REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

''*Etude et Simulation des multiplexages dans un système de transmission optique à base du logiciel OptiSystem 7.0* ''

Présentés par :

Mr. CHAOUATI M'hamed

Mlle. DIFALLAH Hanane

Proposés et Dirigés par :

Mr. MIMEN Bakhti

Mr. SAHRAOUI Walid

Promotion 2022

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes parents, Abdelouaheb & Fadhila,

Pour votre amour…

Pour tous vos sacrifices…

Pour tous l'enseignement que vous m'avez transmis…

A toi ma mima,

La personne que pour dessus tout j'estimais.

A mes frères Mansour, Ali, Ismail, Abdelkader et Mohamed cherif

En témoignage de mon amour et de ma profonde admiration.

Que dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie.

A mes sœur Imane, Manel, Nada, Ndjet et Meriem

Que dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie.

A mon encadreur : Mr.MiMEN Bakhti et co-encadreur : Mr.SAHRAOUI Walid

A tous mes tantes et oncles, mes cousines et cousins…

A tous mes amis et mes collègues le long de mes études

Mes remerciements à mon binôme Hanane pour tout l'effort fourni et la bonne collaboration.

M.Chaouati

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donnée la santé et le courage pour terminer ce modeste travail.

Je dédie ce travail à :

- A mon exemple de courage et pour leur sacrifice à mon chère pères **CHERIF**,
- Au symbole de douceur, de tendresse et d'amour à ma meilleure ma mère **SAMIRA CHAOUATI,**
- A mon frère **ANES**, mes sœurs **IHCEN** et **IKRAM** pour votre soutien et leur encouragement,
- A mon encadreur : **Mr. MiMEN Bakhti** et co-encadreur : **Mr.SAHRAOUI Walid**
- A mes chères oncles et tantes de la famille **DIFALLAH** et la famille **CHAOUATI**.
- A mes cousines **NONO** et **DJIDJI**
- mes proches amies.

Mes remerciements à mon binôme **M'HAMED** pour tout l'effort fourni et la bonne collaboration.

H.Difallah

Remerciement

Nous remercions tous d'abord le tout puissant et miséricordieux : DIEU, qui nous a accordé santé, énergie et volonté, pour que nous soyons aujourd'hui ici avec ce parcours et ce travail.

Nous tenons à remercier vivement en premier lieu, notre promoteur **Mr. MIMEN Bakhti** pour son aide et ses conseils.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans l'aide et le dévouement de personne que nous tenons à remercier **Mr.SAHRAOUI Walid**.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

En fin, nous n'oublions certainement pas **nos parents, nos enseignants** et **nos amis** ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

ملخص:

تندرج هذه المذكرة ضمن روابط الإتصالات الضوئية , التي تستغل الألياف الضوئية كقناة إرسال البيانات , إن استعمال هذه الألياف يتزايد بشكل رهيب و ذلك بسبب سرعة التدفق العالية التي توفرها الألياف الضوئية و توهينها المنخفض عبر مسافات طويلة , تعتمد أنظمة الإتصالات الضوئية تقنيات تعدد الإرسال لغرض تحسين أداء الإرسال , و التي يعتمد مبدأها على مشاركة نفس الألياف من قبل العديد من المستخدمين.

يتناول هذا العمل دراسة عامة حول الإرسال البصري

أولاً قدمنا بعض العموميات حول الإرسال البصري ، وسوف نقدم للقارئ اللبنات الأساسية لبناء هذه المذاكرة ، ولا سيما الأجزاء المختلفة من الإرسال البصري والألياف الضوئية , بعدها قمنا بتقديم عرض و تعريف شامل لمختلف تقنيات تعدد الإرسال من أجل فهم نظرية عمل مختلف هذه التقنيات , و أخيرا قمنا بمحاكاة مختلف التقنيات كتقنية تعدد الإرسال WDM التي تعتمد على الألياف أحادية النواة و MDM التي تعتمد على الألياف متعددة النواة وقدمنا كذلك نظام 16 مستخدم (PDM-WDM) , تم مناقشة نتائج المحاكاة المتحصل عليها بشكل عام عن طريق REB و مخطط العين

الكلمات المفتاحية :

ألياف ضوئية , برنامج المحاكاة SDM , PDM , WDM , optisystem, BER , مخطط العين .

Résumé :

Cette mémoire fait partie des liaisons de communication optiques, qui exploitent les fibres optiques comme canal de transmission de données, l'utilisation de ces fibres augmente terriblement en raison de la vitesse de débit élevée fournie par la fibre optique et de sa faible atténuation sur de longues distances, les systèmes de communication optique adoptent des techniques de multiplexage dans le but d'améliorer les performances de transmission , dont le principe dépend de la participation de la même fibre lumineuse par de nombreux utilisateurs,

Ce travail traite d'une étude générale sur la transmission optique, tout d'abord, nous avons fourni quelques généralités sur la transmission optique, et nous fournirons au lecteur les éléments constitutifs de cette étude, en particulier les différentes parties de la transmission optique et de la fibre optique. Ensuite, nous avons présenté une présentation complète et une définition des différentes techniques de multiplexage afin de comprendre la théorie du travail de ces différentes techniques. Enfin, nous avons simulé diverses techniques telles que la technique WDM basée sur la fibre monomode et la technique MDM basée sur la fibre multi-cœurs, Nous avons également introduit un système à 16 utilisateurs. (WDM-PDM), les résultats de la simulation obtenus ont été généralement discutés par ber et le diagramme de l'œil.

Mots clés :

Fibre optique, logiciel OptiSystem, WDM, PDM, SDM, BER, diagramme de l'œil.

Abstract:

This memory is part of optical communication links, which exploit optical fibers as a data transmission channel, the use of these fibers increases terribly due to the high throughput speed provided by optical fiber and its low attenuation over long distances, optical communication systems adopt multiplexing techniques with the aim of improving transmission performance, the principle of which depends on the participation of the same luminous fiber by many users,

This work deals with a general study on optical transmission, first of all, we have provided some generalities about optical transmission, and we will provide the reader with the building

blocks of this study, in particular the different parts of optical transmission and optical fiber. Next, we presented a comprehensive presentation and definition of the different multiplexing techniques in order to understand the working theory of these different techniques. Finally, we simulated various techniques such as WDM technique based on single-mode fiber and MDM technique based on multi-core fiber, we also introduced a 16-user system. (WDM-PDM), the results of the simulation obtained were usually discussed by BER and the eye diagram.

Key words:

Fiber optic, OptiSystem software, WDM, PDM, SDM, BER, eye diagram.

Table de matière:

TABLE DE MATIERE : I

LISTE DES FIGURES IV

LISTE DES TABLEAUX VI

LISTE DES ABREVIATIONS VII

INTRODUCTION GENERAL : 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE TRANSMISSION OPTIQUE 3

1. INTRODUCTION : 3
2. DESCRIPTION D'UNE CHAINE DE TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE : 3
2.1. L'EMETTEUR OPTIQUE : 3
2.1.1. Les diodes laser : 4
2.1.2. LES DIODES ELECTROLUMINESCENTES (LED) : 4
2.2. CODAGE DE DONNEES : 5
2.3. MODULATION : 5
2.3.1. MODULATION DIRECT : [12] 5
2.3.2. MODULATION EXTERNE : 6
2.3.3. COMPARAISON : 6
2.4. LA FIBRE OPTIQUE : 7
2.4.1. DESCRIPTION DE LA FIBRE OPTIQUE : 7
2.4.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA FIBRE OPTIQUE : 8
2.4.2.1. Loi Snell Descartes : 8
2.4.2.2. L'ouverture numérique : 9
2.4.2.3. L'indice de réfraction : 9
2.4.3. AVANTAGE DE FIBRE OPTIQUE : 9
2.4.4. TYPE DES FIBRES OPTIQUES : 10
2.4.4.1. La fibre optique multimode à saut d'indice : [18] 10
2.4.4.2. La fibre optique multimode à gradient d'indice : [18] 11
2.4.4.3. Fibre monomode : [18] 11
2.4.4.4. Tableau de Comparaison : 12
2.4.5. LES CARACTERISTIQUES DE LA FIBRE OPTIQUE : 12
2.4.5.1. Atténuation : 12
2.4.5.2. Bilan des pertes : 14
2.4.5.3. Types de dispersion : 14
2.4.5.3.1. Dispersion modal : 14
2.4.5.3.2. Dispersion chromatique : 15
2.4.5.4. Les effets non-linéaires : 15
2.4.5.4.1. Effet de KERR [12] : 15
2.5. RECEPTEUR : 16
2.5.1. PHOTODIODE PIN (POSITIVE-INTRINSEQUE-NEGATIVE): 16
2.5.2. PHOTODIODE AVALANCHE ADP : 17

2.5.3. COMPARAISON ENTRE LES PHOTODIODES PIN ET ADP : 18
3. CONCLUSION : 18

CHAPITRE 2 :TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE PAR FIBRE OPTIQUE 20

1. INTRODUCTION : 20
2. LE MULTIPLEXAGE OPTIQUE : 20
3. LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE OPTIQUE : 21
3.1. LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL (OTDM) : 21
3.1.1. APPLICATIONS DE L'OTDM : 22
3.2. LE MULTIPLEXAGE WDM : 22
3.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT : 23
3.2.2. LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE WDM : 23
3.2.3. LES APPORTS DE LA TECHNOLOGIE WDM : 24
3.2.4. LES LIMITES DE LA TECHNOLOGIE WDM : 25
3.3. LA TECHNIQUE PDM : 25
3.4. LA TECHNIQUE SDM : 27
3.4.1. LA TECHNIQUE MFC : 28
3.4.2. LA TECHNIQUE MDM : 29
3.5. OCDMA [32] : 30
3.5.1. L'OCDMA COHERENT [48] : 31
3.5.2. L'OCDMA INCOHERENT [48] : 32
3.5.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'OCDMA [48] : 32
4. CONCLUSION : 32

CHAPITRE 3 :SIMULATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 33

1. INTRODUCTION : 33
2. DESCRIPTION DE L'OPTISYSTEM : 33
2.1. PRINCIPALE CARACTERISTIQUES DE LOGICIEL L'OPTISYSTEME: 34
2.2. LES AVANTAGES DE LOGICIEL : 34
2.3. PARAMETRES DE QUALITE D'UNE LIAISON OPTIQUE : 35
2.3.1. LE FACTEUR DE QUALITE : 35
2.3.2. LE TAUX D'ERREUR BINAIRE (BER) : 35
2.3.3. LE DIAGRAMME DE L'ŒIL : 36
3. TESTE ET RESULTATS DE SIMULATION : 37
3.1. SIMULATION DE LA TECHNIQUE WDM : 37
3.1.1. L'EFFET DE LA VARIATION DU DEBIT : 39
3.1.2. L'EFFET DE LA VARIATION DE LA DISTANCE : 39
3.2. SIMULATION D'UNE LIAISON *WDM-PDM* AVEC DEUX POLARISATIONS : 40
3.2.1. L'EFFET DE LA VARIATION DU DEBIT : 43
3.2.2. L'EFFET DE LA VARIATION DE LA DISTANCE : 44
3.3. LA TECHNIQUE MDM : 46
3.3.1. L'EFFET DE LA VARIATION DU DEBIT : 48
3.3.2. LE DIAGRAMME DE L'ŒIL: 48
3.3.3. L'EFFET DE LA VARIATION DE LA DISTANCE : 49
3.3.4. LE DIAGRAMME DE L'ŒIL : 50
4. CONCLUSION : 51

CONCLUSION GENERALE : 53

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure1-1.Schéma synoptique d'une liaison optique……3
Figure 1-2.Diode laser……..……..4
Figure 1-3.Structure d'un LED…….5
Figure 1-4.Modulation direct……6
Figure 1-5.Modulation externe…….6
Figure 1-6.Structure d'une fibre optique……..7
Figure 1-7.La loi de Snell Descartes……8
Figure 1-8.L'angle d'ouverture……...9
Figure 1-9.Fibre optique à saut d'indice……10
Figure 1-10.Fibre optique multimode à gradient indice…….11
Figure 1-11.Fibre optique monomode……11
Figure 1-12.Bilan des pertes au sein d'une fibre……14
Figure 1-13.Dispersion modale……..14
Figure 1-14.Dispersion chromatique……..15
Figure 1-15.Structure de PIN…….16
Figure 1-16.Structure commerciale de PIN…….. 17
Figure1-17.Photodiode avalanche…….17
Figure 1-18.La structure d'ADP dans le marché……..18

Chapitre 2

Figure 2-1.Les dimensions physiques utilisées pour le multiplexage optique…….20
Figure 2-2.Principe de multiplexage…….21
Figure 2-3.Multiplexage TDM……..22
Figure 2-4.Principe de la technique WDM……...22
Figure 2-5.Multiplexage WDM…….23
Figure 2-6.(a) Exemples de SOP linéaire, circulaire et elliptique. (b) Représentation de la polarisation orthogonale dans la sphère de Poincaré. (c)Exemple d'ellipses orthogonales de polarisation……26
Figure 2-7.Les types de fibres utilisées dans la technique SDM……...28
Figure 2-8.Principe de transmission par fibre multi-cœurs……..29

Figure 2-9.Principe du multiplexage MDM dans les fibres multimodes : exemple d'une transmission de trois modes……...30
Figure 2-10.Technique OCDMA……31

Chapitre 3

Figure 3-1.Interface du logiciel OptiSystem……...33
Figure 3-2.Bibliothèque des composants……34
Figure 3-3.Le diagramme de l'œil……..36
Figure 3-4.Liaison de système WDM……37
Figure 3-4.Génération des données par utilisateur……..38
Figure 3-5. Partie d'émission……...38
Figure 3-6.Récepteur……....38
Figure 3-7.Courbe de BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs de la technique WDM....39
Figure 3-8.Courbe de BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs de la technique WDM.40
Figure 3-9.Liaison WDM-PDM avec deux polarisations……...41
Figure 3-10.Liaison de system WDM-PDM réalisé par logiciel Optisystem……41
Figure 3-11.BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 0°….43
Figure 3-12.BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 90°...43
Figure 3-13.BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 0°.44
Figure 3-14.BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 90°.45
Figure 3-15.Liaison de system MDM……46
Figure 3- 16.Les modes utilisé…… ...47
Figure 3-17.BER en fonction de débit pour deux utilisateurs……48
Figure 3-18.Diagrammes de l'œil du premier utilisateur……...49
Figure 3-19.Diagrammes de l'œil du deuxième utilisateur……49
Figure 3-20.BER en fonction de distance de deux utilisateurs……...50
Figure 3-21.Diagrammes de l'œil du premier utilisateur……...51
Figure 3-22.Diagrammes de l'œil du deuxième utilisateur……51

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1-1 : Tableau comparatif des types de fibres optiques……12
Tableau 1-2 : Les différents types de pertes……..13
Tableau 1-3 : Comparaison des caractéristiques des PIN et ADP…….18

Chapitre 2

Tableau 2-1 : Différents technologie de WDM……....24

Chapitre 3

Tableau 3-1.Les paramètres de simulation WDM…….38
Tableau 3-2.Les paramètres de simulation WDM-PDM……..42
Tableau 3-3.Les paramètres de simulation MDM…….47

LISTE DES ABREVIATIONS

A	
ADP	Avalanche PhotoDiode
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B	
BER	Bit Error Rate
C	
CW	Continuous Wave
D	
DEL	Diode électroluminescente
DL	Diode laser
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
F	
FDM	Frequency Division Multiplexing
FO	Fiber Optique
FWM	Four Wave Mixing
L	
LAN	Local Area Network
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	Light-Emitting Diode
LP	Linearly Polarized
M	
MCF	Multi-Core Fiber
MDM	Mode Division Multiplexing
MMF	MultiMode Fiber
N	
NRZ	Non Return to Zero
O	
OCDMA	Optical Code Division Multiple Access
OTDM	Optical Time Division Multiplexing
P	
PDM	Polarization Division Multiplexing
PIN	Positive Intrinsic Negative
PON	Pasive Optical Network
PVC	Poly Chlorure de Vinyle
R	
RZ	Return to Zero
S	
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDM	Space Division Multiplexing

SOP	State Of Polarisation
SPM	Self Phase Modulation
SRS	Stimulated Raman Scattering
T	
TEB	Taux d'Erreur Binaire
TDM	Time Division Multiplexing
U	
UWDM	Ultra Wavelength Division Multiplexing
W	
WDM	Wavelength Division Multiplexing
X	
XPM	Cross Phase Modulation

INTRODUCTION GENERAL:

De nos jours, les technologies utilisant la fibre optique sont presque utilisées dans plusieurs de domaine, pour la diffusion des programmes télévisés, contrôle des usines, interconnexion des banques, gestions des transmissions militaires, la télémédecine et l'administration numérique. Dans les années 1970, la première fibre optique fut concevoir par les trois chercheurs de la compagnie Corning Glass Works de New York il s'agit de Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck. Cette fibre était capable d'acheminer 65000 fois plus de donner qu'un simple câble en cuivre. En 1977, les laboratoires Bell Labs aux Etats Unis réalisent le tout premier système de télécommunication par fibre optique ainsi que l'apparition des premières diodes LASER. Ce fut une liaison de 640m constitué de 144 fibres optiques, supportant chacun 44Mbits/s de débit équivaut à 700 communications téléphoniques simultanées [49].

A l'arrivée de la fibre optique, le monde des télécommunications a connu un grand essor en compensant les performances et l'offre en bande passante et débits que le cuivre n'est plus en mesure de répondre face à la demande du très haut débit des nouveaux services multimédias. Depuis l'apparition de la technique du multiplexage optique, la transmission des données par fibre optique s'est largement accélérée et le débit binaire transporté par une seule et unique fibre peut aller à des dizaines de Gigabit/s. C'est des technologies qui permettent d'augmenter les débits dans les réseaux optiques.

Notre travaille porte sur étude et simulation sur des techniques de multiplexage optique, repartie en trois chapitres, le premier chapitre est basé sur des généralités sur les systèmes de transmission par fibre optique, On va décrire les différentes opérations et composantes d'une liaison optique de l'émetteur vers le récepteur passant par la fibre optique, On présentera la fibre et leur types, caractéristiques et les avantage de la fibre. Aussi s'ajoute les différents effets de propagation tel que l'atténuation, et la dispersion, l'effet de Kerr et l'effet de Raman qui limitent les performances de ces systèmes.

Quant au deuxième chapitre , nous avons identifié diverses techniques de multiplexage optique tel que la technique OTDM , la technique WDM , la technique PDM , la technique OCDMA , et la technique SDM et expliqué chaque technique pour décrire sa théorie en général , et pour bien comprendre le principe de travail de ces technique de multiplexage optique .

Le troisième chapitre fait l'objet de la planification et la simulation d'une transmission WDM, WDM-PDM et MDM, tout d'abord nous allons présenter une brève description de notre

outil logiciel de travail « OPTISYSTEM », en suite on a fait notre simulation.et nous ulster les résultats. Les résultats obtenus par simulation vont être discutés en général par rapport le BER Enfin, nous conclurons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de transmission optique

1. Introduction :

Le monde d'aujourd'hui a vu un bond en avant extrêmement remarquable dans les télécommunications en général et la transmission optique en particulier. L'apparition des fibres optiques remonte à la décennie 60. Cette technologie se maintient à se développer jusqu'à nos jours, pour le but d'améliorer les performances de la transmission par des débits importants ce développement a révolutionné le domaine des télécommunications et l'internet à haut débit, ce débit peut atteindre 1 Tbit/s.

Dans ce chapitre, nous commencerons par décrire les systèmes de transmission optique qui seront étudiés à partir de l'émetteur vers le récepteur et passant par le canal de communication (fibre optique). Dans la partie d'émission, nous allons présenter les différentes parties et opérations qui sont nécessaires pour présenter le signal optique avant la propagation en fibre optique. Par la suite, on décrira la fibre optique (définition, caractéristiques, types...etc.). Enfin, nous allons finir par la partie de la réception.

2. Description d'une chaine de transmission par fibre optique :

Comme tous les systèmes de communications, les liaisons optiques se basent sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information :

- L'élément d'émission (une source optique)
- Le canal de communication (fibre optique).
- Le récepteur.



Figure 1-1 : Schéma synoptique d'une liaison optique.

2.1. L'émetteur optique :

Le rôle d'un émetteur optique est de convertir le signal électrique en forme optique et de lancer le signal optique résultant dans la fibre optique [15]. La nécessité d'utiliser des bandes

passantes de plus en plus larges impose le choix de source sa spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes(DEL). [1] [2]

2.1.1. Les diodes laser :

Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur et d'une boucle de contre-réaction. La diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre.

La diode laser présente les caractéristiques suivantes : [5]

- ✓ La source est cohérente et monochromatique.
- ✓ Largeur de spectre étroite.
- ✓ Les émissions se font dans la même direction (diagramme de rayonnement directif).
- ✓ Utilisée dans les systèmes de transmission à grande distance.

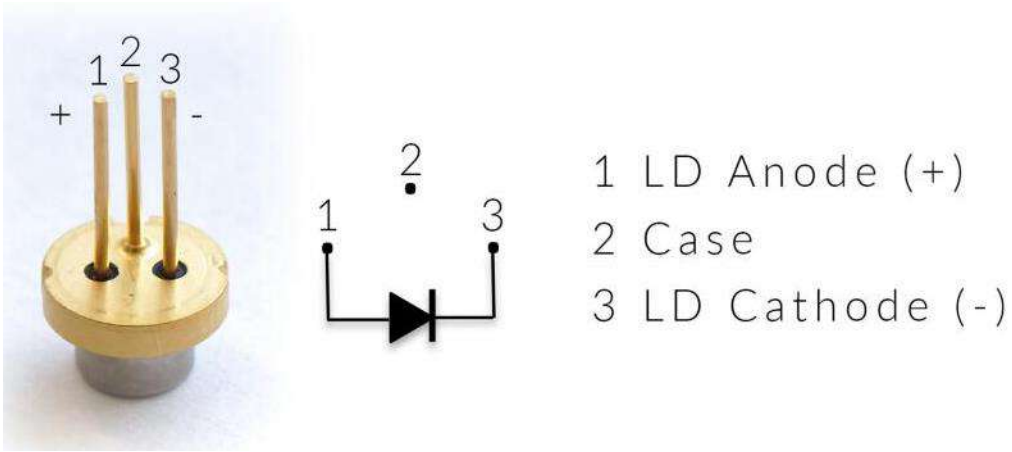


Figure 1-2 : Diode laser.

2.1.2. Les diodes électroluminescentes (LED) :

La LED est un composant qui émet un signal optique lorsqu'une tension est appliquée à ses bornes. [6,7]

Une LED est caractérisée par :

- ✓ Une longue durée de vie sans entretien.
- ✓ Une faible puissance émise (quelque mW).
- ✓ Un faible coût.

En fait, Les LEDs sont utiles pour des applications à faible coût nécessitant une transmission de données à des faibles débits et courtes distances. [8]

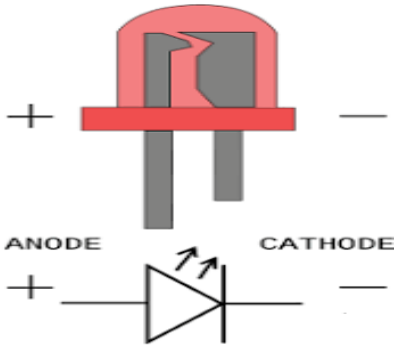


Figure 1-3: Structure d'un LED.

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 codage les 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 rapport au codage NRZ.

Cependant, le codage RZ est plus vulnérable à la dispersion en raison de sa plus grande bande passante, et les configurations fournissant le format d'impulsion RZ sont plus coûteuses, ce qui favorise le codage NRZ dans les réseaux à courtes et moyennes distances. [9, 10]

2.3. Modulation :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, qui est une fonction essentielle de tout système de transmission [11]. Pour réaliser la modulation, on a deux techniques :

2.3.1. Modulation direct : [12]

Cette méthode de modulation est considérée comme la plus simple, fondée sur la variation de la courante source. Les porte-chargeurs injectés dans la zone active du laser sont convertis en ondes de lumière.

L'inconvénient de cette technique est l'aspect du bruit laser pour des débits élevés.

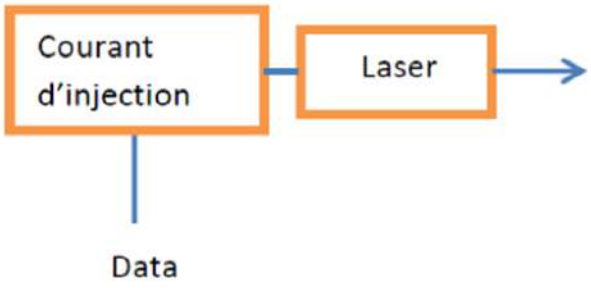


Figure 1-4 : Modulation direct.

2.3.2. Modulation externe :

Ce type de modulation est constitué de deux éléments principaux :

- Un laser à onde continue (*CW*).

- Un Modulateur utilisé comme commutateur pour permettre à la lumière de passer quand les données correspondent à un ‘’1‘’ et de le bloquer quand le signal est un ‘’0’’. [13]

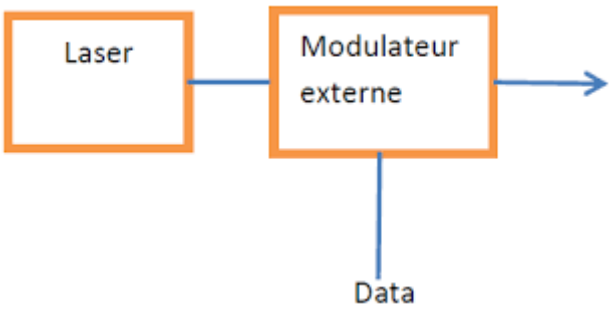


Figure 1-5 : Modulation externe.

2.3.3. Comparaison :

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques Gbits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité correcte.

Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important. [11]

2.4. La fibre optique :

2.4.1. Description de la fibre optique :

La fibre optique est un médium pour la propagation de la lumière. Il s'agit d'un guide d'ondes diélectrique à géométrie cylindrique appelé cœur où la lumière se déplace [17]. La représentation de l'information dans la fibre définie par la présence d'impulsions lumineuses représente l'information binaire 1, tandis que l'absence d'impulsions lumineuses est représentée par l'information binaire 0.

Elle est constituée de 3 éléments concentriques comme représenté ci-dessous :

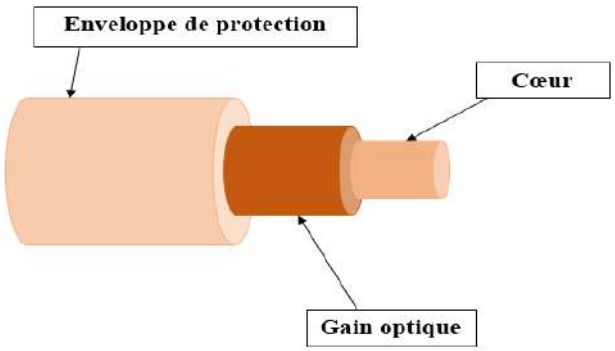


Figure 1-6 : Structure d'une fibre optique.

✓ **Le cœur :** Fabriqué en verre, la lumière est guidée et propagée le long de la fibre, avec un indice de réfraction n_c.

✓ **La gaine optique** : Couches de verre entourant le cœur. La composition du verre utilisé est différente de celle du cœur. L'association de ces deux couches permet de confiner la lumière dans le cœur par réflexion totale de la lumière à l'interface cœur-gaine, avec un indice de réfraction n_g.

✓ **L'enveloppe de protection** : C'est une couche de protection mécanique, généralement en PVC.

2.4.2. Principe de fonctionnement de la fibre optique :

2.4.2.1. Loi Snell Descartes :

Le principe physique majeur qui a inspiré la technologie des fibres optiques est ce qu'on appelle « la réflexion totale interne ». Ceci découle de la loi de la réfraction ainsi que celle de la réflexion.

La loi correspondant à ce principe est : la loi de Snell Descartes est représentée par l'équation :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (1.1)$$

Où : n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des deux matériaux, $\sin\theta_1$ et $\sin\theta_2$ sont les angles d'incidence et de réfraction respectivement.

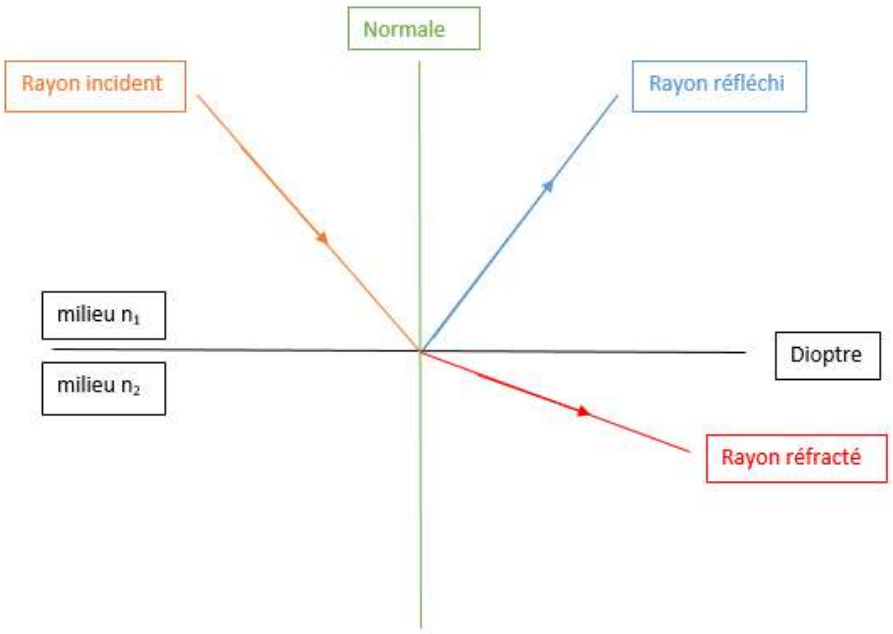


Figure 1-7 : La loi de Snell Descartes

Les angles des rayons sont mesurés par rapport à la normale. Il s'agit d'une ligne tracée à angle droit par rapport à la ligne de démarcation (dioptre) entre les deux indices de réfraction. Les angles des rayons entrants et sortants sont appelés respectivement angles d'incidence et de réfraction.

Remarquons que l'angle augmente lorsqu'il passe du matériau à indice de réfraction plus élevé à celui à indice de réfraction plus faible. [14]

2.4.2.2. L'ouverture numérique :

L'angle limite d'acceptation de la lumière par le guide exprime la capacité de capturer la lumière d'une source à sa partie frontale. Elle est directement liée à l'ouverture du cône d'acceptation des rayons de lumière critiques conduisant encore à une réflexion totale, comme le montre la figure suivante :

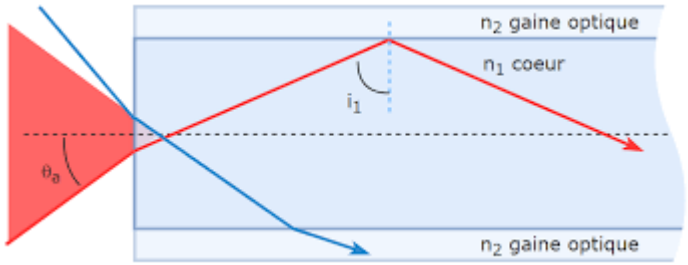


Figure 1-8 : L'angle d'ouverture.

Pour les fibres monomode, l'utilisation d'une source laser est préférable car l'ouverture numérique est faible. Mais pour les fibres à gradient d'indice, où il varie le long d'un diamètre, l'ouverture numérique est alors maximale sur l'axe de la fibre et s'annule à la périphérie du cœur. Si l'entrée fibre est par air (n_0=1), l'ouverture numérique est indiquée par :

$$ON = sin(\theta_0) = \sqrt{{n_1}^2 - {n_2}^2} \qquad (1.2)$$

2.4.2.3. L'indice de réfraction :

L'indice de réfraction (n) d'un milieu est défini comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide (c) par la vitesse de la lumière dans ce milieu (v) :

$$n = \frac{c}{v} \qquad (1.3)$$

Où c et v sont exprimées avec les mêmes unités de vitesse (m/s ou km/s en général).

Remarque : l'indice de réfraction toujours est inférieur ou égal à 1.

2.4.3. Avantage de fibre optique :

✓ Faible atténuation : la fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de plus longues distances en nécessitant moins de répéteurs.

✓ Grande bande passante : la fibre optique permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre. Les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz.km pour des fibres

multimodes, et > 10 GHz.km pour des fibres monomodes, comparées à 10 à 25 MHz.km pour des câbles électriques usuels.

✓ Insensibilité aux perturbations électromagnétiques : les fibres optiques sont immunes aux parasites électromagnétiques, et elles-mêmes n'émettent aucune radiation.

✓ Liaison non détectable : les câbles à fibre optique étant dans la plupart des cas totalement diélectriques, ils sont transparents vis à vis de tous types de détecteurs.

✓ Isolation électrique : les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions entre points de potentiels électriques différents, et au voisinage d'installations à haute tension.

2.4.4. Type des fibres optiques :

Il y'a trois types de la fibre utilisée sont :

- la fibre optique multimode à saut d'indice.
- la fibre optique multimode à gradient d'indice.
- la fibre optique monomode.

2.4.4.1. La fibre optique multimode à saut d'indice : [18]

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN. Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice. Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique.

C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie".

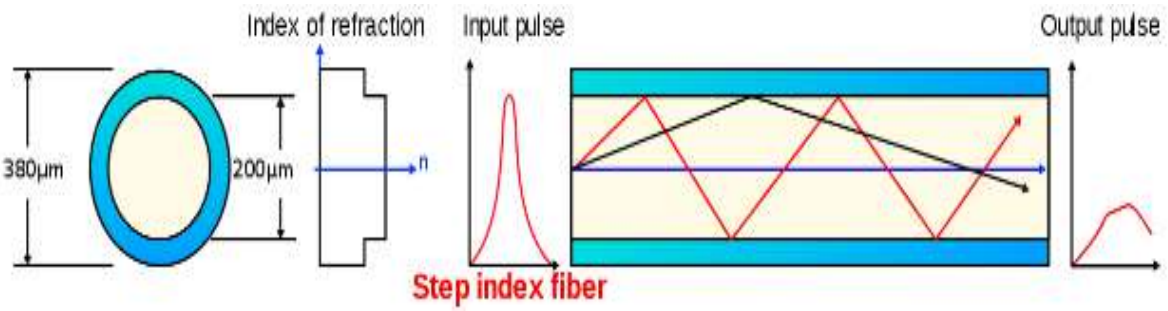


Figure 1-9 : Fibre optique à saut d'indice.

2.4.4.2. La fibre optique multimode à gradient d'indice : [18]

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine.

Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique.

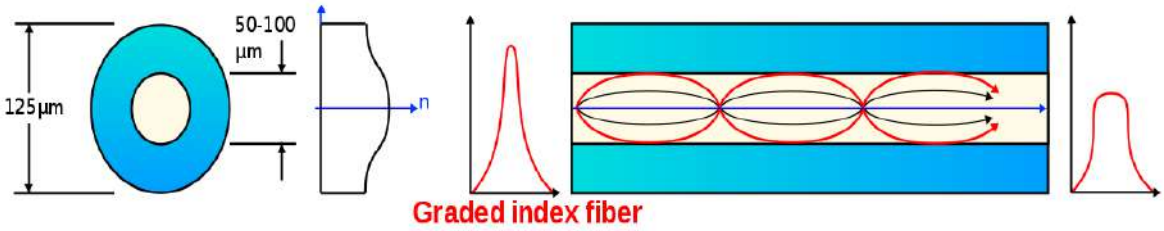


Figure 1-10 : Fibre optique multimode à gradient indice.

2.4.4.3. Fibre monomode : [18]

✓ La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux.

✓ Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite.

✓ La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu de l'ordre de 10µm.

✓ L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui en fait sa force.

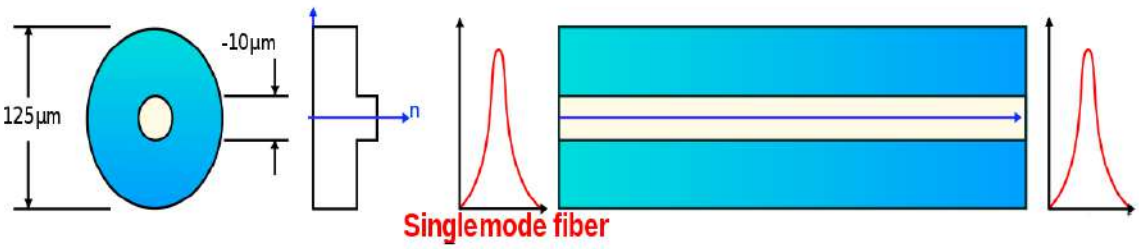


Figure 1-11 : Fibre optique monomode.

2.4.4.4. Tableau de Comparaison :

Caractéristiques	***Types de fibre***		
	à saut d'indice	*à gradient d'indice*	*Monomode*
Taille de cœur	*très large*	*Intermédiaire*	*très fin*
Atténuation	*très importante*	*moins importante que sur les fibres à saut d'indice*	*quasi nulle*
Début	*environ 100 Mbit/s*	*environ 1 Gbit/s*	*environ 100 Gbit/s*
Portée maximal	*environ 2 Km*	*environ 2 Km*	*environ 100 Km*
Affaiblissement	*10 dB/Km*	*10 dB/Km*	*0,5 dB/Km*

Tableau 1-1 : Tableau comparatif des types de fibres optiques.

2.4.5. Les caractéristiques de la fibre optique :

Une fibre optique est caractérisée par :

2.4.5.1. Atténuation :

Une perte, ou atténuation, dans la fibre optique entraîne la perte d'énergie de la lumière dans la fibre. Elle est mesurée en dB/Km. [16]

La longue portée employée avec les fibres optiques influence directement le signal de lumière, mais ce n'est pas la seule cause d'atténuation qui existe.

Le tableau suivant présente les différents types d'atténuation [18] :

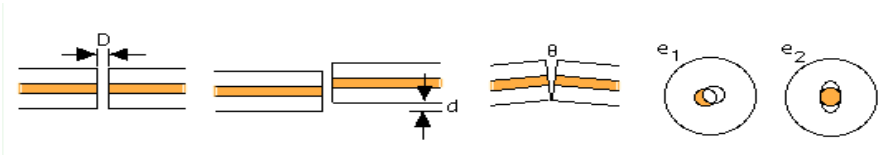
Type de perte	**Explication**
Absorption	✓ Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
Diffusion	✓ Variation local de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. ✓ Changements de densité ou de composition dans la matière.
Courbures	✓ Torsion dans la fibre. ✓ Non-respect du principe de réflexion totale interne.
Dispersion chromatique	✓ Variation de la vitesse des signaux lumineux de longueurs d'onde différents.
Dispersion intermodale	✓ Phénomène applicable uniquement aux fibres multimodes. ✓ Variation en temps de la propagation des signaux lumineux empruntant des modes différents.
Pertes de connectique	✓ Séparation longitudinale. ✓ Désalignement radial/angulaire. ✓ Excentricité/ellipticité des cœurs. 

Tableau 1-2 : Les différents types de pertes.

2.4.5.2. Bilan des pertes :

Pour résumer toutes ces pertes et atténuations qui existent au sein d'une fibre optique, voici un schéma récapitulatif :

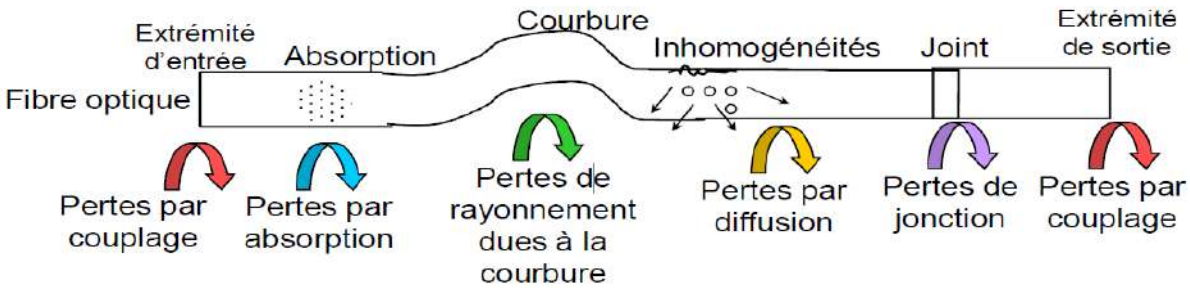


Figure 1-12 : Bilan des pertes au sein d'une fibre.

Les pertes introduites par couplage sont en général d'environ 0,2 dB.

2.4.5.3. Types de dispersion :

Il existe deux types de dispersions dans les fibres :

2.4.5.3.1. Dispersion modal :

Dans une fibre optique multimode, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente. L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons, composant le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique-électrique; cette distorsion est la Dispersion Modale.

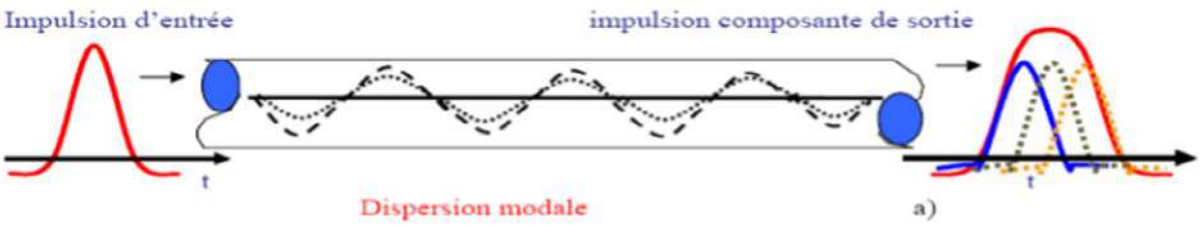


Figure 1-13: Dispersion modale.

2.4.5.3.2. Dispersion chromatique :

La dispersion chromatique dans une fibre optique à mode unique est la somme de la dispersion matérielle et de la dispersion du guide d'onde, et elle contribue à l'étalement des impulsions et à la distorsion dans un signal numérique. [4]

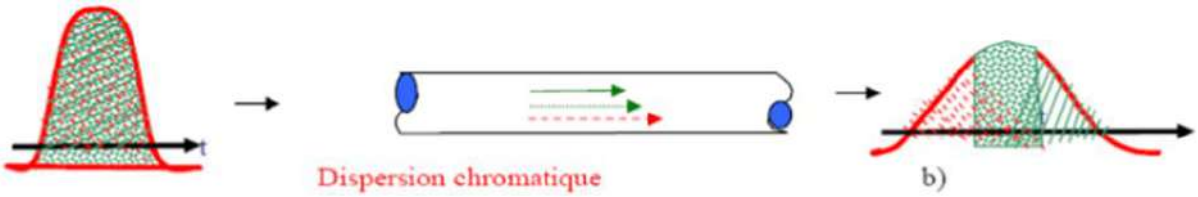


Figure 1-14 : Dispersion chromatique.

2.4.5.4. Les effets non-linéaires :

Les effets non-linéaires sont provoqués par la variation de l'indice de réfraction du milieu avec l'intensité du signal transmis. Les effets non linéaires se divisent en deux catégories générales. La première catégorie résulte de la modulation de l'indice de réfraction par des changements d'intensité du signal (effet Kerr). La deuxième catégorie de non-linéarités correspond aux processus de diffusion stimulée, tels que la diffusion de Brillouin stimulée (en Anglais SBS : Stimulated Brillouin Scattering) et la diffusion Raman stimulée (en Anglais SRS: Stimulated Raman Scattering), qui sont des interactions entre les signaux optiques et les vibrations acoustiques ou moléculaires dans la fibre. [12]

2.4.5.4.1. Effet de KERR [12] :

Tous les matériaux optiques transparents sont touchés par un changement d'indice de réfraction en fonction de l'intensité des ondes optiques, ce phénomène est appelé l'effet optique Kerr, et il se décompose en trois cas. L'auto-modulation de phase (en Anglais SPM : Self Phase Modulation), par laquelle un signal optique modifie sa propre phase. La modulation de phase croisée (en Anglais XPM : Cross Phase Modulation), où un signal affecte les phases de tous les autres signaux optiques et vice-versa. Et le mélange à quatre ondes (en Anglais FWM : Four WaveMixing) par lequel des signaux avec des fréquences différentes interagissent pour produire un mélange des bandes latérales. Les effets non-linéaires que nous avons montrésci-dessus ont plusieurs influences sur les systèmes de communication :

✓ Le SPM conduit à un changement du comportement de dispersion dans les systèmes de transmission à haut débit.

- ✓ Les effets XPM, SRS et SBS déterminent une diminution du rapport signal / bruit.
- ✓ Le FWM et aussi le SRS augmenteront la diaphonie entre les différents canaux WDM.

2.5. Récepteur :

Un récepteur optique reconvertit le signal optique reçu à l'extrémité de sortie de la fibre optique en signal électrique d'origine.

Il se compose d'un coupleur, d'un photo-détecteur et d'un démodulateur. Le coupleur focalise le signal optique reçu sur le photo-détecteur. Les photodiodes à semi-conducteurs sont utilisées comme photo-détecteurs en raison de leur compatibilité avec l'ensemble du système. La conception du démodulateur dépend du format de modulation utilisé par le système à ondes lumineuses. [15]

Il existe deux types de photodiode qui sont couramment utilisés dans les équipements (APD). [16]

2.5.1. Photodiode PIN (Positive-Intrinseque-Negative):

L`appellation PIN fait référence aux dopages des trois couches de semi-conducteurs utilisées dans leur partie active respectivement de type P, intrinsèque i et de type N. [19]

Les photodiodes PIN sont les plus utilisés car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante.

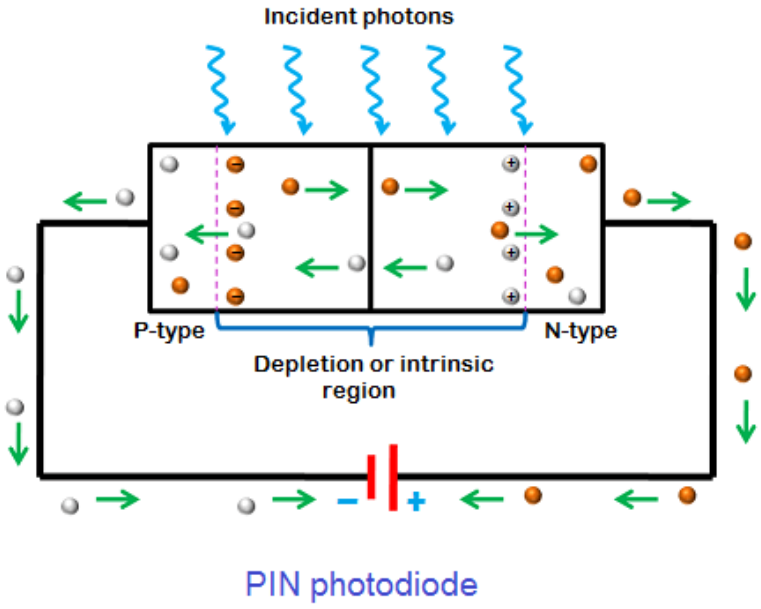


Figure 1-15 : Structure de PIN.



Figure 1-16 : Structure commerciale de PIN.

2.5.2. Photodiode avalanche ADP :

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal à bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiodes, comme les photodiodes à gain interne de type avalanche. La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisés grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte. [20]

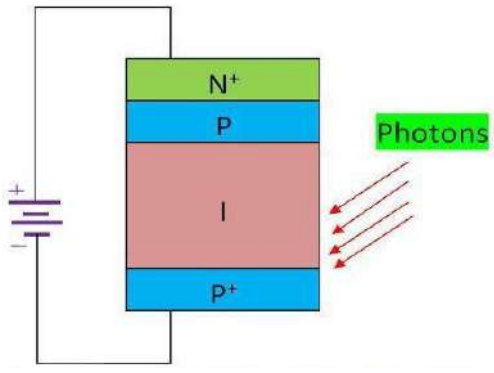


Figure1-17 : Photodiode avalanche.



Figure 1-18 : La structure d'ADP dans le marché.

2.5.3. Comparaison entre les photodiodes PIN et ADP :

Une comparaison entre leurs principales caractéristiques est présentée dans le Tableau ci-dessous:

		PIN	ADP
Caractéristique	fréquence de coupure(GHz)	>60	quelque
	bande passante (GHz)	faible	élevé
	longueur d'onde (nm	large	faible

Tableau 1-3 : comparaison des caractéristiques des PIN et ADP.

3. Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu une description système de transmission sur fibre optique, les composantes d'un émetteur, le récepteur et ses caractéristiques, la composition de la fibre, ses différents types, ces avantages ainsi que ces inconvénients.

D'après les éléments de ce chapitre, on peut dire que l'usage de la fibre optique, devenue aujourd'hui indispensable en matière de transmission, et comme que la fibre optique a beaucoup d'avantage elle a aussi des inconvénients, il est vrai que la fibre optique a une largeur de bande et une vitesse plus élevées ainsi qu'une capacité de charge plus élevée, Les fibres optiques sont aussi plus fines et plus légères et offrent une meilleure durée de vie. Mais par contre la fibre optique est loin d'être un milieu de transmission idéal car il y'a différentes sources de distorsion

et aussi L’utilisation de la fibre optique est limité, car il y a différentes sources de distorsion et aussi l'utilisation de la fibre optique est limitée, et les sources émettrices de faible luminosité sont limitées à une faible puissance.

Chapitre 2 : Techniques de multiplexage par fibre optique

1. Introduction :

Au cours des dernières décennies, les technologies de communication ont énormément évolué, et avec la demande croissante de transmission de données en ligne, divers chercheurs dans ce domaine se sont efforcés de concevoir différents moyens technologiques afin d'assurer une transmission optimale et plus rapide de l'information, trouver des solutions pour augmenter la capacité de transmission des réseaux de fibres et tirer parti de l'avantage de la gamme fournie par les fibres optiques. A conduit au développement de différents types de techniques de multiplexage

Dans ce chapitre, nous allons montrer quelques techniques de multiplexage optique telles que, OTDM (Optical Time-Division Multiplexing) WDM (Wavelength Division Multiplexing), PDM (Polarization Division Multiplexing), SDM (Space Division Multiplexing) et$OCDMA$ (Optical Code Division Multiple Access),

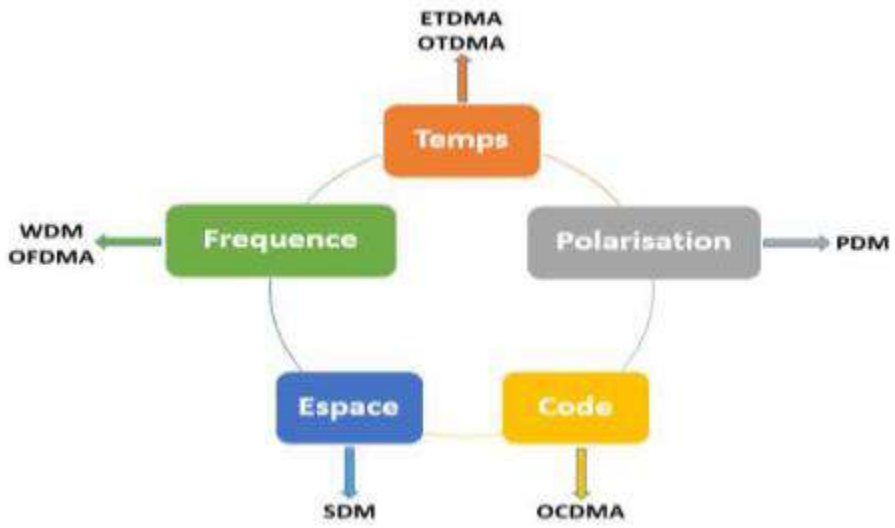


Figure 2-1: Les dimensions physiques utilisées pour le multiplexage optique.

2. Le multiplexage optique :

La bande passante des fibres optiques permet théoriquement l'établissement de systèmes de transmission à des débits très élevés. Cependant, le traitement électronique des données, à l'émission et à la réception, impose des limitations en termes de débits, dues aux composants électroniques dont la bande passante reste bien en deçà de celle accessible par l'optique. L'augmentation du nombre d'utilisateurs et de la quantité d'informations échangées dans les réseaux de communication a poussé au développement de solutions pour augmenter la capacité

des réseaux, et profiter de l'avantage en bande qu'offre la fibre optique. Des techniques de multiplexage ont ainsi été développées, chacune permettant de transmettre N signaux de débit D sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal global de débit N×D [2]. Le multiplexage dans le domaine optique ce qui signifie que la capacité de la fibre est divisée par des moyens optiques en plusieurs canaux accessibles individuellement et indépendamment. La division de la bande passante en canaux peut être réalise comme en électronique, dans la dimension temporelle ou dans la dimension des fréquences (ou longueurs d'onde). [39]

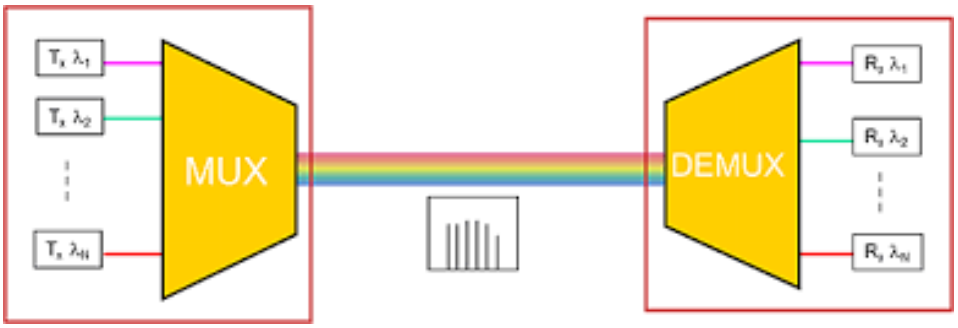


Figure 2-2: Principe de multiplexage.

3. Les techniques de multiplexage optique :

3.1. Le Multiplexage temporel (OTDM) :

Le TDM consiste à découper la bande passante de la fibre optique en unités de temps, que vont se partager les différentes communications. Ceci permet à un émetteur d'émettre plusieurs canaux numériques de base à faible débit sur le même support à plus haut débit.

L'information importante à se rappeler est la distribution du temps d'utilisation entre les communications et chaque signal est commuté à tour de rôle à haute fréquence.

Brièvement le multiplexage temporel :

- ✓ Offrir à un utilisateur à la fois, la totalité de la bande passante pendant un court instant.
- ✓ L'allocation se fait en divisant l'axe du temps en intervalles (τ).
- ✓ Utilisateur N transmet que pendant son intervalle de temps nτ. [33] [34]

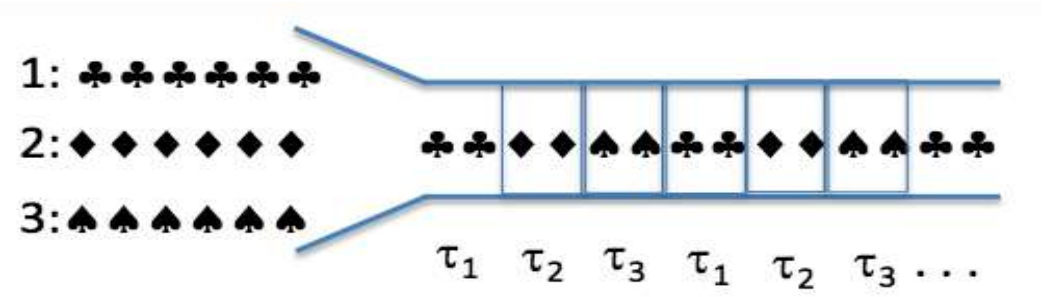


Figure 2-3 : Multiplexage TDM.

Cette technique est avantageuse car il programme les utilisateurs à des périodes de temps légèrement différentes, ce qui permet une plus grande utilisation d'un réseau moyen. Cependant, elle est désavantageuse dans le sens où il ne peut fonctionner que par l'intermédiaire d'un système à retard.

3.1.1. Applications de l'OTDM :

Le système OTDM est utilisé généralement dans le réseau PON (Passive Optical Network) en particulier dans le système hybride assemblé avec le système WDM (OTDM/WDM) afin de minimiser les effets non-linéaires et de maîtriser la bande passante des composants électroniques. [48]

3.2. Le multiplexage WDM :

La base du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) consiste à utiliser plusieurs sources fonctionnant à des longueurs d'onde légèrement différentes pour transmettre simultanément plusieurs flux d'informations indépendants sur la même fibre. La figure illustre le concept de base du WDM. Ici, N flux d'informations indépendants formatés optiquement, chacun transmis à une longueur d'onde différente, sont combinés au moyen d'un multiplexeur optique et envoyés sur la même fibre [43] [42]. La première apparition de ce concept est en 1970, selon les articles publiés [41].

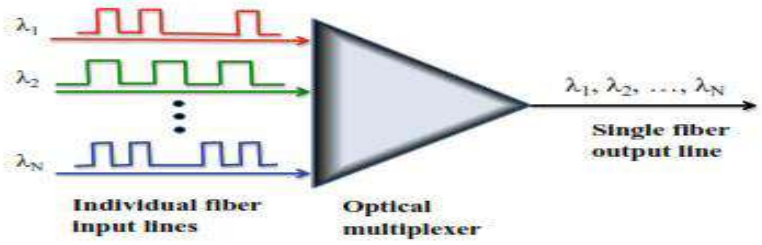


Figure 2-4: principe de la technique WDM.

3.2.1. Principe de fonctionnement :

Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, WDM), consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit. Ce n'est plus l'axe du temps qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur, mais la bande passante. Et chaque sous-bande est affectée à une voie, comme est illustré sur la figure (2-5) .Ainsi, plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquence particulière. Ce procédé est encore appelé multiplexage en fréquence (Frequency Division Multiplexing, FDM). Ces deux termes recouvrent la même notion, mais par habitude, on parle de multiplexage en longueur d'onde lorsque la séparation entre deux canaux est relativement grande (typiquement plus de 1 nm), tandis que l'on parle de multiplexage en fréquence lorsque cet écart est relativement petit [36].

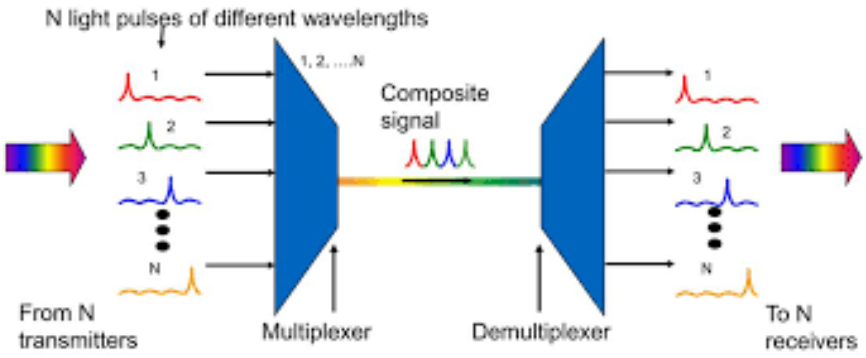


Figure 2-5 : Multiplexage WDM.

3.2.2. Les différentes technologies de WDM :

Il existe plusieurs technologie WDM, Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploité dans une fibre.

La technologie WDM est dite dense (D-WDM) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz. Des systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques.

Pour des espacements encore plus faibles, on parlera d'U-WDM : Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing. Ainsi, des systèmes à 10 GHz (0,08) permettent d'obtenir 400 canaux optiques.

Les systèmes WDM / DWDM les plus commercialisés aujourd'hui comportent 8, 16, 32, 80 canaux optiques, ce qui permet d'atteindre des capacités de 80, 160, 320, 800 Gbit/s en

prenant un débit nominal de 10 Gbit/s. On peut atteindre une capacité de 4 000 Gb/s (4 Tbit/s) avec 400 canaux optiques à 10 Gbit/s, en technologie U-DWDM. [44]

Types	Fenêtres	Espacements (nm)	Canaux	Débits potentiels
C-WDM	2éme	1,6 – 0,8	8 – 16	2,5 à 5 GHz
WDM	3éme	0,6	32	320G à 1,28 T
D-WDM	3ém	0,4 – 0,2	80 – 160	3 T à 12 T
U-WDM	3éme	0,08	400	10 T à 40 T

Tableau 2-1 : différents technologie de WDM

3.2.3. Les apports de la technologie WDM :

• La technologie WDM répond aux besoins d'augmentation de débits et de taux de partage dans le réseau d'accès.

• La transmission est transparente dans cette technologie, permet une indépendance vis-à-vis les protocoles et une indépendance entre canaux (On peut trouver sur une même fibre de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM)

• Nous pouvons trouver plusieurs applications pour cette technologie par exemple : le multiplexage en longueurs d'onde pour la commutation et le routage optique.

• La limite en débit imposée par le TDM peut être dépassée en introduisant le WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur [35].

3.2.4. Les limites de la technologie WDM :

Nous pouvons citer quelques limitations du multiplexage optique:

- ✓ Effet de la diaphonie.
- ✓ Effet de la polarisation au niveau des multi/démultiplexeurs (pertes d'insertion).
- ✓ Diaphonie due à la conversion Raman.
- ✓ Diaphonie due à d'autres phénomènes non linéaires (produisent lors de la propagation du signal dans la fibre dépendamment du niveau de puissance véhiculé).
- ✓ Espace entre voies lié aux relations d'incertitude.
- ✓ Effet de filtrage de longueur d'onde sur les lasers multimodes.

3.3. La technique PDM :

Un signal lumineux est défini par son intensité, sa longueur d'onde et sa polarisation. Dans le présent système, nous utilisons l'intensité pour coder l'information à délivrer, et la polarisation pour séparer plusieurs canaux. Chaque signal lumineux d'entrée à un angle de polarisation différent est modulé pour représenter un canal de données numériques. Tous ces signaux lumineux d'entrée sont combinés à la source en un seul signal lumineux incident se déplaçant dans l'espace libre. Ce signal lumineux incident l'entrée de notre système. [45]

La technique de multiplexage par répartition en polarisation (PDM) a été largement utilisée dans les systèmes de communication optique pour améliorer la capacité de transport des données. [37]

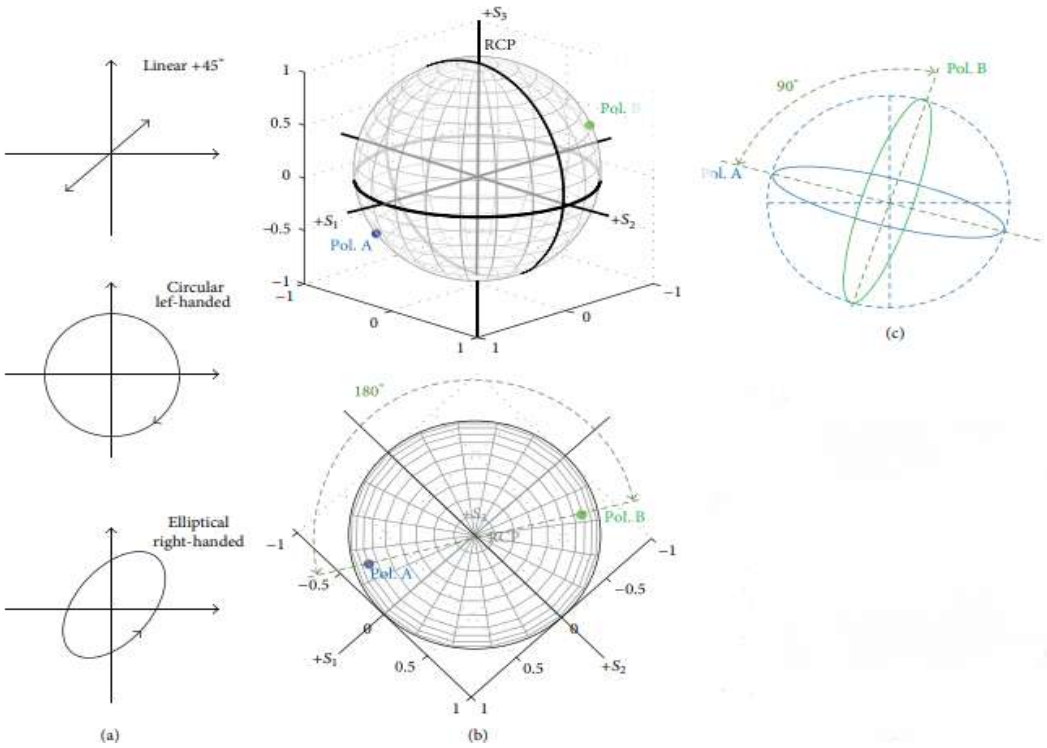


Figure 2-6 : (a) Exemples de SOP linéaire, circulaire et elliptique. (b) Représentation de la polarisation orthogonale dans la sphère de Poincaré. (c)Exemple d'ellipses orthogonales de polarisation.

Le multiplexage par répartition en polarisation optique repose sur la transmission de signaux modulés indépendamment sur des polarisations orthogonales de la même longueur d'onde optique. En optique, l'état de polarisation optique (SOP : State Optical Polarised) est défini comme la forme tracée par le vecteur champ électrique de la lumière transmise dans un plan fixe. La figure 2-6 (a) montre quelques exemples de SOP, notamment les états de polarisation linéaire, circulaire et elliptique. [38]

La polarisation linéaire est obtenue lorsque la direction du vecteur électrique est constante (le champ électrique de la lumière est constant). Vecteur électrique est constante (les vecteurs de champ électrique le long de des directions Ex et Ey sont en phase). Lorsque Ex et Ey sont exactement déphasées de quatre-vingt-dix degrés, on a une polarisation circulaire. Il existe des polarisations circulaires/elliptiques droites ou gauches, en fonction de la direction dans laquelle le vecteur du champ électrique tourne. Le vecteur de champ électrique tourne, c'est-à-dire, si le vecteur de champ électrique est vu comme tournant dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse. [38]

Chaque canal de données a un angle de polarisation unique. S'il s'agit d'un système à deux

canaux de données, les angles de polarisation des canaux de données sont de 0° et 90°. S'il s'agit d'un système à trois canaux, les angles de polarisation des canaux de données sont de 0°, 60° et 120°. Et s'il s'agit d'un système à quatre canaux, les angles de polarisation des canaux de données sont de 0°, 45, 90o et 135°. [37]

La figure 2-6 (b) montre un exemple de deux SOP orthogonaux représentés dans la sphère de Poincaré. L'état de polarisation est défini à l'aide des paramètres de Stokes qui peuvent être représentés dans la sphère de Poincaré sur le vecteur tridimensionnel de coordonnées cartésiennes appelé $S1$, $S2$ et $S3$. Le pôle de polarisation circulaire droit (RCP) est inclus dans la sphère à titre de référence. Comme le décrit la figure 2-6 (b), deux polarisations sont orthogonales si elles sont séparées de 180° dans la sphère de Poincaré. La figure 2-6 (c) montre les ellipses de polarisation pour chaque polarisation. Dans la représentation des ellipses de polarisation, deux états sont orthogonaux s'ils ont un déphasage de 90° (comme le sinus et le cosinus).

3.4. La technique SDM :

Le multiplexage par répartition spatiale (SDM) est la technique de multiplexage la plus simple pour l'utilisation simultanée de plusieurs canaux de transmission parallèles avec des supports de transmission distincts [21]. La capacité d'un système multiplex dépend des caractéristiques mécaniques des câbles, comme leur poids, leurs dimensions, etc.

Le SDM de deux variétés différentes peut être employé pour transmettre des informations indépendantes sur des canaux spatiaux différents au sein d'une seule fibre, ce qui permet une nouvelle croissance multiplicative de la capacité. [23]

Ces canaux spatiaux peuvent être implémentés en deux méthodes principales (figure 2-7), la première méthode est basée sur les fibres multimodes, elle est appelée le multiplexage en mode (en Anglais MDM : Mode Division Multiplexing). La deuxième méthode est basée sur des fibres multi-cœurs (en Anglais MCF : MultiCoreFiber), et nous pouvons ajouter une troisième méthode basée sur la combinaison de ces deux méthodes, c’est-à-dire la transmission multimode dans une fibre multi-cœurs. [24] [12]

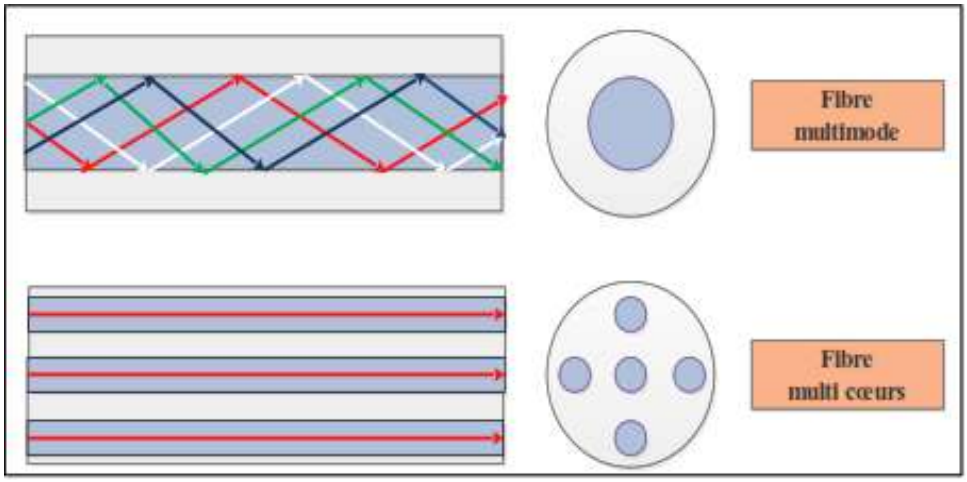


Figure 2-7: Les types de fibre utilisés dans la technique SDM.

Cette technique est Caractérisée par :

✓ Le chemin de routage du canal est déterminé par différentes positions spatiales (emplacement des fibres).

✓ Une matrice de commutation spatiale à haut débit est formée.

A l'heure actuelle, le SDM n'est pas encore utilisé dans nos réseaux quotidiens mais il se place comme une innovation de rupture dans le domaine. [47]

3.4.1. La technique MFC :

Dans les MCF(en anglais Multi CoreFiber), plusieurs cœurs partagent une gaine commune, la principale distinction étant le niveau de couplage entre les noyaux. [22]. La figure suivante est présente le principe de transmission par fibre multi-cœurs.

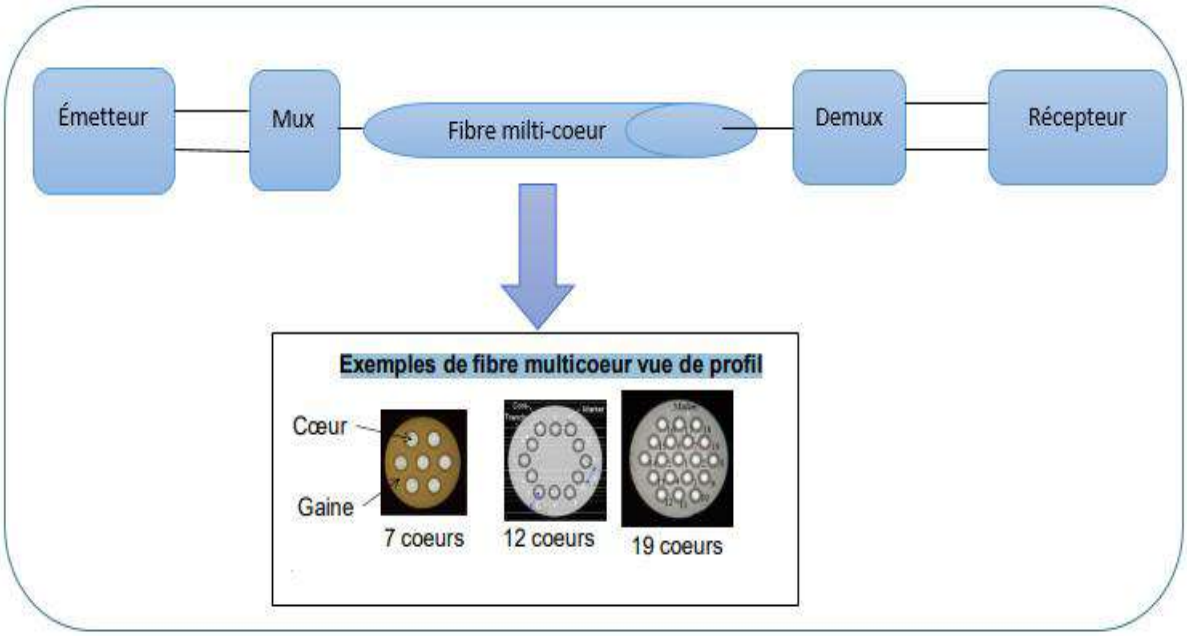


Figure 2-8 : Principe de transmission par fibre multi-cœurs

Un système spécifique appelé multiplexeur permet l'injection la lumière provenant de plusieurs fibres monomodes dans les différents cœurs de la fibre multi-cœurs. Après propagation dans la fibre multi-cœurs, le signal contenu dans chacun des cœurs est récupéré dans des fibres monomodes grâce à un montage similaire au multiplexeur mais utilisé en sens inverse. [24]

De nombreuses développements de transmission dans les fibres possédant trois, quatre et sept cœurs ont été réalisées [25] [26], puis le nombre des cœurs a été augmenté jusqu'à douze [27] et dix-neuf [28] pour atteindre des débits très élevés. Actuellement, le nombre maximum de cœurs pour la propagation multi-cœurs est de trente-deux [29].

3.4.2. La technique MDM :

Multiplexage par répartition en mode utilisant des fibres multimodes ou des fibres à modes réduits, dans lesquelles un seul brin de fibre possède un cœur dont la section transversale est suffisamment grande pour supporter un certain nombre de modes de guidage indépendants [31]. MDM peut augmenter la capacité d'une seule fibre proportionnellement au nombre de modes utilisés [23].

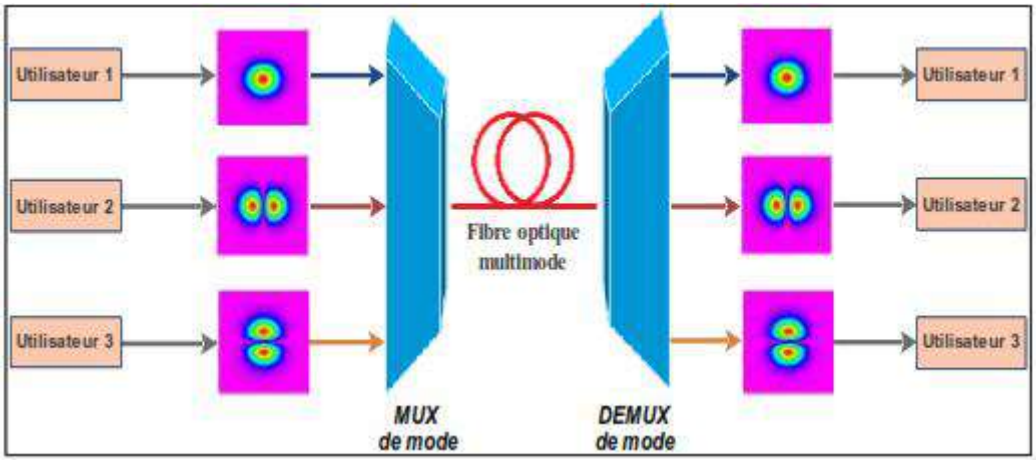


Figure 2-9 : Principe du multiplexage MDM dans les fibres multimodes : exemple d'une transmission de trois modes

Les systèmes MDM sont composés de trois éléments essentiels,qui sont la fibre MMF, l'emetteurTx et recepteurRx, et l'element le plus crutial est le Mux/Demux de mode. L'objectif d'un multiplexeur de mode spatial est la conversion des modes fondamentaux d'une fibre monomode vers des modes appelés les modes linéairement polarisés (en Anglais LP : linearlypolarized), puis les combiner ensemble et les propager dans la fibre multimode. A la réception, il suffit d'avoir l'opération inverse pour récupérer l'information. La technique MDM souffre de la perte induite par le multiplexeur lorsque l'insertion des modes, et aussi de la diaphonie entre modes. [12]

3.5. OCDMA [32] :

OCDMA est le concept d'attribution de codes à chaque utilisateur dans un réseau de communication par fibre optique. L'utilisateur transmet le code lorsqu'un « 1 » doit être transmis et ne transmet rien lorsqu'un « 0 » doit être transmis. Initialement, OCDMA a été considéré comme une technologie pour les réseaux locaux (LAN) à fibre optique. Avec les progrès de la technologie, l'OCDMA est en concurrence avec d'autres technologies telles que WDM et DWDM. Des expériences pratiques sont également menées. Également poursuivies.

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). [46]

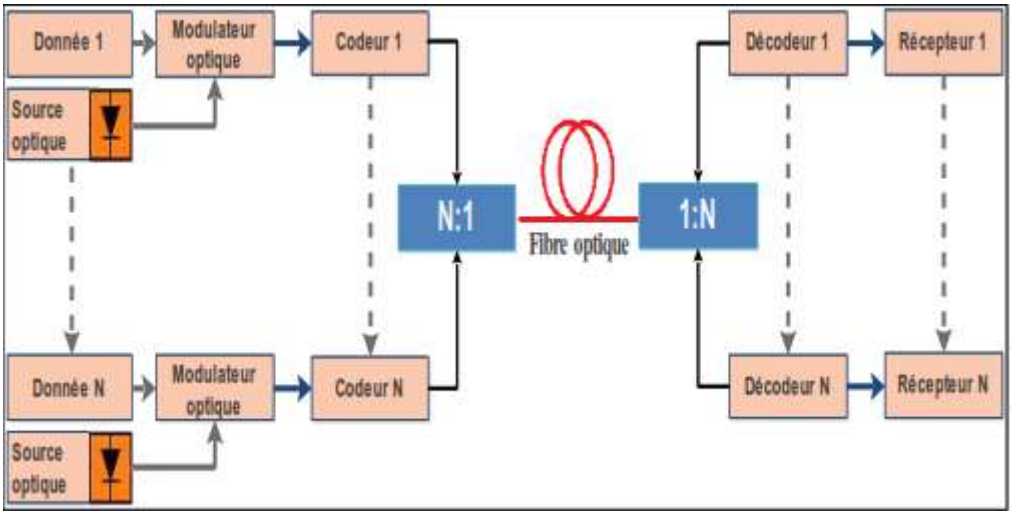


Figure 2-10 : technique OCDMA.

Le principal avantage de l'OCDMA est la communication asynchrone, qui réduit considérablement les ressources optiques nécessaires à la récupération du temps. L'OCDMA synchrone a également été signalé. Ont également été signalés, mais le principal avantage de l'OCDMA est perdu.

L'OCDMA peut être considéré comme une alternative viable au DWDM. De nombreux types de codes différents ont été proposés pour l'OCDMA.

Dans ce système de multiplexage, il existe deux classifications de l'OCDMA notamment cohérent/incohérent.

3.5.1. L'OCDMA cohérent [48] :

L'OCDMA cohérent utilise la propriété cohérente de la lumière et met en œuvre le codage bipolaire du signal optique, c'est à dire le codage de la phase et de l'amplitude des signaux optiques.

Ce type d'OCDMA utilise des séquences de code bipolaire (-1, +1) dont les données sont codées en amplitude et en phase. Les codes utilisés dans ce cas sont des codes orthogonaux (Gold et Walsh). L'inconvénient de cette technique est l'écrasement de la phase des signaux bipolaires durant la transmission par le canal optique à détection directe dont l'implémentation de cette dernière est généralement complexe, difficile et coûteuse

3.5.2. L'OCDMA incohérent [48] :

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).

3.5.3. Avantages et inconvénients de l'OCDMA [48] :

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 chiffrer 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).

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.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons identifié diverses techniques de multiplexage optique et avons spécialement expliqué chaque technique pour décrire sa théorie en général, ce chapitre vise à fournir toutes les informations nécessaires pour comprendre le principe de travail des techniques de multiplexage optique et pour comprendre les technologies WDM, PDM et MDM que nous allons simuler plus tard.

Chapitre 3 : Simulation et discussion des résultats

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude et la simulation des techniques de multiplexage par FO WDM, PDM et MDM sous le logiciel OptiSystem. On va tout d'abord discripter le logiciel OptiSystem et ces principaux avantages, on va présenter les blocs de simulation de la technique WDM et le bloc de système hybride (WDM-PDM) ainsi le bloc de la technique MDM puis nous allons analyser les différents résultats de simulation.

2. Description de l'OptiSystem :

OptiSystem est un outil interactif développé par la société canadienne Optiwave System Inc. Qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, Simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. OptiSystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalistes graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale [30].

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

• Construire le schéma bloc.

• Analyser le schéma.

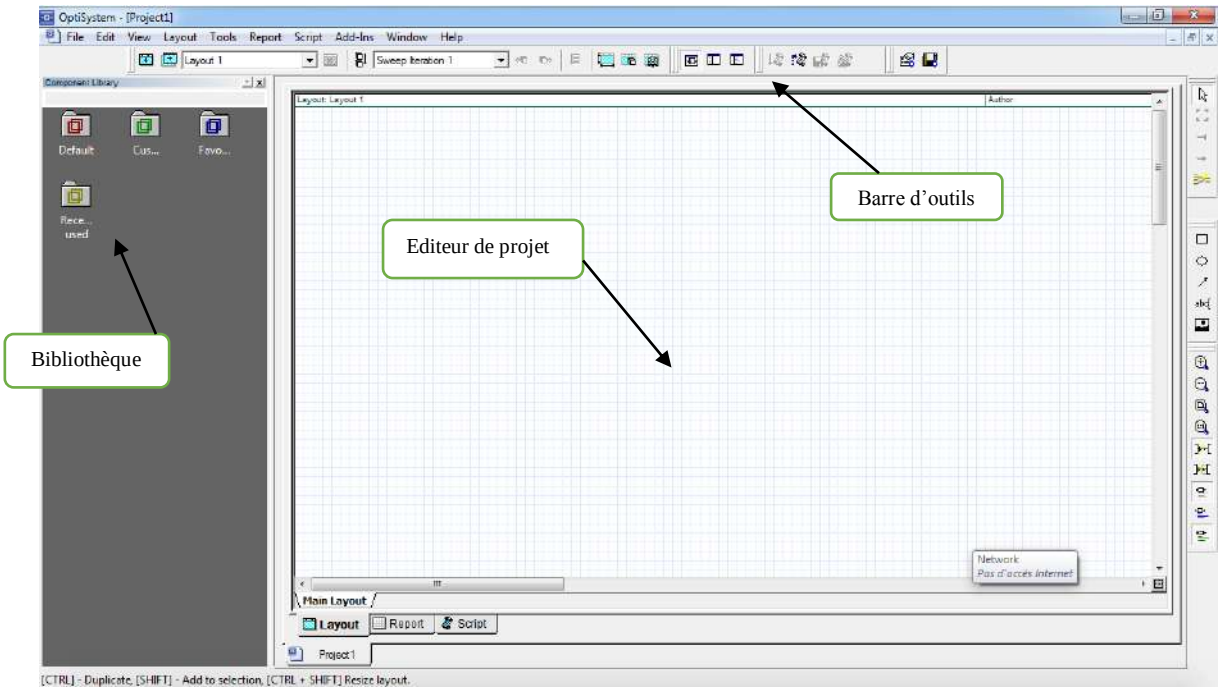


Figure 3-1 : Interface du logiciel OptiSystem.

✓ Bibliothèque des composants : une base de données de divers composants existants.



Figure 3-2: bibliothèque des composants

✓ Editeur de projet : visualise divers fichiers et composants correspondants au projet en cours.

✓ Barre d'outils : contient les menus disponibles dans l'OptiSysteme.

2.1. Principale caractéristiques de logiciel l'OptiSysteme:

- 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.

2.2. Les avantages de logiciel :

- Fournir un aperçu de performances du système mondial de fibres optiques.
- Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels.

- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation.

2.3. Paramètres de qualité d'une liaison optique :

Pour mesurer la qualité de transmission optique afin d'évaluer le bon fonctionnement d'un système, trois critères principaux s'imposent : le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil.

2.3.1. Le facteur de qualité :

Le facteur de qualité, appelé facteur Q, est un paramètre caractérisant la qualité d'un signal lors d'une transmission donné par la relation suivante :

$$Q = \frac{I1-I0}{\delta 1-\delta 0} \qquad (3.1)$$

Où I1 et I0 sont les valeurs moyennes de photos courantes du symbole 1 et 0, δ1 et δ2 sont les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

La mesure expérimentale du facteur Q d'un signal est difficile c'est-à-dire I1, I0, δ1 et δ2, ne sont souvent pas directement mesurables.

Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser la relation du TEB (Taux D'erreur Binaire) optimal en fonction du facteur Q à condition des distributions gaussiennes de probabilités des niveaux du signal :

$$TEB = ½[erfc\ (Q/\sqrt{2})] \qquad (3.2)$$

Avec erfc est la fonction d'erreur complémentaire.

2.3.2. Le taux d'erreur binaire (BER) :

Une transmission de données numériques dans un système de communication est une succession de 0 et de 1, pour évaluer la performance de celui-ci, il est nécessaire de faire une comparaison entre les bits transmis et celui reçus autrement dit le taux d'erreur binaire (BER) qui fait le rapport entre le bit reçu et bit erroné. Le « 1 » est détecté parfois en lieu et à la place d'un « 0 » réciproquement dû à la déformation du signal sous l'effet du bruit et de la propagation. La probabilité d'une prise de décision erroné sur un l'élément binaire est définie par BER, tel :

$$TEB = \frac{Nombre\ de\ bit\ erroné}{Nombre\ de\ bit\ transmis} \qquad (3.3)$$

Un système est suivant considéré de bonne qualité en transmission optique si ce BER est inférieur à une valeur de 10^{-9},10^{-12} et 10^{-15}.

2.3.3. Le diagramme de l'œil :

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tout le symbole binaire de la séquence transmise pour estimer la qualité d'un signal d'une manière

visuelle (voir figure 3-3).

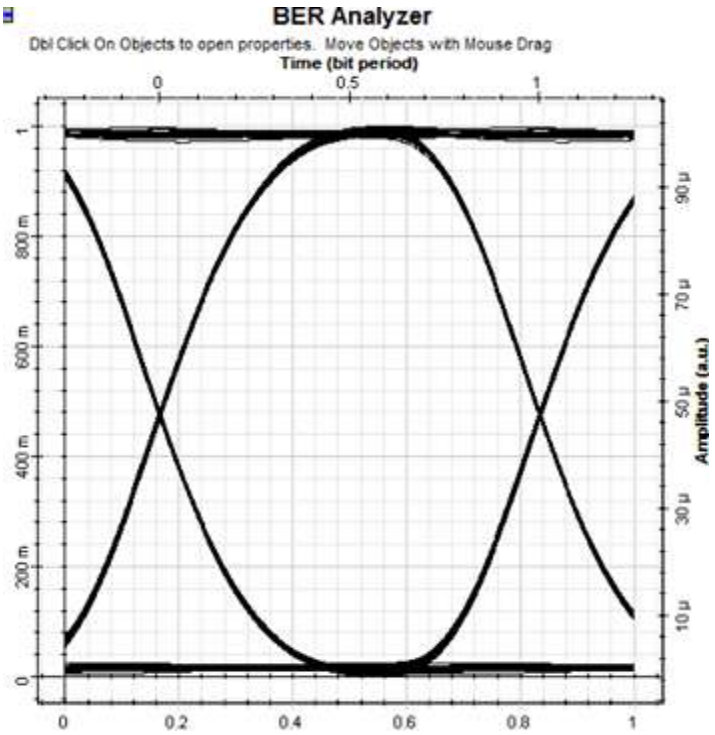


Figure 3-3 : Le diagramme de l'œil.

Ce diagramme est caractérisé par :

✓ L'élargissement temporel des impulsions du signal dû à la dispersion chromatique causé par les interférences entre les symboles.

✓ Gigue temporelle provoqué par la dispersion et couplage entre les impulsions et le bruit d'émission amplifiée.

✓ Dans la liaison, le bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission amplifiée sur signal tout au long de son parcours.

Dans notre simulation on utilise seulement les résultats de BER

3. Teste et résultats de simulation :

3.1. Simulation de la technique WDM :

Dans cette partie, nous présentons une liaison optique simple de la technique de multiplexage WDM par une simulation sur le logiciel OptiSystem. Ce système consiste de huit utilisateurs, la figure 3-4 présente le schéma de base de la simulation de cette technique.

La partie d'émission de chaque utilisateur (figure 3-5) se compose par une source de données qui produit une séquence pseudo-aléatoire. Le générateur d'impulsions électriques (NRZ ou RZ selon le format de modulation requis) convertit les données de base en impulsions électriques qui modulent l'allumage du laser via le biais du modulateur externe Mach-Zehnder. Après la modulation les données de tous les huit utilisateurs sont multiplexe par MUX WDM de huit ports et envoyées par un FO.

A la réception les données reçues de la sortie de fibre optique sont de multiplexé par DEMUX WDM de huit ports puis détectées par un photo-détecteur de type PIN, puis sont passée par un filtre Bessel électrique passe-bas et un régénérateur était relie par analyseur BER.

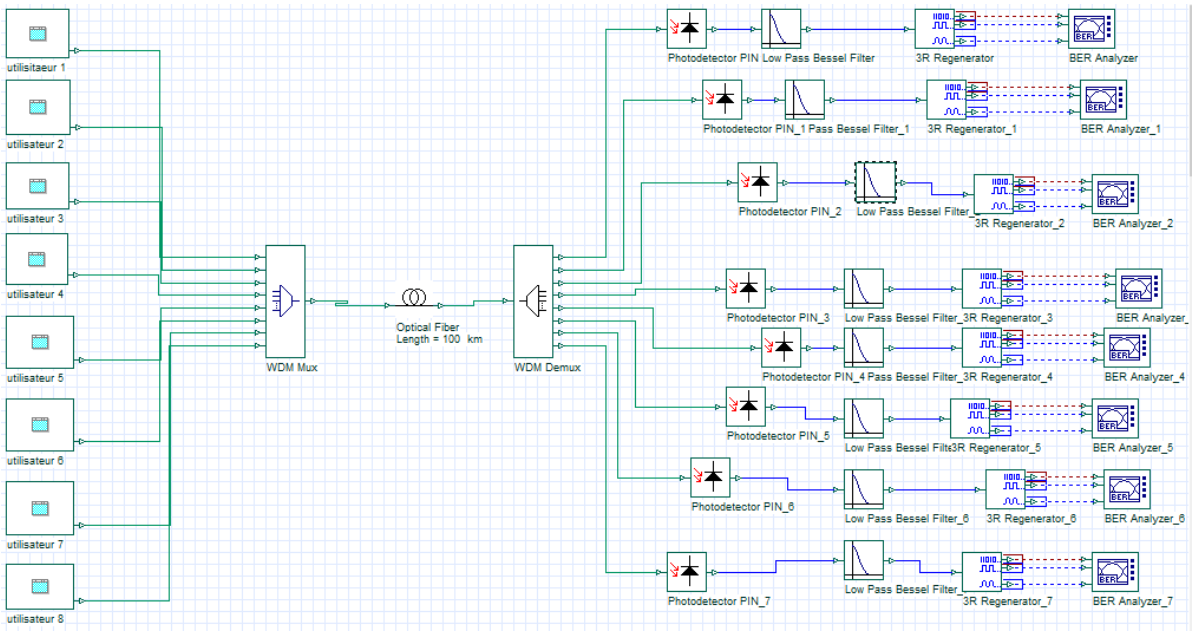


Figure 3-4 : Liaison de système WDM.

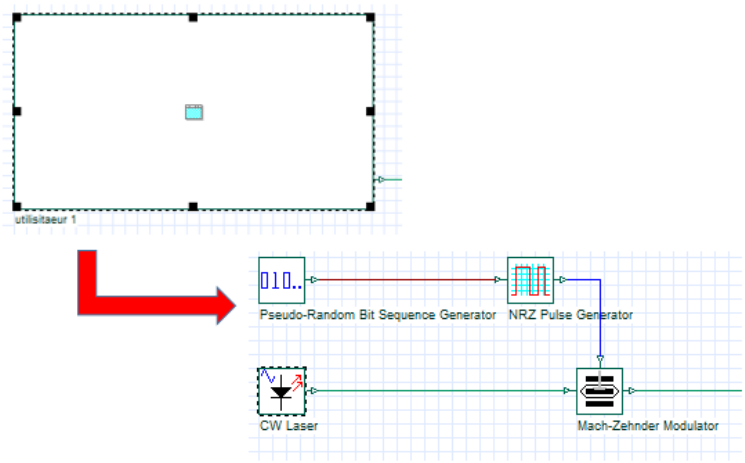


Figure 3-5 : partie d'émission

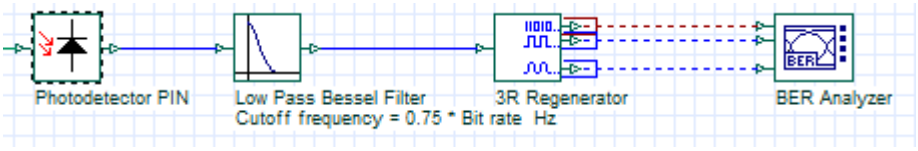


Figure 3-6: récepteur

Ce tableau contient tous les paramètres utilisés pour cette simulation :

Paramètres	Valeur
Nombre d'utilisateurs	8
Longueur d'onde (nm)	1550, 1550.8, 1551.6, 1552.4, 1553.2, 1554, 1554.8, 1555.6
Format du signal	NRZ
Atténuation	0.22 dB/Km
Dispersion	16.75 ps/ (nm.km)
Dispersion slope	0.075 ps/nm²/km
Darkcurrent	10 nA
Coefficient de bruit thermique	1.8e-023 W/Hz
Bande passante du filtre du récepteur	0.75×Bit Rate

Tableau 3-1: les paramètres de simulation WDM

3.1.1. L'effet de la variation du Débit :

Pour cette partie on a fixé la longueur de la fibre optique aux 80 km et en a évolué le taux d'erreur binaire en fonction de débit pour les huit utilisateurs.

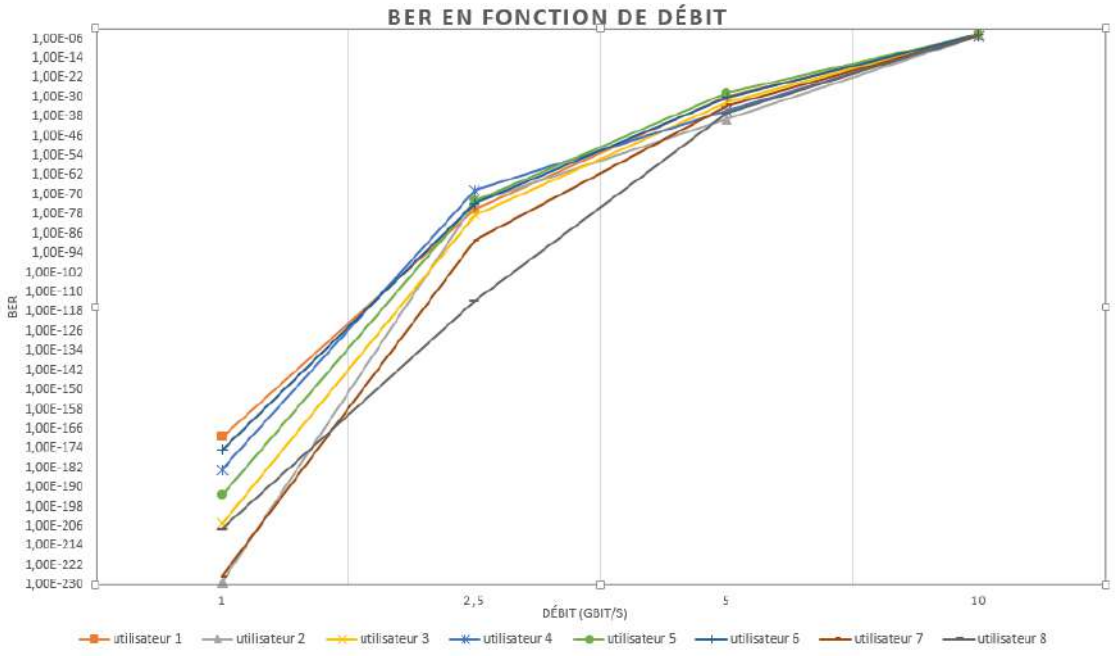


Figure 3-7 : Courbe de BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs de la technique WDM.

D'après la lecture graphique on remarque que les résultats de BER des tous les utilisateurs sont presque la même, et les bonne résultats de taux d'erreur binaire est entre 10^{-229} et 10^{-170} pour débit de 1 Gbit/s, aussi des résultats acceptable entre 10^{-114} et 10^{-29} pour les débit 2,5 et 5 Gbit/s, les résultats de 10 Gbit/s est très élevé. On conclut que les performances d'une liaison optique peuvent être détériorées à cause de l'augmentation du débit de la transmission.

3.1.2. L'effet de la variation de la distance :

Dans cette étape nous avons gardé le même schéma bloc et fixé le débit à 5 Gbit/s, puis à chaque fois on augmente la longueur de la fibre à partir 50 Km jusqu'à 100 km.

D'après les valeurs obtenues on a créés le graphe suivant qui montrent les variations de BER pour huit utilisateurs en fonction de la longueur de la fibre.

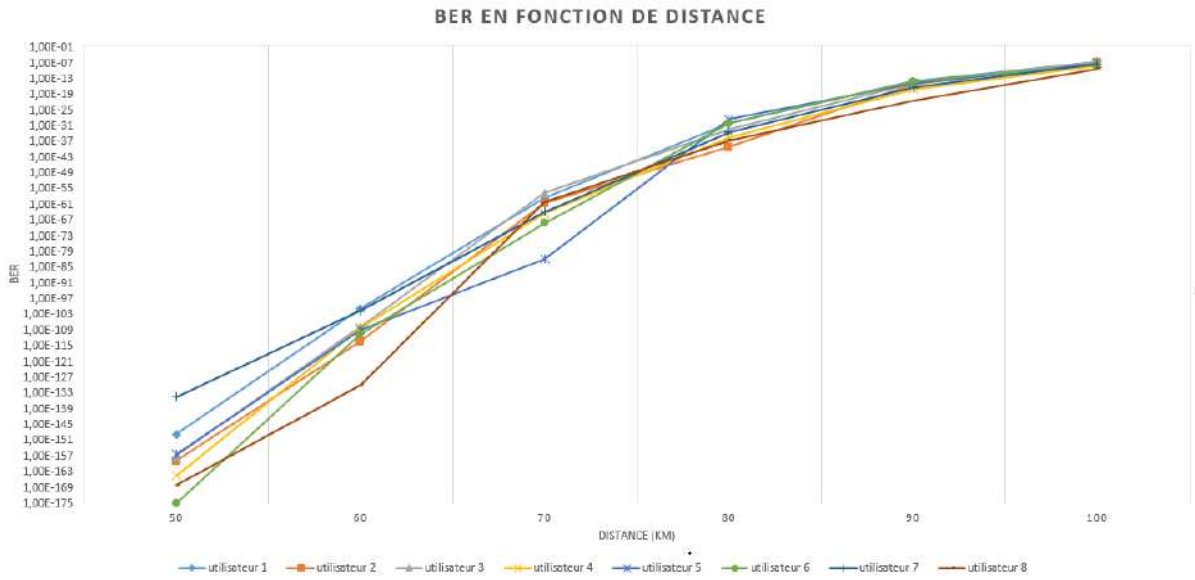


Figure 3-8 : Courbe de BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs de la technique WDM.

On remarque que pour une longueur de FO inférieur à 80 Km nous avons obtenu des bonnes résultats de BER est pour les huit utilisateurs sont entre 10^{-175} et 10^{-29}.

A partir de 80 Km on note une augmentation de BER inégal pour les 8 utilisateurs entre 10^{-22} et 10^{-7}, jusqu'à 100 Km le BER est maximale 10^{-7}.

Comme conclusion, la performance d'une liaison optique peut être détériorée à cause de l'augmentation de la distance de la fibre optique.

D'après l'analyse des graphs précèdent on conclut que pour un système WDM :

La technique du multiplexage en longueur d'onde (WDM) est une solution d'augmenter la capacité de transmission de données. Mais lorsque la longueur de la fibre optique est augmentée ou que le débit augmente, il peut y avoir une détérioration de la transmission et une augmentation du taux d'erreur, c'est pourquoi nous utilisons comme solution des amplificateurs optiques, afin d'améliorer la performance et la qualité de la liaison optique.

3.2. Simulation d'une liaison *WDM-PDM* avec deux polarisations :

Dans cette section, nous présenterons un système de transmission hybride, basé sur deux techniques de multiplexage WDM et PDM par simulation dans le cadre du logiciel Optisystem. Ce système consiste en deux sous-systèmes WDM qui sont combinés par un système PDM à deux polarisations. (figure3-8). Ce système est présenté par un lien de huit utilisateurs par sous-système WDM, de manière à atteindre un total de seize utilisateurs [40].

Pour chaque utilisateur on a utilisé la même génération des données de la simulation de la technique WDM (figure 3-4) et la même chose pour la partie de réception (figure 3-5).

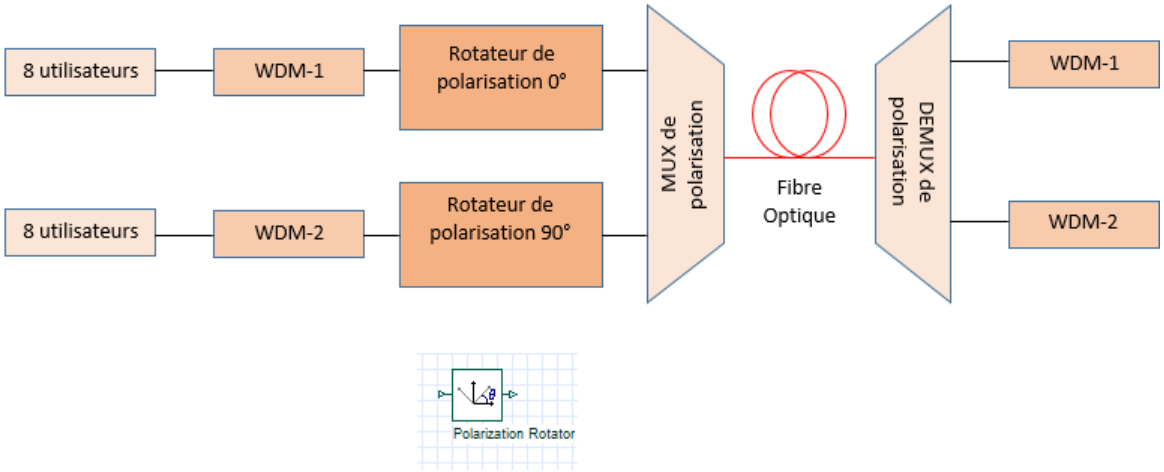


Figure 3-9 : Liaison WDM-PDM avec deux polarisations

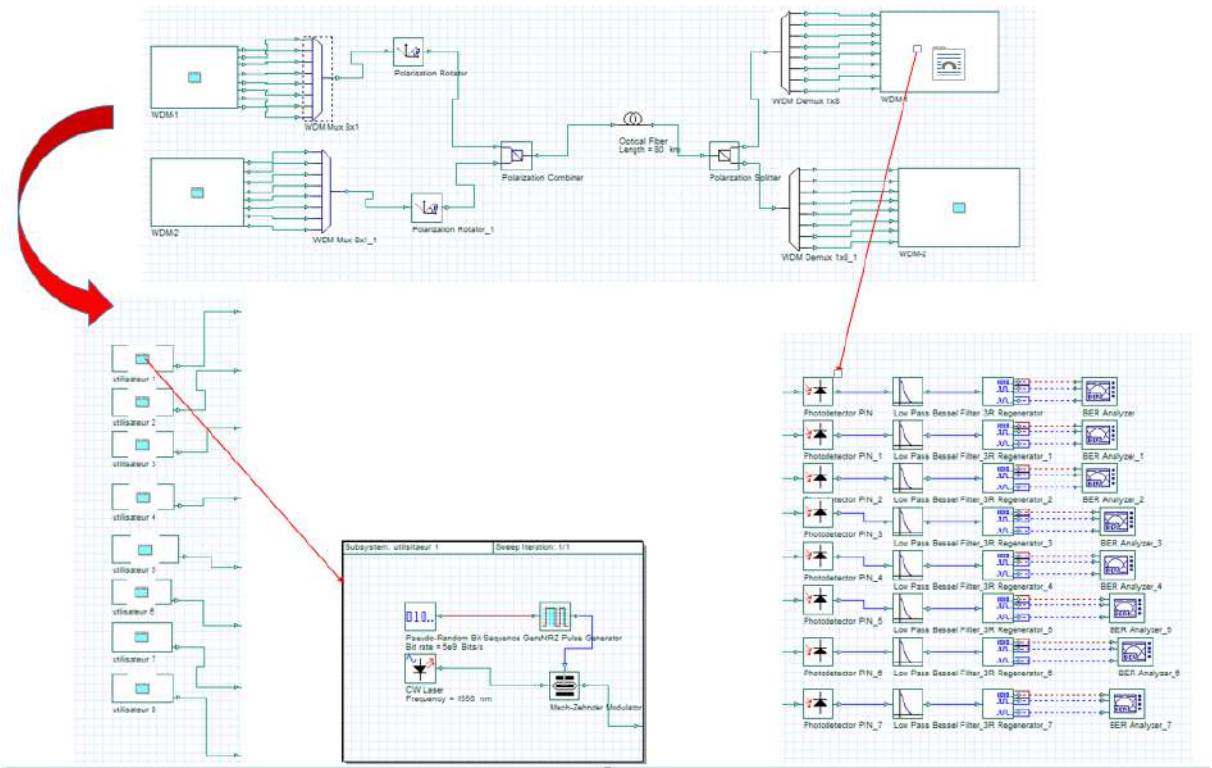


Figure 3-10 : Liaison de system WDM-PDM réalisé par logiciel optisystem.

Les deux sous-systèmes WDM fonctionnent aux mêmes longueurs d'onde (à partir de 1550 jusqu'à 1555.6) avec un écartement de 0,8 nm, mais avec des polarisations différentes.

Ce tableau contient tous les paramètres utilisés pour cette simulation :

Paramètres	Valeur
Nombre d'utilisateurs	16
Polarisation	2
Format du signal	NRZ
Atténuation	0.22 dB/Km
Dispersion	16.75 ps/ (nm.km)
Dispersion slope	0.075 ps/nm²/km
Darkcurrent	10 nA
Coefficient de bruit thermique	1.8e-023 W/Hz
Bande passante du filtre du récepteur	0.75×Bit Rate

Tableau 3-2: Les paramètres de simulation WDM-PDM

3.2.1. L'effet de la variation du Débit :

Dans cette simulation, une distance de 80 km a été définie, et nous testerons chaque fois le paramètre BER en fonction des différents débits.

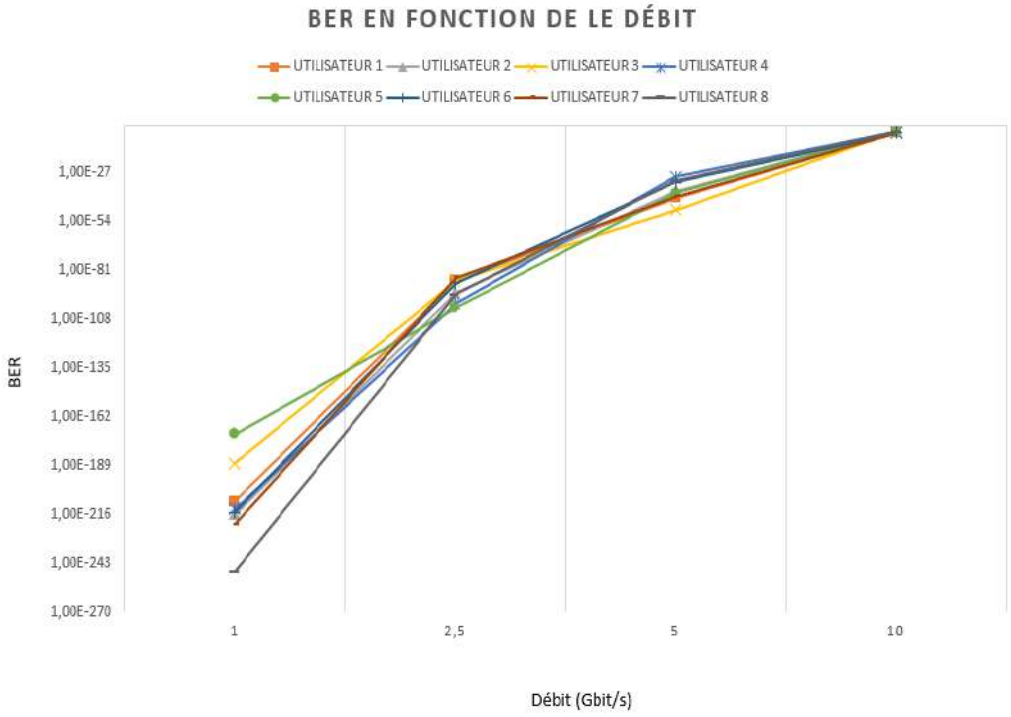


Figure 3-11 : BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 0°.

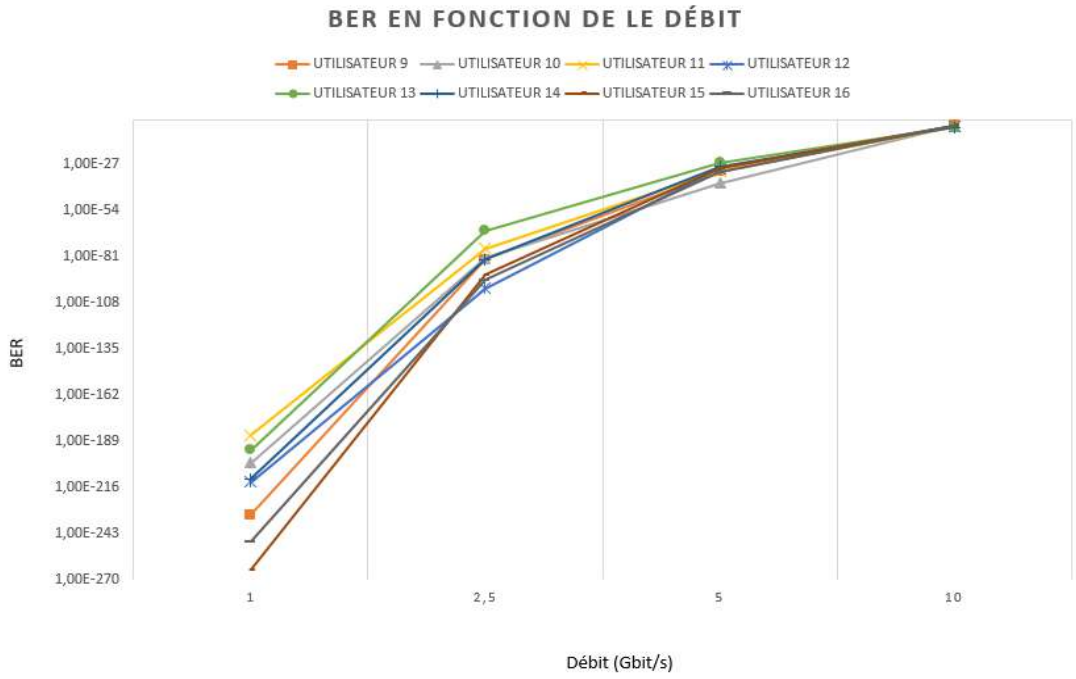


Figure 3-12 : BER en fonction de débit pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 90°.

Après avoir lu le graphique, nous avons remarqué que le taux d'erreur binaire est limité entre 10^{-265} et 10^{-61} entre les débits 1Gbit/s et 2,5 Gbit/s et entre 10^{-48} et 10^{-5} entre les débits 5 Gbit/s et 10 Gbit/s. Nous remarquons Lorsque la valeur de débit est augmentée, une détérioration de la transmission et un niveau d'erreur élevé.

3.2.2. L'effet de la variation de la distance :

Pour cette partie le débit est fixe à 5 Gbit/s, et nous changer la longueur de la FO chaque opération à partir 50 Km jusqu'à 100 Km pour évalue les résultats de BER.

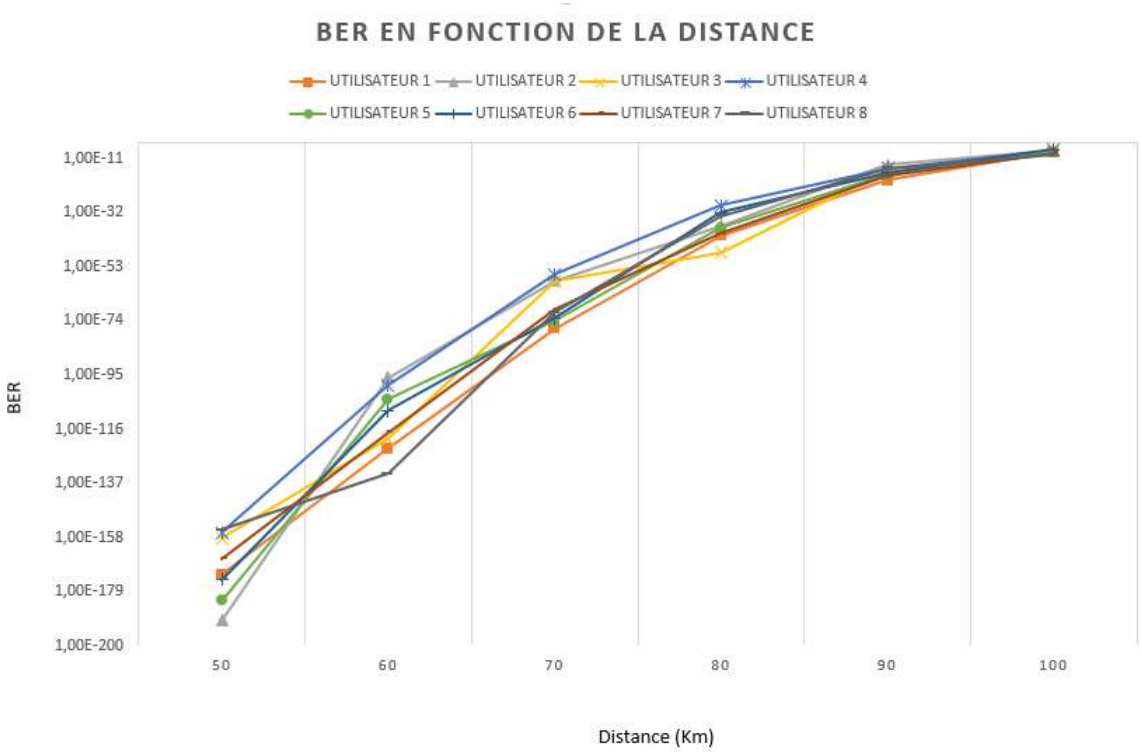


Figure 3-13 :BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 0°.

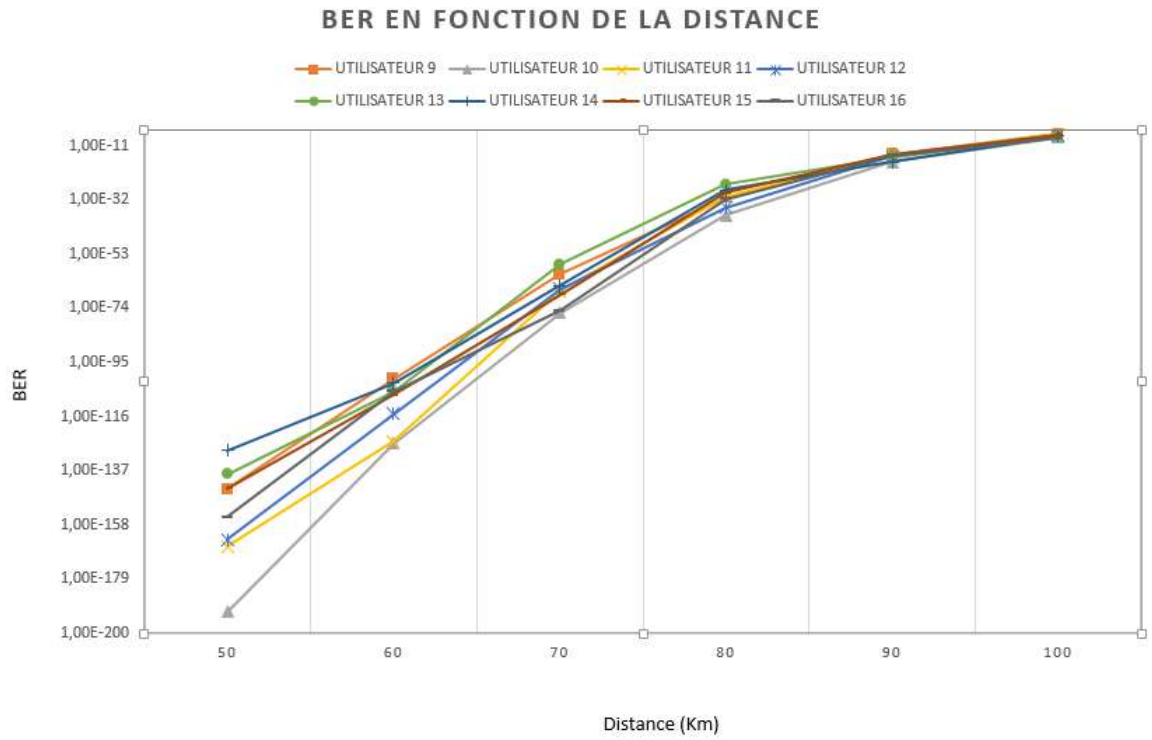


Figure 3-14 : BER en fonction de distance pour 8 utilisateurs avec un degré de polarisation 90°.

Grâce à ces courbes, nous avons pu déduire la relation entre le taux d'erreur binaire et l'augmentation de la longueur de la fibre optique.

L'augmentation de la valeur ber est clairement démontrée par l'augmentation de la longueur des fibres.

D'après l'analyse des graphs précèdent on conclut que pour un système hybride :

La technique du multiplexage hybride basée sur WDM et PDM est une solution d'augmenter la capacité de transmission de données et doubler le nombre d'utilisateur et minimiser l'intervalle de la longueur d'onde Utilisé. Mais lorsque la longueur de la fibre optique est augmentée ou que le débit augmente, il peut y avoir une détérioration de la transmission et une augmentation du taux d'erreur, c'est pourquoi nous utilisons comme solution des amplificateurs optiques, afin d'améliorer la performance et la qualité de la liaison optique

3.3. La technique MDM :

La disposition du système simulé est illustrée à la figure 3-11,

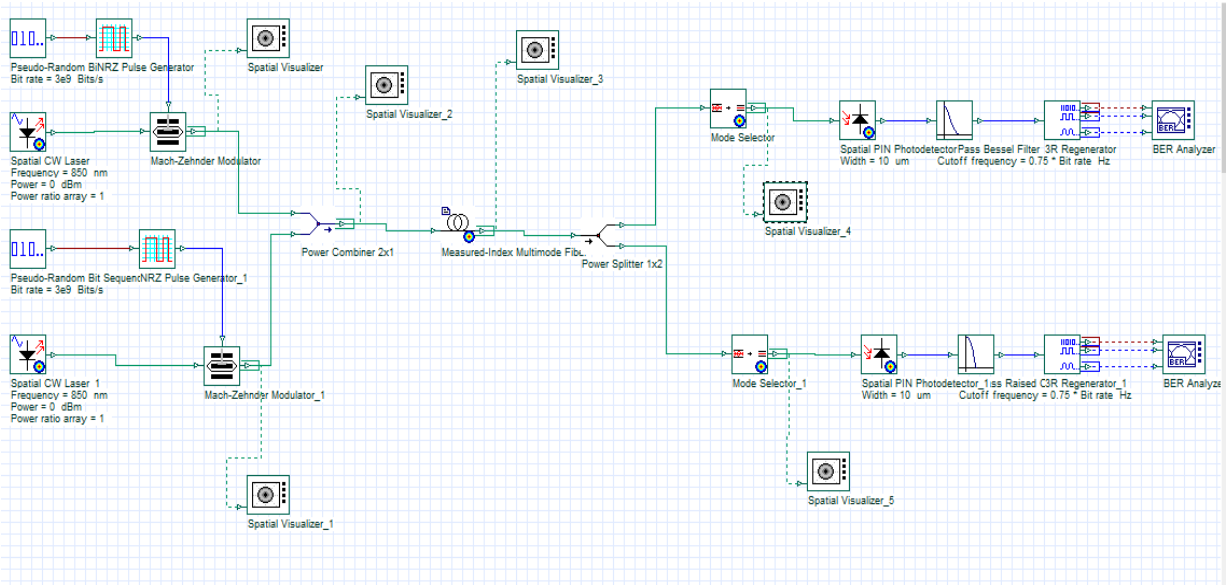


Figure 3-15 : Liaison de system MDM.

D'apres ce montage on realise la transmission de deux utilisateurs avec la technique MDM,où chacun fonctionnant à 850nm.

Les informations pour chaque utilisateur est générée par une séquence de bits pseudo aléatoire, le générateur d'impulsions NRZ est utilisé pour représenter les informations sous forme électrique. Ensuite,convertit les données de base en impulsions électriques qui modulent l'allumage du laser via du modulateur externe Mach-Zehnder. Après la modulation, les signaux de ces utilisateurs sont propagés via une fibre optique de type multimode (measured index multimode fiber). Où, chaque utilisateur a son propre mode, à l'aide du visualiseur spatial, nous pouvons voir le profil de chaque mode présenté sur le port d'entrée du visualiseur.

Du côté du récepteur, le Multimode Selector est un dispositif qui permet de sélectionner le mode émis par l'émetteur, les données reçues sont détectées par un photo-détecteur, type de PIN, puis sont passées par un filtre Bessel électrique passe-bas. Ce filtre est exploité pour rejeter les interférences et le bruit. Pour vérifier les performances de cette méthode on utilise un analyseur BER.

Les modes utilisé sont presenté dans la figure suivante :

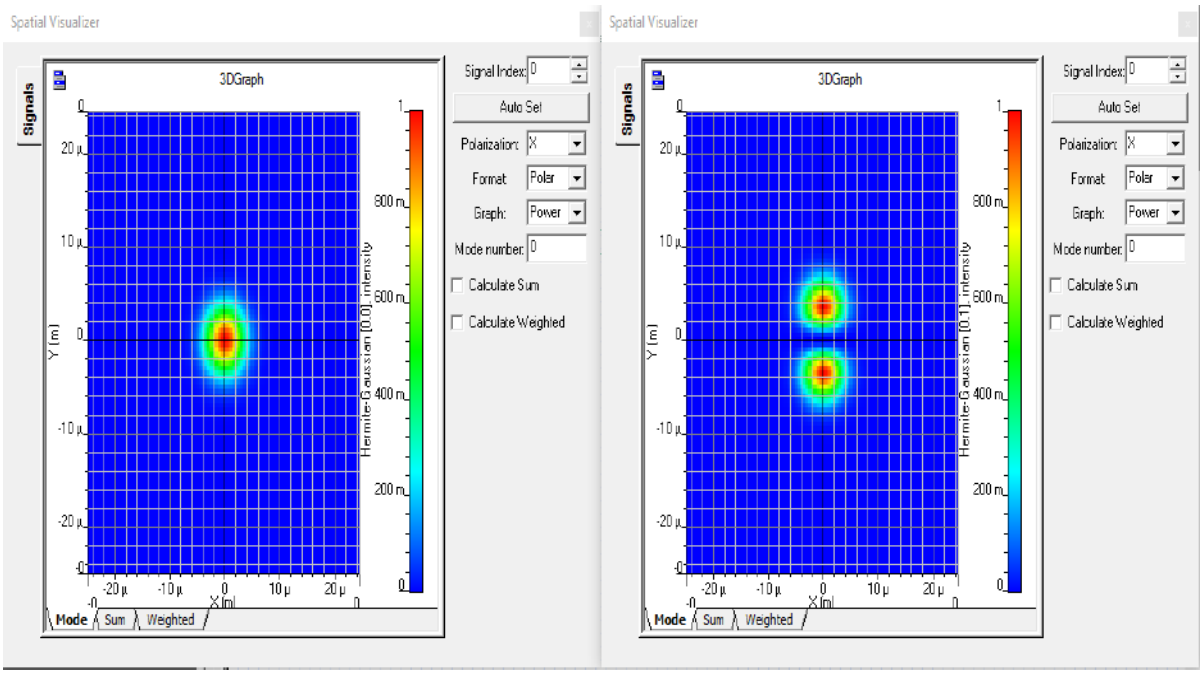


Figure 3-16 : Les modes utilisé.

Le tableau suivant contient tous les paramètres utilisés pour cette simulation :

Paramètres	Valeur
Nombre d'utilisateurs	2
Mode	2
Longueur d'onde	850 nm
Format du signal	NRZ
Atténuation	2.61 dB/Km
Dispersion	-100 ps/ (nm.km)
Dispersion slope	0.5 ps/nm²/km
Darkcurrent	10 nA
Coefficient de bruit thermique	1e-022 W/Hz
Bande passante du filtre du récepteur	0.75×Bit Rate

Tableau 3-3 : Les paramètres de simulation MDM.

3.3.1. L'effet de la variation du Débit :

Dans cette partie, nous avons étudié les effets de différentes débit où chaque utilisateur son propre mode et a une longueur de FO 3 Km, où les variations du débit est de 1 Gbit/s à 5 Gbit/s.

Les graphes suivant montrent les résultats :

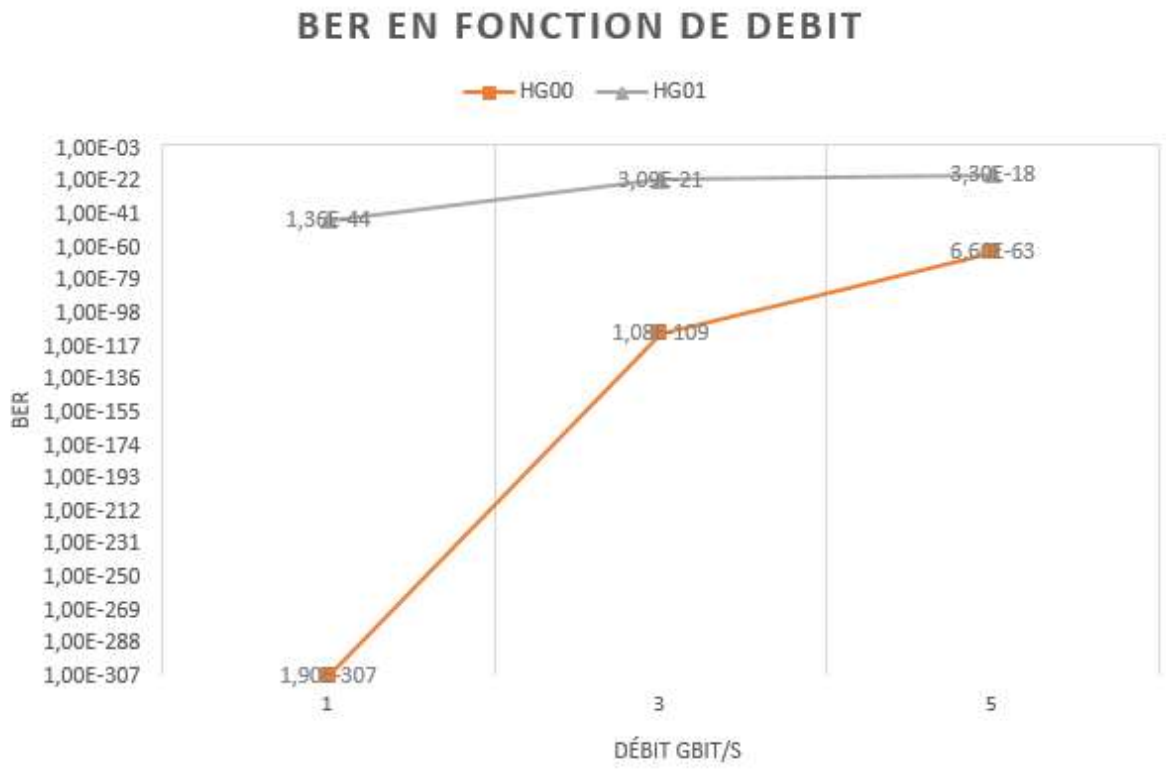


Figure 3-17 : BER en fonction de débit pour deux utilisateurs.

Cette figure représente les résultats de simulation pour les différents débits, on remarque le 1 utilisateur (1er mode HG00) prend des valeurs de BER de 10^{-307} jusqu'à 10^{-63} pour le débit=5 Gbit/s le 2eme utilisateur (2eme mode HG01) prend la valeur de BER=10^{-44} pour le débit =1Gbit/s jusqu'à une valeur égale à 10^{-18} pour le débit=5Gbit/s.

3.3.2. Le Diagramme de l'œil:

On utilise souvent en télécommunications la méthode dite du diagramme de l'œil pour décrire la dégradation par le bruit et la dispersion d'un signal numérique.

Les diagrammes de l'œil correspondant aux résultats obtenus avec la technique MDM, avec des débits de 1 Gb et 3 Gb et 5 Gb.

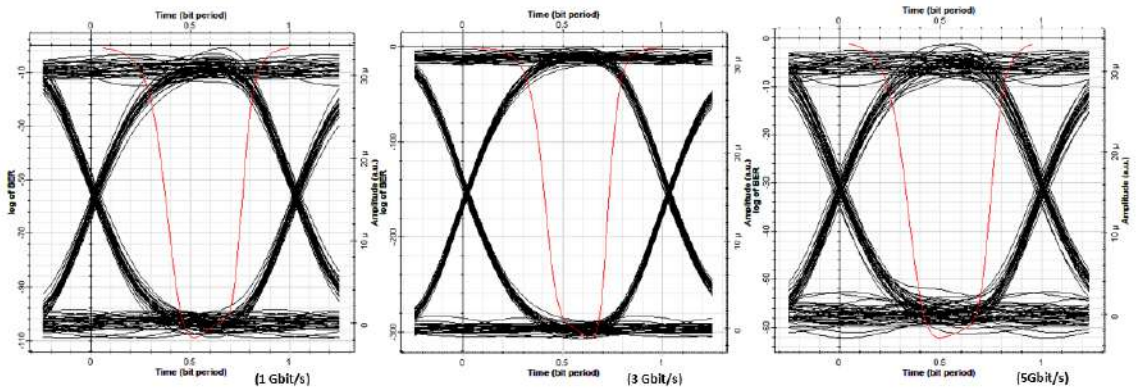


Figure 3-18 : Diagrammes de l'œil du premier utilisateur.

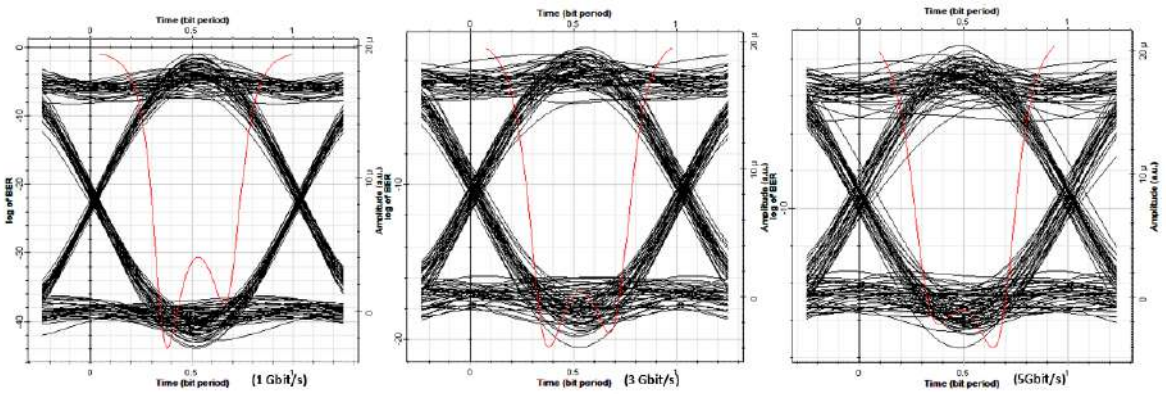


Figure 3-19 : Diagrammes de l'œil du deuxième utilisateur.

Où nous notons pour le premier utilisateur que l'œil est bien ouvert et cela est dû à l'absence du phénomène de diaphonie, et Cela indique une transmission de bonne qualité.

Où nous notons pour le deuxième utilisateur que l'œil est bien ouvert dans les débits de 1 Gb et 3 Gb, mais dans le débit de 5 Gb Nous remarquons le début de la fermeture de l'œil Et c'est ce qu'il indique la présence du bruit qui indique l'existence du facteur d'interférence.

3.3.3. L'effet de la variation de la distance :

Dans cette section on va discuter les variations de BER en fonction de la distance,Où chaque utilisateur a son propre mode et le débit est fixé à une valeur 3 Gbit/s, nous changeons la distance à partir de 1 Km jusqu'à 4 Km.

Les graphes et les diagrammes de l'œil suivants présentent les résultats de cette simulation :

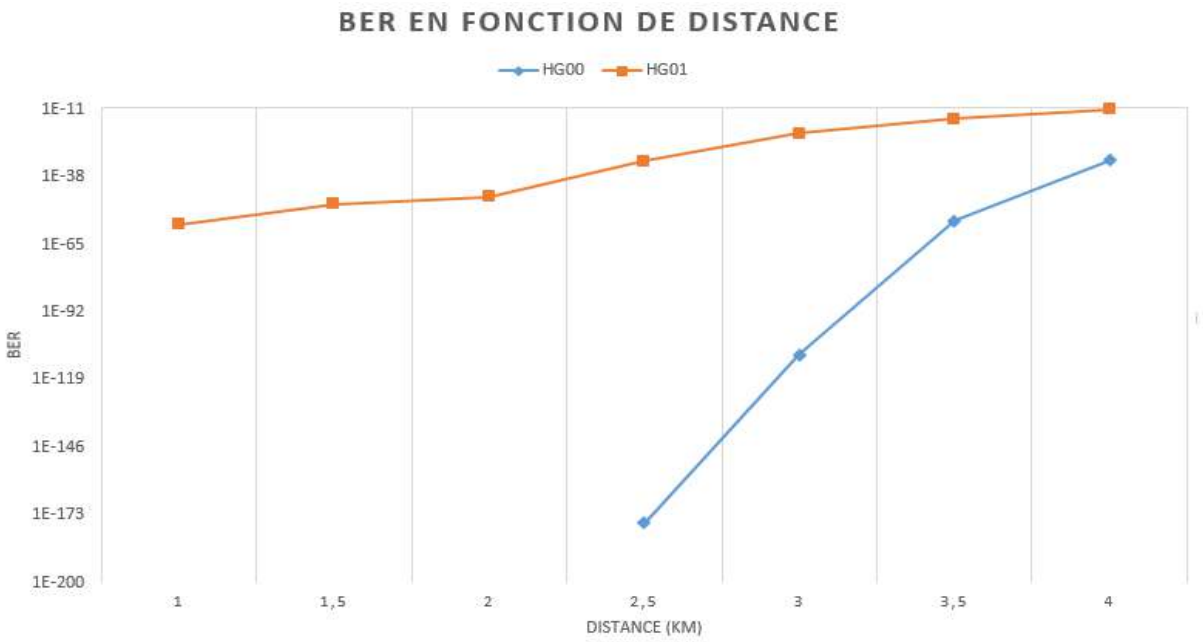


Figure 3-20 : BER en fonction de distance de deux utilisateurs.

A travers les courbes graphiques obtenues, on peut clairement voir l'augmentation de la valeur du taux d'erreur tout en augmentant la longueur de la fibre optique, causée par les effets linéaires et non linéaires (atténuation, dispersion, ...), Ce qui réduit et perturbent la qualité et les performances des transmissions.

Pour le premier utilisateur, nous ne trouvons aucune mesure du ber sur des distances inférieures à 2,5 km, cela indique une bonne qualité de transmission et une absence totale des interférences. Après cette distance, nous remarquons une augmentation de ber obtenue.

Pour le deuxième utilisateur, nous notons des bonnes valeurs de ber à des distances inférieures à 2,5 km

3.3.4. Le diagramme de l'œil :

Les diagrammes de l'œil correspondant aux résultats obtenus avec la technique MDM, avec des distances de 1 km 1.5 Km jusqu'à 4 Km.

Pour le premier utilisateur, nous notons une bonne qualité de transmission en raison de l'ouverture des diagrammes de l'œil à toutes les distances.

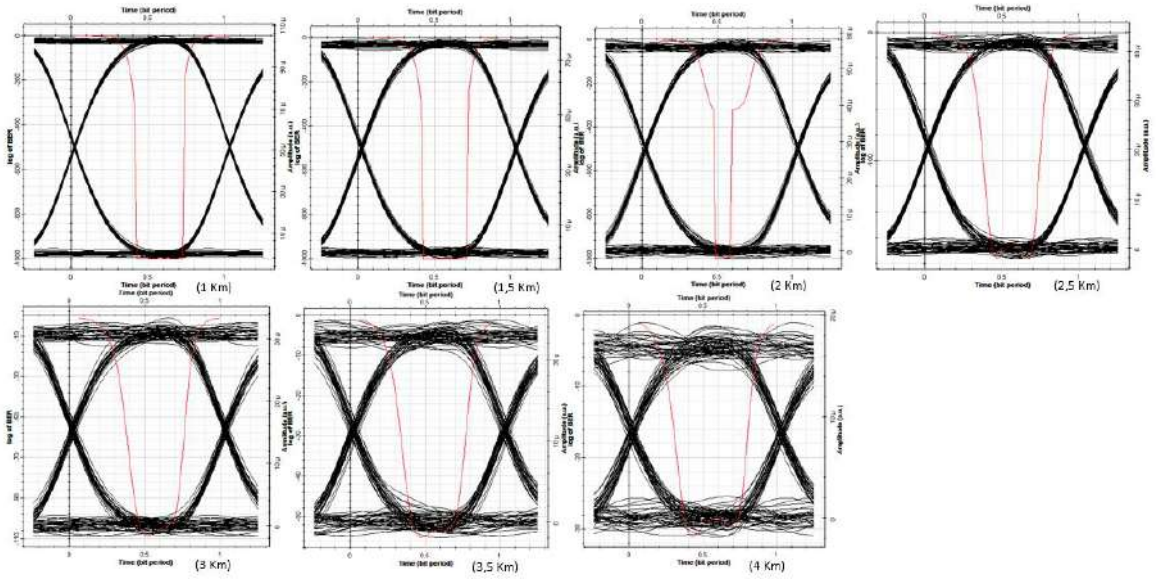


Figure 3-21 : Diagrammes de l'œil du premier utilisateur.

Quant au deuxième utilisateur, Nous remarquons le début de la fermeture de l'œil et la détérioration de la transmission à une distance de 3,5 km, ce qui est dû au bruit et aux perturbations.

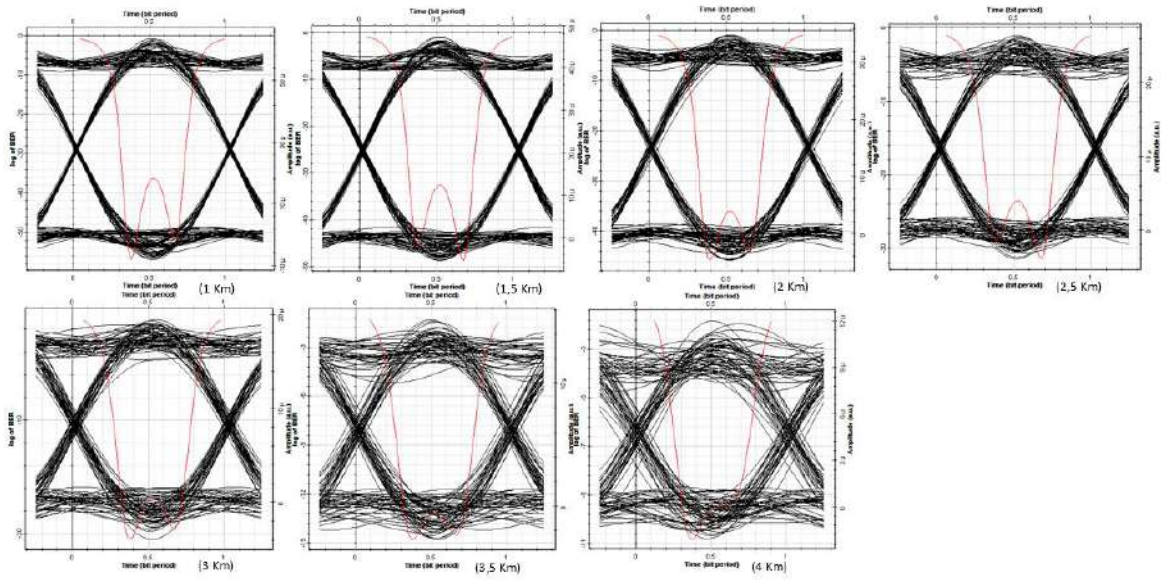


Figure 3-22 : diagrammes de l'œil du deuxième utilisateur.

4. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous a permis de savoir que les techniques du multiplexage optiques son des solutions pour augmenter la capacité de transmission de données.

Où nous avons simulé à l'aide de logiciel OptiSysteme des techniques de multiplexage tel

que la technique WDM, un système hybride de seize utilisateurs (WDM-PDM) et la technique MDM, et le but de cette simulation était d'optimiser la chaîne de transmission avec ces techniques, et de savoir les différents critères de qualité dans une transmission optique, et jugée les résultats de BER obtenue afin de déterminer toute dégradation peut affecter la qualité de la qualité de transmission de données.

Conclusion générale :

L'objectif principal du travail que nous avons fait dans cette mémoire était d'étudier et de simuler des liens de communication optique, dans cette mémoire Nous avons basé sur les différentes techniques de multiplexage optique tel que la technique WDM, La technique du multiplexage hybride basée sur WDM et PDM et la technique MDM.

Notre premier chapitre nous a permis de comprendre la théorie de la fibre optique, les différents types de fibre à savoir le monomode et le multimode dont le monomode est généralement utilisé pour les longues distances. Aussi s'ajoute ces caractéristiques à savoir l'atténuation, la bande passante, et la dispersion ainsi les composants d'une liaison optique.

Le deuxième chapitre de notre travail a été consacré sur les différentes techniques de multiplexage optique. On a montré les principales théories de ces techniques et pour bien comprendre leurs principes de travail

Dans le troisième chapitre Nous avons présenté une simulation sous le logiciel OptiSystem d'un système de transmission de base WDM de huit utilisateurs, ainsi on a fait une deuxième simulation d'un système hybride basé sur deux techniques de multiplexage WDM et PDM. Ce système est composé de deux sous-systèmes WDM (huit utilisateurs) et ces sous-systèmes ont été combinés par un système PDM de deux polarisations afin d'atteindre au total seize utilisateurs. La dernière simulation consacrée sur les fibres multimode (la technique MDM) ont a présenté un système de transmission optique de deux utilisateurs chacun a son propre mode qui son combiné par un multiplexeur de mode spatial.

Où nous avons discuté les résultats de ber et les diagrammes de l'œil obtenue d'après la simulation pour Connaître les performances et la qualité des transmissions ainsi que les différentes oscillations qui peuvent survenir lors de la transmission résultante comme l'atténuation les dispersions et les différents effets linéaires et non linéaires.

Bibliographie:

[1] J. Malcolm, «Optical fibercables and systems ». ITU-T, p2. (2009).

[2] K. Merzouk, «Étude d'un système bas cout de transmission optique par multiplexage temporel »,INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE, thèse de doctorat en Optique, Optoélectronique et Microondes, le 8 avril 2008.

[3]F. Träger, (Ed.). "Springer handbook of lasers and optics". Springer Science & Business Media. (2012)

[4]X. C. Tong," Advanced materials for integrated optical waveguides" (Vol. 46, pp. 509-543). Cham: Springer International Publishing. (2014)

[5] H.DJELLA et L.DJENDI, « ETUDE DU CODAGE BIDIMENSIONNEL POUR LES SYSTEMES DE COMMUNICATION OCDMA », Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi Bordj Bou Arreridj,thèse de MASTER en Electronique, 14-09-2021.

[6] Y. ZOUINE, «Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », UNIVERSITE DE LIMOGES, thèse de doctorat en Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques, 17 Octobre 2005.

[7] K. A. Shore, "Fiber Optics: Physics and Technology", by FedorMitschke: Scope: manual. Level: advanced undergraduate and postgraduate. (2012)

[8] J. Malcolm, "Optical fiber cables and systems". ITU-T, p2. (2009)

[9] X. C. Tong, "Advanced materials for integrated optical waveguides" (Vol. 46, pp. 509-543). Cham: Springer International Publishing. (2014)

[10]B. Le Nguyen, "Optical Fiber Communication Systems with MATLAB and Simulink Models". (2017)

[11]Jean-Louis. ''Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40Gbits/s''. Verneuil (Université De Limoges, 21 novembre 2003).

[12] W. SAHRAOUI, '' Etude et simulation des techniques de transmission dans une liaison de télécommunication optique'', Université A. MIRA-BEJAIA, Thèse de doctorat en Télécommunication,09/01/2021.

[13]C. Peucheret, ‘’Direct and external modulation of light’’. Technical University of Denmark, (2009)

[14] Crisp, John, and J. Barry ‘’Elliott. *Introduction to Fiber Optics’’*, Elsevier Science & Technology, *ProQuest Ebook Central*, 2005. http://ebookcentral.proquest.com/lib/cerist/detail.action?docID=288945.

[15]Agrawal, P. G ovind. “Fiber-Optic Communication Systems”, John Wiley & Sons, Incorporated, 2010. ProQuest Ebook Central, http://ebookcentral.proquest.com/lib/cerist/detail.action?docID=698861.

[16]Warier, Sudhir.” The ABCs of Fiber Optic Communication”, Artech House, ProQuest Ebook Central, 2017. http://ebookcentral.proquest.com/lib/cerist/detail.action?docID=5430723.

Created from cerist on 2022-04-04 22:50:32.

[17]DeCusatis, Casimer, and Carolyn J. SherDeCusatis. “FiberOptic Essentials”, Elsevier Science &Technology, ProQuestEbook Central, 2006. http://ebookcentral.proquest.com/lib/cerist/detail.action?docID=286684.

[18] A. OLIVIER et D. REVUZ et E.DURIS « Transmission sur fibre optique »Promotion IR 2010. http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/types.html#sautindice

[19] A.MELLAH, « L’EFFET PHOTOELECTRIQUE : étude comparative des photodiodes PN, PIN et APD», Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Mémoire fin d’étude de Master en Electronique Industrielle, 2013/2014

[20] S.DELLIER, « Contributions à la conception des circuits micro-ondes», UNIVERSITE DE LIMOGES, thèse de doctorat en Electronique des Hautes Fréquences et Optoélectronique, 18 Juillet 2005, Thèse N° 24-2005

[21]NatasaZivic et Miroslav Dukic, « Modern Communications Technology»,SERIES De GruyterStudiumSer, PUBLISHER Walter de GruyterGmbH, 2016-08-22.

http://ebookcentral.proquest.com/lib/cerist/detail.action?docID=4714787.
Created from cerist on 2022-04-20 14:13:27.

[22] https://opg.optica.org/optica/fulltext.cfm?uri=optica-8-9-1186&id=458452

[23] Christian CARBONI et Guifang LI, « Novel applications of space-division multiplexing », Front. Optoelectron. 2016, 9(2): 270–276,DOI 10.1007/s12200-016-0607-2

Carboni-Li2016_Article_NovelApplicationsOfSpace-divis (1)

[24] P.Genevaux, ‘’Le multiplexage de mode spatial pour augmenter le débit dans les fibres optiques’’ (Doctoral dissertation, Paris 6). (2016).

[25] R.Ryf, R.J.Essiambre, A.H.Gnauck, S.Randel, M.A.Mestre, C.Schmidt et T.Hayashi,” Space-division multiplexed transmission over 4200-km 3-core microstructuredfiber’’. In National Fiber Optic Engineers Conference (pp. PDP5C-2). Optical Society of America. (2012, March).

[26] J.Sakaguchi, Y.Awaji, N.Wada, A.Kanno, T.Kawanishi,T.Hayashi, et M.Watanabe,’’ Space division multiplexed transmission of 109-Tb/s data signals using homogeneous seven-core fiber’’. Journal of Lightwave Technology, 30(4), 658-665. (2012).

[27] H.Ono, K.Takenaga, K.Ichii, S.Matsuo, T.Takahashi, H.Masuda, etM.Yamada, “12-core double-clad Er/Yb-doped fiber amplifier employing free-space coupling pump/signal combiner module”. In 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013) (pp. 1-3). IET. (2013, September).

[28] J.Sakaguchi, B.J.Puttnam, W.Klaus, Y.Awaji, N.Wada, A.KannoetR.Sugizaki, “19-core fiber transmission of 19x100x172-Gb/s SDM-WDM-PDM-QPSK signals at 305Tb/s”. In Optical Fiber Communication Conference (pp. PDP5C-1). Optical Society of America. (2012, March).

[29] M.Tang, “Multicore Fibers. Handbook of Optical Fibers”. (2018).

[30]https://optiwave.com/optisystem-overview/

[31] N.Bai, “Mode-division multiplexed transmission in few-mode fibers”. (2013).

[32] M. Ravi Kumar, S. S. Pathak, N. B. Chakrabarti,“Second International Conference on Industrial and Information Systems”,Second International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2007, 8 – 11 August 2007, Sri Lanka

[33] Camille-Sophie Brès, "Communication par fibre optique : des Romains a nos jours ", école poly-technique, fededral de lausanne.

[34] Z.HOUCINI, N.SAMI, « Etude et simulation de la technique SDM dans les Liaisons de télécomunications optiques.», mémoire de MASTER en télécommunication, Université A/Mira de Béjaïa,2019/2020.

[35] M.BOUZIAN et M.ABBES, « ETUDE ET CONCEPTION D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION OPTIQUE A TRES HAUT DEBIT EN UTILISANT LA TECHNOLOGIE WDM », thèse de MASTER, université abouberekbelkaidtelemcen, 2014/2015.

[36] M.A.MOKRETAR et N.NOURA, « Étude et Conception d'un Système de Transmission Optique en Utilisant la Technologie WDM 4 x 20 Gbit/s », thèse de MASTER UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, Juillet 2019.

[37] Li Xian Wang et all, « Polarization division multiplexed photonic radio-frequency channelizer using an optical comb», State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Institution of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 912, Beijing 100083, China, Optics Communications journal,7 September 2012.

[38] Maria Morant, Joaquin Pérez, and Roberto Llorente "Polarization Division Multiplexing of OFDM Radio-over-Fiber Signals in Passive Optical Networks", Hindawi Publishing Corporation, Advances in Optical Technologies, Volume 2014, Article ID 269524, 9 pages

[39] B.BEAUQUIE, « COMMUNICATIONS DANS LES RSEAUX OPTIQUES PAR MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE57 », thèse doctorat, UNIVERSIT DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS U.F.R. SCIENCES, 17 janvier 2000.

[40] W.SAHRAOUI, Y.BELKHIER, S.BERRAH, R.N.SHAW et A.AMPHAWAN, « Hybrid Multiplexing Technique based on WDM and PDM with Four Polarizations»,2021 IEEE 4th International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia. Sep 24-26, 2021

[41] 0. E. Delange, "Wideband optical communication systems", Part 11-Frequency division multiplexing," hoc. ZEEE, vol. 58, p. 1683, Oct. 1970.

[42] HIDEKI ISHIO, JUNICHIRO MINOWA, and KIYOSHI NOSU, "Review and Status of WaveIength-DivisionMultiplexing Technology and Its Application", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE , VOL. LT-2, NO. 4, AUGUST 1984

[43] Gerd Keiser, "Fiber Optic Communications", édition Springer, 2021

[44] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/rlefievr_Fibre_Optique_et_WDM/wdm_presentation.htm

(Consulter le 9 juin 2022).

[45] DarkoIvanovich, B.Samuel Powell, Viktor Gruev, et D.Roger Chamberlain, "Polarization Division Multiplexing for Optical Data Communications," in Proc. of SPIE Photonics West, January 2018.

[46] M.CHERIFI ABDELHAMID, « Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi porteuses Dans La Transmission d'information », THESE DE DOCTORAT en Signaux Et Système, UNIVERSITE ABDELHAID IBN BADIS DE MOSTAGANEM, 06/04/2017.

[47] TANGI LE GUENNIC, «POURQUOI LE MPLC EST LA TECHNIQUE DE MULTIPLIXAGE DE MODE LA PLUS AVANTAGEUSE », Cailabs, 38 boulevard Albert 1er 35200 Rennes France, 15 DÉCEMBRE 2020 (https://blog.cailabs.com/pourquoi-le-mplc-est-la-technique-de-multiplexage-de-mode-la-plus-avantageuse#:~:text=Pour%20le%20multiplexage%20optique%20et,longueurs%20d'ondes)%20diff%C3%A9rentes.) Consulter le 8/6/2022.

[48] Ch.KHERICI, « Etude comparative des différentes méthodes de multiplexage optique pour les télécommunications», thèse Doctorat en Electronique, UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES, 14 Janvier 2

[49] Techniques de l'Ingénieur « Télécommunications optiques » Réf. Internet : 42454 | 4e édition http://www.techniques-ingenieur.fr.