

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département De Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme
de Master en Télécommunications**

Option : Systèmes de Télécommunication

Thème :

**CONTRIBUTION DU MULTIPLEXAGE
EN LONGUEUR D'ONDE WDM DANS LES
RESEAUX D'ACCES OPTIQUES**

Présenté par :

**- Amrouci Habib Allah
-Boudjellab Wassim Ryan**

Promotrice : N.Boutaleb

Promotion : 2021/2022

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département De Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme
de Master en Télécommunications**

Option : Systèmes de Télécommunication

Thème :

**CONTRIBUTION DU MULTIPLEXAGE
EN LONGUEUR D'ONDE WDM DANS LES
RESEAUX D'ACCES OPTIQUES**

Présenté par :

**- Amrouci Habib Allah
-Boudjellab Wassim Ryan**

Promotrice : N.Boutaleb

Promotion : 2021/2022

Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier dieu tout - puissant,
de nous avoir Donne la force à Travers nos choix de
réaliser Ce Modest travail*

*Nous tenons à remercier **madame Boutaleb** d'avoir
acceptée d'assuré la direction du présent mémoire et qu'
nous a accompagné et guidé tout au long de ce travail.*

*On la remercier sincèrement pour ses conseils précieux, sa
présence au moment de doute, son professionnalisme, ses
instructions claires et ses encouragements.*

*Pour tout cela, nous tenons à lui exprimer notre vive
reconnaissance*

*Nos plus vits remerciements vont aux examinateurs qui
ont accepté de lire ET de corriger notre travail à la
Lumière de leurs compétences notables dans Ce domaine.*

*Enfin, nous remercions tous ceux ou celles qui ont agi dans
l'ombre ET participe discrètement à l'accomplissement de
Ce travail.*

DIDICACE

Ont dédié ce modeste travail particulièrement à nos mes chers parents qui ont consacré leur précieux temps et leur patience attentive se souciant à nous cadrer dans nos tâches combien diverses. Leur tendresse et d'affection nous a été un énorme soutien moral pour qu'on puisse arriver à ce stade.

A nos mères spécialement qui nous encouragé et soutenu pendant tout ce temps qui sans elles, on n'aura pas réussi.

Qu'elles trouvent ici notre amour et notre affection.

A nos pères, qui ont toujours été à notre disposition pour nous et prêt à nous aider. On l'on confirme notre amour et notre profond respect.

A mes chers sœurs et frères

A mes amis

A tous ceux qu'on a connus au cours de notre cursus.

Sans oublier tous les professeurs de l'enseignement supérieur.

Wassim Ryan et Habib Allah

ملخص

تتطلب عدة تكنولوجيات استخدام شبكات الالياف البصرية الى X (FTTx) و TDM-PON والتي تعد الأكثر طلبا لتزويد العملاء بالانترنت بتدفق عالي السرعة وبثمن زهيد، الا انه مع تطور تقنيات جديدة مثل انترنت الأشياء والحوسبة السحابية، فرض استعمال تقنية جديدة لرفع من سرعة التدفق.

تتيح تقنية WDM التي تقوم بإرسال المعلومات لعدة موجات إمكانية زيادة قدرة شبكة النقل البصرية. الفكرة هي استغلال هذه التقنية لزيادة تدفق شبكات PON.

الكلمات المفتاحية: الألياف البصرية، WDM، FTTX، PON، TDM PON.

Résumé

Plusieurs technologies se distinguent pour le déploiement des réseaux d'accès FTTX, et le PON (Passive Optical Network) est la technologie la plus demandée par les fournisseurs d'accès à Internet car elle offre des débits élevés et sa mise en œuvre est simple et peu coûteuse. Or, avec le développement de l'Internet des Objets (IoT : Internet of Things) et la virtualisation des ressources informatiques, le choix de nouvelles technologies s'impose. La technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) permet d'atteindre des débits très élevés et est utilisée depuis longtemps dans les réseaux de transmission optique. L'idée est d'utiliser cette technologie pour améliorer les performances du réseau d'accès.

Mots clés : fibre optique, FTTX, WDM.

Abstract

Several technologies stand out for the deployment of FTTX access networks, and PON (Passive Optical Network) is the technology most requested by Internet service providers because it offers high speeds and its implementation is simple and inexpensive. However, with the development of the Internet of Things (IoT) and the virtualization of computer resources, the choice of new technologies is essential. WDM (Wavelength Division Multiplexing) technology achieves very high speeds and has long been used in optical transmission networks. The idea is to use this technology to improve the performance of the access network.

Keywords: optical fibers, FTTX, WDM.

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
Chapitre I : Réseau PON TDM	
I.1 Introduction	4
I.2 Technologie PON (Point à Multipoint/P2M)	4
I.2.1 Présentation d'un réseau PON	4
I.2.2 Avantage PON.....	4
I.3 Principaux composants d'un réseau TDM-PON	5
I.3.1 OLT	5
I.3.1.1 Composant constituant un OLT.....	5
I.3.2 Bruits dans la photodiode PIN	8
I.3.3 ONU (Optical Network Unit)	10
I.3.4 Coupleur optique	10
I.4 Fibre optique	10
I.4.1 Définition	10
I.4.2 Structure de la fibre optique	10
I.4.3 Fibre monomode	11
I.4.4 Caractéristiques de Fibre optique	12
I.4.4.1 Effets linéaires	12
I.4.4.2 Effet non linéaire	12
I.4.5 Application de la fibre	12

I.5 Bilan de liaison	13
I.6 La technologie TDM-PON	14
I.6.1 Principe de fonctionnement	14
I.6.2 différents types de TDM-PON	15
I.6.3 Technologies d'accès dans les réseaux optiques	15
I.6.4 Comparaison des standards d'un réseau PON	17
I.6.5 FTTH (Fiber to the Home)	18
I.6.6 FTTB (Fiber to the Building)	18
I.6.7 FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet)	18
I.7 Limitations du TDM dans le PON	19
I.8 Conclusion	19

Chapitre II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.1 Introduction	21
II.2 Définition WDM	21
II.3 Différents types de multiplexage en longueur d'onde	22
II.3.1 CWDM	23
II.3.1.1 Applications de CWDM	23
II.3.1.2 développement des capacités	23
II.3.1.3 Augmentation du débit par canal	23
II.3.1.4 Augmentation du nombre de canaux	23
II.3.2 WDM	23

II.3.2.1 Avantages	24
II.4 technologie WDM PON	24
II.4.1 Présentation	24
II.4.2 Structure générale d'un système WDM PON	24
II.4.3 PHASARS (AWG) Arrayed Waveguide Grating	24
II.4.4 Principe générale de WDM PON	25
II.4.5 Les type d'architectures WDM-PON	26
II.4.5.1 L'architecture « diffusion puis sélection »	26
II.4.5.1.1 Avantage	26
II.4.5.1.2 Inconvénients	26
II.4.5.2 L'architecture à base démultiplexage spatial	26
II.4.5.2.1 Avantages WDM PON avec démultiplexage spatial	27
II.4.5.2.2 Inconvénients WDM PON avec démultiplexages spatial.	27
II.5 Comparaison entre le TDM et WDM	28
II.6 Conclusion.....	30

Chapitre III : travaux de simulation

III.1 Introduction	32
III.2 Simulateur OPTISYSTEM	32
III.2.1 CRITERES D'EVALUATION	34
III.2.2 Taux d'Erreur Binaire TEB.....	34
III.2.3 Diagramme de l'œil.....	34

III.3 Travaux de simulations	36
III.3.1 Simulation d'un système TDM-PON.....	36
III.3.1.1 Présentation.....	36
III.3.1.2 Architecture	36
III.3.1.3 Paramètres des composants.....	38
III.3.1.4. Résultats.....	38
III.3.1.5. Analyses et Interprétations des résultats	40
III.3.2. Simulation d'un système CWDM-PON.....	40
III.3.2.1 Présentation.....	40
III.3.2.2 Architecture	40
III. 3.2.3 Paramètres des composants.....	41
III.3.2.4. Résultats.....	42
III.3.2.5 Analyses et Interprétations des résultats	43
III.3.3 Simulation des systèmes WDM PON.....	43
II.3.3.1 Présentation.....	43
III.3.3.2 Topologie	43
III. 3.3.3 Paramètres des composants.....	44
III.3.3.4 Résultat de la simulation.....	45
III.3.3.5 Analyses et Interprétations des résultats.....	45
III.4 Comparaison entre TDM PON, CWDM PON et WDM PON.....	46
III.5 Conclusion.....	48

Conclusion générale	47
Bibliographie.....	49

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : Réseau optique passif PON.....	5
Figure I.2 Terminal de ligne optique OLT.....	7
Figure I.3 : Structure d'une fibre optique.....	11
Figure I.4 : Fibre monomode.....	11
Figure I.5 : Principe de fonction de la technologie PON TDM.....	15
Figure I.6 : Distribution de fibre à la maison.....	18
Figure I.7 : Distribution de fibre jusqu'au bâtiment.....	18
Figure I.8 : Distribution de Fibre jusqu'au cabinet.....	19
Figure II.1 : Schéma de transmission WDM.....	21
Figure II .2 : Structure générale d'un système WDM PON.....	24
Figure II.3: PHASARS (AWG) Arrayed Waveguide Grating.....	25
Figure II.4 : L'architecture « diffusion puis sélection ».....	26
Figure II.5 : L'architecture a base démultiplexage spatial.....	27
Figure II.6: comparaison entre WDM et TDM.....	29
FigureIII.1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.....	33
Figure III.2. Interprétation des diagrammes de l'œil.....	35
Figure III. 3: Architecture d'une liaison PON TDM unidirectionnelle.....	37

Figure III. 4: Variation du log(BER).....	39
Figure III. 5: Système PON CWDM unidirectionnelle.....	41
Figure III.6 : Variation de log(BER).....	42
Figure III.7 : Système WDM PON unidirectionnelle.....	44
Figure III.8: Variation du log(BER) en fonction de la distance	45

Liste des tableaux

Tableau I.1 répartition des puissances optiques au long de la liaison.....	14
Tableau I.2 : Comparaison des standards PON.....	17
Tableau II.1 : Différents types de multiplexage en longueur d'onde.....	22
Tableau II.2 : Comparaison entre WDM et TDM.....	28
Tableau III. 1: Paramètres des composants optiques de system TDM PON.....	38
Tableau III.2: Paramètres des composants optiques du système CWDM PON.....	41
Tableau III. 3: Paramètres des composants optiques du système WDM PON.....	44
Tableau III.4 : Comparaison entre TDM PON, CWDM PON et WDM PON.....	46

GLOSSAIRE

A

APON: ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

APD: Avalanche Photodiode.

AWG: Arrayed Waveguide Grating.

B

BER: Bit Error Rate.

C

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing.

E

EPON: Ethernet Passive Optical Network.

F

FTTX: Fiber To The

FTTH: Fiber To The Home.

FTTB: Fiber To The Building.

FTTC: Fiber To The Cabinet.

G

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network.

I

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ITU-T : International Télécommunications Union.

L

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

O

OLT: Optical Line Termination.

ONT: Optical Network Termination.

ONU: Optical Network Unit.

P

PON: Passive Optical Network.

PIN: Positive Intrinsic Negative photodiode.

T

TDM: Time Division Multiplexing.

TEB: Taux D'erreur Binaire.

U

UIT : Union International de Télécommunication.

UDWDM: ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing.

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

WDM PON: Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network.

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux d'accès DSL (Digital subscriber line) déployés atteignent leurs limites en termes de débit et de portée. Cependant, le développement de nouveaux services de télécommunication signifie une forte augmentation de la demande en bande passante pour les utilisateurs. Ainsi, depuis plusieurs années, la fibre est entrée dans nos foyers via des liaisons d'accès ultra-rapides FTTX (Fiber To The X). Plusieurs technologies de déploiement des réseaux d'accès FTTX se distinguent, et le TDM PON (Time-division multiplexing, passive optical network) est la solution de choix pour ALGERIE TELECOM. Ce type de réseau d'accès décrit une architecture point à multipoint basée sur le multiplexage temporel de la transmission des données pour chaque utilisateur. Le PON est le plus demandé par les fournisseurs d'accès Internet car il s'est avéré être le meilleur en termes de : vitesse (maximum offert = 2,5 Gbits/s partagés entre les clients), simplicité et coût de déploiement. Or, avec le développement de l'Internet des Objets (IoT : Internet of Things) et la virtualisation des ressources informatiques, une capacité supérieure à 2,5 Gbits/s est requise, et le choix de nouvelles technologies est primordial.

La technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) permet des débits de données très élevés (40 Gbits/s par canal) et est utilisée depuis longtemps dans les réseaux de transport optiques. Notre idée pour terminer notre projet était d'utiliser cette technologie pour améliorer les performances des réseaux d'accès.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

Le chapitre 1 donne un aperçu sur le réseau d'accès PON et de ses différents éléments tels qu'OLT (Optical Line Termination), ONU (Optical Network Unit), la fibre optique et le fonctionnement des réseaux d'accès optique basés sur le multiplexage temporel.

Le chapitre 2 présente la technique de multiplexage WDM, les différentes architectures existantes et leur déploiement dans les réseaux d'accès PON.

Dans le dernier chapitre, nous étudions et présentons les résultats de simulations réalisées sur le logiciel OPTISYSTEM d'OPTIWAVE. Le but de cette simulation est de consolider nos travaux théoriques par une comparaison entre le TDM PON et le WDM PON.

Chapitre I

Réseau PON TDM

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.1 Introduction

Le développement d'applications multimédia haute définition telles que la visioconférence et la télévision câblée IP TV (internet Protocol télévision) nécessitent des bandes passantes importantes. Élas Les réseaux d'accès à base de cuivre ne couvrent pas cette bande passante. Les réseaux d'accès optique passifs PON (passive Optical network) sont apparus comme une solution fiable à ce problème. En effet, ces réseaux peuvent transmettre efficacement de grandes quantités de données sur de longues distances que les réseaux d'accès classique. Les PON sont des réseaux optiques passifs basés sur la technologie de multiplexage par répartition dans le temps TDM (time division multiplexing).

I.2 TECHNOLOGIE PON (POINT A MULTIPPOINT/P2M)

I.2.1 Présentation d'un réseau PON

Un réseau optique passif désigne un réseau à fibres optiques, utilisant une topologie point à multipoint et des séparateurs optiques pour acheminer les données d'un seul point de transmission vers plusieurs points d'extrémité pour les utilisateurs.

Dans ce réseau il existe actuellement deux grandes catégories de normes PON : Gigabit Passive Optical Network (GPON) et Ethernet Passive Optical Network (EPON). Leurs structures de topologie sont fondamentalement les mêmes. [1]

I.2.2 Avantage PON

Le déploiement PON présente plusieurs avantages important à savoir :

- Une consommation d'énergie réduite.
- Une bande passante plus large.
- Sécurité de haut niveau.
- Plus facile à installer et à prolonger.
- Réduction des coûts de fonctionnement et de gestion. [1]

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.3 Principaux composants d'un réseau TDM-PON

Réseau optique passif PON est constitué de 4 éléments essentiels (voir figure I.1):

- OLT (Optical Line Terminal, ou Terminaison de Ligne Optique).
- ONU (Optical Network Unit ou Unité de réseau optique).
- le coupleur.
- la fibre optique.

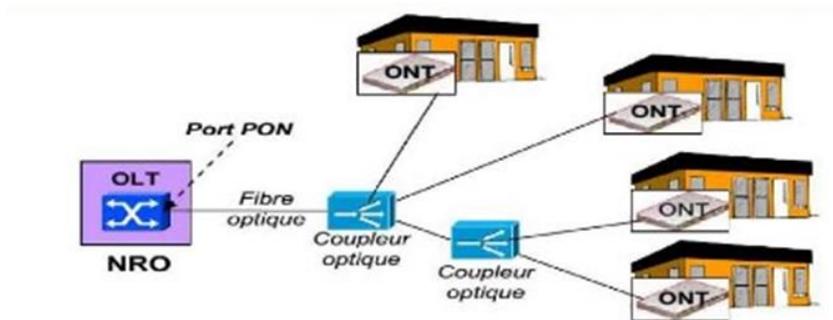


Figure I.1 : Réseau optique passif PON

I.3.1 OLT

Le terminal de ligne optique OLT constitue le point de départ de tous les réseaux optiques accès passif. Il est connecté à un commutateur central via des connecteurs Ethernet. La fonction première de l'OLT est de convertir et de transmettre des signaux pour le réseau PON, puis de coordonner avec le multiplexage du terminal de réseau optique ONT (Optical Network Terminal, ONT) pour la transmission ascendante partagée. [2]

Les appareils de l'utilisateur final sont parfois qualifiés d'unités de réseau optique ONU (Optical Network Unit, ONU).

I.3.1.1 Composant constituant un OLT

L'OLT présente par la figure I.2, est composé principalement de :

- ✓ un modulateur optique.
 - ✓ Récepteur optique.
- a) **Un modulateur optique** : c'est un appareil qui sert à moduler le signal électrique et le convertir en signal lumineux. le signal est injecté ensuite dans une fibre optique et il y propage.il existe deux type de modulateur optique :

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

a.1 Modulateur interne (direct)

IL s'agit du laser (light amplification by stimulated emission of radiation). Il fonctionne en émission stimulée. Ce dispositif présente un spectre de rayonnement cohérent et monochromatique. De ce fait, son faisceau est dit sélectif. Ce composant est un semi-conducteur, qui module directement le signal électrique en signal optique. Il est utilisé pour des débits inférieurs à 10 Gbit/s. [3]

Dans cette partie, nous traiterons : la puissance et le bruit de LASER (RIN)

La puissance optique émise du LASER s'exprime selon la relation (I.2).

$$P = \frac{h \cdot \nu}{2 \cdot q} \cdot \frac{\alpha_{\text{int}}}{\alpha_{\text{mir}}} \cdot (I - I_{\text{th}})$$

Où :

$h \nu$: énergie du photon.

q : charge d'électron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

α_{int} : les pertes non résonnantes.

α_{mir} : désigne les pertes résonnantes liées aux miroirs de la cavité.

I : courant de l'injection (A).

I_{th} : courant de seuil (A).

Le RIN de l'anglais, « Relative Intensity Noise » (s'exprime en dB/Hz) est défini par le rapport entre la densité spectrale des fluctuations des photons et le nombre de photons au carré ΔP_{opto}^2 , ou entre la densité spectrale de fluctuations de puissance et le carré de la puissance moyenne. [4]

$$RIN = \frac{\langle \Delta P_{\text{opto}}^2 \rangle}{P_{\text{opto}}^2} \quad .3$$

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

a.2 Modulateur externe (indirect)

Module indirectement le signal électrique en optique. Il est utilisé pour des débits supérieurs à 10 Gbits/s au détriment d'un coût plus élevé. [3]

b) Récepteur optique

Le récepteur optique est constitué de :

b.1 Un module photodiode : Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et le transformer en signal électrique. [2]

On distingue deux types de photo-détecteurs :

La PIN et L'APD (avalanche photodiode), La photodiode APD est plus performante que la PIN au détriment d'un coût plus élevé.

En effet, le bruit thermique propre à la PIN limite sa sensibilité, par conséquent, il faut utiliser un préamplificateur dans les grandes distances. Dans nos travaux de simulation nous utilisons la PIN, car nous travaillons dans les réseaux d'accès (liaison de courtes distances). [5]

b.2 Le module d'aide à la décision ajuste les seuils des photodiodes en fonction des paquets de données reçus. [2]



MA5600T

Figure I.2 Terminal de ligne optique (OLT)

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.3.2 Bruits dans la photodiode PIN

1) Bruit de grenaille (quantique)

Ce bruit est présent dans les dispositifs qui collectent un flux de particules. Ce bruit est dû à la nature granulaire de l'électricité (c'est bruit blanc). [4]

a) Bruit dû courant d'obscurité

En absence de puissance reçue, la photodiode fournit au circuit un courant d'obscurité I_{ob} . Ce courant qui est source de bruit, dépend de certains paramètres :

- La surface active de la photodiode.
- La température de fonctionnement.
- Le type de matériau utilisé.
- La technologie de fabrication utilisée.

La puissance de ce bruit est donnée par la relation suivante (selon la formule générale de Schottky): [4]

$$\langle I_{ob}^2 \rangle = 2e I_{ob} B$$

Avec : e : la charge de l'électron.

B : La bande passante du signal.

b) Bruit dû à la photo courant

En présence du signal, le caractère aléatoire de la création des paires électron-trou produit un photo courant I_{ph} affecté de bruit de grenaille (quantique).

$$\langle I_{ph}^2 \rangle = 2e I_{ph} B = 2e S.P .B$$

Le bruit quantique dans la photodiode correspond à la somme des bruits dûs au courant d'obscurité et la photo courant, soit : [4]

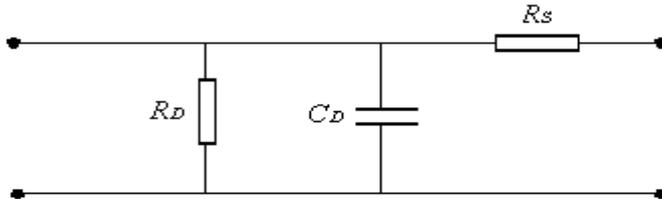
$$\langle I_Q^2 \rangle = \langle I_{ob}^2 \rangle + \langle I_{ph}^2 \rangle$$

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

2) Bruit thermique

Aux bruits précédemment cités, s'ajoute une source de bruit thermique due aux différentes résistances contenues dans la photodiode.

Le schéma équivalent de la photodiode polarisée en inverse est donné par la figure suivante :



R_D : Résistance de la jonction (10 à $10^4 \text{ M}\Omega$).

C_D : Capacité totale de la diode (jonction et boîtier) (2 à 10pf).

R_s : Résistance série (10 à 50Ω).

Chaque résistance ce schéma équivalent se comporte comme une source de bruit thermique. En négligeant la résistance série, le bruit thermique s'écrit : [4]

$$\langle I_{th}^2 \rangle = \frac{4KT B}{R_D}$$

K : la constante de Boltzmann ($k_B = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

T : température absolue en degré Kelvin.

3) Bruit total introduit par la photodiode PIN

Il est dû à la contribution du bruit thermique et du bruit quantique en faisant l'hypothèse que la résistance série est nulle, soit : [4]

$$\langle I_{pin}^2 \rangle = 2eB(I_{ph} + I_{ob}) + 4KT B / R_D = \langle I_Q^2 \rangle + \langle I_{th}^2 \rangle$$

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.3.3 ONU (Optical Network Unit)

L'ONU est l'équipement installé au niveau de l'abonné. Il est composé d'un modulateur optique et d'un récepteur optique. Les deux composants ont été déjà étudiés dans les paragraphes précédents. [2]

I.3.4 Coupleur optique

En optique, un coupleur est un dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois. Le coupleur joue le rôle d'un multiplexeur temporel. [2]

I.4 Fibre optique

I.4.1 Définition

Une fibre optique est un fil en verre de silice ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau " large bande " par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, la téléphonie, la visioconférence ou les données informatiques. La fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'informations. [6]

I.4.2 Structure de la fibre optique

La fibre optique illustrée par la figure I.3 est composée de deux cylindres transparents protégés par un revêtement, il s'agit de :

- un cylindre intérieur notamment appelé le cœur, de silice pure à haut indice de réfraction n_c .
- un cylindre extérieur notamment appelé la gaine, de silice pure à plus faible indice de réfraction n_g .
- Pour avoir guidage du signal lumineux il faut que $n_c > n_g$

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

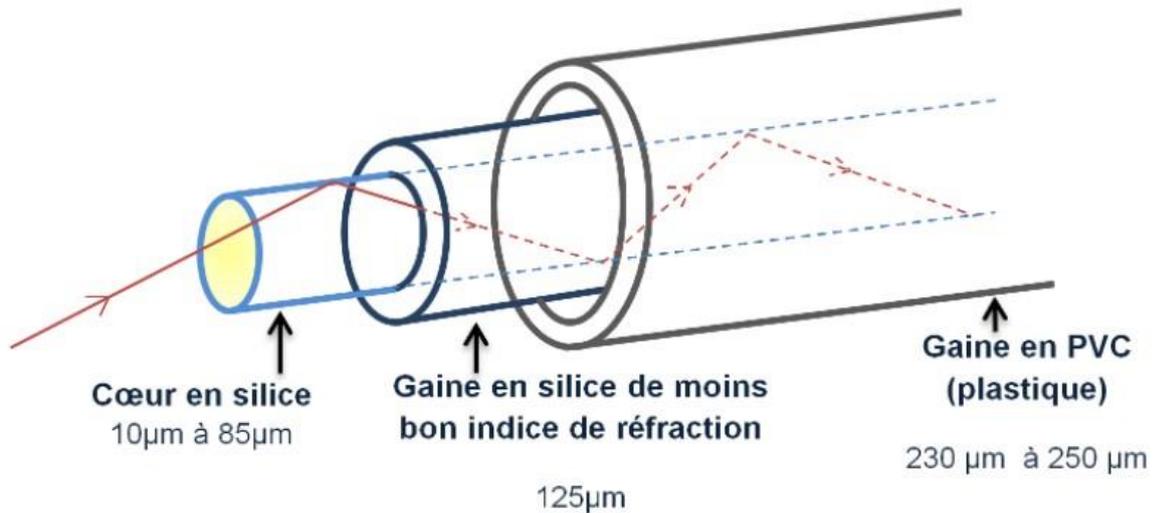


Figure I.3 : Structure d'une fibre optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le nombre de mode qui s'y propagent : Fibres monomodes et multimodes. [7]

Les fibres monomodes présentent un affaiblissement et une dispersion nettement plus petits que ceux de la fibre multimodale. Cependant le déploiement des liaisons monomodales est plus coûteux que celui des liaisons multimodales.

Dans les paragraphes suivants, nous n'étudions que la fibre optique monomode, car les fibres multimodales ne peuvent pas être déployées avec le multiplexage WDM.

I.4.3 Fibre monomode

La fibre monomodale notamment appelée SMF (single mode fiber) est un guide d'onde optique qui ne laisse passer que le mode fondamentale LP01. (Voir la figure I.4).

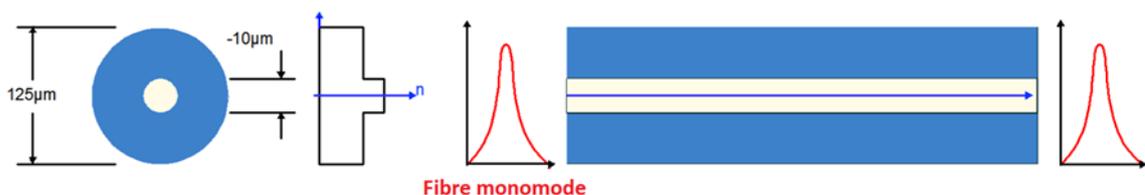


Figure I.4 : Fibre monomode

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.4.4 Caractéristiques de Fibre optique

La fibre monomode est connue pour sa bande passante élevée sa faible atténuation de l'ordre de 0,2 dB/Km voire 0,15 dB/Km. Cependant, il existe d'autres phénomènes propres à celle-ci et qui affectent la qualité de transmission, à savoir : [7]

I.4.4.1 Effets linéaires

a) Dispersion chromatique

La dispersion chromatique se manifeste par un élargissement temporel des impulsions au cours de leur propagation. Cet étalement engendre des dispersions de phase et d'amplitude. Par conséquent, la dispersion chromatique limite la bande passante de la SMF.

L'effet de la dispersion chromatique peut être remédié par l'utilisation d'une fibre optique a dispersion décalée ou encore une fibre optique compensatrice. [7]

b) Atténuation

Perte intrinsèque : il s'agit de l'atténuation qui un phénomène propre a la fibre optique. Plusieurs phénomènes y sont pour cause à savoir : diffusion de Rayleigh, le PIC OH et absorption infra-rouge.

Perte extrinsèque : aux pertes extrinsèques s'ajoutent d'autres pertes à savoir : les pertes de couplage, de raccordement, et de courbure. [7]

c) PMD (polarisation mode dispersion)

Les imperfections de fabrication entraînent un changement de polarisation. Ce phénomène est remarqué dans les grandes distances. [7]

I.4.4.2 Effet non linéaire

- ✓ **Effet Kerr** : apparaît lorsque l'intensité du signal devient si importante, qu'elle peut modifier significativement l'indice de réfraction n de la fibre.
- ✓ **L'effet Brillouin.**
- ✓ **L'effet Raman.**

I.4.5 Application de la fibre

- Réseaux d'accès optique FTTx.

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

- Réseau de transports (réseau dorsal): Liaison entre centraux téléphonique,
- Liaisons inter continentaux liaisons et transocéaniques.
- Télévision : Téléconférence. [8]

I.5 BILAN DE LIAISON

Pour faire la conception d'une liaison à un débit donné et connaissant les performances des composants disponibles, on établit le bilan de liaison, c'est un tableau qui détermine la répartition des puissances optiques au long de la liaison. Ces puissances sont habituellement exprimées en dBm ($10\log$ de la puissance en mW).

Le bilan énergétique consiste à évaluer tous les affaiblissements (atténuations) optiques entre émetteur et récepteur (fibre, connecteur, épissures, ect...) dont la somme doit rester inférieure à A_{\max} (affaiblissement tolérable pour une liaison optique), compte tenu d'une marge de sécurité.

$$A_{\max}=10\log (P_{em}/P_{mind}).$$

P_{em} : puissance de l'émetteur.

P_{mind} : puissance minimale détectable.

* Le bilan énergétique permet d'assurer que le rapport signal sur bruit optique à la réception est suffisant pour respecter la probabilité d'erreur P_e tolérée. [9]

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

- Puissance moyenne à l'émission couplée dans la fibre	$10\log P_{em}$	dBm
- atténuation des raccordements.	-Ar	dB
- atténuation des coupleurs ou multiplexeurs ou ampli optique.	-Am	dB
- marge pour se protéger des dérives et dispersions.	-m	dB
- puissance minimale en réception.	$-\log P_{min}$	dBm
= atténuation disponible	A	dB

Tableau I.1 répartition des puissances optiques au long de la liaison

I.6 Technologie TDM-PON

I.6.1 Principe de fonctionnement

Le concept de déploiement de l'architecture du réseau PON repose sur le partage temporel d'une seule longueur d'onde entre plusieurs utilisateurs (abonnés). C'est le multiplexage temporel TDM (Time Division Multiplexing). En effet, le multiplexage TDM consiste à allouer toute la bande de fréquence à tous les utilisateurs de manière séquentielle (à tour de rôle pour chacun d'entre eux) pendant un intervalle de temps fixe appelé « Time Slots ». De ce fait, chaque utilisateur transmet ses données dans le « Time Slot » qui lui est attribué. Le principe du multiplexage temporel TDM-PON est décrit dans la Figure.

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

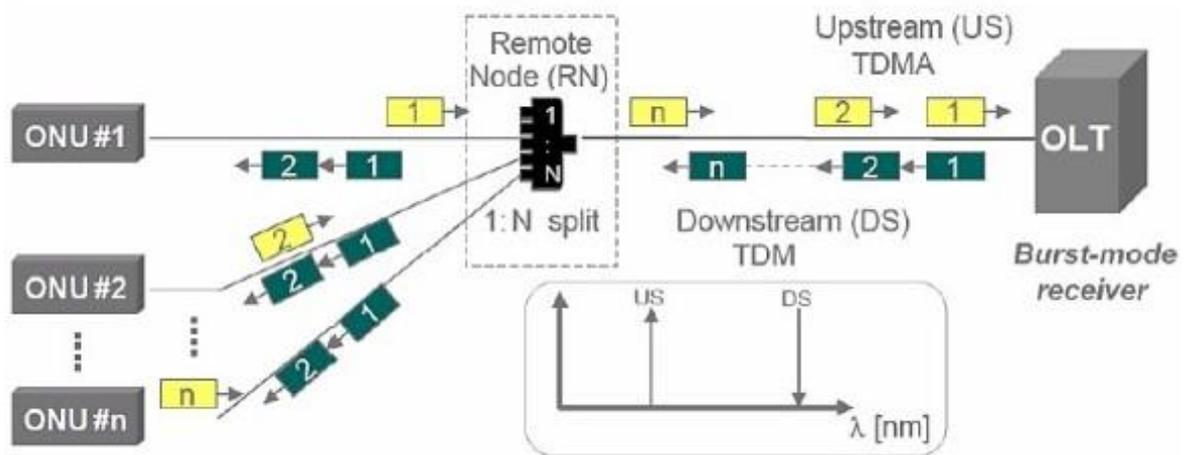


Figure I.5 : Principe de fonction de la technologie PON TDM

Dans une transmission TDM en voie descendante (Down Stream, DS), le multiplexage temporel alloue des « Time slots » pour chaque client dans une trame de données transmise de l'OLT vers les ONU. Dans ce cas, tous les ONU reçoivent chacun, la totalité du signal provenant du CO et chaque ONU sélectionne la partie du signal correspondant à son time-slot (prédéfini).

Par contre, pour la transmission en voie montante (Up Stream, US), chaque client se synchronise au central pour savoir quand transmettre son paquet afin de ne pas interférer avec les différents paquets émis. [10]

I.6.2 Différents types de TDM-PON

Il existe plusieurs types d'architectures basées sur la technologie TDM-PON, à savoir:

- FTTH (Fiber to the Home).
- FTTB (Fiber to the Building).
- FTTC (Fiber to the Cabinet).

I.6.3 Technologies d'accès dans les réseaux optiques

a. APON

C'est simplement un système pointmultipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'ITU-T. Avec l'APON,

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre. Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbit/s ou 155 Mbit/s dans le sens descendant, 155 Mbit/s dans le sens montant). [11]

b. BPON

Le BPON (Broadband PON) est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo). C'est un réseau de distribution en fibre optique à large bande. En effet, les améliorations récentes de l'APON incluent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde WDM, une commande dynamique de la largeur de bande, une meilleure sécurité de données. [11]

Les autres caractéristiques des réseaux APON / BPON sont :

- 32 ONUs dans un seul PON.
- La longueur de la fibre peut aller jusqu'à 20 km.
- Pour la voix et les données, les longueurs d'onde utilisées dans le sens descendant et montant sont 1490 nm et 1310 nm respectivement.
- Une troisième longueur d'onde (1550 nm) peut être utilisée pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant. [11]

c. EPON

EPON (Ethernet PON) est un réseau dans lequel la topologie point-multipoints (P2MP) est mise en application avec des coupleurs optiques passifs et la fibre optique comme PMD (Physical Medium Dépendent), qui est basé sur un mécanisme appelé le protocole de Contrôle Multipoint (Multi- Point Control Protocol MPCP), défini comme une fonction dans la sous couche MAC. Pour commander l'accès à une topologie de P2MP, chaque unité optique de réseau (Optical Network Unit ONU) dans la topologie de P2MP contient un élément du protocole MPCP, qui communique avec un autre élément de MPCP dans l'OLT (Optical Line Terminal). [11]

d. GPON

Le réseau optique passif Gigabit GPON est une mise à niveau de BPON avec des débits de données à haut débit, a un mécanisme d'accès point à multipoint. Ce type de fibre est utilisé pour fournir un réseau à la maison.

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

GPON à une capacité en aval de 2488 Mbits/s et une capacité en amont de 1244 Mbit/s qui est partagée entre les utilisateurs et le cryptage est utilisé pour garder les données de chaque utilisateur sécurisées et privées des autres utilisateurs. [11]

I.6.4 Comparaison des standards d'un réseau PON

Le tableau ci-dessus récapitule les caractéristiques des différentes normes définit précédemment [12].

Norme	APON	BPON	EPON	GPON
Norme de recommandation	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av	G.984 (FSAN)
Protocoles	ATM	ATM	Ethernet avec accès CSMA/CD	GEM (ATM, Ethernet, TDM)
Longueur d'onde (descendant/montant)	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm
Débit descendant	155Mbit/s Ou 622Mbit/s	155Mbit/s Ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 10Gbit/s	2.5Gbit/s
Débit montant	155Mbit/s	155Mbit/s Ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 1Gbit/s Ou 10Gbit/s	1.25Gbit/s
Taux de partage	16, 32	16, 23	16, 32, 64	16, 32, 64 jusqu'à 128
Distance OLT/ONT	10 ou 20 Km	10 ou 20Km	20Km	20Km

Tableau I.2 : Comparaison des standards PON

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

I.6.5 FTTH (Fiber to the Home)

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile de l'utilisateur. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s à vérifier). Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO, la figure I.6 Représente les différents composants D'un réseau FTTH/FTTO (voir figure I.6). [13]



Figure I.6 : distribution de fibre à la maison

I.6.6 FTTB (Fiber to the Building)

FTTB (fibre to the building), la fibre va au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, Dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés. Les câbles de cuivres entre le répartiteur et PC (point de concentration) seront remplacés par des câbles de fibres optiques pour augmenter la bande passante et la portée (voir figure I.7). [13]

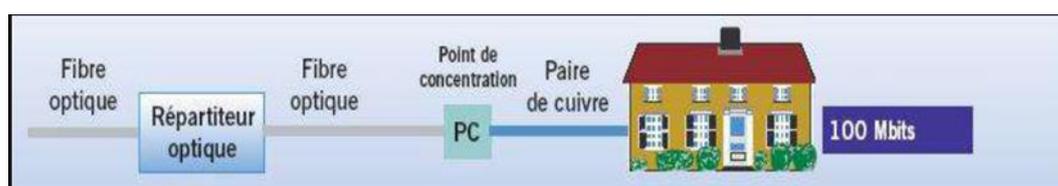


Figure I.7 : distribution de fibre jusqu'au bâtiment

I.6.7 FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau.

CHAPITRE I : Réseau PON-TDM

Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC), et si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on l'appelle Fiber to the Cabinet (FTTCab). (Figure I.8). [13]



Figure I.8: distribution de Fibre jusqu'au cabinet

I.7 Limitations du TDM dans le PON

- Les limitations de vitesse de l'électronique seront un problème, en particulier les récepteurs en mode rafale.
- Le multiplexage temporel PON TDM rencontre des limitations dans les modules de synchronisation et de réception de l'OLT.
- Débit limité, inférieur à 2,5 Gbits/s.
- La sécurité des données ne peut être garantie.
- Nombre limité d'abonnés. [14]

I.8 Conclusion

Ce n'est que pour des débits inférieurs ou égaux à 2,5 Gbits/s que le TDM-PON peut être considéré comme une solution intéressante. Cependant, le développement rapide des TIC (information and telecommunications technology), en particulier le déploiement de l'Internet des objets et la virtualisation des ressources informatiques, nécessite des débits plus élevés. La technologie WDM permet d'augmenter le débit du réseau de transport et peut être davantage utilisée pour le réseau d'accès. Dans ce chapitre, nous examinons l'intérêt d'utiliser cette technologie dans les réseaux d'accès.

Chapitre II

Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.1 Introduction

Le déploiement de la technologie WDM est la meilleure solution pour augmenter le débit d'une seule fibre, tout en offrant une bande passante plus élevée par l'utilisateur, une sécurité accrue et des distances optiques plus longues. Dans ce chapitre, nous allons détailler cette technologie et l'intérêt de l'utiliser dans les réseaux PON.

II.2 Définition WDM

Wave-length Division Multiplexing, Multiplexage par répartition en longueur d'onde. Technique de multiplexage utilisée dans les réseaux à fibre optique, qui consiste à envoyer plusieurs signaux de différentes couleurs (longueurs d'onde) simultanément sur la même fibre (ce qui multiplie apparemment la quantité d'informations transmises).

La technologie WDM comprend plusieurs canaux d'information injectant simultanément N porteuses optiques de N longueurs d'onde différentes dans la même fibre, chacune avec un débit de transmission D. [15]

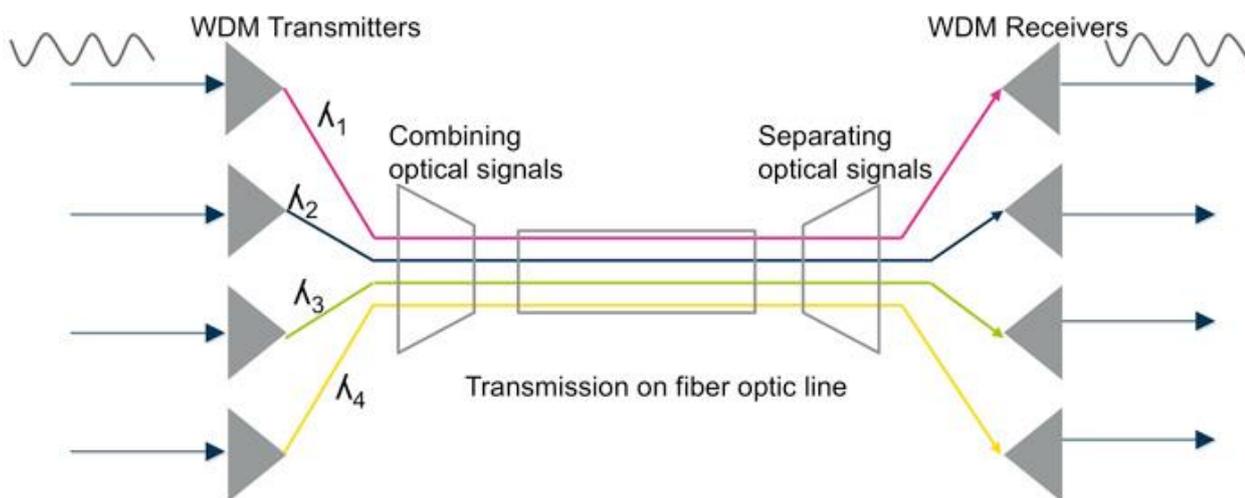


Figure II.1 : schéma de transmission WDM

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.3 Différents types de multiplexage en longueur d'onde

Il existe plusieurs technologies WDM, qui restent les mêmes dans leur principe, mais ils diffèrent dans le nombre de canaux utilisés et l'espacement inter canaux.

- CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).
- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
- UWDM (Ultra Wavelength Division Multiplexing).

Types	Fenêtres	Espacements (nm)	Canaux	Débits potentiels
CWDM	2ème	1.6 - 0.8	8 – 16	2.5 à 5GHz
WDM	3ème	0.6	32	320G à 1.28T
DWDM	3ème	0.4 – 0.2	80 – 160	3T à 12T
UWDM	3ème	0.08	400	10T à 40T

Tableau II.1 : Différents types de multiplexage en longueur d'onde

Le tableau II.1 illustre la comparaison entre les différents types du multiplexage en longueur d'ondes.

Les technologies DWDM et UWDM présentes les meilleures débits. Cependant leur déploiement est très dispendieux, ce qui est très cher pour les domotiques.

Le WDM présente des débits supérieurs par rapport à celui du CWDM au détriment d'un cout de déploiement plus élevé.

Dans nos travaux de simulation, nous étudions uniquement les multiplexages CWDM et WDM que nous détaillons dans les paragraphes suivants. [16]

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.3.1 CWDM

Le CWDM a été normalisé en 2002 par l'UIT. La fenêtre des longueurs d'onde utilisée varie de 1270 nm à 1610nm avec un espacement inter canaux de 20nm. La fibre optique qui permet l'utilisation de cette fenêtre est la ZWP (zéro water pic).

La ZWP est une fibre optique monomode dont on a éliminé le pic OH (PIC D'EAU). Par conséquent, l'atténuation autour de 1383nm a significativement diminuée.

II.3.1.1 Applications de CWDM

Le CWDM est utilisé dans les domaines suivants :

- ✓ Télévision câblée (IPTV).
- ✓ Liaisons bidirectionnelles qui utilisent des longueurs d'ondes différentes.
- ✓ L'utilisation du CWDM passif dans les réseaux d'accès (FTTx).

II.3.1.2 Développement des capacités

Nous distinguons deux techniques pour hausser la capacité d'un système CWDM, à savoir: augmenter le débit de chaque canal, ou celui le nombre de canaux. Il est possible d'utiliser les deux techniques à la fois. [17]

II.3.1.3 Augmentation du débit par canal

Actuellement, les systèmes WDM ont pu atteindre un débit de 40 Gbits/s par canal grâce au développement de la modulation externe de phase. En effet cette nouvelle technique a permis de réduire les chevauchements entre canaux. [18]

II.3.1.4 Augmentation du nombre de canaux

La technique consiste à diminuer l'espacement entre chaque longueur d'onde.

II.3.2 WDM

Système WDM utilise la fenêtre de 1550 nm avec un espacement inter canaux de 0.6 nm. Le nombre maximal des canaux qui peut être utilisé est de l'ordre de 32. Le débit du multiplexage varie de 320Gbits/s à 1.28Tbits/s selon le débit injecté par canal.

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.3.2.1 Avantages

- ✓ Augmentation du débit par rapport au multiplexage temporel.
- ✓ La transmission de signaux avec des longueurs d'onde distincts permettent de sécuriser les données.
- ✓ En mode rafale, le problème de congestion ne se pose plus.
- ✓ Du fait que chaque abonné ait sa propre fréquence, la synchronisation ne cause plus de perte.
- ✓ Nombre important d'abonné qui peuvent être lié à un seul multiplexeur.

II.4 Technologie WDM PON

II.4.1 Présentation

La technologie PON WDM est une solution aux limitations du TDM PON. En fait, il offre plus de bande passante et peut accueillir plus d'utilisateurs.

II.4.2 Structure générale d'un système WDM PON

Un système WDM PON (Figure II.2) se compose essentiellement de : OLT, ONU (présenté au chapitre 1) et AWG.

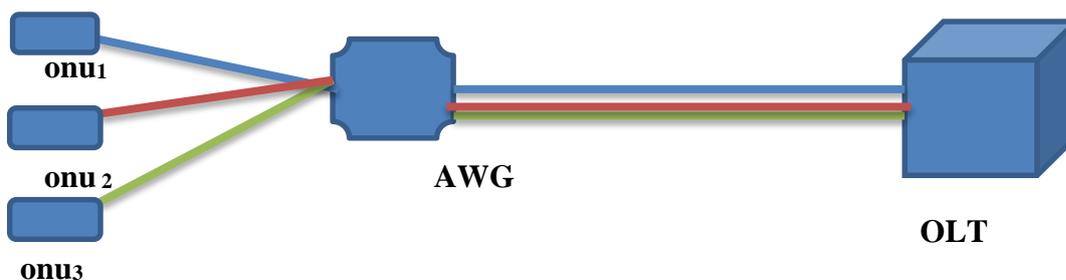


Figure II.2 : Structure générale d'un système WDM PON

II.4.3 PHASARS (AWG) Arrayed Waveguide Grating

Les PHASARS sont des composants passifs de l'optique intégrée qui augmentent le nombre de longueurs d'onde multiplexées dans une seule fibre. En effet, ils peuvent créer un déphasage entre les deux longueurs d'onde, réduisant le chevauchement entre les canaux.

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

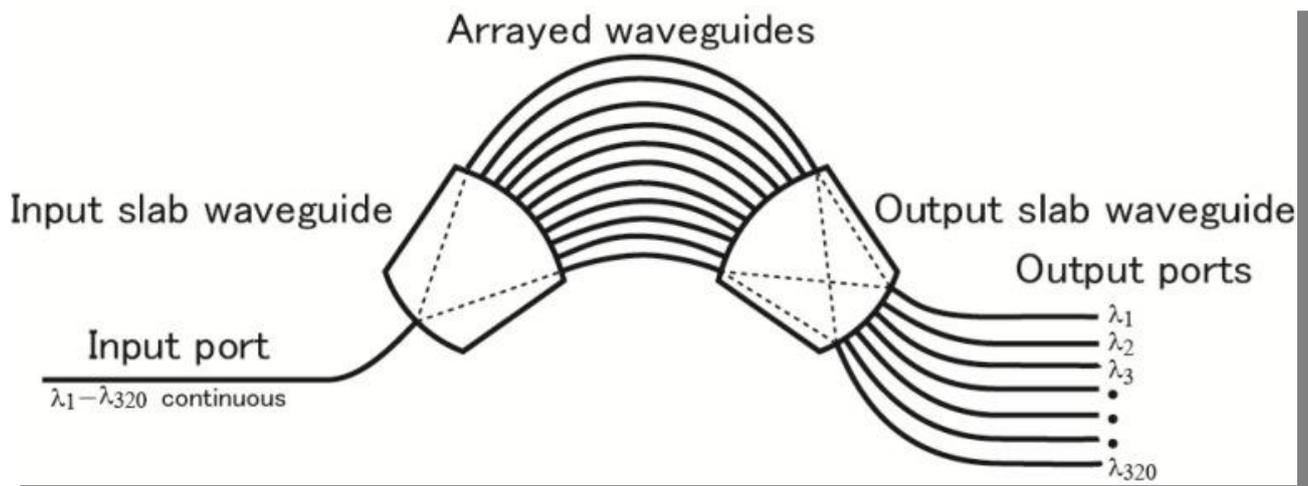


Figure II.3: PHASARS (AWG) Arrayed Waveguide Grating

II.4.4 Principe générale de WDM PON

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 démultiplexés dans différentes fibres. En fait, chaque client se voit attribuer une longueur d'onde spécifique. Dans l'architecture WDM PON, l'ONU peut travailler sur différentes longueurs d'onde, Cela permet d'atteindre des taux de transfert élevés. [19]

a- Sens descendant

L'OLT transmet toutes les longueurs d'onde sur la même fibre partagée. Avec l'utilisation d'un coupleur au point de distribution, ce composant distribue la puissance et distribue toutes les longueurs d'onde à chaque maison connectée. Les filtres de longueur d'onde au niveau ONU peuvent sélectionner des longueurs d'onde spécifiques à chaque client. L'utilisation d'un démultiplexeur ou démultiplexeur de type AWG permet d'attribuer à chaque ONU une longueur d'onde dédiée. [19]

b- Sens montant

Dans le sens amont, l'ONU renvoie une longueur d'onde différente à l'OLT. L'acronyme WDMA (Wavelength Division Multiple Access) signifie Multiple Access over longueur d'onde vers le haut. [19]

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.4.5 Type d'architectures WDM-PON

II.4.5.1 L'architecture « diffusion puis sélection »

Le principal intérêt de cette architecture, souvent qualifiée de « broadcast and select » (figure II.4), est qu'elle est une simple évolution de l'architecture PON actuelle. Le coupleur 1xN du composant principal est conservé. Il peut diffuser toutes les longueurs d'onde émises par le central vers tous les clients ("broadcast"). Elle est ensuite correctement filtrée par chaque ONU pour ne recevoir que les données (« sélections ») auxquelles elle est affectée. [20]

II.4.5.1.1 Avantage

- Le coupleur est un composant passif à faible coût (par rapport au multiplexeur) qui est déjà un incontournable des autres alternatives PON, facilitant ainsi son utilisation dans les réseaux WDM.
- Interfonctionnement avec PON TDM.

II.4.5.1.2 Inconvénients

- La perte du coupleur est proportionnelle au nombre de ports N.
 - La diffusion nécessite le cryptage des informations pour protéger la confidentialité des données, comme dans TDM PON.

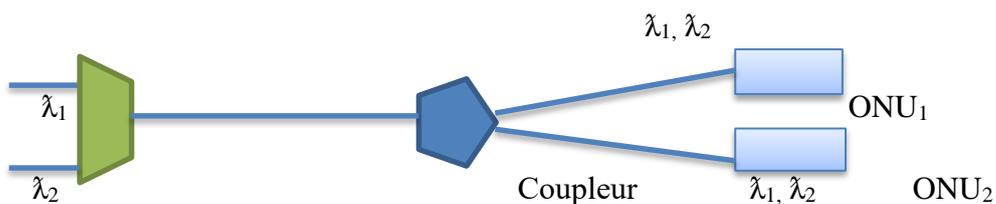


Figure II.4 : L'architecture « diffusion puis sélection »

II.4.5.2 L'architecture a base de démultiplexage spatial

Le composant qui effectue la distribution en aval est le démultiplexeur. Le principe de la technologie est de multiplexer les longueurs d'onde en aval vers l'OLT et de les injecter sur la fibre principale ("feeder") jusqu'au sous-splitter. Parmi eux, le démultiplexeur sépare les longueurs d'onde et envoie chacune d'elles à son ONU correspondante. C'est une

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

arborescence. Pour le sens amont, chaque client dispose d'un laser d'une longueur d'onde différente, correspondant au port du multiplexeur (dans le SR) auquel il est connecté. Tous les signaux de liaison montante sont multiplexés, puis envoyés sur la fibre principale et démultiplexés vers l'OLT. [20]

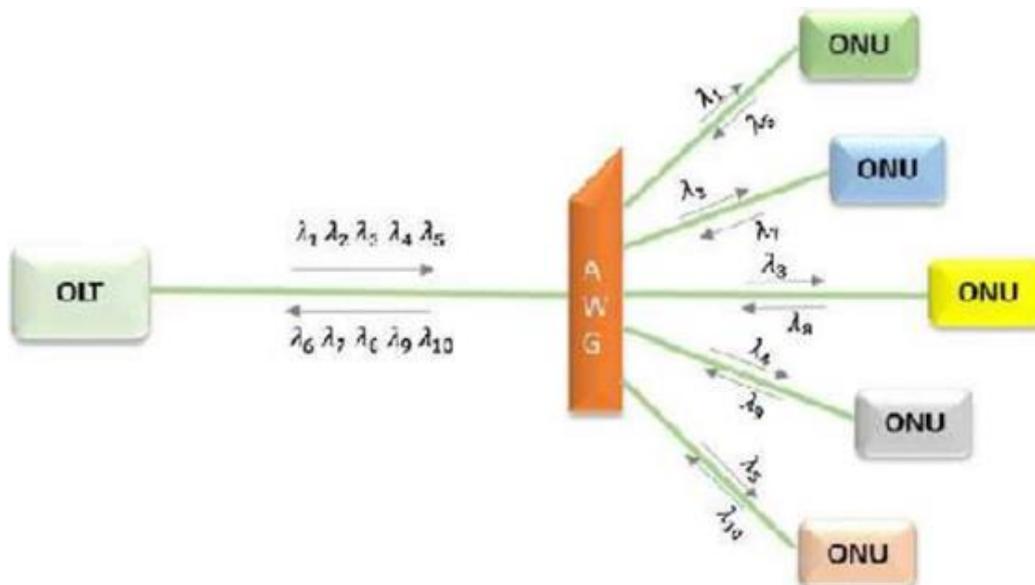


Figure II.5 : L'architecture a base démultiplexage spatial

II.4.5.2.1 Avantages WDM PON avec démultiplexage spatial

- Le récepteur est le même pour chaque client (nécessite un filtre large bande, par exemple $1,3 \mu/1,5 \mu\text{m}$, pour séparer les longueurs d'onde de liaison montante et descendante)
- La confidentialité des informations est élevée, car le client ne reçoit que des informations le concernant.

II.4.5.2.2 Inconvénients WDM PON avec démultiplexages spatial

- Le prix du démultiplexeur, calculé canal par canal et décroissant régulièrement au fur et à mesure que la production augmente.
- Solutions fixes. Lorsqu'un client est connecté à un port multiplexeur, une longueur d'onde lui est physiquement attribuée et ne peut être modifiée que si un autre port y est branché.

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.5 Comparaison entre le TDM et WDM

Le tableau 2.1 montre la comparaison entre TDM PON et WDM PON : [20]

	TDM	WDM
la division de canal	Chaque signal utilise toute la bande passante et une partie du temps	Chaque signal utilise une petite partie de la bande passante et tout le temps.
la flexibilité et d'efficacité	La TDM allouer de manière dynamique plus de périodes aux signaux nécessitant davantage de bande passante, tout en réduisant les périodes aux signaux qui n'en ont pas besoin.	WDM manque de ce type de flexibilité, car il ne peut pas modifier dynamiquement la largeur de la longueur d'onde allouée.
la latence (le temps nécessaire aux données pour atteindre leur destination)	TDM attribue des périodes, un seul canal peut émettre à un moment donné, et certaines données sont souvent retardées, même si ce n'est souvent qu'en millisecondes.	Les canaux WDM peuvent émettre à tout moment, leurs latences seraient bien inférieures à celles du TDM
Débit	Inférieur ou égal à 2,5 Gbits/s	Jusqu'à 40 Gbits/s par canal
Mise en œuvre	Moins coûteux	Coûteux

Tableau II.2 : comparaison entre WDM et TDM

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

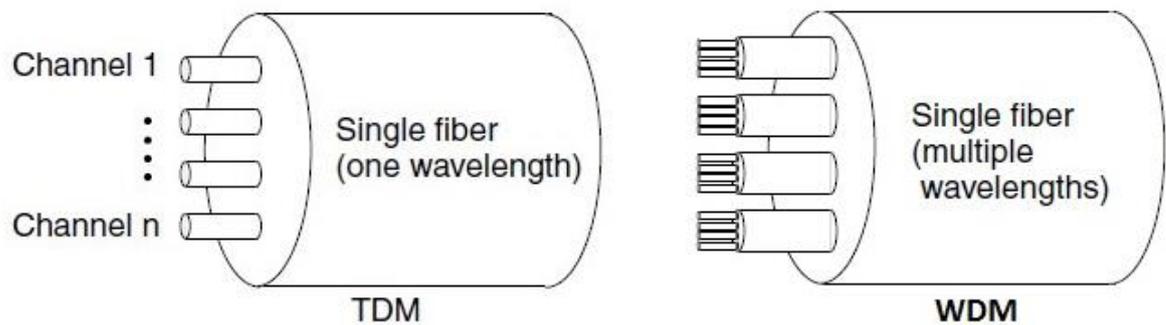


Figure II.6 : comparaison entre WDM et TDM

- Le WDM offre des débits très élevés, un niveau de sécurité supérieur et la possibilité de transmissions simultanées. Cependant, il est plus coûteux à mettre en œuvre que PON TDM. [21]
- Les deux sont des techniques de multiplexage mais sont utilisées à des fins et applications différentes. TDM signifie Time Division Multiplexing, qui utilise une seule porteuse de fréquence radio pour transmettre des paquets ou des trames multiplexés par répartition dans le temps. WDM fait référence au multiplexage par répartition en longueur d'onde, qui utilise différentes fréquences optiques de différentes longueurs d'onde pour décomposer des paquets de données ou des trames en petits morceaux et les transmettre respectivement sur plusieurs canaux. [21]
- En TDM, la capacité résultante est la somme ou la somme de tous les signaux/canaux d'entrée. En WDM, chaque signal voyage indépendamment des autres, de sorte que chaque canal a sa propre bande passante dédiée. [21]
- En WDM, tous les signaux arriveront en même temps, tandis qu'en TDM, ils arriveront les uns après les autres. En effet, en TDM, le signal est décomposé et multiplexé dans le temps avant la transmission. C'est la même chose qu'une trame TDMA, où les données de diverses stations sont multiplexées puis transmises. [21]

CHAPITRE II : Contribution du WDM dans les réseaux d'accès PON

II.6 Conclusion

Ce chapitre donne un aperçu de la contribution du multiplexage WDM dans les réseaux d'accès. WDM PON présente des avantages très intéressants par rapport à TDM PON, mais au prix d'un coût plus élevé. Dans le chapitre suivant, nous allons consolider les connaissances théoriques des chapitres précédents par la simulation, et proposer et étudier l'architecture WDM PON.

Chapitre III

Travaux de simulation

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.1 INTRODUCTION

Dans ce dernier chapitre, nous présentons et étudions les résultats de simulation effectués grâce au logiciel OPTISYSTEM de la firme OPTIWAVE. Ces travaux consistent à analyser, évaluer et comparer les performances des systèmes optiques que nous avons abordés dans les chapitres précédents. Le chapitre III s'articule autour de quatre grandes parties :

- ✓ Simulation d'un système TDM-PON.
- ✓ Simulation d'un système CWDM-PON.
- ✓ Simulation d'un système WDM-PON.
- ✓ Comparaison entre les performances des deux systèmes PON TDM, PON CWDM et PON WDM.

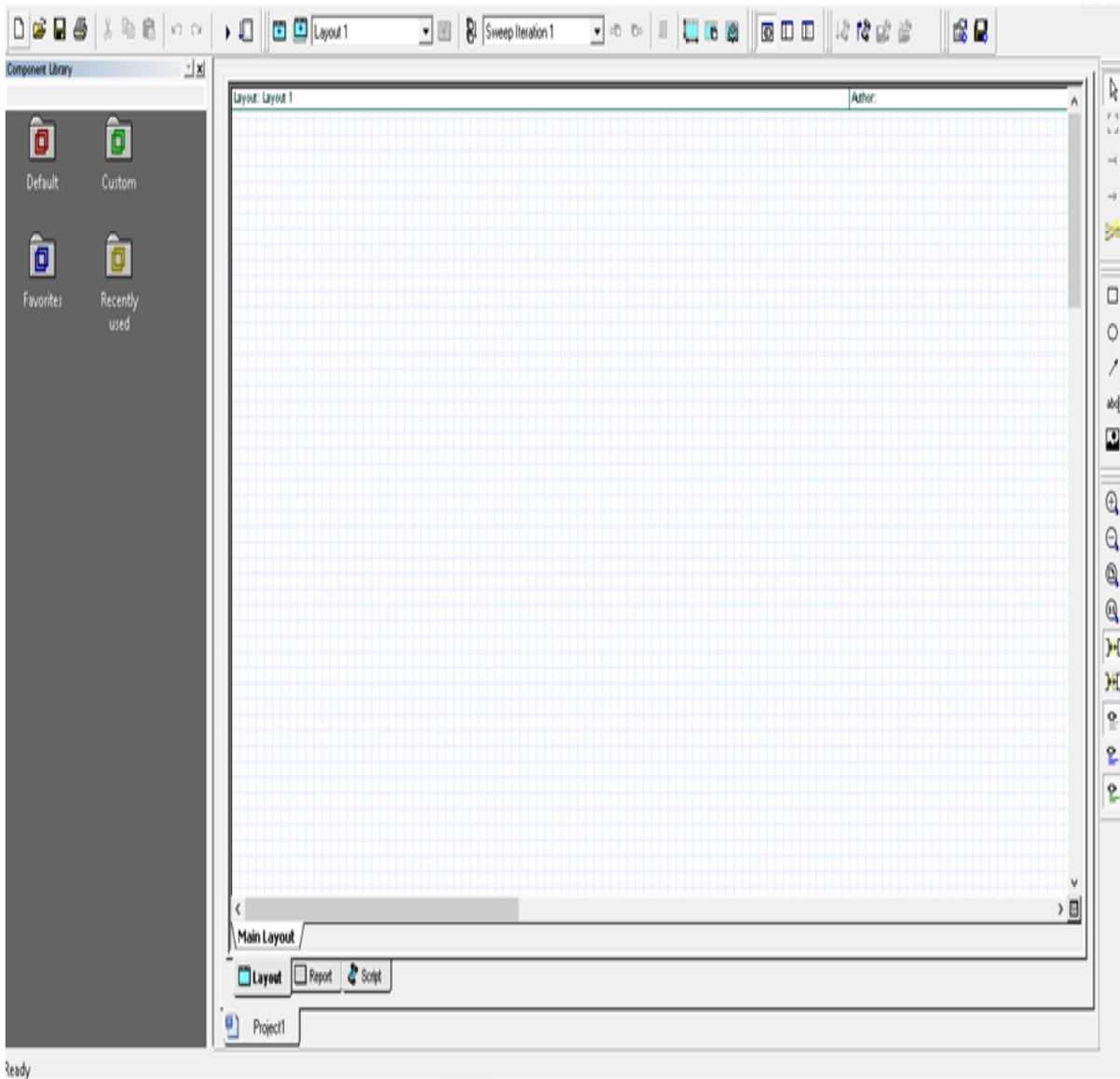
Avant de traiter les travaux de simulation, nous présentons le logiciel et les critères d'évaluation que nous avons utilisés dans nos travaux de simulation.

III.2 Simulateur OPTISYSTEM

Le logiciel OPTISYSTEM est utilisé pour simuler et analyser les systèmes de transmission optique. La variété des systèmes de simulation peut être étendue en insérant des fonctions définies par l'utilisateur qui peuvent être ajoutées au système de simulation.

OPTISYSTEM peut tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique et est basé sur une modélisation réelle des systèmes de communication à fibre optique (FigureI.1).

CHAPITRE III : travaux de simulation



FigureIII.1 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.

L'interface utilisateur graphique complète et contrôle la disposition des composants optique, qui se compose d'une fenêtre principale, divisée en plusieurs sections :

- ✓ **Librairies** : Bases de données de divers composants.
- ✓ **Éditeur de mise en page** : permet l'édition et la configuration des mises en page pendant la conception.

CHAPITRE III : travaux de simulation

- ✓ **Projet en cours** : Visualisation des différents fichiers et composants correspondant au projet en cours.

La vaste bibliothèque de composants actifs et passifs de ce logiciel, comprend des paramètres réels, qui peuvent être facilement étendus en ajoutant des composants, et peuvent être liés à divers outils. Une interface utilisateur graphique complète contrôle la disposition optique des composants, des modèles et des représentations graphiques.

III.2.1 Critères d'évaluation

L'utilisation des critères d'évaluation permet d'évaluer les performances des systèmes optiques grâce aux composants qui y sont intégrés, à savoir : analyseurs de diagramme de l'œil, analyseurs de spectre optique ou électriques, compteurs de taux d'erreur binaire, parmi autres. Dans Nos travaux nous utilisons TEB (Taux d'Erreur Binaire).

III.2.2 Taux d'Erreur Binaire TEB

Le TEB appelé notamment BER (Bit Error Rate), est le rapport du nombre de bits en erreur sur le nombre de bits transmis. Par bit Erreur, on entend 1 reçu et 0 envoyé ou à l'inverse, 0 détecté Et 1 est transmis. Le BER est exprimé comme suit :

$$\text{BER} = \text{Bits d'erreur} / \text{Bits transmis} \dots\dots\dots\text{III.1}$$

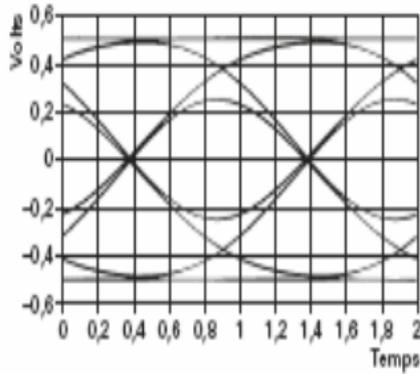
En télécommunications, le BER doit être inférieur ou égal à 10^{-6} . [22]

II.2.3 Diagramme de l'œil

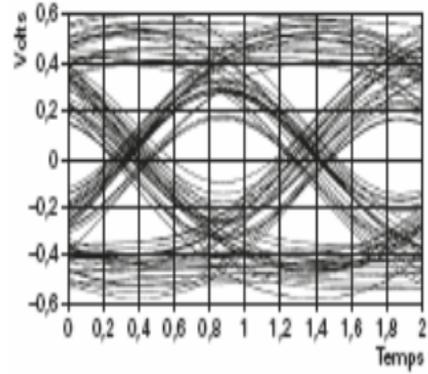
Le diagramme de l'œil résulte de l'observation des signaux lorsque cette visualisation est synchronisée avec le débit binaire D. Le centre de la figure représente alors un œil plus ou moins ouvert. L'observation des signaux donne une idée des perturbations dues aux distorsions d'amplitude et de phase et dues aux bruits.

Les figures III.2 de (a) a (e) donnent des exemples de diagramme de l'œil accompagnés de commentaires.

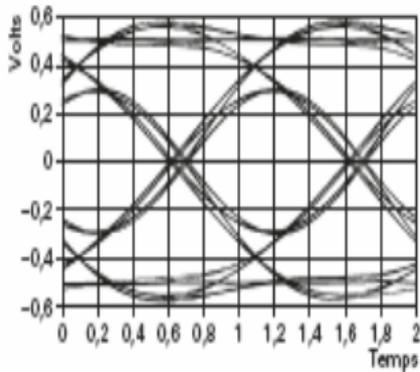
CHAPITRE III : travaux de simulation



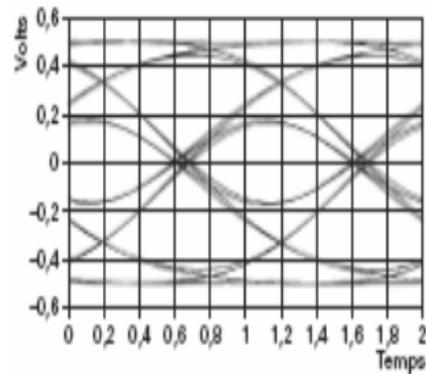
(a) Diagramme de l'œil est bon.



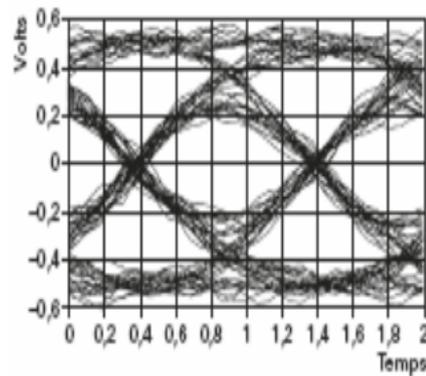
(b) Effet d'un couplage capacitif



(c) distorsion de la phase et d'amplitude
Dans le canal de transmission.



(d) Effet du filtrage très restrictif



(d) Effet du bruit sur le diagramme de l'œil

Figure III.2. Interprétation des diagrammes de l'œil

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.3 Travaux de simulations

III.3.1 Simulation d'un système TDM-PON

III.3.1.1 Présentation

Dans cette première partie, Nous étudions l'impact de la longueur de la fibre et du débit sur la qualité de la transmission.

III.3.1.2 Architecture

La figure III. 3 illustre le système PON TDM à simuler. Il est composé de :

- ✓ Un OLT.
- ✓ Une fibre optique monomodale unidirectionnelle.
- ✓ Un splitter.
- ✓ Huit blocs ONU (huit clients distincts).

Afin d'analyser l'effet de la longueur de la fibre et le débit sur la qualité de la transmission, nous varions la longueur de la fibre optique avec un pas de 5 km pour les débits : (622Mbit/s, 1224Mbit/s, 2.5Gbit/s, 5 Gbit/s).

Les résultats obtenus nous permettrons d'estimer la distance optimale de chaque débit ainsi que le débit maximal que ce système peut offrir à ses clients. Le débit desservi est partagé. Ces résultats sont prélevés au niveau de la réception (ONU).

CHAPITRE III : travaux de simulation

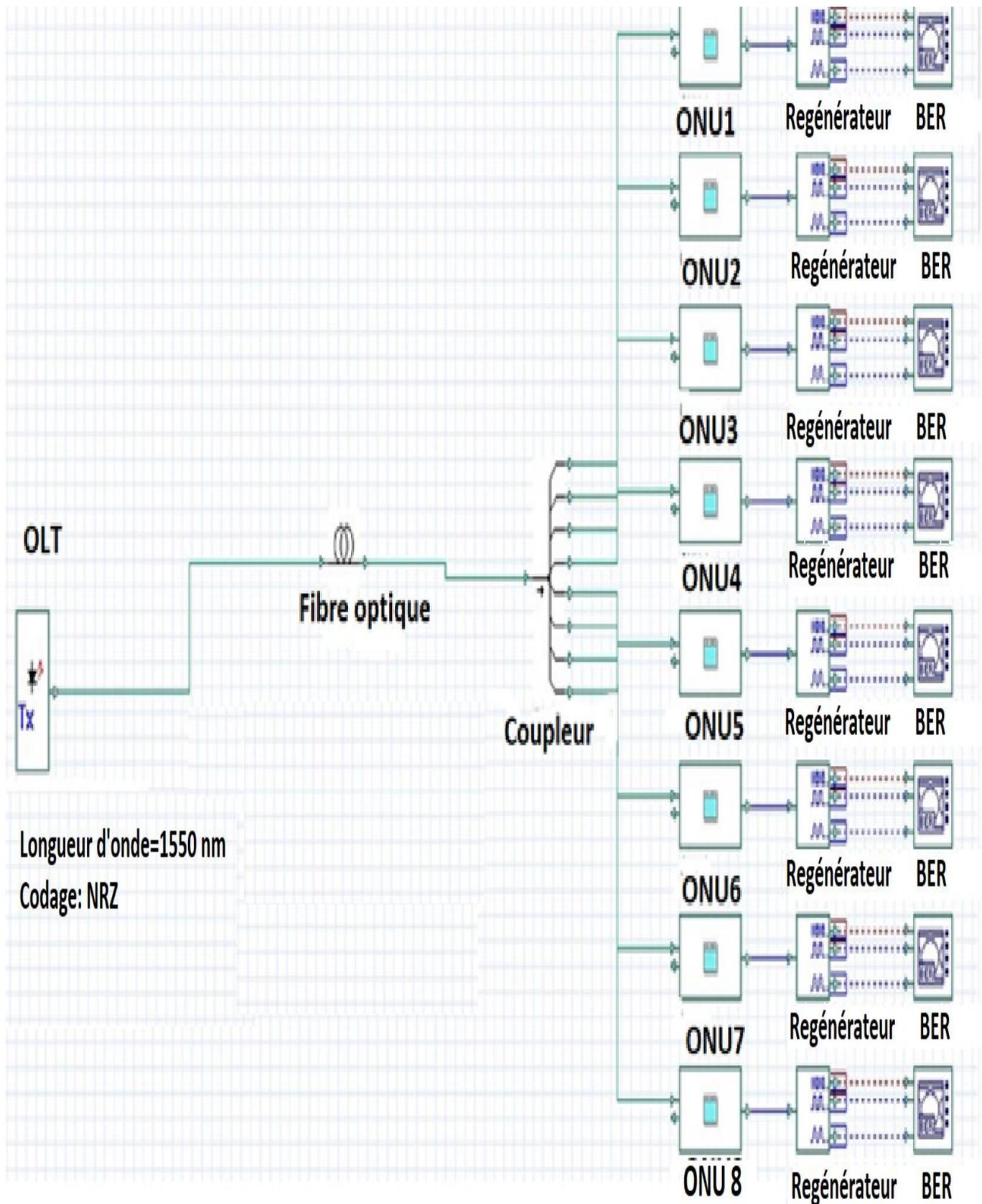


Figure III. 3: Architecture d'une liaison PON TDM unidirectionnelle.

CHAPITRE III : travaux de simulation

III. 3.1.3 Paramètres des composants

Nous donnons les paramètres des composants optiques de ce système dans le tableau III.1 :

Composants	Paramètres
OLT (LASER)	Longueur d'onde : 1550 nm
	Codage : NRZ
Fibre optique	Longueur : 1 à 30 Km (pas 5 km)
	Atténuation : 0.2 dB/Km
	Dispersion : 16.75 Ps/nm/Km
ONU (PIN)	Sensibilité : 0.875 A/W

Tableau III. 1: Paramètres des composants optiques de système TDM PON

III.3.1.4 Résultats

La figure III.4 présente le logarithme base 10 des taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la longueur de la fibre pour les débits (622Mbit/s, 1224Mbit/s, 2.5Gbit/s, 5 Gbit/s).

CHAPITRE III : travaux de simulation

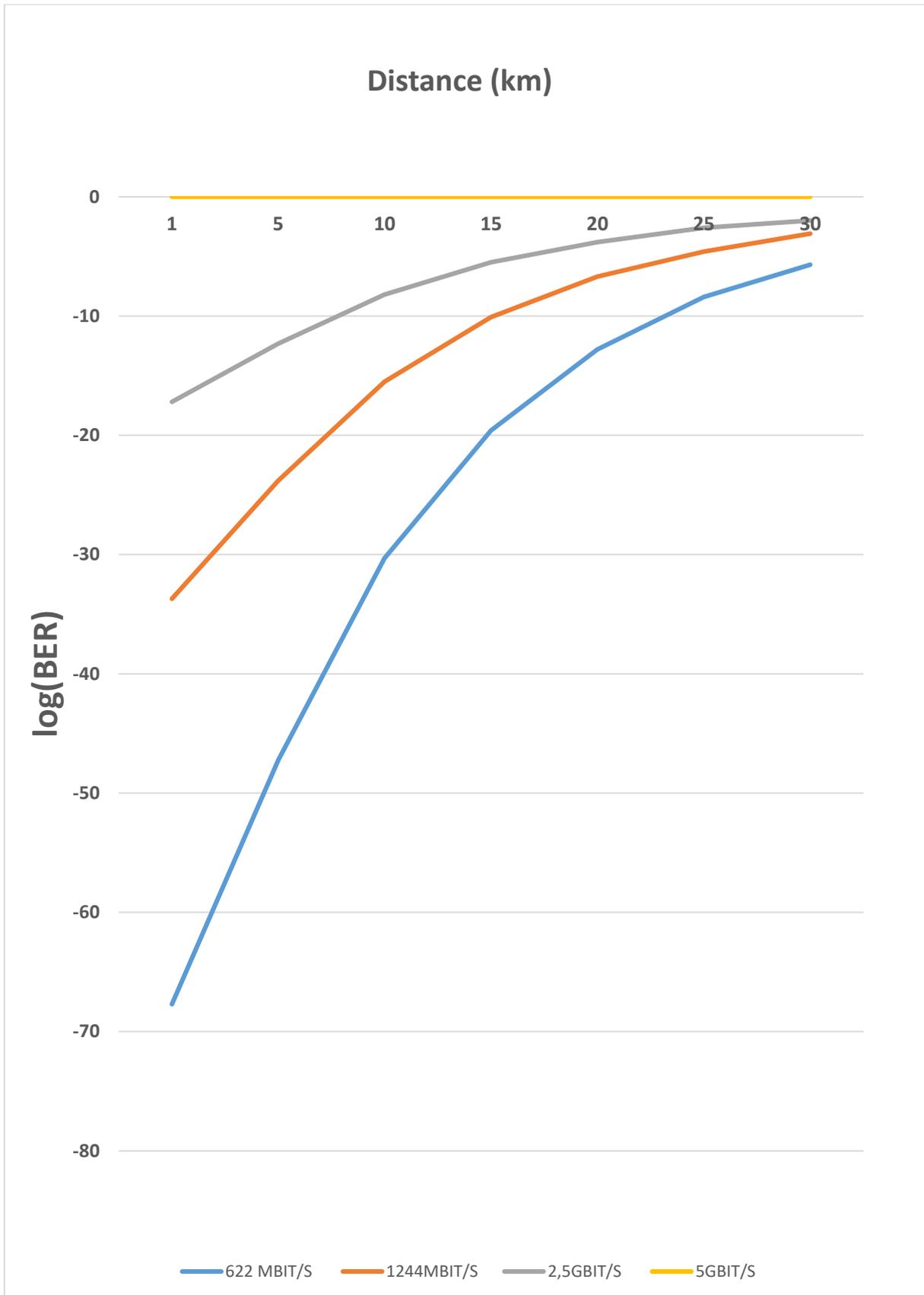


Figure III. 4: Variation du log(BER)

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.3.1.5 Analyses et Interprétations des résultats

Nous remarquons que la qualité de la transmission se détériore en fonction de la longueur de la fibre. La dégradation remarquée du BER s'explique par : les bruits propres à l'émetteur optoélectronique et à la photo détecteur, l'affaiblissement et la dispersion chromatique de la fibre optique monomodale, et la limitation du coupleur en termes de synchronisation pour les débits supérieur 2.5 Gbits.

III.3.2 Simulation d'un système CWDM-PON

III.3.2.1 Présentation

Dans cette deuxième partie, nous proposons et simulons une architecture CWDM PON.

III.3.2.2 Architecture

Dans cette simulation nous avons remplacé les coupleurs par un multiplexeur et un démultiplexeur. La fibre optique qui doit être utilisé est de type CWDM. La figure III.5 montre le système CWDM PON à simuler. La chaîne de transmission est unidirectionnelle et composé de :

- ✓ OLT.
- ✓ Multiplexeur CWDM.
- ✓ Fibre optique CWDM.
- ✓ Démultiplexeur CWDM.
- ✓ Huit ONUs.

L'étude de ce système proposé portera sur l'analyse de ses performances en fonction de la distance pour les mêmes débits simulés dans la première partie. En revanche, les débits utilisés sont dédiés (par canal).

CHAPITRE III : travaux de simulation

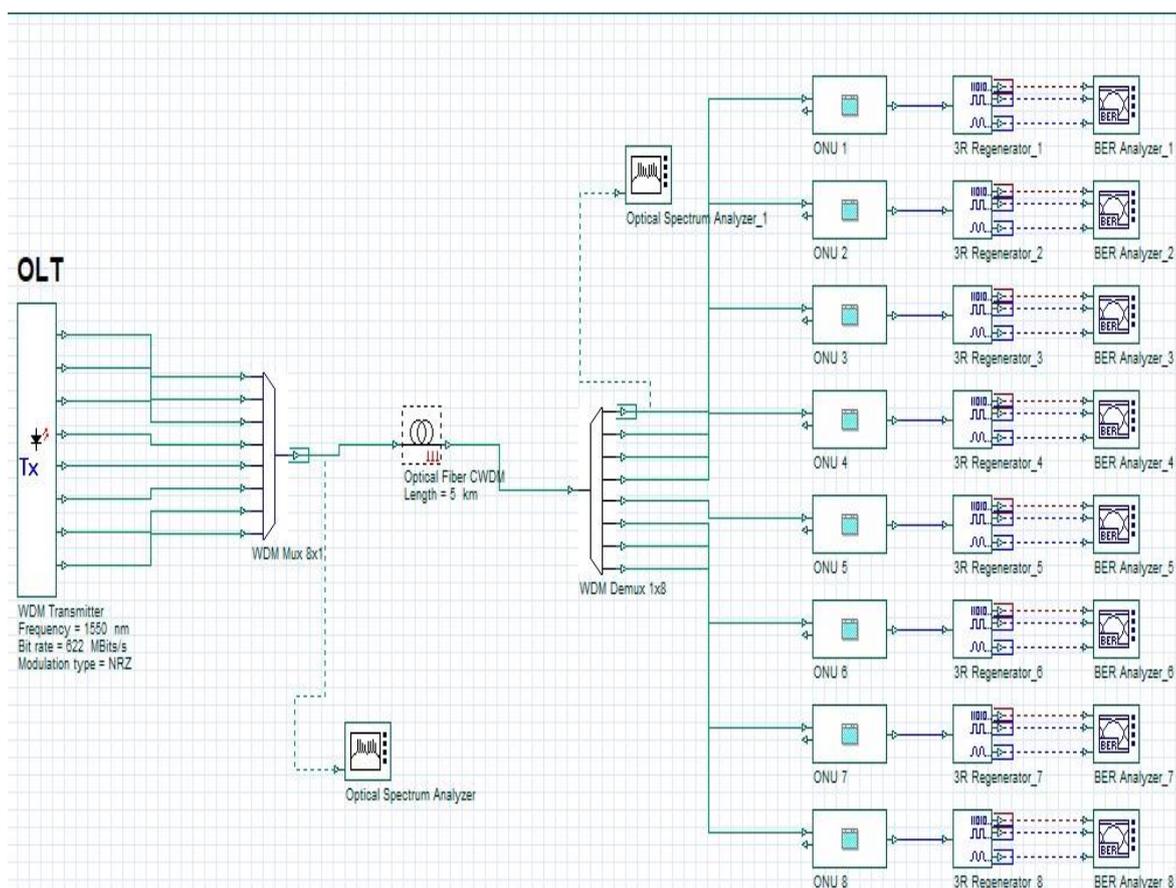


Figure III. 5: Système PON CWDM unidirectionnelle.

III. 3.2.3 Paramètres des composants

Nous donnons les paramètres des composants optiques du système proposé dans le tableau III.2 :

Composants	Paramètres
OLT (8 LASER)	Longueur d'onde : 1550 nm
	Espacement inter-canaux : 50 nm
	Codage : NRZ
Fibre optique CWDM	Longueur : 1 à 30 Km (pas 5 km)
	Atténuation : 0.2 dB/Km
	Dispersion : 16.75 Ps/nm/Km
ONU (PIN)	Sensibilité : 0.875 A/W

Tableau III. 2: Paramètres des composants optiques du système CWDM PON

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.3.2.4 Résultats

La figures III.6 Présente les variations du logarithme base 10 des taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la longueur de la fibre pour les débits (622Mbit/s, 1224Mbit/s, 2.5Gbit/s, 5 Gbit/s).

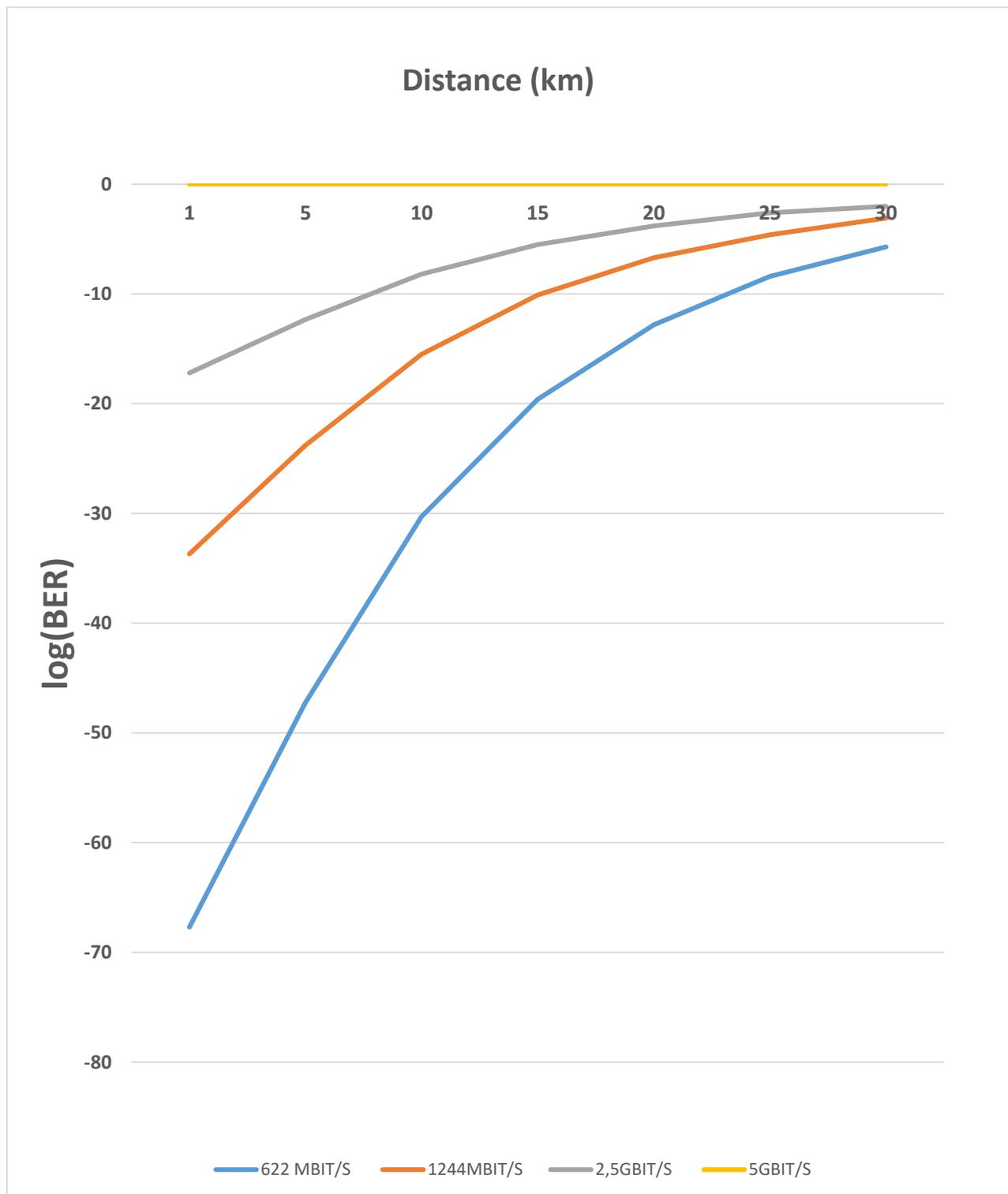


Figure III.6 : Variation de log(BER).

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.3.2.5 Analyses et Interprétations des résultats

Les taux d'erreur binaire se dégradent proportionnellement en fonction du débit et la distances. En effet, les bruits propres à l'émetteur opto-électronique et au photodétecteur, l'affaiblissement et la dispersion chromatique de la fibre optique monomodale, et les distorsions induites par le multiplexeur et les démultiplexeurs sont les causes principales de cette dégradation remarquée.

III.3.3 Simulation des systèmes WDM PON

II.3.3.1 Présentation

Dans cette simulation, nous proposons et étudions une topologie WDM-PON. Cette étude nous aidera à estimer la portée pour plusieurs débits et la capacité maximale de chaque canal.

III.3.3.2 Topologie

Dans cette étude, le multiplexeur et le démultiplexeur sont de type WDM et la fibre est une monomode. La figure III.7 illustre le système WDM PON unidirectionnel à analyser. Il est constitué de :

- ✓ Un OLT.
- ✓ Une fibre monomode unidirectionnelle.
- ✓ 8 ONUs.
- ✓ Un multiplexeur WDM.
- ✓ Un démultiplexeur WDM.

CHAPITRE III : travaux de simulation

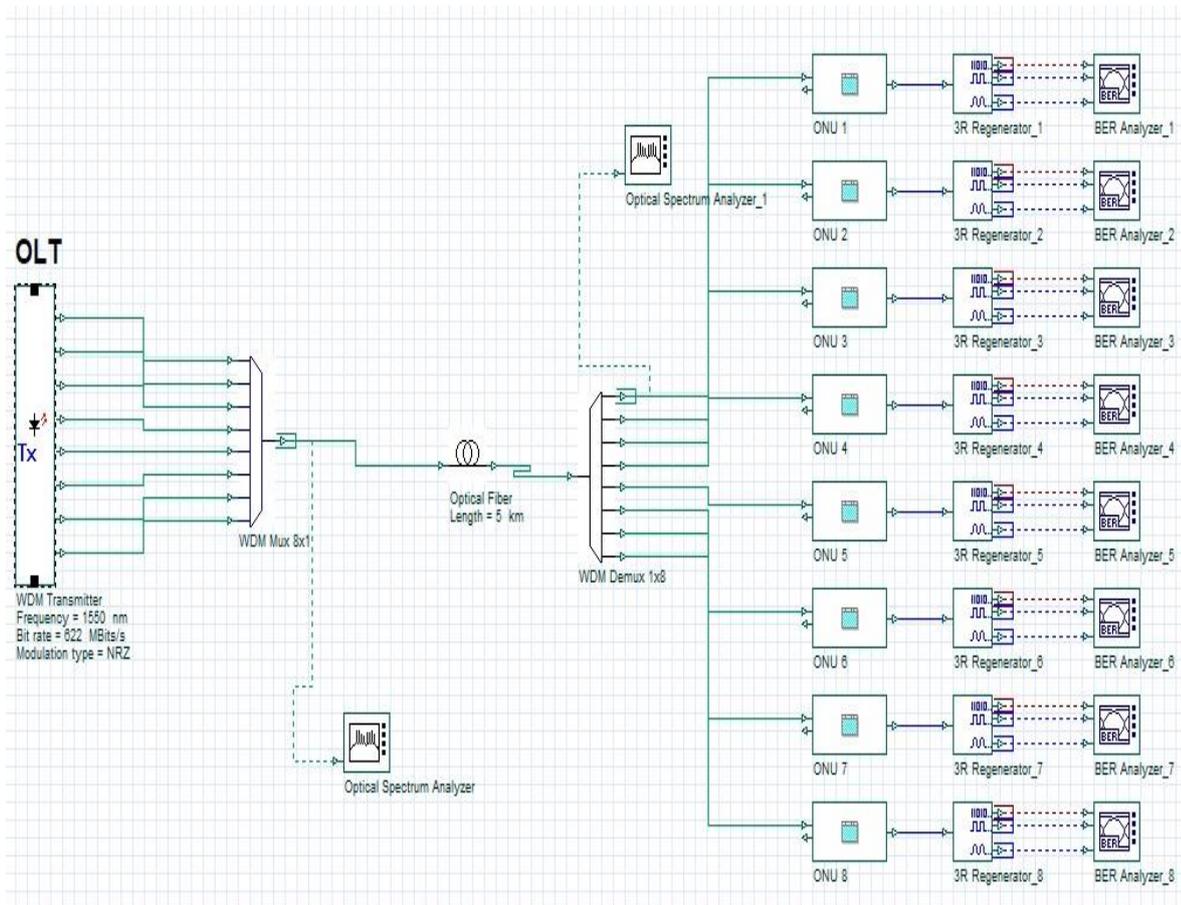


Figure III.7 : Système WDM PON unidirectionnelle

III. 3.3.3 Paramètres des composants

Les paramètres des composants optiques du système WDM PON proposé sont présentés par le tableau III.3 :

Composants	Paramètres
OLT (8 LASER)	Longueur d'onde : 1550 nm
	Espacement inter-canaux : 50 nm
	Codage : NRZ
Fibre optique	Longueur : 1 à 30 Km (pas 5 km)
	Atténuation : 0.2 dB/Km
	Dispersion : 16.75 Ps/nm/Km
ONU (PIN)	Sensibilité : 0.875 A/W

Tableau III. 3: Paramètres des composants optiques du système WDM PON

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.3.3.4 Résultat de la simulation

La figure III.8 présente les variations du LOG (Taux d'erreur binaire (BER) au niveau d'ONU en fonction des portées entre OLT/ONU.

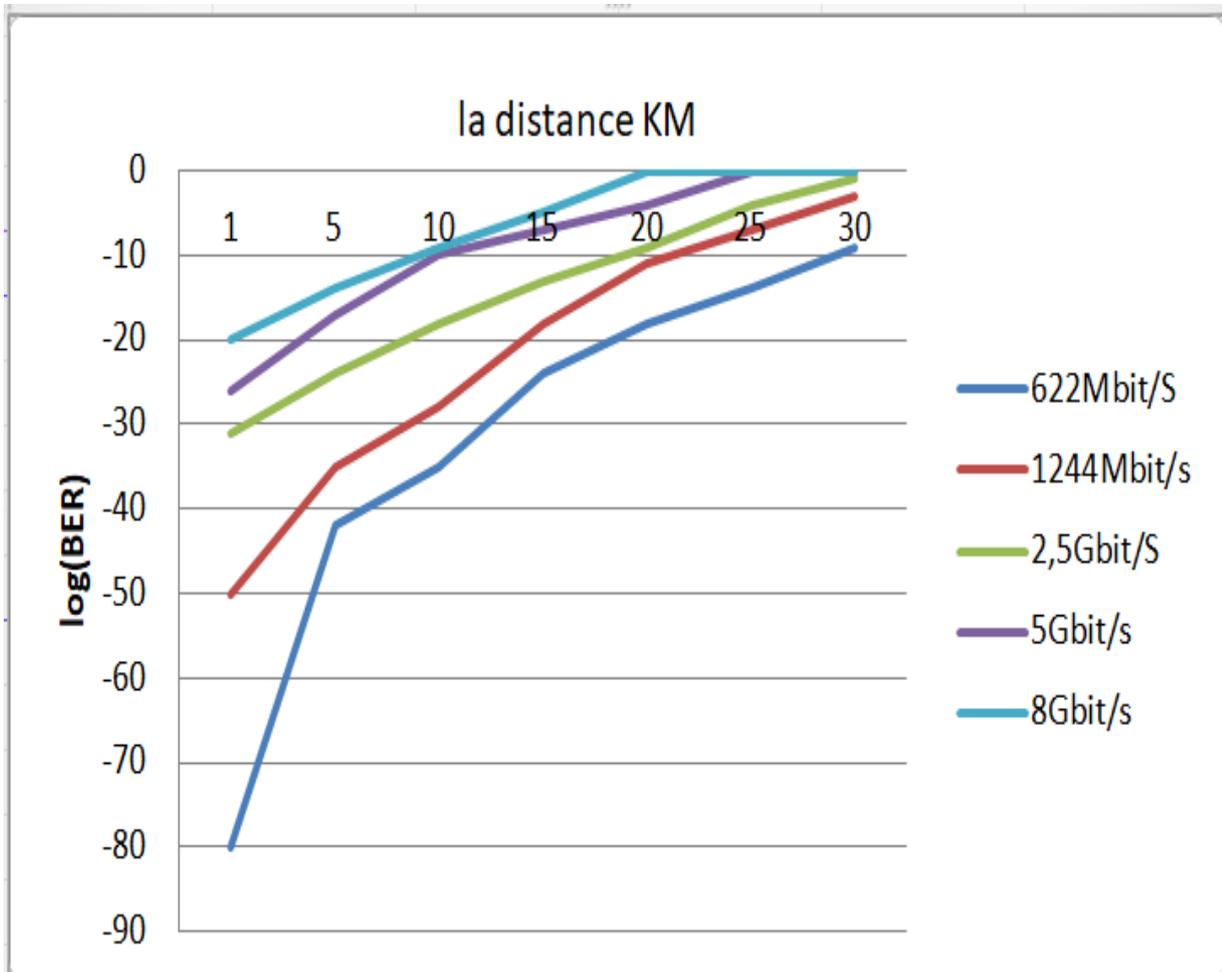


Figure III.8: Variation du log(BER) en fonction de la distance

III.3.3.5 Analyses et Interprétations des résultats

Nous remarquons que la qualité de la transmission se dégrade en fonction de la longueur de la fibre.

Cette dégradation se traduit par les effets du bruit (modulateur optique et photo détecteur), Distorsion du multiplexeur et démultiplexeur, et affaiblissement et de la dispersion chromatique (fibre optique monomodale) propres aux systèmes d'accès optiques.

CHAPITRE III : travaux de simulation

III.4 Comparaison entre TDM PON, CWDM PON et WDM PON

Pour consolider les travaux effectués précédemment, nous analysons et comparons les diagrammes de l'œil (tableau III.4) en fonction de la portée, qui sont prélevés au niveau de la réception des trois systèmes (figure III.2, figure III. 4 et figure III.6).

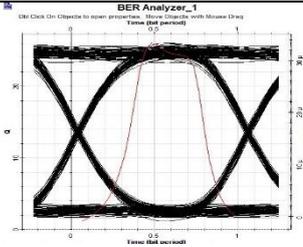
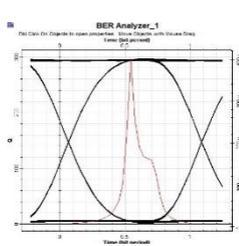
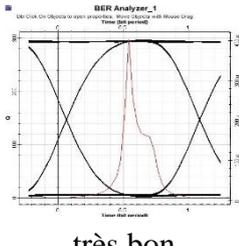
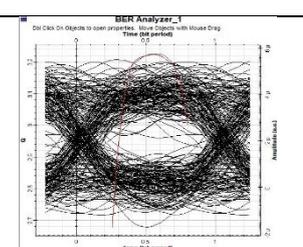
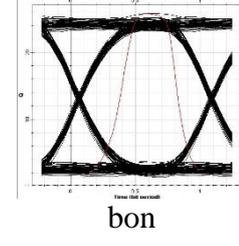
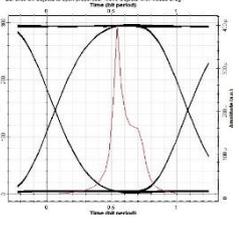
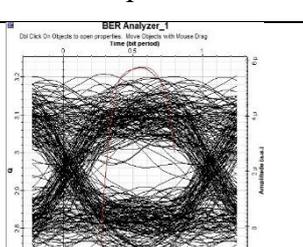
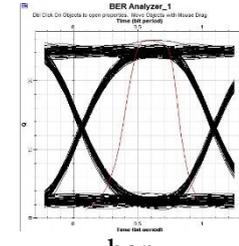
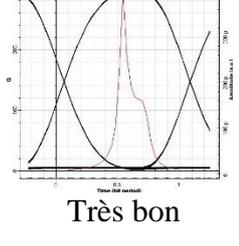
Portée	TDM PON	CWDM PON	WDM PON
15km	 <p style="text-align: center;">Bon</p> <p style="text-align: center;">Présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>	 <p style="text-align: center;">Très bon</p>	 <p style="text-align: center;">très bon</p>
30km	 <p style="text-align: center;">Mauvais</p> <p style="text-align: center;">présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>	 <p style="text-align: center;">bon</p> <p style="text-align: center;">Présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>	 <p style="text-align: center;">très bon.</p>
60km	 <p style="text-align: center;">Très mauvais</p> <p style="text-align: center;">Présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>	 <p style="text-align: center;">bon</p> <p style="text-align: center;">Présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>	 <p style="text-align: center;">Très bon</p> <p style="text-align: center;">Présente du bruit, et des distorsions de phase et d'amplitude</p>

Tableau III.4 : comparaison entre TDM PON, CWDM PON et WDM PON

CHAPITRE III : travaux de simulation

D'après les travaux traités dans le tableau III.4 et ceux étudiés précédemment, nous constatons que le système PON WDM présente les meilleures performances (débits et portées) par rapport à ceux de CWDM PON et TDM PON. En revanche sa mise en œuvre est très dispendieuse.

Le déploiement du CWDM PON s'avère le meilleur choix, car il présente également des débits et des portées plus importants qu'un système TDM PON, au détriment d'un coût plus élevé. L'architecture que nous avons établie peut-être proposée pour des entreprises qui désirent implémenter la sécurité par l'utilisation des longueurs d'ondes distinctes.

III.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons proposé deux architectures CWDM PON ET WDM PON. Puis nous avons étudié et analysé l'impact de la distance et le débit, sur ces systèmes y compris le système TDM PON. La qualité de la transmission a été évaluée par l'analyse du BER.

Ensuite nous avons comparé les performances de ces trois systèmes par l'évaluation des BER et les diagrammes de l'œil, et nous avons constaté que le CWDM PON s'avère le meilleur système en termes de rapport qualité coût avec une sécurité garantie.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de ce mémoire de projet de fin d'étude, nous avons étudié théoriquement les réseaux d'accès notamment le TDM-PON et la contribution du WDM dans ces réseaux.

Ensuite, nous avons effectué des travaux de simulation sur le logiciel OptiSystem d'Optiwave afin de consolider notre étude théorique. Dans une première partie, nous avons simulé et analysé l'impact du débit et de la distance sur la qualité de la transmission d'un réseau TDM PON. Puis, nous avons proposé deux systèmes (CWDM PON et WDM PON) et étudié l'effet du débit et de la portée sur leurs performances. L'analyse des performances ont été effectuée par l'évaluation du TEB et le diagramme de l'œil.

A titre de comparaison, nous avons conclu, qu'effectivement, le déploiement du multiplexage de longueurs d'onde dans un réseau PON a permis d'augmenter très significativement son débit et sa portée.

De plus, contrairement au réseau TDM PON, le CWDM PON et WDM PON assure la synchronisation et la sécurité des données par l'allocation d'une fréquence pour chaque abonné.

En perspective, nous proposons d'étudier l'augmentation du nombre de canaux du multiplexeur WDM ou encore d'augmenter le débit par canal par l'utilisation d'un modulateur optique externe de type DPSK.

Pour conclure, Ce projet nous a permis d'améliorer nos compétences dans les systèmes optiques et d'apprendre de nouveaux concepts notamment le réseau d'accès optique TDM PON et la technologie WDM.

Bibliographie

- [1] thèse de doctorant Fabia Raharimanitra page 23-27 «Contribution à l'étude des architectures bases 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 10Gbit/s»
- [2] H, MRABET, cours réseau d'accès optique, Institut supérieur des etudes technologiques en communication de Tunis.
- [3] A.Belkhira et Mokrani, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [4] Zeno Toffano « Optoélectronique, ed. Ellipses, 2001 »
- [5] A.Dellal et E.Essafi, « Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [6] T.Fettouhi, « Etude et planification d'un réseau de transport optique », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, juin 2009.
- [7] Colombier. F ; Pugnoud .C ; 2005 – « Réseaux et routage optique ».
- [8] H.Habbar et K.Djelidi, « Liaison optique à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2004.
- [9] Irène et Michel Joindot « Les télécommunications par fibres optiques ed. Dunod, 1996 »
- [10] « Mémoire SUR LES RESEAUX FTTH » - Juillet 2009 ; COGISYS ; Architecture des systèmes de communication.
- [11] A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin 2006.
- [12] Nakano Yuluo Hitachi << Technologie and applications of Passive Optical Network (PON) >>

- [13] S, FEROU, <<Etude d'un réseau BPON bidirectionnel>>, mémoire master, université de Tlemcen, 2013.
- [14], F, RAHARIMANITRA, <<contribution a 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) a 10 Gbit/s>>, thèse doctorat, Université de Bretagne-Sud, 2012.
- [15] MEUNIER. J - P; 2003 – « Télécoms Optique » : Composants à fibres systèmes de transmission. Ed. Hermes. Paris.
- [16] SEGURA. D ; LABAUD. A ; 2007 - « Réseaux optiques et routage optique ».
- [17] MEUNIER. J - P; 2003 – « Télécoms Optique » : Composants à fibres systèmes de transmission. Ed. Hermes. Paris.
- [18] Mathieu Le François, "Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s", instiut d'optique palaiseau, décembre 2007.
- [19] F, RAHARIMANITRA, <<contribution a 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) a 10 Gbit/s>>, thèse doctorat, Université de Bretagne-Sud, 2012.
- [20] Franck PAYOUX « ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUES EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE » thèse de doctorat, ENST bretagne, 2006.
- [21] Mathieu Lefrançois, "Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s", instiut d'optique palaiseau, décembre 2007.
- [22] N. Ansari and J. Zhang, Media access control and resource allocation: for next generation passive optical networks. New York ; Heidelberg: Springer.

