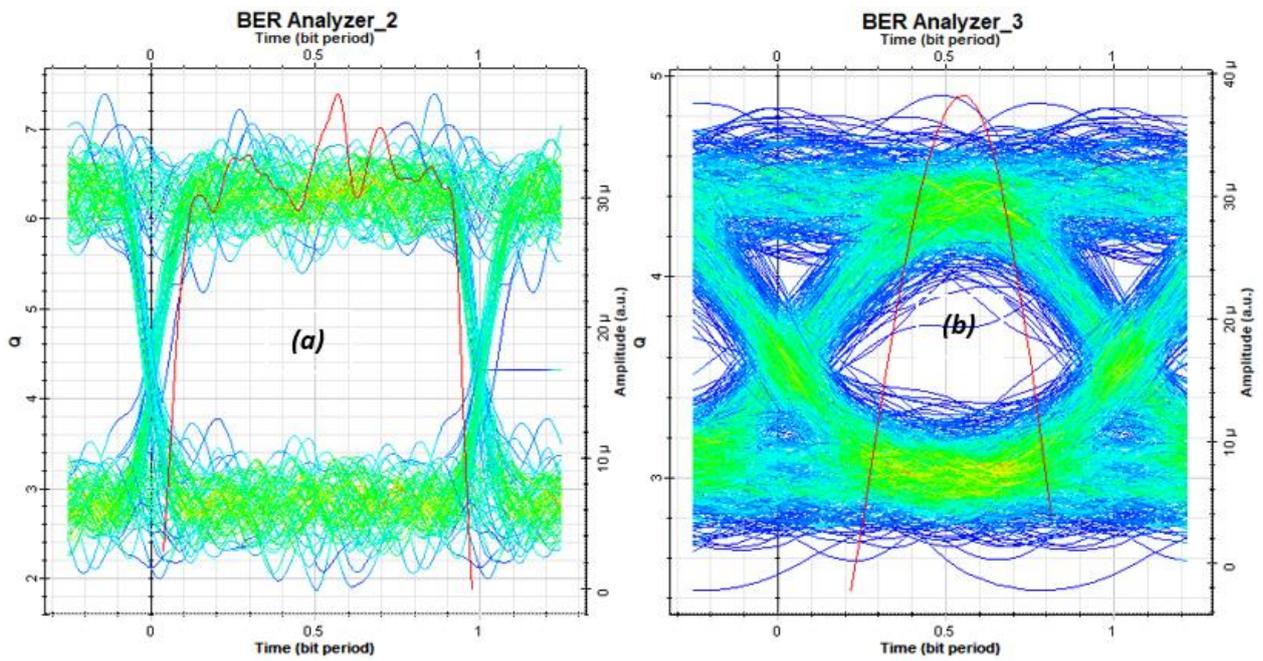


Figure IV- 15: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (b).

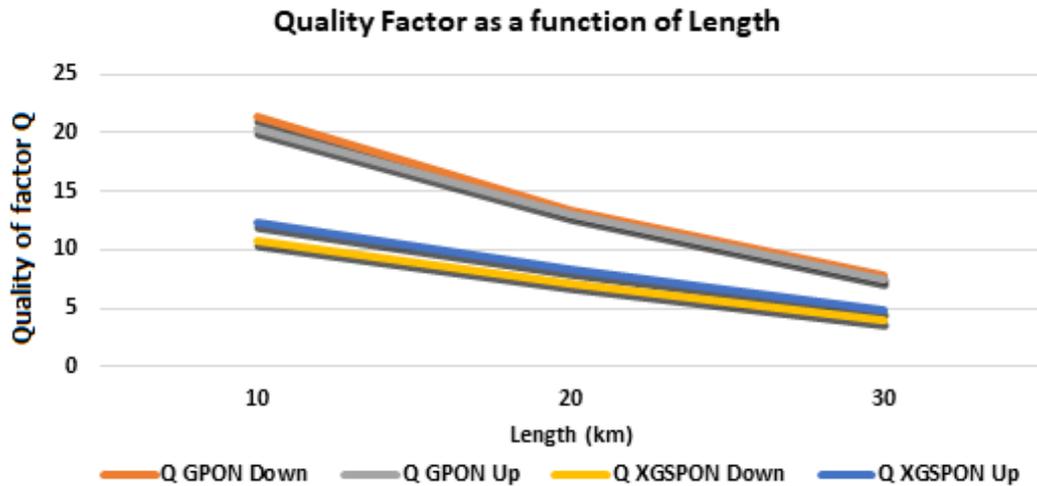


Figure IV-16: Facteur de qualité Q en fonction de la longueur L.

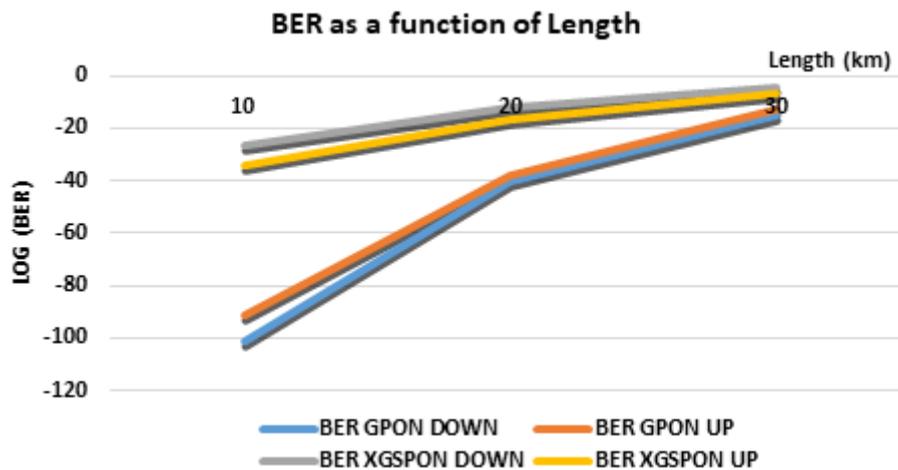


Figure IV- 17 : TEB en fonction de la longueur L.

D'après les figures IV-16 et IV-17, nous remarquons que lorsque la distance augmente, le facteur de qualité diminue et le TEB augmente, le système de coexistence fonctionne bien à des distances allant de 10 km jusqu'à 30 km sans amplification, au-delà de cette distance (>30 km), les performances de ce dernier seront dégradées. Donc, il serait nécessaire de prendre en considération l'amplification du signal pour avoir une meilleure qualité de transmission.

En résumé, bien que le GPON semble légèrement meilleur par rapport au XGSPON, les deux technologies ont des performances similaires et cohérentes.

b) 2^{ème} Optimisation (avec amplification : EDFA Gain = 28dB) :

Afin d'augmenter les performances de notre système, il est nécessaire d'ajouter deux amplificateurs optiques de type EDFA avec un gain de 28 dBm pour compenser la dégradation du signal transmis.

Pour une longueur de 30 km nous obtenons des TEB très faibles : $TEB_{GPON_{Down}} \approx 0$, $TEB_{GPON_{Up}} \approx 0$, $TEB_{XGSPON_{Down}} = 6,69E-117$, $TEB_{XGSPON_{Up}} = 2.16E-115$, mais pour une longueur de 120 km (voir les figures IV-22 et IV-23), nous obtenons des faibles TEB : $TEB_{GPON_{Down}} = 1.68E-122$, $TEB_{GPON_{Up}} = 3.11E-110$, $TEB_{XGSPON_{Down}} = 2.03E-11$, $TEB_{XGSPON_{Up}} = 2.82E-38$. Par conséquent, les performances du système de coexistence commencent à se dégrader au-delà d'une distance de 120 km. De même, nous remarquons aussi, que si la longueur de la liaison augmente, le facteur de qualité Q diminue. Pour une longueur de 30 km, nous obtenons des meilleurs facteurs de qualité : $Q_{GPON_{Down}} = 84.69$ et $Q_{GPON_{Up}} = 71.92$, $Q_{XGSPON_{Down}} = 22.94$ et $Q_{XGSPON_{Up}} = 22.79$. Cependant pour une longueur de 120 km, nous obtenons des faibles Q : $Q_{GPON_{Down}} = 23.5$ et $Q_{GPON_{Up}} = 22.27$, $Q_{XGSPON_{Down}} = 6.59$ et $Q_{XGSPON_{Up}} = 12.88$.

Selon nos résultats, la longueur maximale du système de coexistence est de 120 km, ce qui nous a permis d'augmenter sa portée tout en gardant de meilleures performances.

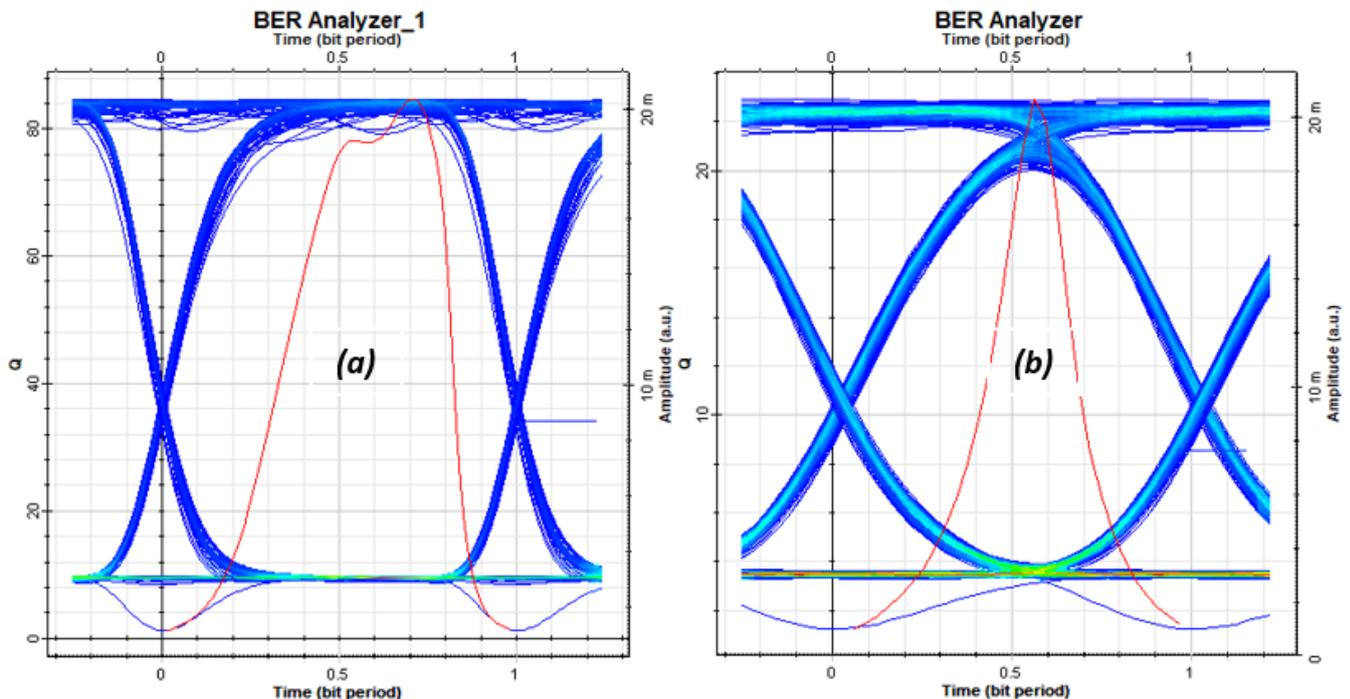


Figure IV-18 : Diagramme de l'œil pour le $GPON_{Down}$ avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (a),

Diagramme de l'œil pour le $XGSPON_{Down}$ avec $P = 0$ dBm et $L = 30$ km (b).

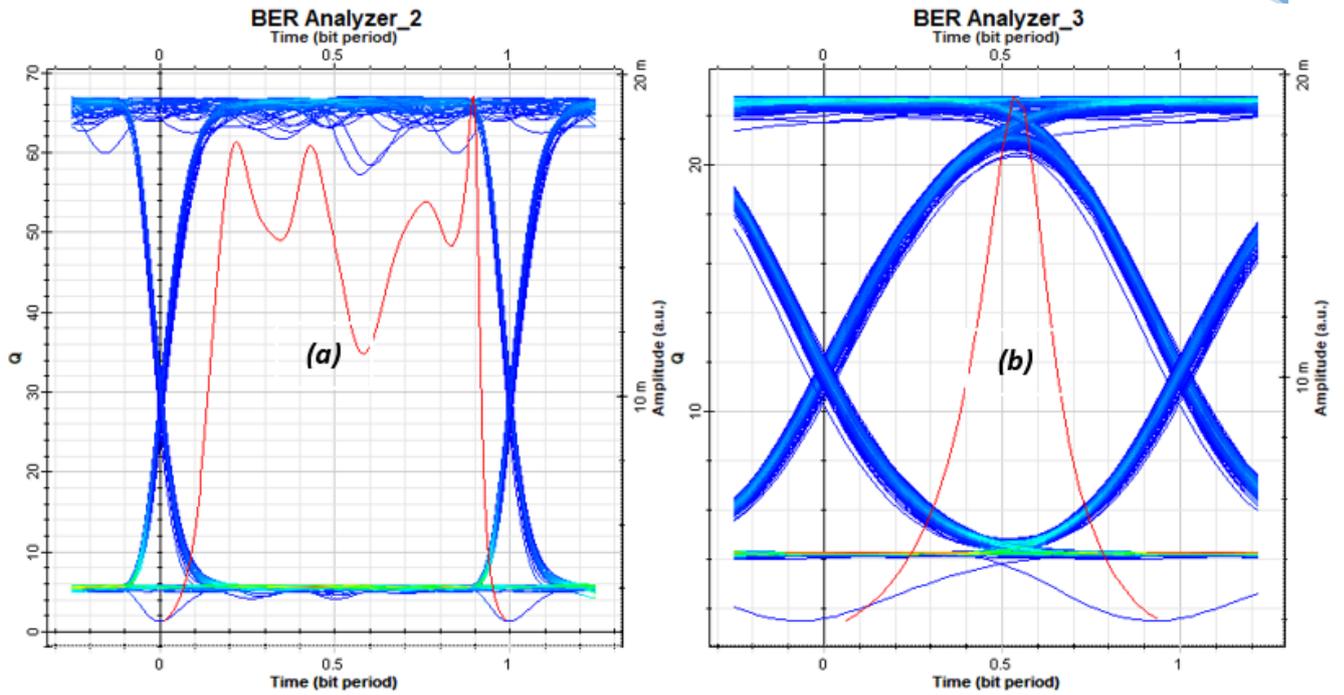


Figure IV-19: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec P = 0 dBm et L =30 km (a),
 Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec P = 0 dBm et L =30 km (b).

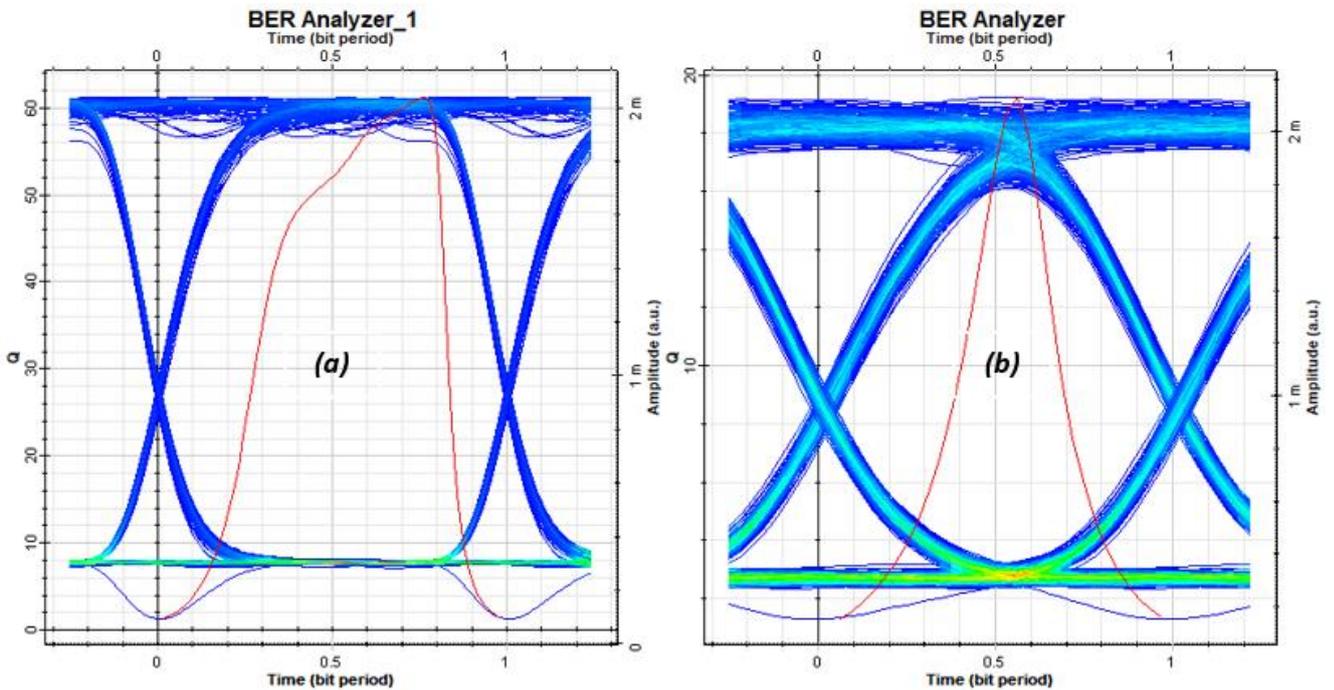


Figure IV-20: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down} avec P = 0 dBm et L =70 km (a),
 Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down} avec P = 0 dBm et L =70 km (b).

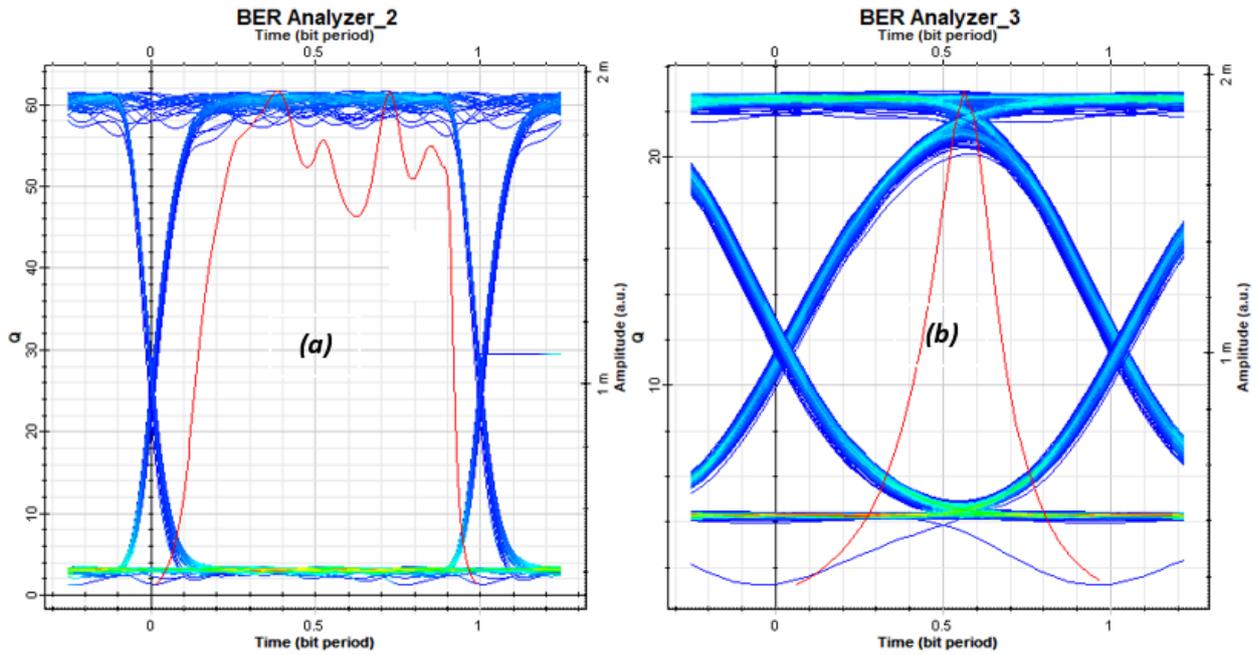


Figure IV-21: Diagramme de l’œil pour le GPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 70$ km (a),
 Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 70$ km (b).

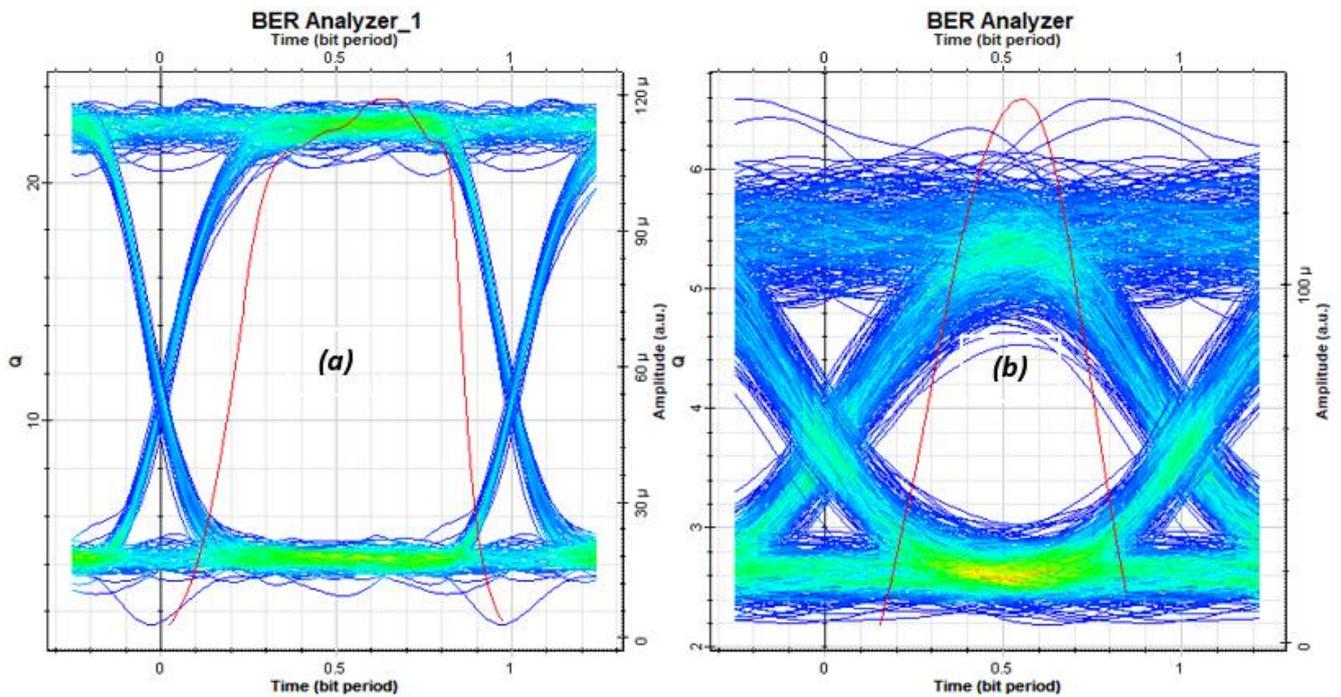


Figure IV-22: Diagramme de l’œil pour le GPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 120$ km (a),
 Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 120$ km (b).

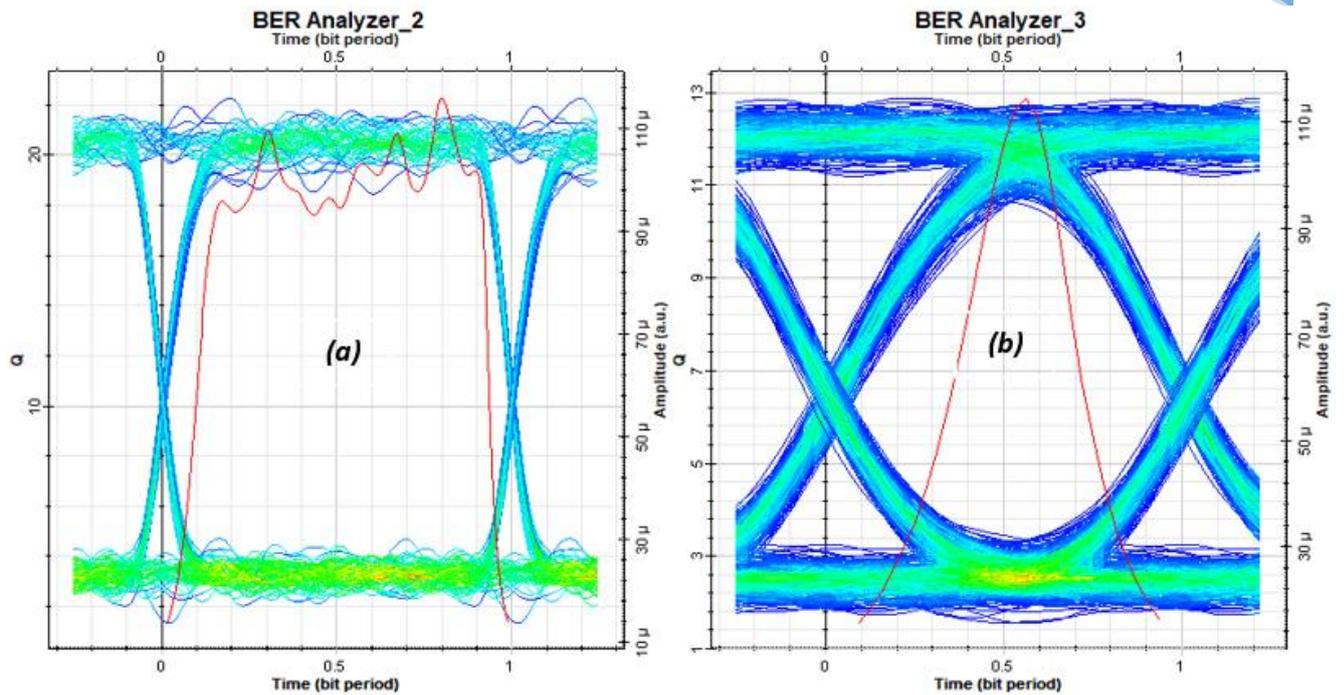


Figure IV-23 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 120$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 120$ km (b).

Selon les résultats obtenus dans le tableau IV-4 ci-dessous, la longueur de la fibre optique a un effet sur le facteur de qualité Q . Nous observons que la portée maximale du système est de 120 km, avec un facteur de qualité optimal compris entre 6.59 et 23.5. Cela met en évidence l'importance de l'amplification du signal en tant que facteur déterminant.

L (km)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Q GPON_{Down}	84.69	81.96	75.86	68.49	61.24	59.61	53.77	49.07	38.64	23.5
Q GPON_{Up}	71.92	68.87	67.71	67.1	65.87	64.81	59.52	49.33	36.14	22.27
Q XGSPON_{Down}	22.94	22.63	21.87	20.6	19.24	16.45	14.37	11.16	8.6	6.59
Q XGSPON_{Up}	22.79	22.4	23.02	22.11	22.92	22.44	22.37	20.17	16.75	12.88
BER GPON_{Down}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.68E-122
BER GPON_{Up}	0	0	0	0	0	0	0	0	2.07E-286	3.11E-110
BER XGSPON_{Down}	6.69E-117	8.83E-114	1.72E-106	9.63E-95	5.96E-83	3.12E-61	3.26E-47	2.79E-29	3.43E-18	2.03E-11
BER XGSPON_{Up}	2.16E-115	1.59E-111	1.26E-117	9.73E-109	1.02E-116	6.41E-112	3.03E-111	7.11E-91	2.42E-63	2.82E-38

Tableau IV-4 : Impact de la longueur de la fibre sur le facteur de qualité Q et le BER (*avec amplification*).

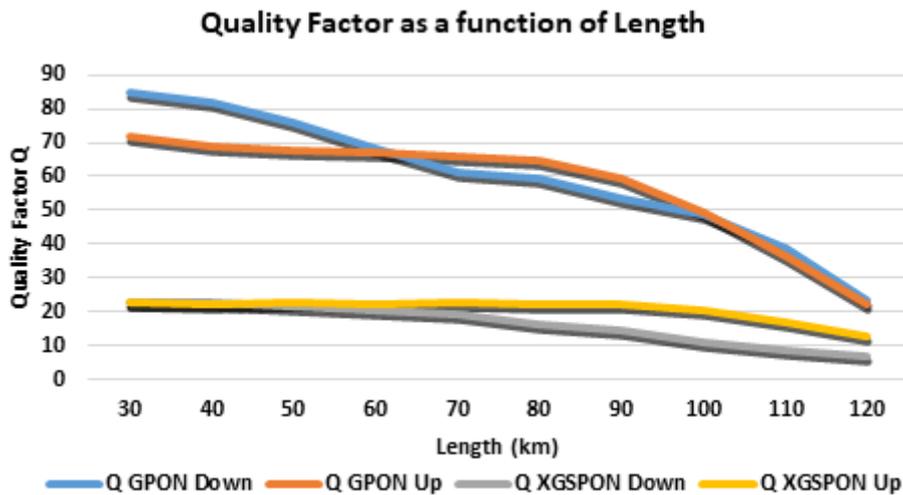


Figure IV-24 : Facteur de qualité Q en fonction de la longueur L.

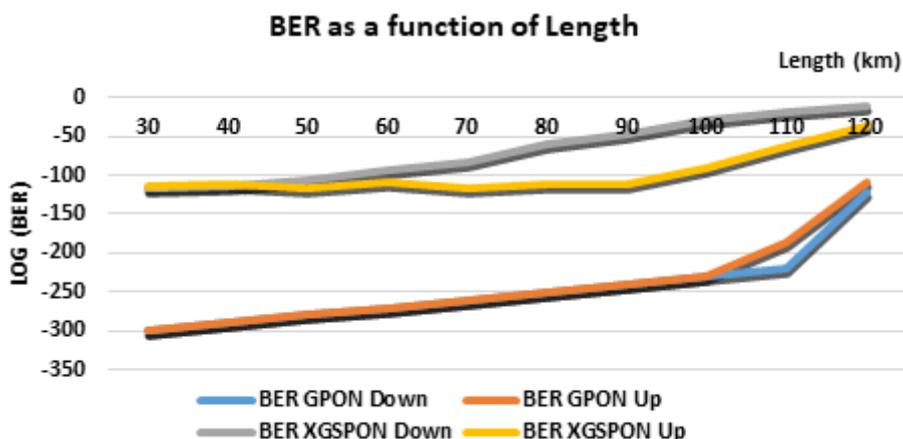


Figure IV-25: BER en fonction de la longueur L.

En récapitulant la deuxième optimisation, bien que le GPON soit légèrement supérieur au XGSPON, les performances des deux technologies sont similaires et cohérentes. Cela implique que les deux peuvent coexister dans un même système. Il est important de souligner que la distance joue un rôle crucial dans l'évaluation de notre système.

IV.3.4 Impact de la puissance du laser sur le système de coexistence GPON et XGSPON

Afin d'évaluer l'impact de la puissance sur les performances du système, nous allons procéder à des variations de la puissance du laser dans une plage allant de -12 dBm à 12 dBm (voir le tableau IV-5). Nous maintiendrons une longueur fixe de 80 km avec un format de modulation NRZ, et à chaque étape, nous observerons le taux d'erreur binaire (BER) ainsi que le facteur de qualité Q.

Les figures IV-26, IV-27, IV-28, IV-29, IV-30 et IV-31, illustrent clairement la variation du diagramme de l'œil en fonction de la puissance. Nous observons que lorsque la puissance

augmente, le facteur de qualité Q augmente également, et vice versa. Le système présente une limite minimale de puissance égale à -12 dBm, avec un facteur de qualité compris entre 4.93 et 16.59. Cette constatation nous permet d'optimiser la consommation d'énergie pour l'ensemble du système, soulignant ainsi l'importance déterminante de la puissance du laser.

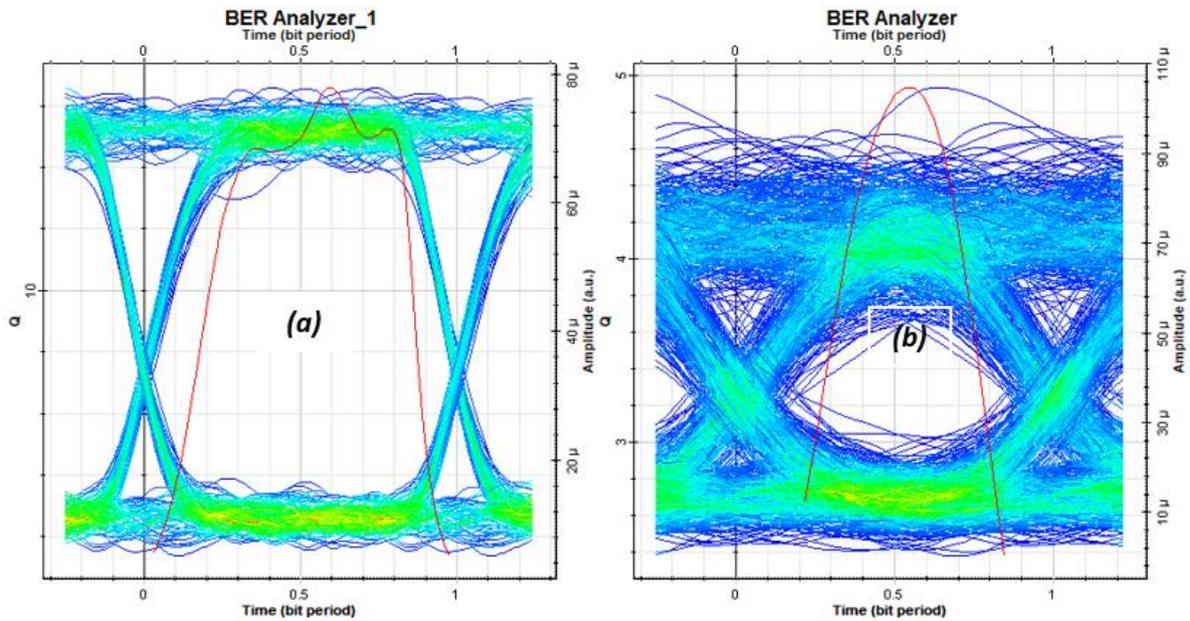


Figure IV-26: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down} avec $P = -12$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down} avec $P = -12$ dBm et $L = 80$ km (b).

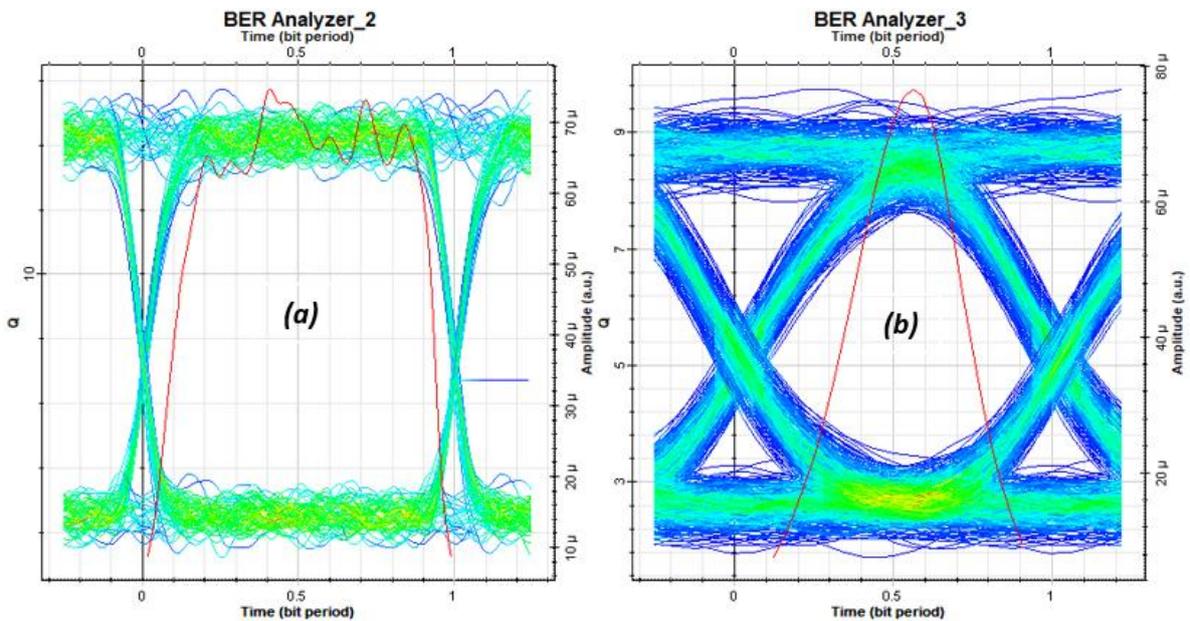


Figure IV-27: Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec $P = -12$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = -12$ dBm et $L = 80$ km (b).

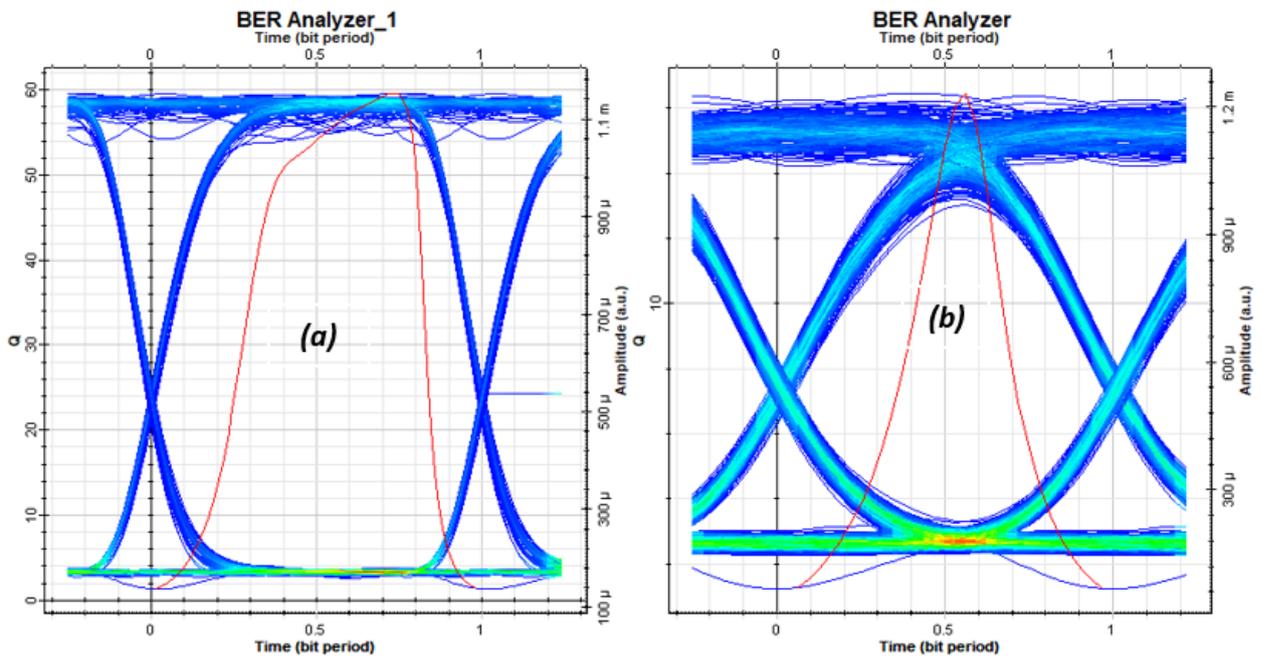


Figure IV-28 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down} avec $P = 0$ dBm et $L = 80$ km (b).

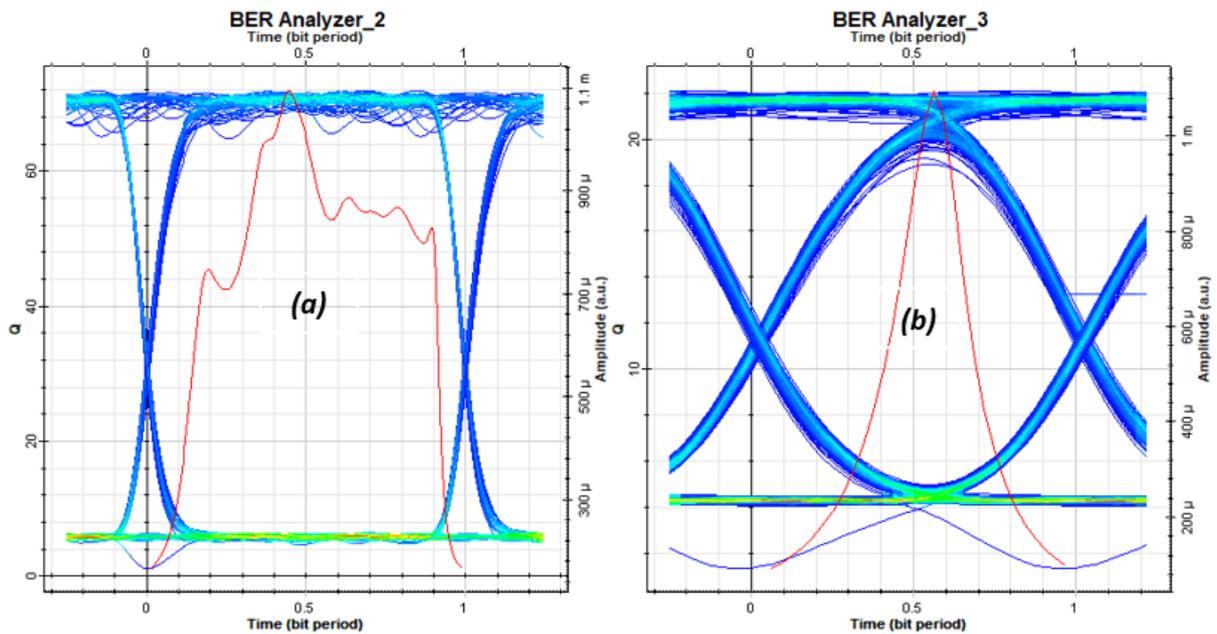


Figure IV-29 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = 0$ dBm et $L = 80$ km (b).

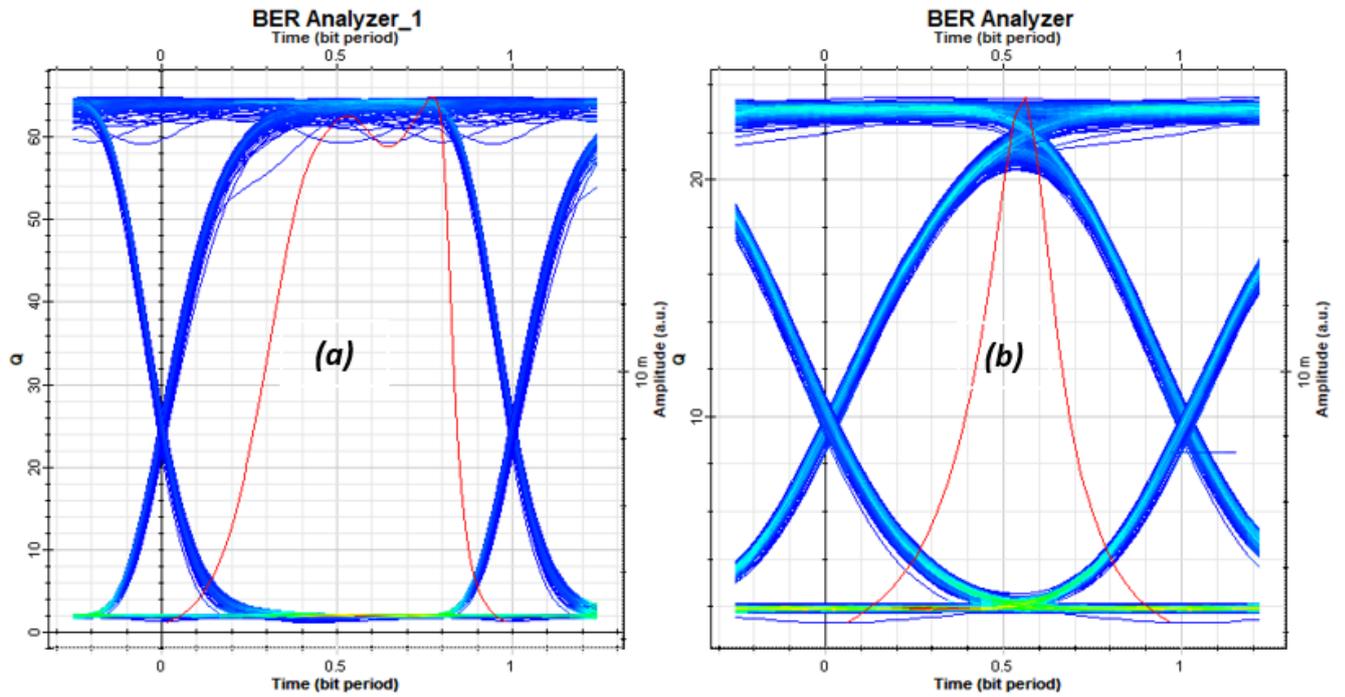


Figure IV-30 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down} avec $P = 12$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down} avec $P = 12$ dBm et $L = 80$ km (b).

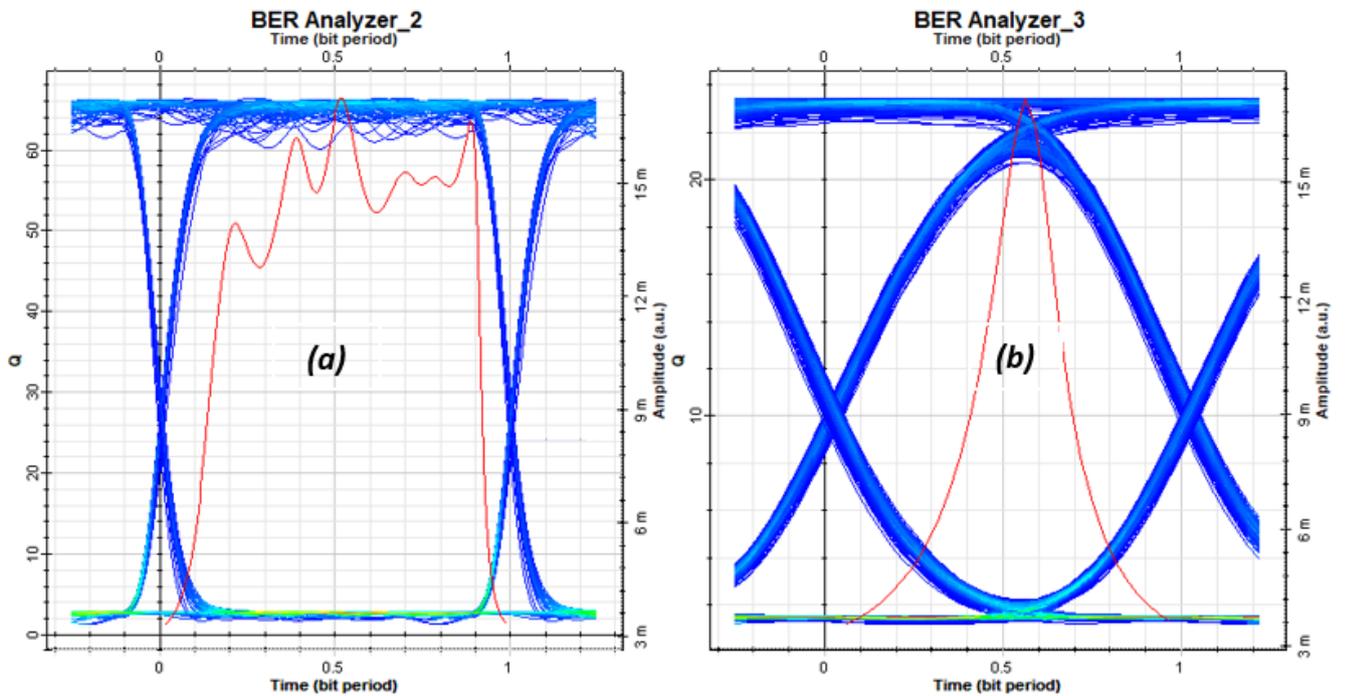


Figure IV-31 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up} avec $P = 12$ dBm et $L = 80$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up} avec $P = 12$ dBm et $L = 80$ km (b).

Puissance (dBm)	-12	-10	-8	-5	0	5	8	10	12
Q GPON _{Down} (80 km)	16.59	23.39	32.7	48.42	59.61	63.72	64.37	68.94	64.85
Q GPON _{Up} (80 km)	15.73	21.62	29.2	42.95	64.81	63.41	65.66	64.3	76.19
Q XGSPON _{Down} (80 km)	4.93	6.55	8.2	11.3	16.45	21.59	22.47	23.14	23.51
Q XGSPON _{Up} (80 km)	9.74	12.5	15.7	19.3	22.44	23.04	23.39	22.94	23.46
BER GPON _{Down} (80 km)	3.75E-62	2.63E-121	6.34E-235	0	0	0	0	0	0
BER GPON _{Up} (80 km)	4.29E-56	5.30E-104	8.96E-188	0	0	0	0	0	0
BER XGSPON _{Down} (80 km)	3.90E-07	2.64E-11	1.08E-16	5.56E-30	3.12E-61	8.23E-104	2.96E-112	6.48E-119	1.21E-122
BER XGSPON _{Up} (80 km)	9.12E-23	3.35E-36	6.79E-56	2.24E-83	6.41E-112	7.21E-118	2.13E-121	7.40E-117	4.05E-122

Tableau IV- 5: Impact de la puissance du laser sur le facteur de qualité Q et le BER (avec amplification).

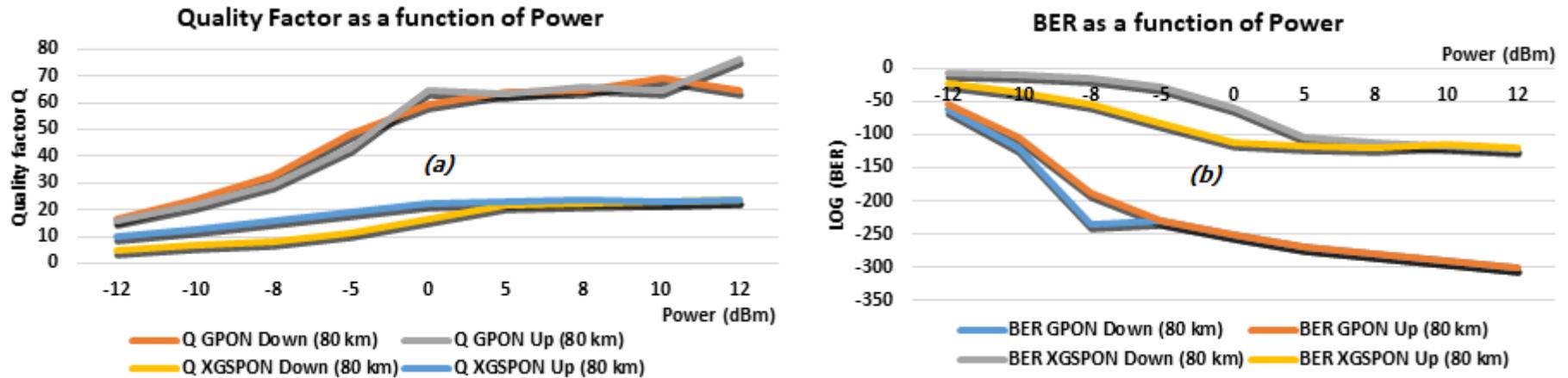


Figure IV-32: Facteur de qualité Q en fonction de la puissance du laser (a), BER en fonction de la puissance du laser (b).

Selon les observations faites à partir des figures IV-32 (a) et IV-32 (b) ainsi que du tableau IV-5, il est clair que l'augmentation de la puissance entraîne une augmentation du facteur de qualité Q et une diminution du taux d'erreur binaire (BER), et vice versa. Par conséquent, une puissance inappropriée peut entraîner une augmentation du BER (*distorsions*) et une diminution de la qualité globale de la transmission. Il est crucial d'optimiser la puissance du signal afin de minimiser le BER et de maximiser le facteur de qualité Q, garantissant ainsi une transmission optique fiable et de haute qualité.

IV.3.5 Impact du format de modulation sur le système de coexistence GPON et XGSPON

Nous étudions l'impact de deux formats de modulations sur le système de coexistence GPON et XGSPON, il s'agit toujours des formats NRZ et RZ.

Le tableau IV-6, présente la valeur du facteur de qualité Q pour chaque longueur de liaison avec une puissance du laser fixe de 0 dBm.

L (km)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Q GPON _{Down} (RZ)	63.88	63.44	61.09	60.61	63.17	58.26	53.31	42.77	32.84	21.22
Q XGSPON _{Down} (RZ)	22.31	22.77	21.83	20.06	17.73	14.24	10.85	8.01	5.78	4.34
Q GPON _{Down} (NRZ)	84.69	81.96	75.86	68.49	61.24	59.61	53.77	49.07	38.64	23.5
Q XGSPON _{Down} (NRZ)	22.94	22.63	21.87	20.6	19.24	16.45	14.37	11.16	8.6	6.59

Tableau IV-6 : Impact du format de modulation sur le facteur de qualité Q ($P = 0$ dBm) pour le sens aval (*Down*).

Q GPON _{Up} (RZ)	68.54	67.66	70.76	68.36	63.9	59.23	57.12	48.53	34.66	23.7
Q XGSPON _{Up} (RZ)	20.69	20.78	22.81	20.18	20.09	19.99	19.96	19.54	14.02	9.4
Q GPON _{Up} (NRZ)	71.92	68.87	67.71	67.1	65.87	64.81	59.52	49.33	36.14	22.27
Q XGSPON _{Up} (NRZ)	22.79	22.4	23.02	22.11	22.92	22.44	22.37	20.17	16.75	12.88

Tableau IV-7 : Impact du format de modulation sur le facteur de qualité Q ($P = 0$ dBm) pour le sens amont (*Up*).

D'après les tableaux IV-6 et IV-7 ainsi que la figure IV-35, nous constatons que le format de modulation NRZ pour le système de coexistence présente de meilleurs résultats dans les deux sens (aval et amont), et encore une fois, nous concluons que le type du format de modulation est un facteur d'importance non négligeable dans notre réseau PON.

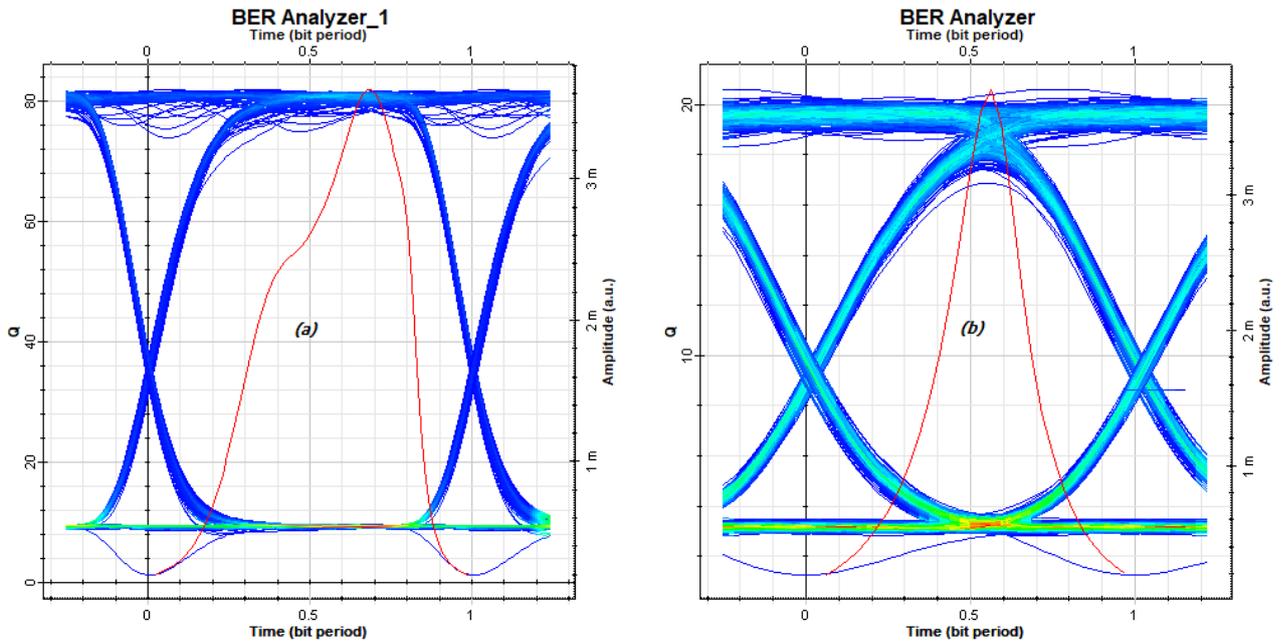


Figure IV- 33 : Diagramme de l’œil pour le GPON_{Down-NRZ} avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (a), Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Down-NRZ} avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (b).

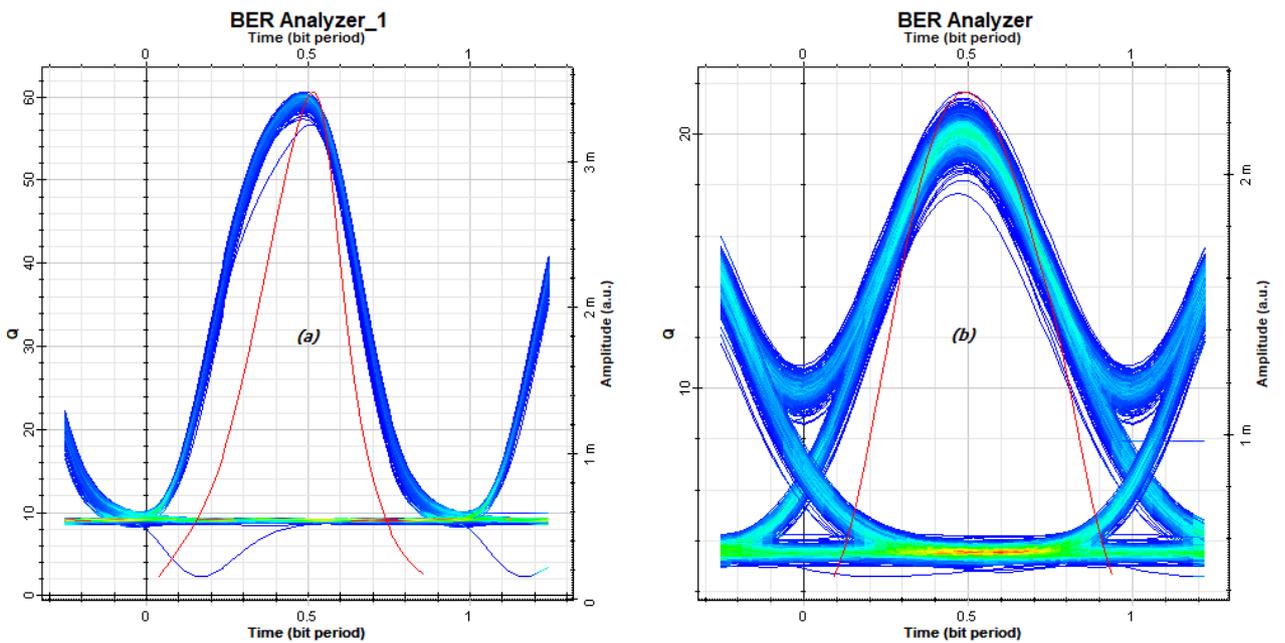


Figure IV-34 : Diagramme de l’œil pour le GPON_{Down-RZ} avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (a), Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Down-RZ} avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (b).

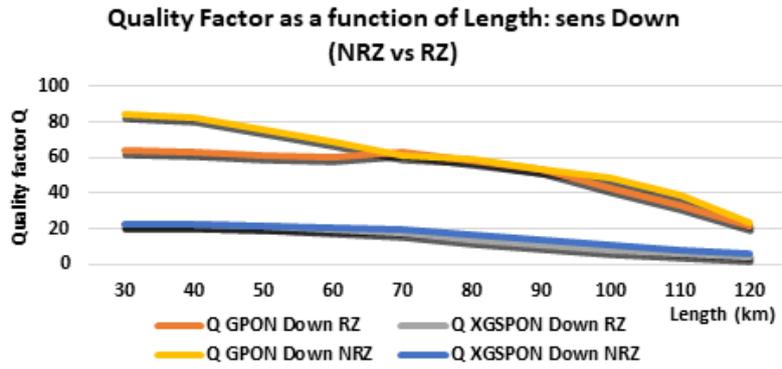


Figure IV-35 : Impact du format de modulation,

$(Q_{GPON_{Down-NRZ}}, Q_{XGSPON_{Down-NRZ}})$ vs $(Q_{GPON_{Down-RZ}}, Q_{XGSPON_{Down-RZ}})$.

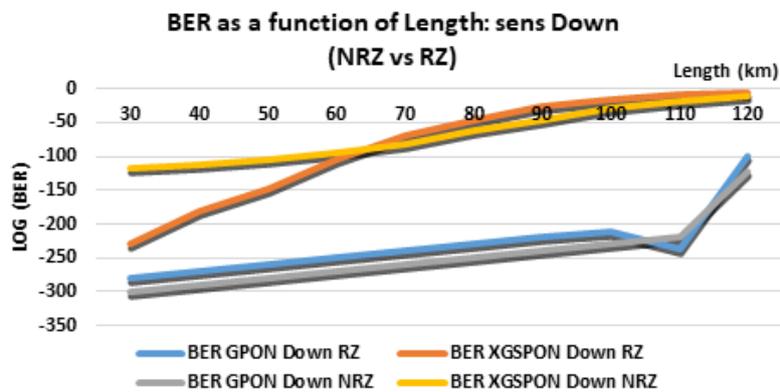


Figure IV- 36 : Impact du format de modulation,

$(BER_{GPON_{Down-NRZ}}, BER_{XGSPON_{Down-NRZ}})$ vs $(BER_{GPON_{Down-RZ}}, BER_{XGSPON_{Down-RZ}})$.

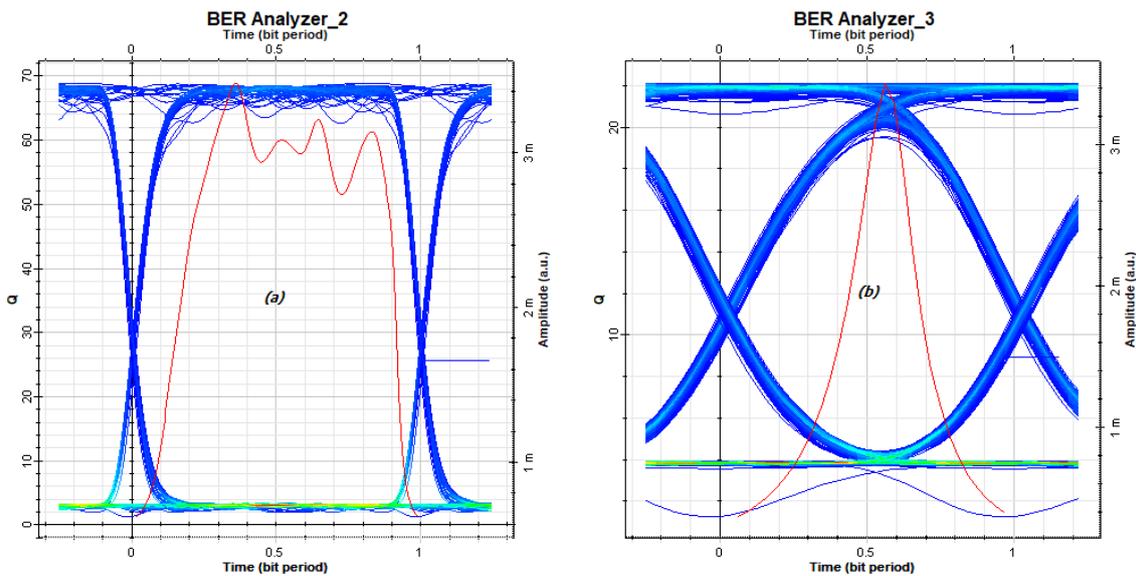


Figure IV-37: Diagramme de l'œil pour le $GPON_{Up-NRZ}$ avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (a), Diagramme de l'œil pour le $XGSPON_{Up-NRZ}$ avec $P = 0$ dBm et $L = 60$ km (b).

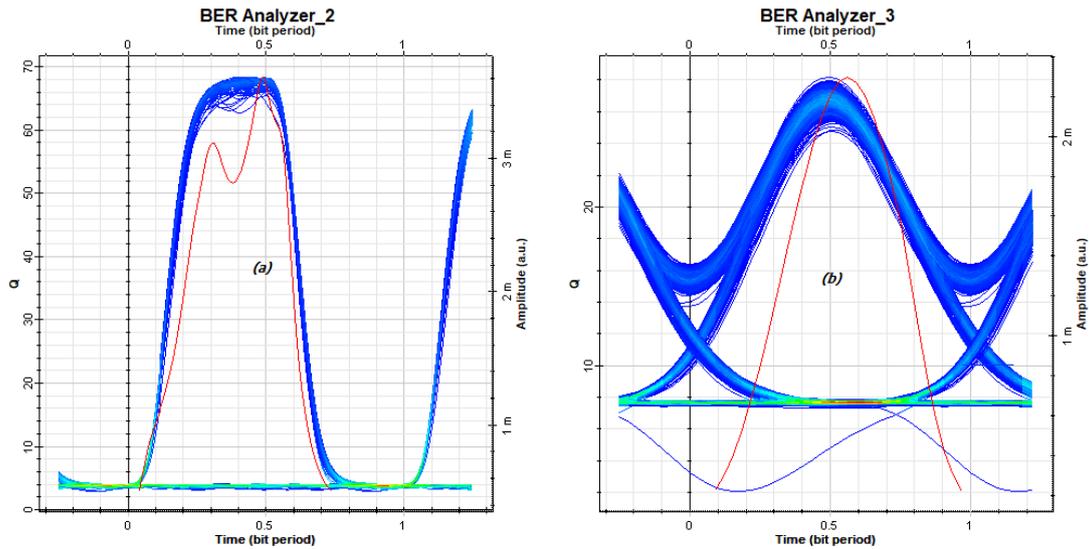


Figure IV-38 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up-RZ} avec P = 0 dBm et L = 60 km (b).

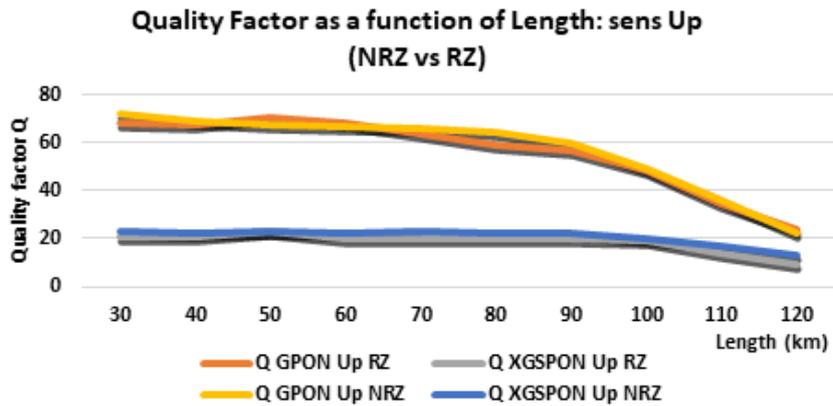


Figure IV-39 : Impact du format de modulation,

($Q_{GPON_{Up-NRZ}}$, $Q_{XGSPON_{Up-NRZ}}$) vs ($Q_{GPON_{Up-RZ}}$, $Q_{XGSPON_{Up-RZ}}$).

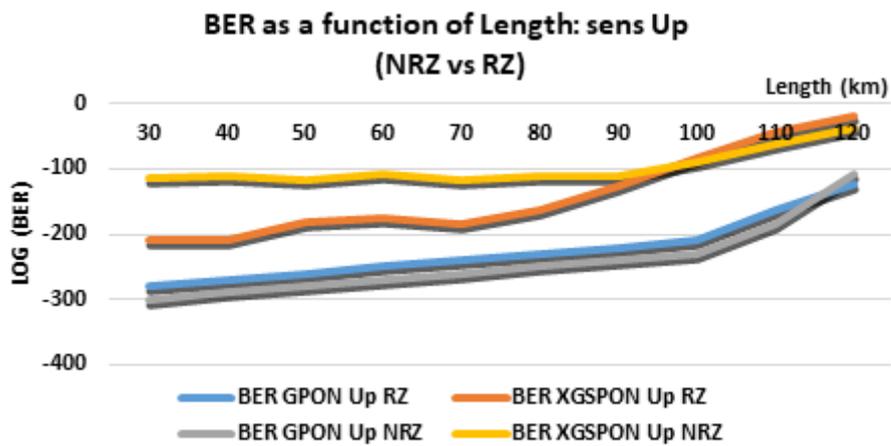


Figure IV-40: Impact du format de modulation,

($BER_{GPON_{Up-NRZ}}$, $BER_{XGSPON_{Up-NRZ}}$) vs ($BER_{GPON_{Up-RZ}}$, $BER_{XGSPON_{Up-RZ}}$).

En résumé, l'utilisation du format de modulation NRZ dans les deux sens de transmission (*aval et amont*) entraîne une amélioration significative des performances. En comparaison, le format de modulation RZ exige un spectre de fréquence plus large que le format NRZ.

IV.3.6 Impact de la dispersion chromatique (CD) et les effets non-linières (XPM, SPM) sur le système de coexistence GPON et XGSPON

Nous étudions l'impact de la dispersion chromatique (CD) et les effets non linéaires tels que le XPM (*Cross Phase Modulation*) et le SPM (*Self Phase Modulation*) sur le système global de coexistence GPON et XGSPON. Dans une première partie de cette simulation, nous tenons en compte à chaque fois la dispersion chromatique et les effets non linéaires, et dans la deuxième partie nous ne tenons pas en compte ces effets c.à.d. *CD, XPM et SPM*.

Le tableau IV-8, présente la valeur du facteur de qualité Q pour chaque longueur de liaison (10, 20 et 30) avec une puissance du laser fixe de 0 dBm et un format de modulation NRZ.

L (km)	10	20	30
Q GPON _{Down} (<i>Absence :CD+NE</i>)	21.43	13.37	7.89
Q XGSPON _{Down} (<i>Absence :CD+NE</i>)	12.82	7.07	5.31
Q GPON _{Up} (<i>Absence :CD+NE</i>)	20.31	12.96	7.39
Q XGSPON _{Up} (<i>Absence :CD+NE</i>)	12.25	8.3	4.9
Q GPON _{Down} (<i>Présence :CD+NE</i>)	19.9	12.19	7.42
Q XGSPON _{Down} (<i>Présence :CD+NE</i>)	11.59	6.71	4.24
Q GPON _{Up} (<i>Présence :CD+NE</i>)	19.25	11.97	7.29
Q XGSPON _{Up} (<i>Présence :CD+NE</i>)	10.92	6.72	4.24

Tableau IV- 8 : Impact de la dispersion chromatique CD et les effets non linéaires NE sur le facteur de qualité Q ($P = 0$ dBm, NRZ) dans les deux sens *aval* (Down) et *amont* (Up).

Les paramètres de la fibre optique sont illustrés dans les figures IV-41 et IV-42 pour les deux cas (*présence et absence de CD, XPM et SPM*).

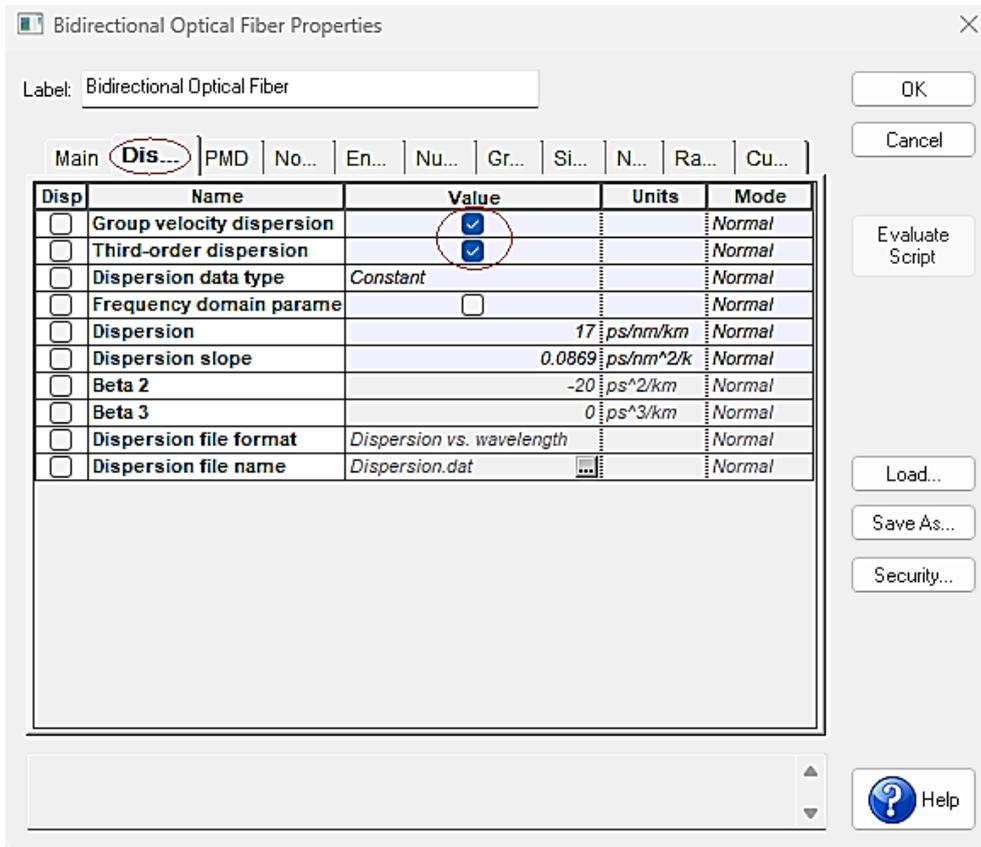


Figure IV- 41 : Présence de la dispersion chromatique CD.

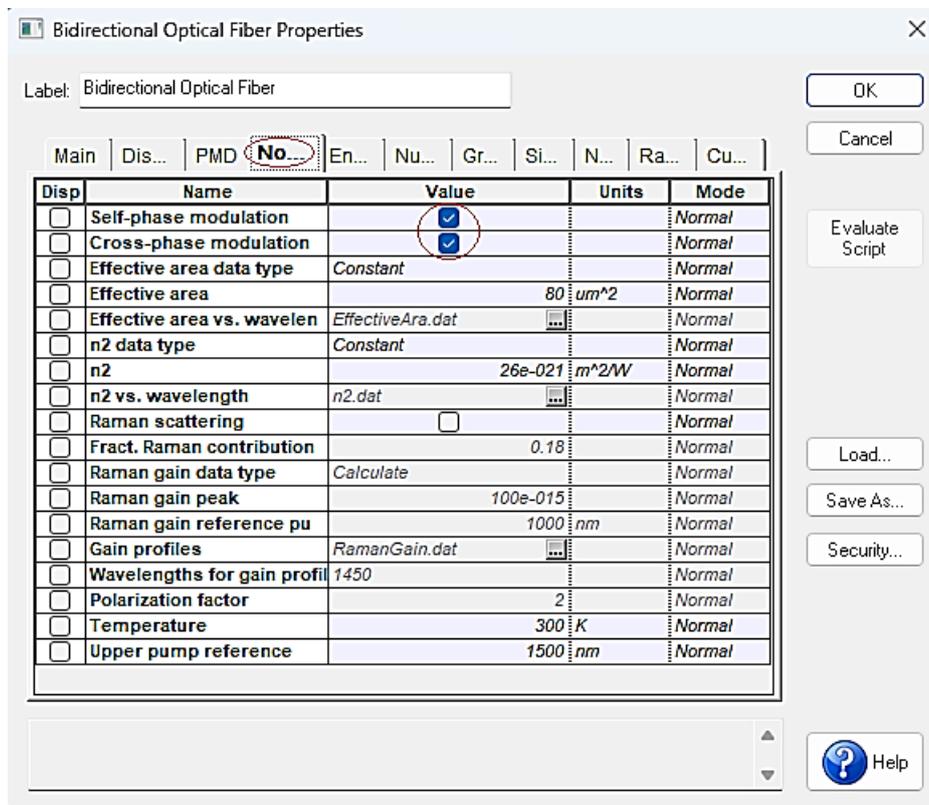


Figure IV-42 : Présence des effets non linéaires XPM et SPM.

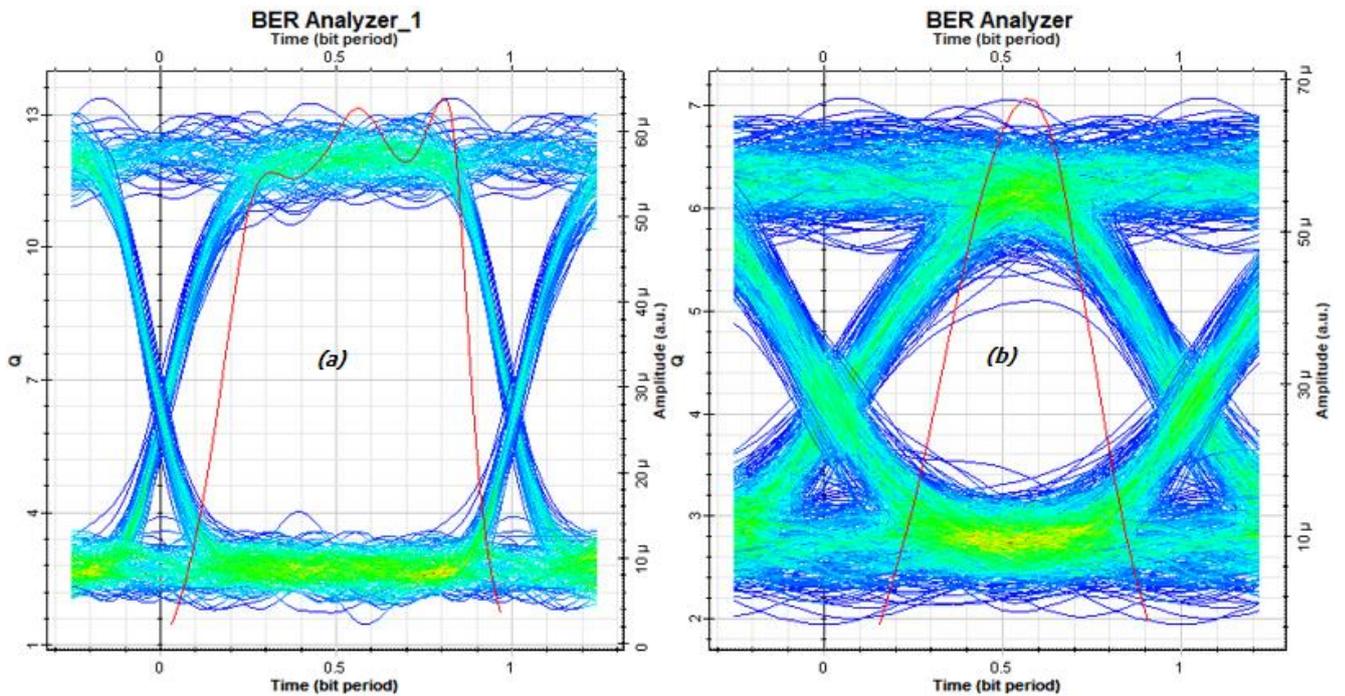


Figure IV-43 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (b).

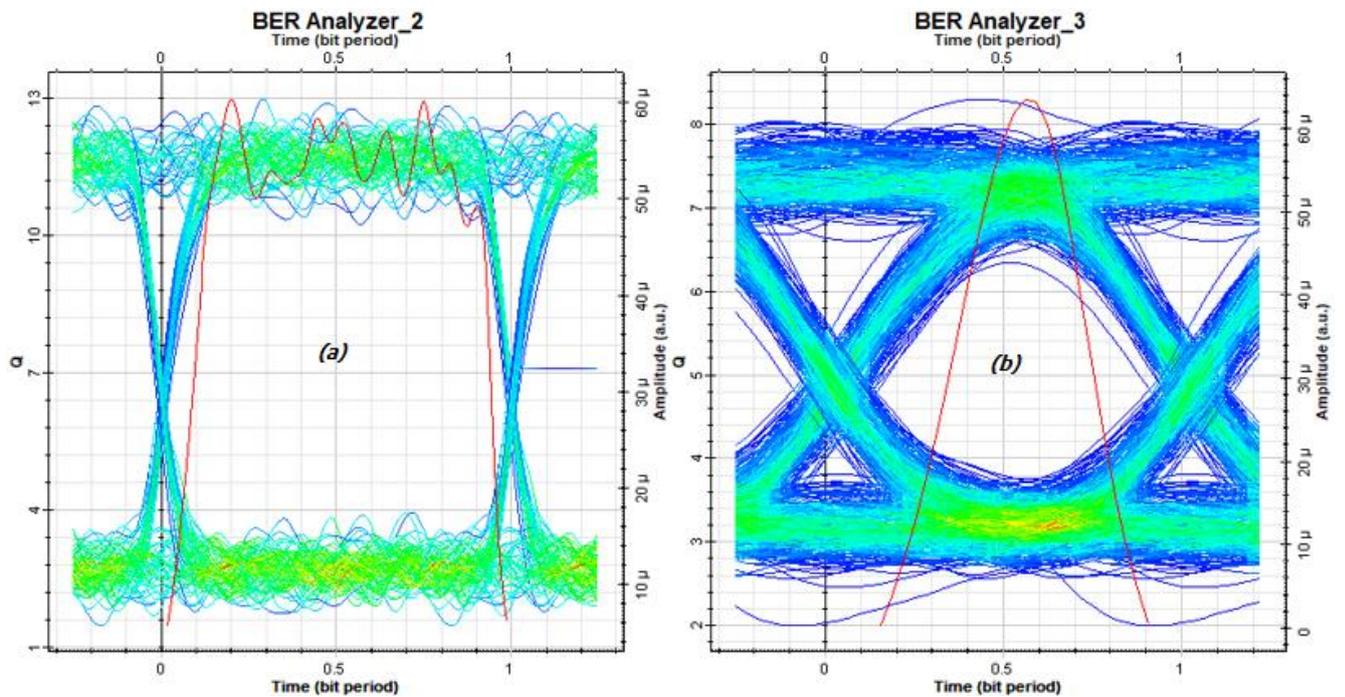


Figure IV-44 : Diagramme de l'œil pour le GPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (a), Diagramme de l'œil pour le XGSPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (b).

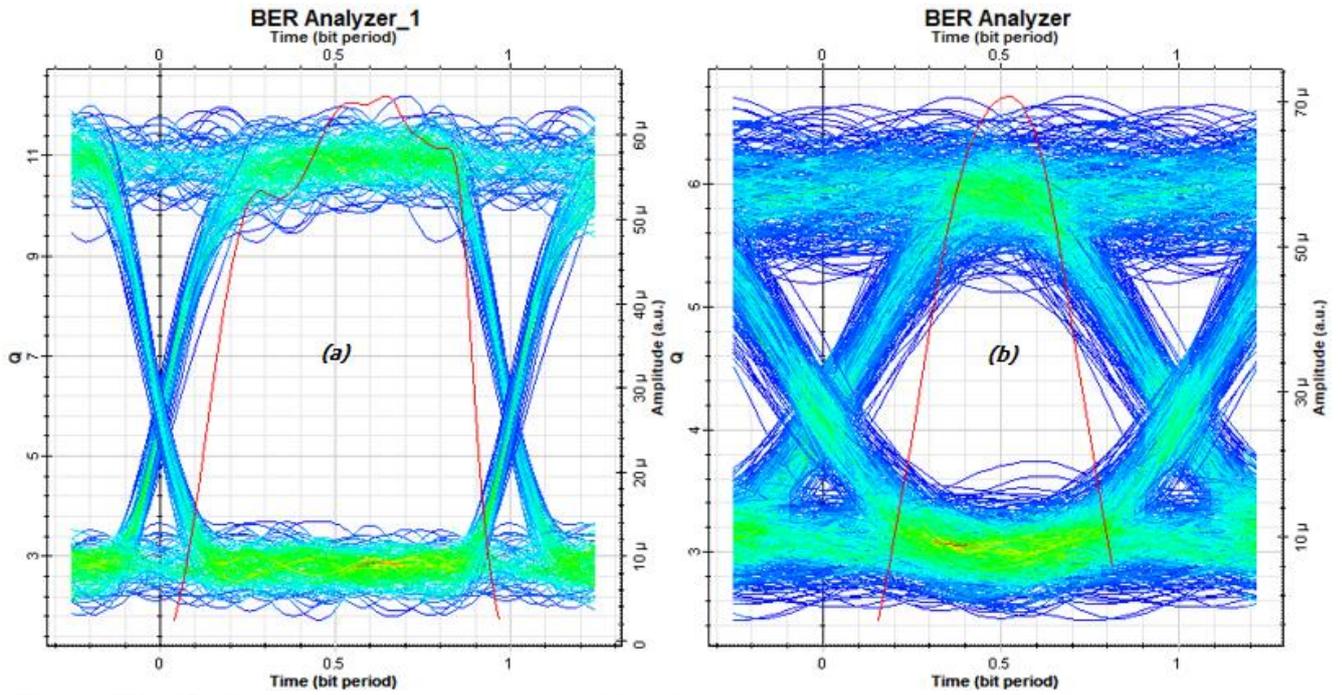


Figure IV- 45 : Diagramme de l’œil pour le GPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (a), Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (b).

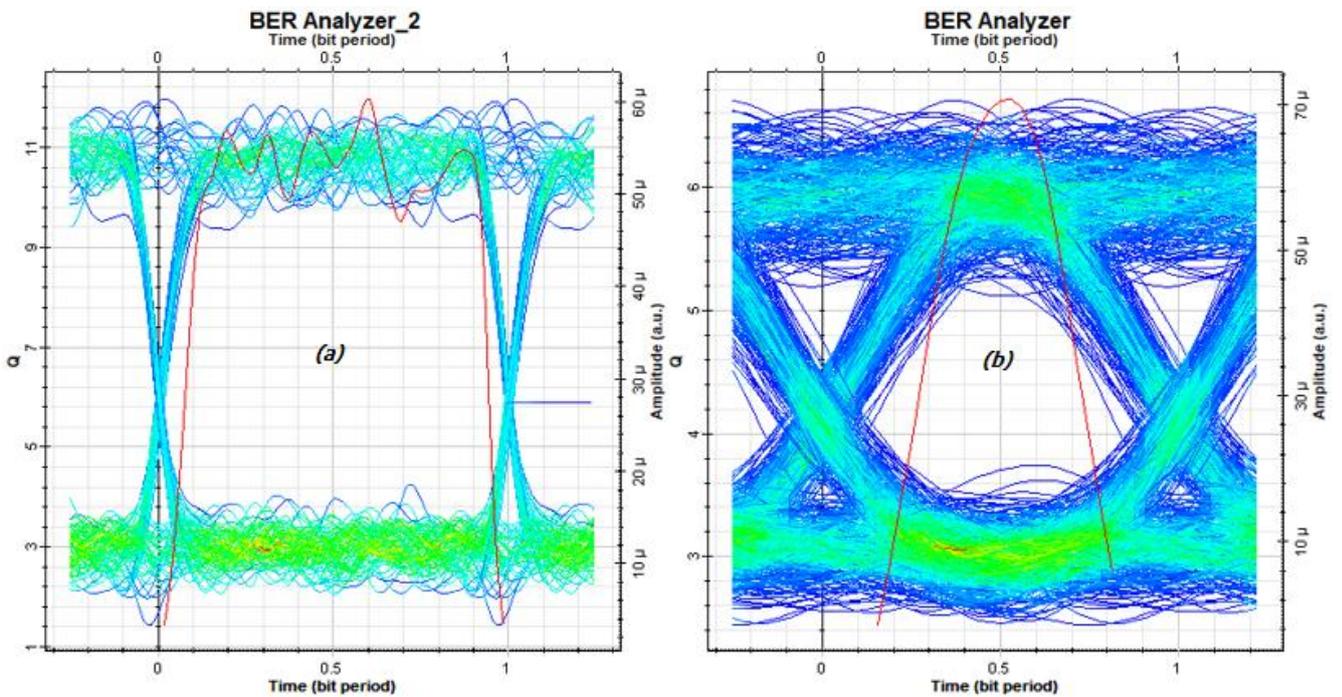


Figure IV- 46: Diagramme de l’œil pour le GPON_{Up-NRZ-Avec-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (a), Diagramme de l’œil pour le XGSPON_{Up-NRZ-Avec-CD-NE} avec $P = 0$ dBm et $L = 20$ km (b).

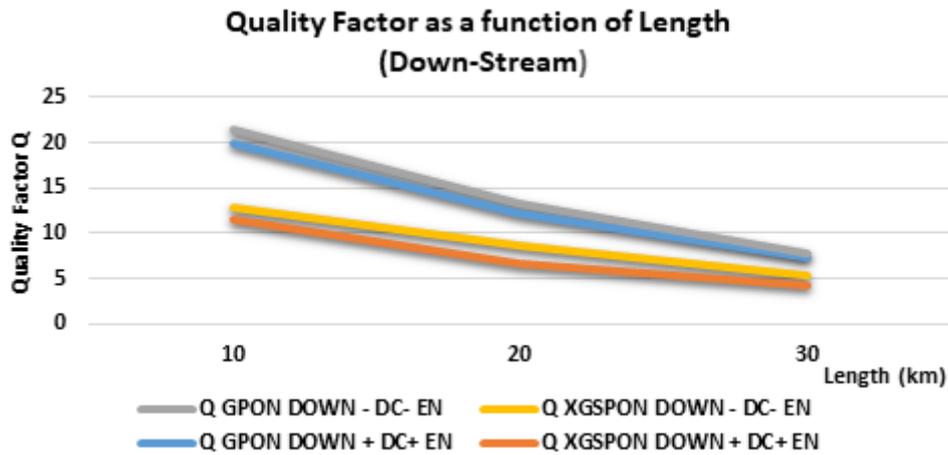


Figure IV-47: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires, $(Q_{GPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE}}, Q_{XGSPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE}})$ vs $(Q_{GPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE}}, Q_{XGSPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE}})$.

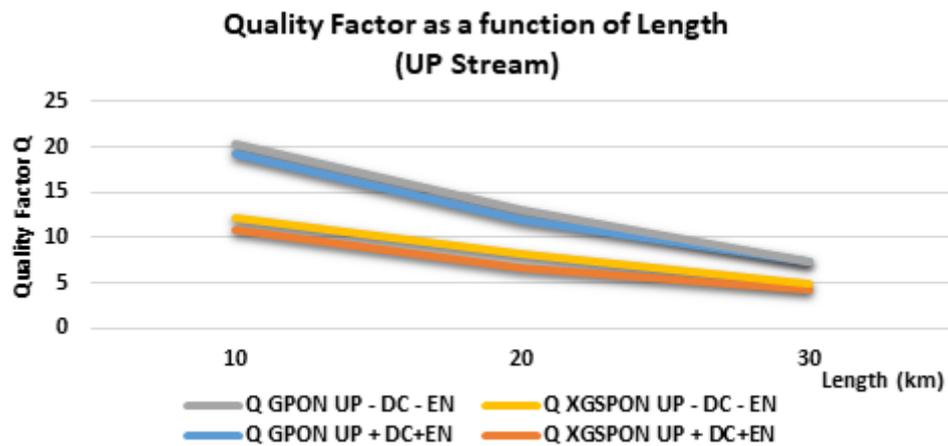


Figure IV-48 : Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires, $(Q_{GPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE}}, Q_{XGSPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE}})$ vs $(Q_{Up-NRZ-Avec-CD-NE}, Q_{XGSPON_{Up-NRZ-Avec-CD-NE}})$.

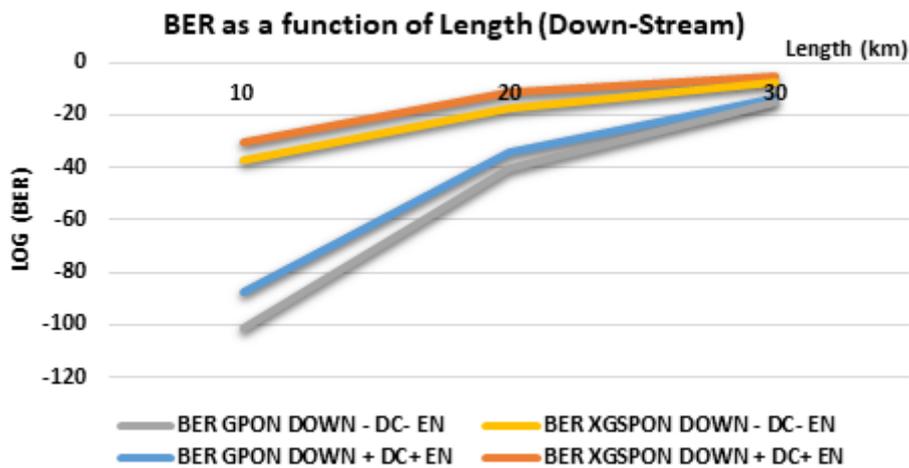


Figure IV-49: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires, $(BER_{GPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE}}, BER_{XGSPON_{Down-NRZ-Sans-CD-NE}})$ vs $(BER_{GPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE}}, BER_{XGSPON_{Down-NRZ-Avec-CD-NE}})$.

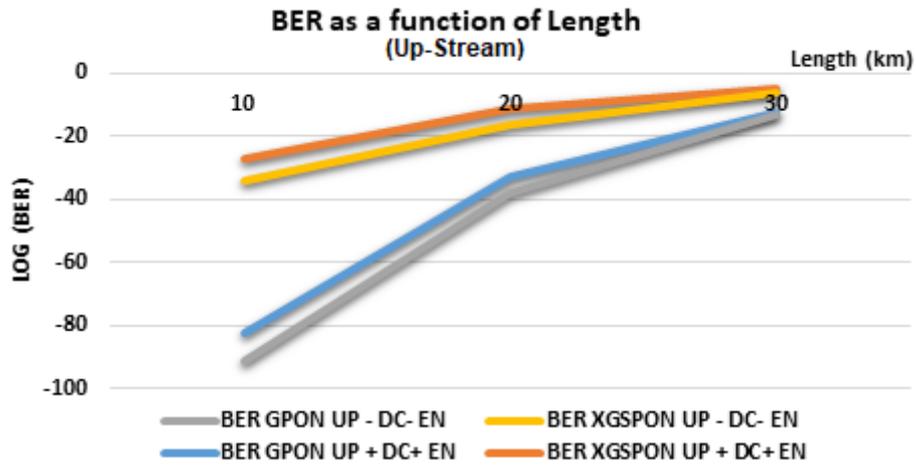


Figure IV-50: Impact de la dispersion chromatique et les effets non linéaires, ($BER_{GPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE}}$, $BER_{XGSPON_{Up-NRZ-Sans-CD-NE}}$) vs ($BER_{GPON_{Up-NRZ-Avec-CD-NE}}$, $BER_{XGSPON_{Up-NRZ-Avec-CD-NE}}$).

En se référant aux figures IV-47 et IV-48, il est observé que la qualité de la transmission est améliorée dans notre système lorsque la dispersion chromatique ainsi que les effets non linéaires (*CD*, *XPM* et *SPM*) sont absentes, aussi bien dans les deux sens de transmission aval et amont.

Selon les données du tableau IV-8, le système présente une restriction de distance de 30 km, avec un facteur de qualité compris entre 4.24 et 7.89. Cette constatation nous amène à explorer une autre approche pour étendre la portée de notre système. Pour ce faire, nous envisageons l'ajout d'une fibre de compensation de la dispersion chromatique (*DCF : Dispersion Compensating Fiber*) après la fibre monomode (*SMF : Single Mode Fiber*) existante.

Une fois de plus, il est conclu que la présence de la dispersion chromatique et des effets non linéaires constituent des facteurs significatifs et non négligeables dans notre réseau PON.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié deux techniques de réseaux optiques passifs (*PON*) à savoir le GPON et le XGSPON dont les résultats obtenus par simulation concernant le comportement de chaque système révèlent que le GPON semble légèrement meilleur par rapport au XGSPON. Les deux technologies ont des performances similaires et cohérentes et peuvent coexister dans une même architecture afin de réduire le coût d'investissement du réseau PON (*Passive Optical Network*) comprenant fibres optiques, multiplexeurs/démultiplexeurs, répartiteurs, armoires (*OLT et ONU*), amplificateurs, ...etc. et de répondre aux besoins en termes

de débit, de nombre d'utilisateurs et d'autres nouveaux services tels que : la vidéo à la demande, la télévision à très haute définition (*4K, 8K, ...etc.*).

Les simulations effectuées dans cette partie tiennent compte de l'impact de plusieurs facteurs impliqués dans cette étude notamment la longueur de la liaison, la puissance d'émission du laser, et le type de format de modulation (*NRZ et RZ*), ainsi que les différentes limitations telles que : la dispersion chromatique CD et les effets non-linéaires (*XPM et SPM*). Nous avons évalué les performances des deux systèmes avec une comparaison et optimisation en termes de taux d'erreur binaire (*BER*) et de facteur de qualité Q avec une portée maximale de 120 km et une puissance minimale de -12 dBm.

La seconde partie de ce mémoire sera consacrée sur l'étude du BMC de notre système de coexistence dans le cadre du modèle de business pour les projets startup (*décision N° 1275*).

BMC

« Business Model Canvas »



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
اللجنة الوطنية التنسيقية لمتابعة الابتكار وحاضنات الأعمال الجامعية
تنسيقية الغرب
جامعة ابن خلدون تيارت
حاضنة الأعمال



نموذج مخطط الأعمال للمشاريع الخاصة بالقرار 1275

البطاقة التقنية للمشروع

BECHIKH AMEL BENHAMIDI AICHA	الاسم واللقب Votre prénom et nom Your first and last Name
PHOTON'23	الاسم التجاري للمشروع Intitulé de votre projet Title of your Project
SPA	الصفة القانونية للمشروع Votre statut juridique Your legal status
0699826247 0666129744	رقم الهاتف Votre numéro de téléphone Your phone number
amel.bechikh@univ-tiaret.dz benhamidiaicha14@gmail.com	البريد الإلكتروني Votre adresse e-mail Your email address
Ville (Tiaret)	مقر مزاولة النشاط (الولاية- البلدية) Votre ville ou commune d'activité Your city or municipality of activity

<ul style="list-style-type: none"> • Vente de marchandises et de services 	<p>المنتوج ذو طابع إنتاجي أو خدماتي</p> <p>Vente de marchandises ou de services</p> <p>Sale of goods or services</p>
--	--

Value Proposition القيمة المقترحة أو العرض المقدم

تحديد المشكل الذي يواجهه الزبون

<ul style="list-style-type: none"> ■ Augmente le nombre des abonnés (Utilisateurs), la portée (de l'ordre de 100 km), le débit binaire vers 10 Gbps pour 32 utilisateurs, réduire le cout d'investissement (moins de câbles en Fibres optiques, moins des équipements en ligne), donne une meilleure prestation aux abonnés (particuliers et publics). 	<p>ما هي المشكلة التي تريد حلها؟</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Le nombre d'utilisateur raccordés par la nouvelle technologie (FTTH) reste insuffisant, la portée est limitée jusqu'à 10 km pour les abonnés particuliers et publics, le cout d'investissement est lourd et surtout pour le raccordement des institutions publiques (Exemple : les APCs, les Banques, les annexes administratives, ...etc.), ainsi qu'une prestation limitée (pas de recherche et développement). <ul style="list-style-type: none"> ■ La diversité des besoins des clients : Les différents utilisateurs ont des besoins en bande passante variés. Certains utilisateurs peuvent se contenter de débits plus bas, tandis que les entreprises ou les hommes d'affaires nécessitant une bande passante élevée ont besoin de débits plus importants. 	<p>ما هي البيانات المتوفرة لديك التي تدل على وجود المشكلة المحددة؟</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Projets de rénovation : la technologie GPON (2.5 Gbps/1.25 Gbps) établis par Algérie-Télécom, enregistre un grand retard afin de desservir tout le territoire de la wilaya de Tiaret. 	<p>ما هي المشاريع الأخرى التي استهدفت نفس المشكلة والتي جرى تنفيذها؟</p>

- Avec l'arrivée de la nouvelle technologie, à savoir le XGSPON (10 Gbps/10 Gbps), on peut coexister deux systèmes (GPON & XGSPON) sur même support de transmission (fibre optique) afin d'éviter le démesurément de l'investissement notamment en ce qui concerne les équipements en ligne (amplificateurs, multiplexeurs, détecteurs, démultiplexeurs, les fibres optiques, ...etc.) qui coutent cher.
 - Débits élevés : Avec l'augmentation de l'utilisation des services en ligne tels que la vidéo en streaming, les jeux en ligne et les applications gourmandes en données, les utilisateurs exigent des débits plus élevés. La coexistence de GPON et XGSPON nous permettra de répondre à cette demande en augmentant progressivement les débits jusqu'à 10 Gbps symétriques grâce à XGSPON, tout en continuant à offrir des services à débits plus bas via GPON
 - Flexibilité dans l'allocation de la bande passante : La coexistence de GPON et XGSPON permettrait à l'entreprise de proposer des offres flexibles adaptées à chaque segment de clientèle, en offrant des débits plus élevés via XGSPON pour les entreprises ou les utilisateurs ayant des besoins importants, tout en maintenant des offres à débits plus bas via GPON pour les utilisateurs ordinaires.
 - Réduire les coûts d'investissement : Avec l'arrivée de la nouvelle technologie, à savoir le XGSPON (10 Gbps/10 Gbps), on peut coexister deux systèmes (GPON & XGSPON) sur même support de transmission (fibre optique) afin d'éviter le démesurément de l'investissement notamment en ce qui concerne les équipements en ligne (amplificateurs, multiplexeurs, détecteurs, démultiplexeurs, les fibres optiques, ...etc.) qui coutent cher.
- Ce projet traite l'incapacité enregistrée par l'opérateur Algérie-Télécom en ce qui concerne le nombre d'abonnés, la portée, le débit et les différentes prestations (recherche et développement).
- Ce projet permet de raccorder jusqu'au : 256 abonnés pour un OLT XGSPON et 128 pour l'OLT GPON, donc en tout c'est 384 abonnés dans un seul système de coexistence (GPON & XGSPON) avec un débit/abonné de l'ordre de : 500 Mbps et une portée de 100 km au max.
- Offre des meilleures prestations aux abonnés (FTTX), à savoir la vidéo de haute qualité (4K, 8K, ...etc.), la visio-conférence sans coupure, la télésurveillance (Smart caméras), ...etc.

ماهي أهداف مشروعك و/أو
نتائج المتوقعة؟

القيمة المقترحة وفق المعايير التالية

<ul style="list-style-type: none"> ■ Le produit dans ce projet est le raccordement des abonnés au réseaux internet avec un nouveau système de coexistence (GPON & XGSPON). ■ Ce système capable de réduire le cout d'investissement jusqu'à 50%. ■ Capable de réduire le nombre des équipements jusqu'à 50%. ■ Capable de réduire la longueur de la fibre optique jusqu'à 50%. ■ Les 50% restants seront transformés en produits services (prestations) pour d'autres clients comme : Algérie-Télécom, OTA Djezzy, ATM Mobilis, Sonelgaz, Sonatrach, ...etc. 	<p>القيمة المبتكرة أو الجديدة</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Offrir des produits ou des services adaptés : Proposer des solutions qui répondent spécifiquement aux besoins et aux exigences du client. 	<p>القيمة بالتخصيص</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Moindre cout pour l'abonnement d'Internet et de la téléphonie fixe. 	<p>القيمة بالسعر</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Lorsqu'un produit ou un service répond de manière optimale aux besoins et aux attentes du client, il crée une expérience positive et augmente la valeur perçue par le client. Cela peut conduire à une relation à long terme avec le client et à des recommandations positives pour l'entreprise. 	<p>القيمة بالتصميم</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Qualité exceptionnelle. ■ Efficacité accrue. ■ Résultats supérieurs. ■ Fiabilité et cohérence. ■ Innovation technologique. 	<p>القيمة بالأداء العالي</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Fournir un service d'assistance et d'assistance client réactif. 	<p>القيمة بالخدمة الشاملة</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Néant. 	<p>قيم أخرى</p>

شرائح العملاء أو الزبائن Customer Segments

جغرافية Géographique	ديموغرافية (B2C) Démographique (B2C)	ديموغرافية (B2B) Démographique (B2B)	العوامل النفسية والشخصية Psychographique	السلوكيات Comportemental
Afrique	25-70 ans.	Algérie-Télécom.	Classe sociale Moyenne.	Usage استخدام
Algérie	Mâle & Femelle	500 employés.	Niveau de vie Moyen.	Loyauté الوفاء
Ouest de l'Algérie	360 000 DA	Bonne maturité.	Valeurs القيم	Intérêt اهتمام
Tiaret	Célibataires/Mariés	Bonne situation financière.	Personnalité الشخصية	Passion الهواية وشغف
Tiaret	1 ^{ère} Année Seconde et plus.	Détention/ actionnariat الملكية/المساهمة	Convictions المعتقدات	Sensibilité حساسيات
Zone Industrielle Zaaroura	Toutes les professions.	SPA/ 115.000.000,00 DA.	Présence digitale et sur les réseaux sociaux استعمال التكنولوجيا في التواصل	Habitude de consommation عادة الاستهلاك
Climat sec	Différentes cultures.	Business model نموذج الأعمال	Centres d'intérêts مراكز الاهتمام	Mode de paiement Cache/E- payment.
	Toutes les religions.	Secteur des télécommunications.		Connaissance المعرفة
	Toutes les langues.	GPON.		Nature de la demande طبيعة الطلب
		Téléphonie fixe et Internet (Fibre).		Fréquence d'achat Périodique.

قنوات التوزيع Channels

■ Vente en ligne via des plateformes : Réseaux sociaux/Site de l'entreprise.	المبيعات المباشرة
■ Néant.	تجار الجملة
■ Néant.	الموزعون
■ Néant.	توزيع التجزئة

العلاقة مع العملاء Customer Relationship

■ Comprendre les besoins et les attentes des clients. ■ Offrir un service client exceptionnel. ■ Établir une communication claire et régulière : Communiquez régulièrement avec eux, que ce soit par e-mail, par téléphone, par réunions en personne ou via les réseaux sociaux. Informez-les des nouvelles offres, des mises à jour de produits ou de tout changement important au sein de mon entreprise.	كيف تدير علاقاتك مع العملاء؟
■ Microsoft Dynamics.	ما هي أهم البرامج التي ستعتمد عليها في إدارة العلاقة مع الزبون Microsoft Dynamics Monday CRM Zoho CRM

Key Partners الشركاء الأساسيون

طبيعة الشراكة	معلومات حول الشركاء	الشركاء
<ul style="list-style-type: none"> Le contrôle de l'accès et la surveillance du marché. La fonction de règlement des litiges et d'arbitrage. Le contrôle des entreprises au sens du droit de la concurrence. 	<p>1. Autorité de Régulation de la Poste et des Communications Électroniques ARPCE :</p> <ul style="list-style-type: none"> Adresse : 01 Rue Rahim Kaddour, Hussein Dey 16005 Tél. : 023 77 16 64. Site : https://www.arpce.dz/ 	الشريك الأول
<ul style="list-style-type: none"> La collaboration en matière des télécommunications par exemple : l'allocation de la bande passante (boucle régionale & nationale), des infrastructures existantes pour l'exploitation dans le cadre de location, vente des équipements relatifs au notre projet. La coordination entre les différentes filiales qui sont sous leur tutelle (Exemple : ATS, ATM Mobilis, Algérie-Télécom, ANF, ...). 	<p>2. Le Ministère de la Poste et des Télécommunications – MPT :</p> <ul style="list-style-type: none"> Adresse : 4 Boulevard Krim Belkacem, 16027, Alger, Algérie. Tél. : +213 (0) 21 711 220. E-mail : contact@mpt.gov.dz Site : https://www.mpt.gov.dz 	الشريك الثاني
<ul style="list-style-type: none"> La coordination entre les différentes institutions publiques (APC, Daïras, Directions publiques, ...). Facilite l'investissement. Octroi de contrats immobilier (fonciers) pour l'implantation le projet. 	<p>3. La Wilaya de Tiaret :</p> <ul style="list-style-type: none"> Adresse : Cité des Frères Guittoune, la CIA. Tél. : 046 20 30 53. Site : http://wilaya-tiaret.dz/ Facebook : https://www.facebook.com/wilaya.tiaret14 	الشريك الثالث
<ul style="list-style-type: none"> Facilite la régularisation du foncier destiné à l'investissement. 	<p>4. Direction des domaines - Tiaret :</p>	الشريك الرابع

<ul style="list-style-type: none"> La fonction de règlement des litiges concernant les terrains et les fonciers. 	<ul style="list-style-type: none"> Adresse : Cité des Frères Guittoune, la CIA. Tél. : 046.42.26.07. 	
---	--	--

Structure Costs هيكل التكاليف

<ul style="list-style-type: none"> Publicité sur la Radio locale : 12 232,50 DA/h. (9h-11h45). Publicité sur la Radio locale : 15 699,75 DA/h. (16h-18h). Publicité sur les réseaux sociaux : 50 DA/vue. Publicité sur les panneaux publicitaires (Affiches) ou sur les autoroutes : 60 000 DA/mois. 	<p>تكاليف التعريف بالمنتج أو المؤسسة Frais d'établissement</p>
<ul style="list-style-type: none"> Compteur Electricité : 12 000 DA. Compteur Gaz : 6 000 DA. Compteur Eaux : 8 500 DA (φ 40 - φ 50 mm). 	<p>تكاليف الحصول على العدادات (الماء- الكهرباء (..... Frais d'ouverture de compteurs (eaux-gaz-....)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Formations : 25 000 DA/Formation. Logiciels : Optisystem v.20 : 2 000 000 DA (Simulateur d'une liaison optique). Logiciels bureautiques (Win 11, MS office 21, Adobe Acrobat 11, Kaspersky Total Security) : 12 000 DA. 	<p>تكاليف (التكوين- برامج الاعلام الالي المختصة) Logiciels, formations</p>
<ul style="list-style-type: none"> Dépôt marque, brevet, modèle : 50 000 DA. 	<p>Dépôt marque, brevet, modèle تكاليف براءة الاختراع والحماية الصناعية والتجارية</p>
<ul style="list-style-type: none"> Droits d'entrée : 800 000 DA. 	<p>Droits d'entrée تكاليف الحصول على تكنولوجيا او ترخيص استعمالها</p>
<ul style="list-style-type: none"> Achat fonds de commerce ou parts : /. 	<p>Achat fonds de commerce ou parts شراء الأصول التجارية أو الأسهم</p>
<ul style="list-style-type: none"> Droit au bail : 60 000 DA/mois. 	<p>Droit au bail الحق في الإيجار</p>

■ Caution ou dépôt de garantie : 500 000 DA.	Caution ou dépôt de garantie وديعة أو وديعة تأمين
■ Frais de dossier : 150 000 DA.	Frais de dossier رسوم إيداع الملفات
■ Frais de notaire ou d'avocat : 200 000 DA.	Frais de notaire ou d'avocat تكاليف الموثق-المحامي-.....
■ Enseigne et éléments de communication : 200 000 DA.	Enseigne et éléments de communication تكاليف التعريف بالعلامة وتكاليف قنوات الاتصال
■ Achat immobilier : /.	Achat immobilier شراء العقارات
■ Travaux et aménagements : 300 000 DA.	Travaux et aménagements الأعمال والتحسينات الاماكن
■ Fibre optique (100 km) et Accessoires : 90 000 000 DA. ■ Location Engins : 5 000 DA/h.	Matériel الآلات- المركبات- الاجهزة
■ Matériels de bureau : 4 PCs : 360 000 DA ; 4 Imprimantes : 120 000 DA ; 4 Onduleurs : 100 000 DA ; Papiers, Chemises et Stylos : 100 000 DA ; 4 Rallonges : 4 000 DA ; 4 Bureaux et 4 Chaises : 150 000 DA.	Matériel de bureau تجهيزات المكتب
■ Stock de matières et produits : /.	Stock de matières et produits تكاليف التخزين
■ Trésorerie de départ : 5 000 000 DA.	Trésorerie de départ التدفق النقدي (الصندوق) الذي تحتاجه في بداية المشروع.

المجموع = 96 798 650 DA

■ نفقاتك أو التكاليف الثابتة الخاصة بمشروعك

■ Assurances : 364 000 DA.	Assurances التأمينات
■ Téléphone : 28 800 DA. ■ Internet : 36 000 DA.	Téléphone, internet الهاتف والانترنت
■ /.	Autres abonnements اشتراقات أخرى
■ Carburant : 480 000 DA. ■ Transports : 384 000 DA.	Carburant, transports الوقود وتكاليف النقل
■ Frais de déplacement et hébergement : 100 000 DA.	Frais de déplacement et hébergement تكاليف التنقل والمبيت
■ Eau, électricité, gaz : 36 000 DA.	Eau, électricité, gaz فواتير الماء - الكهرباء- الغاز
■ Mutuelle : 58 750 DA.	Mutuelle التعاضدية الاجتماعية
■ Fournitures diverses : 50 000 DA.	Fournitures diverses لوازم متنوعة

■ Entretien matériel et vêtements : 100 000 DA.	Entretien matériel et vêtements صيانة المعدات والملابس
■ Nettoyage des locaux : 20 000 DA.	Nettoyage des locaux تنظيف المباني
■ Budget publicité et communication : 500 000 DA.	Budget publicité et communication ميزانية الإعلان والاتصالات

المجموع = 2 157 550 DA

مصادر الإيرادات Revenue Stream

■ 1 000 000 DA.	Apport personnel ou familial المساهمة الشخصية أو العائلية
■ /.	Apports en nature (en valeur) التبرعات العينية
■ 20 000 000 DA. (BNA).	Prêt n°1 (nom de la banque) قرض رقم 1 اسم البنك
■ 20 000 000 DA. (CPA).	Prêt n°2 (nom de la banque) قرض رقم 2 اسم البنك
■ 20 000 000 DA. (BADR).	Prêt n°3 (nom de la banque) قرض رقم 3 اسم البنك
■ 39 000 000 DA. (ASF : Algerian Startup Fund).	Subvention n°1 (libellé) منحة 1
■ /.	Subvention n°2 (libellé) منحة 2
■ /.	Autre financement (libellé) تمويل آخر

المجموع = 100 000 000 DA

رقم الأعمال بيع المنتج في السنة الأولى

Votre chiffre d'affaires de la première année

متوسط أيام العمل في الشهر	بيع المنتج في السنة الأولى
20	1 ^{er} Mois = 350 000 DA.
20	2 ^{ème} Mois = 525 000 DA.
20	3 ^{ème} Mois = 700 000 DA.
20	4 ^{ème} Mois = 875 000 DA.
20	5 ^{ème} Mois = 1 050 000 DA.

20	6 ^{ème} Mois = 1 225 000 DA.
20	7 ^{ème} Mois = 1 400 000 DA.
20	8 ^{ème} Mois = 1 575 000 DA.
20	9 ^{ème} Mois = 1 750 000 DA.
20	10 ^{ème} Mois = 1 925 000 DA.
20	11 ^{ème} Mois = 2 100 000 DA.
20	12 ^{ème} Mois = 2 275 000 DA.

المجموع = 15 750 000 DA

النسبة المئوية للزيادة في حجم الأعمال بين كل شهر لسنة الأولى؟

$$[(525\ 000\ \text{DA} - 350\ 000\ \text{DA}) / (350\ 000\ \text{DA})] * 100 = 50\ %.$$

■ **بيع المنتج في السنة الثانية**

Votre chiffre d'affaires de la deuxième année

متوسط أيام العمل في الشهر	بيع المنتج في السنة الثانية
20	1 ^{er} Mois = 1 400 000 DA.
20	2 ^{ème} Mois = 1 750 000 DA.
20	3 ^{ème} Mois = 1 925 000 DA.
20	4 ^{ème} Mois = 2 100 000 DA.
20	5 ^{ème} Mois = 2 275 000 DA.
20	6 ^{ème} Mois = 2 275 000 DA.
20	7 ^{ème} Mois = 2 450 000 DA.
20	8 ^{ème} Mois = 2 625 000 DA.
20	9 ^{ème} Mois = 2 625 000 DA.
20	10 ^{ème} Mois = 2 450 000 DA.
20	11 ^{ème} Mois = 2 800 000 DA.
20	12 ^{ème} Mois = 3 150 000 DA.

المجموع = 27 825 000 DA

النسبة المئوية للزيادة في حجم الأعمال بين كل شهر لسنة الأولى؟

$$[(1\ 750\ 000\ \text{DA} - 1\ 400\ 000\ \text{DA}) / (1\ 400\ 000\ \text{DA})] * 100 = 25\ %.$$

■ **بيع المنتج في السنة الثالثة**

Votre chiffre d'affaires de la troisième année

متوسط أيام العمل في الشهر	بيع المنتج في السنة الثانية
20	1 ^{er} Mois = 2 800 000 DA.
20	2 ^{ème} Mois = 3 325 000 DA.
20	3 ^{ème} Mois = 3 500 000 DA.
20	4 ^{ème} Mois = 3 675 000 DA.
20	5 ^{ème} Mois = 3 850 000 DA.
20	6 ^{ème} Mois = 4 025 000 DA.

20	7 ^{ème} Mois = 4 200 000 DA.
20	8 ^{ème} Mois = 4 375 000 DA.
20	9 ^{ème} Mois = 4 550 000 DA.
20	10 ^{ème} Mois = 4 725 000 DA.
20	11 ^{ème} Mois = 4 900 000 DA.
20	12 ^{ème} Mois = 5 075 000 DA.

المجموع = 49 000 000 DA

النسبة المئوية للزيادة في حجم الأعمال بين كل شهر لسنة الأولى؟
 $[(3\ 325\ 000\ DA - 2\ 800\ 000\ DA) / (2\ 800\ 000\ DA)] * 100 = 18.75\ %.$

■ تطور حجم رقم الأعمال في السنة
- النسبة المئوية للزيادة في حجم الأعمال بين السنة 1 والسنة
2؟

$[(27\ 825\ 000\ DA - 15\ 750\ 000) / (15\ 750\ 000\ DA)] * 100 =$
76.66 %.

- النسبة المئوية للزيادة في حجم الأعمال بين السنة 2 والسنة
3؟

$[(49\ 000\ 000\ DA - 27\ 825\ 000\ DA) / (27\ 825\ 000\ DA)]$
*100 = 76.10 %.

■ حاجتك لرأس المال العامل

30 Jours.	متوسط مدة الاعتمادات الممنوحة للعملاء بالأيام Durée moyenne des crédits accordés aux clients en jours
30 Jours.	متوسط مدة ديون الموردين بالأيام Durée moyenne des dettes fournisseurs en jours

■ رواتب الموظفين ومسؤولين الشركة

■ 135 000 DA. (3*45 000 DA)

رواتب الموظفين

	Salaires employés
▪ 100 000 DA. (1*100 000 DA)	صافي أجور المسؤولين Rémunération nette dirigeant



Conclusion générale et perspectives

Ce mémoire est une étude de performances d'un système de coexistence GPON et XGSPON utilisé dans les télécommunications. Ce travail a pour but de contribuer à l'amélioration des performances du réseau PON par l'intégration d'un nouveau système de coexistence. Le GPON représente une technologie établie offrant des débits satisfaisants, XGSPON constitue aussi une avancée majeure en permettant des débits symétriques de 10 Gbit/s, répondant ainsi à la demande croissante de services gourmands en bande passante.

Dans le premier chapitre, nous avons mis en évidence les principaux concepts de la fibre optique en décrivant les caractéristiques qu'elle dispose notamment la bande passante, le débit binaire, l'atténuation, la dispersion chromatique, la dispersion de mode de polarisation, les effets non linéaires ainsi que les types et le domaine d'application sans oublier les avantages et les inconvénients.

Pour le second chapitre, nous avons inclus une analyse détaillée de la chaîne de transmission optique, commençant par la partie d'émission qui implique les LEDs et les modulateurs, suivie par une étude sur les amplificateurs, y compris leurs différents types, ainsi que les multiplexeurs, et nous avons terminé par la partie réception.

Un aperçu sur les différents réseaux PON ainsi que le GPON et le XGS-PON a été mis en évidence dans le 3^{ème} chapitre avec une comparaison détaillée entre les deux systèmes qui les constituent.

Le dernier chapitre, nous avons contribué une architecture du modèle de coexistence et à l'aide du logiciel OptiSystem nous avons simulé les deux technologies dans un seul système en tenant compte des différents facteurs impliqués dans notre simulation à savoir, la longueur, la puissance du laser, le format de modulation RZ et NRZ ainsi que les effets non linéaires et la dispersion chromatique CD. Les résultats obtenus nous a permis de choisir un tel système de coexistence qui donne une meilleure performance en termes du taux d'erreurs binaires BER, de facteur de qualité supérieur à 6, ainsi qu'une longue portée de 120 km avec une puissance minimale de -12 dBm.

La dernière partie de ce mémoire a été consacrée sur l'étude du BMC de notre système de coexistence dans le cadre du modèle de business pour les projets startup (*décision N° 1275*).

Notre avons aussi effectué un stage d'apprentissage sur le déploiement des réseaux GPON au niveau d'Algérie Télécom -Tiaret, dont nous a permis d'acquérir diverses compétences grâce à l'étude théorique et pratique que nous avons réalisée. Voici les compétences que nous avons développées :

Conclusion générale et perspectives.

Tout d'abord, la formation nous a permis de mettre en pratique une partie des connaissances théoriques que nous avons acquises lors de nos études universitaires. Nous avons pu voir concrètement comment les concepts théoriques s'appliquent dans un environnement professionnel, ce qui a renforcé notre compréhension et notre maîtrise des concepts, et nous avons acquis une expérience précieuse dans le domaine des réseaux FTTH.

Enfin, le stage a joué un rôle important dans le développement de notre sens de l'observation et de notre responsabilité. Nous avons appris à être attentifs aux détails et à suivre les procédures avec rigueur afin de garantir la qualité et la fiabilité des installations de réseau. Nous avons également développé un sens d'implication en prenant en compte les enjeux liés à la sécurité et à la satisfaction des clients.



Références bibliographiques

Bibliographie :

- [1] : MUR, Jean-Michel. *"Les fibres optiques : notions fondamentales (câbles, connectique, composants, protocoles, réseaux...)"*. Éditions ENI, 2015.
- [2] : Guetiteni Lilia , Akaba Turkia « Etude de la propagation du faisceau gaussien par un système optique » UNIVERSITÉ DE MEDEA , 2021.
- [3] : Smith, J., et al , "Advancements in Optical Fiber Technology" publié dans le journal Optical Communications en 2022 .
- [4] : Sidi Ali MEBAREK, *"Télécommunications optiques"*, thèse de doctorat, publié en 2001, 162p.
- [5] : Ibrahim EL MANSOURI- Sources impulsionsnelles picosecondes tout optique à très haut débit-Thèse de Doctorat- Université de Bourgogne- 2013.
- [6] : Maurice FRANCON. *"Thèmes actuels en optique"*. Editeur : Elsevier Masson, collection physique fondamentale et appliquée, 120p, publié en 1986.
- [7] : R. SAIDI, *"Etude d'une Structure de Liaison par Fibre Optique : Caractérisation de la Propagation et Bilan Energétique"*. Mémoire de magister En Electronique, Université Mohamed Kheider, Biskra, 18/03/2010.
- [8] : John M. Senior, M. Yousif Jamro, *"Optical Fiber Communications Principles and Practice"*, 3rd Edition ", ISBN: 978-0-13-032681-2, 2009.
- [9] : J. Laurent. *" Communications optiques à très haut débit "*. Conservatoire national des arts et des métiers Centre de Paris, 3 décembre 2004.
- [10] : Kherici, C., & Kandouci, M. *"A Comparative Study of Performances Between the WDM PON System and the CWDM PON System in an Optical Access Network"*. Journal of Optical Communications. Feb. 2020.
- [11] : L'article de Kerr, J., « On Rotation of the Plane of Polarization by Reflection from the Pole of a Magnet publié dans le journal Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 1875.
- [12] : Guessoum, A. *"Optimisation du couplage optique par modification des bouts des fibres optiques"* Doctoral dissertation. 2018.
- [13] : BOUMAZA, N. *"Solitons en Optique Non Linéaire : Etude des Propriétés Physiques et Application dans le Domaine des Télécommunications"*. Doctoral dissertation.
- [14] : AIYING, Y. A. N. G. et CHEN, Xiaoyu. *"Method of measuring optical fiber link chromatic dispersion by fractional Fourier transformation (FRFT)"*. U.S. Patent No 9,602,199, 21 mars 2017.

- [15] : l'article « Advantages of Fiber Optic Communication » publié par Li, Z., et al. dans le journal «IEEE Communications Surveys & Tutorials » en 2018.
- [16] : G. Keiser, "*Optical Fiber Communications*", 4th Edition, McGraw-Hill, 2010.
- [17] : KHATER Yasser , KHOBZI Mohammed , "Technique OCDMA : Applications dans les réseaux de communications optiques , Mémoire master 2019.
- [18] : J. G. Proakis, "*Digital Communications*", 5th Edition, McGraw-Hill, 2007.
- [19] : KHERICI, C. "*Etude comparative des différentes méthodes de multiplexage optique pour les télécommunications*". Thèse Doctorat, Université de Djillali Liabes Sidi Bel Abbès, 2021.
- [20] : Mathilde GAY- "*étude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit*"- Thèse de Doctorat- Rennes- 2006.
- [21] : A.BENTAHAR, M.KANDOUCI, Z .MAHDJOUR. "*Simulation d'une amplification des systèmes de communication optique par une fibre optique dopée à l'erbium (EDFA)*". 2020.
- [22] : "*Communication Science & Technology*", N° 14. COST January, 2014.
- [23] : "*Mémoire SUR LES RESEAUX FTTH*", COGISYS ; *Architecture des systèmes de communication*, Juillet (2009) ;
- [24] : Fabienne SALIOU. "*Communications et électronique*". THÈSE Présentée à TELECOM PARIS TECH pour obtenir le grade DOCTEUR de TELECOM PARIS TECH, 2010.
- [25] : MRABET. H ; "*Cours Réseau d'accès optique*". Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communication, 2011.
- [26] : Fabia RAHARIMANITRA, "*Contribution à l'étude des architectures basées sur le multiplexage en temps et en longueur d'onde dans le réseau d'accès, permettant la migration vers la nouvelle génération de PON (NGPON) à 10 Gbit/s*". Thèse de Doctorat. Université Européenne de Bretagne. 13 Janvier 2012.
- [27] : ITU-T G.982, "*Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates*", 1996.
- [28] : Alberto Sendin, Javier Matanza, Ramon Ferrús · 2021 , "*Smart Grid telecommunications Fundamentals and Technologies in the 5G Era*"*IEEE Press* , John Wiley & Sons, 2021
- [29] :TARSONO, D., et al. Optical and network performance analysis of XGS-PON system over active co-existence PON systems. *Optics and Photonics Journal*, 2017, 7.8: 40-48.
- [30] : Louazani .M, Meddane.S, "*Etude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde*", Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, Juin 2017.
- [31] : Hadjere, Ismail, Noura, Imad, "*Etude et simulation de la technique CDMA appliqué aux transmissions optiques utilisant les réseaux de Bragg*", Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2016.

Résumé :

Afin de réduire le coût d'investissement du réseau PON (*Passive Optical Network*) comprenant fibres optiques, multiplexeurs, répartiteurs, OLT, ONU, ...etc, et de répondre aux besoins en termes de débit et de nouveaux services tels que : la vidéo à la demande, la télévision à haute définition (4K, 8K, ...). Le système de coexistence est le privilégié. Dans ce mémoire, nous évaluerons les performances des deux systèmes suivants : GPON et XGSPON avec comparaison et optimisation en termes de taux d'erreur binaire TEB et de facteur de qualité Q en tenant compte les effets non linéaires. En faisant varier la puissance du laser de -12 dBm jusqu'à 12 dBm ainsi que les longueurs de fibre de 10 km jusqu'à 120 km tout en gardant des meilleures performances.

Abstract:

In order to reduce the investment cost of the Passive Optical Network (*PON*) including optical fibers, multiplexers, splitters, OLT, ONU, ...etc, and to meet the requirements in terms of throughput and new services such as video on demand and high-definition television (4K, 8K, ...), the coexistence system is preferred. In this work, we will evaluate the performance of the following two systems: GPON and XGSPON, with a comparison and optimization in terms of bit error rate (*BER*) and quality factor (*Q*) considering the nonlinear effects. By varying the laser power from -12 dBm to 12 dBm and the fiber lengths from 10 km to 120 km while maintaining the best performance.

ملخص:

من أجل تقليل تكلفة الاستثمار لشبكة PON (الشبكة الضوئية السلبية) التي تتكون من الألياف الضوئية، ومضاعفات الإرسال، والمقسمات، والمراكز OLT, ONU، وما إلى ذلك، ولتلبية الاحتياجات من حيث الإنتاجية والخدمات الجديدة مثل: الفيديو حسب الطلب، البث التلفزيوني العالي الجودة 4K, 8K. نظام التعايش هو نظام متميز. في هذه الأطروحة، سنقوم بتقييم أداء النظامين التاليين: GPON و XGSPON مع المقارنة والتحسين من حيث معدل خطأ البت BER وعامل الجودة Q مع مراعاة التأثيرات غير الخطية. من خلال تغيير استطاعة الليزر من -12 ديسيبل إلى 12 ديسيبل بالإضافة إلى أطوال الألياف البصرية من 10 كم إلى 120 كم مع الحفاظ على أداء أفضل.