REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE SCIENCE TECHNOLOGIE

PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du Diplôme Master

Filière : GENIE ELECTRIQUE

Spécialité : SYSTEMES DE TELECOMMUNICATION

THEME :

ETUDE ET SIMULATION DES MULTIPLEXAGES WDM EN TRANSMISSION à BASE DES FIBRES OPTIQUES EN UTILISANT LE LOGICIEL OPTISYSTEM

Rédigés et Présentés par :
YACOUBOU ISSA ADAMOU
GASMI MOHAMED AMINE

Proposé et dirigé par :
Mr. MIMEN BAKHTI

Promotion Juin 2024

REMERCIEMENTS

Nous remercions le bon dieu de nous avoir donné la volonté et la patienceQui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur

Mr Mimen Bakhti pour nous avoir encadrés durant notre projet de find'étude et nous conseillé tout le long de notre travail.

Au terme de ce travail, on tient à exprimer notre profonde gratitude etsincères

Remerciements à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à laréalisation de ce projet.

On tient aussi à remercier vivement tous nos professeurs de nous avoirencadrer ou long de ce cycle Master et ceux du département génie électrique en général.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneurqu'ils Nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Dédicaces

A ce qu'est toujours mon meilleur exemple dans la vie mon père, pour lessacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il n'acessé d'offrir.

Au symbole de douceur, de tendresse, d'amour et affection, et grâce au sensde devoir et aux sacrifices immenses qu'elle a consentis ma mère j'ai pu arriver à réaliser ce travail.

A ce qui m'ont souhaité de la chance et du courage ma sœur et mon frère àqui je souhaite également un avenir promettant et radieux.

A mes camarades et frères internationaux en Algérie.

A ce qui m'ont aidée à résoudre mes problèmes, m'ont permis d'avoir lesavoir-faire au travail, ma famille.

A la famille ALBERT FERRAL,A la famille ISSA, A LA FAMILLE GASMI

Adam

Dédicaces

A mes très chers parents

Pour tout l'amour et l'encouragement qu'ils me portent au cours de ce projet, je leur dédie ce travail en témoignaged'un grand amour et reconnaissance infinie, qu'ils trouvent ce travail en témoignage de ma profonde gratitude et mon infini dévouement.

A mon frère et mes sœurs

Pour votre soutient et encouragement, vous occupez une place particulièredans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.

A mes chers amis

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.

Je remercie mon équipe, Crew Camping : ISSAM, ADEL, ISMAIL, MOHAMED et YOUCEF pour leur dévouement, leur camaraderie et leur enthousiasme inébranlable qui m'ont inspiré et motivé tout au long de ce voyage. Ensemble, nous avons transformé les défis en opportunités et les rêves en réalités.

A la famille Gasmi

A la famille Ben Khaled

Mohamed Amine

ملخص:

تعتمد هذه المذكرة بشكل عام على الاتصالات البصرية، التي تظل واحدة من أكثر أنظمة النقل موثوقية وآمنة لنقل البيانات بسرعة عالية في الوقت الحالي. ومع ذلك، من أجل نقل المعلومات من مصادر مختلفة عبر نفس الخط لتوسيع نطاقه واستغلاله بشكل أفضل، يتعين بالضرورة اللجوء إلى جهاز التعددية، والذي يشكل العنصر الرئيسي لتحقيق هذه العملية

بالتالي، تسمح دراستنا في المقام الأول بفهم نظام النقل البصري بشكل شامل، ثم فهم أنظمة التعددية المستخدمة في الاتصالات البصرية، خاصة الأنواع المختلفة المستخدمة في تقنية تعددية الموجات (WDM), وأخيرًا، يتم إجراء دراسة عملية استنادًا إلى محاكاة مختلف تقنيات التعددية مثل WDM ، CWDM، DWDM و WDM-PDM لتقييم ومناقشة أدائها من خلال معدلات أخطاء البت (BER) ومخططات العين لاستخلاص استنتاجات تهدف إلى تحسينها أو تقديم اقتراحات.

وأخيرًا، تتضمن الدراسة مقارنة بين مختلف نماذج التعددية والمسارات، بالإضافة إلى مقارنة تهدف إلى فهم أهمية الألياف التعويضية للتشتت (DCF) في النقل البصري.

بناءً على ذلك، يمكن أن تساعد هذه الدراسة في عمليات تركيب أنظمة النقل البصري لمعرفة أي تقنية الواجب استخدامها وفقًا للظروف المتوفرة بهدف تقليل التكاليف واختصار الوقت لاختيار التقنية الانسب، وذلك بالاستناد إلى التحليلات المختلفة ونتائج المحاكاة التي قمنا بها على هذه الأنظمة المتنوعة.

الكلمات المفتاحية:

التعددية، الياف بصرية، Optisystem , معدل خطأ البت، مخطط العين، WDM, DWDM, CWDM, PDM.

Résumé :

Ce mémoire est basé de manière générale sur les communications optiques qui demeure de nos jours l'un d'un système de transmission le plus fiable et le plus sécurisé pour une transmission rapide et a très haut débit. Cependant pour pouvoir acheminer sur une même ligne des informations provenant des sources différentes afin d'élargir et mettre en profit cette dernière, l'on fait forcement recours au multiplexeur qui constitue l'élément clé pour la réalisation de cette opération.

De ce fait notre étude permet dans un premier lieu de comprendre un système de transmission optique danssa globalité ensuite comprendre les systèmes de multiplexage utilisé en communication optique surtout lesdifférents types utilisé en WDM, et enfin une étude pratique basé sur la simulation des différentes techniquede multiplexage tel que la WDM, CWDM, DWDM LA WDM-PDM pour pouvoir évaluer et discuter cette performance à travers les BER et diagramme de l'œil pour tirer de conclusions visant à l'améliorer ou à apporter des suggestions.

Et enfin une étude comparative sur les différents modèles de multiplexage, de trajets ainsi qu'une comparaison visant à comprendre l'intérêt de la DCF dans la transmission optique.

De ce fait, cette étude pourrait aider lors des installations des systèmes de transmission optique pour connaitre quelle technologie utiliser selon les conditions réelles en vue de minimiser les coûts et choisir celles avec les performances qui conviendront en se basant sur nos différentes analyses et résultats de nos simulations sur ces différents systèmes.

Mots clés :

Multiplexage, fibre optique, optisystem, BER, diagramme de l'œil, WDM, CWDM, DWDM, WDM-PDM.

Summary :

This memory is generally based on optical communications which remains today one of the most reliable and secure transmission system for fast and very high speed transmission. However, in order to be able to forward information from different sources on the same line in order to broaden and exploit the latter, the multiplexer is necessarily used, which is the key element for the realization of this operation.

Therefore, our study allows in a first place to understand an optical transmission system in its entirety then understand the multiplexing systems used in optical communication especially the different types used in WDM and finally a practical study based on the simulation of different multiplexing techniques such as WDM, CWDM, DWDM LA WDM-PDM to be able to evaluate and discuss this performance through the BER and eye diagram to draw conclusions aimed at improving it or making suggestions.

And finally, a comparative study on the different multiplexing models, paths and a comparison to understand the interest of DCF in optical transmission.

According to that, this study could help during the installations of optical transmission systems to know which technology to use under real conditions in order to minimize costs and choose those with the performance that will be appropriate based on our different analyses and results of our simulations of these different systems.

Key words:

Multiplexing, Optical fiber, optisystem, BER, Eye diagram, WDM, CWDM, DWDM, WDM-PDM.

Table des matières

Introduction Générale 1

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION D'UN SYSTEME DETRANSMISSION A BASE DE FIBRES OPTIQUES

1. INTRODUCTION 3

2. DESCRIPTION DE CHAINE DE TRANSMISSION OPTIQUE 3

2.1 ÉMETTEUR OPTIQUE 4

2.1.1 Études sur des blocs sources (led, laser) 5

2.1.2 Les fenêtres de transmission optique 7

2.2 CODAGE DE DONNEES 8

3. MODULATION OPTIQUE 8

3.1 MODULATION DIRECTE 8

3.2 MODULATION EXTERNE 8

4. DESCRIPTION DE LA FIBRE OPTIQUE 9

4.1 COMPOSITIONS DE LA FIBRE 10

4.2 ATTENUATION DE LA FIBRE OPTIQUE 10

4.3 LES TYPES DE PERTES DANS LA FIBRE OPTIQUE 11

4.3.1 Les pertes d'absorption dans la fibre optique 11

4.3.2 Les pertes de dispersion 11

4.3.3 La courbure 11

4.3.4 L'épissage des fibres optiques 12

4.3.5 Les pertes aux raccordements 12

4.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA FIBRE OPTIQUE 12

4.4.1 Indice de réfraction les lois de Snell-Descartes et application en fibre optique 12

4.4.2 L'ouverture numérique 13

4.5 TYPE DE FIBRE OPTIQUE 14

4.5.1 La fibre optique multimodale 14

4.5.2 La fibre optique monomodale 15

4.5.3 Comparaison entre les deux types de fibres 16

4.5.4 Avantages et inconvénients de la fibre optique 16

4.5.5 Les coupleurs optiques 17

5. AMPLIFICATION OPTIQUE 18

5.1 LES BOOSTERS (AMPLIFICATION DE PUISSANCE) OU POST AMPLIFICATEUR 18

5.2 LES AMPLIFICATEURS EN LIGNE 18

5.3 Les préamplificateurs 19

6. RECEPTEURS OPTIQUES : 19

6.1 PHOTODETECTEUR 20

6.2 PHOTODIODE PIN 20

6.3 LA PHOTODIODE A AVALANCHE (PDA) 21

6.4 CARACTERISTIQUES DE LA PHOTO DETECTEUR 21

7. MULTIPLEXAGE ET DEMULTIPLEXAGE DES DONNEES. 21

8. CONCLUSION 22

CHAPITRE 2 : ETUDE DES TECHNIQUES DEMULTIPLEXAGE OPTIQUE

1. INTRODUCTION 26

2. DESCRIPTION ET PRINCIPE DU MULTIPLEXAGE ET DEMULTIPLEXAGE OPTIQUE 26

2.1 MULTIPLEXAGE OPTIQUE 26
2.2 DEMULTIPLEXAGE OPTIQUE 26
2.3 TYPES DE MULTIPLEXAGES 27
2.3.1 Multiplexage temporel (TDM) 27
2.3.2 La CDMA optique 28
2.3.2.1 Les avantages du CDMA aux réseaux d'accès optique 28
2.3.2.2 Architecture d'OCDMA 28
2.3.2.3 Les différentes approches de l'OCDMA 29
2.3.2.4 Avantages et inconvénients de l'OCDMA 29
2.3.3 Multiplexage en longueur d'onde (WDM) 30
2.4 DESCRIPTION 31
2.4.1 Les avantages de la technologie WDM 31

3. TYPES DE LA TECHNOLOGIE WDM 32

3.1 MULTIPLEXAGE CWDM 32
3.2 MULTIPLEXAGE DWDM 34
3.2.1 Structure de la DWDM 34
3.2.2 Le principe de fonctionnement du système DWDM 35
3.2.3 Classification des systèmes DWDM 36
3.2.4 Avantages et inconvénients du DWDM 37
3.2.5 Comparaison entre CWDM ET DWDM 37
3.3 LA TECHNIQUE MWDM 39
3.3.1 Description 39
3.3.2 Caractéristiques du MWDM 39
3.4 LA TECHNIQUE LWDM 41
3.4.1 Comparaison entre MWDM et LWDM 41
3.5 PDM 42

4. CONCLUSION 43

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET DISCUSSION DES RESULTATS ISSUE DES MULTIPLEXAGES A L'AIDE D'OPTISYSTEM

1 INTRODUCTION 44

2. PRESENTATION DU LOGICIEL OPTISYSTEM 44

2.1 LA BIBLIOTHEQUE 45
2.2 DIAGRAMME DE L'ŒIL 46
2.3 LE BER (BIT ERROR RATE) 47

3. SIMULATION CWDM 47

3.1 LA PARTIE EMISSION : 48
3.2 LA PARTIE TRANSMISSION 48
3.3 La partie réception 49

3.4 DIAGRAMME DE L'OEIL APRES SIMULATION 49
3.5 LES DIFFERENTS CAS 50
4. SIMULATION DWDM 55
4.1 SIMULATION NORMALE DE LA TECHNIQUE DWDM 56
4.2 PREMIER CAS (EVOLUTION DE LA QUALITE DE TRANSMISSION EN FONCTION DE LADISTANCE DE LA FIBRE) 57
4.3 DEUXIEME CAS (COMPORTEMENT DU BER EN VARIATION DE DEBIT) 60
5. SIMULATION PDM-WDM 61
5.1 PARTIE EMISSION 62
5.2 PARTIE TRANSMISSION 62
5.3 PARTIE RECEPTION 63
6. ETUDE COMPARATIVE 63
6.1 PREMIER CAS (COMPARAISON DU FACTEUR DE QUALITE LORS D'UNE TRANSMISSIONDIRECTE ET UNE TRANSMISSION AVEC RELAIS) 63
6.2 DEUXIEME CAS (COMPARAISON ENTRE LES FIBRES SMF ET DCF ET INTERET) 67
6.3 COMPARAISON ENTRE LA CWDM NORMAL ET LA CWDM AVEC UNE FIBRESUPPLEMENTAIRE (DCF) DE 10KM 69
6.4 TROISIEME CAS (BER DE WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM EN FONCTIONDE LA DISTANCE) 70
6.5 QUATRIEME CAS (BER DE WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM ENFONCTION DU DEBIT) 71
7. CONCLUSION 72
CONCLUSION GENERALE 73
REFERENCES 74
ANNEX 77

Liste des figures

Figure 1. 1 : Schéma synoptique d'une chaine de transmission optique.[8]..... 3
Figure 1. 2 : Constituant d'un émetteur optique. [9]..... 4
Figure 1. 3 : Structure d'une diode 6
Figure 1. 4 : Structure d'une diode laser. [9]..... 6
Figure 1. 5 : Puissance par rapport à la longueur d'onde d'une led et d'un laser [9] 6
Figure 1. 6 : illustration d'une projection de source led et laser sur une fibre [10]..... 6
Figure 1. 7 : Schéma simplifie d'une projection de source led et laser sur une fibre optique.[10] 7
Figure 1. 8 : Les fenêtres de transmission optique..... 7
Figure 1. 9 : Modulation directe [11]..... 8
Figure 1. 10 : : Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe [11]..... 8
Figure 1. 11 : Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe [11]..... 9
Figure 1. 12 : Modulation externe [11]..... 9
Figure 1. 13 : illustration d'un câble optique [2] 10
Figure 1. 14 : Les types de pertes [3]..... 11
Figure 1. 15 : Les différents types de pertes au raccordement [4]..... 12
Figure 1. 16 : Schéma illustrant la loi de Snell Descarte [5] 12
Figure 1. 17 : Schéma illustrant l'intérêt de l'ouverture numérique [6] 13
Figure 1. 18 : Schéma illustrant une fibre optique multimodale à saut d'indice. 14
Figure 1. 19 : Schéma illustrant une fibre optique multimodale à gradient d'indice [6]..... 15
Figure 1. 20 : Schéma illustrant une fibre optique monomodale [6] 15
Figure 1. 21 : Comparaisons physique du type de fibre [3]..... 16
Figure 1. 22 : Coupleur optique 2 par 2. 18
Figure 1. 23 : Types d'amplificateur selon le point d'utilisation sur une transmission [9] 18
Figure 1. 24 : schéma synoptique d'un récepteur optique [12]..... 19
Figure 1. 25 : schéma synoptique d'une photo diode pin [13]..... 20
Figure 1. 26 : schéma synoptique d'une photo diode PDA [14]..... 21
Figure 1. 27 : Multiplexage et démultiplexage d'une donnée. 21

Figure 2. 1 : illustration d`un système de multiplexage et démultiplexage optique [1]..... 26
Figure 2. 2 : Schéma de principe d'un multiplexage à répartition dans le temps [1] 27
Figure 2. 3 : Sérialiseur – désérialiseur [2]..... 27
Figure 2. 4 : OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques [11]..... 29
Figure 2. 5 : Principe de fonctionnement du multiplexage WDM bidirectionnelle..... 30

Figure 2. 6 : Principe de multiplexage WDM [5] 31
Figure 2. 7 : illustration d'un multiplexeur WDM avec des différents protocoles [7] 32
Figure 2. 8 : Multiplexage et démultiplexage CWDM [5] 33
Figure 2. 9 : Structure de la DWDM [9] 34
Figure 2. 10 : Schéma d'une transmission unidirectionnelle a double fibre [9] 35
Figure 2. 11 : Schéma transmission bidirectionnelle monofibre [9] 35
Figure 2. 12 : Schéma d'un système DWDM ouvert [9] 36
Figure 2. 13 : Schéma système DWDM Intégré [9] 36
Figure 2. 14 : Schéma comparatif entre la CWDM et la DWDM [8] 38
Figure 2. 15 : Illustration d'un multiplexeur démultiplexeur MWDM 40
Figure 2. 16 : Les longueurs d'onde de la LWDM ainsi que MWDM et CWDM [11] 41
Figure 2. 17 : Diagramme de longueur d'onde MWDM et LWDM [8] 42
Figure 2. 18 : Propagation de deux signaux polariser. 42
Figure 2. 19 : Schema bloc d'un system PDM [12] 43

Figure 3. 1 : Interface optisystem. 44
Figure 3. 2 : Les blocs optisystem. 45
Figure 3. 3 : Diagramme de l'œil. 46
Figure 3. 4 : ensemble des blocs pour une transmission CWDM. 47
Figure 3. 5 : émission CWDM. 48
Figure 3. 6 : Transmission CWDM. 48
Figure 3. 7 : Réception CWDM. 49
Figure 3. 8 : Diagrammes de l'œil des huit utilisateurs. 49
Figure 3. 9 : Evolution du diagramme de l'œil en fonction de la distance de la fibre. 51
Figure 3. 10 : Variation de l'œil et du seuil premier utilisateur en fonction de la distance. 52
Figure 3. 11 : Courbe de substituons la marge de 20nm à 0.8 nm. 53
Figure 3. 12 : Diagramme de l'œil comparatif CWDM 0.8nm et 20 nm. 53
Figure 3. 13 : variation du diagramme de l'œil du premier utilisateur en fonction du débit. 54
Figure 3. 14 : Ensemble des blocs pour une transmission DWDM. 55
Figure 3. 15 : Diagramme de l'œil DWDM normal. 57
Figure 3. 16 : Schéma bloc loop control et atténuateur. 57
Figure 3. 17 : Schéma bloc transmission BER en fonction de la distance 58
Figure 3. 18 : BER en fonction de la distance en mode DWDM. 59
Figure 3. 19 : BER en fonction du débit (DWDM). 60
Figure 3. 20 : Diagramme de l'œil ber en fonction du debit (DWDM). 60
Figure 3. 21 : System de multiplexage PDM-WDM. 61

Figure 3. 22 : Emission PDM. 62
Figure 3. 23 : Transmission PDM. 62
Figure 3. 24 : Bloque de réception PDM. 63
Figure 3. 25 : Illustration de la transmission directe et avec relais. 64
Figure 3. 26 : Comparaison de liaison direct et avec relais. 64
Figure 3. 27 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF + Amplificateur. 67
Figure 3. 28 : Diagramme de L'œil d'une fibre DCF + Amplificateur. 67
Figure 3. 29 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF. 67
Figure 3. 30 : Diagramme de L'œil d'une fibre DCF. 67
Figure 3. 31 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF + amplificateur + fibre DCF. 68
Figure 3. 32 : BER pour CWDM vs BER CWDM (avec DCF). 69
Figure 3. 33 : Courbe BER de WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM en fonction de la distance). 70
Figure 3. 34 : Courbe BER de (WDM, CWDM, DWDM, PDM_WDM) en fonction du débit. 71

Liste des tableaux

Tableau 1. 1 : Comparatifs des différents types de sources. [9] 5
Tableau 1. 2 : Comparaison entre la fibre monomodale et multimodale. 16
Tableau 1. 3 : Gain et puissance de sortie selon les types d'amplificateur [9]. 19

Tableau 2. 1 : Avantages et inconvénients du CWDM [8]..... 33
Tableau 2. 2 : Avantages et inconvénients du DWDM [8]..... 37
Tableau 2. 3 : Comparaison entre CWDM et DWDM [9] 39
Tableau 2. 4 : Paramètre du MWDM à 12 canaux. 40

Tableau 3. 1 : Paramètre simulation normal CWDM. 50
Tableau 3. 2 : Paramètre simulation normal de la technique DWDM. 56
Tableau 3. 3 : Paramètre de premier cas. 58
Tableau 3. 4 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison direct (DWDM). 65
Tableau 3. 5 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison avec relais Skikda_ Alger. 66
Tableau 3. 6 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison avec relais Alger -Médéa..... 67
Tableau 3. 7 : Comparaison DCF /SMF..... 67
Tableau 3. 8 : Paramètres et valeurs appliques d'une liaison hybride (SMF+DCF). 68

LISTE DES ACRONYMES

A

ADP : Avalanche PhotoDiode
ATM : Asynchronous Transfer Mode

B

BER : Bit Error Rate

C

CD : Chromatic Dispersion
CWDM : Coarse Wavelength Division Multiplexing

D

DEL : Diode électroluminescente
DEMUX : Démultiplexeur
DFP : distributed-feedback laser
DL : Diode laser
DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing

E

EDFA : Erbium-Doped Fiber Amplifier

F

FDM : Frequency Division Multiplexing
FP : Fabry-Perot
FO : Fiber Optique

L

LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED : Light-Emitting Diode
LWDM : LAN Wavelength Division Multiplexing

M

MDM : Mode Division Multiplexing
MMF : Multimode fiber
MWDM : Metro Wavelength Division Multiplexing
MUX : Multiplexeur

N

NRZ : Non-Return-to-Zero

O

OCDMA : Optical Code Division Multiple Access
OLT : Optical Line Terminal
ONU : Optical Network Unit
OTDM : Optical Time Division Multiplexing
OLA : Optical Line Amplifier
OTU : Optical Transport Unit

P

PON : Passive Optical Network
PDM : Polarization Division Multiplexing
PIN : Positive Intrinsic Negative
PMD : Polarization Mode Dispersion
PS : polarization splitter
PC : polarization combiner

Q

Q-factor : Quality Factor

R

RZ: Return-to-Zero

S

SDH : Synchronous Digital Hierarchy
SDM : Space Division Multiplexing

V

VSCEL : vertical-cavity surface-emitting laser

W

WDM : Wavelength Division Multiplexing

Introduction Générale

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la propagation sur un canal radioélectrique, ou encore la fibre optique, celle qui nous intéresse particulièrement. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système detransmission est d'acheminer le signal de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible. [16]

La capacité à transmettre plus d'informations sur de plus longues distances a chamboulé les secteurs de l'informatique, de l'aérospatial, des communications sansfil et par satellite.

Bien que le système de transmission optique soit semblable à celui du cuivre, lesfibres optiques tendent à les remplacer. En effet, elles sont beaucoup plus performantes.

La fibre optique par rapport au cuivre est qu'elle est moins chère, les câbles sontplus fins et ont surtout une large capacité transmission. Elles fonctionnent particulièrement bien pour transmettre des données numériques. Par ailleurs, commeelles ne transportent pas d'électricité, le danger est plus faible. Enfin, les fibres optiques sont plus légères que les câbles en cuivre, prennent moins de place, et sont également flexibles.

Tout ce développement n'a été possible que depuis l'utilisation de la fibre optiqueet comme la technologie demande toujours plus de performance, la fibre optique vacontinuer de se développer.[17]

Cette dernière est devenue révolutionnaire grâce à son apport de multiplexageassez spécial. Le terme multiplexage dans le domaine de transmission en généraldésigne l'acheminement de plusieurs informations différentes sur une même lignedans notre cas sur un câble optique. On peut citer entre autre le multiplexage en temps (TDM) et celui en longueur d'onde (WDM) qui est le type de multiplexage qui nous intéresse particulièrement dans notre étude. Où nous évaluerons plusieurs situations et plusieurs cas et faire un bilan en comparant ces derniers departs leurs BER(le rapport signal sur bruit), puissances, l'effet des ampliateurs etc.

Nous verrons dans un premier temps dans notre travail la description d'un système de transmission optique où nous ferons une approche générale sur les câbles optiques, par leurs caractéristiques, type et mode de fonctionnement et aussi une étude sur les différents blocs de transmissions.

Ensuite une étude basée sur les différents systèmes de multiplexage et leur mode de fonctionnement.

Enfin nous ferons une simulation des différents multiplexages en mettant unaccent sur la CWDM et La DWDM en mettant en évidence diverse scenario telque la variation du BER en fonction de la distance et du débit ,une comparaisonsur le trajet direct et un trajet avec relais, ainsi que d'autres comparaison commecelle entre quelque techniques de multiplexages ou nous ferons la description des résultats obtenus à l'aide du logiciel OPTISYSTEM et nous terminerons enfin par une conclusion générale.

Chapitre 1 :
Description d'un système de transmission à base de fibres optiques

1. Introduction

Les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de la révolution de la transmission des informations numériques sur les réseaux de télécommunication. Enraison de ces propriétés qui permettent une communication 100 fois plus rapide surune très longue distance par un débit très élevés jusqu'alors impossible.

L'idée d'utiliser des systèmes de communications optiques au lieu des systèmes de communications classiques à base d'électrons offre d'excellents avantages tels que : la rapidité de traitement de l'information, l'importance de la vitesse de propagation, la diminution rapport signal/ bruit, et le débit binaire élevé. Ledéveloppement croissant des performances en matière de transmission de l'information entraîne toujours plus d'exigences sur le plan de support de propagation des données. L'utilisation de la fibre optique comme un support de transmission étaient largement répandu grâce au concept de confinement de la lumière.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord faire une description approfondie sur la Fibre optique, son principe de fonctionnement le principe des différents types et caractéristiques ainsi que ces avantages et ces inconvénients. Et vu qu'on parle ici d'une transmission sous forme de lumière, nous verrons ensuite les équipements utilisés qui se diffèrent de ceux utilisé dans les autres systèmes de transmission (signal électrique ou hertzien). Ceux-ci sont capables de transformer un signal électrique en signal lumineux ou l'inverse. Nous parlerons aussi de ces derniers (blocs) au cours de ce chapitre.

2. Description de chaine de transmission optique

La transmission des informations par transmission optique c'est-à-dire par un signal lumineux est assurée par l'association de certains blocs formant une chaine de transmission.

Ce système est composé de trois éléments fondamentaux : un émetteur, un canal de transmission (fibre optique) et un récepteur. [8]

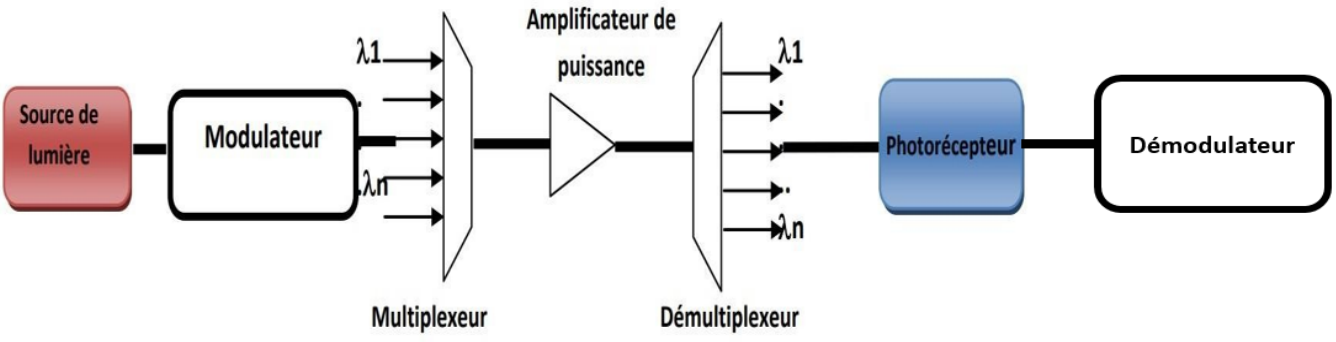


Figure 1. 1 : Schéma synoptique d'une chaine de transmission optique.[8]

L'information primaire que l'on veut transmettre à distance est convertie en un signal électrique qui est modulé par un émetteur est converti en un signal optique. Le signal émis par la source est ensuite injecté dans la fibre ou il se propage avec une certaine atténuation et une certaine dispersion. Ces deux phénomènes se traduisent par une limitation de la longueur de la liaison au-delà de laquelle la qualitése détériore. Pour remédier à ces problèmes, le signal va être amplifie par des amplificateurs optiques. Le signal reçu est ensuite démodulé en un signal électrique par l'intermédiaire d'une photodiode.[9]

2.1 Émetteur optique

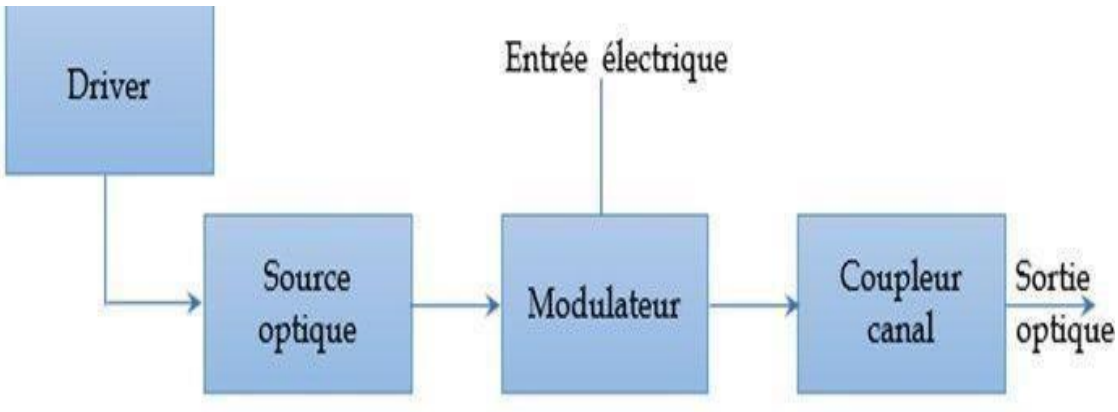


Figure 1. 2 : Constituant d'un émetteur optique. [9]

Dans cette première partie de la transmission optique qui est bien évidement la partie émettrice UN couplage entre elle et la fibre est d'abord mis en place.

Quelque critère sont mis en jeux dont entre autres une longueur correcte et adéquate et aussi être en mesure d'effectuer des modulations assez rapides pour unetransmission fiable. [9]

En émission optique quatre catégories de source sont les plus utilisé. Ces derniers ont pour rôle principale, la conversion des signaux électrique en signaux optiques qui sont :

- La LED
- Lasers à rétroaction repartie (DFB)
- VCSEL (micro laser émetteurs récepteurs)
- Lasers Fabry-Pérot (FP) [9]

2.1.1 Études sur des blocs sources (led, laser)

Les LED ont des puissances beaucoup plus faibles que les lasers et leurs modèles de lumière en sortie plus grands et divergents, les rendent plus difficiles à coupler aux fibres, ce qui les limite à un usage en fibres multimodes. Les lasers ont des sorties de lumière plus petites et plus resserrées et sont faciles à coupler à des fibres monomodes, ce qui les rend idéaux pour les liaisons longue distance à haute vitesse. Les LED ont beaucoup moins de bande passante que les lasers et sont limitées aux systèmes d'exploitation à environ 250 MHz ou à 200 Mb/s. Les lasers ont une capacité de bande passante très élevée, la plupart d'entre eux étant utile à des valeurs bien supérieures à 10 GHz ou 10 Gb/s.

En raison de leur procédé de fabrication, les LED et VCSEL ne sont pas chers à fabriquer. Les lasers sont plus chers parce que la création de la cavité laser à l'intérieur du dispositif est plus difficile, la puce doit être séparée de la plaquette de semi-conducteur et à chaque extrémité doit être revêtue avant que le laser puisse êtrefinalement testé pour voir s'il fonctionne.

Type d'appareil	Longueur d'onde (nm)	Puissance dans la fibre (dBm)	Bande passante	Types de fibre
LED	850, 1300	-30 à -10	<250 MHz	MM
Laser Fabry-Pérot	850,1310 (1280-1330), 1550 (1480-1650)	0 à +10	>10 GHz	MM, SM
Laser DFB	1550 (1480-1650)	0 à + 13	>10 GHz	SM
VCSEL	850	-10 à 0	>10 GHz	MM

Tableau 1. 1 : Comparatifs des différents types de sources. [9]

Les LED ont une bande passante limitée, tandis que tous les types de lasers sont très rapides.

Une autre grande différence entre les LED et les deux types de lasers est la sortie spectrale. LesLED ont un très large spectre de sortie qui les fait souffrir de dispersion chromatique dans la fibre, alors que les lasers ont une sortie spectrale étroite qui souffre très peu de dispersion chromatique. Les lasers DFB, qui sont utilisés dans les systèmes DWDM et longue distance, ont la largeur spectrale la plus étroite, ce qui minimise la dispersion chromatique sur les liaisons les plus longues. Les lasers DFB sont également très linéaires (c'est-à-dire que la sortie de lumière suit directement l'entrée électrique), de sorte qu'ils peuvent être utilisés en tant que sources dans les systèmes de télévision par câble AM.

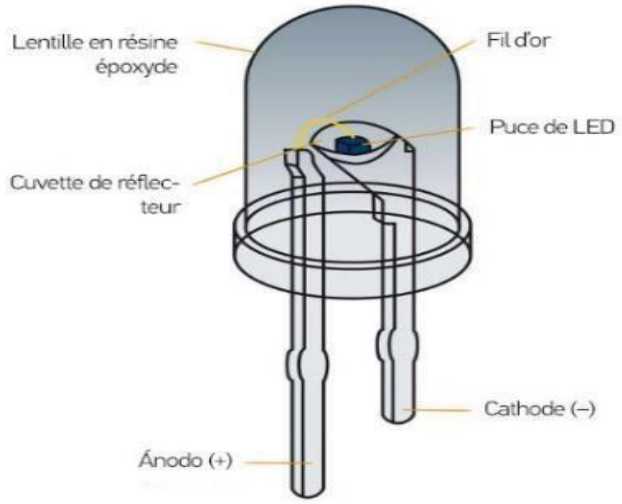


Figure 1. 3 : Structure d'une diode

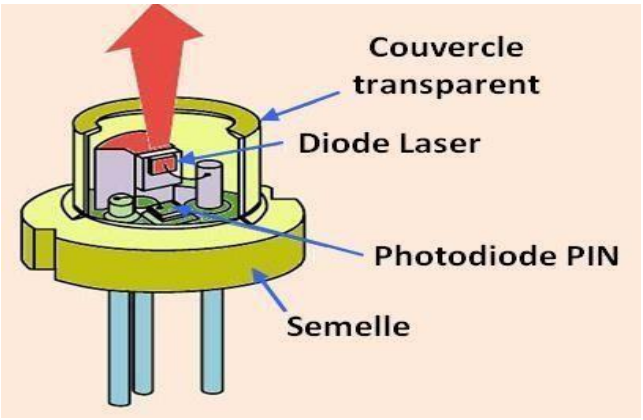


Figure 1. 4 : Structure d'une diode laser. [9]

Le choix entre ces dispositifs est déterminé principalement par des questions de vitesse et de compatibilité de la fibre. Comme de nombreux systèmes locaux utilisant de la fibre multimode ont dépassé des débits de 1 Gb/s, les lasers (pour la plupart VCSEL) ont remplacé les LED. La sortie de la LED est très large mais les lasers sont très concentrés, et les sources auront un remplissage modal très différent dans les fibres. Le lancement restreint du VCSEL ou de n'importe quel laser rend la largeur de bande effective de la fibre plus élevée, mais la fibre optimisée pour le laser, habituellement OM3, est le choix qui s'impose pour les lasers.

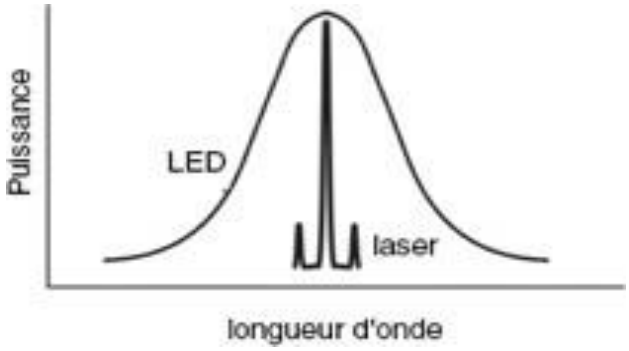


Figure 1. 5 : Puissance par rapport à la longueur d'onde d'une led et d'un laser [9]

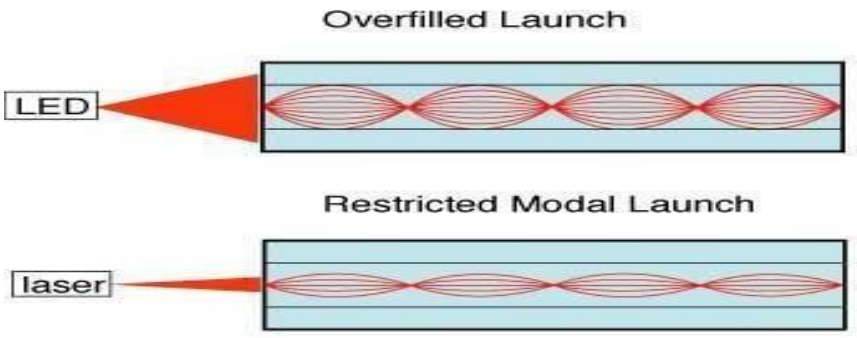


Figure 1. 6 : illustration d'une projection de source led et laser sur une fibre [10]

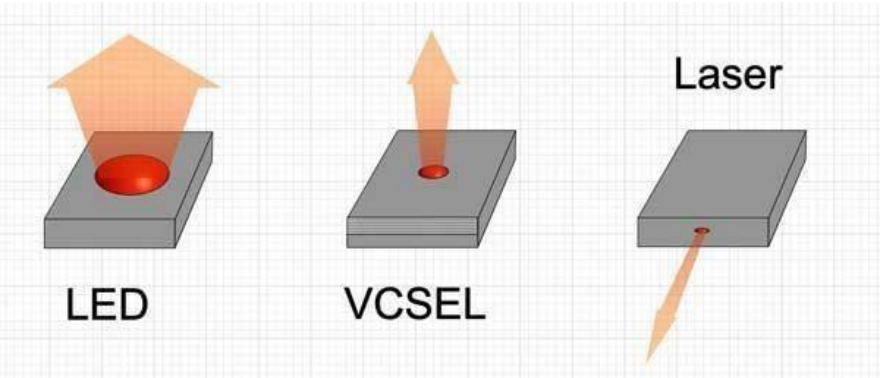


Figure 1. 7 : Schéma simplifie d'une projection de source led et laser sur une fibre optique.[10]

2.1.2 Les fenêtres de transmission optique

Compte tenu de l'atténuation et de la dispersion d'un signal optique, mais aussi des caractéristiques des composants optoélectroniques disponibles, on définit des fenêtres de transmission, bandes longueur d'onde de propriétés spécifiques.

Les bandes de fréquences optiques (et donc les longueurs d'ondes) qui sont utiliséesdans les systèmes de transmission optique ont été normalisées par l'uit selon le plansuivant :

- bande o (original) : 1260 à 1360 nm (220.435 à 237.930 thz) ;
- bande e (extended) : 1360 à 1460 nm (205.337 à 220.435 thz) ;
- bande s (short wavelength) : 1460 à 1530 nm (195.942 à 205.337 thz) ;
- bande c (conventional) : 1530 à 1565 nm (191.560 à 195.942 thz) ;
- bande l (long wavelength) : 1565 à 1625 nm (184.487 à 191.560 thz) ;
- bande u (ultra-long wavelength) : 1625 à 1675 nm (178.980 à 184.487 thz). [9]

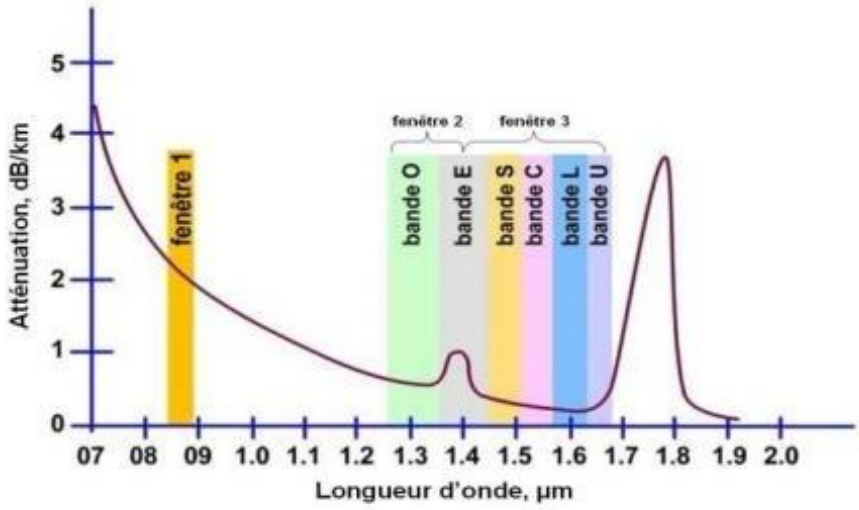


Figure 1. 8 : Les fenêtres de transmission optique

2.2 Codage de données

La représentation physique des données (bit '0' ou '1') dans un format optique est généralement obtenue par modulation d'intensité. Actuellement, NRZ (en Anglais : Non Return to Zero), RZ (en Anglais : Return to Zero) et Manchester sont les schémas de codageles plus couramment utilisés dans les communications optiques.

Le code NRZ est plus simple et facile à mettre en œuvre. Dans les systèmes à longues distances, le codage RZ présente une meilleure immunité aux effets non linéaires par rapportau codage NRZ. [18]

3. Modulation optique

3.1 Modulation directe

La modulation directe est la modulation la plus simple à mettre en œuvre. Le courant d'alimentation qui traverse la diode laser sera modulée directement en intensité émise par celle-ci. Cette solution requiert peu de composants et peu coûteuse. Mais son inconvénient est c'est lorsqu'on module en amplitude le courant d'alimentation d'un laser, il est accompagné d'une modulation de fréquence parasiteappelée chirp. La figure ci-dessous montre le schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe. [11]

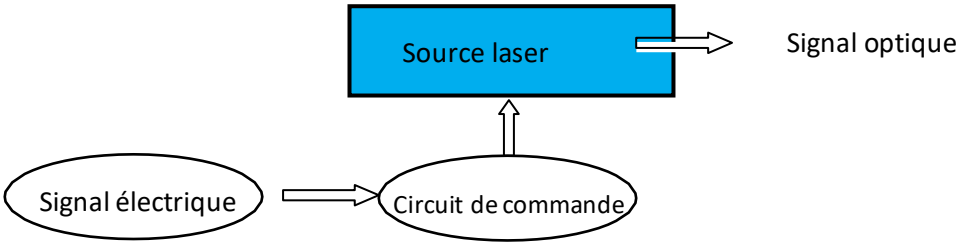


Figure 1. 9 : Modulation directe [11]

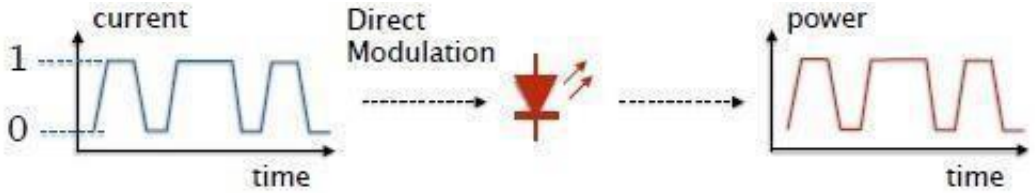


Figure 1. 10 : : Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe [11]

3.2 Modulation externe

Dans cette modulation l'émetteur envoie un signal optique poursuivi d'un modulateur externe. Le courant injecté par le laser n'est plus modulé. Cette modulation est la plus favorisée pour les télécommunications à longue distance et àhaut débit et pour des fréquences très élevées à partir de 5 à 10Ghz. Elle est plus rapide que celle de la modulation directe. Elle permet d'écrire les données électriques sur un signal optique continu et permet d'éliminer l'effet de chirp.

Sa bande passante est de plus 80 GHz, plus importante que celle de la modulation directe qui est de 5 GHz.

La figure ci-dessous montre un module d'émission en modulation directe. [11]

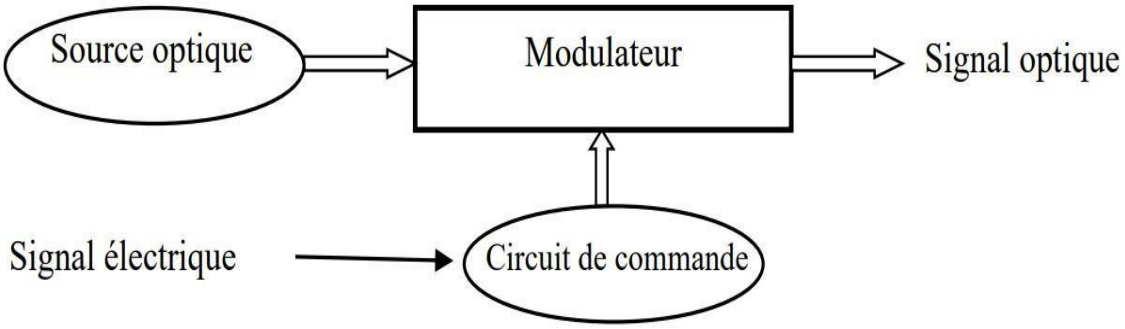


Figure 1. 11 : Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe [11]

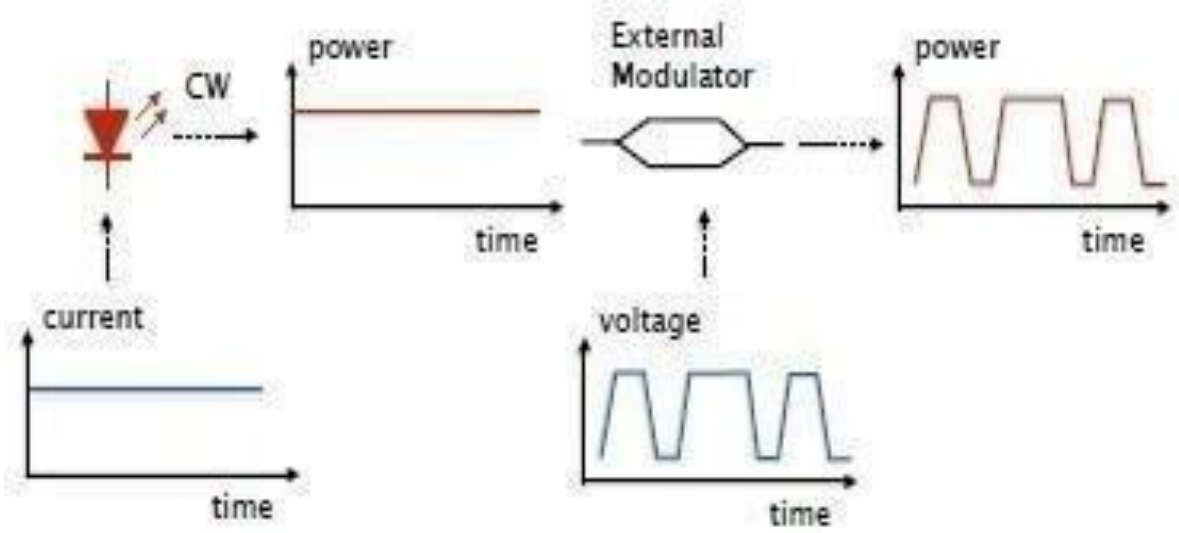


Figure 1. 12 : Modulation externe [11]

4. Description de la fibre optique

La fibre optique est un moyen qui permet de transmettre des informations numériques sur les réseaux de télécommunications avec un très grand débit, elle estbasée sur le principe de la réflexion / réfraction de la lumière.

La présence de la lumière sera codée par le chiffre numérique "1" et son absencepar le chiffre "0".

La fibre optique est un guide d'onde constitué de plusieurs couches de matériauxdiélectriques et peuvent être soit du verre soit du plastique, ces derniers sont transparents avec des indices de réfraction différents ce qui permet de confiner la lumière au voisinage du centre.[1]

4.1 Compositions de la fibre

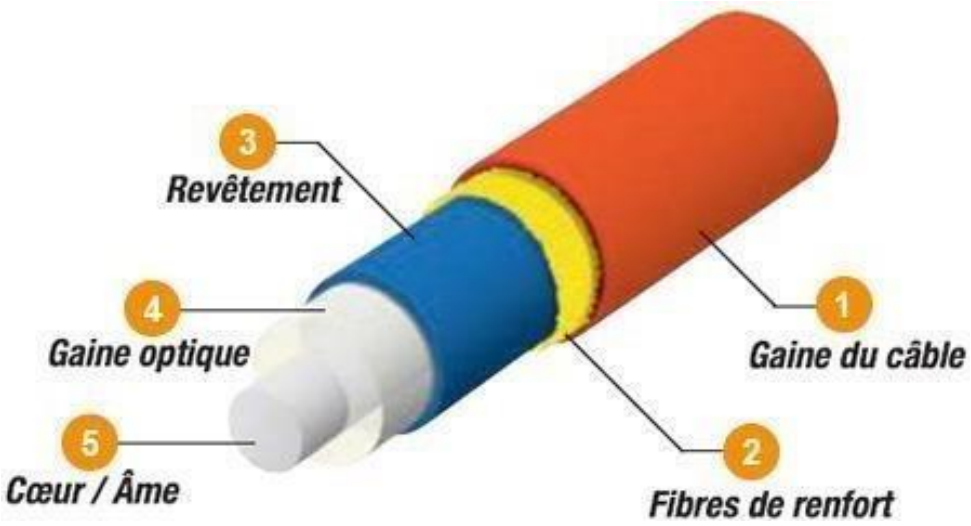


Figure 1. 13 : illustration d'un câble optique [2]

1 - La gaine de protection de la fibre.

2 - La fibre de renfort en Kevlar®.

3 - Le revêtement protège mécaniquement la fibre.

4 - La gaine aide à la propagation du signal.

5 - Le cœur sert à confiner le signal lumineux et à le propager.

Les fibres **Kevlar®** sont tissées si étroitement qu'il est presque impossible de les séparer. Lorsqu'une balle ou un autre projectile haute vitesse heurte du Kevlar®, les fibres capturent essentiellement le projectile tout en absorbant et en dissipant son énergie. [2]

4.2 Atténuation de la fibre optique

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. L'atténuation linéaire se traduit par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de la fibre (Loi de Beer-Lambert). Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier selonla longueur d'onde. La diffusion Rayleigh limite ainsi les performances dans le domaine des courtes longueurs d'ondes (domaine du visible et du proche ultraviolet).

Les fibres en silice connaissent un minimum d'atténuation vers 1550 nm : longueur d'onde, proche de l'infrarouge, privilégiée pour les communications optiques. De nos jours, la maîtrise des procédés de fabrication permet d'atteindre couramment une atténuation très faible : 0.2 dB/km à 1550 nm. Cela signifie qu'après100km de propagation, il reste encore 1% de la puissance initialement injectée dansla fibre.

Le signal subit des pertes supplémentaires à chaque connexion entre fibres, que ce soit par des traversées ou bien par soudure (cette dernière technique réduisant trèsfortement les pertes). [3]

4.3 Les types de pertes dans la fibre optique

Les différentes pertes dans la fibre optique sont dues à des facteurs internes et externes. L'atténuation des fibres, également appelée perte de signal ou perte de fibre, est la conséquence des propriétés intrinsèques d'une fibre optique (fibre multimode et monomode). A part les pertes intrinsèques des fibres optiques, il existed'autres types de pertes dans la fibre optique qui contribuent à la perte de liaison, telles que l'épissure, les connexions par brassage, le pliage, etc.

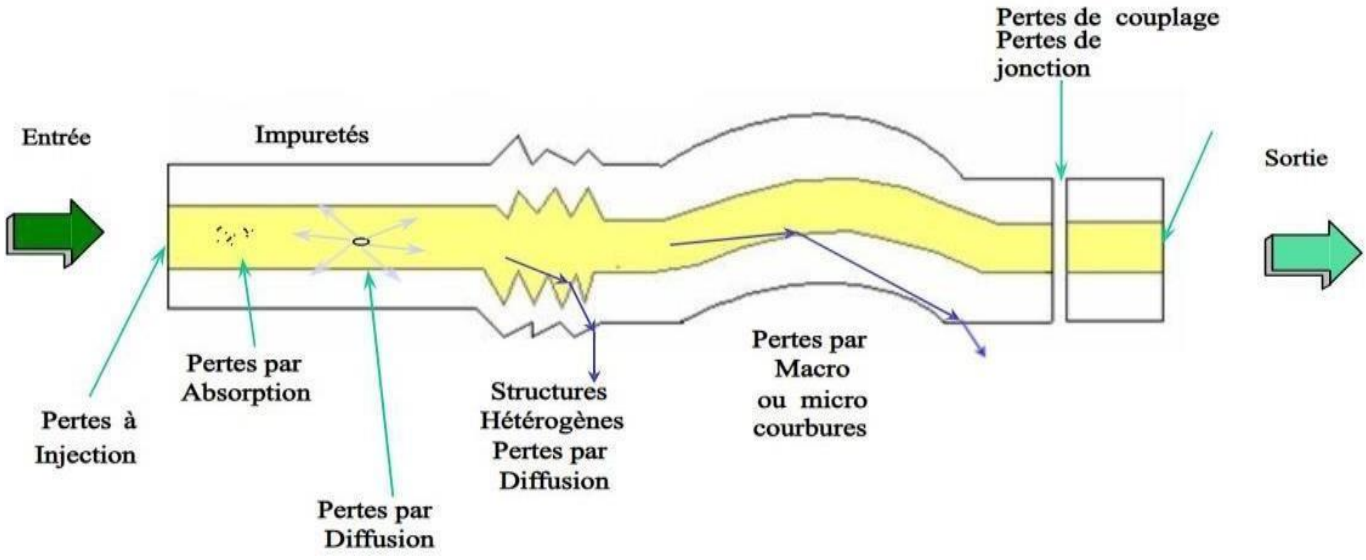


Figure 1. 14 : Les types de pertes [3]

4.3.1 Les pertes d'absorption dans la fibre optique

Sont la cause principale des pertes de fibre optique pendant la transmission. Lorsque le rayon est en interaction avec les composants du verre, un électron ou desions métalliques, la puissance lumineuse est absorbée et transférée dans d'autres formes d'énergie comme la chaleur, en raison de la résonance moléculaire et des impuretés des longueurs d'onde. [3]

4.3.2 Les pertes de dispersion

Ce sont le résultat de la distorsion du signal optique lors du déplacement le longde la fibre. Les pertes de dispersion dans la fibre optique peuvent être intermodales ou modales. La dispersion modale est l'élargissement de l'impulsion dû aux différences de retard de propagation entre les modes dans la fibre multimode. La dispersion modale est l'étalement de l'impulsion dans la fibre monomode, car l'indice de réfraction ou la constante de propagation varie avec la longueur d'onde.[3]

4.3.3 La courbure

Est le problème commun qui peut causer des pertes de fibre optique générées parune mauvaise manipulation de la fibre optique. Il existe deux types de base. L'un estla micro-courbure et l'autre est la macro-courbure (montré dans l'image ci-dessous).La macro flexion se réfère à une grande flexion de la fibre (avec un rayon supérieurà 2 mm).[3]

4.3.4 L'épissage des fibres optiques

Est un autre type de perte dans la fibre optique. En joignant deux fibres optiques bout à bout, l'épissure vise à assurer que la lumière qui la traverse est presque aussi forte que la fibre vierge elle-même. Mais peu importe la qualité de l'épissure, la perte d'épissure est inévitable. Les pertes d'épissage par fusion de la fibre multimode sont de 0,1-0,5 dB, 0,3 dB étant une bonne valeur moyenne. Pour la fibre monomode, la perte d'épissure par fusion peut généralement être inférieure à 0,05 dB. [3]

4.3.5 Les pertes aux raccordements

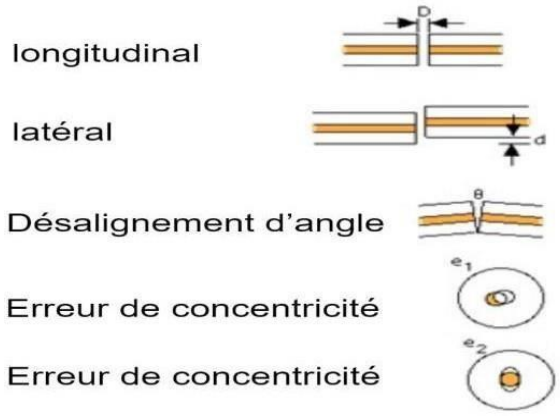


Figure 1. 15 : Les différents types de pertes au raccordement [4]

4.4 Principe de fonctionnement de la fibre optique

4.4.1 Indice de réfraction les lois de Snell-Descartes et application en fibre optique

Faisons d'abord un rappel sur l'indice de réfraction. Ce dernier est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré, et on le note ***n***.

La loi de Snell (Snell Descartes en France) permet de calculer la direction d'un rayon lumineux incident puis réfracté par un milieu optique, si l'on connaît l'indice de réfraction des milieux traversés, et l'angle du rayon incident avec la normale (perpendiculaire) à la surface au point rencontré par le rayon.

Dans le schéma suivant, un rayon incident issu d'un milieu d'indice de réfraction n_i rencontre un milieu d'indice de réfraction n_r [5]

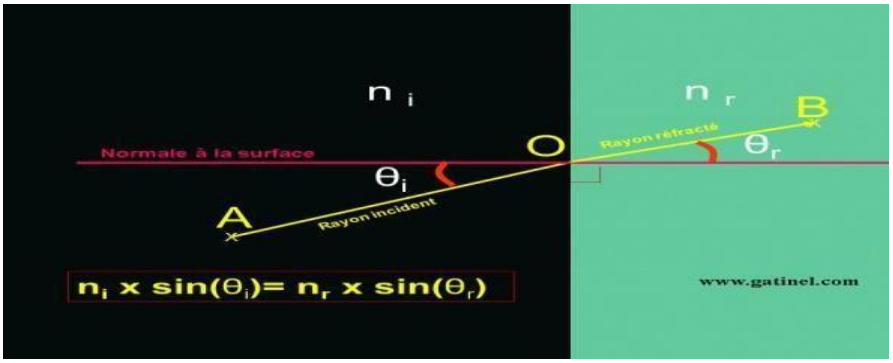


Figure 1. 16 : Schéma illustrant la loi de Snell Descarte [5]

La loi de Snell s'écrit simplement : $ni \times \sin(\theta i) = nr \times \sin(\theta r)$ où i et r sont respectivement les angles d'incidence et de réfraction (en radian).

4.4.2 L'ouverture numérique

Les relations de réfraction induisent des angles limites qui permettent le guidage du signal lumineux au sein d'une fibre optique. On introduit donc la notion de cône d'acceptante ou encore ouverture numérique d'une fibre. Cette formule va donc permettre de définir l'angle d'incidence limite permettant le guidage du signal lumineux. [6]

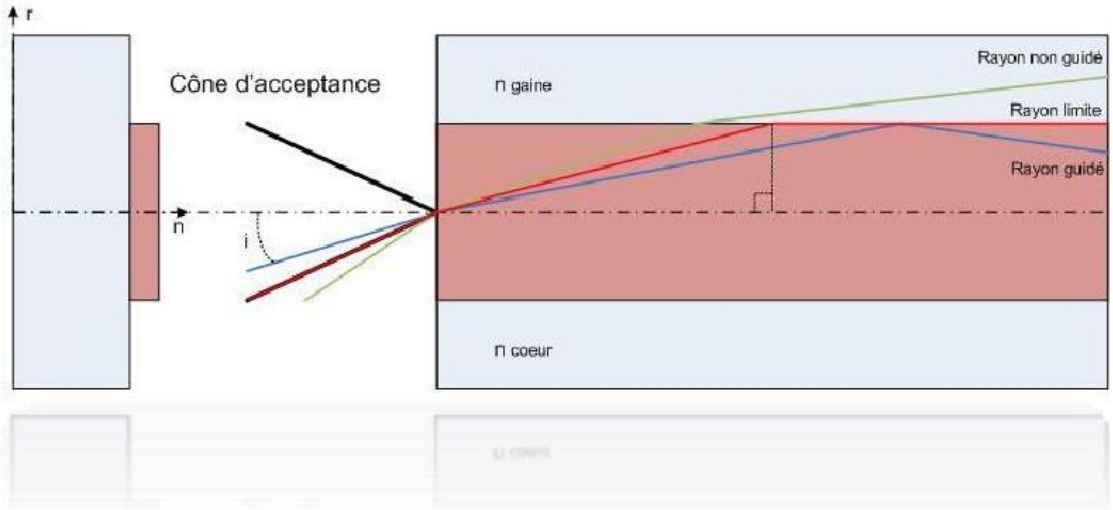


Figure 1. 17 : Schéma illustrant l'intérêt de l'ouverture numérique [6]

On peut noter ici la présence de 2 angles d'incidence limite, de part et d'autre de l'axe de la fibre optique.

Ces deux angles limites représentent un cône. Les rayons lumineux arrivant à l'entrée de la fibre, vont subir différents scénarios en fonction de leur angle d'incidence.

- Tout d'abord, nous avons le rayon de couleur verte, qui arrive avec un angle supérieur à l'angle d'incidence limite (donc en dehors du cône). Ce rayon ne sera pas guidé de bout en bout à l'intérieur de la fibre, mais sera dispersé dans les premiers millimètres de la gaine de la fibre.
- Ensuite, nous avons le rayon rouge, qui arrive dans la fibre avec un angle d'incidence limite. Il sera lui guidé jusqu'au bout de la fibre, mais avec une direction parallèle à l'axe de la fibre.
- Enfin, le rayon bleu, qui entre dans la fibre avec un angle d'incidence inférieur à l'angle limite. Il sera guidé de façon normale, c'est à dire en suivant le principe de réflexion totale interne au sein du cœur de la fibre. [6]

L'ouverture numérique est régie par la formule suivante :

$$ON = \sqrt{(n_c{}^2 - n_g{}^2)}$$

4.5 Type de fibre optique

On distingue deux grandes catégories de fibre optique selon les typesd'utilisations :

- La fibre optique multimodale (dans lequel il existe différents modes depropagation de la lumière au sein du cœur de la fibre.)
- La fibre optique monomodale (dans lequel il existe un seul mode de propagationde la lumière, le mode en ligne droite) [6].

4.5.1 La fibre optique multimodale

A. Fibre Optique à saut d'indice

Dans les fibres optiques, la fibre à saut d'indice est une fibre dont l'indice de réfraction est uniforme dans le cœur et fortement réduit dans l'interface cœur-gaine en raison d'un indice de réfraction plus faible dans la gaine.

Pour la fibre multimode à saut d'indice, la lumière se propage le long de l'axe dela fibre en zigzag selon le principe de la réflexion totale. La lumière qui pénètre dansla fibre sous différents angles d'incidence empruntera des chemins différents. Bien que les lumières incidentes se propagent à la même vitesse simultanément à l'entrée,le temps nécessaire pour atteindre la sortie de la fibre est différent, ce qui entraîne une dispersion temporelle appelée dispersion modale. La fibre à saut d'indice possède un cœur très large. [6]

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur ladifférence des impulsions d'entrée et de sortie.[6]

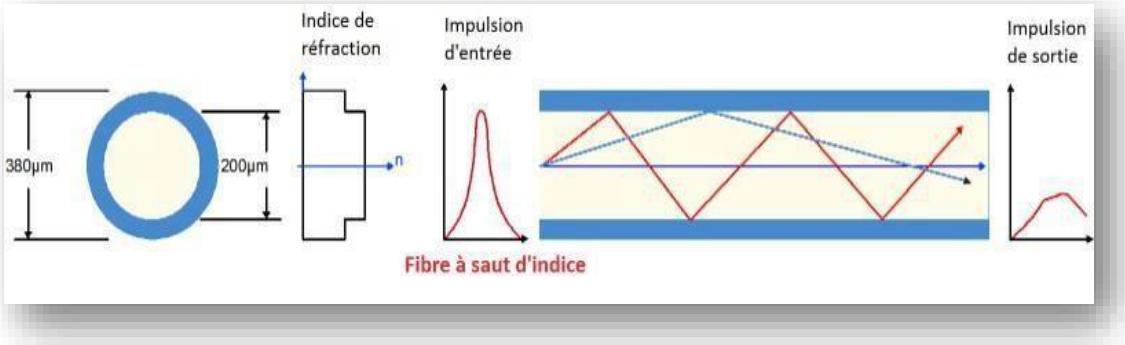


Figure 1. 18 : Schéma illustrant une fibre optique multimodale à saut d'indice.

- Débit : environ 100 Mbit/s
- Portée maximale : environ 2 Km
- Affaiblissement : 10 dB/Km

B. Fibre Optique à gradient d'indice

Dans le cas de la fibre multimode à gradient d'indice, la lumière se propage versl'avant sous forme d'oscillation sinusoïdale. Comme les fibres multimodes à saut d'indice, les différentes lumières d'une fibre multimode à gradient d'indice suivent des chemins différents. Cependant, la vitesse de propagation de la lumière dans les fibres multimodes à gradient d'indice est différente car la vitesse de la lumière guidée varie en fonction de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. Plus la lumières'éloigne du centre de la fibre, plus sa vitesse est rapide.

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire. L'atténuationsur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.[6]

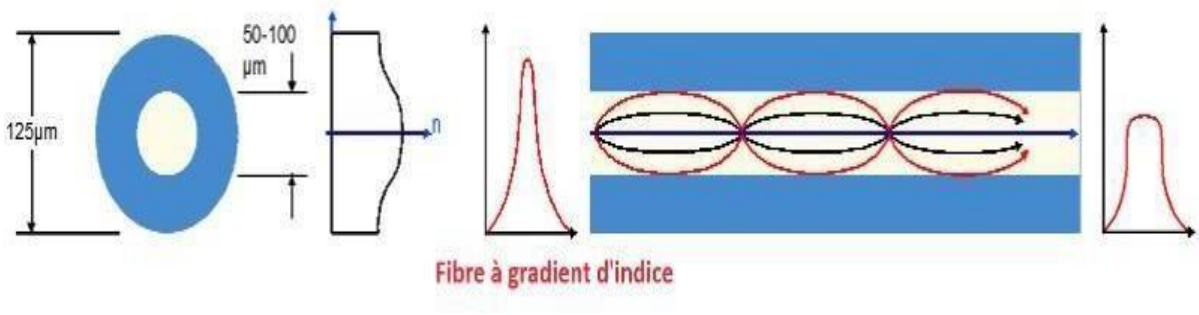


Figure 1. 19 : Schéma illustrant une fibre optique multimodale à gradient d'indice [6]

- Débit : environ 1 Gbit/s
- Portée maximale : environ 2 Km
- Affaiblissement : 10 dB/Km

4.5.2 La fibre optique monomodale

Dans une fibre monomode, on obtient un seul mode grâce à la très faible dimension du cœur. Ainsi le chemin de la lumière est imposé, il n'y en a qu'un seul : celui du cœur.

C'est grâce à la fibre monomode qu'il est possible d'atteindre des taux d'atténuation très faibles sur de longues distances. En effet, par une propagation en ligne droite, il n'y a pas d'atténuation due à la réfraction du signal sur la gaine optique (problématique dans le cas d'une fibre multimode). De plus, il n'y a pas de phénomène de dispersion modale (étalement du spectre dû aux différents modes).

La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu. [6]

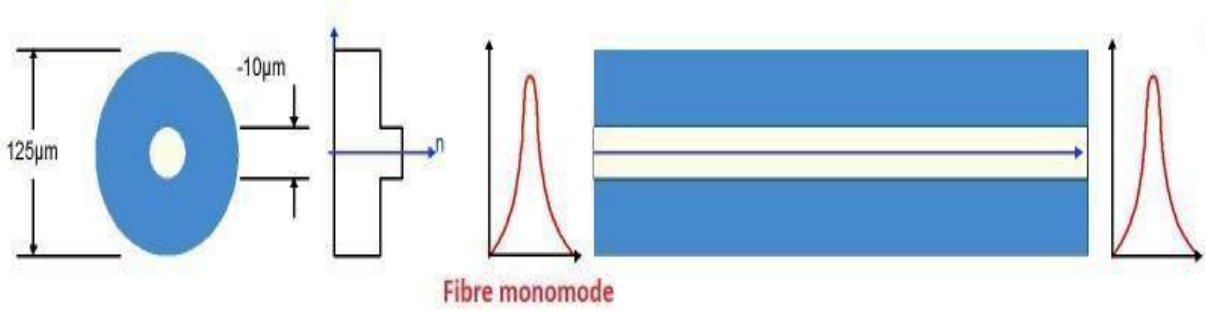


Figure 1. 20 : Schéma illustrant une fibre optique monomodale [6]

- Débit : environ 100 Gbit/s
- Portée maximale : environ 100 Km
- Affaiblissement : 0,5 dB/Km

4.5.3 Comparaison entre les deux types de fibres

Fibre monomodale	Fibre multimodale
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Hauts débits, réseaux WAN	Réseaux locaux LAN
Prix élevé	Faible prix
Très grande bande passante	Bande passante raisonnable

Tableau 1. 2 : Comparaison entre la fibre monomodale et multimodale.

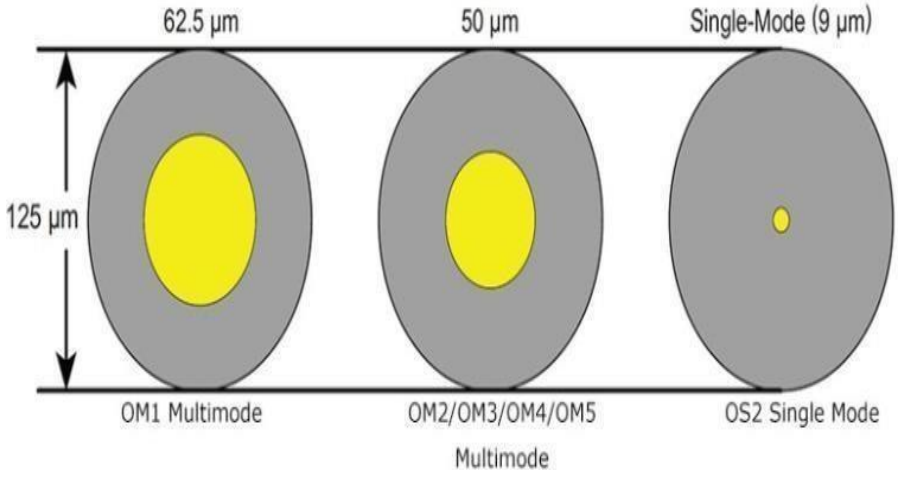


Figure 1. 21 : Comparaisons physique du type de fibre [3]

4.5.4 Avantages et inconvénients de la fibre optique

Compte tenu des avantages de la vitesse et de la bande passante de la fibre optique sur un câble en cuivre, elle présente également certains désavantages. Voici les avantages et les désavantages des câbles à fibres optiques.

A. Avantages de la fibre optique

- **Bande passante plus large et vitesse plus rapide**—Le câble à fibre optique prenden charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée. L'avantage le plus important est la quantité d'informations qui peut être transmise par unité de câble à fibre optique.

- **Pas cher**, Plusieurs kilomètres de câbles à fibres optiques peuvent être moins coûteux que des fils de cuivre d'une longueur équivalente.

- **Plus mince et léger**—La fibre optique est plus mince et peut être tirée dans des diamètres inférieurs à ceux du fil de cuivre. Leur taille et leur poids sont inférieursà ceux d'un câble en cuivre, ce qui leur permet de mieux s'adapter aux endroits oùl'espace est une préoccupation.

- **Capacité de charge supérieure**—Comme les fibres optiques sont beaucoup plus minces que les fils de cuivre, il est possible de regrouper davantage de fibres dansun câble de diamètre donné. Cela permet à davantage de lignes téléphoniques de parcourir le même câble ou à plusieurs canaux de passer par le câble jusqu'à votredécodeur de télévision par câble.

- **Moins de dégradation du signal**—La perte de signal dans la fibre optique est inférieure à celle du fil de cuivre.

- **Signaux lumineux**—Contrairement aux signaux électriques transmis dans les fils de cuivre, les signaux lumineux d'une fibre n'interfèrent pas avec les autres signauxdu même câble à fibre optique. Cela signifie une communication et une transmission des données plus claires et de meilleure qualité.

- **Longue durée de vie**—Les fibres optiques ont généralement une durée de vie supérieure à 100 ans.[7]

B. Inconvénients de la fibre optique

Puissance faible—Les sources lumineuses sont limitées à une puissance faible. Bien qu'il existe des émetteurs de grande puissance qui améliorent l'approvisionnement, cela ajouterait un coût supplémentaire.

Fragilité—La fibre optique est assez fragile et plus sensible aux dommages que lesfils de cuivre. Il est préférable ne pas tordre ou plier les câbles à fibres optiques.

Distance—La distance entre l'émetteur et le récepteur doit rester courte sinon des répéteurs sont nécessaires pour amplifier le signal.[7]

Notons quand même que la fibre optique ne présente pas vraiment d'aspect négatif
Elle présente juste des petits inconvénients qui n'influent pas à grand-chose. Sans oublier que cette dernière est une solution apportée par rapport au problème que rencontre les câbles

4.5.5 Les coupleurs optiques

Un coupleur à fibre optique est un dispositif qui distribue la lumière d'une fibre principale en une ou plusieurs fibres de branchement et permette de combiner et séparer des faisceaux fibrés.

Il transforme les signaux en termes de puissance et ne permettent pas, par exemple, d'isoler certaines fréquences comme le ferait un multiplexeur optique.

Ceux fréquemment utilisé sont les suivants :

✓ Coupleur avec Une entrée et une sortie

✓ Une entrée et deux sorties : structure « 1 par 2 », ou en « Y », appelée teecoupler, coupleur en T.

✓ Ou bien deux entrées et deux sorties : structure « 2 par 2 », ou en « X »,appelée star coupler, coupleur en étoile.

✓ Coupleur avec une entrée et une multitude de sortie par fusion des fibres.[12]



Figure 1. 22 : Coupleur optique 2 par 2.

5. Amplification optique

La distance de propagation d'un signal optique sur une fibre optique est limitée par l'atténuation. Bien que l'atténuation des fibres optiques soit très faible, un signal qui s'y propage ne peut pas être détecté après, au grand maximum, quelques centaines de kilomètres de propagation. Pour pallier cela des répéteurs, essentiellement formés d'amplificateurs doivent être placés périodiquement tout au long de la chaine de transmission optique pour rétablir de l'énergie au signal optique pour qu'il puisse être détecté de manière optimale. [9]

On en distingue 3 types :

-LE POST-AMPLIFICATEUR

-LES AMPLIFICATEURS EN LIGNE

-LES PRE-AMPLIFICATEURS [9]

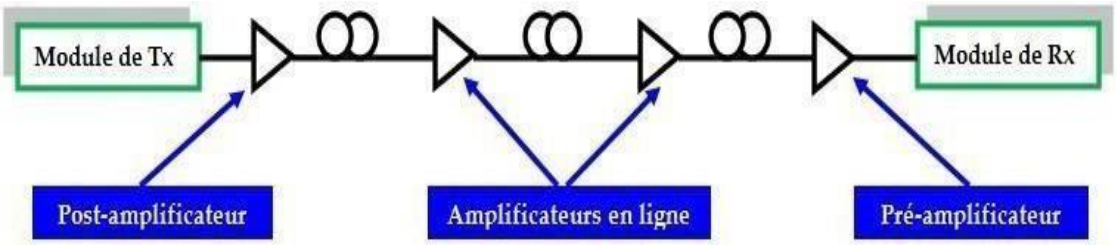


Figure 1. 23 : Types d'amplificateur selon le point d'utilisation sur une transmission [9]

5.1 Les boosters (amplification de puissance) ou post amplificateur

Utilisés uniquement dans les systèmes comportant un seul canal, ils se situent au début de la chaîne, directement après l'émetteur. Ils se caractérisent par des puissances en sortie très élevées, ce qui permet de débuter la transmission avec un signal de fort niveau. [9]

5.2 Les amplificateurs en ligne

Ils se situent sur la ligne de transmission et ont pour fonction de rattraper les pertes induites par la fibre de ligne. Généralement situés, tous les 80 km environ, ils ont un gain élevé et un niveau de bruit faible. [9]

On peut trouver des amplificateurs optiques ainsi que des autres électriques

5.3 Les préamplificateurs

Ils sont généralement situés à la fin de la chaîne de transmission, ils ont pour Fonction de rehausser le niveau de signal avant le récepteur.Ils se caractérisent par un gain élevé et un niveau de bruit très faible [9].

Type d'amplificateur	Gain	Puissance de sortie
Booster	>15dB	> 20 dBm
Amplificateur en ligne	25 dB	17-20 dBm
Préamplificateur	>30dB	10-15 dBm

Tableau 1. 3 : Gain et puissance de sortie selon les types d'amplificateur [9].

6. Récepteurs optiques :

Après propagation d'un signal optique tout au long d'une chaîne de transmission,le signal arrive au niveau du récepteur. Le rôle de celui-ci est de récupérer la séquence binaire sous forme électrique. Le module de récepteur est équipé notamment d'un détecteur constitué d'une photodiode permettant la conversion du signal optique en signal électrique.

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

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

− Le bloc "récupération des données", correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.[13]

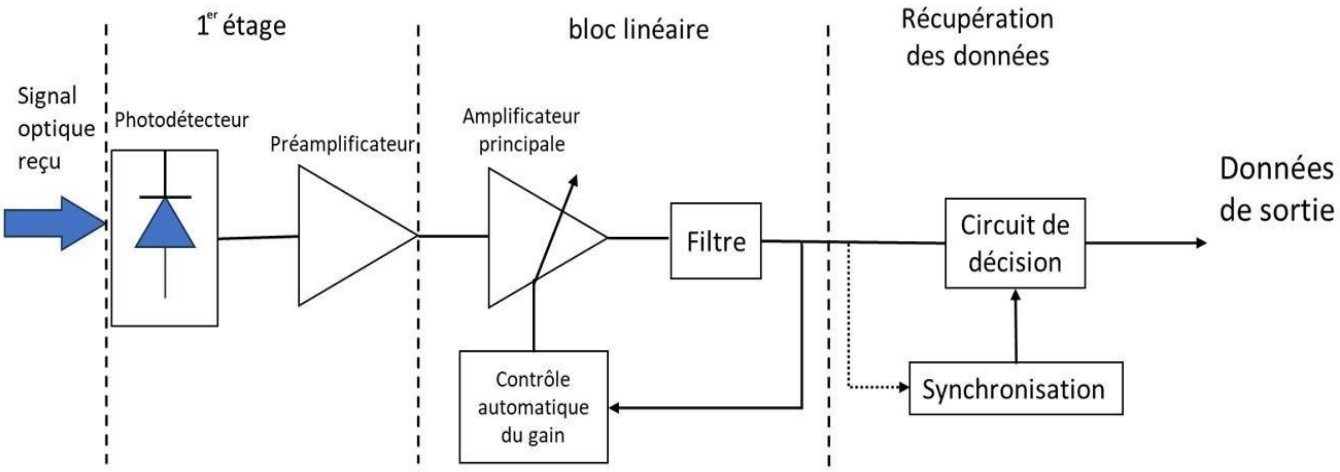


Figure 1. 24 : schéma synoptique d'un récepteur optique [12]

6.1 Photodétecteur

Le photodétecteur (photodiode) est un semi-conducteur de jonction PN polariséeen inverse permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique. Les photodiodes peuvent être classées en deuxtypes_: celles qui n'ont aucun gain interne PIN, et celles qui ont un gain interne avalanche (APD).[9]

En système de transmission optique, les modules de récepteurs doivent :

- ✓ Offrir un bon couplage avec la fibre
- ✓ Avoir une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement
- ✓ Avoir une bande passante convenable
- ✓ Avoir une faible exigence du point de vue tension de source
- ✓ Pas d'influence des conditions extérieures sur les caractéristiques
- ✓ Avoir une grande fiabilité et un faible cout
- ✓ Avoir un temps de réponse très court et un faible bruit additionnel.

La photodiode est un composant à base de matériaux semi-conducteurs. Dans sonprincipe, Les photons qu'elle reçoit, est absorbée en favorisant des transitions des électrons de la bande de valence du semi-conducteur vers sa bande de conduction.

6.2 Photodiode Pin

Les photodiodes PIN (Positive Intrinsic Negative). Ce sont également des composants à semiconducteurs qui possèdent une région intrinsèque (faiblement dopée) prise en sandwich entre une région de type P et une région de type N. La photodiode est utilisée dans un montage en polarisation inverse.

L'absorption de photons dans cette zone génère des paires électron-trou qui sontséparées sous l'effet du champ électrique : les électrons transitent vers la zone dopéeN et les trous vers la zone dopée P.

Les photodiodes PIN sont les plus utilisés, car elles sont peu coûteuses et simplesà utiliser avec une performance satisfaisante. La photodiode PIN est plus stable que l'APD en présence des fluctuations de température et de la tension appliquée. [13]

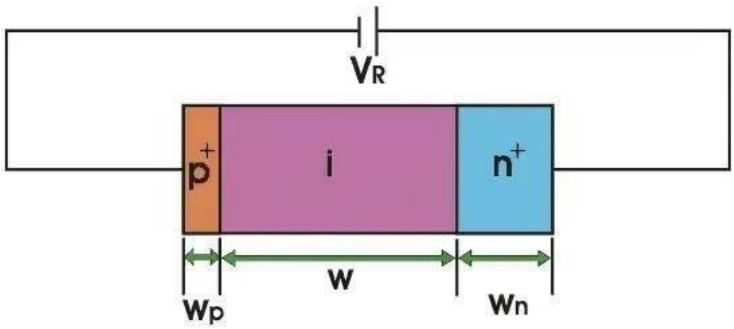


Figure 1. 25 : schéma synoptique d'une photo diode pin [13]

6.3 La photodiode a avalanche (PDA)

Lorsque les porteurs accélérés dans le champ électrique atteignent des vitesses très grandes, il se crée des porteurs supplémentaires par collision, et on obtient alors un courant photoélectrique particulièrement élevé. Ce phénomène est appelé claquage par avalanche et la photodiode est nommée photodiode à avalanche (PDA).

L'emploi de PDA se réduit du fait du développement des préamplificateurs à fibres dopées erbium. La PDA peut être vue comme une version améliorée de la photodiode PIN ; elle est plus difficile à mettre en œuvre que la PIN mais autorise des puissances optiques incidentes plus faibles. [14]

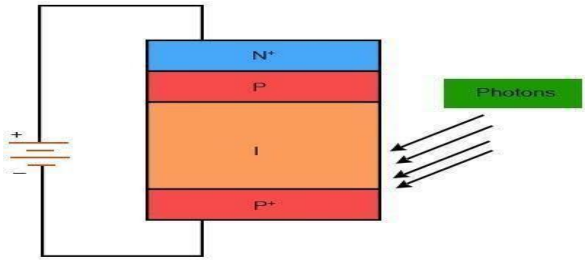


Figure 1. 26 : schéma synoptique d'une photo diode PDA [14]

6.4 Caractéristiques de la photo détecteur

Un photodétecteur est caractérisé par :

- ✓ Le coefficient d'absorption α : il détermine le rendement de la photo détecteur, il dépend du Matériau utilisé et de la longueur d'onde.
- ✓ Le rendement quantique η : qui est le rapport du nombre de paires de porteurs « photo créées Et collectées » au nombre de photons incidents. Il ne peut êtresupérieur à 1 et croît avec L'épaisseur de la zone absorbante ;
- ✓ La sensibilité S : définissant le rapport de la photo courant I ph au flux énergétique (ou Puissance optique Popt t) reçu, exprimée en Ampère par Watt (A/W). [13]

7. Multiplexage et Démultiplexage des données.

Le multiplexage a pour principe générale l'acheminement de plusieurs informations provenant de de plusieurs sources sur un canal de transmission. Le démultiplexage désigne l'opération inverse du multiplexage. Ainsi plusieurs techniques existent de nos jours tels que la TDM LA CDM le multiplexage à longueur d'onde ainsi que plusieurs autres. Ici nous allons plus nous intéressé par la WDM en surfant aussi sur les autres techniques. Le chapitre suivant est spécialement dédié à cela.

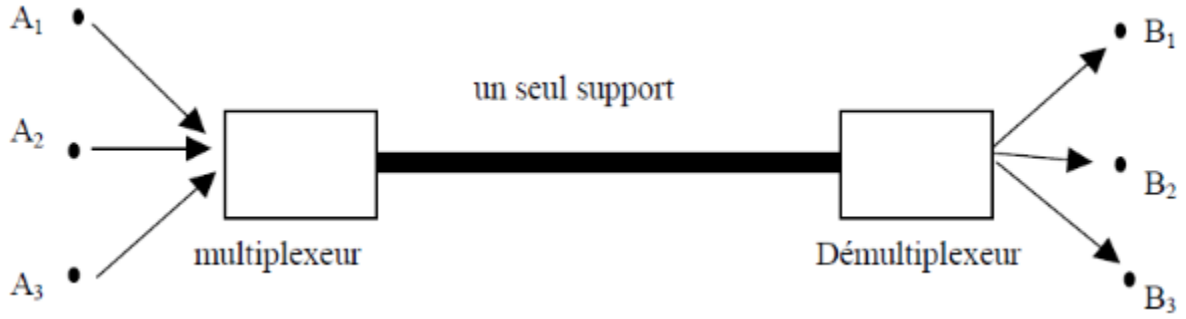


Figure 1. 27 : Multiplexage et démultiplexage d'une donnée.

8. Conclusion

Nous venons de voir dans ce chapitre une description générale sur la fibre optiqueavec ces différentes caractéristiques mais aussi ces différents types chacune avec sesspécificités sans oublier les l'étude des diffèrent bloc de transmissions de l'émetteura la ligne optique jusqu'au bloc récepteur

Au vu de ce qui précède, on comprend que la fibre optique est un moyen de transmission incontournable lorsqu'il s'agit d'un support permettant de véhiculer une multitude d'informations grâce à ses systèmes de multiplexage et aussi à sa vitesse et débit très élevés et d'une sécurité de donné super fiable sans oublier aussison invulnérabilité vis à vis des bruits extérieur.

Nous avions aussi vu les différents types de composants électroniques utilisables chacune présentant ses caractéristiques qui définissent à la fois leurs avantages et inconvénients par rapport aux autres composants. Sans oublier aussi l'étude sur la modulation optique ainsi que l'amplification optique qui demeurent primordiale pourune transmission optique fiable.

On note aussi que cette dernière demeure souvent assez fragile vu les matériaux utilisés pour sa conception, c'est donc un matériel à manipuler avec attention et prudence et dont lors de l'installation doit être placé dans un endroit assez sécurisé afin d'éviter certains accidents brusque pouvant l'abimer ou la déformer.

Chapitre 2 :
Etude des techniques de multiplexage optique

1. Introduction

Avant de passer à nos simulations de multiplexage, décrivons d'abord ce dernier (le multiplexage optique).

Le système de multiplexage demeure de nos jours une technique très importante voir indispensable lors de la transmission des signaux, non seulement par le fait qu'il rend les installations moins couteuses parce qu'il permet l'acheminement plusieurs informations très souvent d'utilisateurs différents sur une même ligne, mais aussi grâce à son apport du point de vu fiabilité.

De ce fait nous verrons tout au long de ce chapitre l'intégralité des différents systèmes ou techniques de multiplexage utilisés lors des transmissions optiques dont entre autre le multiplexage temporel, a répartition de code et surtout la WDM ou notre étude sera plus profonde, avec ces différents types. qui est généralement est la plus utilisé vu sa large disponibilité et flexibilité permettant de multiplexer une multitude de signaux avec une excellente fiabilité.

2. Description et principe du multiplexage et démultiplexage optique

2.1 Multiplexage Optique

Le multiplexage optique a pour but l'acheminement de plusieurs informations provenant de plusieurs sources sur une ligne optique (câble optique). Pour assurer cette fonction différente technique et équipements sont utilisé tels que la WDM et ces différents types, le multiplexage temporel (TDM), le multiplexage a répartition de code CDM ainsi que d'autre. Notons que ces derniers ont le même principe (mettre sur un même canal plusieurs informations) mais la manière et la technique pour assurer cela les diffère.

2.2 Démultiplexage Optique

Le démultiplexage optique a pour rôle inverse du multiplexage celui de récupérer les signaux de la ligne, les filtrer et de repartir ces derniers à leur destinataire respectifs.

Afin d'assurer son rôle ce dernier doit être conforme et adapter au type de multiplexeur utilisé pour réaliser le multiplexage supposons qu'un multiplexeur WDM est utilisé cela signifie automatiquement qu'un démultiplexeur WDM doit être en place.

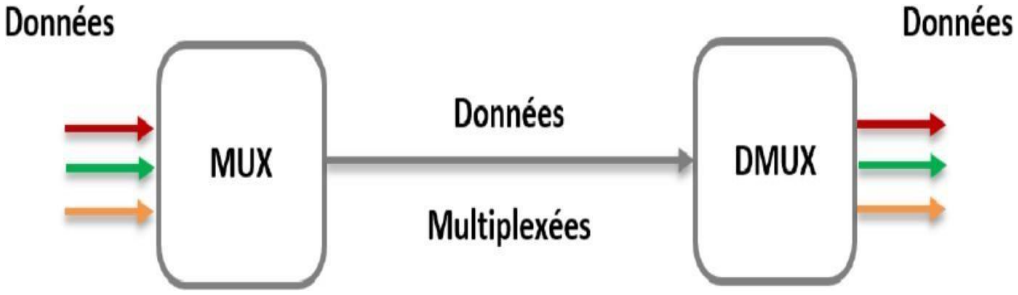


Figure 2. 1 : illustration d`un système de multiplexage et démultiplexage optique [1]

2.3 Types de Multiplexages

2.3.1 Multiplexage temporel (TDM)

Le multiplexage temporel TDM (Time Division Multiplexing) ou MRT (Multiplexage à répartition dans le temps) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

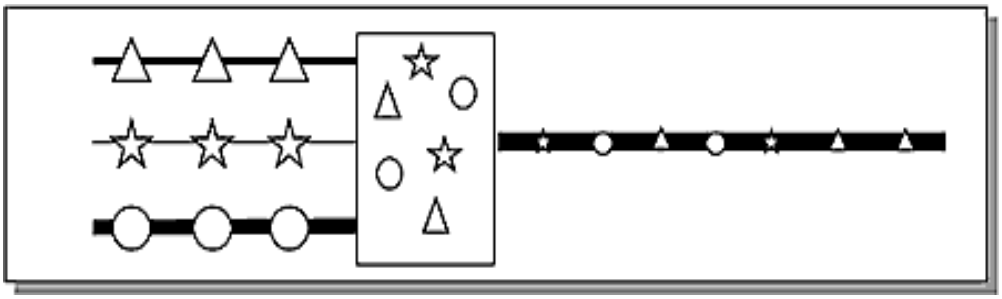


Figure 2. 2 : Schéma de principe d'un multiplexage à répartition dans le temps [1]

Le multiplexage temporel (TDM) combine plusieurs signaux numériques en un seul flux binaire numérique série. Un circuit spécialisé appelé sérialiseur met en forme des flux d'entrée parallèles dans les emplacements temporels de la sortie série.

Dans un système sur fibre optique, le flux de bits série est transmis comme une seule longueur d'onde sur un câble fibre optique. À l'extrémité éloignée du canal, un désérialiseur reconstruit le signal parallèle d'origine à partir du flux binaire série.

Le débit de données série doit être suffisamment rapide pour garantir qu'aucune donnée ne soit perdue. Les émetteurs et récepteurs sur fibre optique pour les signaux audiovisuels haute résolution fonctionne généralement à un débit de données de 4 à 6 Gb/s. [1]

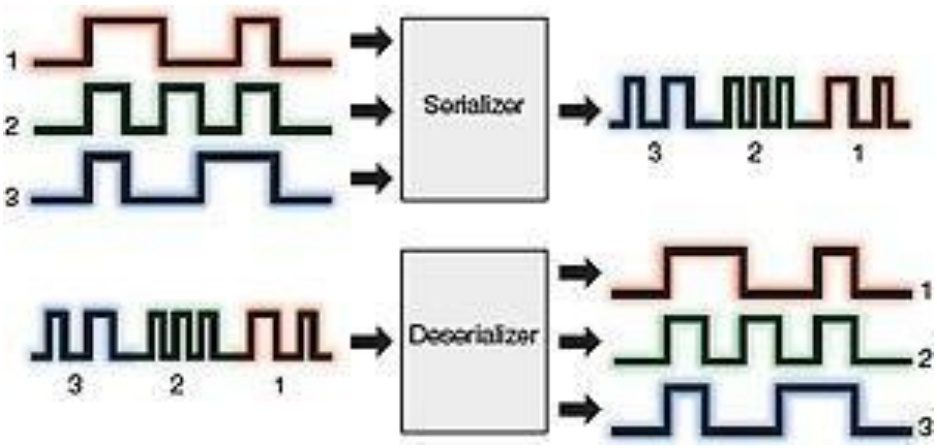


Figure 2. 3 : Sérialiseur – désérialiseur [2]

2.3.2 La CDMA optique

Le CDMA optique L'application du CDMA aux systèmes de télécommunication optiques a pour but de surmonter les limites des systèmes d'accès TDMA et WDMA en termes de capacité de multiplexage de débit et de flexibilité. L'utilisation des convertisseurs électrique/optique et optique /électrique est un verrou technologique à lever lors de l'utilisation de la technique CDMA électrique appliqué aux réseaux d'accès optique. Une manière de surmonter cette limitation et de minimiser le cout élevé d'implémentation consiste à réaliser le codage et décodage dans le domaine optique en utilisant des composants optiques. Cela conduit à ce qu'on appelle : les systèmes CDMA "tout otique". La réalisation des systèmes CDMA "tout otique" pour les réseaux d'accès a vu le jour grâce au développement des composants optique passifs.[11]

2.3.2.1 Les avantages du CDMA aux réseaux d'accès optique

- ✓ Large couverture.
- ✓ Efficacité spectrale bit/HZ.
- ✓ Gestion de plan de fréquence.
- ✓ Immunité par rapport au brouilleur.
- ✓ Diversité en fréquence.
- ✓ Efficacité de la concentration du trafic.
- ✓ Souplesse de modification sur les débits transmis.
- ✓ Capacité théorique plus grande. [11]

2.3.2.2 Architecture d'OCDMA

L'OCDMA est basée sur deux domaines de transmission des données : temporelle et spectrale, dans le domaine temporelle les données sont étalées électriquement (réseau partiellement optique) et dans le domaine optique c'est la conception de l'encodeur optique qui détermine de manière matérielle le code utilisé (réseau tout optique).

La figure ci-dessous représente un système CDMA tout optique de type de réseau en étoile.Le signal issu de la source de données, optique ou électronique activant une source optique,étalé à l'aide du code de l'utilisateur. La séquence est couplée avec les données des autres utilisateurs du système, le signal résultant transmis via une fibre optique. À la réception, le signal reçu est comparé avec les codes de tous les utilisateurs pour estimer la donnée émise.[11]

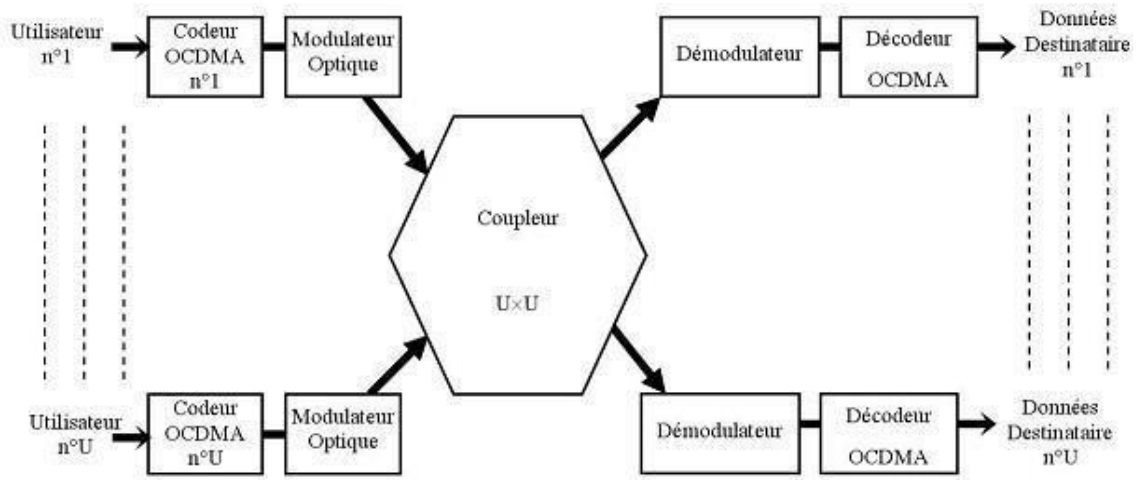


Figure 2. 4 : OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques [11]

2.3.2.3 Les différentes approches de l'OCDMA

a) L'OCDMA dit cohérent :

Les informations codées à transmettre utilisent l'amplitude et la phase du signal transmis de cette manière, il est possible d'utiliser des codes bipolaires (composés de -1 et de 1).

Cette bipolarité permet aux différents codes d'être strictement orthogonaux de la même manière que pour le CDMA hertzien.

Des familles de codes bien connues permettent de construire des séquences orthogonales : codes de Gold, Walsh, …. Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rendent le système plus complexe et donc l'infrastructure à mettre en place plus onéreuse. [11]

b) L'OCDMA incohérent :

Dans cette technique, le décodage est réalisé dans le domaine temporel ou spectral en utilisant des séquences de codes unipolaires (0, 1). Elle utilise une détection directe de la quantité positive de la puissance reçue. Cette technique est plus simple à mettre en œuvre (coût bas), car elle utilise des sources de lumière incohérente telle que la diode électroluminescente (LED). [12]

2.3.2.4 Avantages et inconvénients de l'OCDMA

Le terme « tout optique » signifie que l'OCDMA utilise des composants optiques passifs faciles à intégrer dans les réseaux PON sans faire appel aux convertisseurs électriques/optiques (E/O). Parmi les avantages du multiplexage OCDMA, cette technique offre un haut niveau de sécurité et de confidentialité à cause de l'exploitation des codes orthogonaux pour chiffre l'information.

La connexion entre les utilisateurs se fait de manière asynchrone. Cette technique permet d'augmenter le transfert de données et assure la distribution simultanée de différents services « triple play » (données, voix et vidéo). [12]

Les systèmes OCDMA souffrent de quelques limitations telles que :

✓ Il est difficile de faire la distinction entre les données et le bruit du canal entre les utilisateurs.

✓ La capacité à générer le maximum de codes est limitée.

✓ Correction d'erreur.

✓ L'impossibilité d'utiliser des codes bipolaires, contrairement au domaine de la radiofréquence.

2.3.3 Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le WDM correspond à la transmission d'au moins deux signaux optiques à différentes longueurs d'onde sur une seule fibre optique. La transmission de plusieurs longueurs d'onde sur une fibre est similaire à la circulation de plusieurs signaux radio dans l'air à des fréquences différentes.

Chaque longueur d'onde peut transporter un signal distinct, indépendamment des autres longueurs d'onde. Les différentes longueurs d'onde peuvent par ailleurs se propager dans la même direction ou dans des directions opposées, permettant la communication bidirectionnelle optique sur une seule fibre.

Le multiplexeur/démultiplexeur WDM sépare également le signal optique utilisé pour les données de retour, qui fonctionne à une longueur d'onde différente de celle de toutes les entrées. Le signal optique pour les données de retour passe par un convertisseur optique-électrique afin de récupérer le signal d'origine. [5]

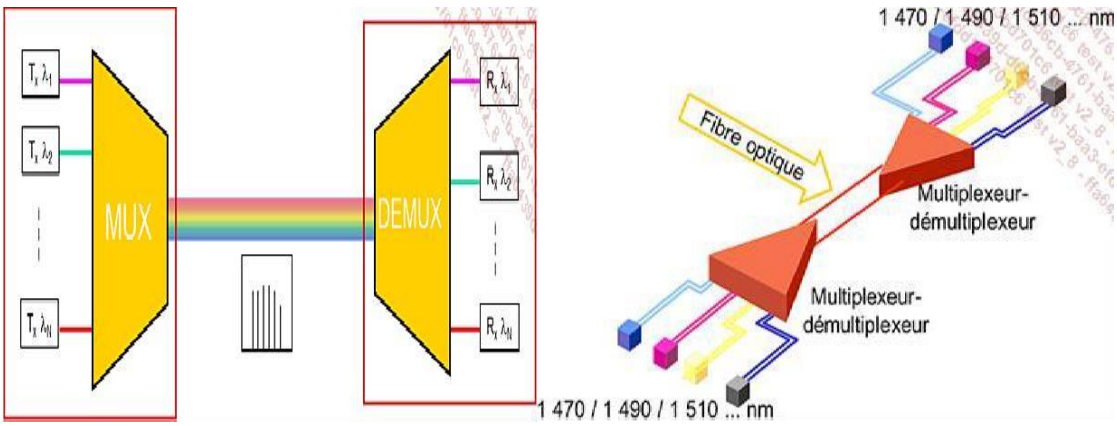


Figure 2. 5 : Principe de fonctionnement du multiplexage WDM bidirectionnelle.

2.4 Description

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble des diodes lasers émettant à des longueurs d'onde différentes mais assez proches, à titre d'exemple, dans le voisinage des 1550 nm. Et de multiplexeur/démultiplexeur optique pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre optique. La figure [7] montre un exemple d'une liaison optique utilisant le multiplexage WDM. [5]

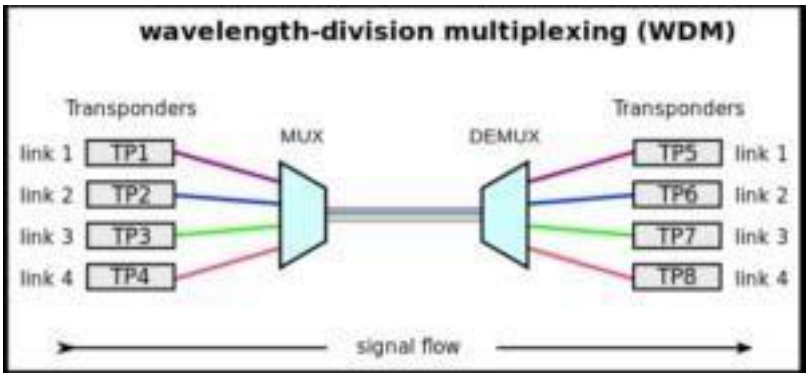


Figure 2. 6 : Principe de multiplexage WDM [5]

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission optique via la technologie WDM, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses : qualité de la fibre, qualité des multiplexeur/démultiplexeur, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source… [5]

2.4.1 Les avantages de la technologie WDM

Nous pouvons mentionner quelques avantages du multiplexage optique en longueur d'onde :

- ✓ La technologie WDM garantit des débits de transmission élevée et de taux de partage dans le réseau d'accès.
- ✓ Dans la technologie WDM, la transmission est transparente, permet aussi une indépendance vis-à-vis les protocoles et une indépendance entre canaux (on peut trouver sur une même fibre optique de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM).
- ✓ Nous pouvons contribuer à plusieurs applications dans cette technologie, à titre d'exemple : le multiplexage en longueurs d'onde pour la commutation et le routage optique ;
- ✓ La limite de débit imposée par la technique TDM peut être dépassée en introduisant le multiplexage WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur. [5]

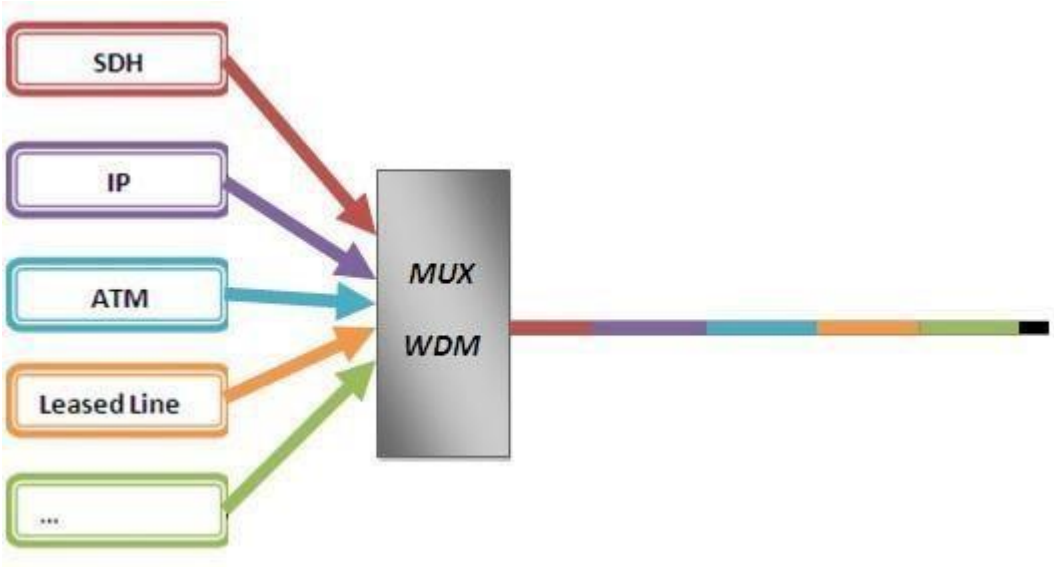


Figure 2. 7 : illustration d'un multiplexeur WDM avec des différents protocoles [7]

3. Types de la technologie WDM

La conception du système de communication est différente et la largeur d'espacement entre chaque longueur d'onde est également différente. Selon l'espacement des canaux, le WDM peut être subdivisé en CWDM (multiplexage grossier en longueur d'onde) et DWDM (multiplexage dense en longueur d'onde). L'espacement des canaux du CWDM est de 20 nm, tandis que l'espacement des canaux du DWDM est de 0.2 nm à 1.2 nm, sans oubliée LWDM (Lan Wavelength Division Multiplexing) et MWDM (Medium Wavelength Division Multiplexing).

3.1 Multiplexage CWDM

Au début, les conditions techniques étaient limitées, et l'espacement des longueurs d'onde serait contrôlé à quelques dizaines de nanomètres. Ce type de WDM est appelé multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière (CWDM).

Les solutions CWDM sont plus adaptées pour un nombre limité de canaux (8 longueurs d'onde) et des distances de 40 Km.

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière (CWDM) est une technique économique permettant d'économiser les ressources en fibre en transmettant plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre optique. En particulier, le CWDM bénéficie d'un faible coût grâce à son laser modulant non refroidi qui ne consomme que 0,5 W d'énergie. Le coût dusystème CWDM ne représente que 30 % des dépenses DWDM. Ainsi, CWDM convient aux applications sur de courtes distances, à bande passante élevée et dans les zones avec des pointsd'accès denses. Cependant, l'inconvénient du CWDM est que ses longueurs d'onde supportablessont limitées, généralement pour cinq ou six longueurs d'onde optiques différentes entre 1 270 nm et 1 610 nm avec un intervalle de 20 nm. [6]

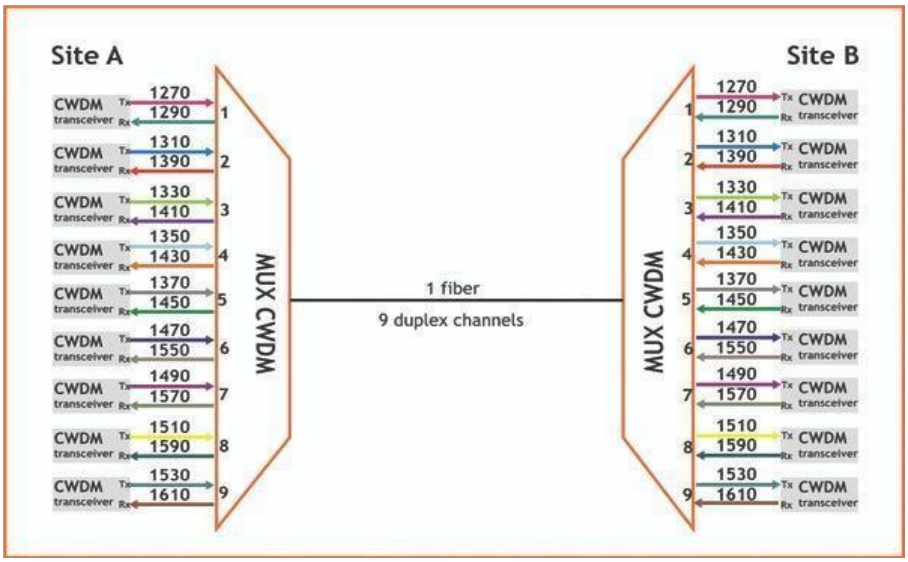


Figure 2. 8 : Multiplexage et démultiplexage CWDM [5]

Avantages et inconvénients du CWDM :

Avantages du CWDM	**Inconvénients du CWDM**
• Consommation réduite de l''énergie • Exigence d'espaces réduits • Peut utiliser une fibre SMF ou un câble MMF. • Peut utiliser des LED ou lasers pour l'alimentation • Des capacités individuelles par canal plus importantes • Des filtres à ondes de taille et coût réduits • Réduction des coûts de lancement et d'expansion	• Moines de capacité que DWDM • Portée réduite • Régénération vs amplification • Les fonctions O, A et M ne sont pas de catégorie transporteur

Tableau 2. 1 : Avantages et inconvénients du CWDM [8]

3.2 Multiplexage DWDM

La technologie Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) dans WDM utilise un espacement de longueur d'onde étroit, généralement entre 0.8 et 2 nm. Elle combine des porteuses optiques sur une seule fibre pour la transmission, augmentant la capacité de transmission de chaque fibre. [9]

3.2.1 Structure de la DWDM

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (DWDM) est une technologie de communication par fibre optique relativement avancée à l'heure actuelle. Avec le développement de l'économie et de la technologie, la demande des gens en matière de vitesse de transmission de données a également augmenté à un niveau relativement élevé, ce qui ouvre la voie à la technologie DWDM. [9]

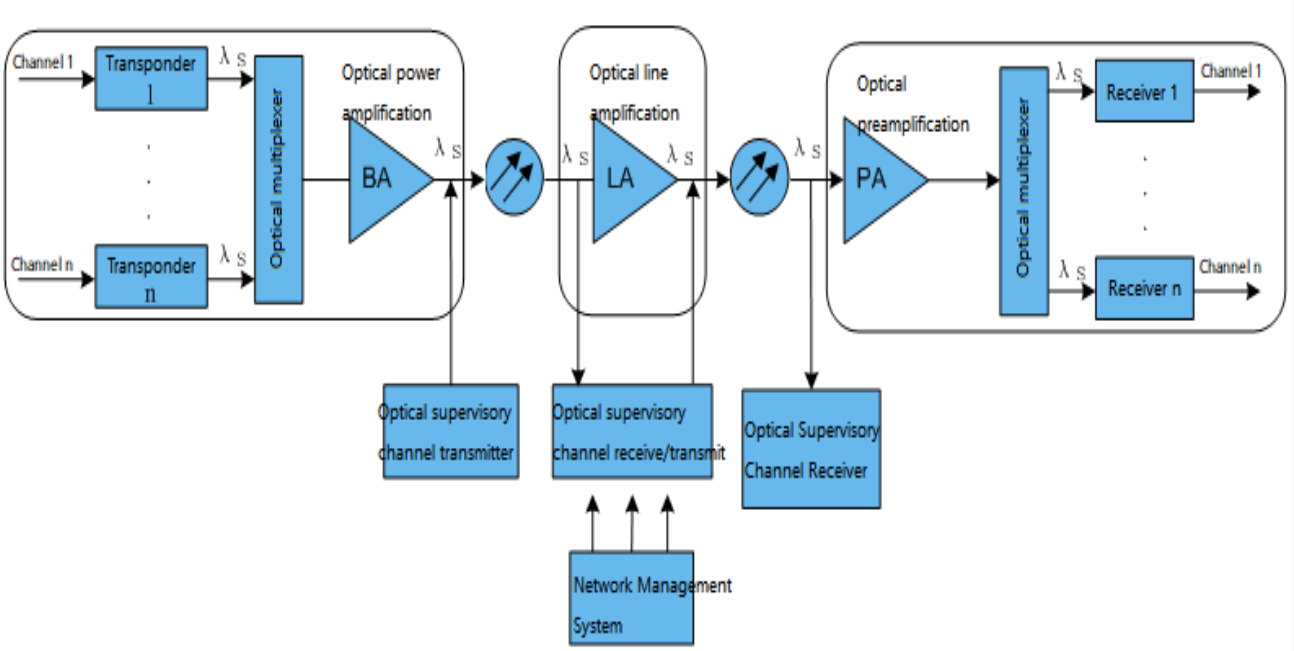


Figure 2. 9 : Structure de la DWDM [9]

- Transpondeur optique : convertit les signaux lumineux de longueur d'onde ;
- Multiplexeur et séparateur optique : combine et divise les signaux lumineux à longueur d'onde fixe.
- Amplificateur optique (OLA) : situé au milieu de la section de transmission optique, l'OLA amplifie le signal optique.
- Canal de supervision optique : utilisé pour effectuer la gestion et la surveillance du système DWDM, afin que le système de gestion du réseau puisse gérer efficacement le système DWDM.[9]

3.2.2 Le principe de fonctionnement du système DWDM

a) Transmission Unidirectionnelle à double fibre

Un système WDM unidirectionnel utilise deux fibres optiques. Une fibre complète uniquement la transmission des signaux optiques dans une direction, et la transmission des signaux optiques inverses est complétée par l'autre fibre.

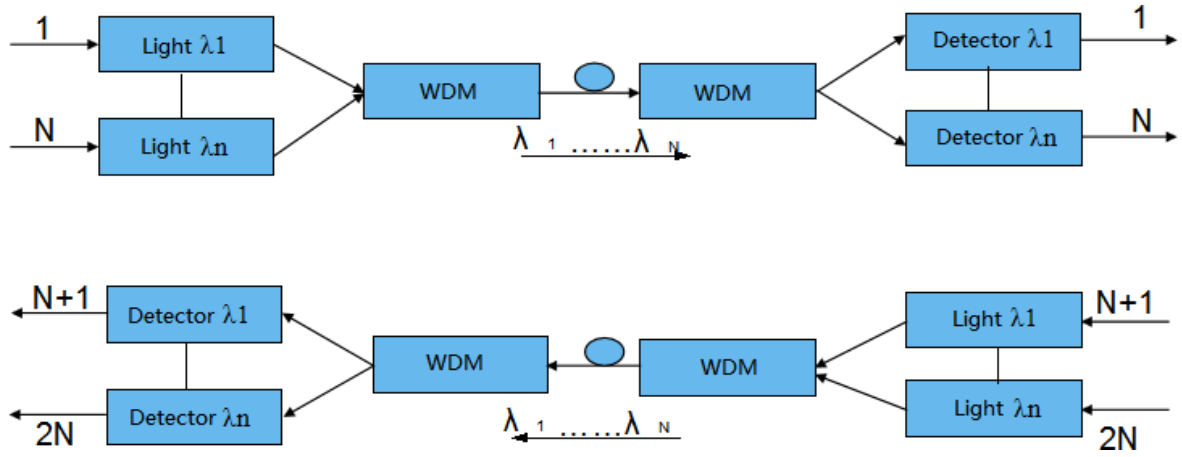


Figure 2. 10 : Schéma d'une transmission unidirectionnelle a double fibre [9]

NB : Chaque signal est porté par une longueur d'onde différente, garantissant qu'il n'y a pas d'interférence, et la même longueur d'onde peut être réutilisée dans les deux sens. Mais notons que cette technique à une faible utilisation des ressources de fibre et de dispositifs optiques.[9]

b) Transmission Bidirectionnelle Monofibre

Un système de multiplexage par répartition en longueur d'onde bidirectionnel (WDM) utilise une seule fibre pour transmettre des signaux dans les deux sens, avec différentes longueurs d'onde transportant les signaux dans chaque direction, réalisant une communication en duplex intégral.[9]

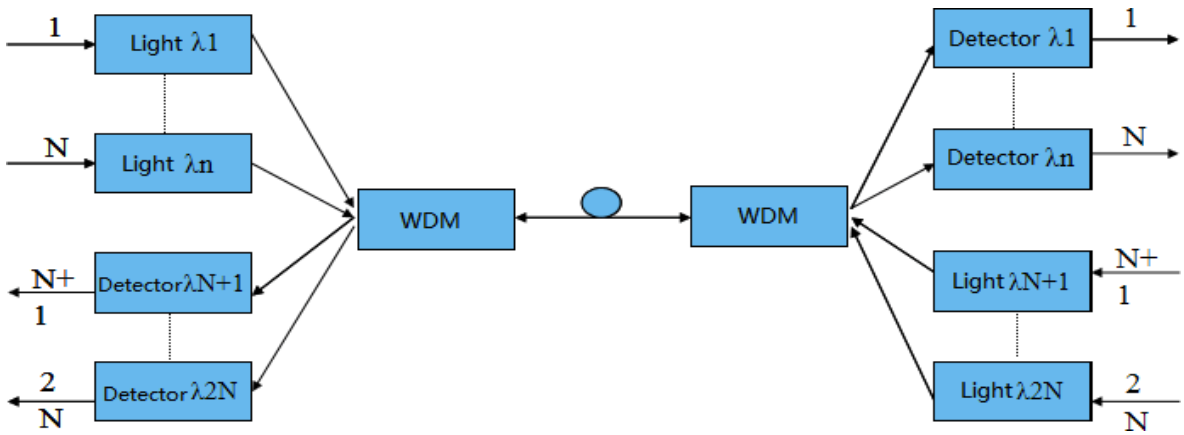


Figure 2. 11 : Schéma transmission bidirectionnelle monofibre [9]

NB : cette technique peut réduire le nombre de fibres et d'amplificateurs de ligne utilisés, ce qui réduit les coûts. L'inconvénient est que qu'elle à une : exigences élevées, une nécessité de résoudre les interférences multicanaux et distance de transmission étendue nécessitant une amplification optique.[9]

3.2.3 Classification des systèmes DWDM

a) Système DWDM Ouvert

Du côté de la transmission, OTU est utilisé pour convertir les longueurs d'onde non standard en longueurs d'onde standard. La fonction principale de cet appareil est de convertir les longueurs d'onde non standard en longueurs d'onde standard spécifiée par l'UIT-T pour répondre à la compatibilité de longueur d'onde du système. [9]

La Hiérarchie Numérique Synchrone (SDH) est un système hiérarchique de signaux numériques standardisés qui peuvent être transmis, multiplexés et interconnectés de manière synchrone. [9]

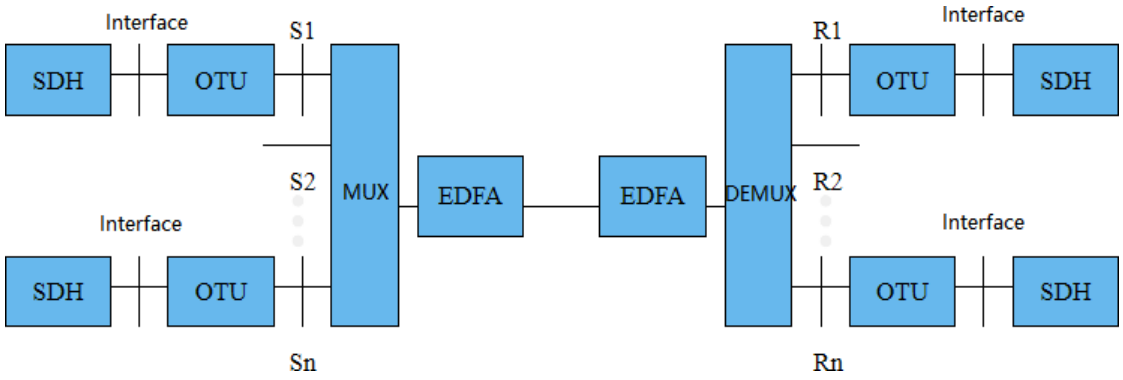


Figure 2. 12 : Schéma d'un système DWDM ouvert [9]

b) Système DWDM Intégré

Le signal de service lui-même répond déjà à la longueur d'onde standard et aucune OTU n'est nécessaire au niveau de l'émetteur-récepteur et de l'émetteur. **EDFA (**amplificateur à fibre dopée à l'erbium**)** pour système WDM.

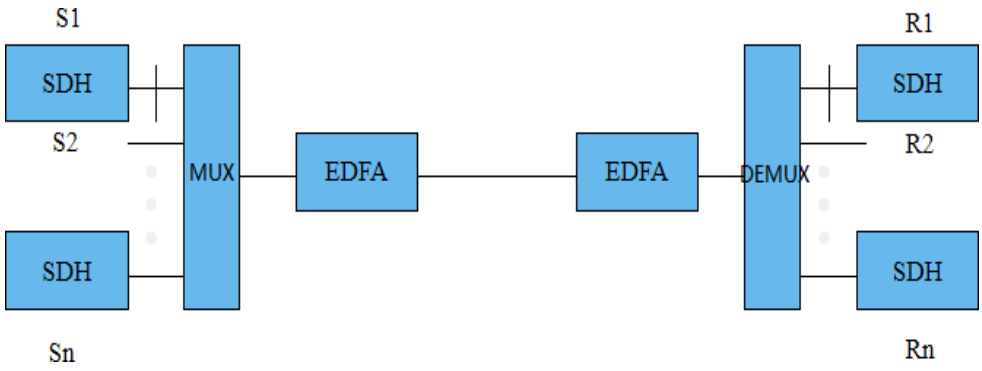


Figure 2. 13 : Schéma système DWDM Intégré [9]

3.2.4 Avantages et inconvénients du DWDM

Avantages	Inconvénients
✓ Système de capacité maximale disponible ✓ Capacité de distance maximale avec les EDFA ✓ Les sites « ampères » de répéteur peuvent être réduits ✓ Payez au fur et à mesure de votre croissance ✓ Des systèmes O, A et M matures sont développés	✓ Besoin de plus d'espace ✓ Besoin de plus de puissance ✓ Besoin de lasers et de filtres d'ondes de haute précision ✓ EDFA coûteux pour les amplificateurs ✓ Les coûts de démarrage sont supérieurs à ceux du système CWDM équivalent

Tableau 2. 2 : Avantages et inconvénients du DWDM [8].

3.2.5 Comparaison entre CWDM ET DWDM

Au début, les conditions techniques étaient limitées, et l'espacement des longueurs d'onde serait contrôlé à quelques dizaines de nanomètres. Ce type de WDM est appelé multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière (CWDM).

Plus tard, la technologie est devenue de plus en plus avancée et l'intervalle de longueur d'onde est devenu de plus en plus court. Qui n'est autre que la (DWDM) lorsqu'il atteignait un niveau de quelques nanomètres.

De plus, les lasers modulés CWDM utilisent des lasers non refroidis, tandis que les DWDM utilisent des lasers refroidis. Les lasers refroidis sont réglés en température et les lasers non refroidis sont réglés électroniquement. Il est difficile et coûteux de mettre en œuvre un réglage de température car la distribution de température est très non uniforme sur une large gamme de longueurs d'onde.

La CWDM évite cette difficulté et réduit ainsi considérablement le coût. Le coût de l'ensemble du système CWDM ne représente que 30 % de celui du DWDM. Le CWDM est obtenu en combinant des longueurs d'onde transmises dans différentes fibres en une seule fibre pour la transmission à l'aide d'un multiplexeur optique. A l'extrémité réceptrice de la liaison, le démultiplexeur est utilisé pour envoyer les longueurs d'onde décomposées à différentes fibres puis à différents récepteurs.

NB : la CWDM a un espacement de longueur d'onde de 20 nm et 18 bandes d'ondes de 1270 nm à 1610 nm.

Cependant, en raison de l'augmentation évidente de l'atténuation des bandes d'ondes de 1270 nm à 1470 nm, de nombreuses fibres optiques de type ancien ne peuvent pas être utilisées normalement, de sorte que CWDM donne généralement la priorité à l'utilisation des 8 bandes d'ondes de 1470 nm à 1610 nm.

L'espacement des longueurs d'onde du DWDM peut être de 1.6 nm, 0.8 nm, 0.4 nm et 0.2 nm, ce qui peut accueillir 40/80/160 ondes (jusqu'à 192 ondes). La gamme d'ondes du DWDM est de 1525 nm à 1565 nm (bande C) et de 1570 nm à 1610 nm (bande L). [9]

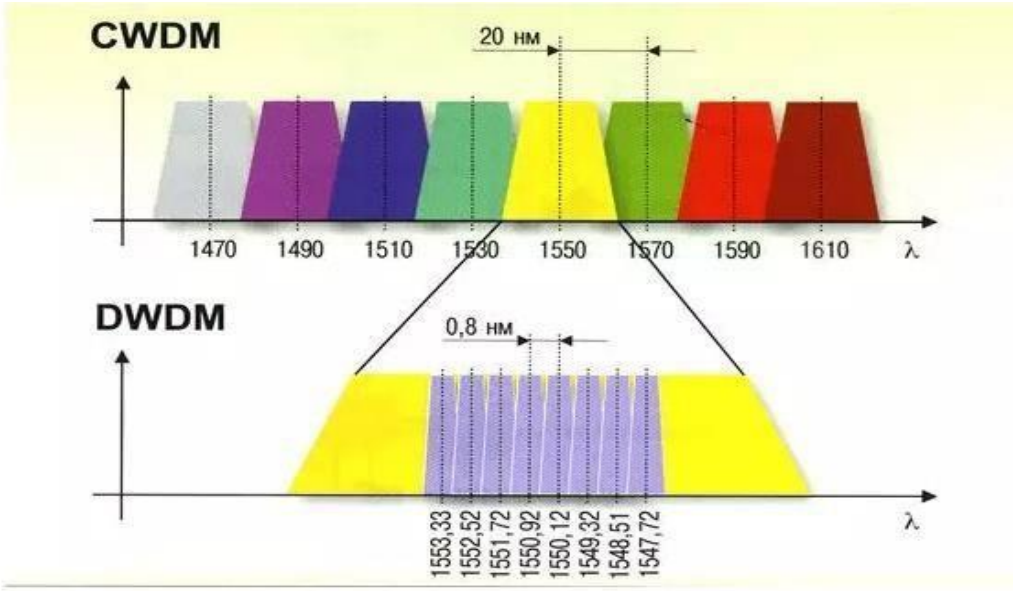


Figure 2. 14 : Schéma comparatif entre la CWDM et la DWDM [8]

Tableau de comparaison entre la CWDM et la DWDM :

WDM TYPES	**CWDM**	**DWDM**
Nom complet	Multiplexage par division de longueur d'onde grossière	Multiplexage par répartition en longueur d'onde dense
Intervalle d'onde	20 nm en général	0.8nm / 0.4nm / 0.2nm / 1.6nm
Gamme de longueurs d`ondes	1270nm à 1610nm	1525 nm à 1565 nm (bande C) 1570nm à 1610nm (bande L)
Nombre de bandes	18	40/80/160 (jusqu'à 192)
Forme de modulateur optique	Laser non refroidi, réglé électroniquement	Laser refroidi, réglé par la température

Communication Distance	Court (amplificateurs optiques non pris en charge)	Location
Structure	Simple	Complexe
Consommation d'énergie	Faible	Haute
Grandeur physique	Petite	Grande
Exigence relative au support de transmission	Faible	Faible
Prix	Faible	Haute
Prix en euro (selon le nombre des canaux)	109 à 669 (4 à 18 canaux)	619 à 2617 (8 à 64 canaux)

Tableau 2. 3 : Comparaison entre CWDM et DWDM [9]

3.3 La Technique MWDM

3.3.1 Description

Ce dispositif est de nos jours utilisé très souvent dans les communications optiqueS est un système permettant de réaliser des multiplexages et démultiplexage d'une multitude de signaux optique de longueur d'onde différente sur une même fibre. Notons bien aussi que l'opération de démultiplexage peut être réalisée sur le même dispositif.

3.3.2 Caractéristiques du MWDM

- **Nombre élevé de canaux** : le module démultiplexeur multiplexeur MWDM compact prend en charge des canaux selon sa configuration, qui peuvent transmettre plusieurs signaux optiques en même temps, améliorant ainsi l'efficacité de la transmission par fibre optique et l'utilisation de la bande passante.
- **Conception compacte :** Le produit adopte une conception compacte avec une petite taille et un poids léger, ce qui peut économiser de l'espace et des coûts, et convient à une installation dans des endroits où l'espace est limité.
- **Isolation élevée des canaux** : ce produit a une isolation élevée des canaux, ce qui peut efficacement éviter les interférences de signaux optiques entre différents canaux et assurer la qualité de transmission et la stabilité des signaux optiques.
- **Haute fiabilité** : le module multiplexeur/démultiplexeur MWDM compact 12-canal adopte des dispositifs optiques et des composants électroniques de haute qualité, a une fiabilité élevée et une longue durée de vie, et peut répondre à divers scénarios d'application complexes. [10]

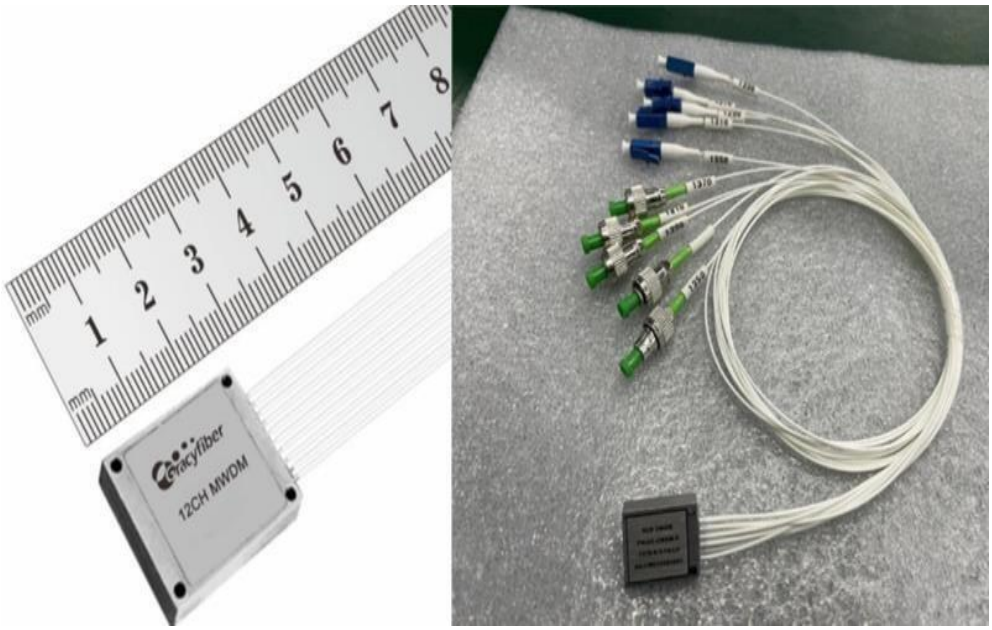


Figure 2. 15 : Illustration d'un multiplexeur démultiplexeur MWDM

Sur ce type d'équipement, les pertes de retour, l'espacement des canaux et la plage de température de fonctionnement dépendent bien évidemment des caractéristiques prisent en charge par le module en question.

Voilà ci-dessous les paramètres de celui d'un module prenant en charge 12 canaux :

Nombre de canaux	12	Isolation des canaux	Supérieur ou égal à 30dB
Plage de longueurd'onde de fonctionnement	1270nm ~ 1610nm	Perte de retour	Supérieur ou égal à 45dB
Perte d'insertion de canal	Inférieur ou égal à2,5 dB	Espacement des canaux	20nm
Type de ports	SC/PC, SC/APC, FC/PC, FC/APC	Plage de température defonctionnement	-5 degré ~ plus 75 degrés

Tableau 2. 4 : Paramètre du MWDM à 12 canaux.

3.4 La Technique LWDM

La LWDM est une technologie Lan-WDM de multiplexage par répartition en longueur d'onde basée sur les canaux Ethernet, également connue sous le nom de multiplexage par répartition en longueur d'onde fine. Son espacement des canaux est de 200 à 800 GHz.

La LWDM est généralement utilisé pour des distances allant jusqu'à 10 km, se situant entreles espacements de canaux du DWDM (100 GHz ou 50 GHz) et du CWDM (environ 300 THz).

La LWDM utilise 12 longueurs d'onde dans la bande 1269nm à 1332nm située dans la gamme O-band (1260nm à 1360nm) avec un intervalle de longueur d'onde de 4nm (1269.23, 1273.54, 1277.89, 1282.26, 1286.66, 1291.1, 1295.56, 1300.05, 1304.58, 1309.14, 1313.73,1318.35 nm).

Ces longueurs d'onde offrent des caractéristiques telles qu'une dispersion proche de zéro, une faible dispersion et une excellente stabilité, avec un espacement de 4 nm. Pendant ce temps, LWDM peut prendre en charge le 25G à 12 ondes avec une capacité améliorée, ce qui peut encore économiser la fibre.

La LWDM est couramment utilisé dans divers contextes tels que les intranets d'entreprise (LAN), les bureaux et les réseaux de campus pour améliorer l'efficacité des communications internes. L'exploitation de la technologie LWDM permet une utilisation efficace des ressourcesdu réseau fibre optique, permettant une transmission rapide des données entre plusieursappareils tout en s'adaptant de manière flexible aux diverses topologies et exigences LAN.

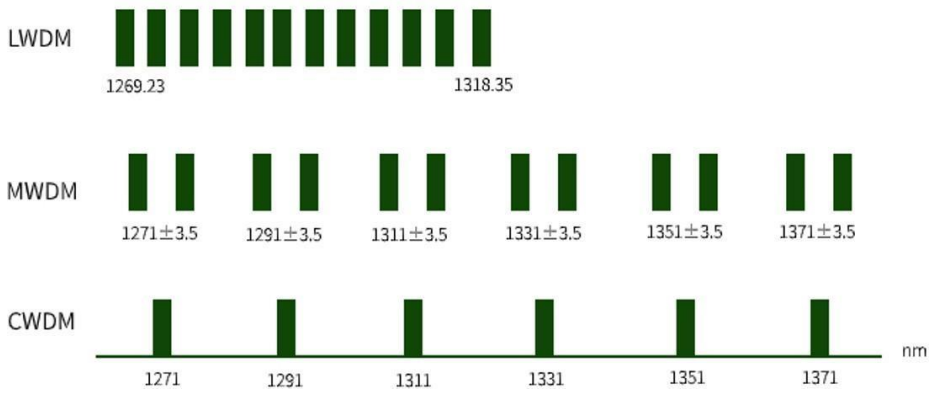


Figure 2. 16 : Les longueurs d'onde de la LWDM ainsi que MWDM et CWDM [11]

3.4.1 Comparaison entre MWDM et LWDM

MWDM est généralement utilisé pour la communication sur des distances modérées, comme dans les zones urbaines. D'un autre côté, LWDM est mieux adapté aux communications à courte distance, comme au sein des réseaux d'entreprise ou des réseaux locaux (LAN).

LWDM offre de plus grandes économies de coûts et une utilisation plus efficace des ressources. LWDM est souvent utilisé pour des distances de communication plus courtes, offrant des coûts d'équipement et de déploiement inférieurs. À l'inverse, le MWDM, qui convient à des portées de communication plus larges, nécessite des investissements en équipements et en ressources plus importants. [8]

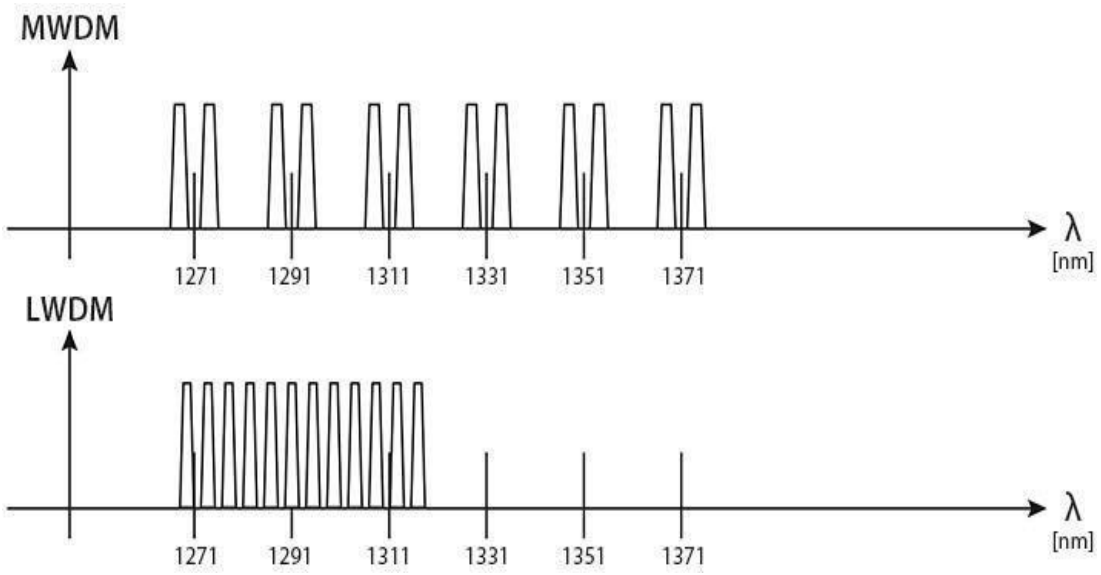


Figure 2. 17 : Diagramme de longueur d'onde MWDM et LWDM [8]

3.5 PDM

A ce niveau le concept de multiplexage optique (WDM) reste le même sauf que des multiplexeurs ayant multiplexé des canaux de même longueur d'ondes peuvent être acheminé sur la même fibre sans interférence grâce à l'utilisation des polarisateur. À chaque sortie de multiplexeur un polarisateur est utilisé avec un degré de polarisation spécifique, pareil à la sortie de la fibre un dépolarisa6teur est nécessaire pour séparer les différentes informations.

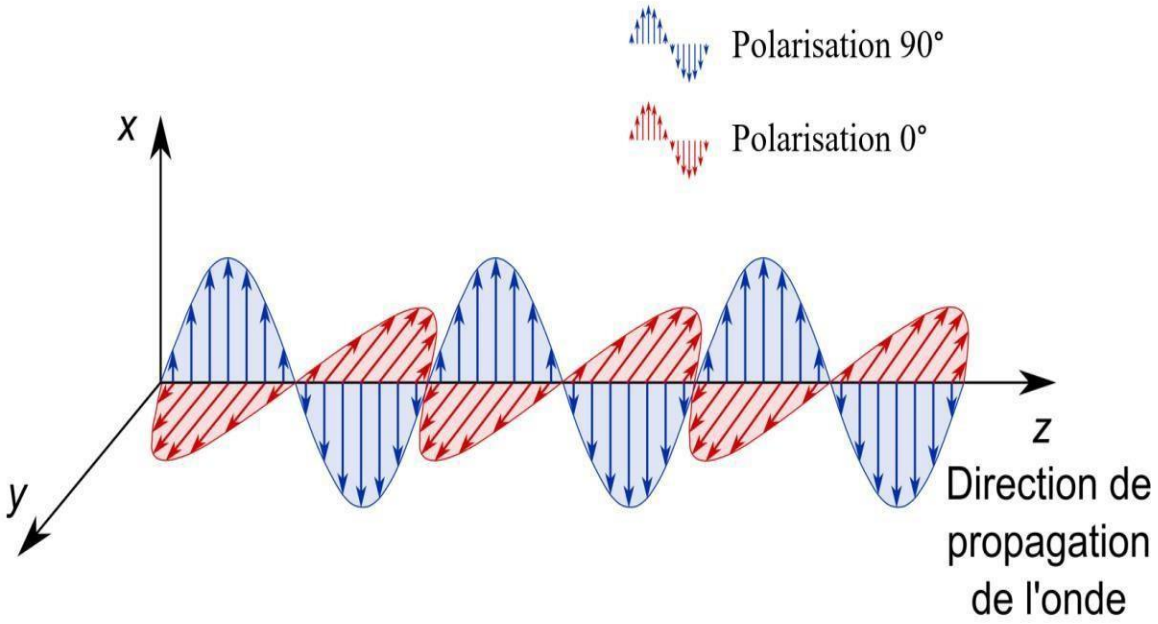


Figure 2. 18 : Propagation de deux signaux polariser.

Schéma bloc qui représente le system de transmission WDM-PDM :

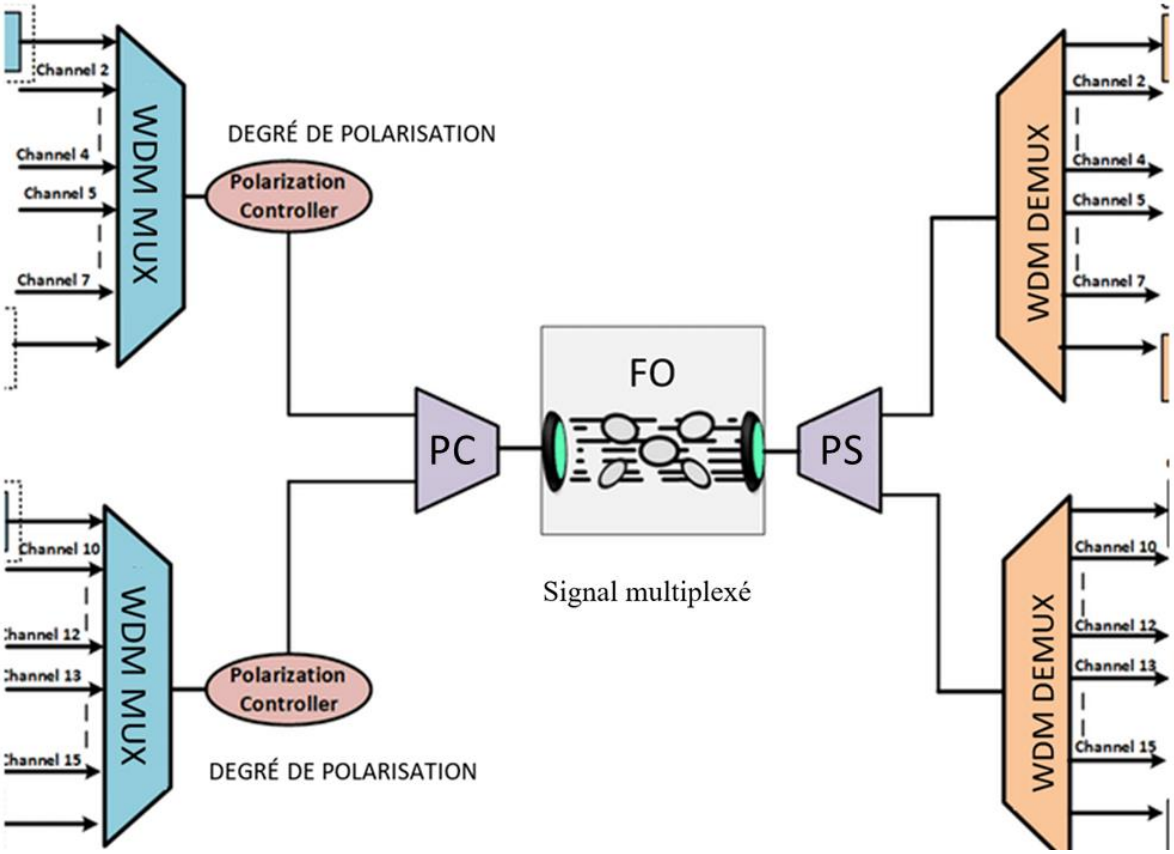


Figure 2. 19 : Schéma bloc d'un system PDM [12]

4. CONCLUSION

Nous venons de voir tout au long de ce chapitre les différentes techniques de multiplexageutilisé dans les transmissions optiques en passant de la TDM à La CDM en mettant bien évidement un accent sur la WDM qui nous intéresse plus particulièrement dans notre étude.

Nous avions vu que cette dernière en possède quelque type tel que la CWDM, DWDM, MWDM et LWDM MDM qui partage plus ou moins le même concept avec une divergence d'efficacité et de mode de fonctionnement et les différents ajouts technique mis en place pour la création d'autre type, chose que nous avions relevé aussi avec des comparaisons effectuées.

Chapitre 3 :
Simulation et discussion des résultats issue des multiplexages à l'aide d'optisystem

1 Introduction

Cette partie du travail est dédié dans un premier temps à la présentation du logiciel utilisé puis dans un second temps nous assemblerons les blocs a utilisé assembler selon le type de de multiplexage. Ici nous mettrons beaucoup plus l'accent sur la CWDM et DWDM ou nous réaliserons de nombreux scenario les mettant en évidence pour apporter des améliorations des suggestions dans leurs utilisations à travers l'analyse de BER, diagramme de l'œil etc. Et à la fin une étude comparative des différentes techniques de multiplexage WDM connu.

2. Présentation du logiciel optisystem

OPTISYSTEM est un logiciel de simulation qui nous permet réaliser et simuler de multitude de technique (modulation multiplexage etc.) Grâce aux nombreux blocs qu'il nous propose pour les mettre en place, les édités, les contrôlés et même les visualisé.il est de ce fait un espace interactif à la volonté de l'utilisateur.il a été développé par la société canadienne Optiwave System Inc.

Les grandes étapes à suivre avec cette dernière sont les suivantes : mettre en place et relié les différents blocs, lancé la simulation et observer.

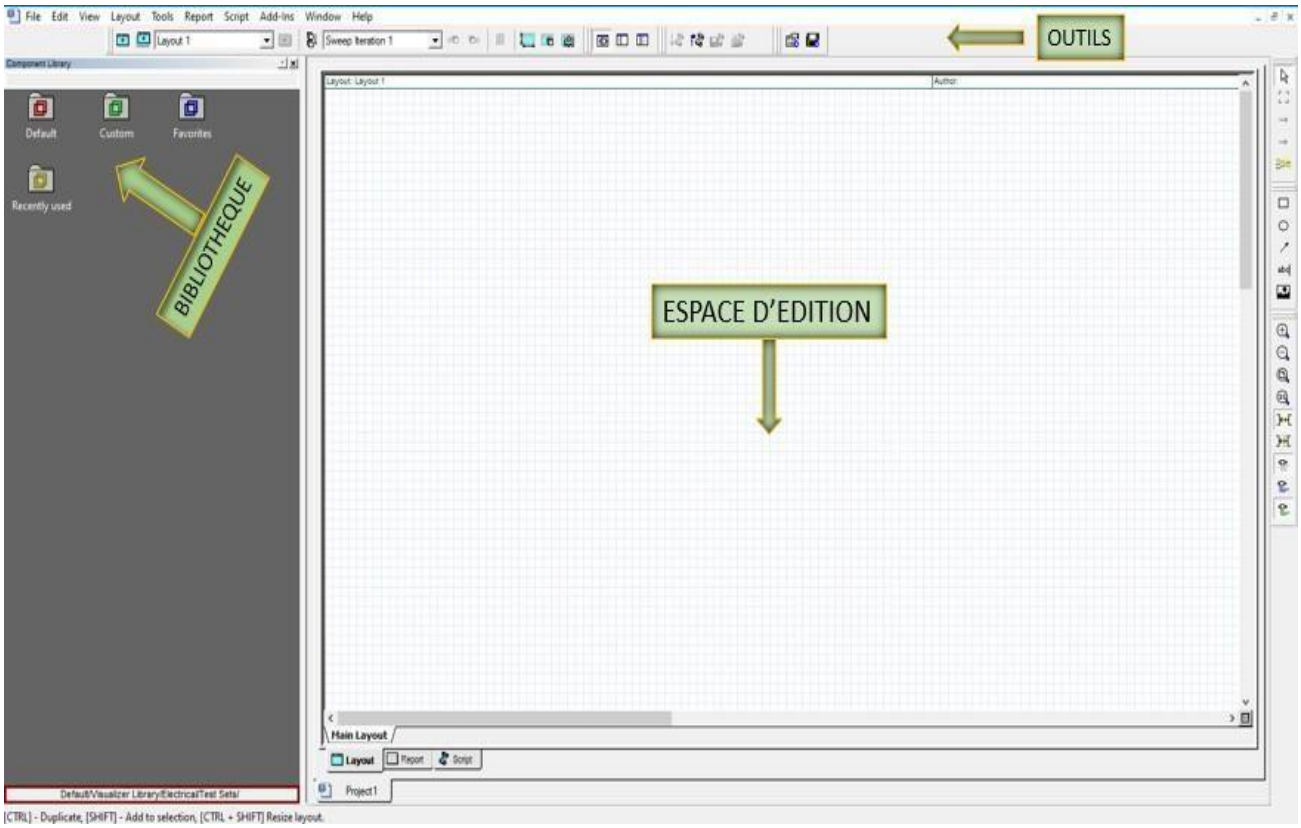


Figure 3. 1 : Interface optisystem.

Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem :

Les principales caractéristiques dulogiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifie en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
- La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurées à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
- Les outils de visualisation avancée produit le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation.
- Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiseurs sur le moniteur au même port. [1]

2.1 La bibliothèque

Contient quatre ensembles :

- L'ensemble ``DEFAULT`` où se trouve la totalité des blocs disponibles sur optisystem chaque sou ensemble contient en lui-même des éléments relatifs à sa catégorie

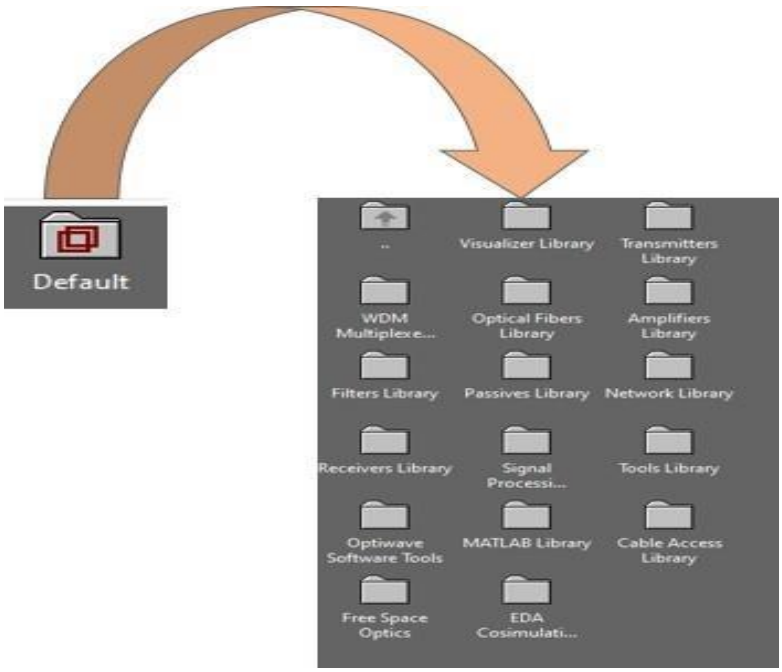


Figure 3. 2 : Les blocs optisystem.

- L'ensemble "favorites" où se trouve les blocs ajouter en favori
- L'ensemble "custom" où se trouve nos blocs modifier
- L'ensemble "recently used où se trouve les blocs récemment utilisés

ESPACE D'EDITION

C'est l'espace réservé sur OPTISYSTEM qui nous permet d'ajouter et assembler les blocs

Outils

Contient toutes les options offertes par OPTISYSTEM tel que le lancement de la simulation et pleins d'autres.

2.2 Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil permet de voir plusieurs choses.

- L'ouverture de l'œil représente l'intervalle de temps où peut se faire l'échantillonnage du signal lors de la démodulation. Il vaut mieux que l'œil soit le plus ouvert.
- La hauteur de l'œil indique la quantité de bruit qui est tolérée pour que la distinction entre les niveaux soit possible. Si le rapport signal-à-bruit diminue (ce qui signifie que le bruit augmente), alors l'œil aura tendance à se fermer et alors on ne pourra plus distinguer les niveaux représentant les symboles.
- Les distorsions sont dues au bruit mais aussi au filtrage du signal par le canal.
- L'instant où l'œil est le plus ouvert est le meilleur choix pour effectuer l'échantillonnage, puisque c'est à cet instant que les deux niveaux sont le plus éloignés. [2]

Ce dernier est illustré ci-dessous :

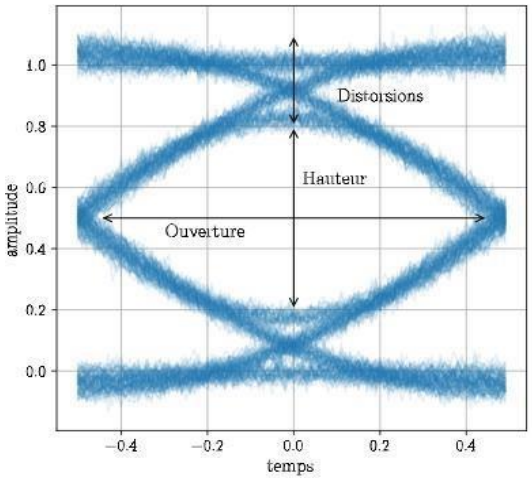


Figure 3. 3 : Diagramme de l'œil.

2.3 Le BER (Bit Error Rate)

Le BER est une mesure permettant de juger la qualité d'une transmission. Cette valeur est obtenue par la relations suivante :

$$BER = \frac{Erreurs\ sur\ les\ bits\ dans\ la\ transmission}{Nombre\ total\ de\ codes\ transmis} \times 100$$

S'il y a des erreurs sur les bits, il y a un taux d'erreurs sur les bits. De plus, le BER est défini comme la fréquence à laquelle des erreurs de bits se produisent.

Une transmission est considérée de bonne qualité si son BER est en dessous des valeurs suivantes de 10^{-9} ,10^{-12} et 10^{-15}.

3. Simulation CWDM

Dans cette partie nous allons simuler un système de transmission qui a pour base le système de multiplexage CWDM. On sait que la CWDM peut prendre en charge jusqu'à 17 utilisateurs sur une bande de longueur d'onde allant de 1270nm à 1610nm avec écart entre ces derniers (chaines ou utilisateurs) de 20nm. Cette réalisation sera faite à l'aides des outils et blocs du logiciel décrit précédemment qui est optisystem. Dans cette simulation nous prendrons en compte 8 utilisateurs (chaines). Cette dernière est illustrée sur la figure ci-dessous

L'ensemble de la figure ci-dessous peut être repartie en trois grandes parties :

La partie émission, La partie transmission et la partie réception

NB : Notons que nous disposons d'un débit théorique de 40Gb/s le débit adéquat est obtenus en divisant le débit théorique par le nombre de canal.

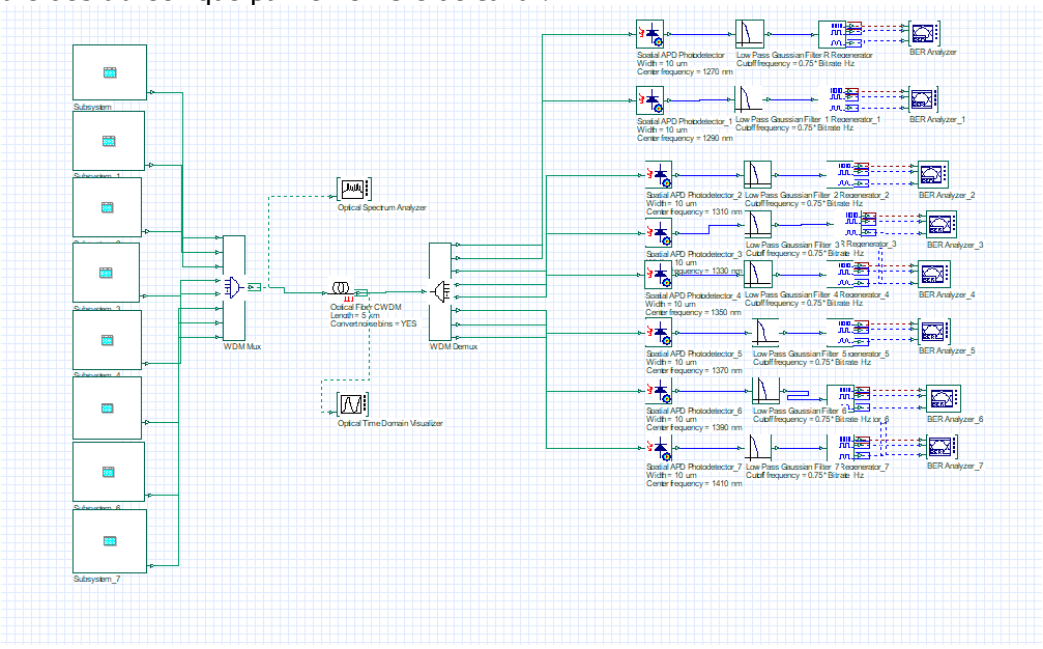


Figure 3. 4 : ensemble des blocs pour une transmission CWDM.

3.1 La partie émission :

Ou L'on trouve un en premier lieu un générateur séquentiel aléatoire, puis un blocs en guise de générateur d'impulsions électrique ou nous avions utilisé le NRZ relié ensuite grâce à un combineur a une source parasite (de valeur très petite en w) sans oublié le laser qui est contrôlable par le générateur d'impulsion à l'aide du modulateur mach zehner. les huit multiplexés sur un multiplexeur WDM.

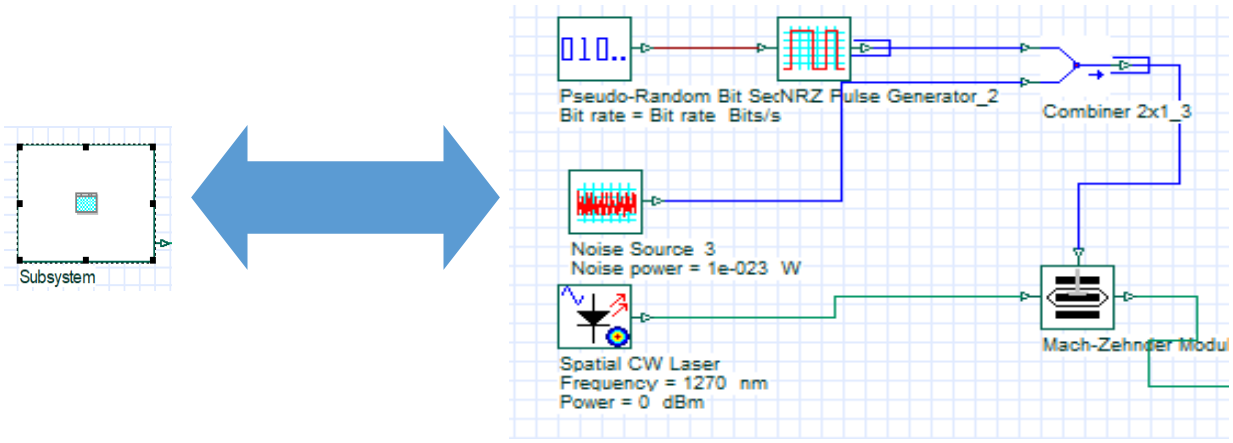


Figure 3. 5 : émission CWDM.

3.2 La partie transmission

Le multiplexeur est ensuite relié au câble CWDM optique responsable Del 'acheminement du signal jusqu'au démultiplexeur ou le signal transmis sera départagé selon les récepteurs appropriés en travaillant bien évidements avec les longueurs d'ondes .notons aussi que la distance de la fibre est variable.

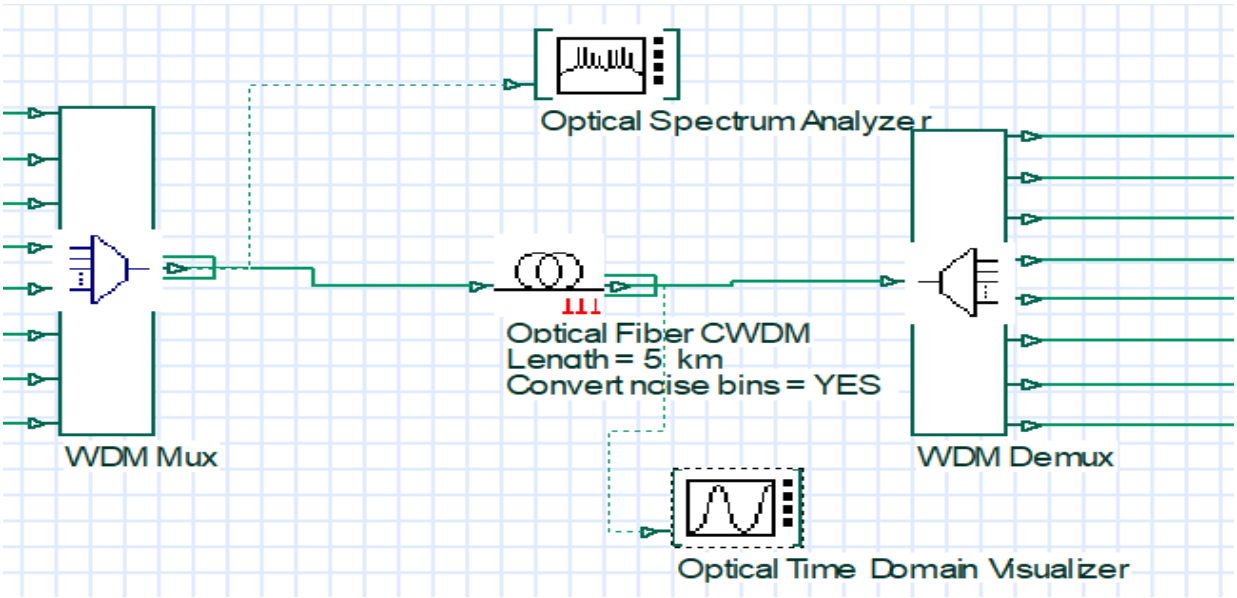


Figure 3. 6 : Transmission CWDM.

Les blocs supplémentaires sur la figure ci-dessus sont : un analyseur de spectre puis un bloc permettant de visualiser le signal optique dans le domaine temporel.

3.3 La partie réception

Ici nous avions un photodétecteur de type APD configurer sur une longueur d'onde respective au destinataire puis un filtre passe bas et enfin un régénérateur de bit qui est ensuite relié à un analyseur de BER nous permettant d'évaluer la qualité de transmission.

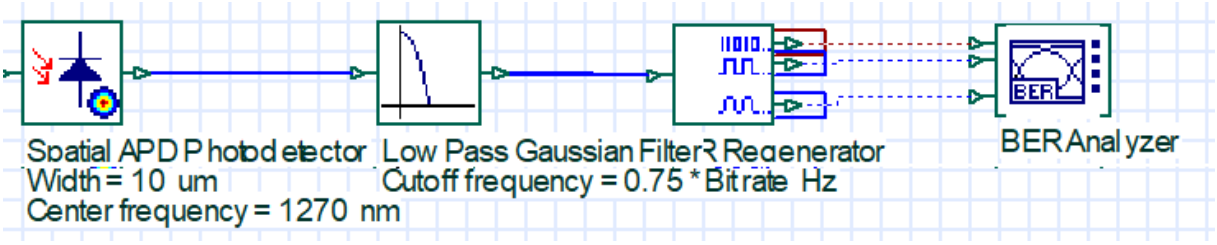


Figure 3. 7 : Réception CWDM.

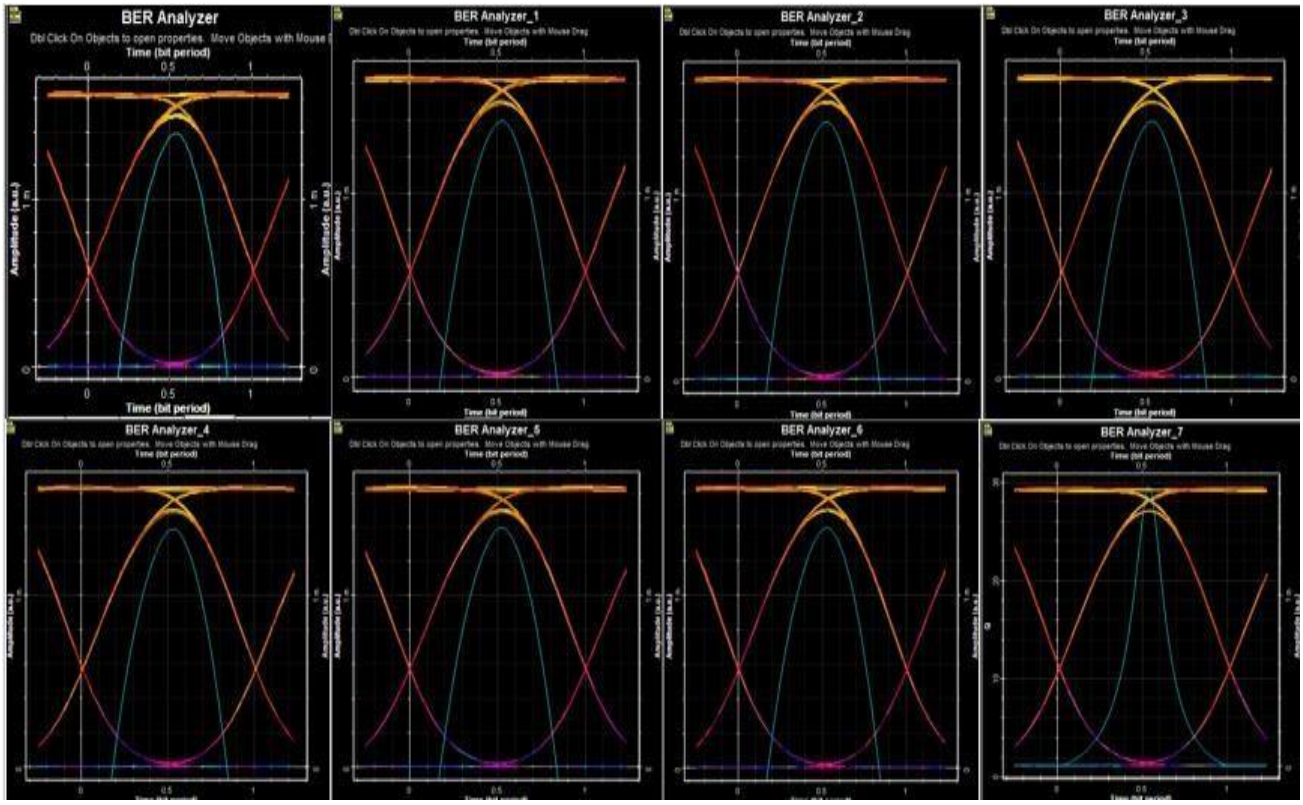


Figure 3. 8 : Diagrammes de l'œil des huit utilisateurs.

3.4 DIAGRAMME DE L'OEIL APRES SIMULATION

Après l'exécution de l'ensemble nous obtenons les huit diagrammes de l'œil ci-dessous

Après observation des huit diagrammes de l'œil, on constate que l'œil est très bien ouvert sur toutes les chaines de réceptions et rappelons que plus un diagramme de l'œil est ouvert plus la transmissions est de bonne qualité donc ceci nous amène à conclure que la transmission est de très bonne qualité sachant les paramètres appliqués (distances de la fibre, débits de transmissions, longueur d'onde etc...).Sans oublié l'effet léger du parasite sur la crête de l'œil qui sans lui l'œil sera encore plus ouvert à son niveau maximal.

PARAMETRES ET VALEURS APPLIQUES :

PARAMETRE	VALEURS
Nombre d'utilisateur	8
Longueur d'onde (nm)	1270, 1290, 1310, 1330, 1350, 1370, 1390,1410
Puissance du laser (dBm)	0
Atténuation de la fibre (dB/km)	0.2
Débit de transmission (Gb/s)	5
Espacement des canaux (nm)	20
Longueur d'onde multiplexeur/démultiplexeur	1270, 1290, 1310, 1330, 1350, 1370, 1390,1410
Format du signal	NRZ
Source de bruit (w)	2e-023/1e-19/1e-20/1e-21/1e-21/1e21…

Tableau 3. 1 : Paramètre simulation normal CWDM.

3.5 Les différents cas

A. Premier cas (évolution du diagramme de l'œil en fonction de la distance de la fibre) :

Nous avions approfondi notre simulation CWDM en essayant d'observer et d'évaluer cette dernière à travers son BER dans une mise en situation où nous avions joué sur la distance de la fibre afin de constater l'effet sur cette manipulation. Ainsi nous avions modifié la distance de la fibre en 7 phases (5km, 15km, 30km, 50km, 100km, 120km, 130Km) sachant un débit commun de 10Ghz. Les résultats obtenus sont ceux situé ci-dessous.il faut noter que ces résultatssont issus du premier récepteur.

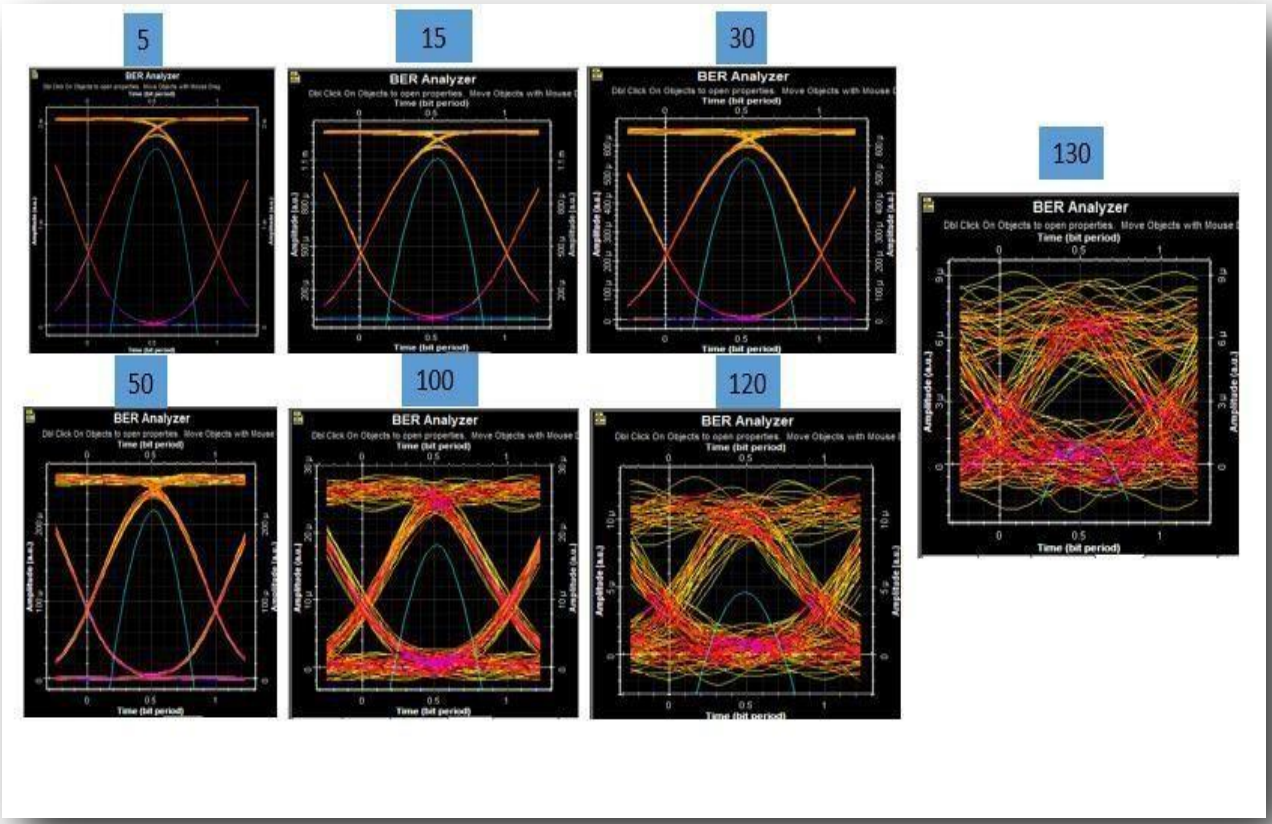


Figure 3. 9 : Evolution du diagramme de l'œil en fonction de la distance de la fibre.

Après analyse de ces graphes, on constate que :

A 5Km : le diagramme de l'œil est bien ouvert ce qui est synonyme d'une transmission de très bonne qualité.

A 15km : on observe également une bonne ouverture de l'œil qui indique également une transmission fiable et une très légère épissure de l'œil.

A 30km : avec une observation bien établie, on constate que le contour de l'œil commence à devenir de plus en plus épais mais avec bonne toujours une ouverture bien remarquable sur le graphe.

A 50km : on observe un contour encore plus épais que la précédente expérience mais aussi un léger rétrécissement de l'œil.

DE 100 à 120 km : un contour encore plus épais que la précédente expérience mais aussi un très grand rétrécissement de l'œil qui induit une perte que qualité de transmission.

A 130km : l'œil devient à peine visible ce qui veut dire que le signal est fortement endommagé (atténuation et distorsion) a la réception.

Cela nous amène à dire que le signal est d'une qualité médiocre.

On retient de ces différentes manipulations que le multiplexage CWDM est fortement plus efficace lors d'une transmission sur de petite distance et une détérioration du signal au fur et à mesure qu'on s'approche des grandes distances. Donc l'idéal est de ce limité autour des distances en dessous100km ou la valeur du BER est toujours inférieur au seuil pour cette technique (CWDM)

Il faut noter que même si l'œil est bien ouvert sur des distances différentes, il existe belle et bien une différence entre ces derniers car le l'œil a sa dimension aussi.il est communément appelé ''Eye height'' sur optisystem.il diminue en valeur selon la distance de la fibre dans ce cas, mais peut aussi diminuer à cause des bruits. La figure ci-dessous nous illustre celle du premier utilisateur sur une distance allant de 5 à 130km.

Le trais en bleu (treshold désigne le seuil de la courbe à l'intérieur de l'œil)

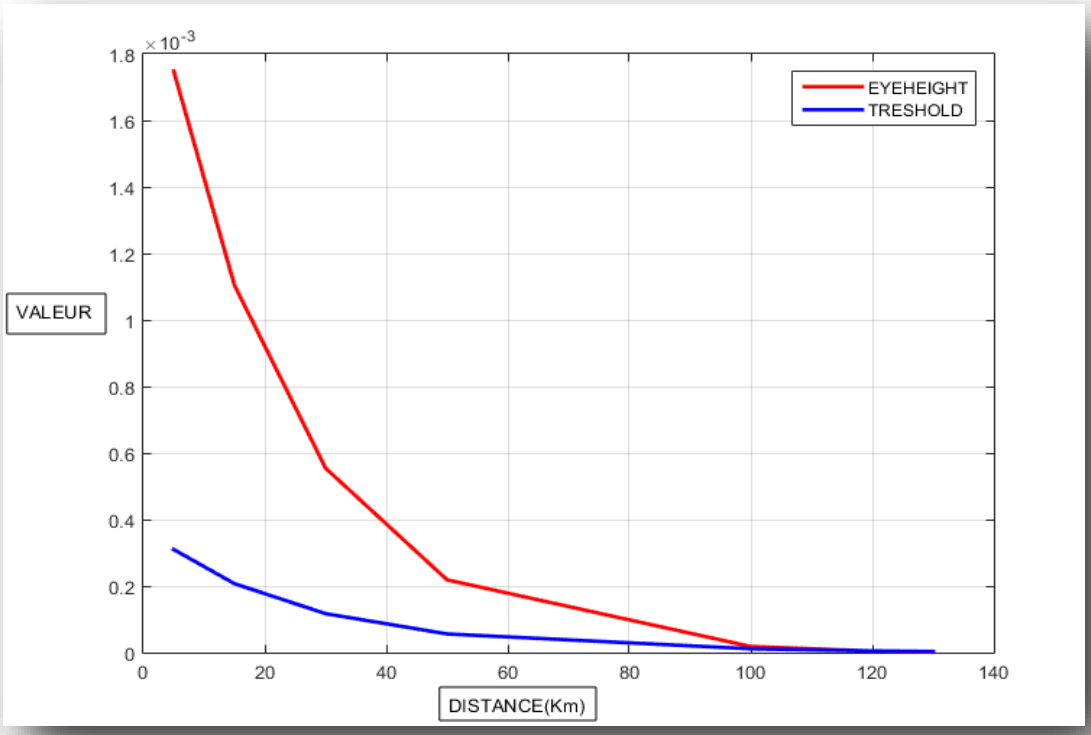


Figure 3. 10 : Variation de la hauteur d'œil et du seuil premier utilisateur en fonction de la distance.

On constate que ces deux paramètres diminuent très progressivement sur une variation de distance, la décroissance de ces derniers indique une perte de qualité de transmission voir une atténuations ou distorsion du signal.

B. Deuxième cas (substituons la marge de 20nm à 0.8 nm) :

Ce cas ci a pour but de maintenir tous les paramètres initiaux excepté la marge en longueur d'onde entre les différents canaux qui était initialement de 20nm qui maintenant est remplacé 0.8 et une distance de 10 km afin de constater et d'évaluer l'effet de cette modification.Comme précédemment la courbe ci-dessous illustre le EYEheight et le threshold au niveau du premier récepteur.

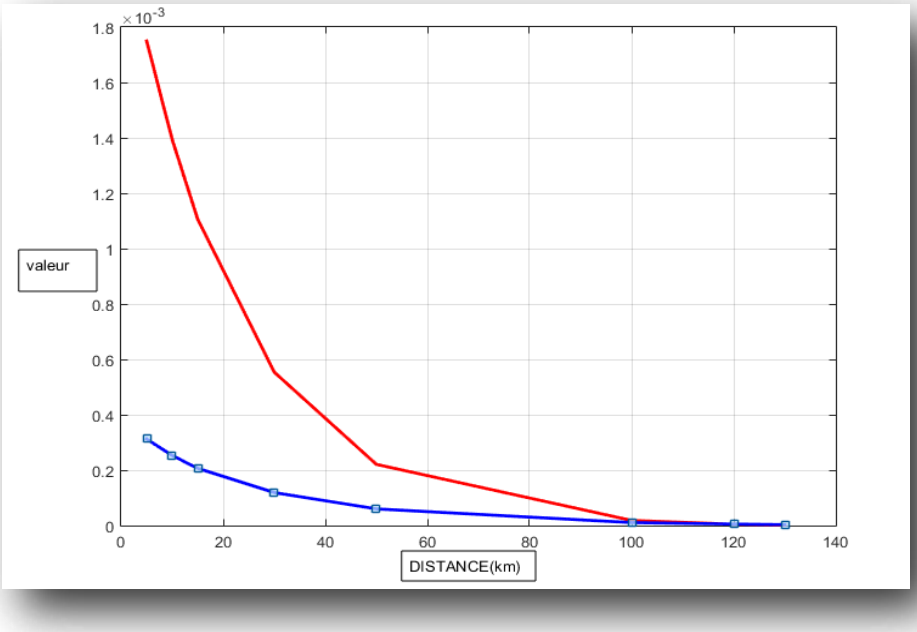


Figure 3. 11 : Courbe de substituons la marge de 20nm à 0.8 nm.

L'analyse de cette courbe nous montre clairement plus ou moins une même qualité de transmission par rapport à l'autre (20nm) Avant de tirer notre petite conclusion voyons l'effet du bruit sur ces deux types par les diagrammes de l'œil ci-dessous :

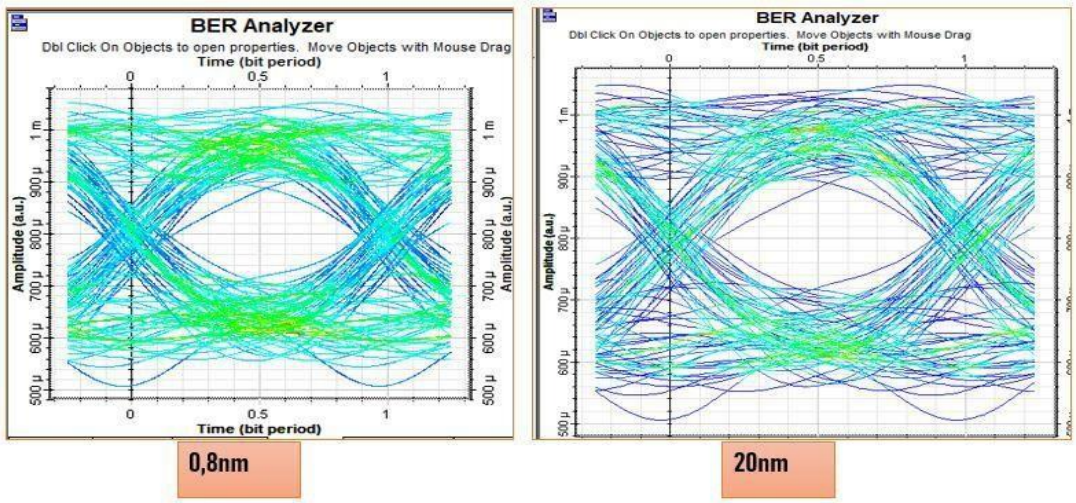


Figure 3. 12 : Diagramme de l'œil comparatif CWDM 0.8nm et 20 nm.

En ayant pris en compte des deux côtés des paramètres identique tel que débit (5GB) avec une puissance de bruit sur chacun des premiers récepteurs de 2×10^{-12} w on remarque une forte présence du bruit sur celui du (0.8nm) contrairement sur celui du 20nm ou le diagramme de l'œil est moins entaché de bruit. On retient donc ceci :

En diminuant la marge entre canaux (0.8) on a une qualité de signal presque identique à la réception à celle de 20nm par contre en présence du bruit a 20nm, le signal est moins entaché c'est-à-dire a une amplitude et une densité faible par rapport à l'autre. Et comme une transmission de signal est généralement accompagné de bruit, l'idéal est de maintenir ce système (CWDM) a une marge de 20nm afin de limiter les risques d'endommagements des signaux par ces derniers (bruits) au lieu de diminuer la marge pour juste gagner en nombre de canaux mais aussi pour pou plus limiter les risques interférences. Notons aussi que les bruits n'affectent aucunement les canaux voisins et ce des deux côtés.

C. Troisième cas (effet de variation du débit) :

Dans le scenario ci-joint nous allons essayer d'analyser l'impact sur la qualité de transmission lorsque l'on varie progressivement le débit de transmission sachant qu'on a 8 canaux sur une distance commune de 7km les diagrammes de l'œil sont représentés ci-dessous :

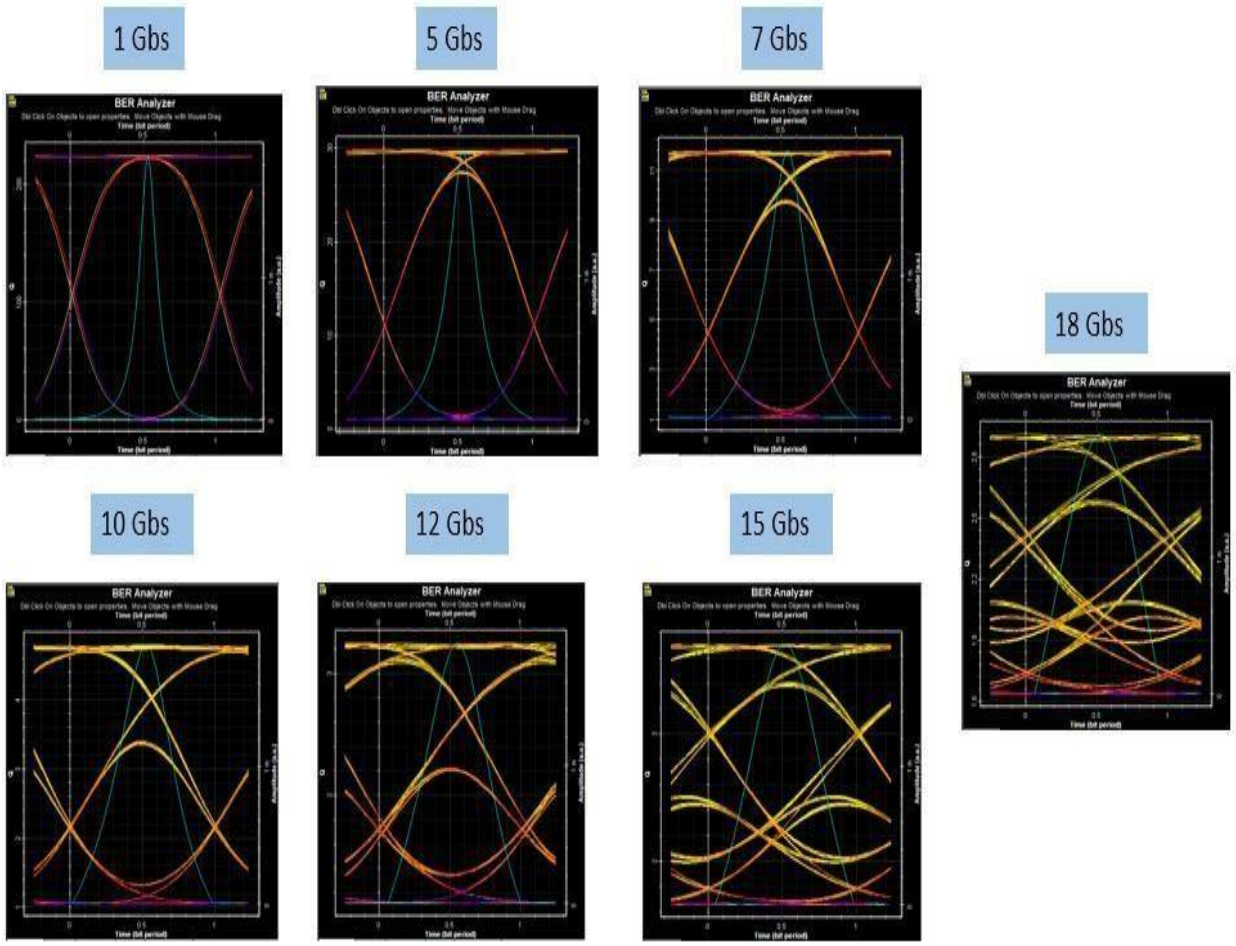


Figure 3. 13 : variation du diagramme de l'œil du premier utilisateur en fonction du débit.

On observe sur ces différents diagrammes que plus le débit est relativement petit plus la qualité est meilleurs l'inverse conduit à une fermeture progressive de l'œil bien qu'il s'agit de débit et cela induit beaucoup d'erreur dans la réception du signal, des effets de dispersions etc. De ce fait pour connaitre le débit optimal utilisable n'oublions pas de tenir compte des nombres de canaux mis en jeux. Pour notre cas, il peut aller jusqu'à 7GBs mais le cas idéal reste le 5GBs.

Pour trouver le débit nécessaire rappelons qu'il faudrait diviser 40Gbs par le nombre de canaux ce qui veut dire que le débit imposé ne doit pas être un choix hasardeux.

4. Simulation DWDM

Dans cette seconde partie de simulation nous avons de simuler la technique DWDM a 32 canaux toujours avec le logiciel optisystem de part ces différents blocs en la mettant en évidence avec différents scenarios et solution issus de ces derniers. Comme précédemment fait, notre circuit est subdivisé en trois grandes parties : La partie émission, La partie transmission et la partie réception.

L'ensemble est illustré sur la figure ci-dessous :

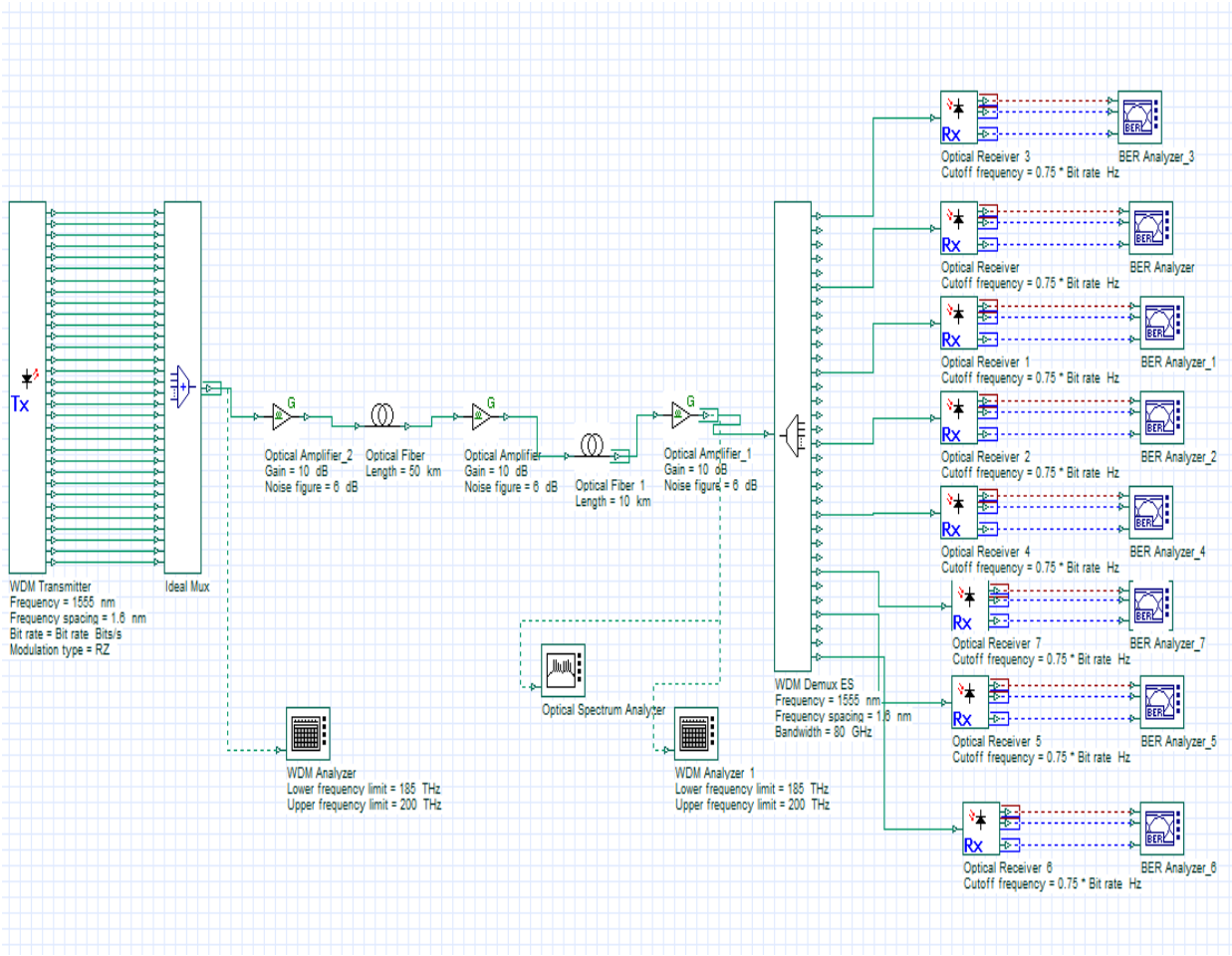


Figure 3. 14 : Ensemble des blocs pour une transmission DWDM.

La partie émission :

Cette première partie du circuit comporte dans un premier lieu un transmetteur Tx puis notre multiplexeur (Ideal MUX)

Le Tx regroupe en lui-même plusieurs paramètres tel que : le types de modulation, la fréquence initiale ainsi que l'espacement entre canaux et plusieurs autres paramètres à prendre en considération dans l'émission d'un signal optique.

La partie transmission

Dans cette partie, nous retrouvons un amplificateur a l'émission une fibre optique, un amplificateur de ligne une autre fibre puis un amplificateur à la réception comme recommandé dans la partie théorique et enfin des blocs supplémentaires pour l'étude et la visualisation du signal.

La partie réception

Ou nous trouvons dans un premier lieu notre démultiplexeur (WDM DEMUX ES) le récepteurRx qui regroupe un ensemble de bloc paramétrable tel qu'un filtre passe bas et un régénérateurde bits et enfin notre analyseur de BER où nous observerons le diagramme de l'œil et autre.

NB : le schéma illustrer précédemment sera modifier sur certains paramètres au fur et en mesure que nous évoluerons et même certains blocs y serons ajouter.

4.1 Simulation normale de la technique DWDM

Paramètres et valeurs appliques

PARAMETRE	VALEURS
Nombre d'utilisateur	32
Longueur d'onde initiale (nm)	1525
Espacement des canaux (nm)	1.6
Fibre	SMF/DCF
Atténuation des deux fibres (dB/km)	0.2/0.5
Débit de transmission (Gb/s)	10
Taille de la séquence (Bits)	256
Puissance (dBm)	-10
Longueur d'onde multiplexeur/démultiplexeur	32/8
Format du signal	RZ
Type de filtre	Bessel
Distance total fibre	50+10
Niveau de bruit (dB)	3
Gain amplificateur (dB)	20

Tableau 3. 2 : Paramètre simulation normal de la technique DWDM.

Le diagramme de l'œil de 4 utilisateurs parmi trente-deux est illustré ci-dessous :

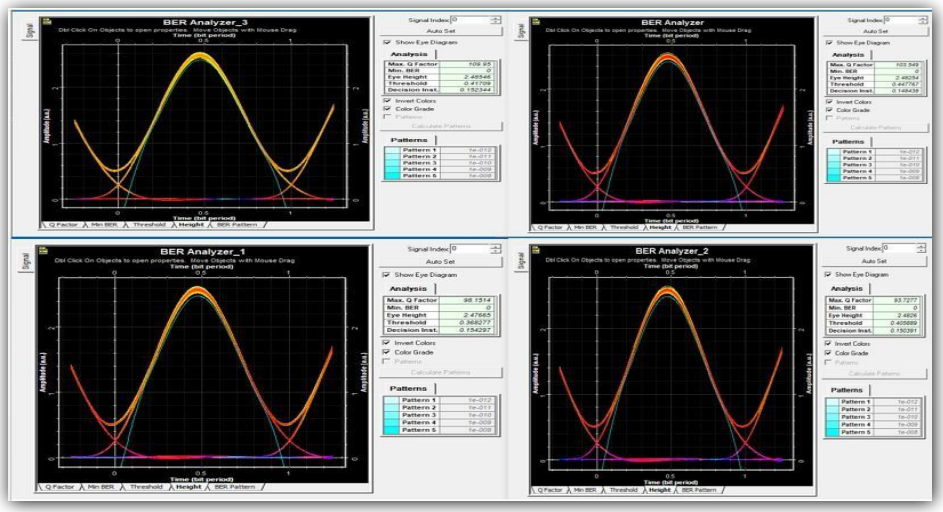


Figure 3. 15 : Diagramme de l'œil DWDM normal.

On constate que de par la figure précédente que la transmission est de très bonne qualité, chose confirmable sur les diagrammes de l'œil qui sont bien ouvert malgré les atténuations de la fibre on a un BER quasiment nul.

4.2 Premier cas (évolution de la qualité de transmission en fonction de ladistance de la fibre)

Après l'avantage en termes de capacité de canaux de la DWDM nous évaluerons ici son comportement lorsqu'il s'agit de grande distance pour cela NOUS avions intégré un nouveau Bloc qui est le LOOP CONTROL nous avions aussi ajouté des atténuateurs. Ces derniers sont illustrés ci-dessous :

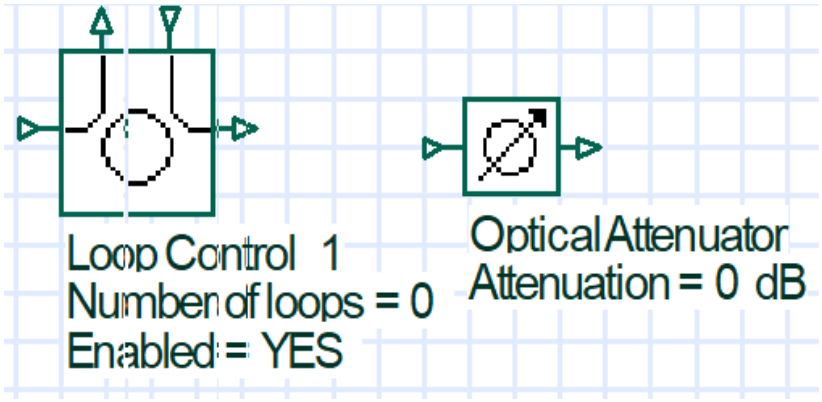


Figure 3. 16 : Schéma bloc loop control et atténuateur.

NB : le LOOPCONTROL est comme une boucle, il nous permet de faire le tour de la ligne de transmission autant de fois qu'il est configuré. Si par exemple la ligne normal est de 60km, en mettant le LOOPCONTROL sur 5, on aura 5*60km et ceux y compris les éléments de la ligne (amplificateur, atténuateur etc…)

Aperçu du circuit de transmission

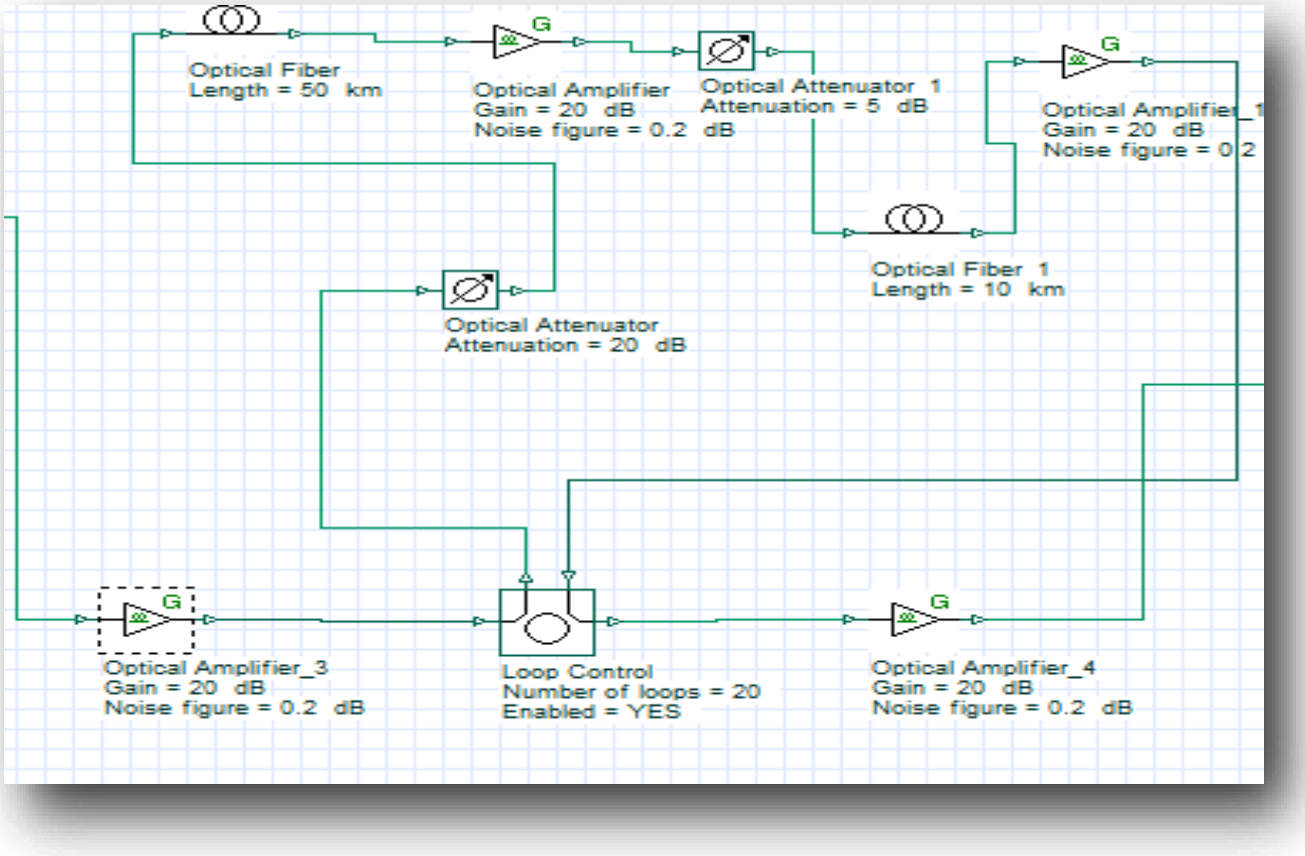


Figure 3. 17 : Schéma bloc transmission BER en fonction de la distance.

Paramètres supplémentaires et valeurs appliques

PARAMETRE	VALEURS
Nombre d'Atténuateur	2
Valeur atténuateur (dB)	20/5
Gain amplificateurs (dB)	20
Niveau de bruit (dB)	0.2
Nombre de boucle	1 à 18
Débit de transmission (Gb/s)	10
Taille séquence (bits)	256

Tableau 3. 3 : Paramètre de premier cas.

Sachant ces paramètres pris en considération, le BER en fonction de la distance de 4 récepteurs sur 32 donne le graphe ci-dessous (figure 3.18) :

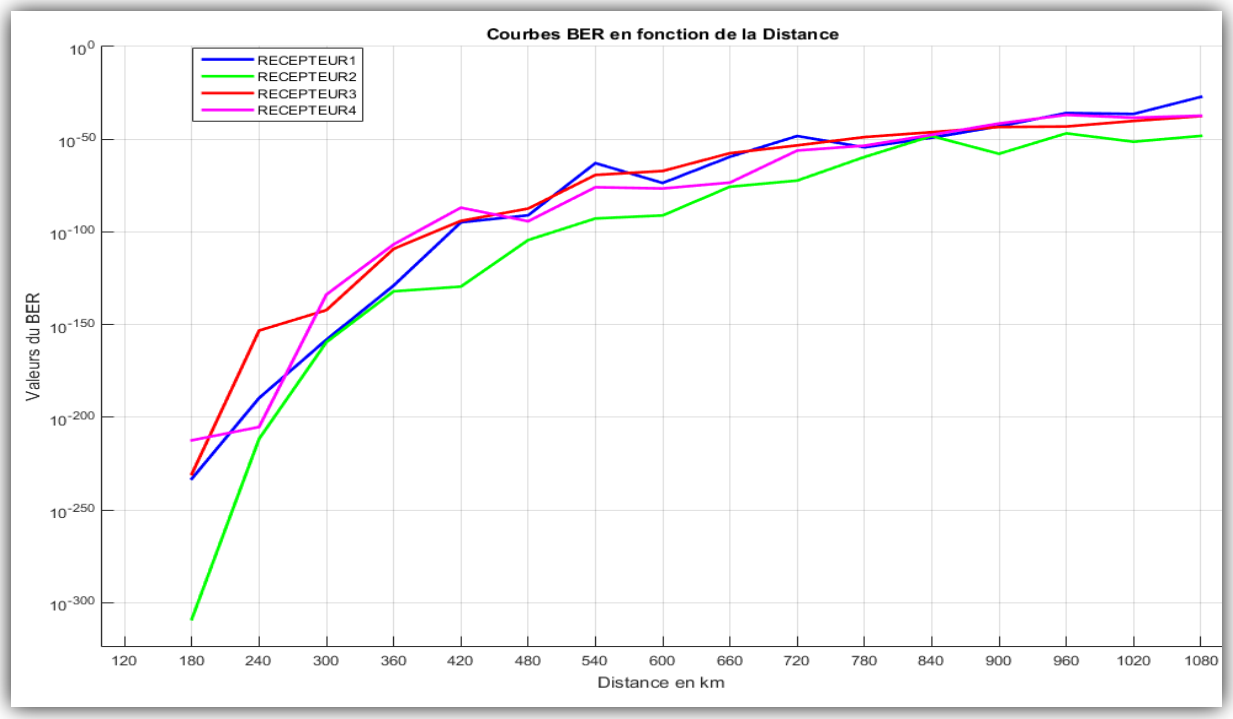


Figure 3. 18 : BER en fonction de la distance en mode DWDM.

Etant donné les conditions de transmission imposée sur cette simulation (atténuation, bruit débit etc…) nous arrivons au terme de cette dernière avec des résultats largement acceptable. À l'issu de cette courbe, nous constatons et prouvons qu'avec la technique DWDM des centaines de kilomètre sont atteignable avec un BER abondement inférieur au seuil limite recommandé. Il faut noter que l'emplacement de nos amplificateurs y a joué un grand rôle pour que nous atteignions un tel résultat de plus de 1080 km. Surtout le dernier qui était supplémentaire ou facultatif.

Alors nous retenons ici que la DWDM est bel et bien la technique recommandée pour les transmissions longues distances et plus on minimise les effets indésirables bruits, atténuations à travers les techniques et méthodes d'installation, plus on atteint de très longue distance sans oublier un ajout efficient d'amplificateur qui demeure l'une des clés pour un résultat conséquents. Nous notons aussi que l'utilisation de la technique de modulation (NRZ) nous ramène à des résultats moins conséquents.

4.3 Deuxième cas (comportement du ber en variation de débit)

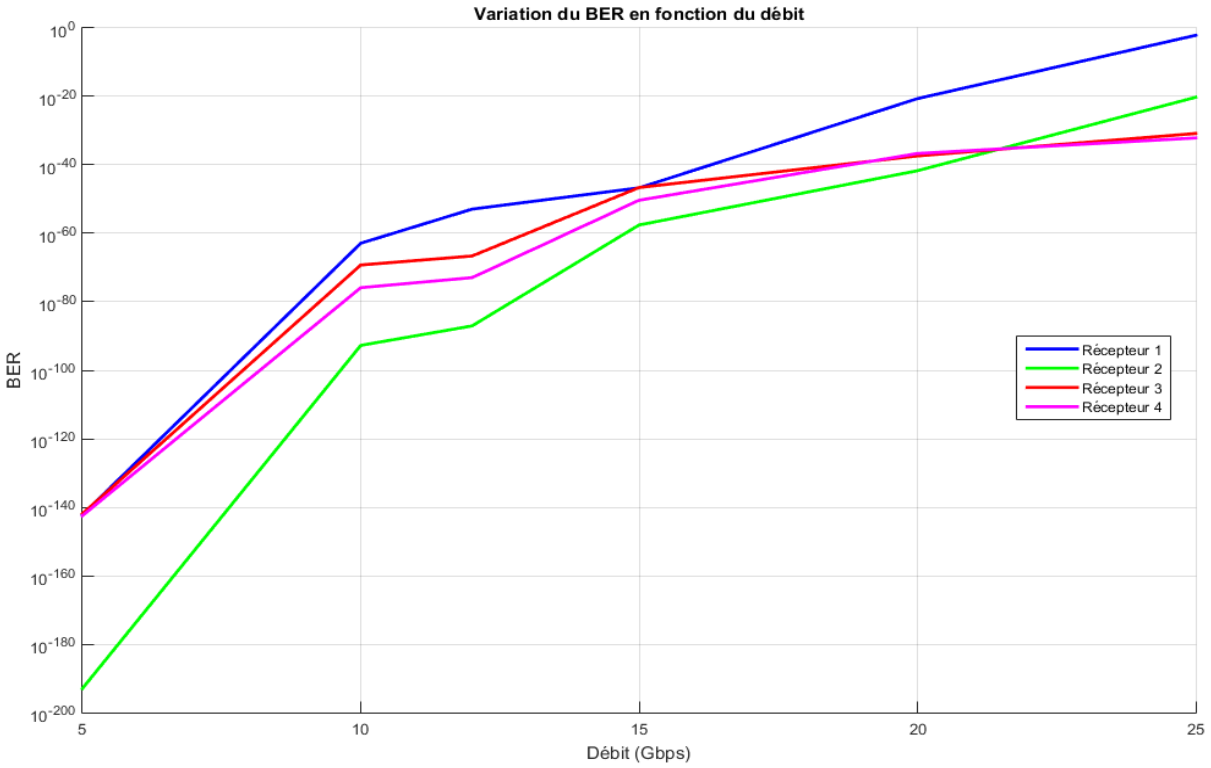


Figure 3. 19 : BER en fonction du débit (DWDM).

Dans cette partie, nous avons une distance commune de 540Km puis une variation de débit de5 à 25Gbs afin d'en déduire une conclusion sur le choix de débit lors des transmissions DWDM dans les conditions et techniques de transmission précédente et même en générale. Il s'agit d'une variation de 4 utilisateurs parmi les 32. Ce rapport est illustré sur le graphe ci- dessous :

Aperçu du diagramme de l'œil en fonction du débit :

Ces Diagrammes ci-dessous nous montrent l'œil du premier utilisateur lors de la variation du débit :

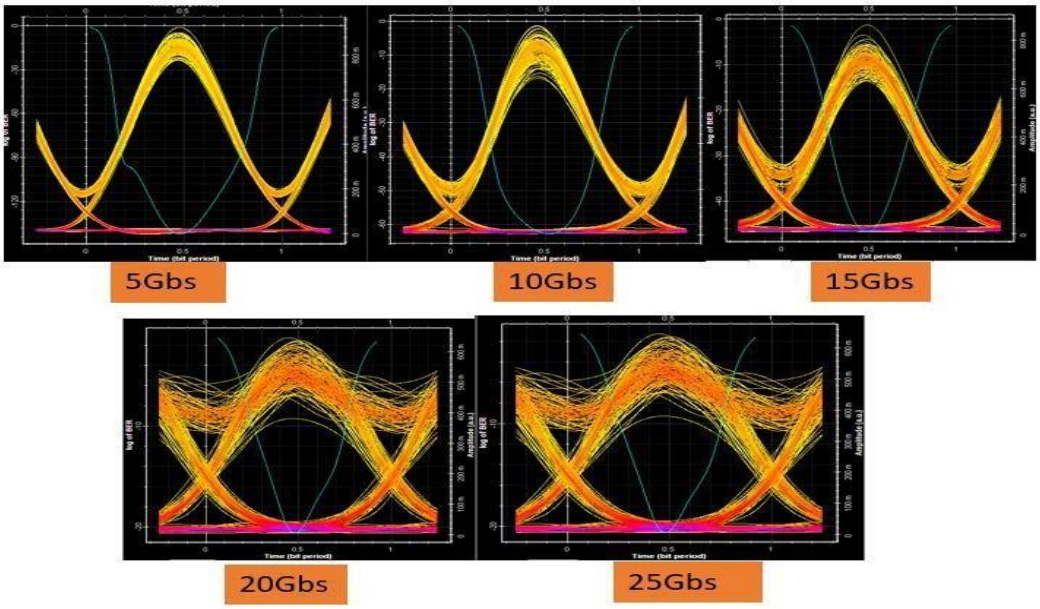


Figure 3. 20 : Diagramme de l'œil ber en fonction du débit (DWDM).

De ces deux figures précédentes on remarque directement une détérioration continue du BER et aussi du diagramme de l'œil au fur et en mesure qu'on augmente en débit. Pour notre simulation réalisée pour la variation du BER en fonction de la distance on admet clairement que 10Gbs ou légèrement plus ou moins était l'idéal.

On retient de ce scenario que la qualité de transmission est aussi relative au débit. Donc pour une transmission sur une distance pas très énorme, on peut avoir le choix d'augmenter le débit par contre pour une transmission sur une très grande distance il est fortement recommandé de plutôt réduire ce dernier afin d'être constant sur un BER inférieur au seuil BER à ne pas dépasser (10^{-9} ,$10^{\wedge-12}$ et 10^{-15}).

5. Simulation PDM-WDM

Dans cette partie, nous présenterons un système hybride de transmission basé sur la polarisation. Ce système combine deux sous-systèmes WDM qui sont reliés à un système PDM qui les divise en deux sous-systèmes polarisés. (0° pour s-system 1 et 90° pour s-system 2).

Les deux sous-systèmes WDM opèrent à des longueurs d'onde identiques (de 1550 à 1555.6 nm) avec un espacement de 0,8 nm, cependant, ils présentent des polarisations distinctes.

Nous placerons huit utilisateurs dans chaque sous-système, soit un total de 16 utilisateurs.

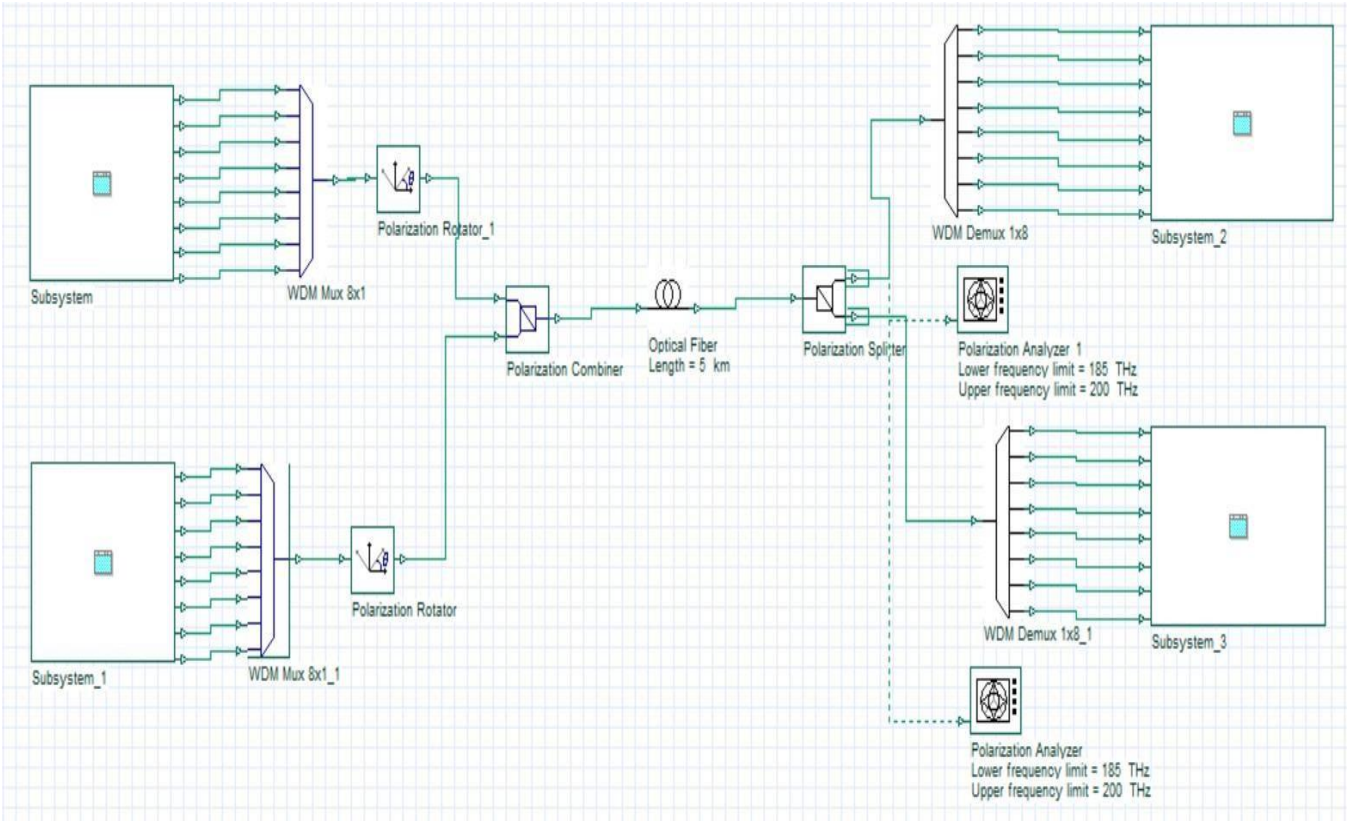


Figure 3. 21 : System de multiplexage PDM-WDM.

5.1 Partie émission

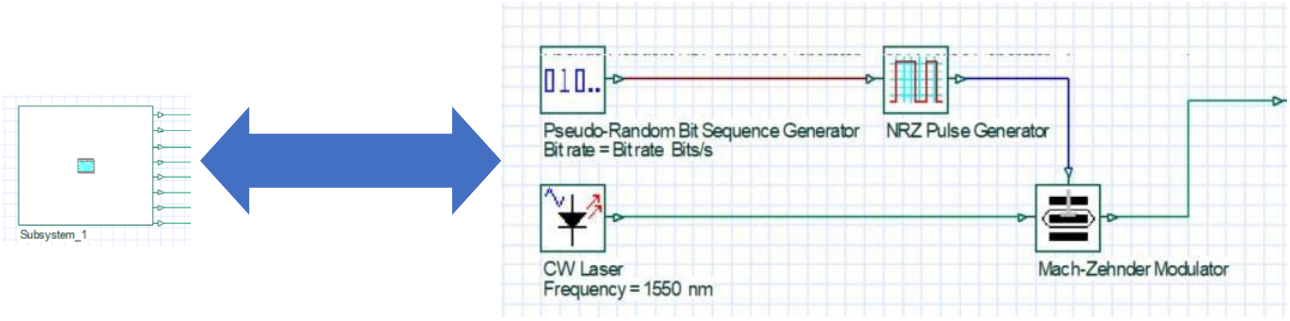


Figure 3. 22 : Emission PDM.

Dans cette partie, nous trouvons en première une source de données qui produit une séquence de bits pseudo-aléatoire, suive par un générateur d'impulsion électrique NRZ qui transforme les informations en signaux électriques, lesquels influencent l'activation du laser à l'aide d'un modulateur externe de Mach-Zehnder.

Après modulation, les données de chacun des huit utilisateurs sont regroupées par un multiplexeur WDM à huit ports, puis transmises via une fibre optique.

5.2 Partie transmission

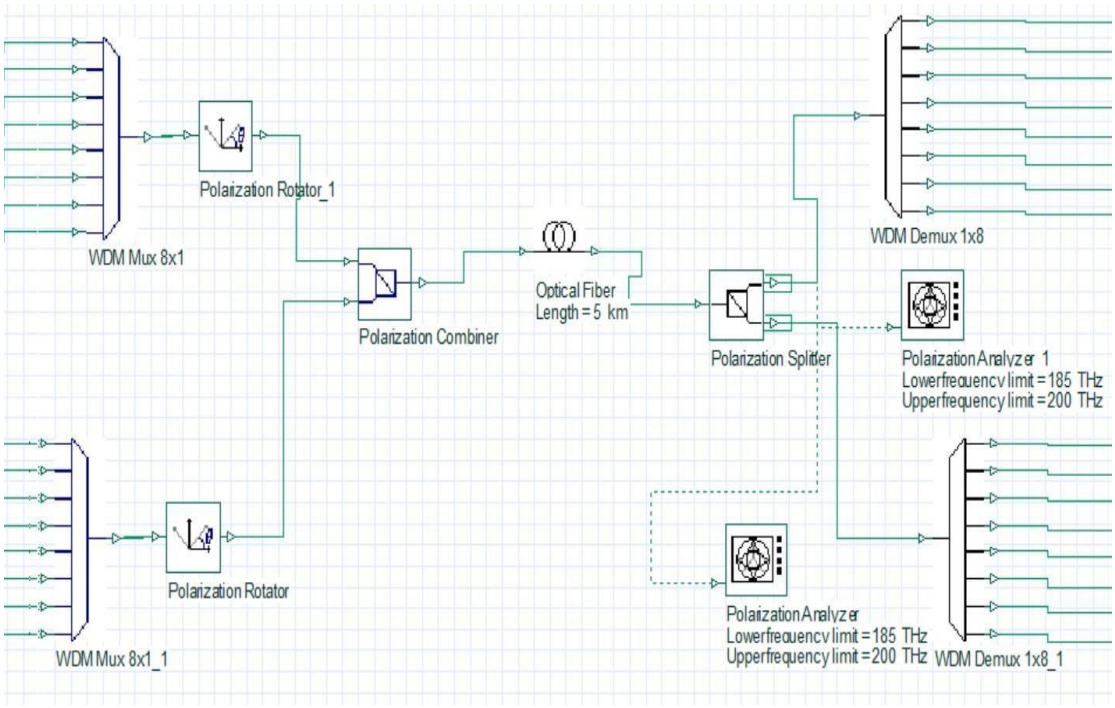


Figure 3. 23 : Transmission PDM.

Les signaux sortent de multiplexeur sou-system 2 passent a un rotateur de polarisation ou il sont polarises, sous system 1 par 0° et le 2eme par 90° puis ils sont combines par un combinateur de polarisation et envoyer dans la fibre.

5.3 Partie réception

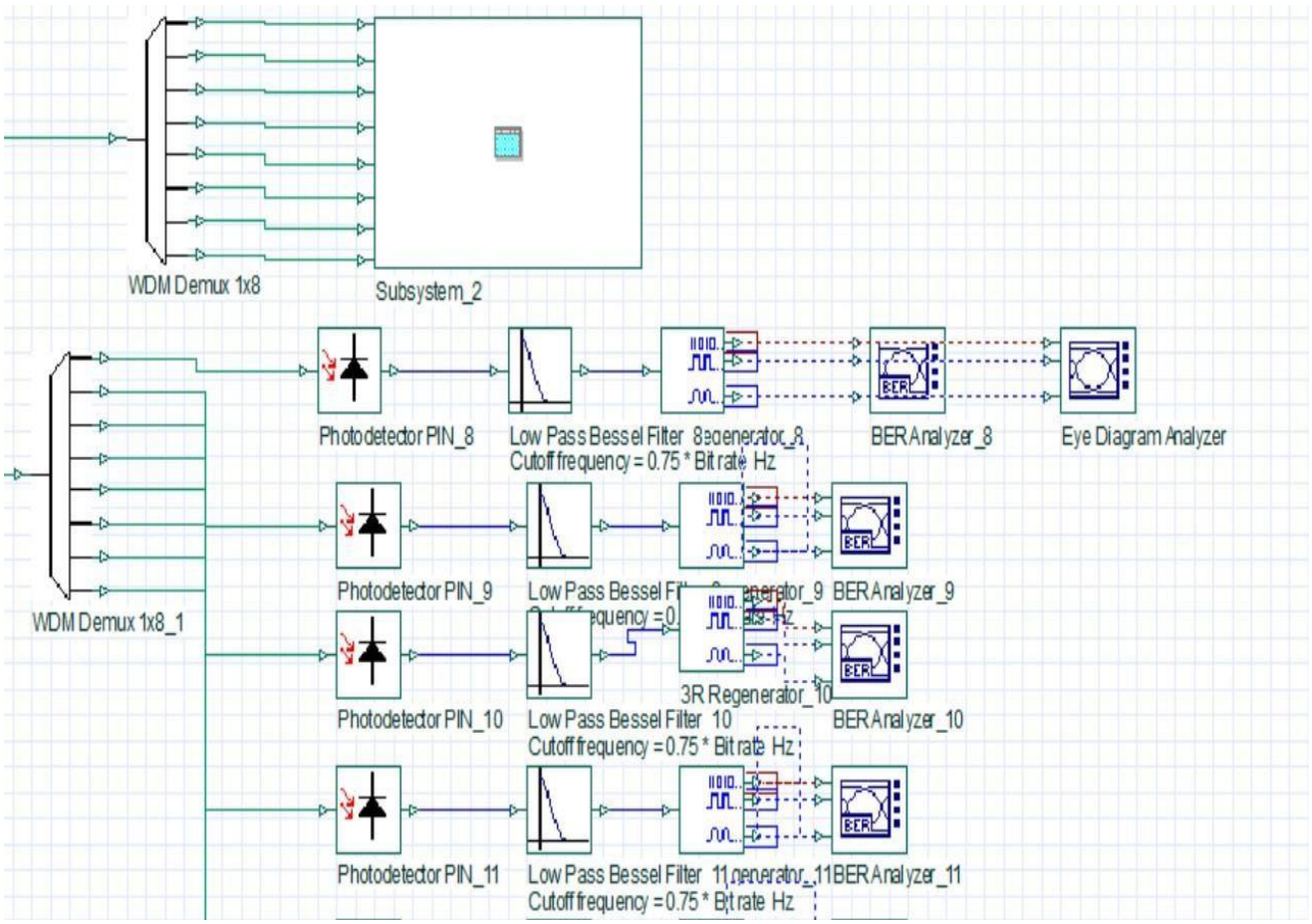


Figure 3. 24 : Bloque de réception PDM.

Au niveau de diviseur de polarisation, chaque paire d'ondes similaires doit être divisée par polarisation et regroupes vers un démultiplexeur.

Dans cette configuration, un photodétecteur de type PIN est suivi d'un filtre passe-bas, puis d'un régénérateur de bit. Cette séquence est ensuite connectée à un analyseur de taux d'erreur binaire (BER), nous permettant ainsi d'évaluer la qualité de la transmission.

6. Etude comparative

6.1 Premier cas (comparaison du facteur de qualité lors d'une transmissiondirecte et une transmission avec relais)

Dans cette étude, nous avions comparé une transmission allant de Skikda à Médéa sur une liaison directe et une transmission avec relais à Alger ou le signal quittant Skikda est demultiplexé puis remultiplexer et retransmis sur Médéa.

Notons qu'Un facteur de qualité élevé indique une transmission optique efficace avec peu de pertes et de distorsions du signal, tandis qu'un facteur de qualité faible peut indiquer des problèmes tels que des pertes de signal, des distorsions ou des interférences qui peuvent réduire les performances du système.

Ce cas est illustré dans la figure ci-dessous :

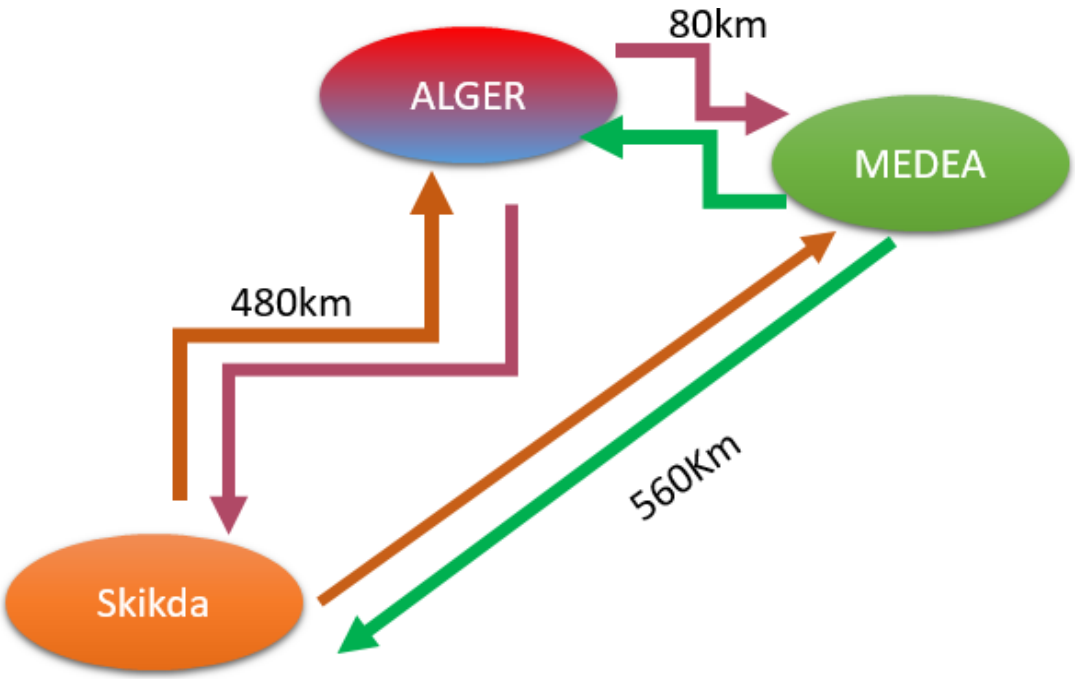


Figure 3. 25 : Illustration de la transmission directe et avec relais.

On sait qu'avant une retransmission, le signal doit être corrigé et remis en forme pour la suite, chose qui n'est pas faisable sur le logiciel optisystem, alors le signal reçu sur Alger est directement retransmis sur Médéa sans une quelconque correction. La comparaison selon le facteur de qualité des deux différentes lignes est établie dans le graphe ci-dessous :

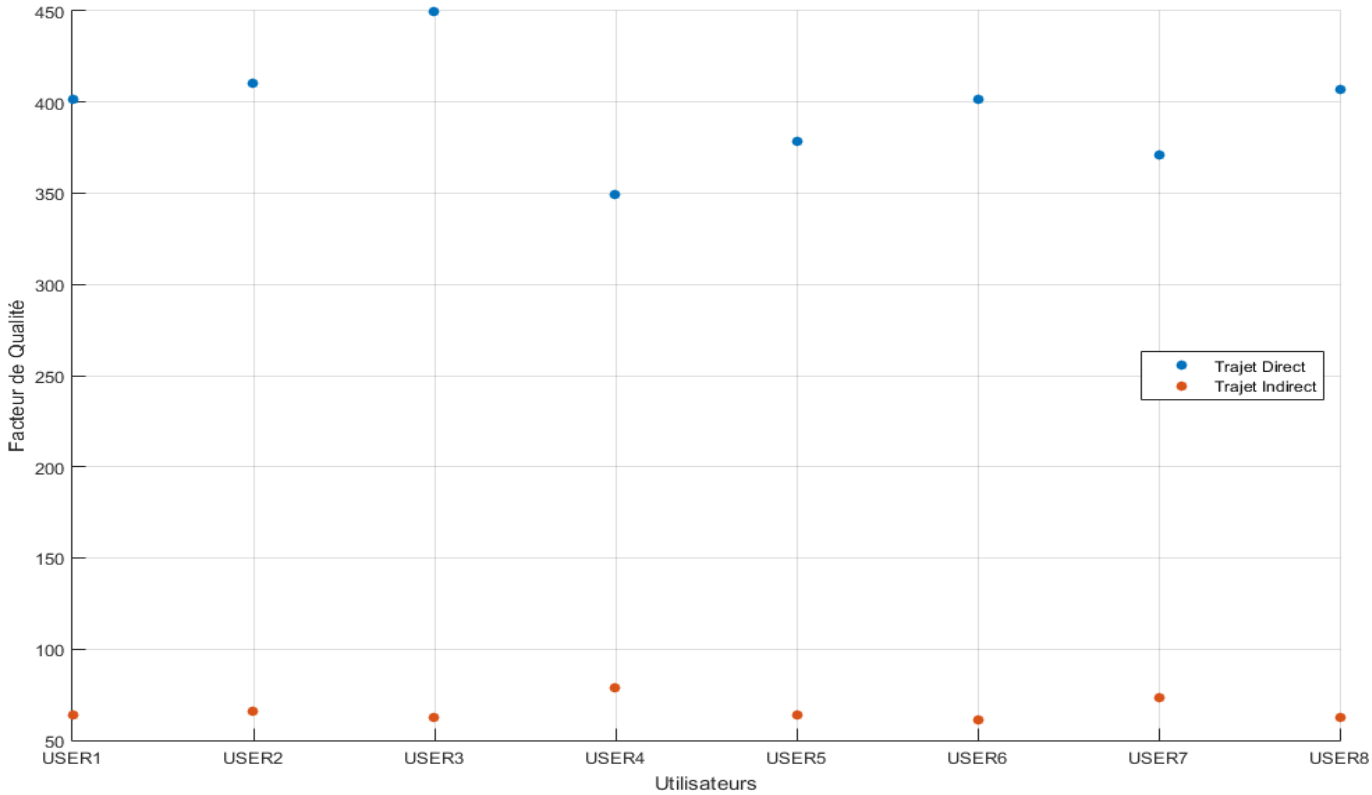


Figure 3. 26 : Comparaison de liaison direct et avec relais.

De cette figure ,nous observons clairement une très grande marge en faveur de la ligne de transmission à trajet direct qui présente un facteur de qualité assez conséquent qui induit donc une transmission de meilleurs qualité ceci est dû au fait que le signal optique reçu après avoir parcouru 480km(en mode DWDM)est démultiplexeur puis remultiplexer avec des multiplexeur(WDM) utilisé pour des distance moins énorme comme la nôtre qui est de 80km qui va impliqué aussi l'ajout d'atténuations et des éventuel bruit dans le signal reçu en amont ce qui va forcément impacter le signal reçu à Médéa contrairement à celui du trajet direct ou lemême multiplexeur adapter(DWDM) à des longue distance est pris en considération tout au long du parcours. Notons aussi que le BER de chacun des trajets était bon mais sans trop de conviction sur celui du trajet indirect ou nous n'avions pas eu la chance d'utiliser des blocs de correction.

Nous retenons dans ce cas qu'une liaison optique directe est nettement plus efficace et plus sécuriser qu'une liaison avec des relais mais peut présenter des couts d'installation plus élevé surtout sur des distances nettement plus grandes. C'est pour cela que de nos jours des lignes detransmissions hybride sont utilisés comme par exemple les antennes.

NB : le facteur de qualité dans ce cas détermine le rapport entre l'énergie acquise et l'énergie dissipé.

Paramètres et valeurs appliques de la liaison direct (DWDM)

PARAMETRE	VALEURS
Nombre de canal	8
Deux fibres : SMF et DCF	53Km et 10Km
Valeur d`atténuation (dB)	20 et 5
Gain d`amplification (dB)	20
Niveau du Bruit (Noise Level)	0.2
Nombre de boucles	9
Débit de transmission (Gb/s)	10
Taille des séquences (bits)	128
Puissance (dBm)	-10

Tableau 3. 4 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison direct (DWDM).

Paramètres et valeurs appliques de la liaison avec relais

SKIKDA—ALGER paramètres :

PARAMETRE	VALEURS
Nombre de canal	8
Deux fibres SMF/DCF	50km /10km
Valeur atténuateur (dB)	20/5
Gain amplificateurs (dB)	20
Niveau de bruit	0.2
Nombre de boucle	8
Débit de transmission (Gb/s)	10
Taille séquence (bits)	128
Longueur d'onde initiale (nm)	1555
Marge canal (nm)	1.6
Puissance (dBm)	-10

Tableau 3. 5 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison avec relais Skikda_ Alger.

ALGER—MEDEA paramètres :

PARAMETRE	VALEURS
Nombre de canal	8
Deux fibres SMF/DCF	50km /10km
Valeur atténuateur (dB)	20/5
Gain amplificateurs (dB)	20
Niveau de bruit	0.2
Nombre de boucle	8
Débit de transmission (Gb/s)	10
Taille séquence (bits)	128

Longueur d'onde initiale (nm)	1555
Marge canal (nm)	1.6
Puissance (dBm)	-10

Tableau 3. 6 : Paramètres et valeurs appliques de la liaison avec relais Alger -Médéa.

6.2 Deuxième cas (comparaison entre les fibres SMF et DCF et intérêt)

Dans Cette expérience nous montrerons l'effet d'utilisation d'une fibre SMF seul DCF seul et enfin comprendre l'intérêt en utilisant les deux types sur une ligne de transmission mais rappelons que la fibre monomode (SMF) et la fibre à compensation de dispersion (DCF) sont deux types de fibres optiques utilisées dans les télécommunications et la transmission de données. La principale différence entre les deux réside dans leur conception et leur objectif.

La fibre à compensation de dispersion (DCF), d'autre part, est spécifiquement conçue pour compenser la dispersion chromatique dans les systèmes de communication optique. La dispersion chromatique se produit lorsque différentes longueurs d'onde de la lumière voyagent à des vitesses différentes à travers un milieu optique, provoquant l'étalement du signal dans le temps et limitant la distance de transmission et le débit de données.

Fibre	SMF 50 km	DCF 50 km	SMF (50+10km) + amplificateur	DCF (50+40) + Amplificateur	SMF (50km) + DCF (10km)
BER	1	1	0.00115501	1	$3.96055*10^{-238}$

Tableau 3. 7 : Comparaison DCF /SMF.

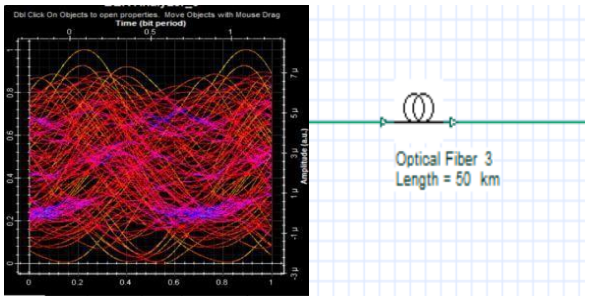


Figure 3. 27 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF.

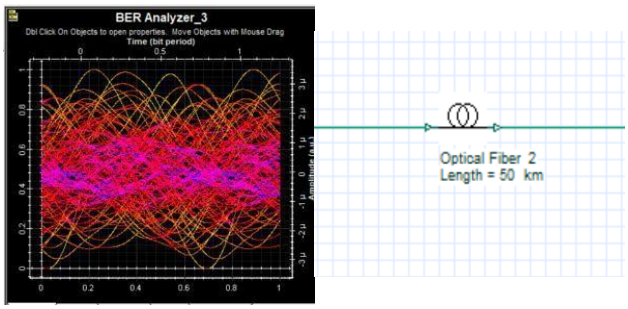


Figure 3. 28 : Diagramme de L'œil d'une fibre DCF.

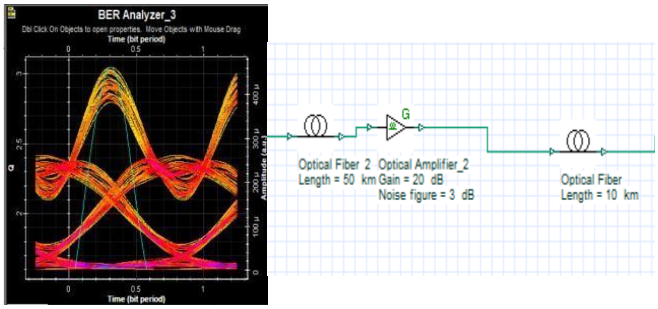


Figure 3. 29 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF + Amplificateur.

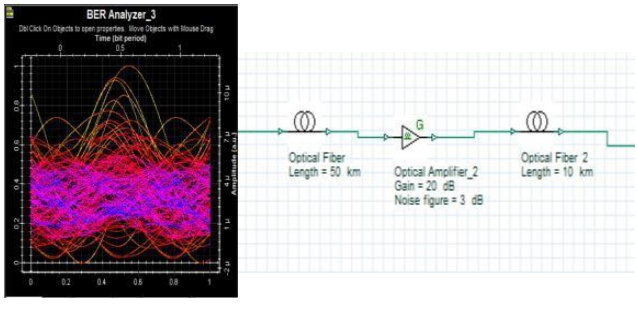


Figure 3. 30 : Diagramme de L'œil d'une fibre DCF + Amplificateur.

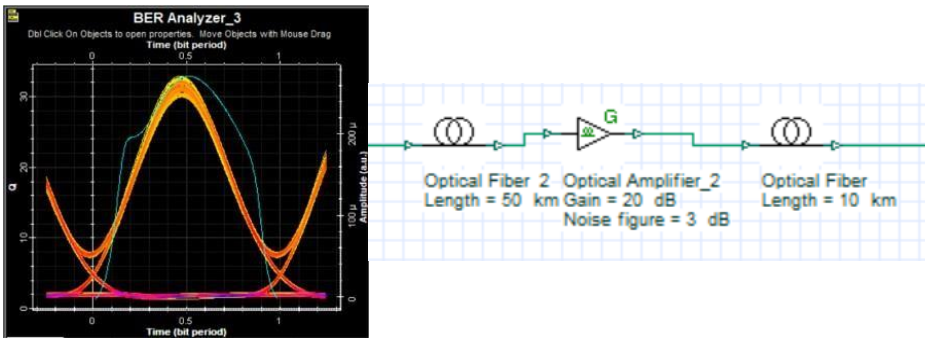


Figure 3. 31 : Diagramme de L'œil d'une fibre SMF + amplificateur + fibre DCF.

Paramètre d'une liaison DWDM hybride (SMF et DCF) :

PARAMETRE	VALEURS
Nombre de canal	32
Deux fibres SMF/DCF	50/10
Valeur atténuateur (dB)	20/5
Gain amplificateurs (dB)	20
Débit de transmission (Gb/s)	10
Puissance (dBm)	-10
Taille séquence (bits)	128

Tableau 3. 8 : Paramètres et valeurs appliques d'une liaison hybride (SMF+DCF).

Au long de cette mise en évidence nous remarquons et retenons ceci : la DCF est utilisé conjointement avec le SMF pour atténuer cette dispersion, permettant des débits de données plus élevés sur de plus longues distances. En résumé, la SMF constitue la base de la transmission à longue distance et du multiplexage en longueur d'onde dans les systèmes DWDM, tandis que la DCF complète la SMF en atténuant les effets de la dispersion, ce qui améliore la qualité du signal et étend la portée et la capacité des réseaux de communication optique. Ensemble, ils permettent la transmission efficace et fiable de vastes quantités de données sur une transmission en fibre optique.

6.3 Comparaison entre la CWDM normal et la CWDM avec une fibresupplémentaire (DCF) de 10km

Dans cette partie nous considèrerons les paramètres CWDM initiaux pour tracer le BER CWDM avec une fibre unique (CWDM) en fonction de la distance pour le second nous maintiendrons la deuxième fibre DCF a 10km puis nous varierons la fibre CWDM tout en ayant la même distance globale dans les deux cas.

La distance sera variée de 5 à 95km.à l'issu de nos simulations nous obtenons la figure ci-dessous :

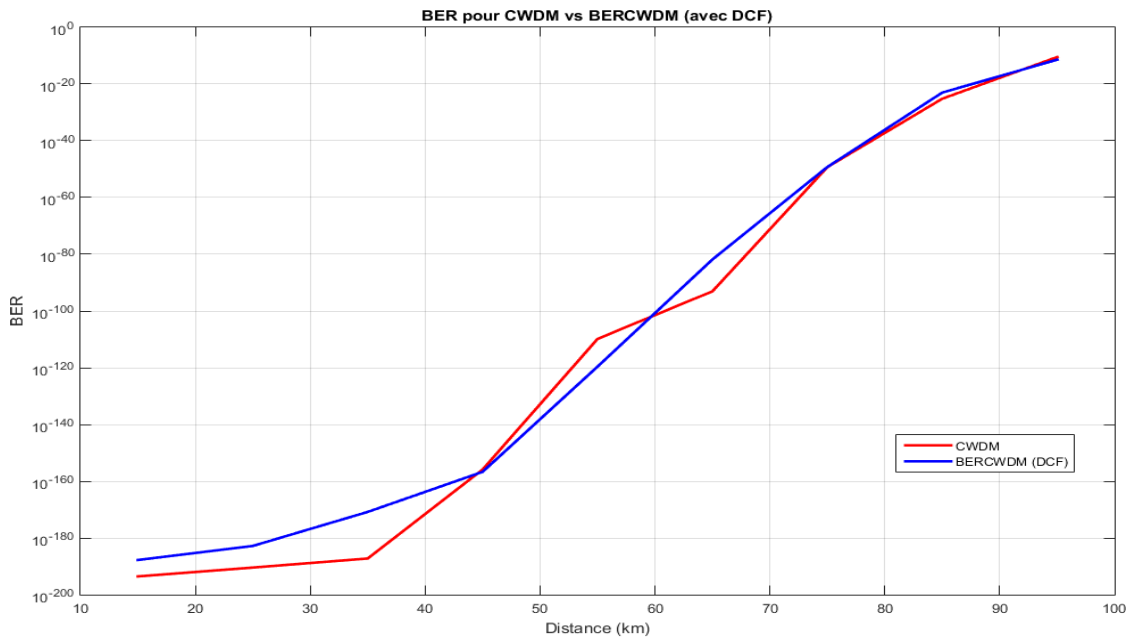


Figure 3. 32 : BER pour CWDM vs BER CWDM (avec DCF).

On constate sur cette figure que la CWDM possède un BER largement meilleurs sur les premiers km contrairement sur les distances entre 45 et 57 km où celle avec la fibre DCF prend plus ou moins largement le dessus puis ensuite la CWDM normal et entre 75 et 95 km nous obtenons dans les deux cas des BER approximatif. On note aussi qu'après des petites manipulations et essaye-nous avions constaté qu'une distance inférieure à 10km ou supérieur à 10 conduits à des effets indésirable dans ce cas c'est pourquoi nous avions choisi expressément 10km. Et l'on sait déjà qu'une DCF trop grande peut amplifier le bruit présent dans le système, ce qui peut augmenter le niveau de bruit du signal et réduire la qualité de la transmission.

Au terme de nos constant, nous dirons que sur une transmission CWDM où on sait déjà que cette dernière n'est pas destinée à de très longues distance l'ajout d'une DCF n'est pas forcement obligatoire. Mais peut être recommandé pour des distances aux alentours des 50km ou après un parcours de 50km dans la fibre CWDM ou aussi lorsque l'on veut augmenter en débit afin d'atténuer la dispersion. Et le choix d'une DCF doit être minutieusement et idéalement choisit pour chaque système.

6.4 Troisième cas (BER de WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM en fonctionde la distance)

Dans cette partie, nous comparerons les variations de valeur BER de différents systèmes tels que WDM, CWDM, DWDM et PDM en gardant la même configuration dans tous les quatre systèmes en fonction des changements de distance de 1 à 120 km qui nous donnent la courbe graphique suivante :

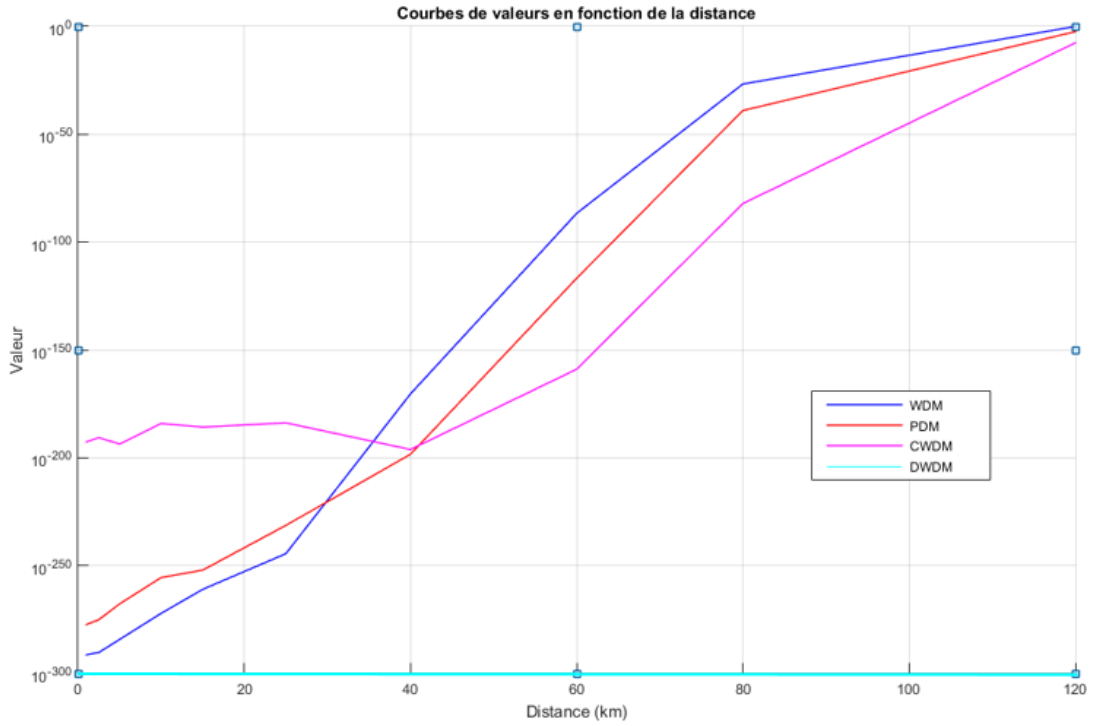


Figure 3. 33 : Courbe BER de WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM en fonction de la distance).

Cette figure représente la variation du BER (taux d'erreur binaire) en fonction de la distance des fibres optiques dans différentes transmissions telles que WDM, CWDM, DWDM et PDM_WDM. Nous remarquons qu'à une distance moyenne de 1 à 40 km, le BER peut être ignoré avec une valeur comprise entre 0 et 10^(-190) , nous remarquons aussi que le système CWDM présente la valeur de BER la plus élevée par rapport aux autres.

Plus nous nous éloignons et dépassons les 40 km, plus nous constatons une augmentation du BER, ce qui joue un rôle dans la diminution de la qualité de la transmission.

Les trois systèmes évoluent plus ou moins de la même manière avec de légères différences dans la valeur de BER, tandis que le système WDM présente la valeur de BER la plus élevée a des distances supérieures à 100 km, nous remarquons une forte diminution de la qualité, ce qui signifie une valeur de BER plus élevée proche de 1. Contrairement au système DWDM, qui n'est pas influencé par le changement de distance, peu importe l'augmentation de la distance, la valeur du BER reste nulle.

6.5 Quatrième cas (ber de WDM, CWDM, DWDM, PDM-WDM enfonction du débit)

Dans cette courbe graphique, nous gardons les mêmes systèmes (WDM, CWDM, DWDM et PDM) avec les mêmes réglages, tout en ajustant le débit de 1 à 20 Gb/s, avec une longueur de fibre identique et voir la variation suivante de la valeur BER :

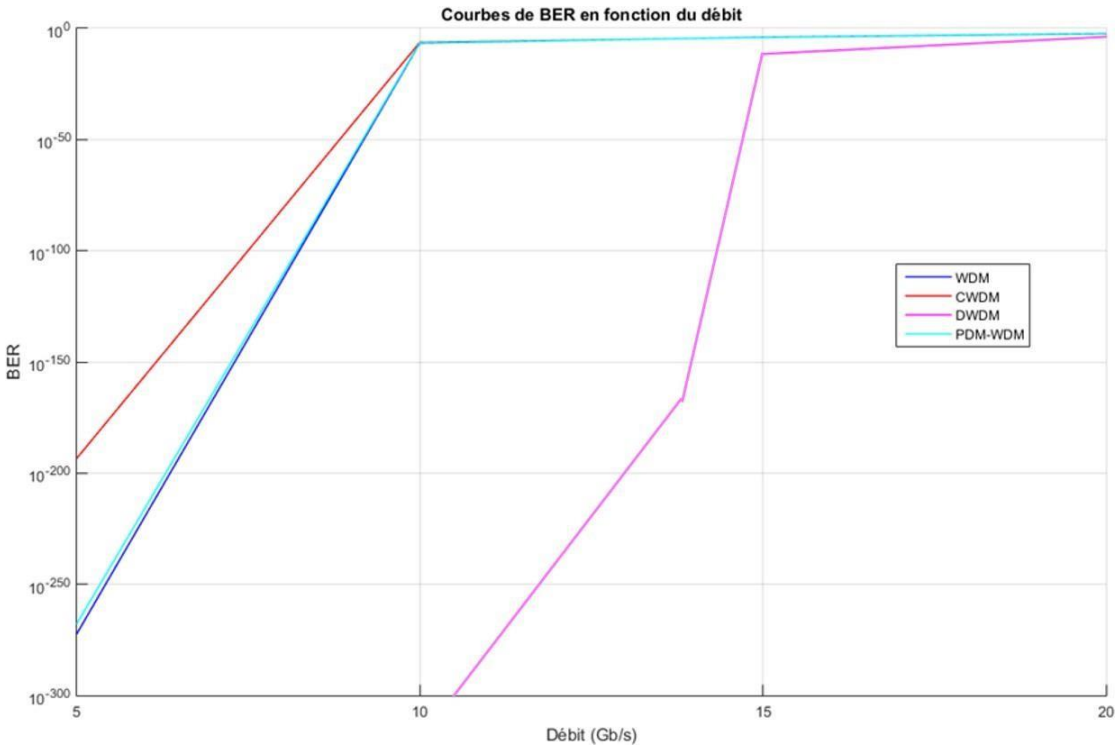


Figure 3. 34 : Courbe BER de (WDM, CWDM, DWDM, PDM_WDM) en fonction du débit.

Nous remarquons que nous pouvons diviser le graphique en deux sections pour WDM, CWDMet PDM, de 1 Gbs à 10 Gbs, nous voyons une forte augmentation de la valeur BER pour CWDMde 10^{-190} à environ 10^{-9} et pour WDM et PDM, ils changent dans le même montant de 10^{-270} également au même pic et continuer lentement à augmenter à 1 pour le reste du graphe.

En ce qui concerne la variation DWDM, nous remarquons qu'elle conserve une valeurnulle de BER tout le chemin du début à environ 11 Gbs puis commencer à augmenter fortementjusqu'à atteindre 10^{-10} sur 15 Gbs et continuer à augmenter lentement à 1 à 20Gbs.

Remarque : Le système DWDM est le meilleur et le plus fiable système de transmission sur de longues distances et à haut débit que les autres systèmes. On ne dit pas que les autres systèmes ne sont pas fiables, mais dans certains cas, ils assurent la transmission parfaitement.

7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de nous familiariser, de comprendre et de maitriser le logiciel opti-system. Grace a cela ,nous avons pu simuler dans un premier temps la CWDM ou nous avons fait des mise en situation pour étudier cette dernière comme son l`évolution de son BER en fonction de la distance ou nous avons retenu que cette dernière est plus performante lorsqu1il s`agit des distances inferieur a 100km et aussi l`évolution du BER en au fur et en mesure qu`on augmente le débit ou nous avons retenu que l'Ideal est de diviser 40Gbs par le nombre de canaux et que la marge d`augmentation si l`on veut rajouter de doit pas être grande. Sans oublier aussi que le BER est nettement meilleur lorsque le débit est minimisé. Ensuite nous avons étudier de la même manière la DWDM ou nous avons atteint des centaines de km et des débit nettement élevés.

Et en fin nous avons terminé sur une étude comparative ou nous avons trouvé que sur un trajet de SKIKDA a MEDEA qu`un trajet direct a base d`une transmission DWDM a un facteur de qualité nettement meilleur qu`un système avec relais disposant d`un DWDM de Skikda à ALGER et un WDM Alger Médéa. Puis l`intérêt énorme qu'apporte la DCF et son inutilité dans un système CWDM. Et enfin une étude comparative de BER de tous les systèmes étudier sur une distance de 120 km et un débit allant jusqu`a 20gbs ou nous avons remarqué que la DWDM performait largement par rapport aux autres systèmes.

Conclusion générale

Le but de notre travail sur ce mémoire est dédié sur l'étude ainsi que la simulation des techniques de multiplexage WDM utilisé en communication aveccomme ligne de transmission la fibre optique communément appelé communication optique. Nous nous sommes ainsi basés particulièrement à la CWDM, la DWDM et aussi à la PDM, la LWDM et la MWDM et autre connu pour leur utilisation en communication optique.

Notre premier chapitre nous a permis à travers une approche générale comprendre un système de transmission optique dans son intégralité (de l'émission jusqu'à la réception) tel que l'intérêt d'utilisation des différentes fibre optiques selon les situations ou cas mais aussi les contraintes auxquelles sont souvent confrontés t les fibres optiques de même pour les laser et les LED, ainsique toute les techniques et autres équipements entrant en jeux (multiplexeur, photodétecteur, modulation, amplification etc…)

Notre second chapitre nous a permis de faire une étude spéciale et théorique sur les techniques de multiplexage utilisé en communication optique en particulier ceux de la WDM ou nous avons appréhendé leur mode de fonctionnement, leurs paramètres et pour mieux les identifier, une comparaisonentre ces derniers. Cette partie nous a objectivement servi pour la réalisation dudernier chapitre dédié aux simulations.

En fin le dernier chapitre ou nous nous somme familiariser avec le logiciel optisystem qui nous a permis de simuler en premier lieu la CWDM en mettant en place plusieurs scenario tel que la variation de la distance et du débitainsi que la marge de longueur d'onde entre canaux ou nous avions observé, constaté et discuté les différents diagrammes de l'œil et courbe de variation de BER obtenus et somme parvenu sur chacun des cas à des conclusions de mêmepour la DWDM puis une études comparatives comportant en premier lieu une comparaison sur une ligne direct allant de Skikda à Médéa puis une autre avec relais sur Alger en utilisant les techniques de multiplexage précédemment cité ou nous avions observé les résultats et avons aussi établit une conclusion et aussiune études qui nous a permis de mettre en évidence les fibres de type DCF pourcomprendre son intérêts d'utilisation. Nous l'avons aussi intégré a un système CWDM pour comparer avec un circuit normal du même type et a la fin une comparaison entre la CWDM, la DWDM, la WDM, la WDM-PDM, en variant dans en premier lieu la distance puis le débit ou nous avons finalement observerles plus performants selon les scenarios.

De ce fait cette étude pourrait aider lors des installations des systèmes de transmission optique pour connaitre quelle technologie utiliser selon les conditions réelles en vue de minimiser les couts et choisir celles avec les performances qui conviendront en se basant sur nos différentes analyses et résultats de nos simulations sur ces différents systèmes.

Références

Références chapitre 1

[1] "codage num□rique, injection du signal dans une fibre : concours general 2006," *www.chimix.com*. https://www.chimix.com/an9/prem9/gene61.htm (accessed Feb. 02, 2024).

[2] SARL, "Compufirst - Revendeur de matériel informatique pour les professionnels," *Compufirst*. https://www.compufirst.com/compufirst-lab/reseau-et-telecom/qu-est-ce-qu-une-fibreoptique/main.do?appTreeId=45685 (accessed Mar. 02, 2024).

[3] https://community.fs.com/fr/article/how-to-reduce-various-types-of-losses-in-opticalfiber.html

[4] "Transmission sur fibres optiques," *igm.univ-mlv.fr*. https://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html (accessed Mar. 03, 2024).

[5] N. B. CASSETTE Studio, "Loi de Snell ou Snell-Descartes - Docteur Damien Gatinel," *www.gatinel.com*, Aug. 25, 2012. https://www.gatinel.com/glossaire/snell-loi-de/ (accessed Mar. 03, 2024).

[6] "Transmission sur fibres optiques," *igm.univ-mlv.fr*. https://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/ouverturenumerique.html (accessed Mar. 03, 2024).

[7] https://community.fs.com/fr/article/the-advantages-and-disadvantages-of-fiber-optictransmission.html

[8] MADANI Fethia Samia ; « Caractérisation et contribution des diodes LED pour la transmission par fibre optique dans un réseau local » ; PFE MASTER Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication ; 2011.

[9] MELLOUK Abdellatif et ZIANI Oualid Farid ; « Analyse des performances d'un système de communication optique en utilisant différents canaux : FSO, OWC et SMF » ; PFE MASTER Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen ;2017.

[10] "The FOA Reference For Fiber Optics - Fiber Optic Transmitter Sources-Lasers and LEDs," *www.thefoa.org*. https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/LEDs-lasers.html

[11] "Chapitre 5 Système de transmission par fibre optique 2." Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: https://www.exoco-lmd.com/dlattach/?attach=15750

[12] DOUMI NOUR EL HOUDA DERRAR KHADIDJA ; « Étude et simulation d'une chaine de transmission optique » ; PFE MASTER ; Université Saida Dr Tahar Moulay ; 2021.

[13] AYACHI Mammar, SAYAH Abderraouf et TAMER Youcef ; « Etude Et Simulation D'un Système De Transmission Optique Cohérent » ; PFE MASTER ; Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued ; 2020.

[14] "PIN Photodiode | Avalanche Photodiode | Electrical4U," *https://www.electrical4u.com/*. https://www.electrical4u.com/p-i-n-photodiode-avalanche-photo-diode (accessed Mar. 21, 2024).

[15] "Mémoire Online," *www.memoireonline.com*. https://www.memoireonline.com/03/17/9708/m_Etude-d-une-liaison-de-transmissionpar-fibre-optique-et-simulation-d-un-resonateur-optique-en-anne19.html#toc86

[16] "Transmission des signaux numériques," *Techniques de l'Ingénieur*. https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-reseauxet-telecommunications-tiate/archive-3/transmission-des-signaux-numeriques-e7100/ (accessed Mar. 23, 2024).

[17] *Cableorganizer.fr*, 2024. https://cableorganizer.fr/learning-center/article/historique-et-production-de-fibreoptique.html (accessed Mar. 23, 2024).

[18] Mr. CHAOUATI M'hamed, Mlle. DIFALLAH Hanane; «Etude et Simulation des multiplexages dans un système de transmission optique à base du logiciel OptiSystem 7.0» ; PFE MASTER ; Université Medea Dr YAHIA FARES ; 2022.

Références chapitre 2

[1] "1," *deptinfo.cnam.fr*. https://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_multiplexages.htm#TDM (accessed Apr. 07, 2024).

[2] "Multiplexage de signaux audiovisuels dans les systèmes fibre optique," *Extron*. https://www.extron.fr/article/mavsfosta (accessed Apr. 08, 2024).

[3] https://polaridad.es/fr/cdm-que-es-y-como-funciona-el-code-divisionmultiplexing/?expand_article=1

[4] "Multiplexage," *www.connecthostproject.com*. https://www.connecthostproject.com/mux_1.html (accessed Apr. 05, 2024).

[5] Chloe, "Quatre types de technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM)," *fibermall.com*, Jul. 02, 2021. https://www.fibermall.com/fr/blog/types-of-wavelength-division-multiplexing-wdm.htm#MWDM_vs_LWDM (accessed Apr. 07, 2024).

[6] https://medium.com/@fiberstoreorenda/wdm-cwdm-dwdm-e146be810fa2

[7] Orenda, "WDM & CWDM & DWDM," *Medium*, Apr. 13, 2016. https://medium.com/@fiberstoreorenda/wdm-cwdm-dwdm-e146be810fa2 (accessed Apr. 07, 2024).

[8] Haroun Errachid ADARDOUR, Samir KAMECHE ;Laboratoire des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC),Université de Tlemcen, Algérie ; The International Conference on WIreless Technologies embedded and intelligent Systems WITS 2016.

[8] https://community.fs.com/fr/article/what-is-the-difference-between-dwdm-and-cwdm-opticaltechnologies.html

[9] https://www.fibermall.com/fr/blog/dwdm-technologyfiber.htm#Discussion_on_DWDM_Technology

[10] "Chine Fabricants d'amplification optique Fournisseurs|Usine de centre de données|GRACYFIBRE," *fr.gracy-fiber.com*. https://fr.gracy-fiber.com/passive-wdm/mwdm-module/12ch-ultra-compact-mwdm-muxdemux.html (accessed Apr. 11, 2024).

[11] "Fiber Optic Passive Device Manufacturer ODM JDM | HYC Co., Ltd," www.hyc-system.com. https://www.hyc-system.com/ (accessed Apr. 14, 2024).

[12] Design of 16 × 40 Gbps hybrid PDM-WDM FSO communication system and its performance comparison with the traditional model under diverse weather conditions of Bangladesh-Scientific Figure on Research Gate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Traditional-PDM-WDM-FSO-System-26_fig4_348434424

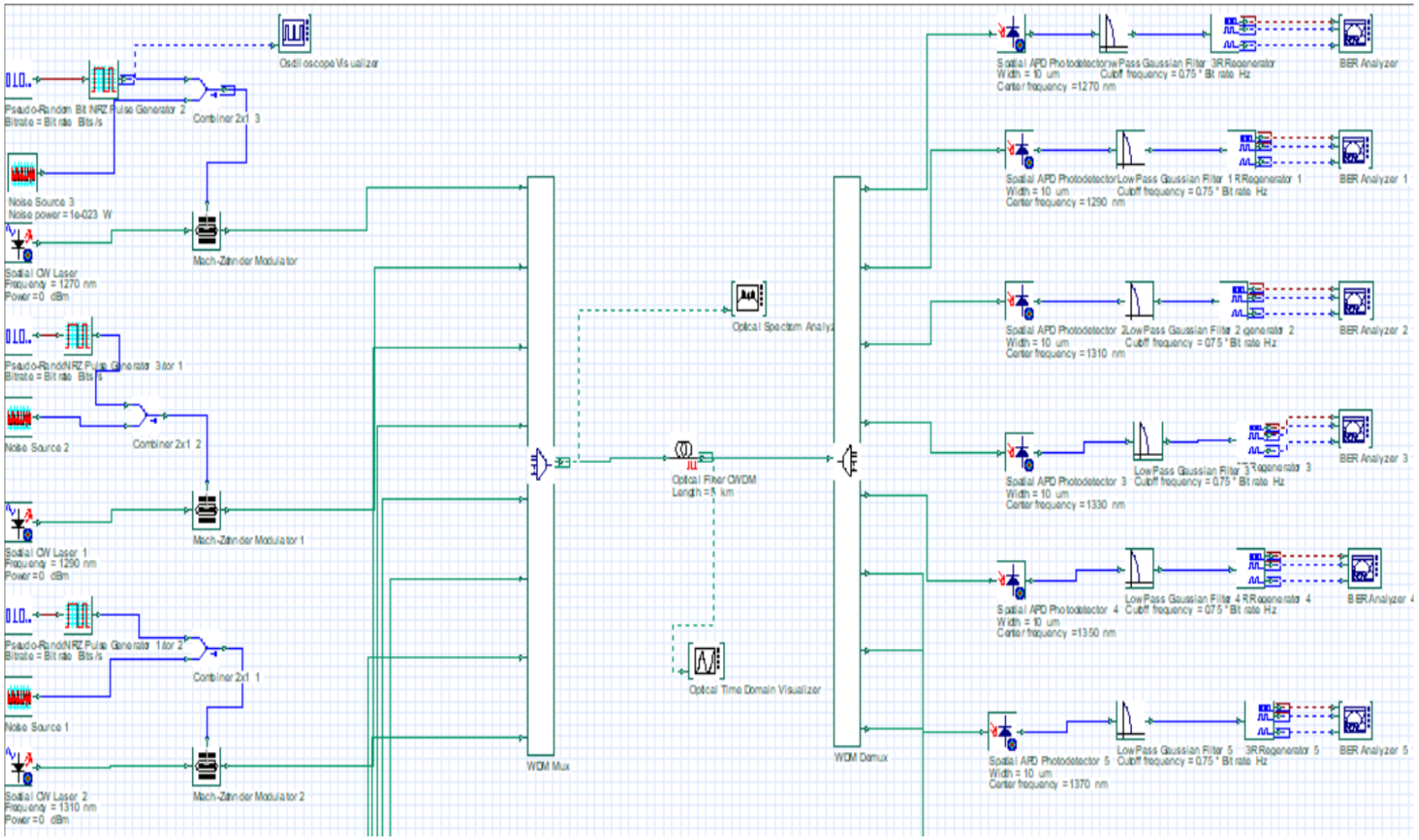
Références chapitre 3

[1] Université de Mohamed Boudiaf – M'sila Année Universitaire 2021/2022 Faculté de Technologie Département d'Electronique Option : M2 – STLC TP N°1 Initiation à l'utilisation du logiciel « OptiSystem »

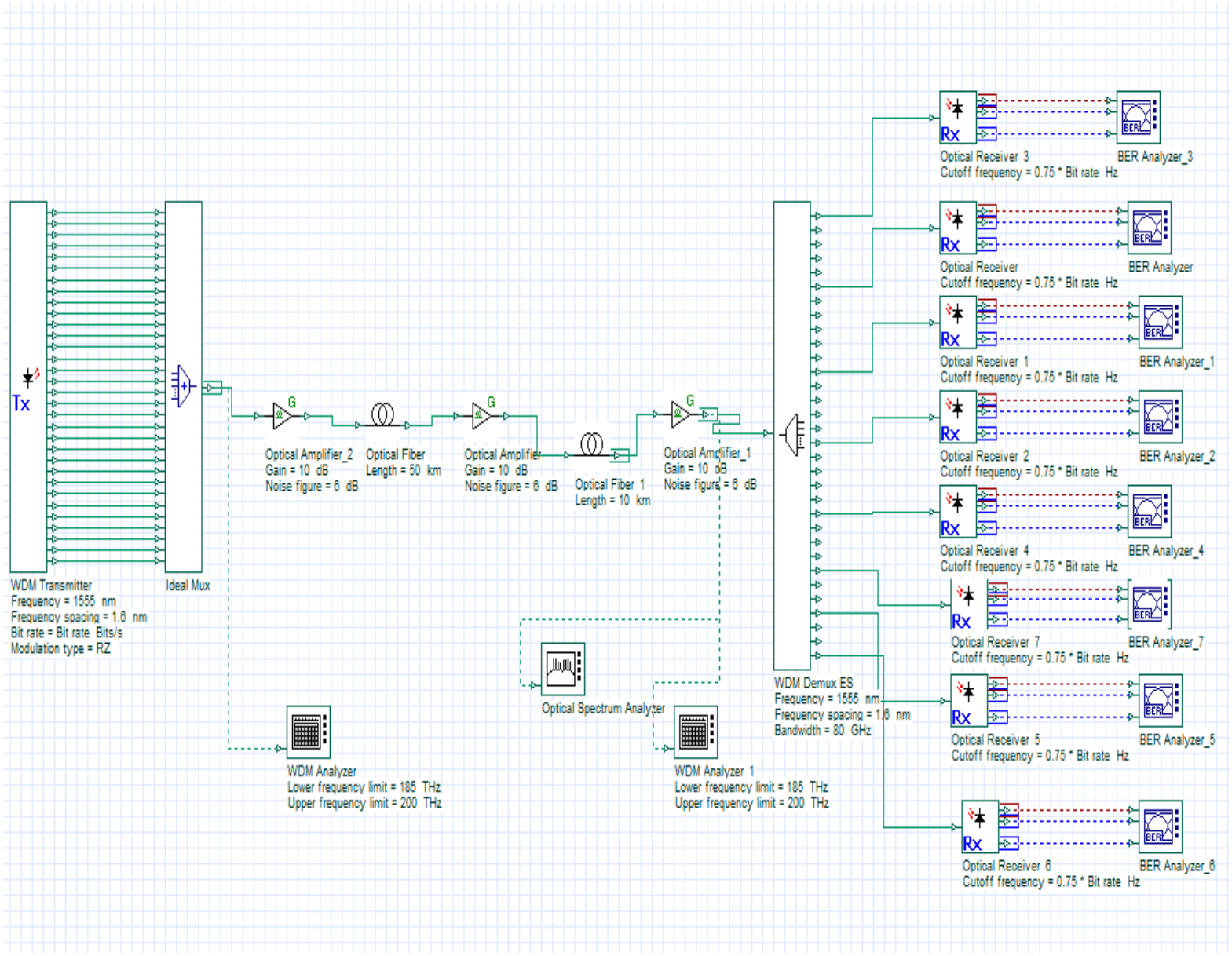
[2] https://vincmazet.github.io/comnum/modulation/diagram

Annex

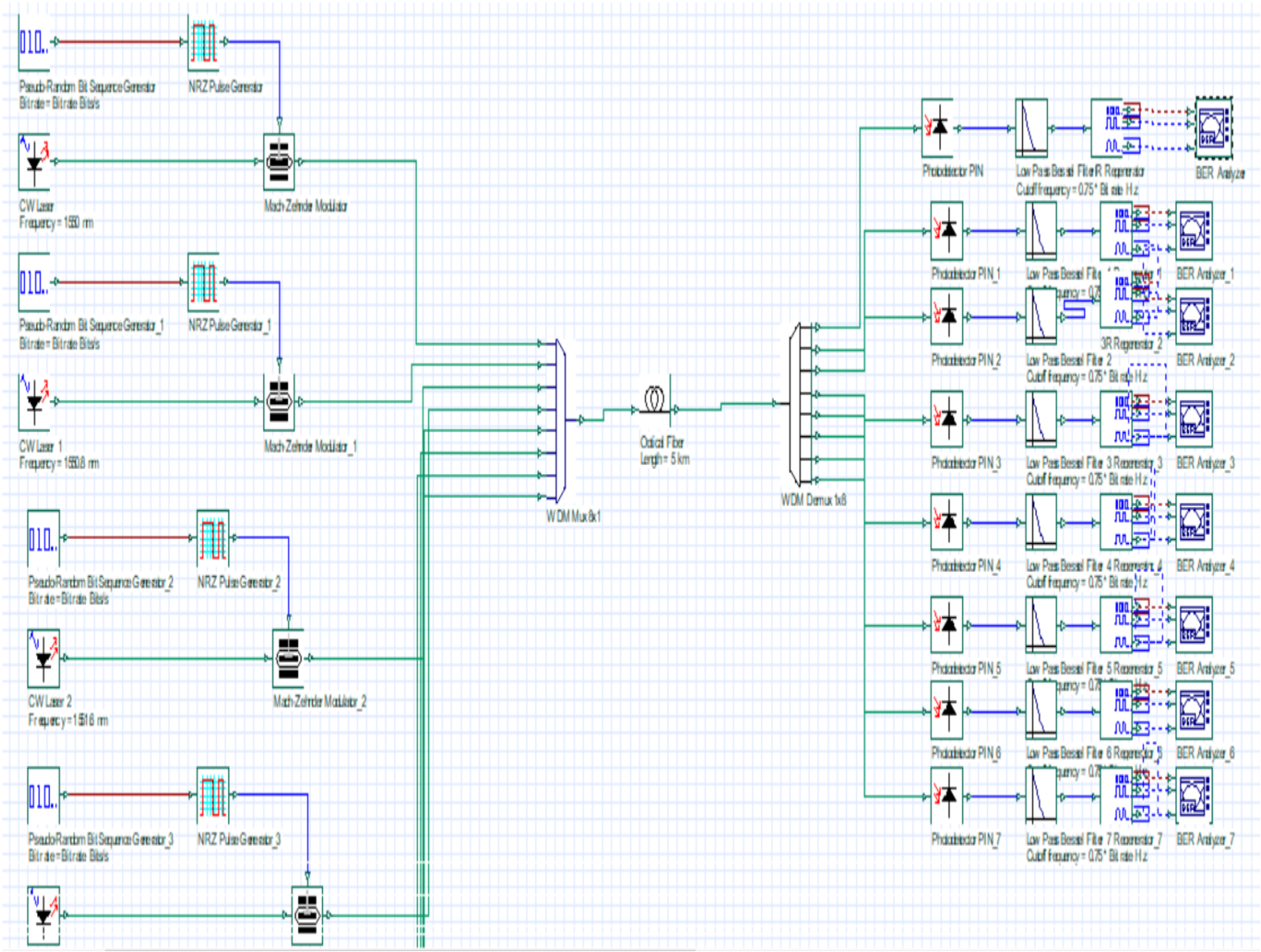
- Schéma bloc d’un system CWDM :



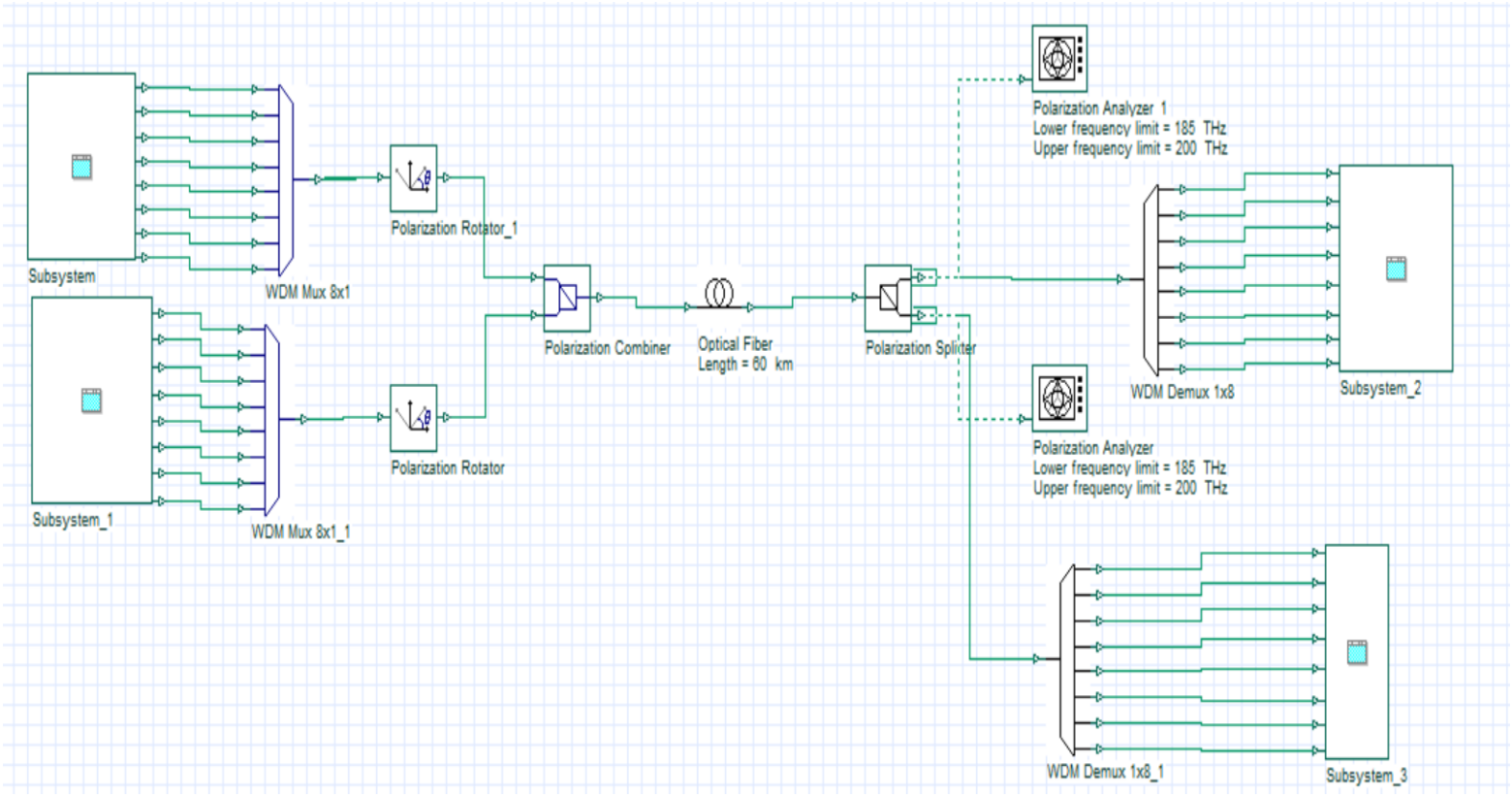
- **Schema bloc d'un system DWDM :**



- **Schema bloc d'un system WDM :**



- **Schema bloc d'un system PDM_WDM:**



- **Schema bloc du systeme avec relais**

