

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

Planification et dimensionnement d'un réseau d'accès optique
WDM/GPON

Présenté par :

BOUFRIDA Naim
LAYADA Selsabil

Sous la direction de :
Dr. KASSA-BAGHDOUCHE Lazhar

Juillet 2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions le Dieu qui nous a donné la force et le courage pour terminer nos études et à élaborer ce modeste travail.

Nous adressons tout particulièrement à "**Dr. KASSA-BAGHDOUCHE Lazhar**", notre encadreur et notre professeur pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre réalisation de ce projet.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation dès le début cycle d'étude jusqu'à la fin.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus distinguées à nos chers parents et familles, les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation dans les meilleures conditions.

DEDICACES

Tout d'abord je rends grâce à Allah de m'avoir donné la force et le courage de terminer ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

A la femme qui m'a enfanté, celle qui a sacrifié tout pour moi : son temps, son bonheur et sa santé. Ma mère noyau de mon esprit,

A mon père, source d'énergie pour ma réussite, Ecole de mon éducation et principe de la vie, Que dieu me les préserve,

A mon frère Abdenour,

A mes sœurs Selsabil et Oumaima,

A tous les membres de ma grande famille,

A mon binôme Selsabil,

Mes amis ceux qui sont proches tout comme ceux qui sont loin, ainsi que toutes mes connaissances,

A tous ceux qui m'aiment et qui je respect.

Pour finir, je remercie mes enseignants et tous mes camarades de la promotion 2021.

NAIM

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à la femme qui m'a Enfanté, celle qui a sacrifié tout
Pour moi : son temps, son bonheur et sa santé, ma mère noyau de mon esprit,
A mon père, source d'énergie pour ma réussite, Ecole de mon éducation et
principe de la vie, Que dieu me les préserve,

A mes frères

A ma chère sœur Amira

En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments.

En souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble.

J'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

A mon binôme Naim

A tous ceux qui m'aiment et qui je respecte.

SELSABIL

Table des matières

Remerciements	.....	i
Dédicace	.....	ii
Table des matières	.....	iv
Liste des figures	.....	vii
Liste des tableaux	.....	x
Introduction générale	.....	1

Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux optiques d'accès

1.1.	Introduction	3
1.2.	Classification géographique des réseaux	3
1.3.	Structure des réseaux optiques	4
1.3.1.	Les réseaux cœur	6
1.3.2.	Les réseaux métropolitains	6
1.3.3.	Les réseaux d'accès	7
1.4.	Les technologies du réseau PON	8
1.4.1.	La technologie active (Point à Point/P2P)	9
1.4.2.	La technologie PON (Point à Multipoint/P2M)	10
1.4.3.	Les PONs normalisés de l'ITU	11
1.5.	Architecture du réseau optique G-PON	13
1.5.1	Sens montant (de l'ONU vers l'OLT)	15
1.5.2	Sens descendant (de l'OLT vers l'ONU)	16
1.6.	L'extension du budget optique	17
1.7.	La migration du GPON vers le NG-PON	18
1.8.	Conclusion.....	19

Chapitre 2 : Présentation et principe du WDM

2.1.	Introduction	20
2.2.	Généralisés sur les techniques optiques d'accès multiples	20
2.1.1	Accès multiple par répartition de temps en optique OTDM	20
2.1.2	Accès multiple par répartition de temps en optique ETDM	22
2.1.3	Accès multiple par répartition de longueurs d'onde WDM	24
2.1.4	Accès multiple par répartition de codes optiques OCDMA.....	25
2.3.	Multiplexage en longueur d'onde WDM	25
2.3.1	Principe de la technique WDM	25
2.3.2	Différentes technologies du WDM.....	27
2.3.3	Caractéristique du D-WDM	27
2.3.4	Caractéristique du CWDM.....	30
2.4.	Multiplexeurs et démultiplexeurs optiques pour le WDM.....	30
2.4.1	Prismes	31
2.4.2	Réseaux de diffraction	31
2.4.3	Les phaseurs AWG.....	32
2.4.4	Les filtres.....	33
2.5.	Les apports du WDM.....	33
2.6.	Conclusion.....	34

Chapitre 3 : Résultats et Interprétations

3.1.	Introduction	35
3.2.	Principe de fonctionnement du réseau WDM-GPON.....	35
3.3.	Modèle du réseau WDM-GPON sous OptiSystem	36
3.3.1	Partie OLT (Optical Line Terminal).....	39
3.3.2	La fibre optique	40
3.3.3	Partie de réception	41
3.4.	Paramètres de la simulation.....	41
3.5.	Dimensionnement du réseau WDM/GPON	43
3.5.1.	Influence de la longueur de la fibre optique de transmission.....	43
3.5.2.	Influence de la longueur de la fibre optique de distribution	44
3.5.3.	Influence du débit binaire.....	46
3.5.4.	Influence du format de modulation.....	48

3.5.5. Influence de l'atténuation de la fibre optique de transmission.....	48
3.5.6. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission	50
3.6 Dimensionnement du réseau CWDM/GPON.....	52
3.6.1. Influence de la longueur de la fibre optique de transmission.....	52
3.6.2. Influence de la longueur de la fibre optique de distribution	54
3.6.3. Influence de débit binaire.....	55
3.6.4. Influence du format de modulation.....	57
3.6.5. Influence de l'atténuation de la fibre optique de transmission.....	57
3.6.6. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission	59
3.7. Etude comparative entre les réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON.....	61
3.8 Conclusion	62
Conclusion générale	64
Références Bibliographiques	66

Liste des figures

Figure 1.1 : Réseau métro, réseau cœur et réseau d'accès.	4
Figure 1.2 : Schématisation d'architecture d'un réseau optique.	5
Figure 1.3 : Terminologie du Réseau d'Accès.	5
Figure 1.4 : Diagramme schématique du réseau GPON.	6
Figure 1.5 : Architecture du réseau d'accès optique point à point.	9
Figure 1.6 : Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif.	10
Figure 1.7: Systèmes IEEE et FSAN/ITU-T PON et leur état de standardisation dans le temps. 11	
Figure 1.8: Architecture du réseau G-PON.	13
Figure 1.9: Schéma du GPON.	15
Figure 1.10 : Architecture du sens montant.	16
Figure 1.11 : Architecture du sens descendant.	16
Figure 1.12 : Implémentation de l'Extender Box une architecture GPON.	17
Figure 1.13 : Principe du GPON à longue portée intégrant un « Reach Extender».	18
Figure 2.1 : Système d'émission optique OTDM pour N utilisateur.	21
Figure 2.2 : Système de réception optique OTDM pour N utilisateur.	22
Figure 2.3 : Schéma de principe du multiplexage ETDM dans les communications optiques.	22
Figure 2.4 : Système d'émission optique ETDM pour N utilisateurs.	23
Figure 2.5 : Système de réception ETDM pour N utilisateur.	23
Figure 2.6 : Principe de la technique WDM.	24
Figure 2.7 : Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique.	25
Figure 2.8 : Architecture d'un réseau local à répartition en longueur d'onde.	26
Figure 2.9 : Répartition des sous-bandes dans le cas d'un multiplexage WDM.	26
Figure 2.10: Architecture du réseau DWDM.	28
Figure 2.11: Principe du multiplexage CWDM.	30
Figure 2.12 : Démultiplexeurs à base d'un prisme.	31
Figure 2.13 : Démultiplexeur à réseau de diffraction.	32

Figure. 2.14: Schéma d'un phraseur et sa réponse spectrale.	32
Figure 2.15 : Principe d'un multiplexeur avec une fibre à réseau de Bragg FBG.	33
Figure 3.1 : Architecture globale du réseau optique d'accès WDM/GPON.....	36
Figure 3.2 : Modèle du réseau WDM/GPON sous OptiSystem (liaison montante).	37
Figure 3.3 : Modèle du réseau WDM/GPON sous OptiSystem (liaison descendante).	37
Figure 3.4 : Modèle du réseau CWDM/GPON sous OptiSystem (liaison montante).	38
Figure 3.5 : Modèle du réseau CWDM/GPON sous OptiSystem (liaison descendante).	38
Figure 3.6 : Modèle du récepteur sous OptiSystem.	39
Figure 3.7 : Modèle de l'OLT sous OptiSystem.	39
Figure 3.8: Model de la fibre optique de transmission sous OptiSystem.	40
Figure 3.9: Modèle du récepteur sous OptiSystem.	41
Figure 3.10: Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.....	43
Figure 3.11 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de transmission.....	44
Figure 3.12 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de distribution pour le réseau WDM/GPON.	45
Figure 3.13 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de distribution.	46
Figure3.14 : Evolution du facteur de qualité en fonction du débit binaire de transmission pour le réseau WDM/GPON.	47
Figure 3.15: Diagramme de l'œil du réseau WDM-GPON pour deux valeurs de débit binaires de transmission.	47
Figure 3.16 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON utilisant deux types de format de modulation (NRZ et RZ).....	48
Figure3.17: Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.....	49
Figure 3.18 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission.....	50
Figure 3.19 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.	51
Figure 3.20 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la dispersion chromatique de fibre optique de transmission.	52
Figure 3.21 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour le réseau CWDM/GPON.	53

Figure 3.22 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de transmission.....	53
Figure 3.23 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de distribution pour le réseau CWDM/GPON.....	54
Figure 3.24 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de distribution.	55
Figure 3.25 : Evolution du facteur de qualité en fonction du débit binaire de transmission pour le réseau CWDM/GPON.	56
Figure 3.26 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de débit binaire de transmission.	56
Figure 3.27 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON utilisant deux formats de modulation (NRZ et RZ).....	57
Figure 3.28 : Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de distribution pour le réseau CWDM/GPON.....	58
Figure 3.29 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission.	59
Figure 3.30 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission pour le réseau CWDM/GPON.....	60
Figure 3.31 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Comparaison des standards PON finalisés par FSAN/ITU-T.	12
Tableau 1.2: Comparaison de débit entre les trois standards de PON.....	14
Tableau 2.1 : La grille du technique DWDM.	29
Tableau 3.1 : Paramètres de simulation pour les réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON. ...	42
Tableau 3.2 : Les valeurs optimales des différents paramètres des réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON	62

Introduction Générale

Récemment, le développement des moyens de télécommunication est devenu un souci majeur pour l'homme. En effet, depuis la mise au point du télégraphe par Samuel Morse et l'invention de téléphone par Alexander Graham Bell, le mode des télécommunications a connu d'importantes évolution. Le transport de l'information par la lumière qui se propageant très vite dans une fibre optique a conduit à l'émergence des systèmes de transmission par fibre optique. En effet, les avantages de la fibre optique en tant que support de transmission (grande bande passante, faibles pertes de propagation, immunité aux ondes électromagnétiques...etc.) justifient l'important développement des réseaux optique notamment la connexion des particuliers via la technologie FTTH (Fibre To The Home). Au cours des 15 à 20 années à venir, les réseaux d'accès en cuivre à travers le monde seront donc en grande partie remplacés par un réseau d'accès optique.

Le réseau optique d'accès PON (Passive Optical Network) est défini comme étant le segment réseau entre le premier équipement d'agrégation de l'opérateur d'accès et l'utilisateur. Dans ce contexte, les possibilités d'évolution de l'architecture du réseau sont pour l'instant limitées par les performances du réseau GPON (Gigabit Passive Optical Network) qui est basé sur la technique de multiplexage temporel TDM-PON (Time Division Multiplexing PON). Les utilisateurs connectés à ce réseau PON, qu'ils soient 16, 32 ou 64, partagent un débit de 1,25 Gbits/s et 2,5 Gbits/s en voie montante (de l'abonné vers le central optique) et descendante (du central vers l'abonné) respectivement, par la répartition en temps. Ce standard GPON est défini par la norme G.984 de l'Union Internationale de Télécommunications ITU et du forum FSAN (Full Service Access Network). Notre projet de fin d'étude de master s'inscrit dans ce contexte, en jouent sur la technique de multiplexage nous pouvons améliorer les performances des réseaux optique d'accès GPON. Le but est d'étudier un réseau optique passif GPON, en particulier la planification et le dimensionnement d'un réseau d'accès optique WDM-GPON.

Le manuscrit est structuré en trois chapitres :

Dans le *premier chapitre*, nous présentons quelques généralisé sur les réseaux optiques d'accès. Dans un premier temps, nous présentons les différentes classes géographiques des réseaux optiques. Ensuite, nous présentons la structure générale des réseaux optiques d'accès. Enfin, nous décrivons les technologies du réseau PON et l'architecture du GPON.

Dans le *deuxième chapitre*, nous présentons le principe de fonctionnement de la technique d'accès multiple par répartition de longueur d'onde WDM. Pour cela, nous présentons tout d'abord l'architecture de différentes techniques d'accès multiples en communications optiques. Ensuite, nous présentons le principe de la technique WDM et ses différentes architectures. Enfin, nous présentons les différents dispositifs optoélectroniques utilisés pour réaliser le multiplexage et démultiplexage dans la technique WDM ainsi que les apports du WDM.

Dans le *troisième chapitre*, nous présentons les résultats de la simulation obtenues pour le dimensionnement du réseau optique d'accès WDM/GPON. Dans un premier temps, nous présentons le principe de fonctionnement du réseau WDM/GPON et son modèle sous OptiSystem. Ensuite, nous présentons les différents résultats obtenus pour le dimensionnement du réseau GPON utilisant deux techniques de multiplexage (WDM et CWDM). Ce dimensionnement concerne le débit binaire, la longueur des fibres optiques de transmission et de distribution ainsi que l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission. Enfin, nous présentons une étude comparative entre le dimensionnement des deux réseaux optiques d'accès WDM/GPON et CWDM/GPON.

Enfin, nous finalisons notre mémoire avec une *conclusion générale* et *références bibliographiques*.

Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux optiques d'accès

1.1. Introduction

Les réseaux PON sont des réseaux d'accès optique qui s'étendent d'un bureau central d'opérateur à des maisons individuelles, des immeubles d'habitation et des bureaux d'affaires. Les PON sont généralement caractérisés par l'absence de composants actifs, à l'exception des sites où l'OLT (terminaison de ligne optique) et l'ONU / ONT (unité de réseau optique / terminaison de réseau optique) sont placés. Cependant, un PON peut également inclure un RE (Reach Extender), qui contient des composants actifs, lorsqu'une longue distance entre l'OLT et l'ONU est requise. Les PON sont généralement basés sur des topologies de réseau arborescent qui utilisent des répartiteurs optiques passifs.

Ce chapitre introduit les réseaux optiques, en particulier les réseaux optiques passifs, ses éléments constitutifs, son principe de fonctionnement. Nous décrivons aussi les deux architectes principaux de réseau FTTH : point à point, point à multipoints passif, et les différents types de réseaux PON. Nous présenterons également les différents types des réseaux optiques passifs (GPON et EPON).

1.2. Classification géographique des réseaux

Dans le cadre du déploiement de la fibre pour le transport des données, de la voix et de la vidéo, on distingue trois catégories de réseau comme nous le montre la Figure 1.1. Le réseau métropolitain désigne un réseau à l'échelle d'une ville. Le réseau cœur, quant à lui, est constitué d'un certain nombre de commutateurs et de liaisons entre ces commutateurs. Les terminaux des utilisateurs sont reliés au réseau cœur par des réseaux d'accès. Le réseau d'accès est donc défini comme étant le dernier segment de l'opérateur d'accès avant d'atteindre l'abonné.

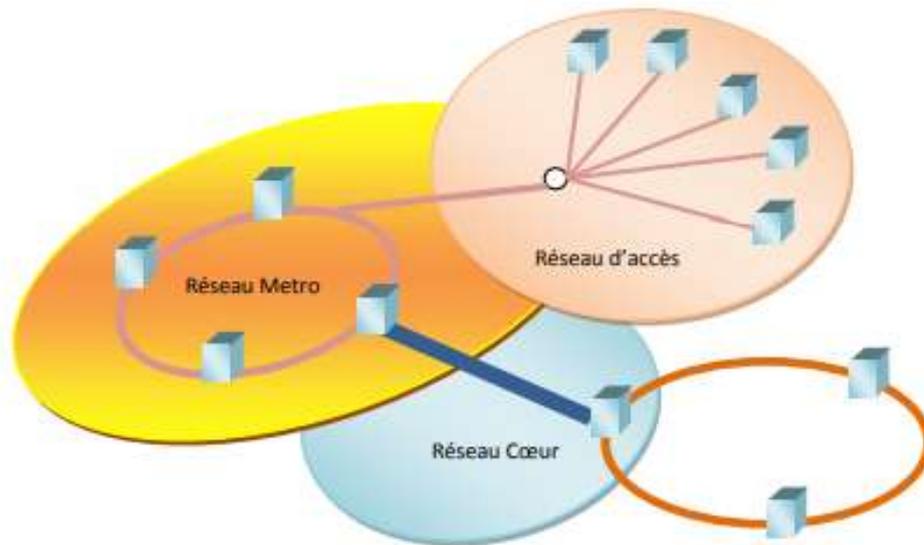


Figure 1.1 : Réseau métro, réseau cœur et réseau d'accès.

Les bénéfices potentiels de la technologie fibre pour le réseau d'accès optique sont nombreux. A titre d'exemple, en utilisant la paire de cuivre, un débit maximum de 200 Mbit/s peut être théoriquement atteint pour une portée de 200 m, 100 Mbit/s jusqu'à 450 m, alors que pour la fibre, sur une distance de 60 km, un débit de 10 Gbit/s peut être transmis simplement, sans difficultés. Un autre inconvénient de la paire de cuivre est que cette technologie ne permet pas un trafic symétrique [1].

1.3. Structure des réseaux optiques

On distingue trois types de réseaux, suivant leurs tailles et leurs débits de transfert, au fait tous les réseaux sont des assemblages des réseaux locaux comme montre la figure 1.2 :

- ✓ *Le réseau cœur : s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres.*
- ✓ *Le réseau MAN : ayant des dimensions de l'ordre de la centaine de kilomètres.*
- ✓ *Le réseau LAN : encore appelés réseaux de distribution ou réseaux d'accès dont la couverture est des dimensions de l'ordre de quelques kilomètres à quelques dizaines [2].*

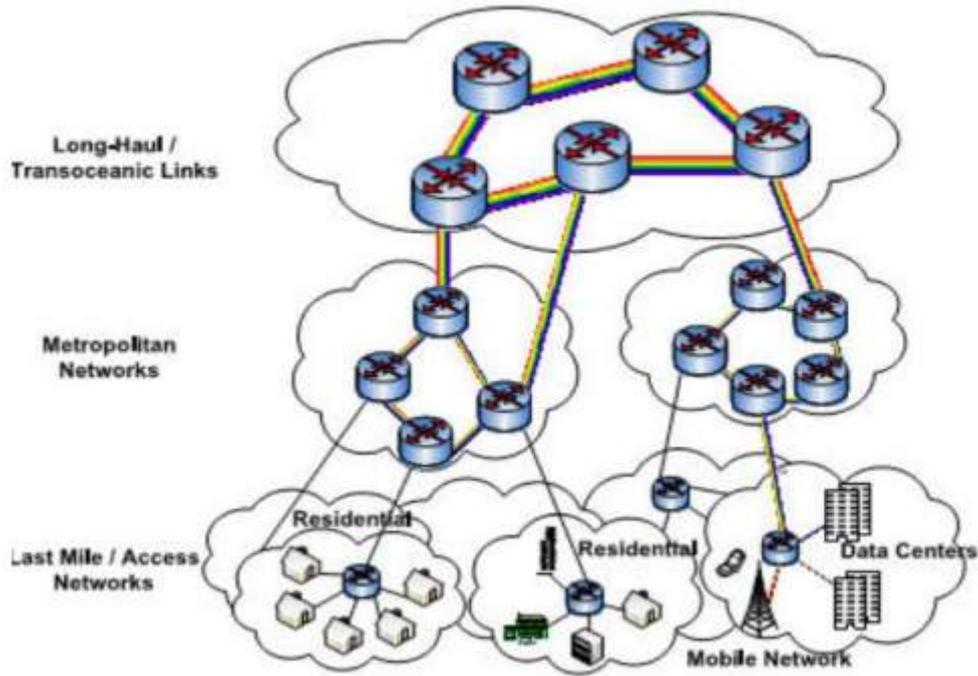


Figure 1.2 : Schématisation d'architecture d'un réseau optique.

Comme montre dans la figure 1.3, nous distinguons trois parties dans l'architecture du réseau d'accès : le central, le point d'éclatement, le client.

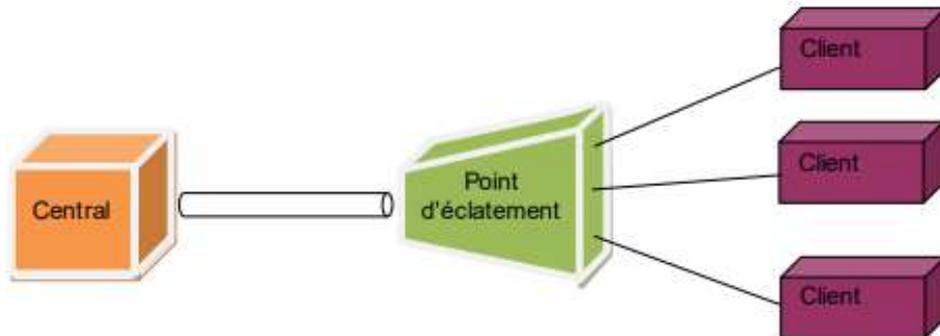


Figure 1.3 : Terminologie du Réseau d'Accès.

Dans les réseaux d'accès optique, le Central Optique (ou Central Office) contient l'OLT (Optical Line Termination) qui est l'équipement d'émission réception de l'opérateur. Le point d'éclatement contient parfois, dans le cas de l'optique partagée, un coupleur en ce qui concerne les PON actuels ou un élément de multiplexage optique pour les réseaux WDM. La partie "client" est généralement appelée ONU (Optical Network Unit), si elle est partagée

entre plusieurs clients et suivie d'une transmission secondaire (cas des FTT Cab/Curb/Building) ou ONT (Optical Network Termination) si elle est mono client FTTH. C'est la partie réceptrice des signaux descendants et émettrice des signaux montants. La figure 1.4 illustre le principe du réseau d'accès dans le cas où l'élément de répartition est un coupleur passif.

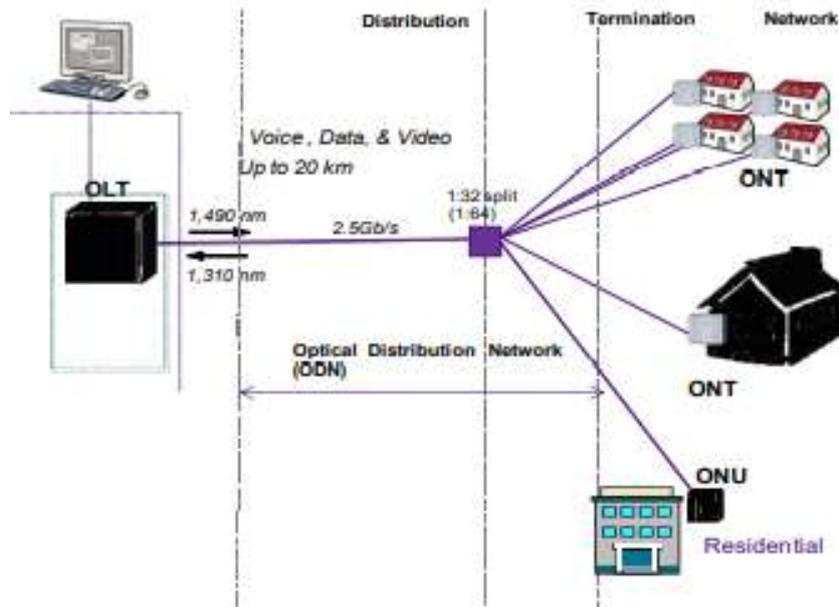


Figure 1.4 : Diagramme schématique du réseau GPON.

La partie entre l'OLT et l'ONU est appelée ODN (pour Optical Distribution Network) ou réseau de distribution. Il s'agit de l'infrastructure passive du réseau. En effet les composants actifs sont situés aux deux extrémités, à l'ONU et à l'OLT [1].

1.3.1. Les réseaux cœur

Les réseaux cœur ou les réseaux WAN sont généralement des réseaux dotés d'une structure maillée ou en anneaux où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexions varient entre la centaine de kilomètres et plus de mille kilomètres, couvrant ainsi des zones géographiques à l'échelle des continents [3].

1.3.2. Les réseaux métropolitains

Appelé réseau intermédiaire, en ce moment le réseau métropolitain connaît un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau

longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), Il possède un environnement souvent très complexe et divers. Généralement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès. Les réseaux métropolitains structurants sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150km de circonférence avec six à huit nœuds.

En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotée de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants. Suivant les réseaux ou les pays, ces chiffres peuvent varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les zones très peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront inférieures, et les Etats-Unis où les applications métropolitaines s'apparentent à de véritables réseaux régionaux [2].

1.3.3. Les réseaux d'accès

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Les réseaux d'accès représentent la partie du réseau qui relie le fournisseur de service (CO : Centre Office) à l'abonné. C'est l'interface entre l'abonné et le réseau métropolitain qui se charge de collecter le flux total d'informations provenant des abonnés puis de son transfert vers le réseau métropolitain via les (CO). Dans ce cas, on parle de transmission en « sens montant ». Dans le « sens descendant », les réseaux d'accès allouent des sous-porteuses pour fournir la voix, des données, la vidéo et d'autres services aux différents abonnés. Compte tenu de la dimension géographique limitée des réseaux d'accès, l'enjeu actuel est basé sur l'usage de nouvelles technologies, d'architectures et infrastructures d'accès permettant d'apporter de connections hauts débits aux abonnés avec un déploiement rentable, bas coût [4]. On parle alors de réseau d'accès fibre.

La faible longueur du lien du réseau d'accès fibre (10-20 km typiquement) ne nécessite pas l'utilisation d'équipements optiques actifs entre l'émetteur et le récepteur, dans la majorité des cas. Il est alors possible de déployer le réseau d'accès fibre sous la forme d'un réseau passif de fibres optiques, connu sous le nom de PON, qui a l'avantage de réduire les coûts d'équipement [5].

Afin de permettre une bonne compréhension du réseau d'accès, nous parlerons dans la section suivante, des technologies d'accès et l'architecture PON, cœur de notre étude ainsi que des techniques de multiplexage.

1.4. Les technologies du réseau PON

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur éléments essentiels suivant :

- *OLT (Optical Link Terminal) : élément actif au niveau du central [6].*
- *ONT (Optical Network Terminal) : interlocuteur direct de l'OLT, placé au niveau de chaque logement [6].*
- *Coupleur optique (splitter) : On appelle coupleur le composant qui est intégré dans la ligne, assure la fonction diviseur ou concentrateur de la transmission. C'est un équipement passif qui nécessite aucune alimentation électrique, son fonctionnement est basé sur la seule propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre. Dans le sens montant le coupleur permet de combiner par addition les signaux optiques, dans le sens inverse (sens descendant) il divise le signal optique qui vient de l'OLT [7].*
- *ONU (Optical Network Unit) : c'est un équipement de type ONT, mais partagé entre plusieurs utilisateurs, et utilisé dans le cas où la fibre ne pénètre pas jusqu'au l'abonné (cas des FTT Cab/Curb/Building). La transmission entre l'ONU et les abonnés est réalisée sur les paires de cuivre comme la technologie xDSL [7].*

Les deux architectures couramment utilisées pour le déploiement FTTH sont :

- ✓ L'architecture active, aussi appelée Point -to-Point (P2P)
- ✓ L'architecture passive est appelée communément PON (Passive Optical Network) ou P2M (Point To Multipoint).

Dans ce chapitre, nous décrivons trois principales catégories d'architecture du réseau d'accès optique : point à point, point à multipoint actif, le choix de l'architecture active ou passive pour le déploiement dépend : du type de services devant être fournis, du coût de l'infrastructure, de l'infrastructure actuelle et des plans futurs de migration vers les nouvelles technologies. Aussi, nous discutons brièvement des avantages et des inconvénients de chaque type d'architecture.

1.4.1. La technologie active (Point à Point/P2P)

Cette architecture est schématisée dans la figure 1.5. Dans le réseau d'accès optique utilisant l'architecture point à point, chaque abonné est dédié à une fibre optique provenant du central. Nous appelons aussi l'architecture de type "*HOME RUN*". N fibres optiques relient l'OLT au central avec N ONU situées chez les abonnés. Le point de répartition RN est simplement un point de raccordement fibre-à-fibre entre le tronçon de transport les tronçons de distribution. Le premier avantage de l'architecture point à point est la possibilité de monter le débit par utilisateur car il n'y a pas de partage de ressource matérielle en termes de la fibre optique et de l'émetteur-récepteur optique à l'OLT.

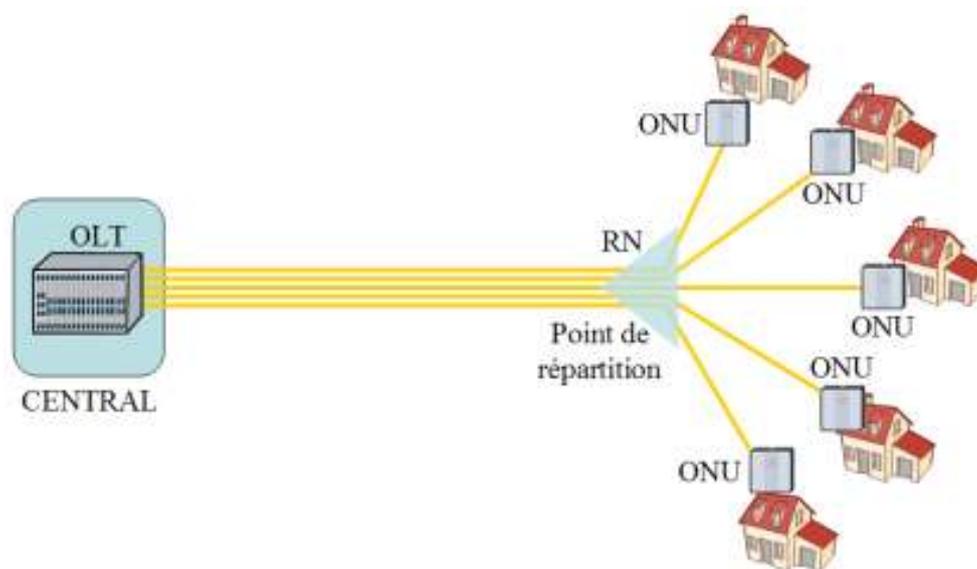


Figure 1.5 : Architecture du réseau d'accès optique point à point.

Comme il n'y a pas de partage de ressource matérielle, elle peut éviter la complexité liée aux techniques de multiplexage (en temps ou longueur d'onde,...). La portée peut être augmentée grâce à l'absence de composants optiques atténuants dans le réseau. Aussi, la sécurité des données d'utilisateur est bien garantie parce que la communication entre chaque abonné avec l'OLT est indépendante d'un utilisateur à un autre. En plus, le fait que chaque abonné est connecté sur une interface optique à l'OLT permet de bien optimiser le remplissage des équipements et de faciliter la gestion du réseau.

En revanche, le fait que la ressource matérielle n'est pas partagée impose des inconvénients : cette architecture demande un très grand nombre de fibres optiques et aussi un très grand

nombre d'émetteurs-récepteurs optiques à l'OLT parce que cela doit être égale au nombre d'abonnés. Donc, le coût des équipements (infrastructure à fibre optique, émetteurs-récepteurs optiques à l'OLT) est très important. Le grand nombre de câbles à fibre optique à déployer augmente le coût de génie-civile. Aussi, le nombre important des interfaces émetteur-récepteur optiques à l'OLT impose aussi le problème d'encombrement et de consommation d'électrique. En termes de performances (débit, portée), l'architecture point à point est considérée comme la meilleure solution. Mais le coût très élevé est un problème majeur pour cette architecture. Donc, elle pourrait être utilisée comme une solution pour délivrer un débit de l'ordre des Gigabits (ou beaucoup plus) par abonnée quand le coût des équipements sont optimisés [8].

1.4.2. La technologie PON (Point à Multipoint/P2M)

Dans cette architecture, la fibre optique entre le point de répartition RN et l'OLT est mutualisée entre plusieurs abonnés. Comme nous pouvons voir dans la figure 1.6, l'agrégation des trafics provenant de plusieurs abonnés est réalisée à l'aide d'un équipement Ethernet actif situé au RN. C'est pour cette raison que nous appelons l'architecture point à multipoint active.

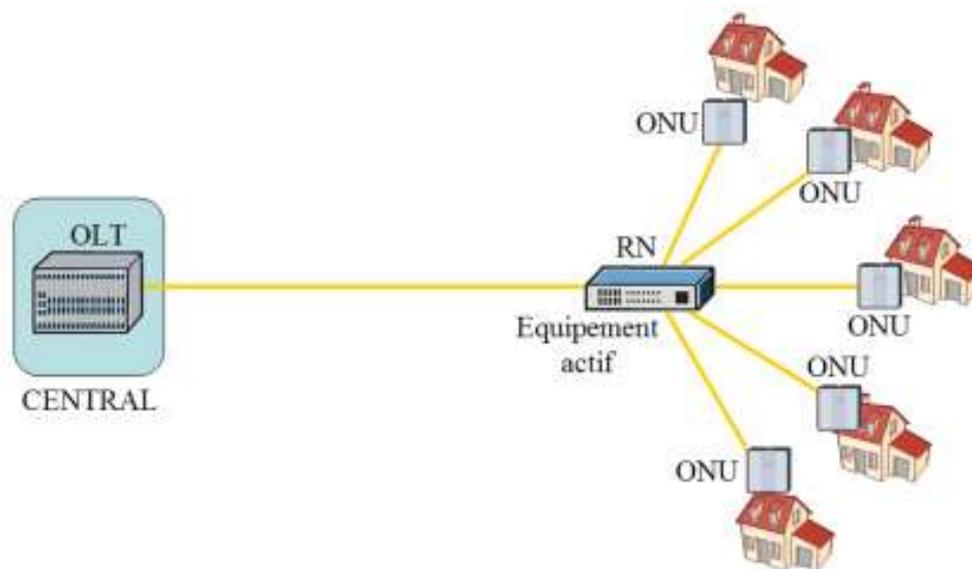


Figure 1.6 : Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif.

L'avantage principal de cette architecture est la grande maturité de la technologie Ethernet. Les interfaces Ethernet sont déjà standardisées, donc il y a un grand choix des équipements. L'interopérabilité entre différents constructeurs est aussi assurée. Comme la transmission est

basée sur les liens point-à-point, la bande-passante disponible et la portée peuvent être augmentées. Comme c'est une architecture active, l'inconvénient majeur est la grande complexité d'opération (alimentation électrique, protection, installation, maintenance, configuration,) et le coût important des équipements actifs dans le réseau. Pour monter en débit, l'utilisation des interfaces Ethernet à haute vitesse (Giga Ethernet, 10 Giga Ethernet) est onéreuse. Contrairement au réseau d'accès ayant une infrastructure de fibre optique toute passive, l'amélioration du débit de ce type de réseau passe par le remplacement des équipements Ethernet actifs utilisés au RN. Pour toutes ces raisons, l'utilisation de l'Ethernet actif dans le réseau d'accès optique est considérée aujourd'hui comme une solution moins attractive comparativement à des solutions basées sur une infrastructure de fibre optique entièrement passive [8].

1.4.3. Les PONs normalisés de l'ITU

A l'heure actuelle les PONs déployés sont basés soit sur le standard G-PON, appuyé par l'instance de normalisation l'ITU-T et FSAN (International Telecommunication Union en collaboration avec le Full Service Access Network association) soit sur les normes EPON, appuyé par le groupe d'Ethernet IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Sur la figure 1.7 on peut constater le calendrier de standardisation des normes IEEE et FSAN/ITU-T.

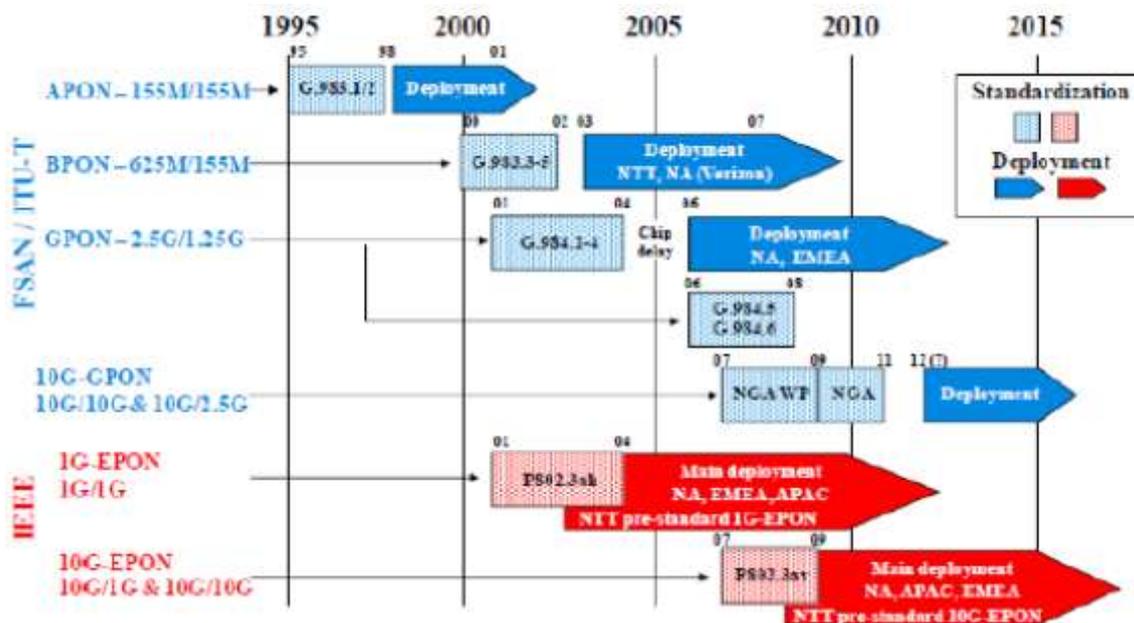


Figure 1.7: Systèmes IEEE et FSAN/ITU-T PON et leur état de standardisation dans le temps.

La principale différence entre les deux protocoles concerne l'approche architecturale. Le GPON fournit l'ATM pour la voix, l'Ethernet pour les données et une encapsulation propriétaire pour d'autres services. L'EPON utilise l'IP pour transporter les données, la voix et la vidéo. Parmi les normes portant sur les technologies PONs définies à l'ITU-T, les principales sont la série ITU-T G.983, ITU-T G.984 et ITU-T G.987 qui définissent le BPON, le G-PON et le XG-PON respectivement. Les caractéristiques de ces normes sont représentées dans le Tableau.1.1.

	B-PON	G-PON	NG-PON1(XG-PON)
Standard	ITU-T G.983	IUT-T G.984	ITU-T G.987
Débit des données (Gbits/s)	Descendant : 1,244/0,622/0,155 Montant : 0,622/0,155	Descendant : 2,488/2,244 Montant : 1,244/0,622/0,155	Descendant : 10 Montant : 2,5(XG-PON1) / 10 (XG-PON2)
Mode de trafic	ATM	GEM (ATM, Ethernet, TDM ,)	XGEM
Nombre de clients	64 max	128 max	Minimum 64 demandé XG-PON1
Distance 'logique'	20 km	60 km max, 20 km différentiel	Minimum 20 km demandé XG-PON1
Longueur d'onde	Descendant : 1490 nm Vidéo overlay 1550 nm Montant : 1310 nm	Descendant : 1490 nm Vidéo overlay 1550 nm Montant : 1310 nm	Descendant : 1575-1580 nm Vidéo overlay 1550 nm Montant : 1260-1280 nm
Budget optique	15/20/25 dB	15/20/25/28 dB	29-31 dB demandé (XG-PON1)

Tableau 1.1 : Comparaison des standards PON finalisés par FSAN/ITU-T.

Notons que la différence concerne principalement le débit et le nombre de clients desservis par chaque standard. Les longueurs d'onde montantes et descendantes sont différentes pour le

G-PON et le XG-PON. Le XG-PON (ou 10 Gigabit PON) est quasi-finalisé en normalisation à l'ITU depuis fin 2010. Ce standard propose un débit 10 Gbit/s descendant et 2,5 Gbit/s montant. Dans une prochaine étape ce débit pourrait être symétrisé à 10 Gbit/s. Cette solution est uniquement incrémentale en débit par rapport au G-PON avec tout de même un changement sur le plan d'allocation en longueur d'onde autorisant la superposition des deux générations (G-PON et XG-PON). Dans les paragraphes qui suivent nous présenterons plus en détails l'architecture G-PON et son évolution ainsi que ses successeurs à l'ITU-T, à savoir une première génération d'architecture appelée NG-PON1 compatible avec le G-PON installé aujourd'hui, et une deuxième génération NG-PON2 qui est aussi considérée pour le long terme [9].

1.5. Architecture du réseau optique G-PON

La technique de ce réseau est basée sur le multiplexage temporel. Une longueur d'onde est utilisée pour le sens montant et une autre pour le sens descendant. GPON se différencie de BPON par sa capacité à transporter des paquets et des trames Ethernet de longueurs variables. Le GPON offre un débit de 1.2-2.4 Gbit/s (débit asymétrique). De plus, GPON permet une plus grande distance de déploiement, jusqu'à 60 km, avec 20 km maximum entre les ONT. Enfin, le GPON permet jusqu'à 64 lignes sortantes d'un coupleur optique (splitter).

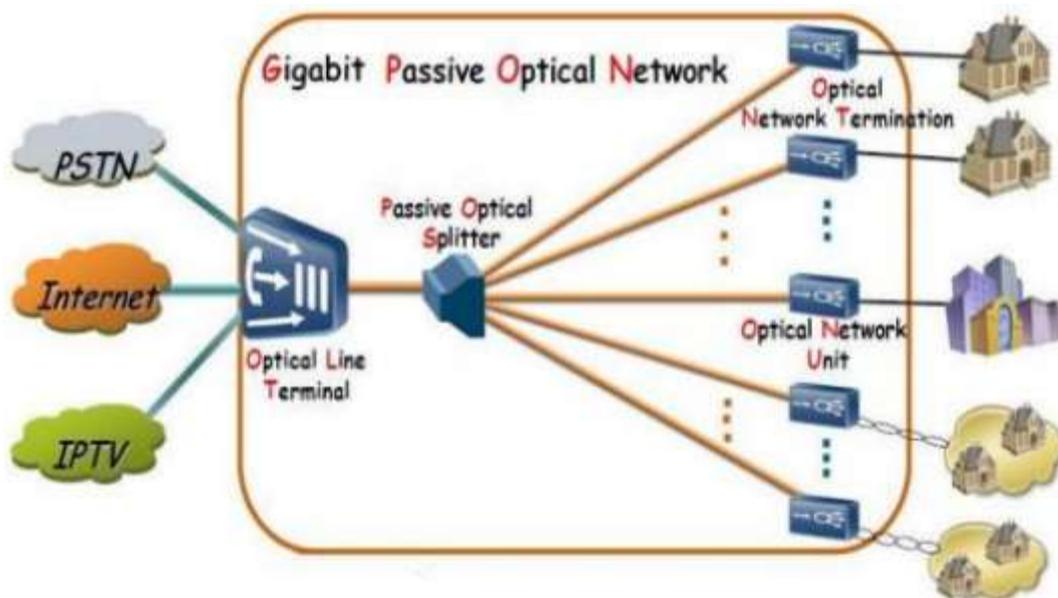


Figure 1.8: Architecture du réseau G-PON.

❖ **Avantages du G-PON :**

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

❖ **Inconvénients du G-PON :**

Même si le G-PON est une architecture sollicitée mais nous rencontrons parfois quelque compromis tels que :

- *Le débit étant partagé, il est donc limité ;*
- *La synchronisation est complexe pour le sens montant ;*
- *La sécurité des données en réception n'est pas optimale car l'ensemble des utilisateurs reçoit l'ensemble du flux émis par le central. Cependant la confidentialité est assurée par un processus de cryptage (G983/G984). Il reste la sécurité du réseau qui peut être mise à mal par injection malveillante de signal perturbateur d'un ONT. ;*
- *L'ONU doit fonctionner au débit agrégé (2,5 Gbit/s par exemple), qui est très supérieur au débit utile [10].*

Le tableau suivant illustre une comparaison de débit entre B-PON, E-PON et G-PON :

	B-PON	E-PON	G-PON
Taux des données au sens montant	600 Mbits/s	1 Gbits/s	2.4 Gbits/s
Taux des données au sens descendant	150 Mbits/s	1 Gbits/s	1.2 Gbits/s
Format de transmission	Ethernet	ATM	ATM+TDM+Ethernet

Tableau 1.2: Comparaison de débit entre les trois standards de PON.

Le multiplexage temporel alloue des paquets dans une trame temporelle pour chaque client. La synchronisation est quant à elle effectuée en permanence. La distance de fonctionnement de 20 km est fixée entre le central et le client le plus éloigné. Cette distance correspond à une portée typique avec un taux de partage 1 : 64. Mais si on raisonne en termes de portée logique, cette distance serait de 60 km avec un taux de partage de 1 : 16.

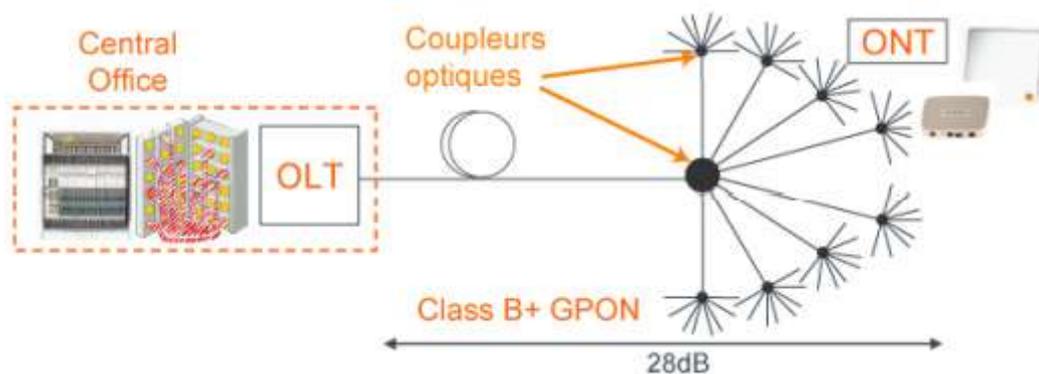


Figure 1.9: Schéma du GPON.

1.5.1 Sens montant (de l'ONU vers l'OLT)

Pour le sens montant, la transmission des données est assurée via un multiplexage temporel au niveau d'un coupleur passif, et les ONU émettant tous dans la même longueur d'onde ($1,31\mu\text{m}$) avec des débits moins importants et des équipements moins coûteux (Laser Fabry Pérot). Si les signaux émis par deux ONU parvenaient simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT [7].

Ce dernier attribue à tour de rôle à chaque ONU un intervalle de temps (quelques microsecondes) pendant lequel cet ONU est seul autorisé à émettre pour éviter les collisions de ces secteurs, comme il permet de récupérer et de synchroniser rapidement l'horloge avec les données venant d'utilisateurs situés à des distances différentes [11].

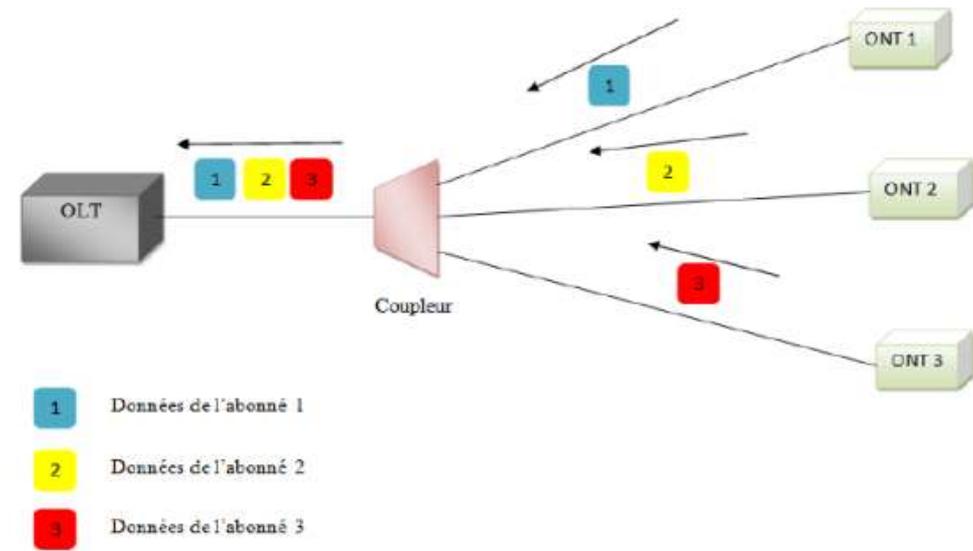


Figure 1.10 : Architecture du sens montant.

1.5.2 Sens descendant (de l'OLT vers l'ONU)

Sens descendant : Pour le sens descendant, on utilise une longueur d'onde porteuse de 1,49 ou 1,55µm pour transmettre toutes les données aux différents utilisateurs. Le choix de cette longueur d'onde est dû au fait qu'elle permet un plus grand débit et un budget en puissance plus efficace. Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONU reçoivent toutes les données mais seul l'ONU concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné. Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données [11].

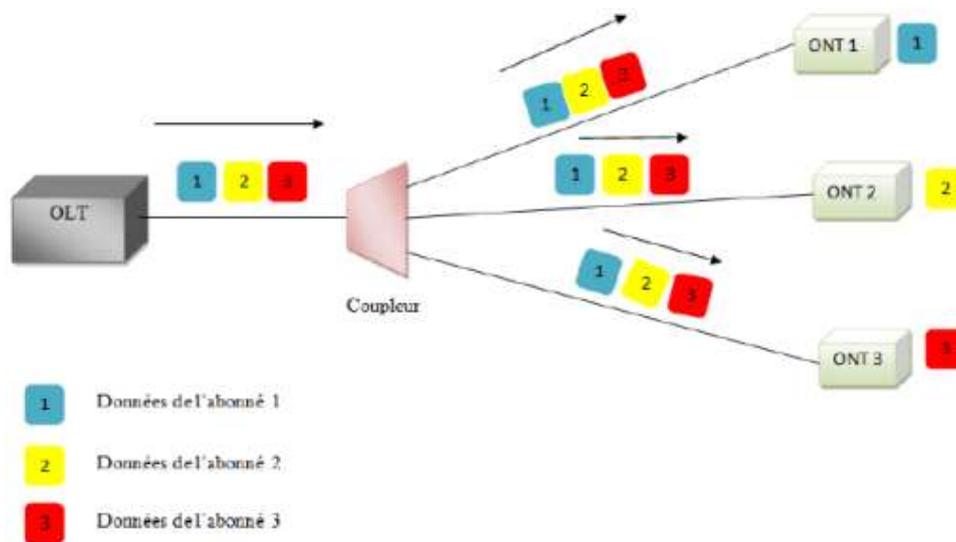


Figure 1.11 : Architecture du sens descendant.

1.6. L'extension du budget optique

Le FTTH grâce à son déploiement devient une technologie mature : les premières technologies développées proposaient des liaisons point à point, ensuite des technologies plus avancées de point à multipoint PON ont été déployées en Asie et aux USA et actuellement en France avec le GPON. Le GPON est disponible suivant plusieurs classes de budget optique et parmi elles, la classe B+ définie pour un budget de 13dB à 28dB. Elle utilise un multiplexage temporel (TDM) pour partager un OLT (Optical Line Termination) pour 32 ou 64 utilisateurs équipés d'un ONT (Optical Network Terminal), sur une distance typique de 20km (pouvant atteindre 60 km) entre le central et le plus éloigné des clients. Dans un futur proche, pour fournir un accès FTTH à tout type de client, il est nécessaire de développer une solution économique adaptée à tout type de démographie. Autrement dit, pour couvrir une zone plus large et/ou un plus grand nombre de client, un système PON étendu est nécessaire. Des études sont menées activement concernant l'extension de portée du PON. Le principe du PON étendu est d'insérer un élément transparent au système, appelé "Extender Box" ou "EB" afin d'augmenter le budget optique ou la portée du réseau.

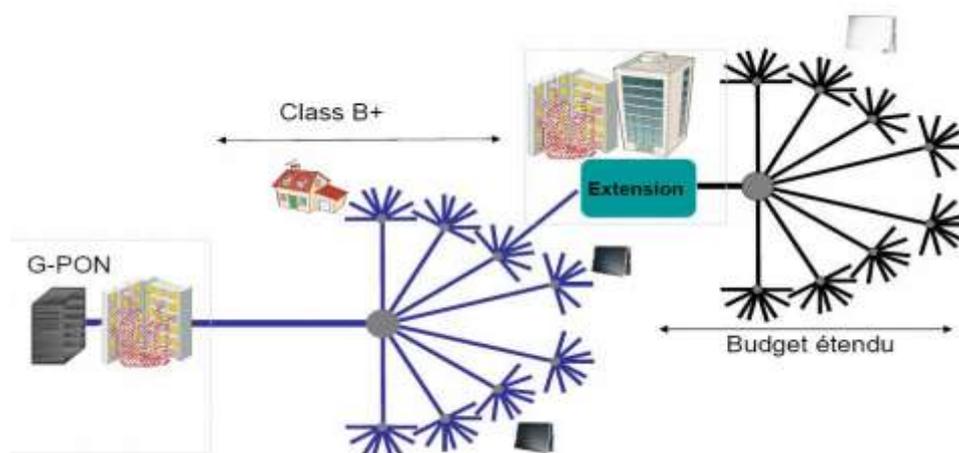


Figure 1.12 : Implémentation de l'Extender Box une architecture GPON

L'Extender Box (EB) doit être compatible avec par exemple un GPON de Classe B+. Elle sera insérée entre l'OLT et les ONT et devra être transparente aux protocoles et à la phase de ranging inhérents au GPON. On peut envisager plusieurs emplacements pour l'EB dans l'architecture G-PON. Du fait de la propriété active de ce boîtier, il serait préférable de le placer dans un local Telecom existant. Il serait par exemple naturel de le localiser dans un

central DSL, ou un local d'infrastructure (sous répartiteur, ...). L'EB sera connectée à une infrastructure de fibre. La propriété "passive" du PON est alors violée par l'EB. On doit alors reconsidérer la propriété passive du PON comme une indépendance à une gestion réseau (couche 2, couche 3 du modèle OSI) des équipements entre le CO et les ONT [12].

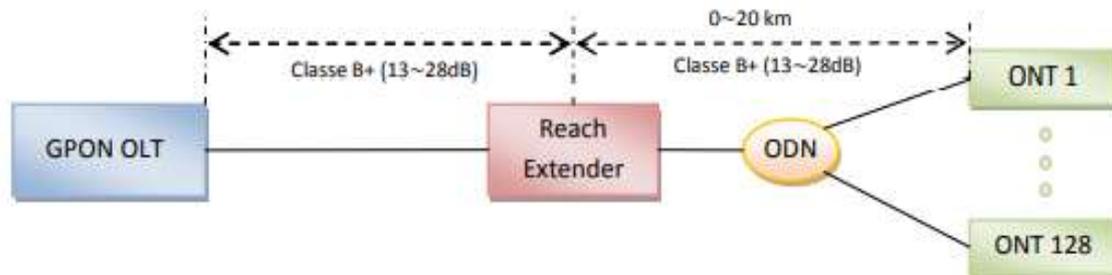


Figure 1.13 : Principe du GPON à longue portée intégrant un « Reach Extender».

1.7. La migration du GPON vers le NG-PON

Les futures générations de réseau d'accès optique au-delà du GPON sont en cours de normalisation ou discutées en pré-normalisation. Groupe de travail informel piloté par des opérateurs et fort de 76 compagnies membres, le FSAN (pour Full Service Access Network) travaille comme un groupe de pré-normalisation dont les travaux sont par la suite disséminés dans différents organismes de normalisation dont le principal est l'ITU-T. Dans ses travaux préparatoires à la succession du GPON, les opérateurs du FSAN ont distingué deux cadres de technologie ainsi qu'un échéancier, priorisant un élément certain, à savoir que dans l'avenir le remplacement du GPON (GEPON pour les partenaires asiatiques) sera inéluctable, et ont fixé un calendrier préliminaire pour indiquer leurs objectifs temporels pour la finalisation des standards et la disponibilité des systèmes. Une première étape dite "NGPON1" intègre les solutions permettant une montée en débit jusqu'à 10Gbit/s et qui nécessitent une compatibilité avec une infrastructure classe B+ existante. Nous distinguons le XGPON1 du XGPON2 qui offre respectivement un débit asymétrique et symétrique sur technologie 10GPON. En option, la possibilité d'une coexistence (overlay WDM) avec un système GPON en service est également discutée.

Une seconde étape dite "NGPON2" permettra de poursuivre la montée en débit mais cette fois l'opérateur s'autorise des reprises majeures de son infrastructure. Par exemple, des techniques de multiplexage variées apparaissent : un multiplexage dense en longueurs d'onde

avec un partage de la fibre par des AWG (Arrayed Waveguide Grating) et non plus de simples coupleurs optiques, ou bien une technique hybride mixant WDM et TDM sur une même infrastructure ou encore l'utilisation de formats de modulation avancés associés à un multiplexage fréquentiel du type OFDM [12].

1.8. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu sur la structure globale des réseaux optiques, avec un intérêt particulier pour le réseau optique passif et son évolution. Nous avons commencé ce chapitre par l'étude des différentes classes géographiques des réseaux puis la structure des réseaux optiques. Cela a permis de comprendre l'architecture des réseaux cœur, métropolitains et d'accès. Nous avons par la suite étudié les technologies du réseau PON. La technologie active (Point à Point) est limitée, de ce fait, afin d'améliorer ces performances, nous avons étudié la technologie PON (Point à Multipoint). L'architecture du réseau optique G-PON est très attrayante, elle est composée de deux sens (sens montant (de l'ONU vers l'OLT) et sens descendant (de l'OLT vers l'ONU)). Le réseau optique passif est un type de réseau d'accès point à multipoint qui dépend de la technique de multiplexage. Ces techniques de multiplexage seront présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Présentation et principe du WDM

2.1. Introduction

La technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) est une méthode de transmission apparue dans les années 90, est née de l'idée d'injecter simultanément dans la même fibre optique plusieurs signaux numériques à la même vitesse de modulation, mais à des longueurs d'ondes distinctes, ce qui correspond plus simplement à un multiplexage de ces longueurs d'ondes. Le WDM est une technique des transmissions optique se recourant principalement aux besoins de l'internet (avec son flot d'images, de sons et de vidéos), répondant ainsi au nombre croissant sans cesse de ses utilisateurs. Avant l'apparition de cette technique, toute nouvelle demande d'augmentation du débit se traduisait par l'ajout de fibres optiques dont chacune propageait un signal. Le coût élevé de telle opération ne permet ni d'être compétitif ni d'étendre le marché vers le public. Cette technique permet de multiplexer (mélanger) plusieurs signaux de différentes longueurs d'onde, dans une même fibre. Le gain est par conséquent proportionnel au nombre de canaux que la fibre permet de véhiculer.

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord les techniques d'accès multiples utilisés dans les systèmes de communications optiques. Ensuite, nous abordons l'étude de la technique d'accès multiple par répartition de longueurs d'onde WDM. Il est aussi important de comprendre les caractéristiques des différents types de technologies.

2.2. Généralisés sur les techniques optiques d'accès multiples

2.1.1 Accès multiple par répartition de temps en optique OTDM

Le multiplexage temporel OTDM (Optical Time Division Multiplexing) peut être réalisé de manière optique. L'émetteur possède N sources optique en parallèle modulés au débit D bits/s. Ensuite, les signaux optiques sont codés en RZ (pour que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique). Le multiplexage optique temporel fournit une technique d'accès utilisable dans les réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs : chacun d'eux dispos d'une tranche temporelle pour émettre. Les différents signaux sont *assemblés* pour être transmis sur une porteuse optique unique.

La technique OTDM consisté à multiplexer en temps des trains d'impulsion optique de manière purement optique. Le système OTDM consiste d'une source laser qui émet des impulsions optiques de durée T_c . Ces impulsions sont applique à l'entrée d'un modulateur optique, commandé par un signal électrique de durée T_b qui représente les données à transmettre d'un utilisateur. Le débit des données D est tel que : $D = 1/T_b \ll 1/T_c$.

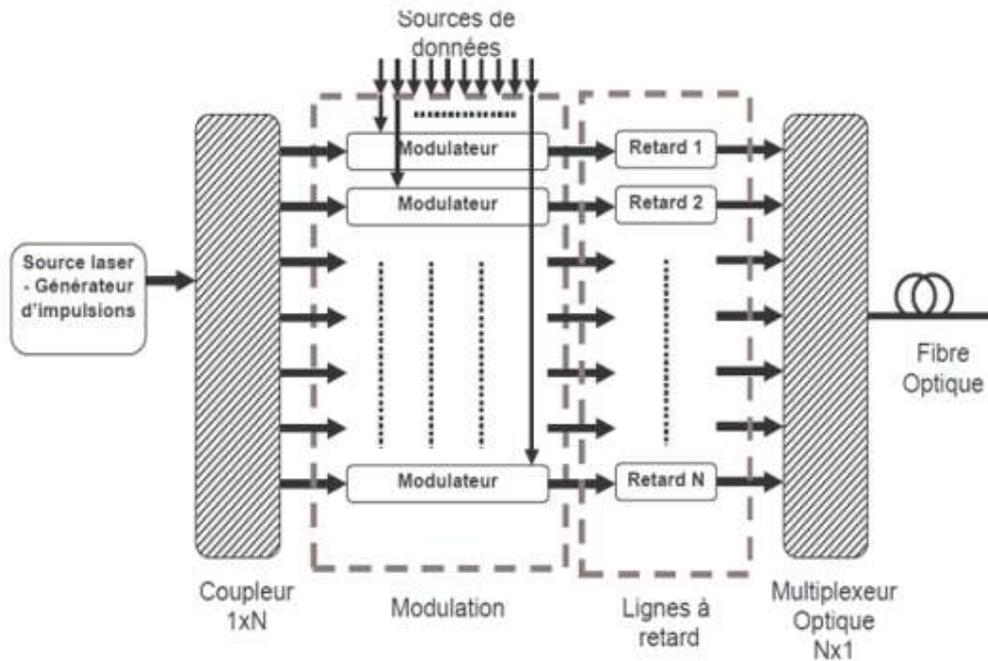


Figure 2.1 : Système d'émission optique OTDM pour N utilisateur.

Pour un système à N utilisateur, les trains optiques en sortie des modulateurs sont décalés en temps et multiplexés en un train optique unique de débit $R=N.D$ (bit/s) envoyé dans le milieu de transmission, la fibre optique. Pour récupérer le signal en réception par démultiplexage temporelle, le système nécessite un signal de synchronisation du rythme des données émises T_b [13].

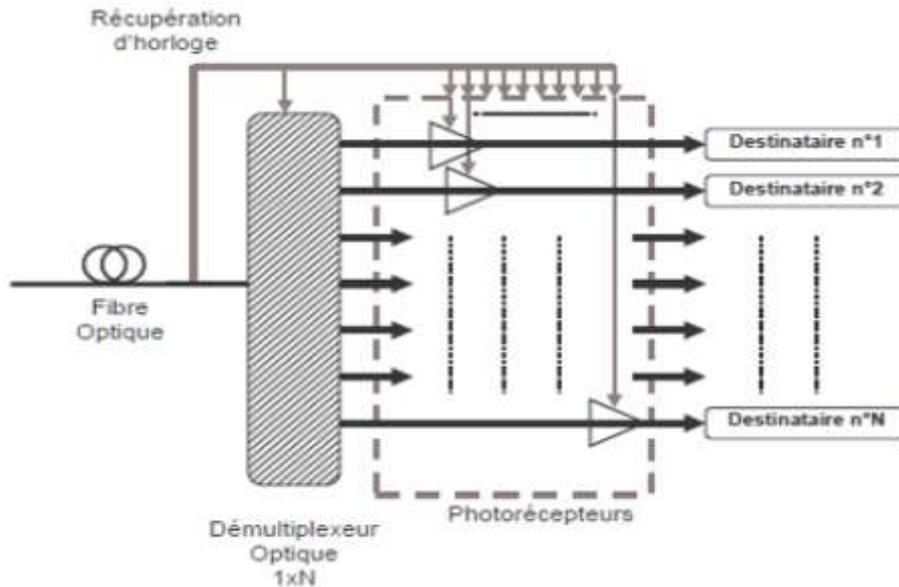


Figure 2.2 : Système de réception optique OTDM pour N utilisateur.

2.1.2 Accès multiple par répartition de temps en optique ETDM

Dans la technique ETDM, le multiplexage des données électriques à transmettre s’effectue à l’aide de dispositif électronique. Le signal de sortie de multiplexeur est appliqué à l’entrée d’un modulateur optique qui permet la transmission sur la fibre optique (voir figure 2.3).

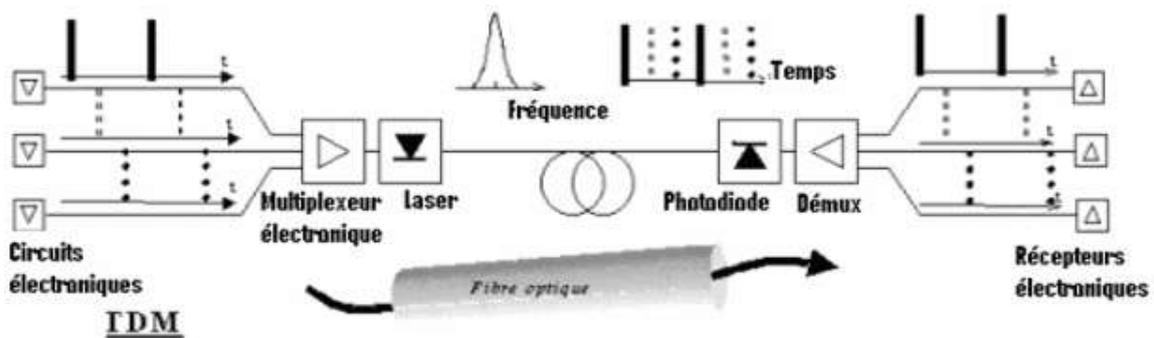


Figure 2.3 : Schéma de principe du multiplexage ETDM dans les communications optiques.

La différence avec la technique OTDM réside dans le fait que le modulateur optique doit fonctionner non pas au débit des données D mais à celui R de signal en sortie du multiplexeur. Si les données ont un débit binaire D et que le nombre d’utilisateurs est N , on a : $R=N.D$. Plus

le nombre d'utilisateur augment et plus le débit R est élevé ce qui constitue la principale limitation de cette technique.

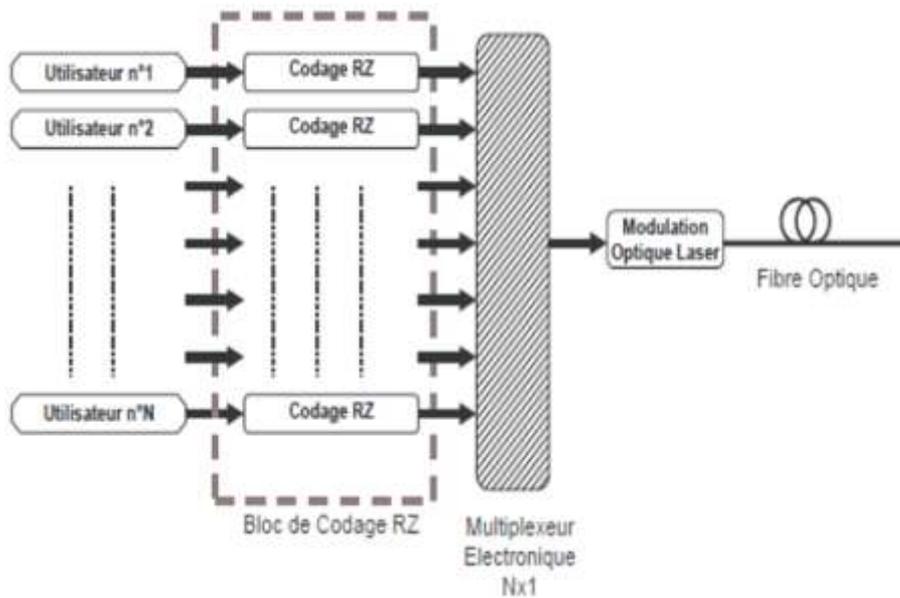


Figure 2.4 : Système d'émission optique ETDM pour N utilisateurs.

A la réception, un photodétecteur convertit le signal optique en électrique. Un dispositif électronique de démultiplexage synchronisé permet de restituer les données au destinataire.

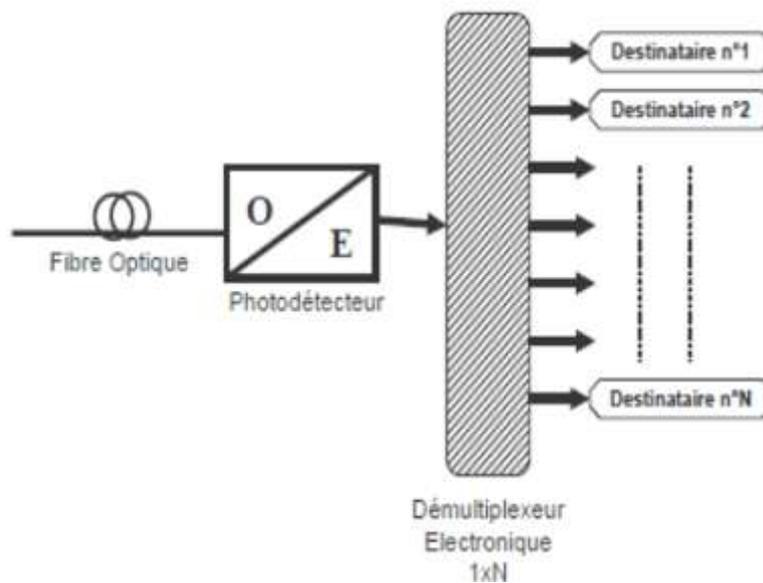


Figure 2.5 : Système de réception ETDM pour N utilisateur.

Cette technique est limitée par la difficulté de générer des impulsions de plus en plus courtes, de les transmettre correctement (effet de la dispersion) et de récupérer le signal de synchronisation aux niveaux de démultiplexeur [13].

2.1.3 Accès multiple par répartition de longueurs d'onde WDM

Une technique développée dans les années 1980 et commercialisée au milieu de l'année 1990 est le multiplexage par répartition de longueurs d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing). Cette technique est plus utilisée dans la transmission d'informations sur fibres optiques. Elle consiste à transmettre les signaux optiques à différentes longueurs d'onde sur la même fibre. Ceci est possible, en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX), et en séparant les différentes ondes à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX).

La WDM permet ainsi l'utilisation optimale de la bande passante optique. Les données électriques de chaque utilisateur sont appliquées à l'entrée du modulateur optique émettant à des longueurs d'onde différentes. Les signaux en sortie des modulateurs sont multiplexés et émis sur la fibre (voir figure 2.6). A la réception, le signal optique reçu est démultiplexé puis appliqué à l'entrée d'un filtre optique qui permet d'extraire le signal à la longueur d'onde correspondant au destinataire. Une photodiode permet d'effectuer la conversion optique-électrique [15].

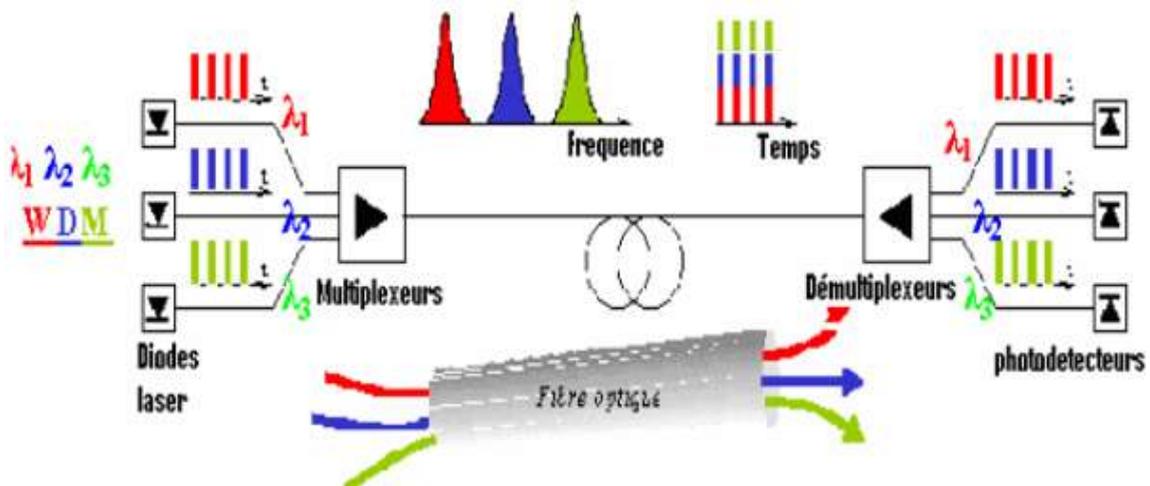


Figure 2.6 : Principe de la technique WDM.

2.1.4 Accès multiple par répartition de codes optiques OCDMA

Une quatrième méthode de multiplexage est l'accès multiple à répartition par code CDMA (Code Division Multiple Access). Le signal correspondant à l'utilisateur est remplacé par une séquence de code qui est une clé caractéristique du destinataire du message. Les codes utilisés ont des propriétés de corrélation particulière afin que les différents flux de données codées puissent être transmis simultanément sur la même longueur d'onde. Cette technique nécessite un niveau de synchronisation élevée, ce qui augmente la complexité du système et par conséquent le coût et qui fait qu'elle n'a pas été retenue par les opérateurs à ce jour.

La CDMA Optique est basé sur les mêmes concepts de base que le CDMA radiofréquence : on affecte à chaque utilisateur transmettant des données à travers le support de transmission qui est constitué par une fibre optique (figure 2.7), une séquence signature ou code qui permet d'identifier le récepteur destinataire [16].

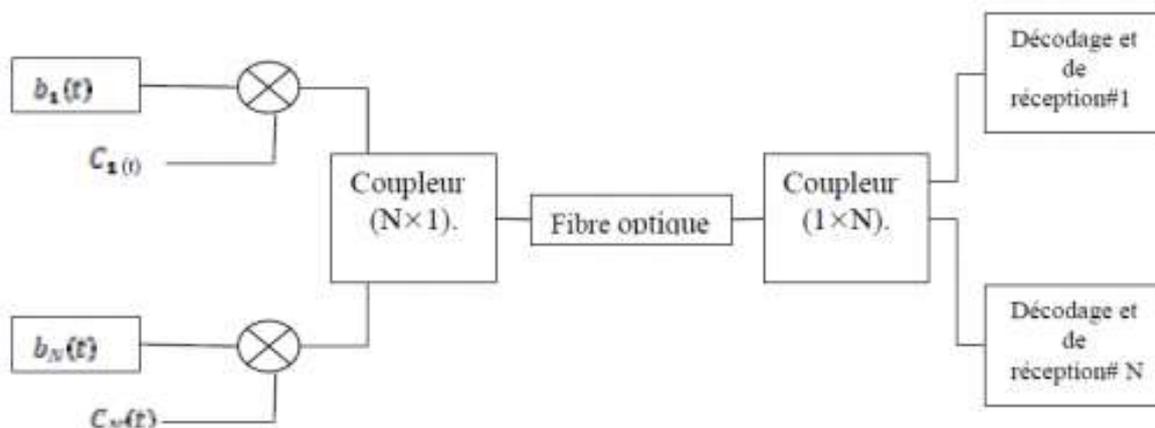


Figure 2. 7 : Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique.

2.3. Multiplexage en longueur d'onde WDM

Le multiplexage en longueur d'onde WDM est une technique de multiplexage révolutionnaire qui, en succédant à deux autres modes de modulation, a marqué l'univers des réseaux hauts débits aussi bien au niveau des débits qu'au niveau des équipements.

2.3.1 Principe de la technique WDM

Alors que les systèmes de transmission ne reposaient que sur l'utilisation du multiplexage temporel TDM, pour la transmission, de 155Mb/s, 622Mb/s, 2,5Gb/s, 10Gb/s, 40 Gb/s sur une

seule longueur d'onde, une nouvelle génération de systèmes est apparue au début des années 90, mettant en œuvre le multiplexage de longueurs d'onde WDM [17].

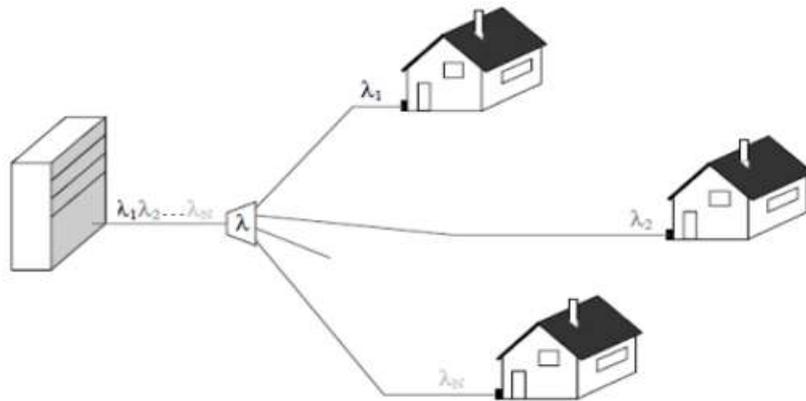


Figure 2.8 : Architecture d'un réseau local à répartition en longueur d'onde.

La technologie WDM est née de l'idée d'injecter simultanément dans la même fibre optique plusieurs trains de signaux numériques à la même vitesse de modulation, mais chacun à une longueur d'onde distincte. A l'émission, on multiplexe N canaux au débit nominal D , à la réception, on démultiplie le signal global $N \times D$ en N canaux nominaux.

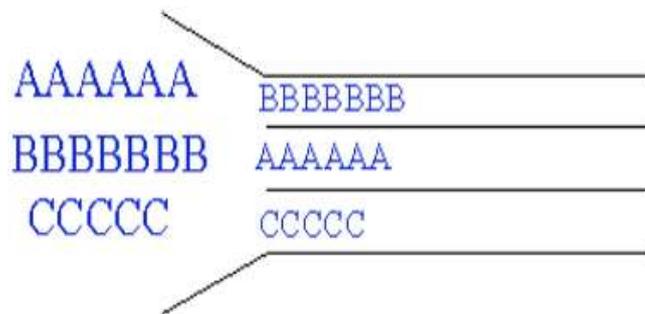


Figure 2.9 : Répartition des sous-bandes dans le cas d'un multiplexage WDM.

De ce fait, les données émis par des sources optiques à longueurs d'ondes distinctes sont transmises simultanément sur la même fibre optique. Le débit total obtenu est la somme des débits de tous les utilisateurs. A la réception, les données de chaque utilisateur sont extraites à partir des signaux multiplexés, par filtrage optique à longueur d'onde correspondant aux données de l'utilisateur souhaité, avant d'être détectées pour le traitement domaine électrique.

2.3.2 Différentes technologies du WDM

Il existe plusieurs technologies WDM. Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par l'espacement entre canaux et le nombre de canaux exploités dans une fibre.

Il existe plusieurs types de WDM en fonction des longueurs d'ondes utilisées :

- ✓ *Le CWDM pour Coarse Wavelength Division Multiplexing.*
- ✓ *Le DWDM pour Dense Wavelength Division Multiplexing.*

Le multiplexage WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde utilisables. Cet intervalle peut être exprimé en nanomètres ou en gigahertz. Si cet intervalle est inférieur ou égal à 0,8 nanomètres (soit 100 GHz) on parle alors de multiplexage DWDM (Dense WDM). Des tests ont même été effectués avec des intervalles de 0,4 et 0,2 nanomètres. On parle alors d'U-DWDM pour Ultra-Dense WDM. L'utilisation de 32 longueurs d'onde différentes sur une fibre à 10 gigabits par secondes permet donc d'atteindre assez facilement un débit de 320 gigabits. Prochainement, lorsque 160 longueurs d'onde pourront être utilisées, la même fibre à 320 gigabits par secondes pourra fournir un débit de 1,6 térabits par secondes.

Il existe une autre forme de multiplexage WDM, moins performante, le CWDM (Coarse WDM qui signifie WDM grossier). Dix-huit canaux au maximum sont utilisables, mais en général les équipements émettent sur quatre, huit ou seize canaux. Le WWDM (Wide WDM) est un autre dérivé du WDM réservé désormais aux systèmes avec des canaux espacés de plusieurs nm incluant aussi les canaux dans des fenêtres de transmission différentes. Il est encore plus restrictif que le CWDM puisqu'il ne permet l'utilisation que de quatre canaux [18].

2.3.3 Caractéristique du D-WDM

La figure 2.10 décrit l'architecture de base et le fonctionnement d'un réseau DWDM. Ce réseau se crée de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons par fibres optiques. Les nœuds de bout comportent en modulateurs/démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi qu'en multiplexeurs et démultiplexeurs soutenant respectivement au groupement et à la division des ondes lumineuses de fréquences différentes. Les modulateurs transforment les données numériques en ondes par modulation d'intensité ou d'amplitude, tandis que les démodulateurs reconvertissent les signaux optiques en données numériques.

Les nœuds de changement se préparent de multiplexeurs et de démultiplexeurs à insertion extraction, de commutateurs de longueur d'onde et de convertisseurs de longueur d'onde. Les multiplexeurs servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes à des fins de propagation alors que les démultiplexeurs divisent ces mêmes signaux à des fins de commutation. Le commutateur de longueur d'onde interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie requises. Les convertisseurs de longueur d'onde ont pour activité de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'onde surexploitées en longueurs d'onde disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies [19].

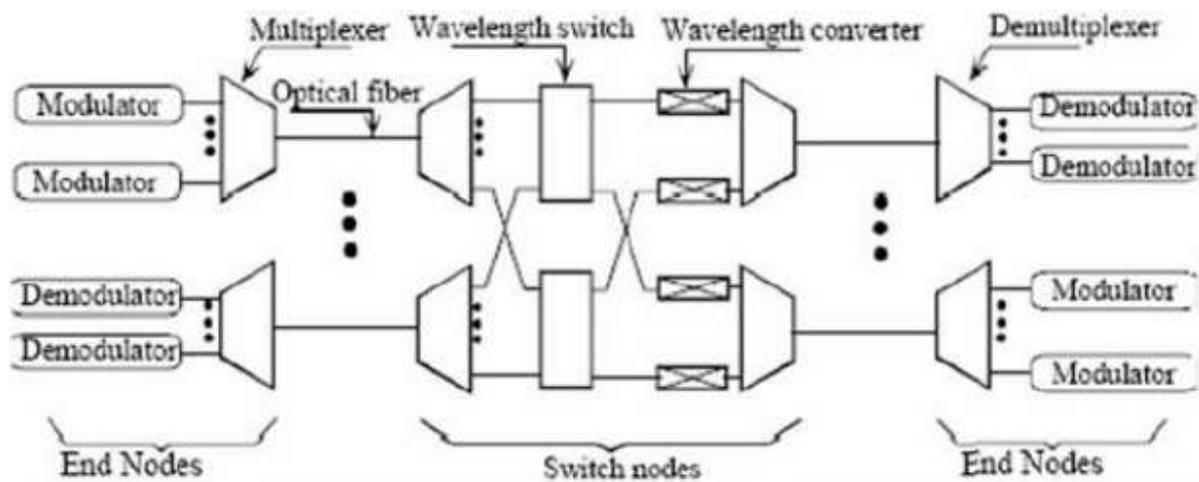


Figure 2.10: Architecture du réseau DWDM.

Le DWDM augmente considérablement le rendement et la souplesse des réseaux, lorsque plusieurs canaux d'information propagent sur une même fibre. La particularité du D-WDW est qu'ils utilisent des espacements de longueurs d'ondes très court c'est-à-dire inférieur ou égal à 0,8 nanomètres. C'est grâce à cela qu'il est possible d'avoir un nombre de canaux important dans la fibre. L'inconvénient de cette technologie est qu'il est nécessaire d'avoir un laser refroidi en température. Les longueurs d'onde d'émission étant très proche, il est nécessaire de réguler la température du laser entre les impulsions.

L'avantage de la technologie D-WDM est qu'elle utilise des longueurs d'ondes qui sont amplifiables sans pour autant passer par l'intermédiaire d'un amplificateur électrique. Ce principe évite donc la reconversion d'un signal optique en signal électrique pour être amplifié et à sa retransmissions en signal optique [18].

Fréquence centrales nominales (GHz) Pour espacements de :				Longueurs d'ondes centrales nominales approximatives (nm)
12.5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz	
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.33
195.8875	-	-	-	1530.43
195.8750	195.875	-	-	1530.53
195.8625	-	-	-	1530.63
195.8500	195.850	195.85	-	1530.72
195.8375	-	-	-	1530.82
195.8250	195.825	-	-	1530.92
195.8125	-	-	-	1531.02
195.8000	195.800	195.80	195.8	1531.12
195.7875	-	-	-	1531.21
195.7750	195.775	-	-	1531.31
195.7625	-	-	-	1531.41
195.7500	195.750	195.75	-	1531.51
195.7375	-	-	-	1531.60
195.7250	195.725	-	-	1531.70
195.7125	-	-	-	1531.80
195.7000	195.700	195.70	195.7	1531.90
195.6875	-	-	-	1532.00
195.6750	195.675	-	-	1532.09
195.6625	-	-	-	1532.19

Tableau 2.1 : La grille du technique DWDM.

2.3.4 Caractéristique du CWDM

Le CWDM (Coarse WDM) permet de transporter de manière simple jusqu'à seize longueurs d'ondes sur de courtes distances de 60 à 80 km. Le C-WDM n'est pas compatible avec les amplificateurs optiques. C'est notamment pour cette raison que le C-WDM est utilisé sur des distances plus que ses confrères. Donc pas d'amplification et pas de régulation en température du laser, ceci permet d'avoir des composants moins chers pour faire du multiplexage optique. Le spectre utilisé s'étend de 1270 à 1610 nm. L'espacement entre chaque canal est de 20 nm et les émetteurs/récepteurs lasers peuvent subir quelques décalages en longueur d'onde sans que les signaux soient perdus.

Le système CWDM autorise la transmission d'un maximum de 9 applications sur une paire de fibres optiques. Cette technique est conseillée en particulier pour la transmission sur des fibres louées ou lors de manque de fibres dans des câbles déjà posés. La transmission des flux de données s'effectue à des taux de transfert allant de 100 MBit/s à 2,5 GBit/s par canal [18].

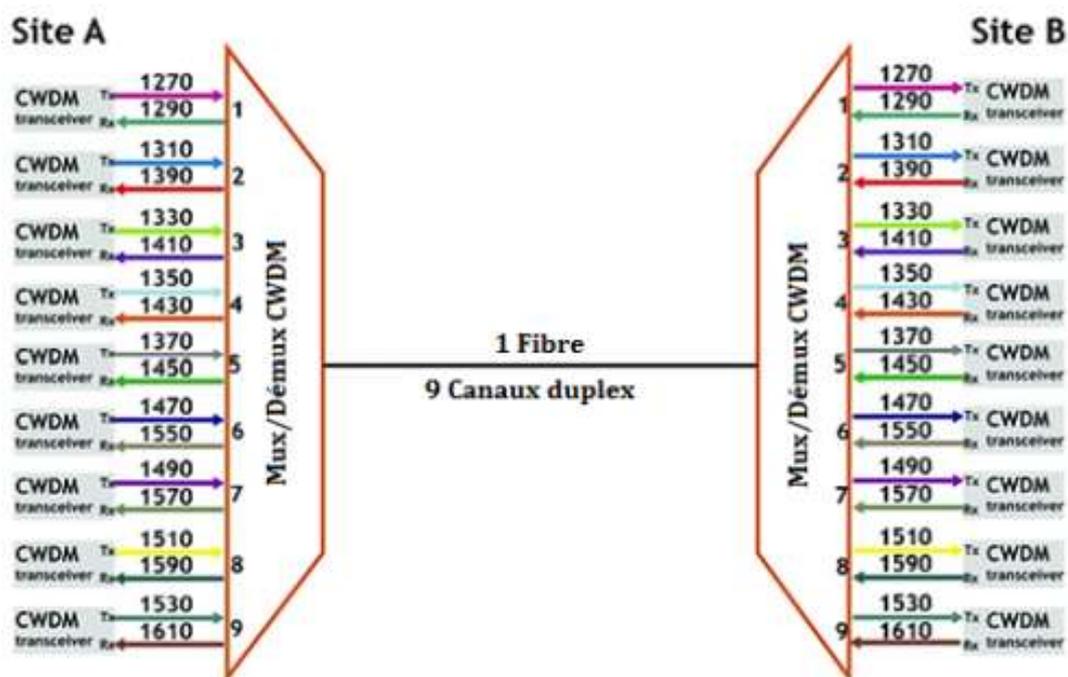


Figure 2.11: Principe du multiplexage CWDM.

2.4. Multiplexeurs et démultiplexeurs optiques pour le WDM

La fonction d'un multiplexeur est de coupler plusieurs signaux, à des longueurs d'onde différentes, dans une seule fibre. Un multiplexeur consiste en plusieurs fibres optiques,

transportant des signaux à des longueurs d'onde différentes, couplées dans une seule fibre. Le démultiplexeur sépare un signal optique contenant plusieurs fréquences en ses composants. Il y a plusieurs types de démultiplexeurs comme les prismes, les réseaux de diffraction et les filtres optiques.

2.4.1 Prismes

Les prismes sont utilisés comme éléments dispersifs lors du démultiplexage d'un signal contenant plusieurs fréquences. Les composants du signal incident seront réfractés sur des trajets différents, en fonction de la longueur d'onde. A la sortie du prisme, à l'aide d'une lentille, les faisceaux seront couplés dans des fibres optiques installées dans les points focaux correspondant à leurs longueurs d'onde [20].

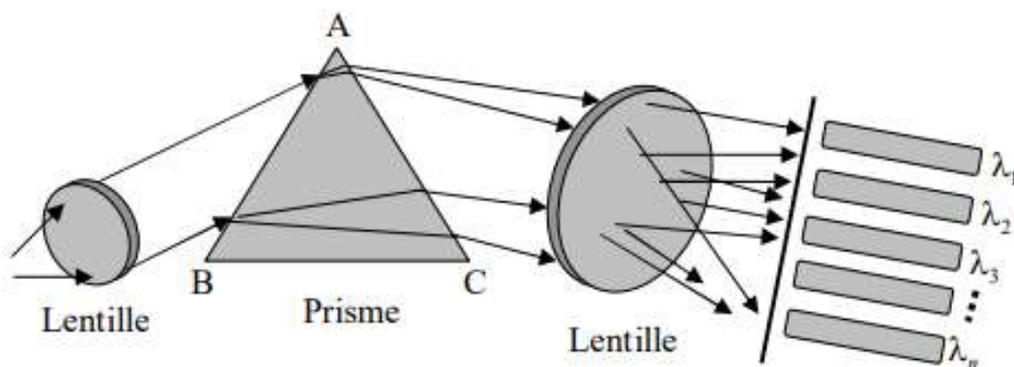


Figure 2.12 : Démultiplexeurs à base d'un prisme.

2.4.2 Réseaux de diffraction

A l'incidence d'un faisceau polychromatique de lumière sur un réseau de diffraction, chaque composant sera diffracté dans des directions différentes, selon la longueur d'onde. Les faisceaux émergents seront couplés dans des fibres optiques installées dans le plan focal d'une lentille [20].

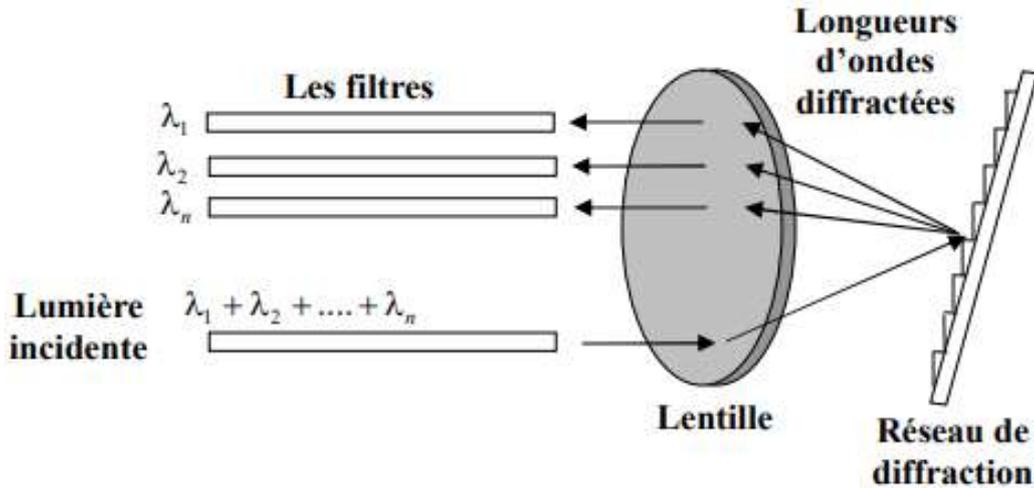


Figure 2.13 : Démultiplexeur à réseau de diffraction.

2.4.3 Les phraseurs AWG

Le principe du phraseur AWG (Arrayed Wave Guide Grating) est schématisé sur la figure 2.14. Le dispositif comporte en entrée un coupleur étoile qui répartit sur les différents guides les signaux optiques présents en entrée. Le réseau de guide est conçu pour que le déphasage entre deux guides voisins soit de λ_c , longueur d'onde centrale de la bande passante optique traité. Ainsi après le deuxième coupleur étoile, toute la puissance optique à λ_c est couplée aux guides voisins successifs [20].

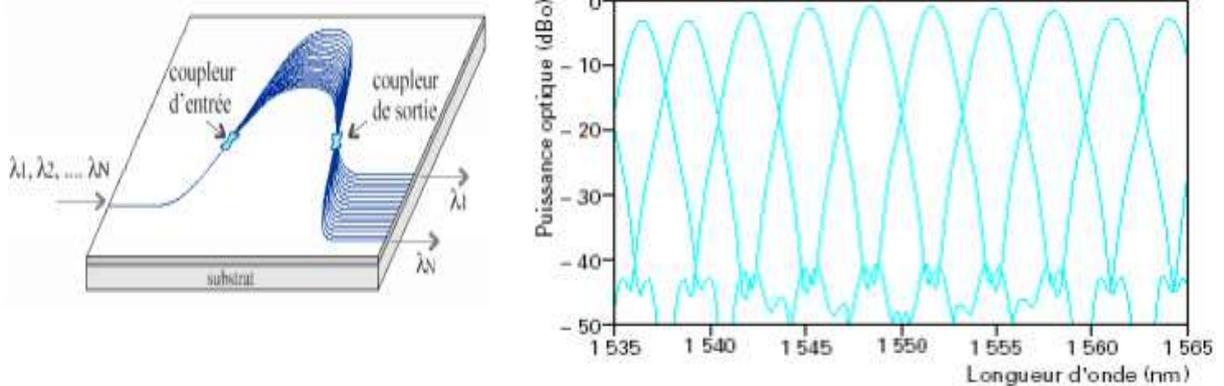


Figure. 2.14: Schéma d'un phraseur et sa réponse spectrale.

2.4.4 Les filtres

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. En effet Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. D'autre part le multiplexage optique regroupe les signaux occupant des gammes de longueurs d'onde différentes tandis que la fonction réciproque le démultiplexage, permet de séparer des signaux occupant des bandes de longueurs d'onde différentes. On caractérisera le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il laisse passer la lumière, et sa bande atténuée c'est-à-dire le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il réfléchit la lumière incidente [21].

Il existe d'autres solutions techniques pour ces fonctions de (dé)multiplexage. On peut citer l'utilisation de réseaux de Bragg photo-inscrits dans les fibres optiques ou celle de filtres optiques multi-diélectriques. Ces dispositifs ne sont pas proposés aujourd'hui pour un grand nombre de canaux, cette situation devrait évoluer [21].

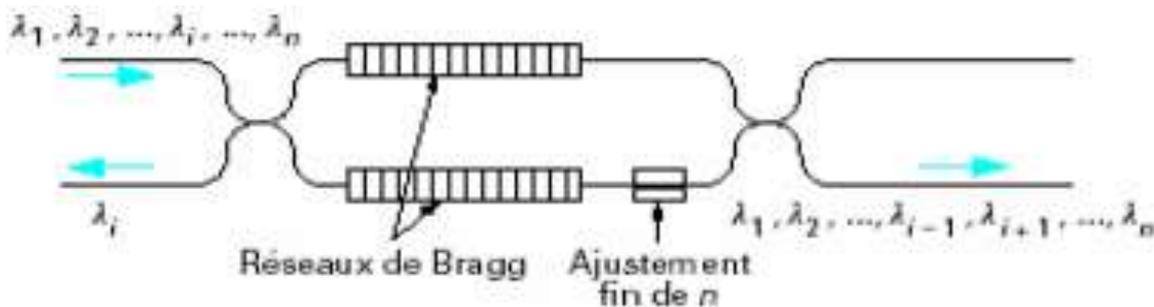


Figure 2.15 : Principe d'un multiplexeur avec une fibre à réseau de Bragg FBG.

2.5. Les apports du WDM

- Le WDM répond aux besoins d'augmentation de débits et de taux de partage dans le réseau d'accès. La limite en débit imposée par le TDM peut être dépassée en introduisant le WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur, ce qui revient à faire du point à point en longueur d'onde.
- Nous cumulons ainsi les avantages du point à point (c'est-à-dire un débit pouvant être amélioré de 100 Mbit/s à 2.5 Gbit/s), une couche MAC simplifiée, l'absence de problème de synchronisation et le bénéfice de la mutualisation de la fibre.

- La souplesse de multiplexage permet de superposer des adressages différents en fonction du type de clients (FFTx), des services (voix, données, vidéo ...), des technologies finales (xDSL, Wireless, Ethernet...).
- Le WDM permet une indépendance vis-à-vis protocoles et une indépendance entre canaux. LeWDM permet une plus grande concentration des clients sur un même lien principal (augmentation de la portée et du nombre de clients) et la localisation de panne est plus aisée que lorsqu'il y a partage de la longueur d'onde [1].

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques optiques d'accès multiples, tout en expliquant leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs caractéristiques. L'accroissement de la capacité dans la technologie WDM se fait de deux façons : en augmentant le nombre de canaux dans une fibre et en augmentant le débit par canal lors de l'émission. L'objectif de cette technologie est donc d'atteindre des capacités encore plus grandes, pour ça la recherche aujourd'hui est concentrée sur le rapprochement des canaux et l'élargissement dans la bande passante optique exploitée tout en augmentant le débit binaire par canal.

Actuellement, des systèmes commerciaux à 16, 40, 80 et 128 canaux par fibre sont en opération et des systèmes à 200 canaux ont été déjà démontrés. L'espacement entre canaux dans les systèmes à 80 canaux est de 50GHz. La capacité des systèmes de transmission augmentera dès que la technologie permettra un espacement plus réduit entre les canaux. Nous aborderons dans le chapitre suivant, la planification et le dimensionnement du réseau optique d'accès GPON utilisant deux techniques de multiplexage WDM et CWDM

Chapitre 3 : Résultats et Interprétations

3.1. Introduction

Nous avons démontré dans le chapitre précédent que les techniques de multiplexage en longueur d'ondes WDM présentent de meilleures solutions pour le dimensionnement des réseaux optiques d'accès GPON quel que soit le type de récepteur utilisé. Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus sur le dimensionnement des réseaux optiques WDM/GPON. Pour ce faire, nous commençons par étudier les performances des réseaux GPON obtenues avec deux techniques de multiplexage en longueur d'onde (WDM et CWDM). Afin d'améliorer les performances obtenues, nous poursuivons l'évaluation des performances des réseaux WDM/GPON en fonction des paramètres suivants : la longueur des fibres optiques de transmission et de distribution, le débit binaire de transmission, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission et le format de la modulation (NRZ ou RZ). Pour évaluer les performances des réseaux proposés (WDM/GPON et CWDM/GPON) nous avons choisi le facteur de qualité et le diagramme de l'œil comme critères de qualités.

Nous poursuivons l'évaluation des performances des réseaux obtenues avec la technique de multiplexage CWDM en considérant les mêmes conditions de simulation. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous verrons qu'il est possible de dimensionner les réseaux optiques d'accès WDM/GPON en agissant au niveau du technique de multiplexage WDM et les paramètres physiques des fibres optiques de transmission et de distribution. Ce dimensionnement permettra de réduire de manière significative les erreurs de détection engendrées par les composants optiques constituent les réseaux optiques d'accès WDM/GPON.

3.2. Architecture du réseau optique d'accès WDM/GPON

Le GPON est défini dans les normes de l'ITU (ITU-T G.984.n). Ce réseau offre une capacité aval de 2.488 Gbps et une capacité amont de 1; 244 Gbps. Comme les données en aval et en amont sont transmises par la même fibre optique monomode, deux longueurs

d'onde différentes sont utilisées pour la liaison descendante et la liaison montante afin d'éviter les interférences entre les canaux. La distance maximale entre l'OLT et l'ONU est de 20 km, avec une portée logique de 60km. Le réseau optique passif à multiplexage par division de longueur d'onde (WDM/GPON) est un projet prometteur d'accès à haut débit et à large bande par fibre optique. Il rentre dans la construction de l'infrastructure de base pour le système de communication mobile de cinquième génération (5G). L'intégration de la technologie WDM dans un réseau GPON permet d'obtenir une bande passante beaucoup plus large, d'environ 10 Gbits/s et plus par rapport au standard GPON qui fonctionne en mode "une longueur d'onde unique" où une longueur d'onde est utilisée pour la transmission en amont et une autre pour la transmission en aval, tandis que le WDM prend en charge plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre. Le WDM/GPON ne nécessite pas de composants actifs mais seulement des composants passifs. Le coût de maintenance est également moindre puisque moins de composants sont nécessaires dans le réseau. Il a pour avantage sa grande capacité, sa facilité de gestion et la sécurité du réseau. La capacité totale de la bande passante du système d'accès est multipliée par le nombre de longueurs d'onde multiplexées sur la fibre. Ces signaux optiques sont ensuite séparés (ou démultiplexés) dans des fibres différentes (voir figure 3.1). Dans le réseau WDM/GPON.

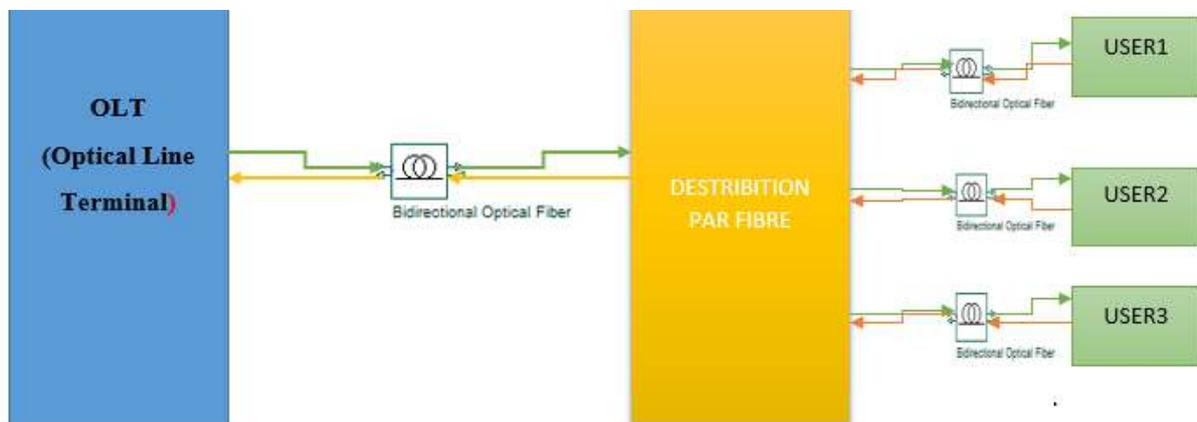


Figure 3.1 : Architecture globale du réseau optique d'accès WDM/GPON.

3.3. Modèle du réseau WDM-GPON sous OptiSystem

Comme présentés dans les figures ci-dessous, le modèle du réseau WDM/GPON simulé sous OptiSystem est composé de deux liaisons (liaisons montante et descendante). Ce modèle contient un multiplexeur et un démultiplexeurs optiques.

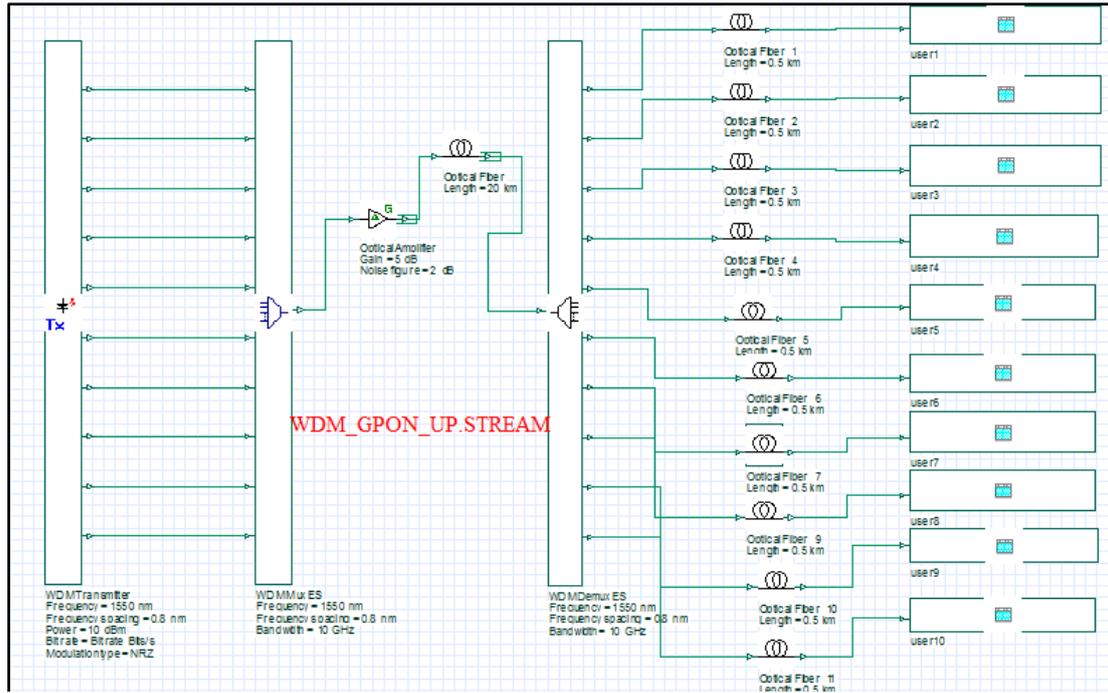


Figure 3.2 : Modèle du réseau WDM/GPON sous OptiSystem (liaison montante).

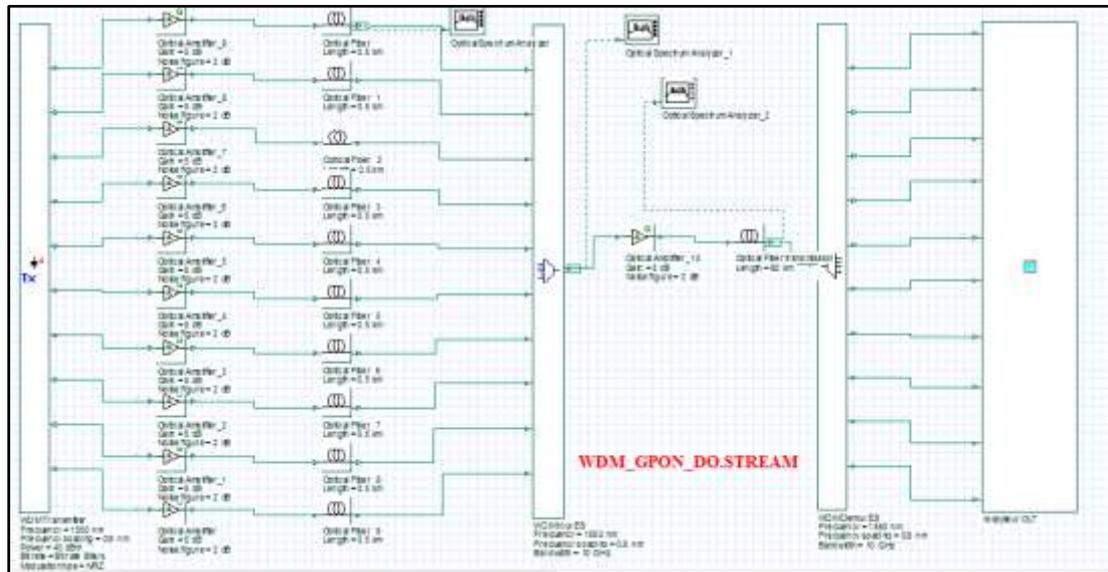


Figure 3.3 : Modèle du réseau WDM/GPON sous OptiSystem (liaison descendante).

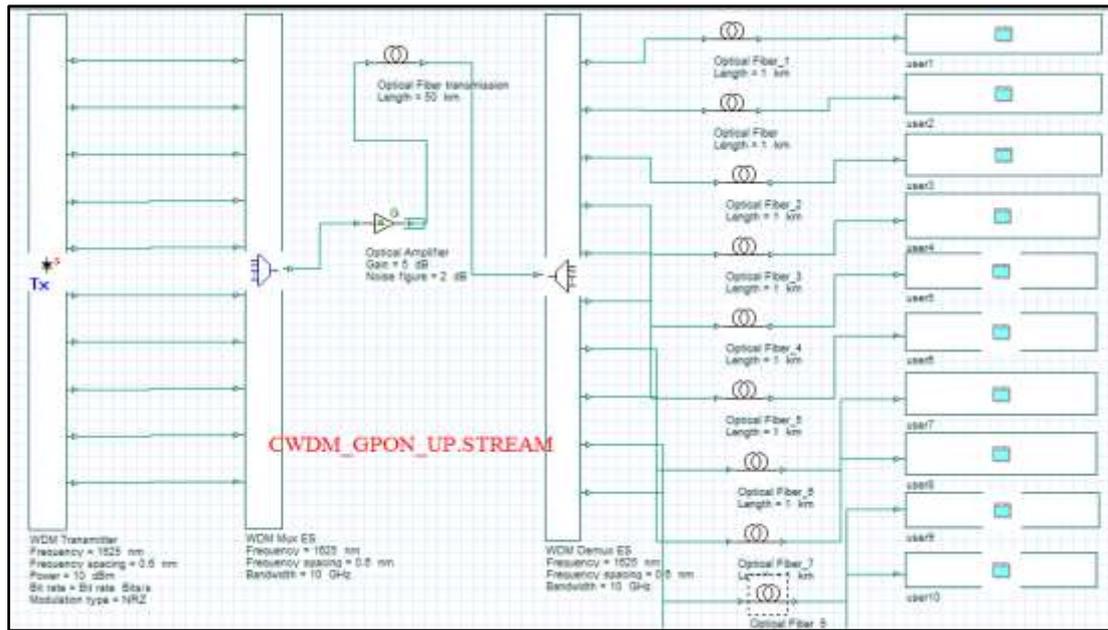


Figure 3.4 : Modèle du réseau CWDM/GPON sous OptiSystem (liaison montante).

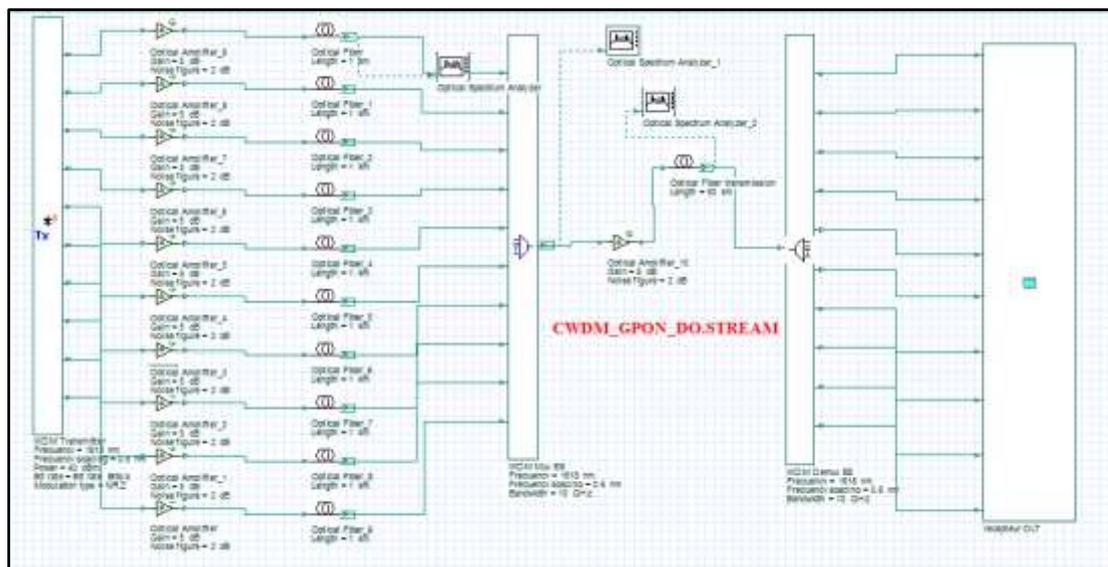


Figure 3.5 : Modèle du réseau CWDM/GPON sous OptiSystem (liaison descendante).

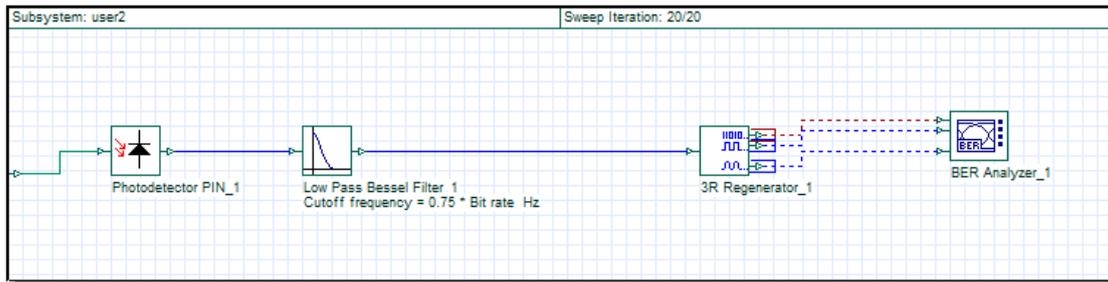


Figure 3.6 : Modèle du récepteur sous OptiSystem.

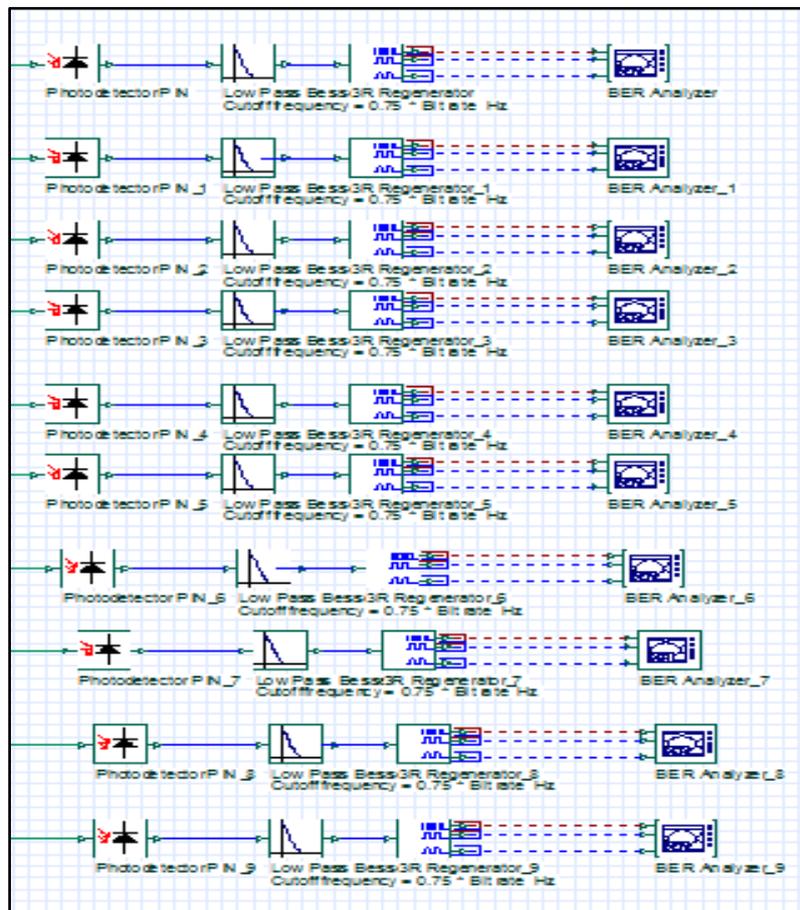


Figure 3.7 : Modèle de l'OLT sous OptiSystem.

3.3.1 Partie OLT (Optical Line Terminal)

L'OLT est l'équipement maître dans l'accès optique pour des clients connectés au FTTH. Il envoie et reçoit des signaux lumineux porteurs des données. Il doit être conforme à la norme ITU. L'équipement OLT est composé de :

- **Un transmetteur optique WDM** : ce transmetteur est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER, d'une fréquence de 1550 nm avec un espacement de 0.8 nm et d'un modulateur de type NRZ ou RZ.
- **Un multiplexeur/ Démultiplexeur Optique** : du type WDM à longueur d'onde de 1550 nm avec un espacement de 0.8 nm et une bande passante de 10 GHz/.
- **Un amplificateur optique EDFA** : d'un gain d'amplification de 5 dB et d'un facteur de bruit de 2 dB, qui amplifie le signal lumineux à la sortie de l'OLT.
- **Un récepteur optique** : qui transformant le signal optique en un signal électrique et qui permet d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçus.
- **Un filtre passe bas** : du type Bessel qui permettant d'extraire l'information utile d'une fréquence de coupure de $0.75 \times B$ (débit binaire).
- **Un analyseur du Taux d'Erreur Binaire** : c'est la méthode utilisée pour évaluer les performances d'un système, et comparer les bits envoyés avec les bits reçus, grâce à cet outil, on visualise le diagramme de l'œil.

3.3.2 Les fibres optiques

Notre réseau WDM/GPON est constitué de deux types de fibres optiques : une fibre optique de transmission et une fibre optique de distribution. Ces deux fibres optiques présentent des paramètres physiques très importants à savoir l'atténuation et la dispersion chromatique.

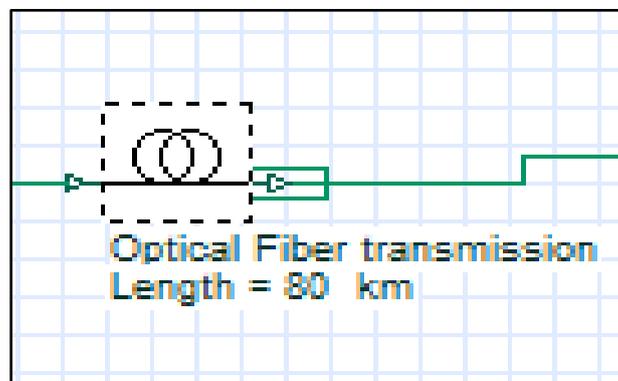


Figure 3.8: Model de la fibre optique de transmission sous OptiSystem.

3.3.3 Partie de réception

Le modèle du récepteur est montré dans la figure 3.9. Ce modèle est constitué d'une photodiode qui permet de transformer le signal optique en un signal électrique et d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçues. Le signal de sortie de photodiode est filtré par un filtre passe bas de type Bessel d'une fréquence de coupure de $0.75 \times B$ (débit binaire). À la fin, un analyseur du Taux d'Erreur Binaire est employé pour évaluer et calculer le facteur de qualité et le taux d'erreur binaire TEB.

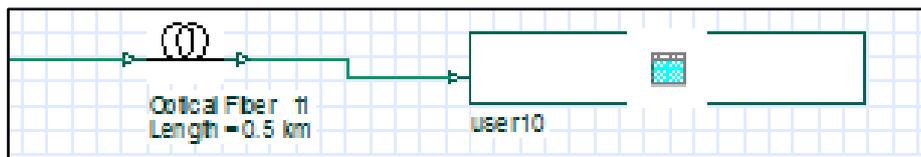


Figure 3.9: Modèle du récepteur sous OptiSystem.

3.4. Paramètres de la simulation

Le tableau (3.1) présente les paramètres globaux employés pour le dimensionnement du réseau optique d'accès WDM/GPON. Pour les deux types de réseaux (WDM/GPON et CWDM/GPON), le débit binaire de transmission, la longueur des fibres optiques de transmission et de distribution, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission, sont des paramètres importants dans notre simulation. Les données modulées sont amplifiées à l'aide d'un amplificateur optique de gain égale à 5 dB. Ensuite elles sont transmises sur une fibre optique monomode SMF (Single Mode Fibre) constituant le support de transmission.

En effet, le dimensionnement des réseaux optiques (WDM/GPON et CWDM/GPON), ont été évalués en fonction de ces paramètres. La différence entre les deux réseaux optiques étudiés dans ce travail réside dans la technique de multiplexage WDM employée. Comme montré dans le tableau (3.1), pour la technique de multiplexage WDM, nous pouvons employer 32 canaux avec un espacement entre canaux de 0.8 nm et centré dans la plage de longueur d'onde de [1565-1530] nm. Par contre, pour la technique CWDM nous pouvons employer 16 canaux seulement avec un espacement entre canaux de 0.6 nm est centré dans la plage de longueur d'onde de [1541-1533] nm.

Paramètres	Valeurs
Débit binaire	2.5 Gbits/s canal (downstream), 2.5 Gbits/s canal (upstream).
Générateur d'impulsions	NRZ ou RZ.
Longueur de la fibre optique de transmission	20 km
Longueur de la fibre optique de distribution	0.5 km
Dispersion chromatique de la fibre optique	1 6.75 ps/nm.km.
Atténuation de la fibre optique	0.2 dB/km.
Gain de l'amplificateur	5 dB.
Nombre d'utilisateurs	10 utilisateurs
Longueur d'onde (<i>upstream</i>)	1550 nm/canal.
Longueur d'onde (<i>downstream</i>)	1542. nm.
Puissance de Laser	10 dBm.
Technique de multiplexage WDM	-Nombre de canaux : 32 -Espacement entre canaux : 0.8 -Plage de longueur d'onde : [1565-1530]
Technique de multiplexage CWDM	-Nombre de canaux : 16 -Espacement entre canaux : 0.6 -Plage de longueur d'onde : [1625-1565]
Liaison montante	Plage de longueur d'onde : [1550-1541]
Liaison descendante	Plage de longueur d'onde : [1541-1533]

Tableau 3.1 : Paramètres de simulation pour les réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON.

3.5. Dimensionnement du réseau WDM/GPON

3.5.1. Influence de la longueur de fibre optique de transmission

Le dimensionnement du réseau WDM/GPON est basé sur la variation de la longueur des fibres optiques et des paramètres physiques comme l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique. Dans ce travail, il est nécessaire de tenir compte la longueur de la fibre optique de transmission dans le dimensionnement du réseau. Pour cela, la figure 3.10 présente l'évolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de cette fibre optique pour les deux liaisons (liaison montante et descendante).

D'après cette figure, nous remarquons que plus la longueur de la fibre de transmission augmente plus le facteur de qualité diminue, et cela est similaire pour les deux liaisons. Par conséquent, la longueur de la fibre de transmission influe sur les performances du réseau WDM/GPON et donc sur la qualité du signal. La longueur de la fibre optique de transmission joue un rôle très important dans le dimensionnement du réseau WDM/GPON.

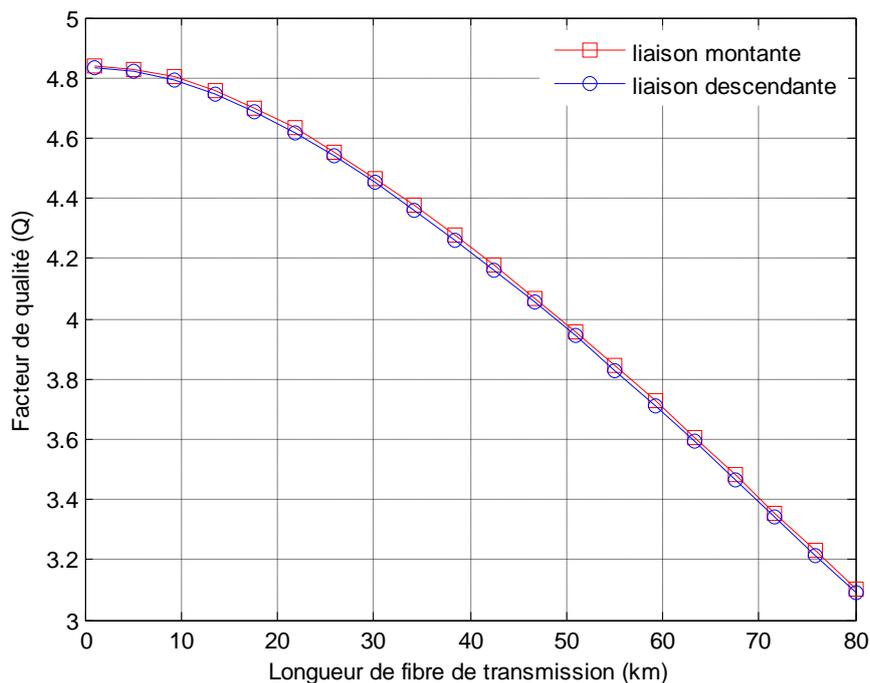


Figure 3.10: Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.

Pour bien voir ce rôle, nous présentons dans la figure 3.11, le diagramme de l'œil pour deux valeurs de longueur de fibre optique de transmission. Nous remarquons que l'œil est ouvert pour la valeur de 10 km, par contre pour une valeur de 80 km de longueur de fibre optique de transmission, l'œil est fermé. Ce qui montre qu'au-delà de cette valeur la qualité de transmission est dégradée.

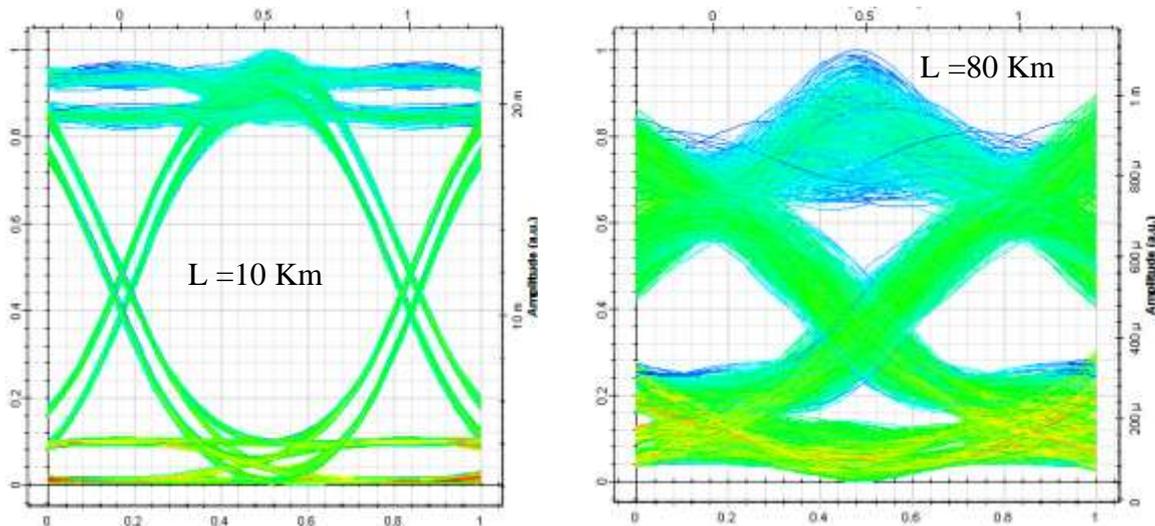


Figure 3.11 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de transmission.

3.5.2. Influence de la longueur de fibre optique de distribution

Pour voir l'influence de la longueur de fibre optique de distribution sur les performances du réseau WDM/GPON et donc sur le facteur de qualité, nous avons fixé la longueur de la fibre optique de transmission à 50 km avec une atténuation de 0.2 dB/km et nous avons varié la longueur de la fibre optique de distribution entre 1 km et 3 km. La figure 3.12 représente l'évolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de distribution pour les deux liaisons.

A partir de ces résultats, nous remarquons que la relation entre le facteur de qualité et la longueur de fibre optique de distribution est une relation inverse de telle sorte que si la longueur de fibre de distribution augmente le facteur de qualité est diminué. Par conséquent, pour le dimensionnement du réseau WDM/GPON la longueur de la fibre optique de

distribution doit être courte pour obtenir de meilleures performances et donc de bonne qualité de transmission.

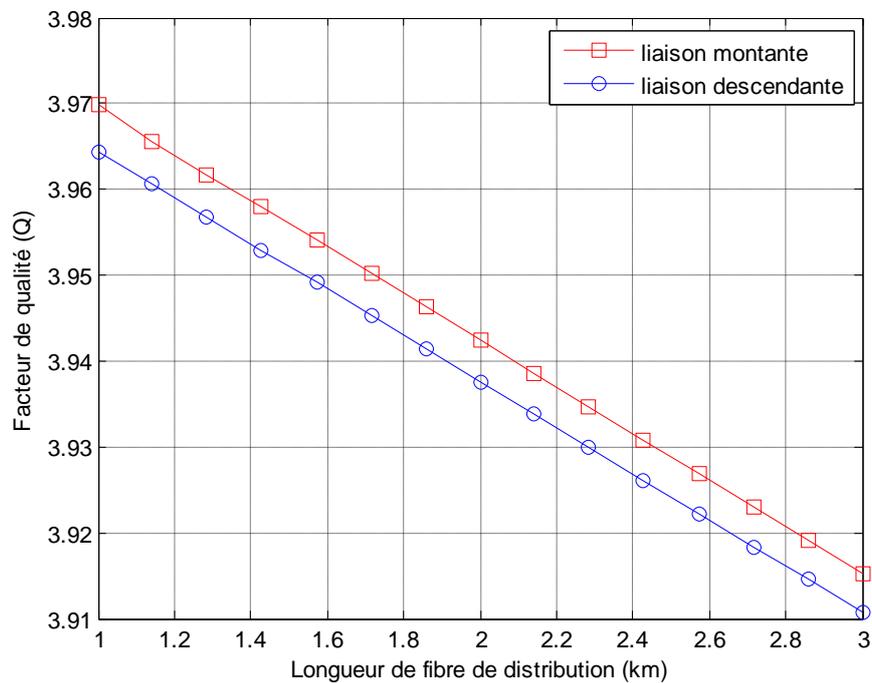


Figure 3.12 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de distribution pour le réseau WDM/GPON.

Les diagrammes de l'œil présentés dans les figures 3.13 pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de distribution montrent que la longueur de cette fibre est un paramètre très important dans le dimensionnement du réseau WDM/GPON. Cela est justifié par l'ouverture de l'œil pour la valeur de 1 km et la fermeture de l'œil pour la valeur de 3 km. Alors, la longueur de la fibre optique de distribution est très importante et doit être inférieure à 3 km pour obtenir une bonne qualité de transmission.

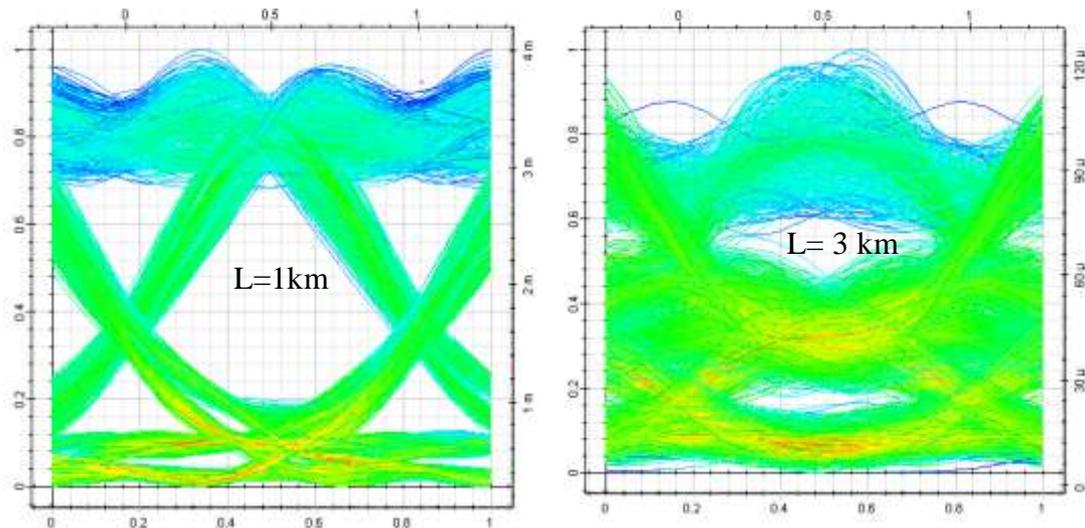


Figure 3.13 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de distribution.

3.5.3. Influence du débit binaire

La figure 3.14 représente l'évolution du facteur de qualité en fonction de débit binaire de transmission pour les deux liaisons du réseau WDM/GPON. Nous remarquons que le facteur de qualité diminue exponentiellement en fonction de débit binaire. En effet, lorsque la valeur de débit binaire augmente le facteur de qualité est dégradé. Par conséquent, le débit binaire de transmission a un effet important sur le facteur de qualité et donc sur les performances du réseau WDM/GPON.

Le facteur de qualité et diminue jusqu'à 5 Gbits/s puis à partir de cette valeur le facteur de qualité devient constant. Donc, pour le dimensionnement du réseau WDM/GPON le débit binaire doit être inférieur à cette valeur.

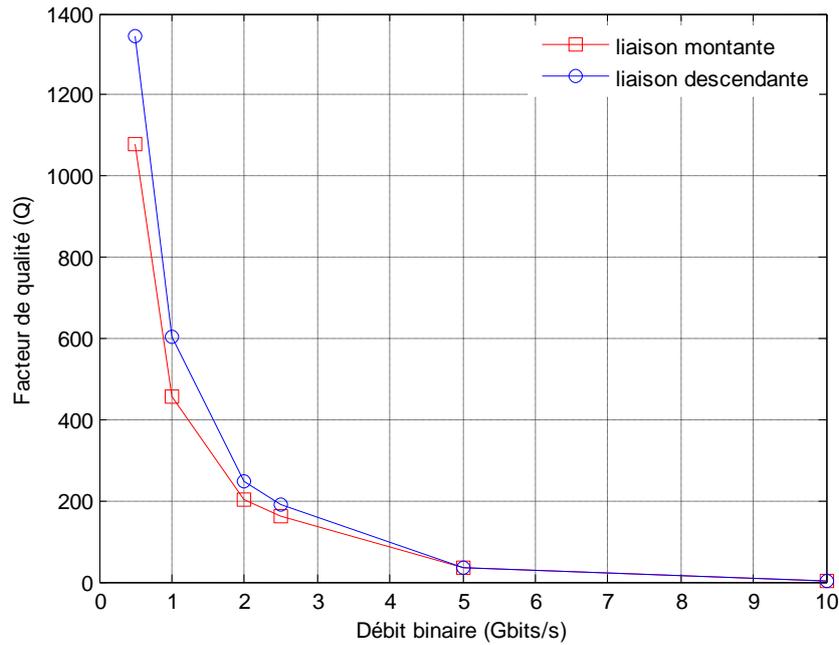


Figure3.14 : Evolution du facteur de qualité en fonction du débit binaire de transmission pour le réseau WDM/GPON.

Nous présentons dans la figure 3.15 le diagramme de l’œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de débit binaire (1 Gbits/s et 5.5 Gbits/s). Nous remarquons que l’œil est fermé pour un débit binaire de 5.5 Gbits /s, ce qui montre que cette valeur représente le débit binaire maximale supporter par le réseau WDM/GPON.

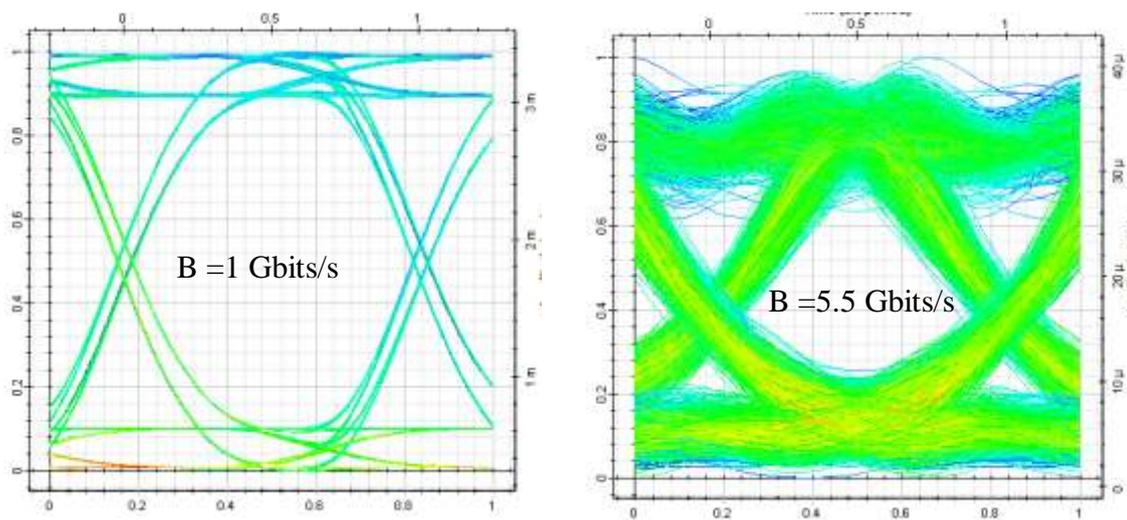


Figure 3.15: Diagramme de l’œil du réseau WDM-GPON pour deux valeurs de débit binaires de transmission.

3.5.4. Influence du format de modulation

Pour voir le meilleur format de modulation qui permet d'obtenir des meilleures performances et donc qui peut être utilisé dans le dimensionnement du réseau WDM/GPON, nous avons tracé le diagramme de l'œil pour un réseau WDM/GPON utilisant deux types de format de modulation (NRZ et RZ) (voir la figure 3.15). Dans la simulation les valeurs de la longueur des fibres optiques de transmission et de distribution sont fixés à 50 km et 1 km respectivement.

Nous remarquons que le diagramme de l'œil est bien ouvert pour un réseau WDM/GPON utilisant le format de modulation RZ. D'après les résultats de ces figures, nous remarquons que le facteur de qualité pour le codage RZ est de 16.09. Nous pouvons conclure que le format de modulation RZ est bien adapté pour le dimensionnement du réseau WDM/GPON.

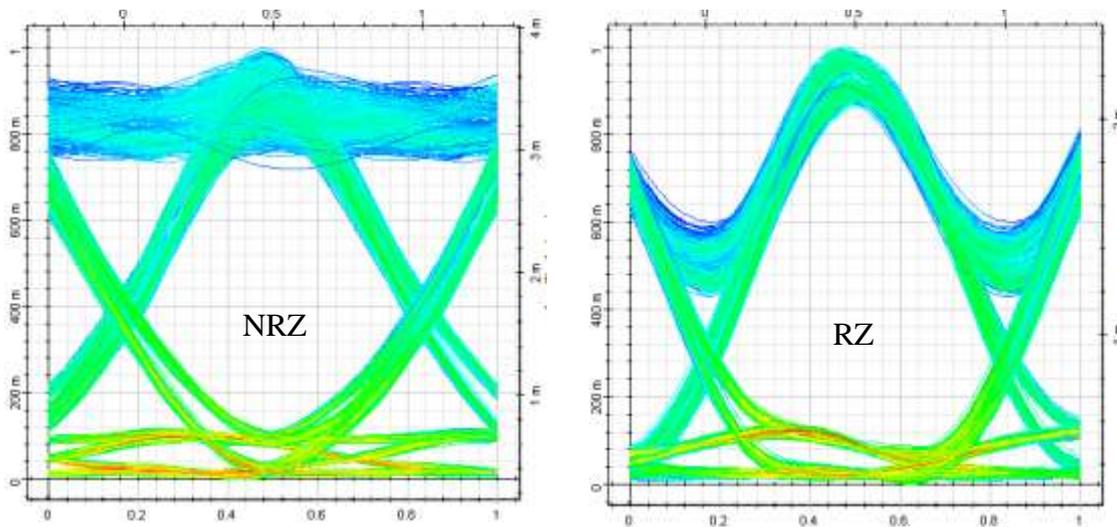


Figure 3.16 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON utilisant deux types de format de modulation (NRZ et RZ).

3.5.5. Influence de l'atténuation de la fibre optique de transmission

Dans la section précédente, nous avons montré que la longueur de la fibre optique de transmission influée largement sur les performances du réseau WDM/GPON et donc sur le dimensionnement de ce réseau. Cette fibre optique présente des effets physiques très importants qui peuvent être pris en compte dans le dimensionnement du réseau. Pour cela,

il est nécessaire d'étudier l'influence de ces paramètres physiques sur les performances du réseau pour les deux liaisons.

La figure 3.17 représente l'évolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de transmission. D'après ces résultats, nous remarquons que le facteur de qualité est constant pour une atténuation inférieure à 0.6 dB/km et au-delà de cette valeur le facteur de qualité diminué progressivement. L'atténuation de la fibre optique de transmission est compensée par l'amplificateur optique. Cependant, pour une atténuation supérieure à 0.6 dB/km l'amplificateur optique perdra son rôle. Nous concluons que l'amplificateur optique joue un rôle très important dans le dimensionnement du réseau WDM/GPON.

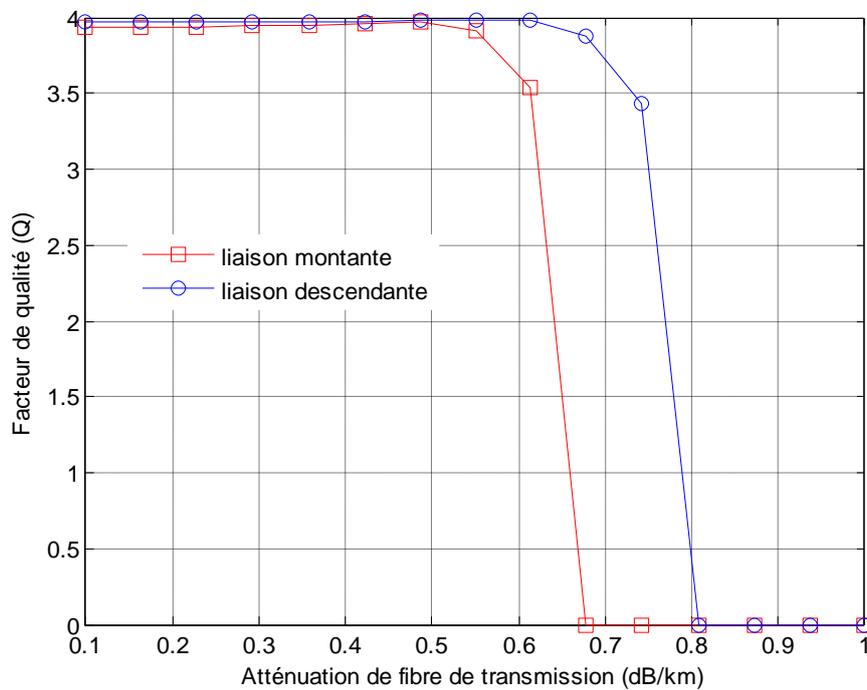


Figure3.17: Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.

La figure 3.18 présente le diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission (0.2 dB/km et 0.75 dB/km). Nous remarquons l'ouverture de l'œil pour une atténuation de 0.2 dB/km et sa fermeture pour une atténuation de 0.75 dB/km. Cela confirme que l'atténuation de la fibre optique de transmission est un paramètre très important pour le dimensionnement du réseau WDM/GPON.

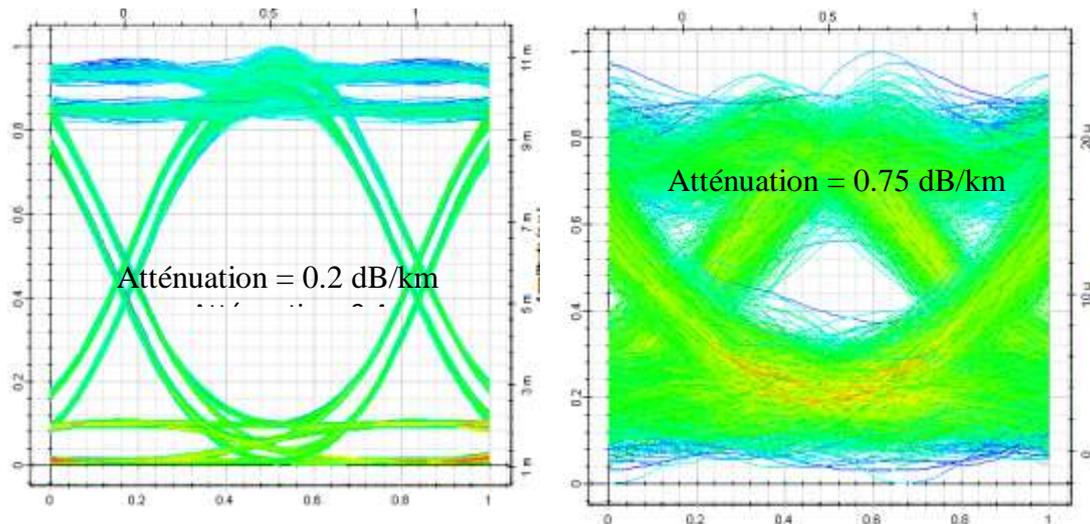


Figure 3.18 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission.

3.5.6. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission

La dispersion chromatique de la fibre optique de transmission est un autre paramètre physique qui influé sur les performances du réseau WDM/GPON et donc sur le dimensionnement de ce réseau. Pour cela, nous avons tracé sur la figure 3.19 l'évolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission.

Nous remarquons que le facteur de qualité diminué linéairement en fonction de la dispersion chromatique. Alors, la dispersion chromatique est un paramètre physique très important pour obtenir des meilleure performances et donc des bonnes qualités de transmission.

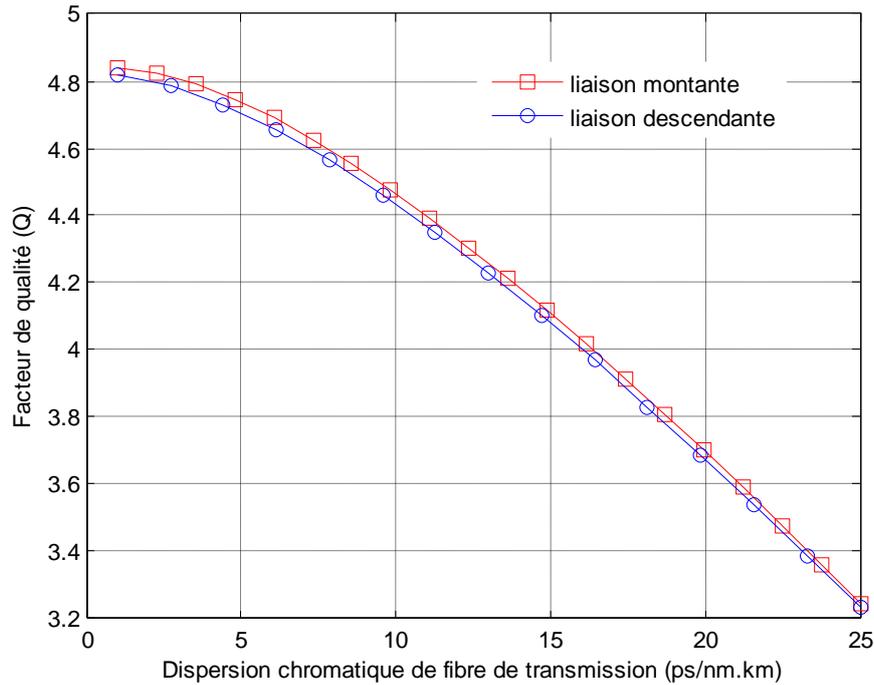


Figure 3.19 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission pour le réseau WDM/GPON.

La figure 3.20 présente le diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission. Nous remarquons l'ouverture de l'œil pour une dispersion chromatique de 5 ps/nm.km et donc une bonne qualité de transmission est obtenue pour cette valeur. Par contre, pour une valeur de la dispersion chromatique de 20 ps/nm.km nous remarquons que l'œil est fermé. Cela signifie que la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission doit être inférieure de 20 ps/nm.km pour le bon dimensionnement du réseau WDM/GPON.

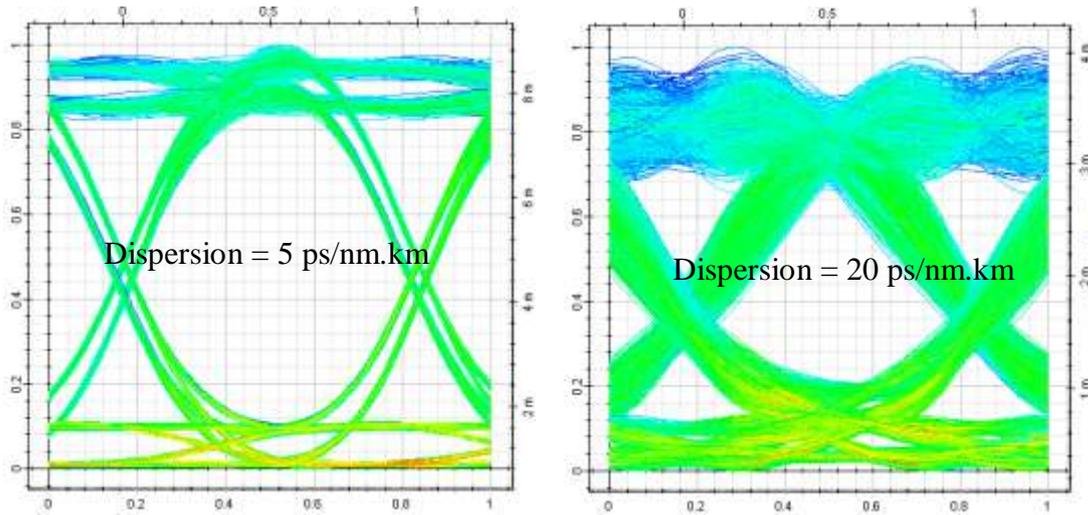


Figure 3.20 : Diagramme de l'œil du réseau WDM/GPON pour deux valeurs de la dispersion chromatique de fibre optique de transmission.

3.6. Dimensionnement du réseau CWDM/GPON

Comme pour le réseau précédent, le dimensionnement du réseau CWDM/GPON consiste à déterminer les valeurs optimales des longueurs des fibres de distribution et de transmission et leurs paramètres physiques comme l'atténuation et la dispersion chromatique. Les simulations numériques sont réalisées par la variation de tous ces paramètres.

3.6.1. Influence de la longueur de la fibre optique de transmission

La fibre optique de transmission joue un rôle très important dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON. Pour cela, nous avons tracé l'évolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de cette fibre optique (voir figure 3.21). À partir de cette figure, nous remarquons que le facteur de qualité diminue lorsque la longueur de la fibre optique de transmission augmente.

Comme pour le réseau WDM/GPON, l'évolution du facteur de qualité est similaire pour les deux liaisons (liaisons montant et liaisons descendant). Nous concluons donc que la longueur de la fibre optique de transmission influence les performances du réseau CWDM/GPON et donc sur la qualité de transmission de ce réseau optique d'accès. Cette longueur doit être plus courte pour obtenir une bonne qualité de transmission.

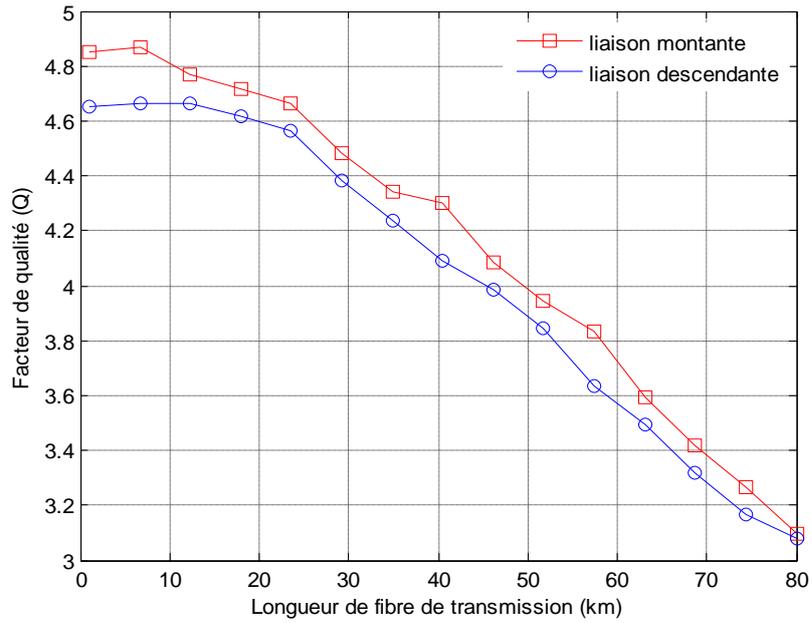


Figure 3.21 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour le réseau CWDM/GPON.

La figure 3.22 présente le diagramme de l’œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la fibre optique de transmission. Nous remarquons l’ouverture de l’œil pour une longueur de fibre de 10 km. Par contre, pour une longueur de la fibre optique de 80 km l’œil est fermé. Cela signifie qu’à partir de cette valeur la qualité de transmission dans le réseau CWDM/GPON est dégradée et que cette valeur présente une valeur critique dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON.

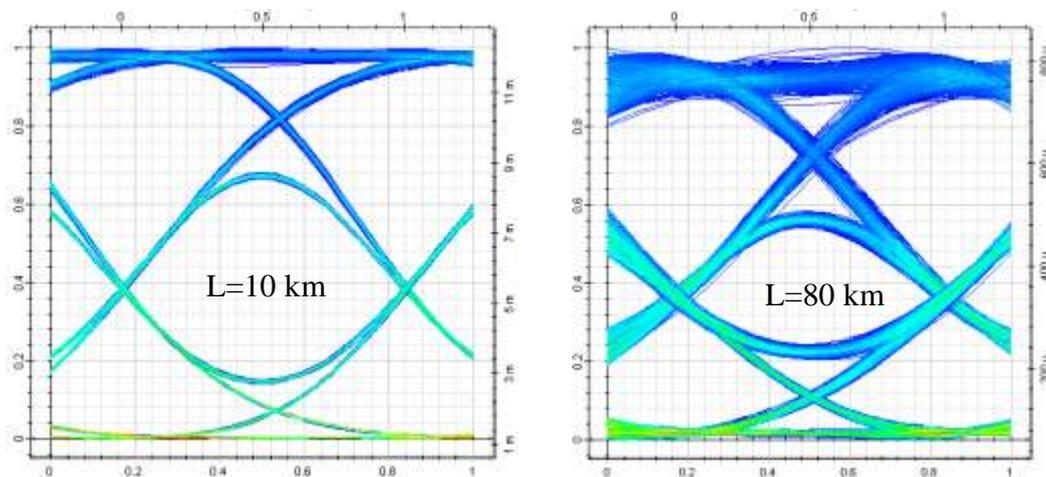


Figure 3.22 : Diagramme de l’œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de transmission.

3.6.2. Influence de la longueur de la fibre optique de distribution

Le deuxième composant à prendre en compte dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON est la fibre optique de distribution. Afin de voir leur influence sur le facteur de qualité et donc sur les performances du réseau CWDM/GPON, nous avons tracé l'évolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de cette fibre optique (voir figure 3.23).

Comme prévu, nous remarquons que le facteur de qualité diminué linéairement en fonction de la longueur de la fibre optique de distribution. Cette évolution est similaire pour les deux liaisons du réseau CWDM/GPON (liaisons montante et descendante). Il faut prendre en considération la longueur de ce fibre optique afin d'obtenir des meilleures performances et donc une meilleur qualité de signal. Nous concluons que la fibre optique de distribution joue un rôle principal dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON.

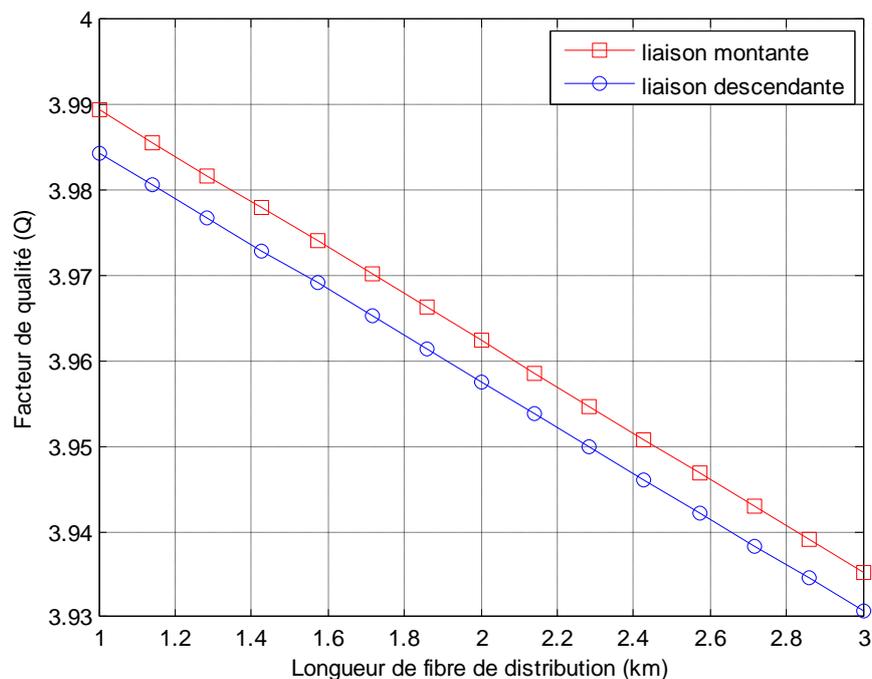


Figure 3.23 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de distribution pour le réseau CWDM/GPON.

Pour montré le rôle de cette fibre optique dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON, nous présentons dans la figure 3.24 le diagramme de l'œil du réseau pour deux valeurs de longueur de cette fibre optique. Nous remarquons que l'œil du réseau est

ouvert pour une longueur de 1 km et fermé pour une longueur de 50 km. Par conséquent, dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON la longueur de la fibre optique de distribution doit être inférieure de 50 km pour obtenir des meilleures performances et donc une meilleure qualité de transmission.

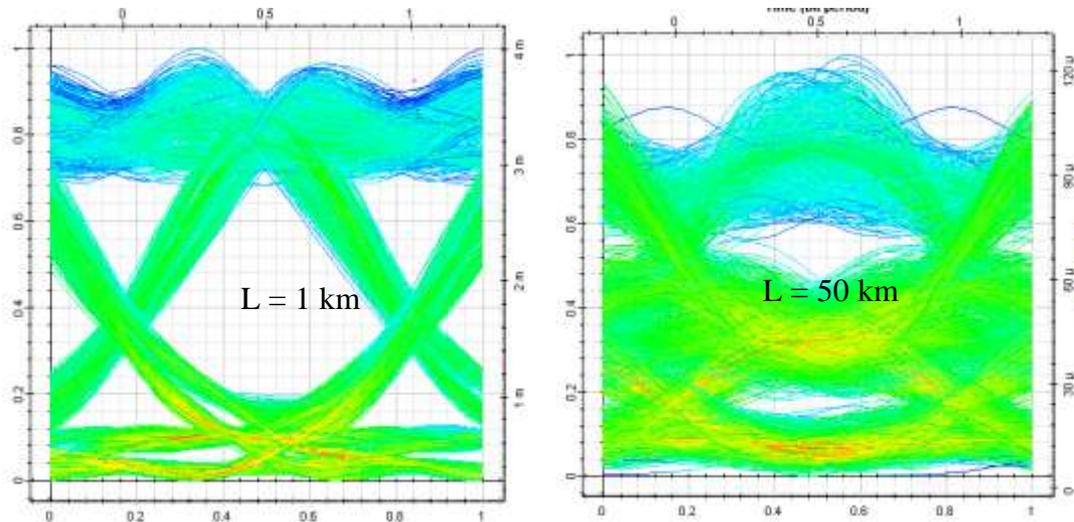


Figure 3.24 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la longueur de fibre optique de distribution.

3.6.3. Influence de débit binaire

La figure 3.25 présente Evolution du facteur de qualité en fonction du débit binaire de transmission pour le réseau CWDM/GPON, nous remarquons que l'effet de ce paramètre plus fort dans la plage de 1GB a 5GB ou nous allons avoir que le facteur de qualité diminuer plu rapide pour chaque valeur de débit plus grand , à partir de 5 GB de plus le facteur de qualité toujours presque constant, alors le débit binaire influe sur les performance du réseaux et donc sur la facteur de qualité.

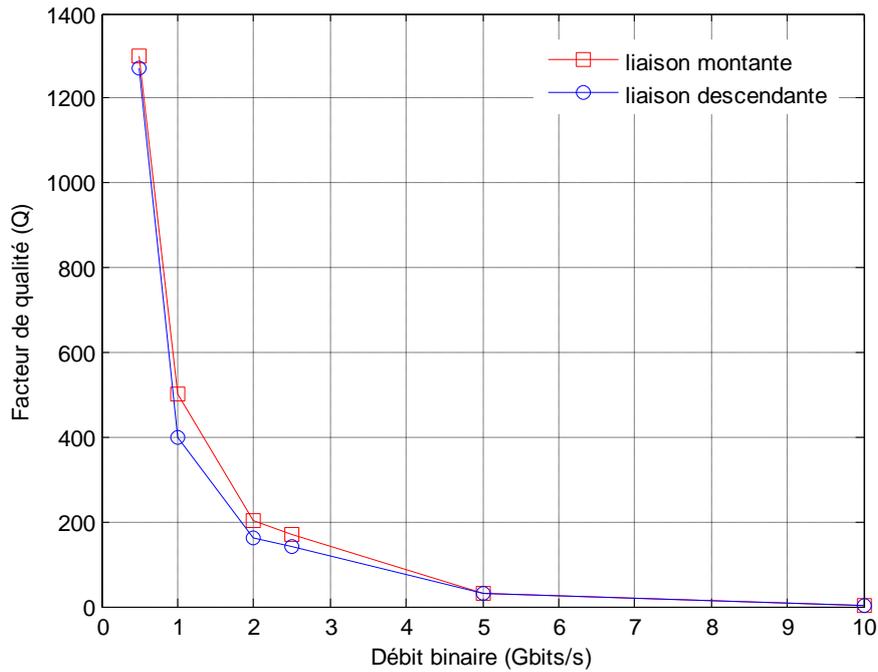


Figure 3.25 : Evolution du facteur de qualité en fonction du débit binaire de transmission pour le réseau CWDM/GPON.

Pour avoir mieux cette influence nous présentons le diagramme de l’œil dans la figure 3.26 qui présente L’ouverture de l’œil pour 1 GB/s et 5 GB/s. Nous remarquons que l’œil pour un débit de 1 GB/s est plus ouvert que l’œil pour un débit de 5 GB/s. nous concluons à partir de cette discussion que la bonne qualité effectuer pour un débit plus petit.

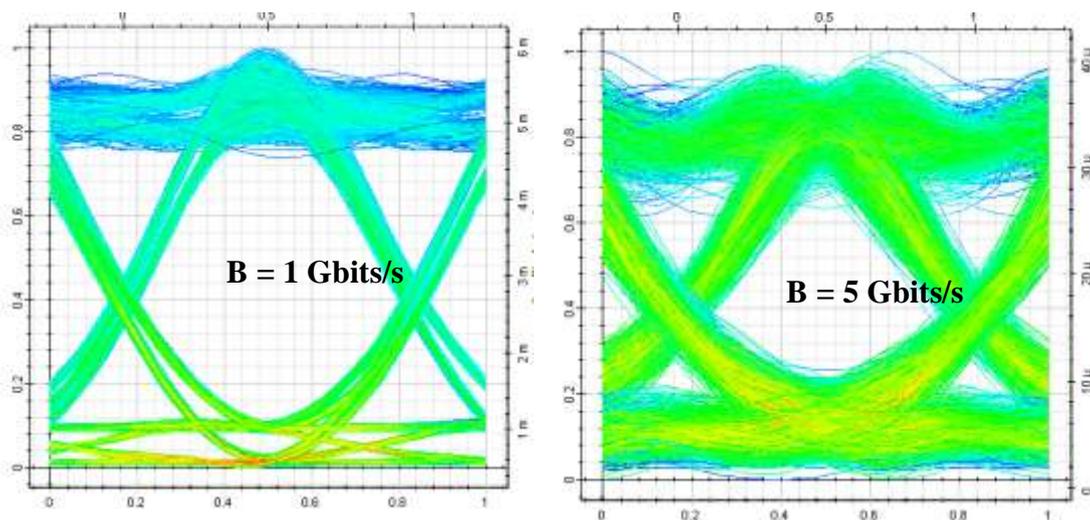


Figure 3.26 : Diagramme de l’œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de débit binaire de transmission.

3.6.4. Influence du format de modulation

Pour voir le meilleur format de modulation qui permet d'obtenir des meilleures performances du réseau CWDM/GPON, nous présentons dans la figure 3.27 le diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON utilisant deux formats de modulation (NRZ et RZ). Nous remarquons l'ouverture de l'œil du réseau CWDM/GPON utilisant le format de modulation RZ par rapport à celle utilisant le format de modulation NRZ.

Le facteur de qualité pour le réseau CWDM/GPON utilisant le format de modulation RZ est plus élevé. Nous concluons que le format de modulation RZ donne des meilleures performances et bien adapté pour la réalisation et le dimensionnement des réseaux optiques CWDM/GPON.

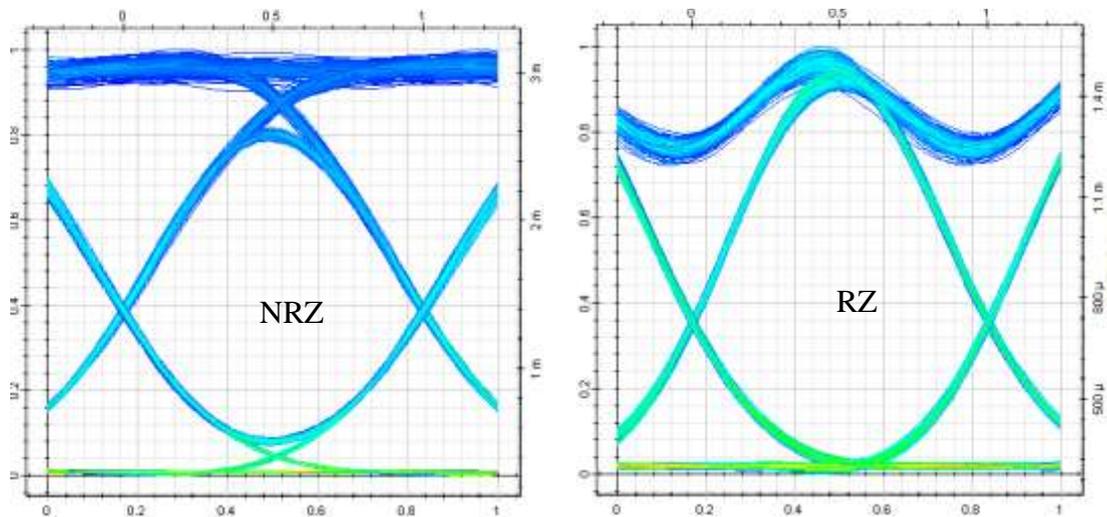


Figure 3.27 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON utilisant deux formats de modulation (NRZ et RZ).

3.6.5. Influence de l'atténuation de la fibre optique de transmission

Comme pour le réseau précédent, l'atténuation de la fibre optique de transmission est un paramètre physique très important qui doit être pris en compte dans le dimensionnement du réseau CWDM/GPON. Pour montrer cette importance, nous avons tracé sur la figure 3.28 l'évolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de transmission.

Nous remarquons que le facteur de qualité reste constant pour une atténuation varié entre 0 dbm et 0.6 dB/km est donc dans cet intervalle, l'atténuation n'influe pas sur les performances du réseau CWDM/GPON et cela est similaire pour les deux liaisons du réseau (liaisons montante et descendante). En effet, dans cet intervalle l'atténuation de la fibre optique de transmission est amplifiée par l'amplificateur optique. Au-delà de 0.6 dB/km le facteur de qualité diminue considérablement et la qualité de transmission est dégradée.

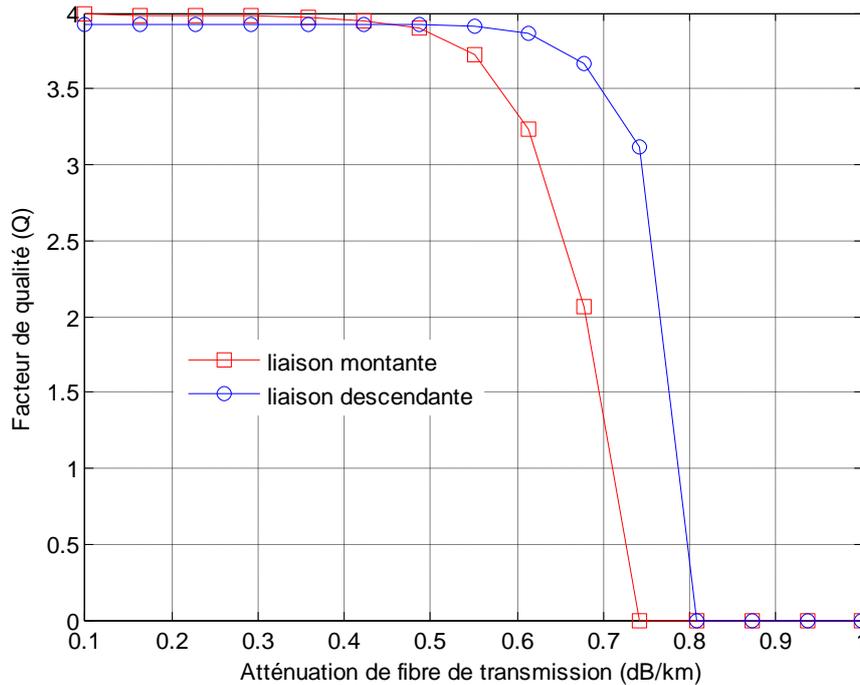


Figure 3.28 : Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de distribution pour le réseau CWDM/GPON.

La figure 3.29 présente le diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission. Ce diagramme montre clairement que l'œil est fermé pour une atténuation de 0.7 dB/km et donc pour cette valeur d'atténuation, la qualité de transmission est dégradée. Pour obtenir une bonne qualité de transmission, l'atténuation de la fibre optique de transmission doit être inférieure de cette valeur. Par conséquent, pour dimensionner le réseau CWDM/GPON la fibre optique de transmission doit être choisi de manière à voir une atténuation inférieure de 0.7 dB/km.

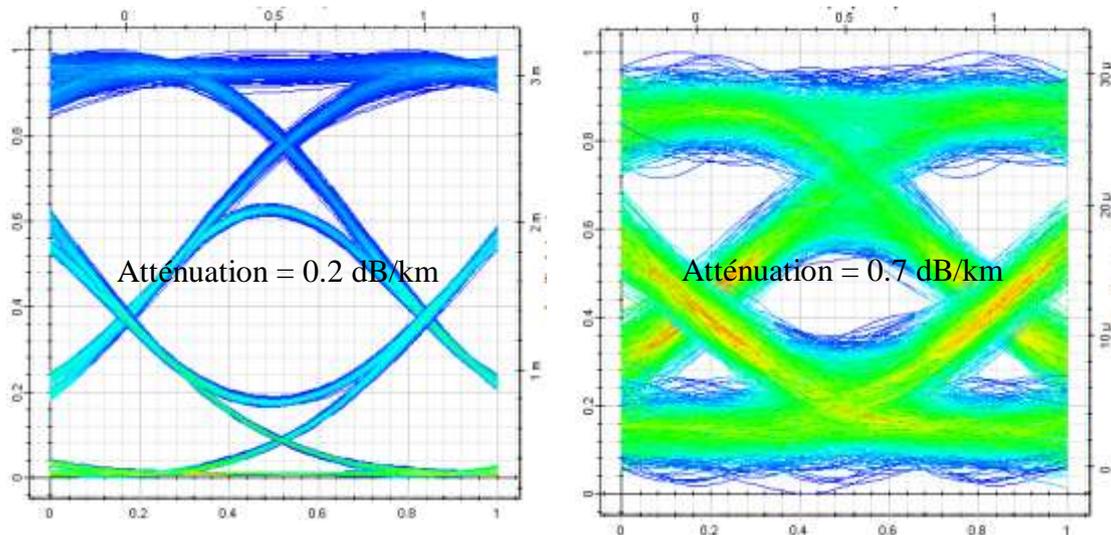


Figure 3.29 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission.

3.6.6. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission

La figure 3.30 représente l'évolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission. Nous remarquons que le facteur de qualité est constant pour une dispersion chromatique variée entre 0 et 5 ps/nm.km. Cependant, au-delà de la valeur 5 ps/nm.km le facteur de qualité diminué considérablement quand la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission augmente. En effet, ces résultats sont similaire que ceux du réseau WDM/GPON.

En conclusion nous notons que similairement au réseau optique WDM/GPON, la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission influé sur les performances du réseau CWDM/GPON et ce paramètre physique a la possibilité de dimensionner ce réseau quelles que soient les valeurs de sa longueur. De plus, le choix de ce paramètre est beaucoup plus flexible que celui de l'atténuation.

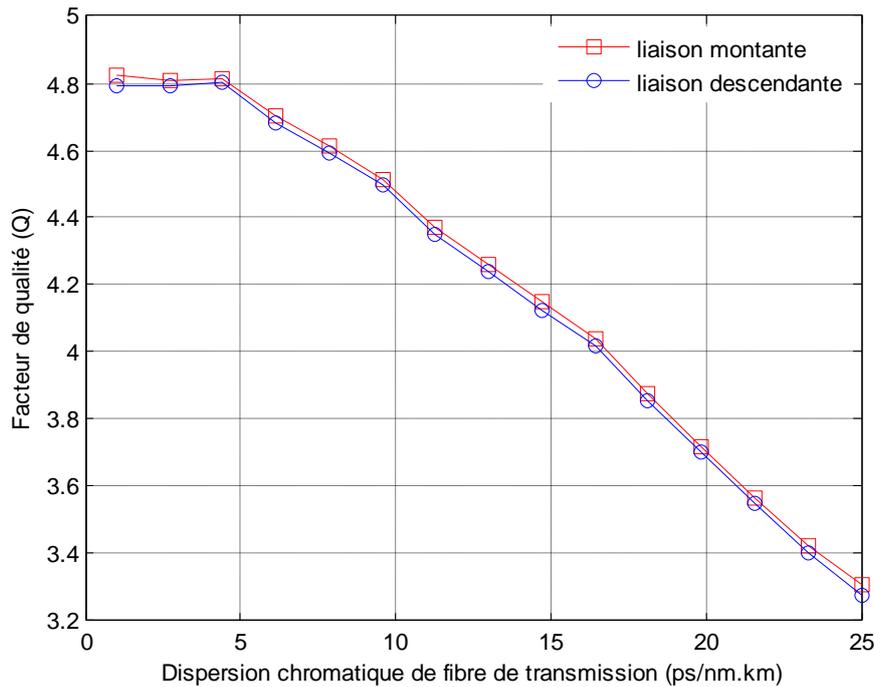


Figure 3.30 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission pour le réseau CWDM/GPON.

Nous remarquons sur la figure 3.31 que la présence de dispersion chromatique se traduit par la fermeture du diagramme de l'œil. Dans ce cas, la forme des signaux optiques reçus, est largement modifiée. Nous concluons que quelle que soit la longueur de la fibre optique de transmission utilisée, les performances obtenues avec une dispersion chromatique de 20 ps/nm.km sont moins bonnes que celles obtenues avec une dispersion chromatique de 5 ps/nm.km. Cela est dû à l'importance de l'élargissement des impulsions optiques qui augmentent avec la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission.

Afin d'améliorer les performances du réseau optique CWDM/GPON et de bien dimensionner ce réseau, nous considérons une longueur de fibre optique de transmission plus importante, cette fois de 17 ps/nm.km et une longueur d'onde de 1550 nm.

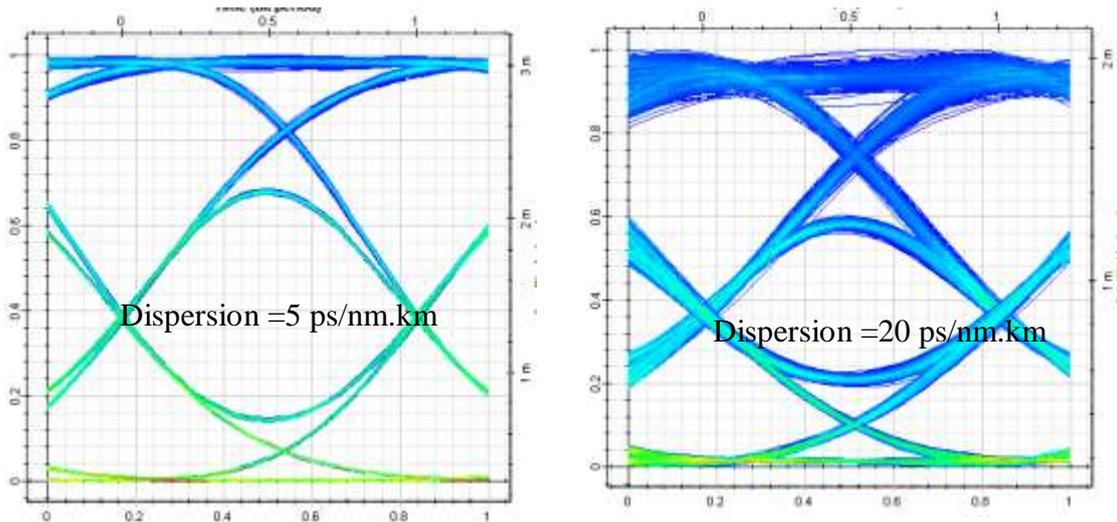


Figure 3.31 : Diagramme de l'œil du réseau CWDM/GPON pour deux valeurs de la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission.

3.7. Etude comparative entre les réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON

A partir des résultats présentés précédents, nous faisons une comparaison entre les deux réseaux optiques d'accès (WDM/GPON et CWDM/GPON) sur les différents paramètres étudiés. Pour cela, le tableau 3.2 présente les valeurs optimales des longueurs des fibres optiques de transmission et de distribution, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission et le débit binaire de transmission obtenues pour les deux types des réseaux optiques d'accès. Ces valeurs sont choisies pour un facteur de qualité de 3.4.

Nous remarquons que la longueur de la fibre optique de transmission égale à 70 km et 75 km pour les réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON respectivement. Les valeurs optimales de l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission est presque les mêmes pour les deux types des réseaux optiques d'accès. Nous concluons que les deux réseaux (WDM/GPON et CWDM/GPON) ont les mêmes paramètres optimaux et la technique de multiplexage WDM n'a aucune influence sur les performances des réseaux optiques WDM/GPON et CWDM/GPON. Par conséquent, les deux techniques de multiplexage en longueur d'onde WDM permettent d'obtenir des meilleures performances et peuvent être utilisée pour dimensionner le réseau WDM/GPON.

	Réseau WDM/GPON	Réseau CWDM/GPON
Langueur de la fibre de transmission	75 km	70 km
Langueur de la fibre de distribution	2 km	2.6 km
Dispersion chromatique	20 ps/nm.km	22 ps/nm.km
Débit binaire	10 Gbits/s	10 Gbits/s
Atténuation	0.6 dB/km	0.65 dB/km
Format de modulation	RZ	RZ

Tableau 3.2 : Les valeurs optimales des différents paramètres des réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON

3.8. Conclusion

Le GPON est un réseau d'accès optique plus utilisé dans les réseaux de transmission de donnée à très haut débit. Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les réseaux optiques WDM/GPON. Pour ce faire nous avons étudié et évalué les performances du réseau GPON utilisant deux techniques de multiplexage WDM et CWDM. Cette étude nous a permis de déterminer des paramètres optimaux qui représentent la dynamique d'utilisation des réseaux optiques d'accès WDM/GPON dans les conditions de notre expérimentation. Nous avons étudié la possibilité d'envoyer plusieurs canaux avec la technique WDM. Ceci nécessite un bon choix des paramètres de multiplexage à savoir l'espacement entre canaux et la fenêtre des longueurs d'ondes de transmission mais également ceux de multiplexeur et démultiplexeur comme la bande passante et la longueur d'onde.

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel OptiSystem ont permis de déterminer les valeurs optimums de la langueur des fibres optiques de transmission et de distribution pour les deux réseaux optiques considérés. L'évolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre optique de distribution à permis de conclure sur le choix des longueurs des fibres. Pour prétendre à de bonnes performances, il est nécessaire de travailler avec des fibres de longueurs proches d'une centaine de mètres. Cependant, pour la fibre optique de transmission

il est nécessaire de travailler avec des fibres de longueurs proches d'une centaine de kilomètres.

La contribution majeure dans ce chapitre est d'avoir proposé une technique de multiplexage WDM permettant d'améliorer les performances des réseaux GPON. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous avons présenté une étude comparative entre les deux types de réseaux. Ces résultats ont permis de conclure que la technique de multiplexage WDM n'influe pas sur les performances du réseau optique d'accès GPON et donc les deux techniques de multiplexage conduisent à un bon dimensionnement du réseau GPON.

Conclusion Générale

De nos jours, le développement de la fibre optique conduit à l'invention des réseaux optiques d'accès, et ces derniers, ont aussi évolués vers de nombreuses générations. Parmi ces réseaux, les réseaux optiques passifs GPON sont plus compétents pour répondre à la demande d'énormes bandes passantes et de technologies à haute débit. L'objet du travail décrit dans ce mémoire de fin d'étude de master concerne la problématique de dimensionnement du réseau optique d'accès GPON. Le support essentiel de transmission considéré étant la fibre optique, il s'est donc avéré nécessaire de dimensionner ses caractéristiques physiques afin de se focaliser ensuite sur les avantages et inconvénients liés à son fonctionnement. Pour ces besoins de dimensionnement, il est également nécessaire de s'intéresser aux différentes techniques d'accès multiples WDM exploitées dans les communications optiques.

Notre étude se focalise sur la technique d'accès multiples par répartition en longueur d'onde WDM. Cependant, cette technique présente plusieurs variantes, les différents utilisateurs qui émettent simultanément leurs données sont multiplexés les uns avec les autres. Ce multiplexage entre les différents utilisateurs est caractérisé par un espacement entre les canaux. De ce fait, il est nécessaire d'étudier les techniques WDM permettant d'améliorer les performances des réseaux GPON. Ce type de travail a déjà fait l'objet de plusieurs études dans la littérature, mais l'étude s'est limitée à l'utilisation d'un seul technique WDM. Les performances obtenues ont été encourageants mais limitées, à cause du choix du nombre d'utilisateurs et de la longueur d'onde. Nous proposons d'aller plus loin et d'améliorer ces performances en étudiant d'autres types de technique de multiplexage WDM. A cet effet, nous avons présenté les caractéristiques des techniques de multiplexage CWDM. Ces techniques permettent d'une part, d'utiliser un nombre faible de canaux de transmission comparativement à la technique WDM, d'avoir un espacement entre canaux faible. L'un des objectifs de ce travail est également d'étudier les performances des réseaux WDM/GPON. De ce fait nous avons commencé par évaluer les performances obtenues avec les différents paramètres du réseau WDM/GPON afin de dimensionner ce réseau optique d'accès. Ensuite,

nous avons évalué les performances du réseau CWDM/GPON afin d'établir une comparaison avec les performances obtenues avec réseau WDM/GPON.

Pour bien dimensionner les réseaux optiques WDM/GPON et CWDM/GPON nous avons évalué les performances de ces réseaux pour les deux sens de trafic montant et descendant à l'aide du logiciel OptiSystem. Ces performances ont été étudiées en fonction du nombre d'utilisateurs, du format de modulation, des longueurs des fibres optiques de transmission et de distribution et l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission. Ce travail met en évidence l'intérêt des réseaux optiques passifs GPON et les résultats obtenus ont permis de déterminer les meilleures configurations et les conditions qui permettent au réseau de fonctionner avec une bonne qualité de transmission.

Après comparaison des performances des deux réseaux optiques (WDM/GPON et CWDM/GPON) sur différents paramètres, nous remarquons que la technique de multiplexage WDM permet un gain significatif de performance par rapport aux réseaux étudiés. Les simulations effectuées mettent en avant les avantages des fibres optiques de transmission et de distribution avec notamment sa capacité à transmettre l'information avec très peu d'atténuation et dispersion chromatique. La simulation effectuée a permis de conclure à la capacité de la fibre optique de transmission à transmettre simultanément plusieurs signaux distincts, pour des besoins de mise en œuvre du multiservices. Au final, les résultats obtenus dans ce mémoire de fin d'étude montrent que la technique WDM peut être utilisée de manière efficace, pour permettre l'accès multiples à plusieurs utilisateurs dans une fibre optique ou encore l'utilisation de différents services. Cette étude confirme qu'avec son débit très important, le WDM constitue un technique de multiplexage très efficace pour le multiservices dans les applications de transport et pour le dimensionnement du réseau optique d'accès GPON.

Références Bibliographiques

- [1] 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 (NG-PON) à 10 Gbit/s », thèse de doctorat, université européenne de Bretagne, janvier 2012.
- [2] BILLAMI Hanane, BENDAHMANE Raouida, « Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s», mémoire de Master, université Abou-bekrbelkaid- Tlemcen, juin 2013.
- [3] Sarah BENAMEUR, « La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission tique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable », thèse doctorat, université Djilali liabes, sidi belabbes, Juin 2015.
- [4] Max Fréjus O. SANYA, « Déploiement de réseaux optiques d'accès NGPON dans les métropoles de pays en développement : proposition de nouvelles techniques d'implémentation de l'OFDM », thèse doctorat, Université de limoges, 22 Octobre 2015.
- [5] Gaël Simon, « Introduction des technologies de multiplexage en longueur d'onde dense dans les futures générations de réseaux d'accès optique », thèse doctorat, école de l'Institut Mines-Télécom, Décembre 2016.
- [6] Charlotte Roger, Julio Orozco et Philippe Nige, «Evaluation des Performances dans une Architecture Réseau Optique Transparente avec Accès PON », Revue France Telecom Recherche & Développement 2, av. Pierre Marzin 22307 Lannion, 16 janvier 2008.
- [7] Bedadda Ayman, Guediri Lazhar, « Etude et analyse des performances d'un réseau optique passif large bande bidirectionnel (BPON) », Mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, juin 2018.
- [8] Quoc Thai NGUYEN, «Émetteurs achromatiques pour le réseau d'accès optique haut débit multiplexé en longueurs d'onde », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Sciences Appliquées et de Technologies, 21 Janvier 2011.
- [9] M. Hajduczenia et al., « Next generation PON systems – Current Status», in proc. ICTON2009, paper Tu.B5.2, Medeira (Portugal, June 2009).

- [10] Juba Hamadou, Fouad Hilem, « Etude et simulation d'un réseau FTTH basé sur la norme G-PON », mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2020.
- [11] MEGHIT Ahmed, « Mise en œuvre d'un réseau d'accès passif GPON par simulateur OptiSystem », Mémoire de Master, Université Ziane Achour de Djelfa, juillet 2019.
- [12] Fabienne Saliou, « Etude des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée », thèse de doctorat, Télécom paris tech, 14 Juin 2010.
- [13] R. BOUDAOU, « Contribution à l'étude des performances et limitations d'une liaison CDMA optique haut débit », mémoire de Magister, Université Aboubakar Belkaid - TLEMEN 2010.
- [14] BERRAHAL Belabbas, « Etude et optimisation des caractéristiques optique photonique d'un amplificateur EYDWA pour le réseau optique passif GPON », thèse de doctorat, Université Djillali Liabès de Sidi Bel-Abbès, 2020.
- [15] BRUYERE Frank, « Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », Revue des Télécommunications d'Alcatel, pp. 27-32, 2002.
- [16] A. boukhalfa, F. bounecissa, « Code MD pour le système de communication optique SACOCDMA », mémoire master, université Dr. Moulay tahar de saida, 2016.
- [17] Boulila Rachid et Haouche Salim, « étude des différents multiplexages dans les liaisons par fibre optique », mémoire de master, Université Saas Dahleb de Blida, 2012.
- [18] Bakonirina Heliniaina Mialisoa, « modélisation des réseaux optiques WDM et application des heuristiques aux routages optiques », mémoire de magister, université d'Antananarivo, 2009.
- [19] BERRAHAL Belabbas, « Etude et optimisation des caractéristiques optique photonique d'un amplificateur EYDWA pour le réseau optique passif GPON », thèse de doctorat, Université Djillali Liabès de Sidi Bel-Abbès, 2020
- [20] Touaoula Hachem, « Etude comparative de quelques filtres chromatiques : Application à la faisabilité de sole à 1.55 μm en optique intégrée », mémoire de magister, université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2005.
- [21] Jérôme LAURENT, « Communications optiques a très haut débit », mémoire de magister, Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris Département STIC, 3 décembre 2004.

Résumé

Les réseaux d'accès optiques connaissent actuellement une évolution très rapide qui accompagne le développement de l'Internet et des services de télécommunication dans le monde entier. L'objectif de ce projet de fin d'étude de master porte sur l'étude des problèmes de conception et de planification d'un réseau optique passif GPON, aussi appelé réseau d'accès. Ce réseau utilise la technique de multiplexage en longueurs d'ondes pour la transmission des données à très haut débit et des multiplexeurs et démultiplexeur optiques, il s'agit d'un réseau WDM/GPON. Dans une première partie du projet de mémoire, nous nous intéressons au problème de conception d'un réseau optique WDM/GPON. Cela est motivé par la croissance de la demande en bande passante et par la nature dynamique du trafic. Pour une simulation en temps réel, nous utilisons le logiciel OptiSystem pour étudier les performances des réseaux considérés. Ces performances (facteur de qualité et le diagramme de l'œil) sont analysées en fonction des paramètres des réseaux: la longueur des fibres optiques de transmission et de distribution, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique de transmission, le débit binaire et le format de modulation. Ces paramètres de réseaux doivent disposer d'outils de configuration plus performants et plus flexibles pour gérer au mieux la complexité des connexions entre les clients et tenir compte de la nature évolutive du trafic. Les résultats obtenus montrent que ces paramètres influent sur les performances des réseaux WDM/GPON et CWDM/GPON et donc sur le signal transmis. En effet, nous avons démontré qu'il est possible de choisir les longueurs des fibres optiques constituant les réseaux tout en satisfaisant la demande de trafic et en gardant le coût global d'allocation de ressources de réseau inchangé par rapport à l'architecture classique. Dans nos calculs, les résultats démontrent que le réseau GPON présente les mêmes performances pour les deux types de technique de multiplexages WDM et CWDM.

Mots clés : Réseau optique d'accès GPON, WDM, CWDM, OptiSystem, fibre optique, longueur d'onde.

Abstract

Optical access networks are currently undergoing very rapid development, accompanying the development of the Internet and telecommunications services around the world. The main objective of this master project is to study the design and planning problems of a GPON passive optical network, also known as an optical access network. Such optical network uses wavelength multiplexing technique for the transmission of data at very high speed and optical multiplexers and demultiplexers, it is known as WDM/GPON optical network. In the first part of the present project, we are interested in the design problem of a WDM / GPON optical network. This is driven by the growing demand for bandwidth and the dynamic nature of the traffic. For a real-time simulation, OptiSystem software is used to study the performance of the proposed optical networks. These performances (quality factor and eye diagram) are analyzed according to the parameters of the networks: the length of the transmission and distribution optical fibers, the attenuation and chromatic dispersion of the transmission optical fiber, the bit rate binary and modulation format. These parameters must have more powerful and flexible configuration tools to better manage the complexity of the connections between the clients and to take into account the evolving nature of the traffic. The obtained results show that these parameters have an impact on the performance of WDM/GPON and CWDM/GPON optical networks and therefore on the transmitted signal. Indeed, we have demonstrated that it is possible to choose the lengths of the optical fibers constituting the networks while satisfying the traffic demand and keeping the overall cost of allocation of network resources unchanged compared to the conventional architecture. In our calculations, the results show that the GPON network has the same performance for both types of WDM and CWDM multiplexing techniques.

Keywords: Optical access networks GPON, WDM, CWDM, OptiSystem, optical fiber, wavelength.