

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Science de l'ingénierie
Département : Electronique
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Télécommunication
Spécialité : Système de télécommunication

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Simulation d'une chaîne optique multiplexée

Présenté par : *LITIM Salsabil*
BELAID Chourouk

Encadrant : *TAIBI Mahmoud* Professeur Univ-Annaba

Jury de Soutenance :

SAHRAOUI Leila	MCB	Univ-Annaba	Président
TAIBI Mahmoud	Professeur	Univ-Annaba	Encadrant
SAOUCHE Kaddour	Professeur	Univ-Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENT

Nous tenons particulièrement à remercier ALLAH le Tout Miséricordieux, le Tout Puissant, le Tout Clément qui a récompensé nos prières; qui nous a donné la force et le courage pour terminer nos études et à élaborer ce modeste travail. Ce mémoire n'aurait jamais été réalisé sans sa Bénédiction.

Nous remercions notre encadreur, Monsieur Taibi Mahmoud d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'étude, ainsi que pour son aide consistante, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives.

Nous remercions sincèrement les membres de jury pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture et à l'évaluation de notre travail.

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

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

À tous ces intervenants, on présente nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicaces

A mon cher Père :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère :

Le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

A mon cher frère Yahia et mes chères soeurs Nour El Houda et Kater El Nada, les mots ne suffisent guère pour exprimer L'attachement l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A mon binôme Belaid Chourouk pour tout l'effort fourni et la bonne collaboration.

A mes amis ceux qui sont proches tout comme ceux qui sont loin, et mes collègues.

Salsabil

Dédicaces

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :
A mes chers parents ma mère et mon père pour leur
patience, leur amour, leur soutien et leur
encouragement.*

A mes sœurs Imen , Kaoula , Safia et Hadjer

A ma nièce Dina

*A mes neveux : Anass Djoud, Chiheb El dine, Zakaria et
Yazan*

A ma meilleure amie Lamiss

A mon binome salsabil

*A toute personne qui ma aidé à franchir un horizon
dans ma vie ...*

Chourouk

Résumé :

Pendant de nombreuses décennies, le cuivre a constitué le matériau de base qui a permis de couvrir notre planète d'un vaste réseau de transmission de l'information. A la suite de développement des faisceaux hertziens centimétriques, puis des télécommunications par satellites, la transmission était en général assurée soit par des lignes bifilaires, soit par des câbles coaxiaux. L'invention du laser en 1960 a ouvert la voie à une autre solution, celle des télécommunications optiques. La possibilité d'utiliser des fibres optiques, comme milieu de transmission était largement établie dans le monde. Dans notre projet, on a commencé par décrire la constitution physique de la fibre optique ainsi que la façon dont la lumière s'y propage, puis dans le deuxième chapitre on a présenté la chaîne de transmission optique en décrivant ses blocs, les techniques de modulations et le multiplexage dans domaine optique, on a parlé de multiplexage temporel TDM, de multiplexage fréquentiel et de multiplexage en longueurs d'onde. Pour le dernier chapitre on a essayé de simuler des liaisons de transmission point à point avec des longueurs d'ondes différentes.

Mots clés : Optisystem, fibre optique, dispersion chromatique, multiplexage.

ملخص:

منذ عقود عديدة ، كان النحاس من المواد الأساسية التي غطت كوكبنا بشبكة واسعة من نقل المعلومات ، وبعد تطور الميكروويف و الاتصالات عبر الأقمار الصناعية ، كان يتم النقل إما عن طريق خطوط الأسلاك أو الكابلات المحورية. لقد مهد اختراع الليزر عام 1960 الطريق لبديل آخر وهي الاتصالات السلكية و اللاسلكية الضوئية وإمكانية استخدام الألياف البصرية التي وزعت على نطاق واسع في العالم. وفي موضوعنا هذا عرضنا في الفصل الأول مكونات الألياف البصرية وكيفية انتشار الضوء داخلها، أما في الفصل الثاني قدمنا سلسلة الإرسال البصري عن طريق وصف المكونات الخاصة بها، تقنيات التعديل وتجميع بصري حيث تكلمنا عن التجميع الزمني، تجميع التردد، وتجميع الطول الموجي. في الفصل الأخير، حاولنا محاكاة انتقال البيانات من نقطة الى نقطة أخرى مع أطوال موجات مختلفة.

الكلمات المفتاحية : النظام البصري ، الألياف الضوئية ، التشتت اللوني ، مضاعفة الإرسال.

Abstract:

For many decades, copper was the base material that has covered our planet a vast network of information transmission. Following the development of centimetric microwave and satellite communications, the transmission was usually done either by wire lines or by coaxial cables. The invention of the laser in 1960 has paved the way for an alternative, the optical telecommunications. The possibility of using optical fibers as transmission medium was widely disseminated. In our project began by describing the physical constitution of fiber optics and how light is propagated. Then in the second chapter the optical transmission chain was introduced by describing its blocks, modulation techniques and optical domain multiplexing, we spoke of time multiplexing, frequency multiplexing and wavelength multiplexing. for the last chapter we tried to simulate transmission link point to point with different wavelengths

Keyword: Optisystem, optical fiber, chromatic dispersion, multiplexing.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : guidage de la lumière dans une fibre optique.....	4
Figure I.2 : constitution d'un câble de fibre optique.....	6
Figure I.3 : Profil d'indice et vue d'un coup d'une fibre à saut d'indice.....	7
Figure I.4 : Profil d'indice et vue d'un coup d'une fibre à gradient d'indice.....	8
Figure I.5 : Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre optique monomode	9
Figure I.6 : Ouverture numérique.....	10
Figure I.7 : Atténuation spectrale d'une fibre optique.....	12
Figure I.8 : Atténuation dans la fibre optique.....	12
Figure I.9 : Effet de la dispersion chromatique.....	13
Figure I.10 : Effet de la dispersion modale.....	14

Figure II.1 : Schéma synoptique d'une liaison optique.....	19
Figure II.2 : Spectre d'émission d'une LED.....	20
Figure II.3 : Spectre d'émission d'une diode LASER.....	21
Figure II.4 : Synoptique de la modulation directe.....	22
Figure II.5 : Synoptique de la modulation externe.....	23
Figure II.6 : Schéma d'un interféromètre de Mac-Zehnder.....	24
Figure II.7 : Modification des énergies de gap sous l'application d'un champ électrique pour un matériau massif (effet Franz-Keldysh).....	24
Figure II.8 : Représentation temporelle (a) et spectrale (b) d'un signal codé en format NRZ	25
Figure II.9 : Représentation temporelle (a) et spectrale (b) d'un signal codé en format RZ	26
Figure II.10 : Diagramme schématique d'un amplificateur à fibre dopée	27
Figure II.11 : Amplification Raman.....	28
Figure II.12 : structure de base d'un amplificateur optique à semi conducteurs.....	29
Figure II.13 : Exemple de diagramme d'œil.....	31
Figure II.14 : Technique TDM.....	33
Figure II.15 : Principe du multiplexage en longueur d'onde.....	34
Figure II.16 : La technique d'accès OCDMA.....	35

Figure III.1 : Le spectre à la sortie du multiplexeur.....	41
Figure III.2 : Les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur	41
Figure III.3 : Le bloc de la portée de transmission	42
Figure III.4 : Le spectre à la sortie du DCF.....	43
Figure III.5 : Le spectre à la sortie du loop control.....	43
Figure III.6 : Schéma Bloc de simulation d'un multiplexage de 16 canaux.....	44
Figure III.7 : Les diagrammes d'œil des canaux et leurs facteurs de qualité	46

LISTE DES ABREVIATIONS

FO : Fibre Optique
LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
PIN : Jonction PN à zone Intrinsèque élargie
APD : Photodiode à Avalanche
SNR : Signal to Noise Ratio
TEB : Taux d'Erreur Binaire
BER : Bit Error Rate
EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier
NRZ : Non Return to Zero
RZ : Return to Zero
MEA : Modulateur à Electro-Absorption
DEL : Diode électroluminescentes (Light Emitting Diode)
DL : Diode laser
O.N : Ouverture numérique
DB : Le décibel
ASK : Amplitude Shift Keying
TDM : Time Division Multiplexed
WDM : Wavelength Division Multiplexing
SOA : Semiconductor optical amplifier
ATM : Asynchronous Transfer Mode
SMF : Single Mode Fiber
MMF : Multi Mode Fiber
3R: Réamplification - Remise en forme - Resynchronisation
CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing
DCF: Dispersion Compensating Fiber
DEMUX: Démultiplexeur
DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.
MUX: Multiplexeur
OADM: Optical Add-Drop Multiplexer
U-DWDM: Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing
WAN: Wide Area Network

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Comparaison entre la fibre monomode et multimode.....	9
--	---

TABLE DE MATIERES

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : généralités sur les fibres optiques	3
I.1 Introduction	4
I.2 Etude d'une fibre optique.....	4
I.2.1 Définition d'une fibre optique	4
I.2.2 Le principe de fibre optique.....	4
I.2.3 La fabrication	5
I.2.4 Constitution d'un câble de fibre optique.....	6
I.2.5 Les différents types de fibre optique.....	7
I.2.5.1 Les fibres multimodes.....	8
I.2.5.2 Les fibres monomodes	8
I.2.6 Comparaison entre la fibre monomode et le multimode	9
I.2.7 Les caractéristiques de la fibre optique.....	9
I.2.7.1 L'ouverture numérique.....	10
I.2.7.2 L'atténuation	11
I.2.7.3 Dispersion	13
I.2.7.4 La bande passante	14
I.2.8 Les effets non linéaires	14
I.3 Domaine d'utilisation	15
I.4 Avantages des fibres optiques.....	16
I.5 Inconvénients des fibres optiques	17
I.6 Conclusion	17
Chapitre 2 : Etude d'une chaîne optique	18
II.1. Introduction	19
II.2. Différents composants d'un système de transmission optique	19
II.2.1. Bloc d'émission.....	19
II.2.1.1 Les sources optiques	19
II.2.1.1.1 La diode électroluminescente (LED)	20
II.2.1.1.2 La diode laser (DL).....	20
II.2.1.2 La modulation	21
II.2.1.2.1 La modulation directe	21
II.2.1.2.2 La modulation externe	22
II.2.1.2.3 Formats de modulation.....	25
II.2.2. Composants de la ligne de transmission	26
II.2.2.1 Les amplificateurs.....	26
II.2.2.1.1 Amplificateur à fibre dopé.....	26
II.2.2.1.2 Amplificateurs à effet Raman.....	28
II.2.2.1.3 Amplificateurs à semi-conducteur.....	28
II.2.3 Bloc d'émission	29
II.2.3.1 Les photodétecteurs	29
II.2.3.1.1 Les photodiodes PN et PIN	29

II.2.3.1.2 Comparaison des photodiodes PN /PIN.....	30
II.2.3.1.3 Les photodiodes à avalanche PDA.....	30
II.2.4 Circuit de filtrage.....	31
II.2.5 Le Circuit de décision.....	31
II.3 Critères de qualité d'une transmission par fibre.....	31
II.3.1 Diagramme de l'œil.....	31
II.3.2 Facteur de qualité.....	32
II.4 Techniques de multiplexage	32
II.4.1 Le multiplexage dans le domaine temporel	33
II.4.2 Le multiplexage en longueurs d'onde	33
II.4.3 Le multiplexage par répartition de code	35
II.5 conclusion	36
Chapitre 3 : Simulation et résultats	37
III.1 Introduction	38
III.2 Présentation d'OptiSystem	38
III.2.1 Le principe de fonctionnement	38
III.2.2 Les caractéristiques d'OptiSystem	39
III.2.3 Les points forts	39
III.2.4 les applications d'OptiSystem	40
III.3 Simulation : Chaine multiplexée.....	40
III.3.1 La description de la chaine	40
III.3.2 Analyse et interprétations de résultats.....	45
III.3.3 Conclusion.....	47
Conclusion générale	48
Bibliographie.....	49

INTRODUCTION GENERALE

Les fibres optiques sont au cœur des échanges de données à l'échelle mondiale. Elles ont envahi le monde de la télécommunication en quelques années, et la plupart des données que nous émettons et recevons avec Internet circulent par elles.

L'apparition des lasers, vers 1960 a donné lieu à des expériences de transmission à travers l'atmosphère. Mais les instabilités de propagation (dus en particulier aux variations d'indice de l'air) ont fait abandonner cette solution, réservée depuis aux communications à courtes distances (télécommande infrarouge, communications « indoor », liaisons laser infrarouge entre deux bâtiments), même si on l'envisage à nouveau pour les liaisons directes entre satellites. De leur côté, les fibres optiques, minces cheveux de verre très transparents qui utilisent le principe, connu depuis fort longtemps, des fontaines lumineuses, faisaient l'objet d'applications décoratives, puis plus utilitaires (éclairage, endoscopie, mesures optiques à distance). Leur application au domaine des télécommunications, envisagée par les théoriciens (Charles Kao) dès 1966, a été rendue possible dans les années 1970 grâce aux progrès dans la technologie de fabrication des fibres optiques de silice, permettant une très faible atténuation et une résistance mécanique suffisante. Elle est également due à la maîtrise des diodes laser à semi-conducteurs, qui allient les performances des lasers à la facilité d'emploi des composants électroniques, notamment grâce aux progrès des semi-conducteurs composés 3-5. La mise au point de câbles, connecteurs et composants passifs performants, et la mise à disposition de procédés industriels de raccordement, ont également été indispensables pour le développement des premières liaisons commerciales, vers 1980.

Et depuis plusieurs années, les réseaux optiques ont été choisis pour réaliser les transmissions pour des liaisons longues distance. L'un des principaux critères de cette réussite tient à la grande bande passante de la fibre, mais surtout dans les très faibles pertes qu'elle présente. La conception de système de transmission à très grande capacité était désormais possible.

En effet, la fibre optique est le meilleur support et aussi elle est plus fiable et plus performante qui a un cout de revient moindre que les câbles de cuivre parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux hauts débits et supporter les montées en capacités exigées par les clients de ces réseaux.

De plus, les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée, la large bande passante de la fibre optique permet de transporter une très grande quantité d'informations, dont le traitement électronique avant modulation et après détection pour les très hauts débits. C'est pourquoi différentes techniques de multiplexage ou de codage ont été imaginées pour augmenter le nombre de canaux dans la fibre et l'association de l'amplificateur optique à fibre dopée à l'Erbium et aux sources lasers accordables en longueur d'onde qui a permis d'obtenir des débits de transmission de l'ordre de quarantaines de Gb/s environ, sur des dizaines de milliers de kilomètres comme par exemple les liaisons transocéaniques.

L'étude de ce mémoire est de connaître le rôle des différents paramètres dans une chaîne de transmission optique multiplexée à travers plusieurs simulations à l'aide du logiciel OptiSystem qui nous permet d'évaluer la qualité de transmission.

Ce mémoire est subdivisé en trois parties.

Dans le premier chapitre, nous allons faire un aperçu général sur la fibre optique, en présentant sa constitution, ses types et ses caractéristiques. Ainsi que ses avantages, inconvénients et ses domaines d'applications.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation d'une chaîne de transmission optique en décrivant ses blocs, techniques de modulations et multiplexages. Aussi les critères de qualité d'une transmission, diagramme de l'œil et le facteur du bruit. Ces paramètres sont utiles pour aborder le dernier chapitre.

Enfin, dans le troisième chapitre nous allons commencer par une présentation du logiciel « OptiSystem », ensuite nous allons présenter les différents composants utilisés ainsi que leurs caractéristiques et terminer par la simulation et les résultats.

Chapitre 1

Généralités sur les fibres optiques
Généralités sur les fibres optiques

I.1 Introduction

Les systèmes de communication par fibre optique ont révolutionné l'industrie des télécommunications depuis les années 1970 et ont joué un rôle majeur dans l'avènement de l'ère de l'information. En raison de ses avantages par rapport à la transmission électrique, la fibre optique représente un support pour la transmission de l'information d'un endroit à l'autre, basant sur sa constitution, son principe ces caractéristiques et de nombreux facteurs que nous expliquerons dans ce chapitre.

I.2 Etude d'une fibre optique

I.2.1 Définition d'une fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière sert dans la transmission de données par la lumière.

Elle est vite apparue très intéressante pour le domaine de la télécommunication, elle possède un grand nombre de propriétés remarquables qui en font un support physique excellent pour les télécommunications. Son principe a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works, Le signal lumineux transmis est codé par une variation d'intensité, Il est capable de transmettre une grande quantité d'information.

I.2.2 Le principe de fibre optique

Principalement, le guidage d'onde afin d'exploiter les propriétés réfractives de la lumière est le principe de la fibre optique avec un indice de réfraction de cœur plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne).

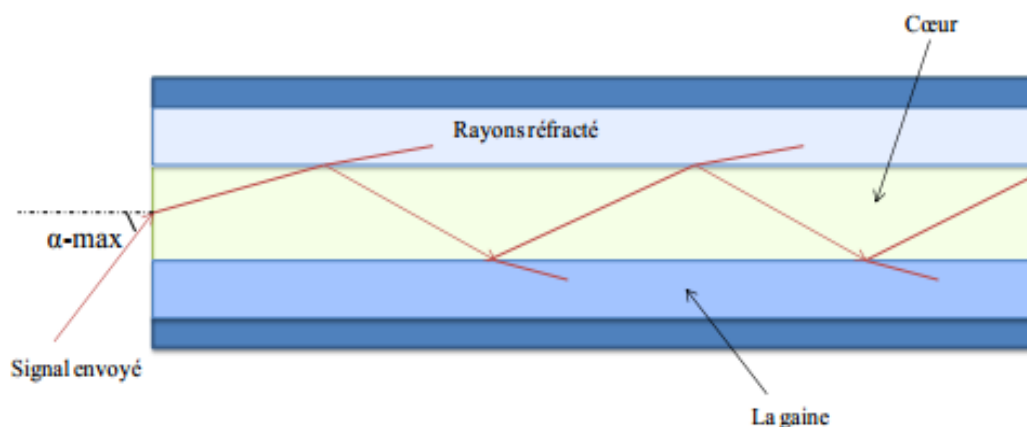


Figure I.1: Le guidage de la lumière dans une fibre optique.

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée [1]

I.2.3 La fabrication

La fabrication de la fibre optique, et tout particulièrement une fibre optique en silice passe par trois étapes : la préforme, le fibrage et le polissage.

- **La préforme**

La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique en barreau de silice. La silice est un composé oxygéné du silicium, de formule SiO_2 , présent dans un grand nombre de minéraux, tels que le quartz, la calcédoine et l'opale. La fibre est ensuite étirée à partir de ce barreau. Son centre, qui constitue le cœur de la fibre, nécessite une silice très pure avec un minimum d'ions hydroxydes OH^- [2].

- **Le fibrage**

Cette étape va permettre de transformer la préforme en fibre optique. Le cœur est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. Ainsi, on réalise un écart d'indice entre le cœur et la gaine en incorporant des dopants, tels que le germanium et le phosphore. En conséquence, ils font augmenter l'indice dans le cœur ou le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine. A titre d'exemple, une préforme de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 10 cm. Cela permet d'obtenir par étirement une fibre monomode d'une longueur d'environ 150 Km [2].

- **Le polissage :**

Afin d'avoir une surface d'entrée et de sortie parfaitement plane, certains procédés de fabrication de la fibre optique nécessitent une phase de polissage. Cette étape a pour but d'éviter toute réflexion non souhaitée qui viendrait grever la qualité optique de la fibre. Une fois que la fabrication est terminée, plusieurs tests seront effectués. Afin de tester : le débit, la résistance à la traction, la température de fonctionnement, la géométrie, l'atténuation, la dispersion chromatique, l'indice de réfraction, etc. Pour des fibres sous-marines, on effectuera aussi des tests de conductivité [2].

I.2.4 Constitution d'un câble fibre optique

Un câble fibre est composé d'une âme, d'une gaine optique, d'un revêtement, de fibres de renfort et d'une gaine de câble.



Figure I.2 : constitution d'un câble fibre optique

- **Âme ou cœur**

Support physique qui permet de transporter le signal optique entre une source de lumière et un récepteur. Cette âme peut être fabriquée à partir de verre ou de plastique. En fonction de sa taille, elle sera en mesure de transporter des données à travers la lumière acheminée par la fibre. Il existe trois calibres de fibre multi-mode, les plus fréquemment utilisés sont : 50 μm , 62,5 μm et 100 μm [3].

- **Gaine optique**

Fine couche qui entoure l'âme de la fibre. Elle a pour fonction de contenir les ondes lumineuses et de provoquer la réfraction. La gaine va donc permettre de faire circuler les données le long du segment de la fibre [3].

- **Revêtement**

Couche de plastique qui entoure l'âme et sa gaine. La mission de ce tube en plastique est de protéger l'âme mais aussi d'absorber les chocs éventuels. Il va également permettre d'éviter au maximum les courbures du câble qui pourrait endommager ou réduire le signal. En général, ce revêtement plastique mesure entre 250 μm et 900 μm d'épaisseur [3].

- **Fibres de renfort**

C'est la quatrième couche d'un câble de fibre optique. Elle a également pour mission de protéger l'âme. Cette couche a pour objectif de la protéger de tout écrasement au cours de son installation. Il existe différents types de fibres de renfort. Certaines sont des tubes remplis de gel tandis que d'autres sont des fibres de Kevlar [3].

- **Gaine du câble**

C'est la couche extérieure standard de n'importe quel câble [3].

I.2.5 Les différents types de fibre optique

On définit deux types de fibre optique selon la trajectoire empruntée par le faisceau lumineux et le rapport entre le diamètre de leur âme et celui de leur gaine.

I.2.5.1 Les fibres multi-modes

La fibre multi-mode, dénommée MMF (Multi Mode Fiber), a été la première utilisée sur le marché. Elle a pour caractéristiques de transporter plusieurs trajets lumineux simultanément. Elle est facile à utiliser (gros cœur) mais a une limitation de bande passante. Elle est donc réservée aux courtes distances. Il y a deux types de fibre multi-mode: saut d'indice et gradient d'indice [4].

- **Fibre optique multi-mode à saut d'indice**

L'indice de réfraction du cœur est homogène dans toutes les directions, c'est le « saut » qui provoque la réflexion totale des rayons. Le guidage de la lumière dans le cœur se fait en dent de scie. L'importante section du cœur provoque une grande dispersion des signaux la traversant, ce qui génère une déformation du signal reçu. La gaine joue un rôle actif dans le guidage de la lumière. La fibre à saut d'indice possède un cœur très large. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie [4].

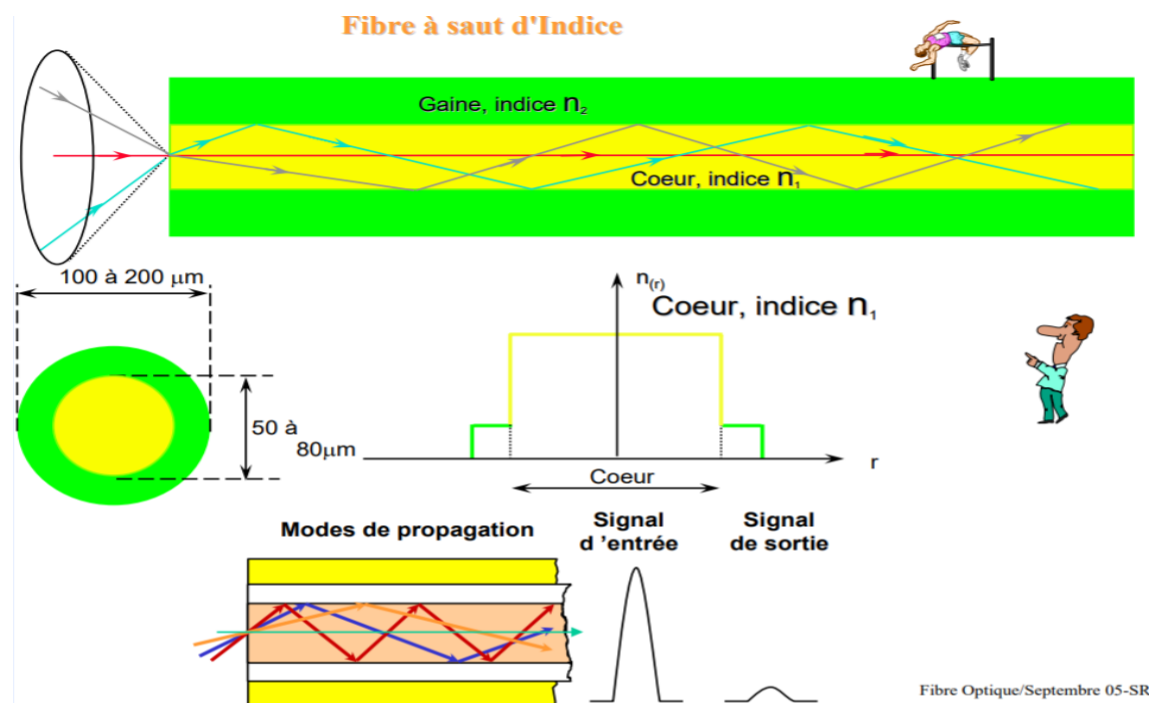


Figure I.3: Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre à saut d'indice.

- **Fibre optique multi-mode à gradient d'indice :**

L'indice du cœur n'est pas constant mais possède une symétrie autour de l'axe; l'indice est modifié de sorte à créer un gradient d'indice. Les différences de temps de propagation sont réduites et les écarts entre chemins optiques sont diminués. Le signal optique forme un signal sinusoïdal et les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice [4].

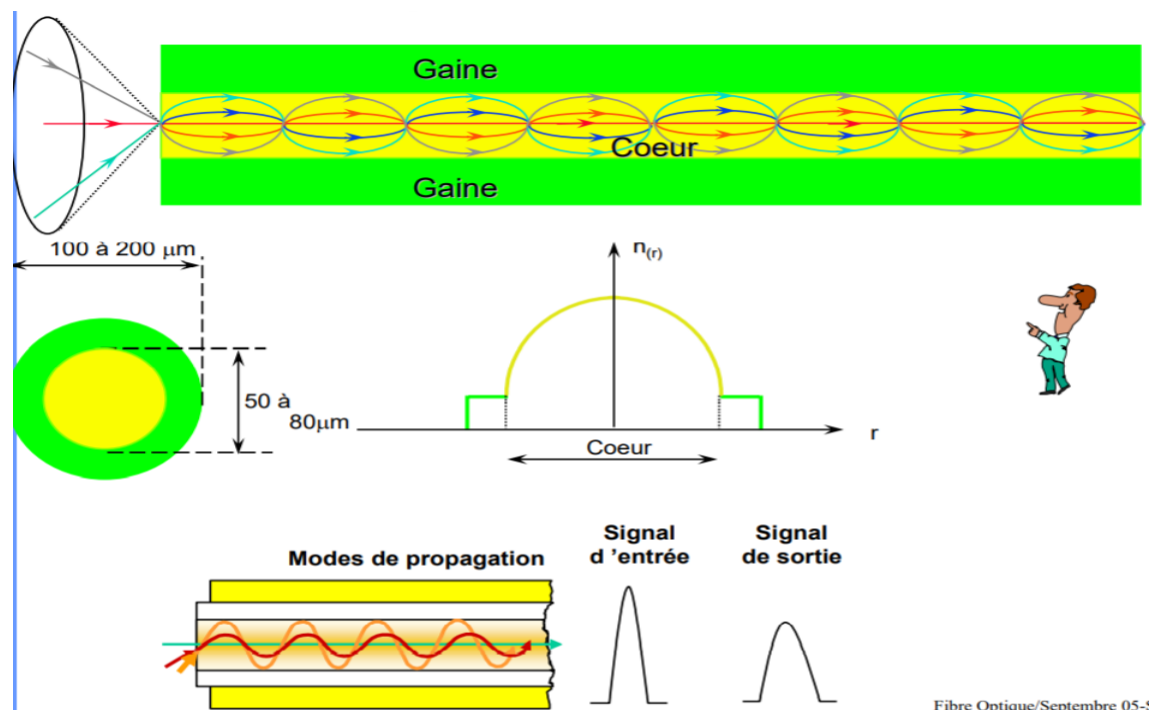


Figure I.4: Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre à gradient d'indice.

I.2.5.2 Les fibres monomodes

L'objectif pour cette fibre est que le chemin que doit parcourir le faisceau soit le plus direct possible. Pour cela on réduit fortement le diamètre du cœur qui est dans la plupart des cas inférieur à $10\mu\text{m}$. La dispersion du signal est quasiment nulle, le signal est donc très peu déformé. Ses performances sont d'environ 100 Gigabits/km, l'indice de réfraction peut être constant ou décroissant. Cette fibre est utilisée essentiellement pour les sites à grandes distances. Le petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission, donc des diodes au laser qui sont relativement onéreuses (ce qui rend la fibre monomode plus chère que la fibre multi-mode) [5].

Du fait de ses débits très importants, mais de son coût élevé, le monomode s'utilise généralement dans des connexions réseaux à longue distance couvrant des zones étendues [5].

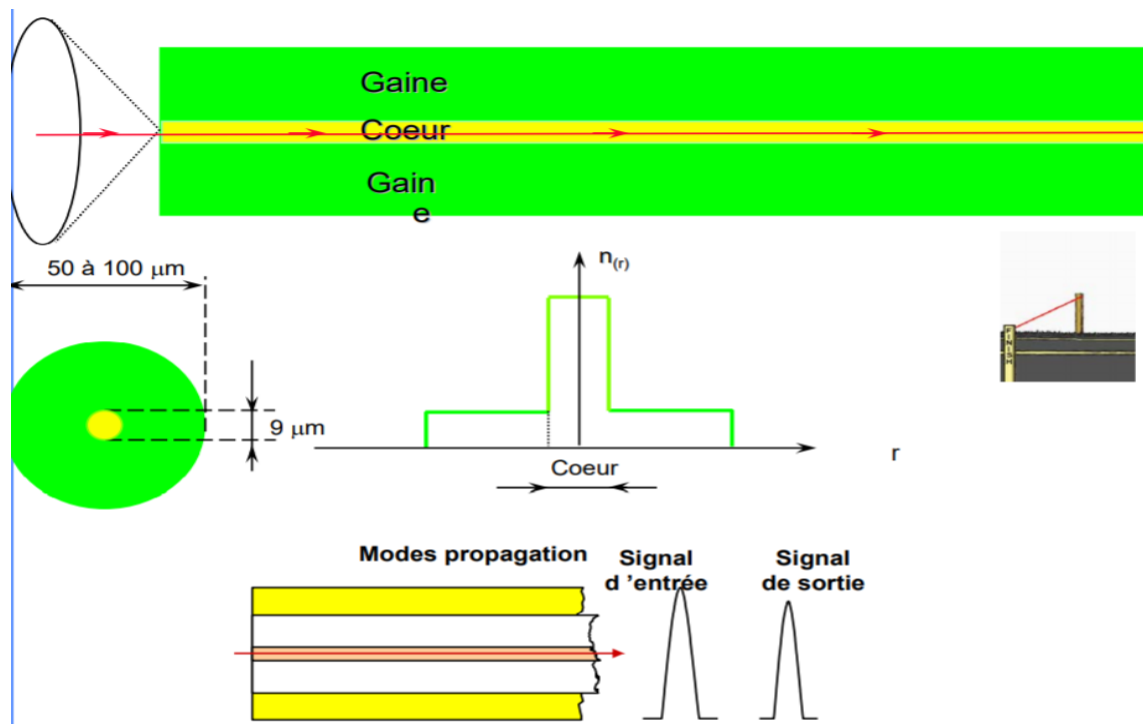


Figure I.5: Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre optique monomode.

I.2.6 Comparaison entre la fibre monomode et multi-mode

Le tableau suivant compare les caractéristiques de ces deux familles de fibres optiques [6]:

Tableau I.1 : Comparaison des différents types de fibres optiques

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratiques
Multimode à Saut d'indice (SI)	Grande ouverture Numérique, connexion Facile, faible prix, facilité De mise en œuvre.	Pertes, dispersion & distorsion Elevées du signal	Communications Courtes distances, Réseaux locaux
Multimode à gradient d'indice (GI)	Bande passante Raisonnable et bonne Qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications Courtes et moyennes distances
Monomode	Bande passante très Grande, atténuation très Faible, faible dispersion.	Prix très élevé	Communications Longues distances

I.2.7 Les caractéristiques de la fibre optique :

La fibre optique est caractérisée par plusieurs paramètres qui sont déterminés à partir de ses différents types. Les quatre paramètres les plus importants sont:

- L'ouverture numérique.
- L'atténuation.
- La bande passante.

- La dispersion.

- **I.2.7.1 Ouverture numérique**

L'ouverture numérique, noté ON (NA, Numerical Aperture), correspond à la valeur maximale que peut prendre le sinus de l'angle d'acceptance, l'angle maximum que doit faire le faisceau pour assurer sa propagation dans la fibre optique par une réflexion interne totale. Elle est le résultat de la frappe des rayons de lumière émis par une source (laser) à l'intérieur d'un angle spécifique (figure I.6).

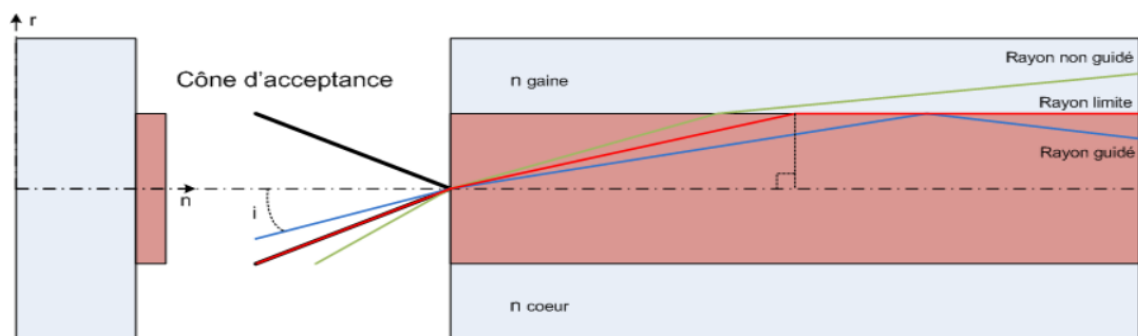


Figure I.6 : Ouverture numérique

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

Ces 2 angles limites représentent un cône.

Les rayons lumineux arrivant à l'entrée de la fibre, vont subir différents scénarios en fonction de leur angle d'incidence.

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

L'ouverture numérique est régie par la formule suivante :

$$ON = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \quad (1)$$

Où n_c = indique l'indice du cœur , n_g = indique l'indice de la gaine

I.2.7.2 Atténuation

L'un des principaux problèmes que l'on rencontre dans un système de transmission est l'atténuation ou perte de puissance. Elle représente l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. L'atténuation provient de plusieurs mécanismes : l'absorption, la diffusion, les micro-courbures et les macro-courbures.

Dans le cas de la silice pure, le minimum théorique d'atténuation devrait descendre à 0,14 dB/km vers $L = 1,55 \mu\text{m}$.

L'absorption

Les phénomènes mis en jeu ici sont régis par les lois des échanges d'énergie au niveau des atomes constituant le matériau de la fibre (absorption intrinsèque) ou ceux constituant les impuretés de ce matériau, comme les ions hydroxydes OH⁻ (absorption extrinsèque)[7].

La diffusion

- **Diffusion de Rayleigh** : Tout milieu diffuse de la lumière. Cette diffusion est inversement proportionnelle à la puissance quatrième de la longueur d'onde ($1/\lambda^4$). Elle se traduit par la propagation d'une partie de l'énergie incidente dans toutes les directions de l'espace [7].
- Il existe un autre type de diffusion, dit **diffusion extrinsèque** qui est provoquée par les imperfections dans la structure de la fibre. cette diffusion ne dépend pas de la longueur d'onde et peut être réduite au minimum en améliorant les techniques de fabrication [7].

Pertes par courbure

Lorsqu'on courbe la fibre, une partie de l'énergie lumineuse du mode peut échapper au guidage, et se perdre dans la gaine [8].

Pertes par micro courbure

Lors de la fabrication des câbles les contraintes mécaniques provoquent des microdéformations de la fibre, entraînant des pertes de lumière [8].

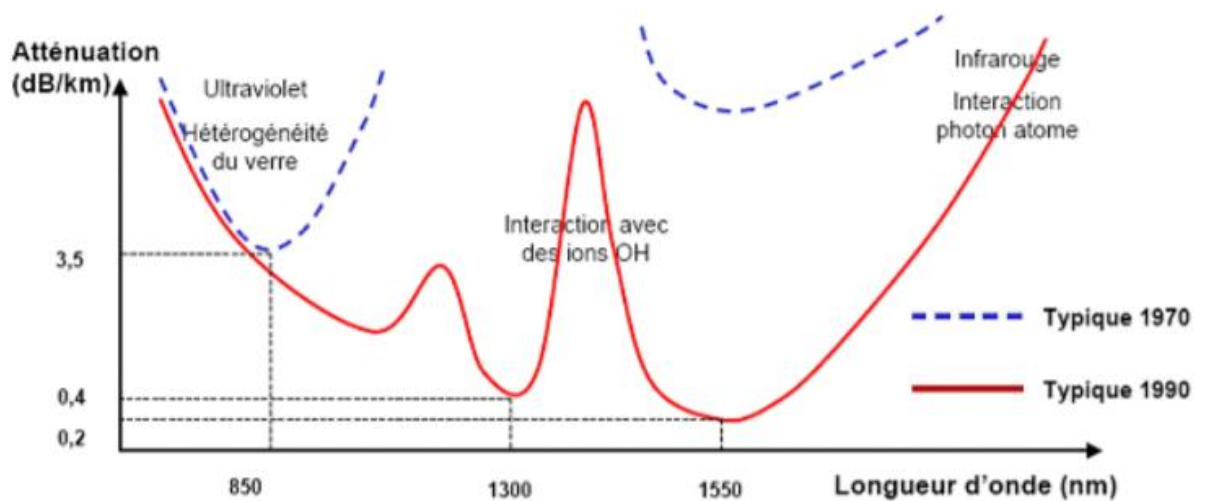


Figure I.7 : Atténuation spectrale d'une fibre optique.

Compte tenu de l'atténuation et la dispersion des fibres et des caractéristiques des composants optoélectroniques, on définit trois fenêtres de transmission utilisées avec une fibre en silice :

- La première fenêtre, vers 0.85 μm , correspond au maximum de sensibilité des détecteurs classiques au silicium ;
- La deuxième fenêtre, vers 1.3 μm , donne une atténuation assez faible (de l'ordre de 0.5 dB/km),
- La troisième fenêtre, vers 1.55 μm , correspond à l'affaiblissement linéique minimal

(0.2 dB/km), mais les composants optoélectroniques associés sont plus spécifiques.

Une partie du signal, sous forme de lumière, est perdue ; le signal qui se propage s'affaiblit.

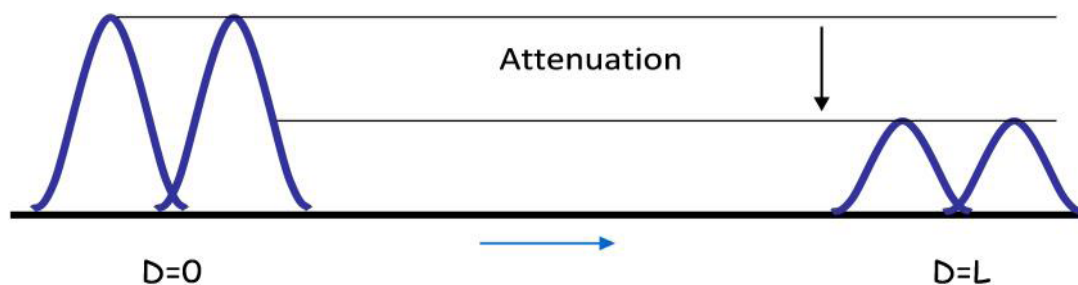


Figure I.8 : l'atténuation dans la fibre optique.

On peut résumer théoriquement l'atténuation dans cette formule : $P_s = P_i e^{-\alpha l}$

Où α est le coefficient d'atténuation linéaire.

P_i : la puissance à l'entrée et d'une fibre de longueur l .

P_s : la puissance à la sortie d'une fibre de longueur l .

I.2.7.3 La dispersion

Le facteur qui limite la transmission des signaux à haut débit sur de longues distances est la dispersion, elle se manifeste par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation [9].

Il y'a deux types de dispersion :

a. Dispersion chromatique

Lorsque des impulsions optiques se propagent à travers une fibre, leurs évolutions temporelle et spectrale sont affectées par les propriétés dispersives de la fibre. Il est donc essentiel de pouvoir maîtriser la dispersion chromatique, qui correspond à un étalement des impulsions lumineuses lors de leur propagation. Ce paramètre résulte de la somme de deux effets: la dispersion relative aux matériaux (qui dépend du type de verre utilisé et des impuretés résiduelles dans la fibre) et la dispersion du guide (qui dépend de la forme du profil d'indice). Il est donc possible, en contrôlant les paramètres opto-géométriques de la fibre ou en utilisant des dopants dans le cœur, En outre, plus l'impulsion est brève, plus sa gamme de fréquences est étendue. Aussi la dispersion chromatique est un facteur d'autant plus limitatif que les débits sont élevés, car les impulsions sont très brèves et proches les unes des autres dans le temps. Ce type de dispersion apparaît dans le cas des fibres monomode et multi-mode. Elle est de l'ordre du ps/Km [9].

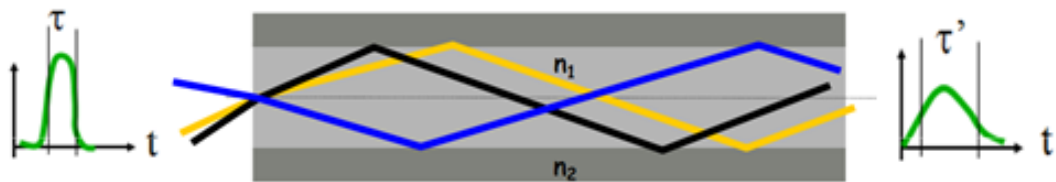


Figure I.9 : Effet de la dispersion chromatique.

b. Dispersion modale

La dispersion modale est la principale cause de dispersion dans les fibres multi-modes, elle limite la distance de propagation et le débit de transmission de l'information. Inhérente aux fibres multi-modes, elle n'existe pas dans les fibres monomodes. La dispersion modale

provient de la différence de temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus. Elle est due à la différence de temps des trajets du rayon axial [10].

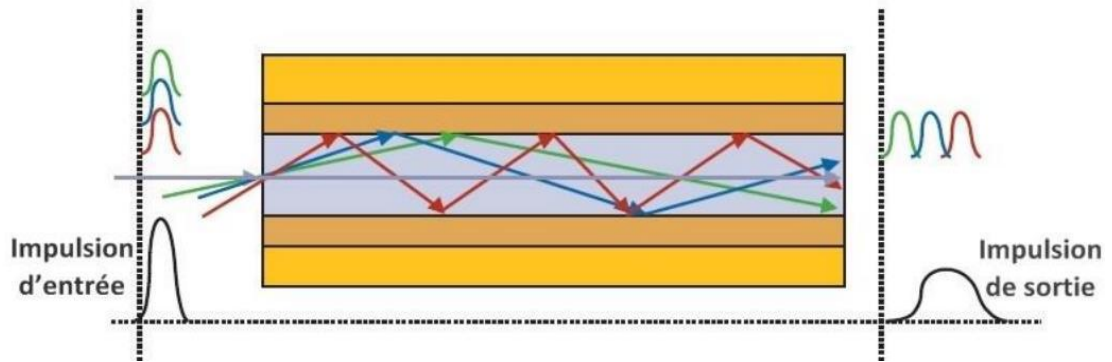


Figure I.10 : Effet de la dispersion modale

I.2.7.4 La bande passante

La bande passante est la quantité d'informations que l'on peut transmettre sur la fibre optique pendant un intervalle de temps, exprimée en bits par secondes (bps). Elle désigne aussi la longueur de l'intervalle de fréquence utilisable sur un support, dans ce cas elle s'exprime en Hertz (Hz).

L'usage impose que la bande passante soit exprimée en MHz/km [11].

I.2.8 Effets non linéaires :

- **Effets Kerr:**

En optique, Les effets non linéaires subis par le signal optique au cours de sa propagation proviennent majoritairement de l'effet Kerr.

C'est une extension des lois de réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variables .L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une fonction non-linéaire, du champ E (anisotropie du matériau).

Cet effet consiste en une variation de l'indice de réfraction du matériau en fonction de l'intensité du signal optique.

- **Les effets Raman et Brillouin**

Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

Sous l'effet de la température, les molécules constituant le milieu, subissent l'agitation thermique et effectuent de petits déplacements autour de leur position d'équilibre. Les phonons créés se couplent entre eux et modifient l'indice de réfraction du milieu créant des

ondes acoustiques de très faibles amplitudes. Par conséquent, lorsqu'une onde électromagnétique se propage, elle est diffusée dans toutes les directions.

I.3 Domaines d'utilisation

Le principal est bien entendu celui des télécommunications, mais les fibres optiques débordent largement ce secteur et connaissent un grand nombre d'applications industrielles.

- **Télécommunication**

Les deux premiers grands domaines d'utilisation de fibres optiques, liés aux besoins des réseaux ont été les liaisons urbaines, de capacités considérables et fonctionnant sans amplification intermédiaire ni télé-alimentation, et les liaisons sous-marines telles que les liaisons transocéaniques, ou les liaisons côtières sans répéteurs (qui dépassent 200 Km, et plus de 300 avec l'amplification optique dans les terminaux).

Ensuite les liaisons terrestres régionales, nationales et internationales ont connu un énorme développement, stimulé par l'arrivée de nouveaux opérateurs. Elles constituent l'infrastructure des réseaux ATM [12].

- **La médecine**

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui.

La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, un câble de fibre optique transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchi par les organes internes et est captée par un autre câble de fibre optique qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo [12].

- **Les capteurs (température, pression, etc.)**

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application plus récemment est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subie par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques [12].

- **L'éclairage**

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés [12].

I.4 Avantages des fibres optiques

- **Performances de transmission** : De très faible atténuation, très large bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux et de plusieurs utilisateurs. Elles permettent de concevoir des systèmes de transmission de portée et de capacité très supérieures à celles des câbles conducteurs [13].
- **Avantages de mise en œuvre** : faible poids, très petite taille, grande souplesse [13].
- **Sécurité électrique** : la fibre optique a une force de tension plus grande que les fibres de cuivre ou d'acier du même diamètre. Elle est plus flexible, et peut être tordue plus facilement. Elle résiste à la plupart des éléments corrosifs que le câble de cuivre ne peut le faire [13].
- **Absence de diaphonie** : pas de passage du signal d'un câble à un câble voisin [13].
- **Absence de rayonnement vers l'extérieur** : La lumière est confinée à l'intérieur de la fibre optique. Par conséquent, il n'est pas possible de détecter le signal entre l'émetteur et le récepteur [13].
- **Résistance aux températures élevées et aux produits corrosifs** :
Les fibres en verre peuvent supporter des températures proches de 800°C, ce qui permet de résister au feu plus longtemps que les câbles en cuivre [13].
- **Sécurité électromagnétique** : la fibre optique n'est pas sensible aux parasites et n'en crée pas elle-même [13].

- **Avantage économique** : contrairement à l'idée encore répandue, le coût global d'un système sur fibre optique et de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système en cuivre [13].

I.5 Inconvénients des fibres optiques

- **Coût** : les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer, mais durent plus longtemps que les câbles de cuivre.
- **Transmission** : la transmission du signal dans les câbles de fibres optiques doit se répéter au long d'une certaine distance grâce à des appareils amplificateurs mais demande beaucoup moins de répétitions que les câbles de cuivre.
- **Fragilité** : Quand le câble est rayé ou fissuré, les fibres peuvent être cassées ou perdent la transmission. Cependant en enveloppant des fibres dans une gaine en plastique, il est difficile de plier le câble sans casser la fibre.
- Les sources d'émission de faible puissance-lumière sont limitées à une faible puissance. Bien que des émetteurs de forte puissance soient disponibles pour améliorer l'alimentation électrique mais cela implique aussi un coût supplémentaire.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous pouvons dire que la fibre devient le meilleur moyen actuel et l'élément clé dans le domaine de télécommunication pour le transport de très hauts débits d'informations numériques. On a présenté aussi les différentes caractéristiques de la fibre, les avantages et les inconvénients ainsi que ses domaines d'application.

Par la suite nous avons vu que la fibre optique est loin d'être un milieu de transmission idéal. Différentes sources de distorsion agissent sur les signaux envoyés (dispersion chromatique, l'atténuation, etc.) qui ont été mentionnées aussi dans notre travail.

Chapitre 2

Etude d'une chaine optique
Etude d'une chaine optique

II.1. Introduction

Généralement, le transport de l'information d'un point à un autre est la base de la communication optique, sachant que cette opération fonctionne grâce à des différents blocs et ces composants qui seront décrites dans ce chapitre. Ainsi que des techniques de multiplexage utilisées pour augmenter la capacité totale d'information transmise dans ces systèmes et les critères de qualité de ces systèmes de transmission.

II.2. Différents composants d'un système de transmission optique

La transmission de données dans la fibre optique repose sur un système complexe mais au niveau élémentaire, tous les systèmes de communications optiques sont fondés sur des liaisons optiques. Globalement, ces liaisons se basent sur trois blocs fondamentaux : un bloc d'émission, un bloc de réception et une série de tronçons de fibres optiques.

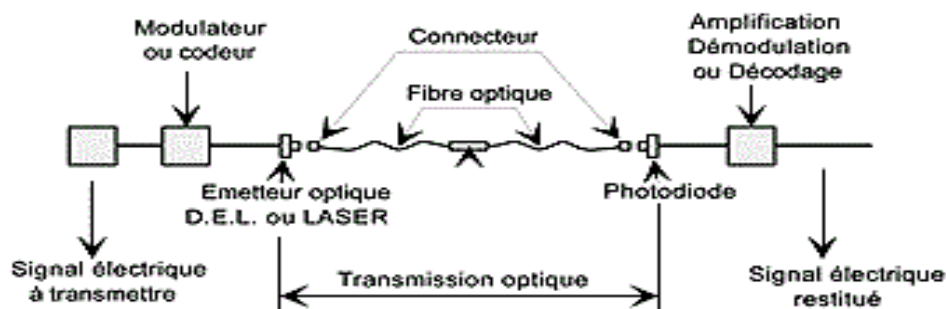


Figure II.1: Schéma synoptique d'une liaison optique.

Le rôle d'un tel système est premièrement, au niveau du bloc émetteur, d'émettre un signal optique continu et de le moduler. Ensuite ; la ligne optique a pour objectif de faire propager ce signal optique sur une distance donnée, en prenant en considération les différents effets de propagations qui peuvent affecter le signal. Et finalement, au niveau du récepteur, ce signal optique est détecté par un module de détection. [14]

II.2.1 Bloc d'émission

II.2.1.1 Les sources optiques

Les sources optiques sont des composants actifs qui transforment les impulsions électriques en impulsions lumineuses avec un intense rayonnement, consommation de faible puissance, temps de réponse rapide, modulable facilement, fiable et économique. En télécommunication optique, il existe deux catégories de sources optiques : les diodes laser

(DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). Elles sont réalisées à partir de jonctions PN polarisées en direct et fondées sur la recombinaison des paires électron-trou.

1.1. La diode électroluminescente (LED)

Le mot LED est l'acronyme de Light Emitting Diode (Diode Electroluminescente en français). La LED est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et poly-chromatique, elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui n'exigent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre typique d'émission spontanée, continu et assez large d'où une forte sensibilité à la dispersion chromatique (figure II.2).[15]

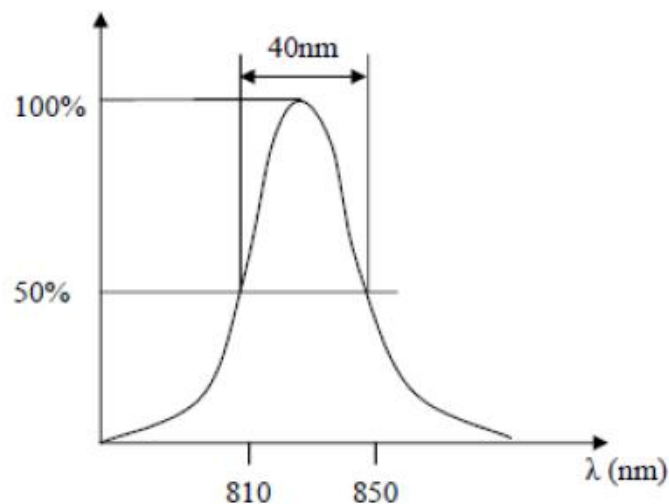


Figure II.2 : Spectre d'émission d'une LED.

1.2. La diode laser (DL)

Le **LASER** est un acronyme pour "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (amplification de la lumière par l'émission stimulée de rayonnement).

Mais **comment fonctionne un laser** ? En termes simples : Des particules de lumières (photons) excitées avec du courant émettent de l'énergie sous forme de lumière.

Comme tout **laser**, une **diode laser** fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée), d'une structure résonante (cavité de Fabry-Pérot ou autre types) et d'un processus de pompage (courant électrique).

Pourquoi les faisceaux laser sont-ils si fins et si concentrés contrairement à une lampe torche? La lentille de collimation et la dimension de la source lumineuse laser expliquent la finesse du faisceau laser. Les diodes Laser reposent sur des technologies bien différentes en

fonction de la couleur émise. En fonction de la couleur du Laser, le principe sera différent : diode laser simple ou diode laser de pompage et cristaux optiques spécifiques.

Commençons par définir la lumière blanche. Il s'agit d'une onde électromagnétique qui se propage dans l'air ou dans le vide à une vitesse constante (environ 3.10^8 m/s); elle est caractérisée par une fréquence et une longueur d'onde particulières. Le spectre de la lumière blanche comprend les ondes de longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nm. La lumière est composée de corpuscules, les photons qui se propagent dans n'importe quelle direction.

Contrairement à la lumière blanche, le laser est une lumière monochromatique, unidirectionnelle et cohérente. Les photons composant le laser sont identiques et se propagent tous dans la même direction et avec la même fréquence : c'est ce qu'on appelle la cohérence.

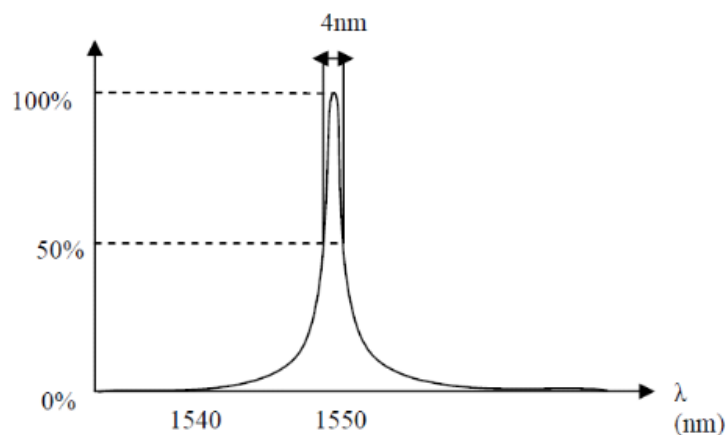


Figure II. 3 : Spectre d'émission d'une diode LASER

II.2.1.2 La modulation

Pour transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut tout d'abord graver ces informations sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre. Il existe deux techniques pour moduler les ondes optiques des télécommunications : modulation directe (interne) et modulation externe.

II.2.1.2.1 La modulation directe

La modulation directe a pour but de moduler le courant d'alimentation de la diode laser, ce qui entraîne une modulation de la puissance optique délivrée (figure II.4). Cependant, le niveau de puissance délivrée est souvent très faible, et l'utilisation d'amplificateurs optiques s'impose dans le cas des transmissions sur des longues distances [16].

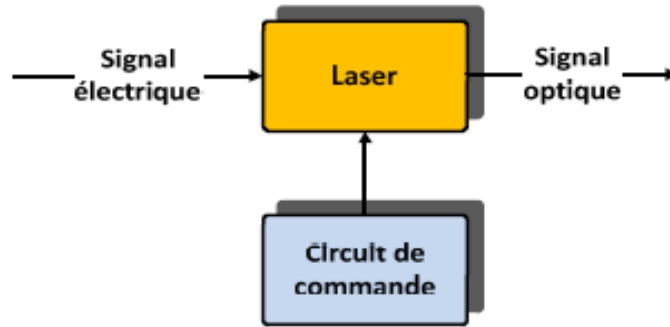


Figure II.4 : Synoptique de la modulation directe

La modulation directe du courant d'injection de la diode laser est une modulation d'intensité optique ou de puissance optique, mais ce n'est pas la modulation de l'intensité du courant. Cette modulation, s'accompagne d'une modulation parasite appelée chirp. C'est un phénomène de conversion puissance - fréquence [3].

Le chirp est responsable de l'élargissement de la largeur de la raie d'une impulsion optique émise par le laser, de l'apparition de raies latérales dans le spectre de modulation, et l'association de la modulation intensité-fréquence engendre une dissymétrie des raies latérales du spectre optique par rapport à la raie centrale qui correspond à la porteuse optique [16].

II.2.1. 2.2 La modulation externe

La modulation externe consiste à changer l'un des paramètres de l'onde lumineuse par l'intermédiaire d'un modulateur externe à la source lumineuse (figure II.5). Cette méthode de modulation est très privilégiée pour les télécommunications à haut débit sur de longues distances, à cause de la limitation du chirp. Elle permet d'obtenir une bande passante plus importante et un indice de modulation plus élevé que dans le cas de la modulation directe.

Le signal optique continu émis par la diode laser fonctionnant à courant constant subit très peu de dégradation. Lors de sa transmission à travers le modulateur, il est modulé par les données, car le signal électrique qui leur est associé module l'indice optique du matériau du modulateur et par suite son facteur de transmission [16].

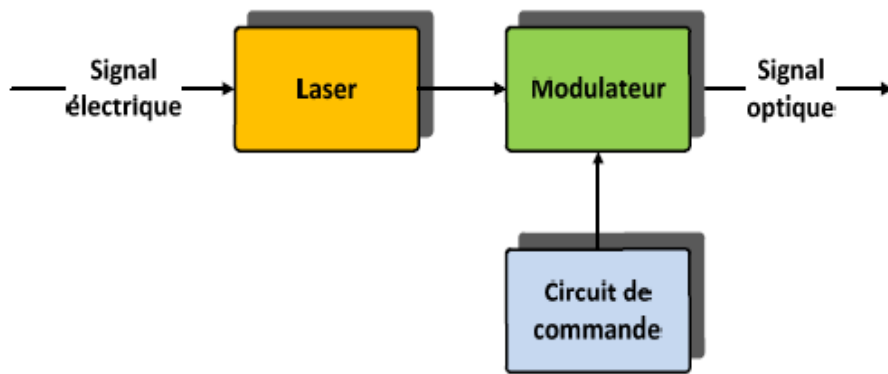


Figure II.5 : Synoptique de la modulation externe

Il existe deux types de modulateurs externes : les modulateurs de type Mach-Zehnder et les modulateurs électro-absorbant.

➤ Le modulateur d'intensité de Mach-Zehnder

Les modulateurs de Mach-Zehnder sont des modulateurs électro-optiques que l'on place directement en sortie du laser. Ils sont fréquemment utilisés pour les applications de télécommunication large bande.

Le principe de fonctionnement, consiste à effectuer une modulation de l'intensité lumineuse en faisant varier la phase dans un interféromètre.

La figure II.6 montre l'architecture d'un modulateur de type Mach-Zehnder. Il est composé d'une jonction Y en entrée permettant de séparer le faisceau incident en deux ondes sur les deux bras du modulateur. Sur l'un des bras de l'interféromètre, il y a une électrode qui permet d'appliquer un champ électrique entraînant une modification de l'indice de réfraction du matériau électro-optique et provoquant un changement de la phase de l'onde lumineuse comme pour le modulateur de phase. La sortie de l'interféromètre est composée d'une deuxième jonction permettant la recombinaison des deux ondes déphasées. En fonction de la différence de phase totale, la lumière ne se recombine plus ou moins efficacement, voire pas du tout, en sortie de l'interféromètre, conduisant ainsi à une modulation de la puissance lumineuse [17].

Ces modulateurs, souvent réalisés à base du matériau électro-optique Niobate de Lithium (LiNbO₃), nécessitent cependant une tension de commande élevée; leur intégration avec d'autres composants est difficile et ils ne sont pas stables dans le temps du fait d'une dérive du point de fonctionnement [17].

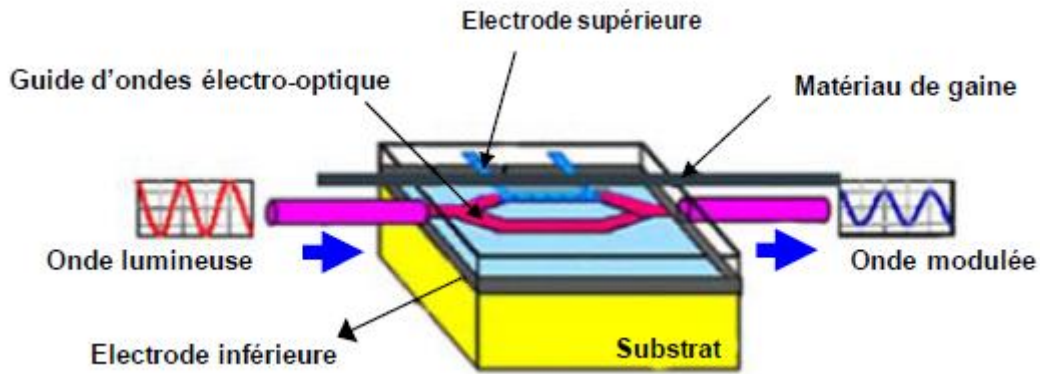


Figure II.6 : Schéma d'un interféromètre de Mac-Zehnder

➤ Les modulateurs à électro-absorption

Les modulateurs à électro-absorption (MEA) sont en réalité des diodes PIN à base de matériaux semi conducteurs à bande interdite directe ou des diodes Schottky.

Quand une telle jonction est polarisée en inverse, il y a apparition d'un champ électrique E au niveau de la zone intrinsèque, ce qui a pour effet d'incliner les bandes de conduction et de valence dans cette zone. Le gap effectif séparant ces deux niveaux est réduit (les électrons peuvent passer par effet tunnel dans la bande de conduction); il apparaît ainsi un recouvrement entre les fonctions d'onde des électrons et des trous pour des énergies de photons inférieures à celles du gap E_g . Le matériau devient ainsi absorbant pour des énergies de photons plus faibles que l'énergie du gap du matériau semi conducteur (figure II.7). Ceci se traduit par une modification du seuil d'absorption du matériau intrinsèque (matériau dit actif) vers les grandes longueurs d'onde [17].

Cet effet est appelé l'effet Franz-Keldysh dans le cas où le matériau intrinsèque est un matériau massif. Cet effet permettant de modifier le seuil d'absorption du matériau, il est alors possible de réaliser une modulation d'amplitude d'une onde lumineuse en fonction de la tension inverse appliquée [17].

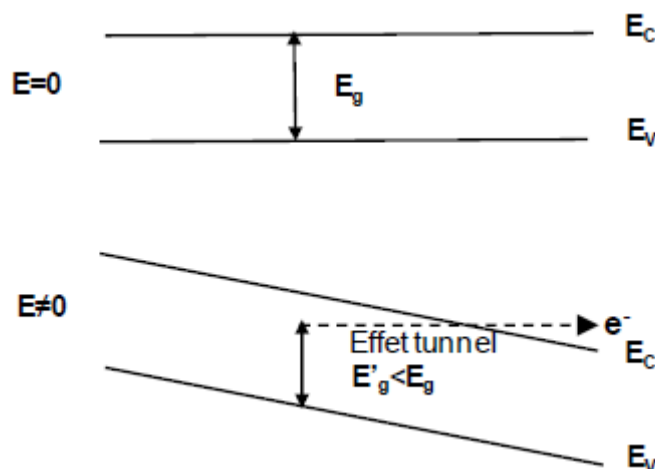


Figure II.7 : Modification des énergies de gap sous l'application d'un champ électrique pour un matériau massif (effet Franz-Keldysh)

Un signal codé au format RZ est formé d'impulsions correspondant aux symboles '1' et d'absence d'impulsion pour les symboles '0'. Ainsi, deux '1' successifs seront codés par l'enchaînement de deux impulsions. Il y a donc, contrairement au format NRZ, un « retour au niveau zéro » entre deux '1' successifs, d'où le nom de ce format. La Figure II.9 présente le signal de la Figure II.8 mais cette fois-ci codé au format RZ (a) ainsi que le spectre de ce signal RZ (b) [18].

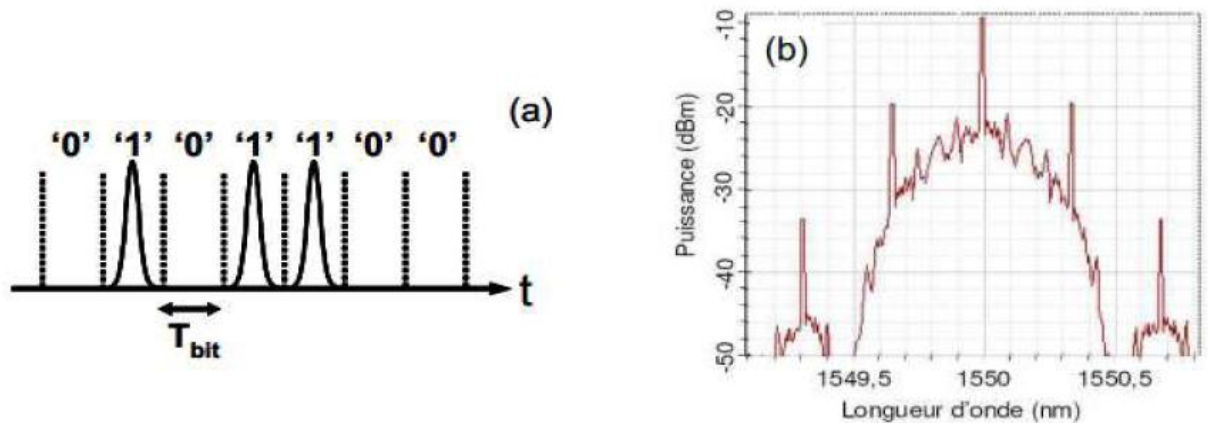


Figure II.9 : Représentation temporelle (a) et spectrale (b) d'un signal codé en format RZ.

II.2.2. Composants de la ligne de transmission

II.2.2.1 Les amplificateurs

En optique, on nomme un amplificateur optique, un système qui augmente un signal lumineux sans avoir besoin de le convertir en premier lieu en signal électrique avant de l'augmenter avec les techniques classiques de l'électronique.

L'amplificateur à fibre, apparu à la fin des années 1980, est rapidement passé au stade industriel : il constitue aujourd'hui un dispositif clé de tous les futurs réseaux de télécommunications optiques. Outre sa fiabilité, ses qualités reposent sur deux caractéristiques essentielles : d'une part, sa linéarité (au sens où sa constante de temps ne le rend sensible qu'à la puissance moyenne des signaux qui le traversent, ce qui évite toute distorsion de ces derniers), et d'autre part, son bruit faible et voisin des limites théoriques.

La bande passante importante des amplificateurs à fibre (plus de 30 nm) permet d'envisager l'amplification simultanée de plusieurs longueurs d'onde (porteuses optiques).

II.2.2.1.1 Amplificateur à fibre dopée

Un amplificateur à fibre dopée fonctionne à la manière d'un laser. Une portion de fibre optique est dopée et pompée optiquement avec un laser pour placer les ions de dopage dans un état excité. Quand un signal lumineux passe à travers ce morceau de fibre optique, il

déexcite les ions par effet laser en produisant un photon en tout point semblable au photon incident. Le signal lumineux a par conséquent été doublé [9].

Par effet d'avalanche, l'augmentation du signal se fait jusqu'à la sortie de la section dopée de la fibre optique.

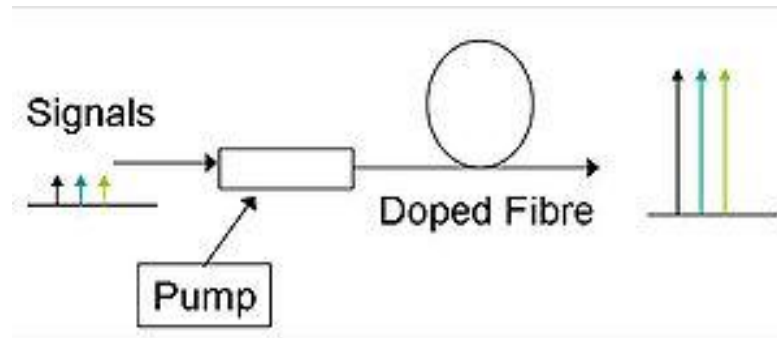


Figure II.10 : Diagramme schématique d'un amplificateur à fibre dopée

➤ **Amplificateur à fibre dopée à l'erbium**

L'amplificateur à fibre dopée à Erbium, en anglais (Erbium doped Fibre Amplifier), selon le principe d'amplification optique qui se consiste sur le phénomène d'émission stimulée et grâce à sa transparence au débit il a un grand rôle dans le domaine de télécommunication et ils sont les plus communs.

Les longueurs d'ondes de travail sont réparties en deux fenêtres. La bande Conventiennelle (d'où C-Band) entre 1 525 nm et 1 565 nm et la bande Longue (appelée L-Band) entre 1 570 nm et 1 610 nm. Ces deux bandes peuvent être indifféremment augmentées par ce type d'amplificateur, mais on préfère fréquemment utiliser des amplificateurs optimisés pour chaque application.

La principale différence entre les amplificateurs pour bande C ou L est que pour la bande L, la longueur de fibre dopée est nettement plus longue, ce qui nécessite un pompage optique moins fort.

Il existe deux longueurs d'onde pour le pompage optique de ce type d'amplificateur : 980 nm et 1480 nm. La longueur d'onde de 980 nm est généralement utilisée pour des équipements à faible bruit. Par contre, comme la fenêtre d'absorption est assez étroite, on doit utiliser des sources lasers stabilisées. La fenêtre d'absorption de la longueur d'onde de 1480 nm est plus large et est généralement utilisée pour des augmentations de plus forte puissance. Le pompage optique à ces deux longueurs d'ondes est généralement utilisé en conjonction dans les dispositifs [9].

➤ Amplificateurs pour d'autres longueurs d'ondes

Le thulium est utilisé comme dopant pour augmenter les signaux d'entre 1450 et 1490 nm et le praséodyme pour les longueurs d'ondes d'environ 1300 nm. Cependant, ces longueurs d'ondes n'ont pas connu un usage commercial significatif et n'ont pas permis un développement de ces amplificateurs comme les amplificateurs dopés à l'Erbium [21].

II.2.2.1.2 Amplificateurs à effet Raman

L'effet Raman est un phénomène physique de diffusion moléculaire de la lumière. Les atomes constituant de la matière sont en constante vibration. Quand une lumière est envoyée sur un objet, elle va lui fournir de l'énergie. Cette énergie va alors modifier la vibration des liaisons chimiques entre les atomes.

Les amplificateurs Raman n'utilisent pas les transitions atomiques d'ions dopés terres-rares dans les fibres mais se basent sur un échange d'énergie par diffusion Raman. Tous les matériaux ont un spectre Raman caractéristique. Un faisceau laser de pompage injecté dans la fibre (dans le sens de propagation du signal ou préférentiellement en sens inverse) va amplifier la lumière décalée vers les basses fréquences d'environ 13,2 THz, valeur caractéristique du décalage Raman dans la silice. Pour les télécommunications optiques usuelles à 1550 nm, il faut donc utiliser un laser de pompage autour de 1450 nm [22].

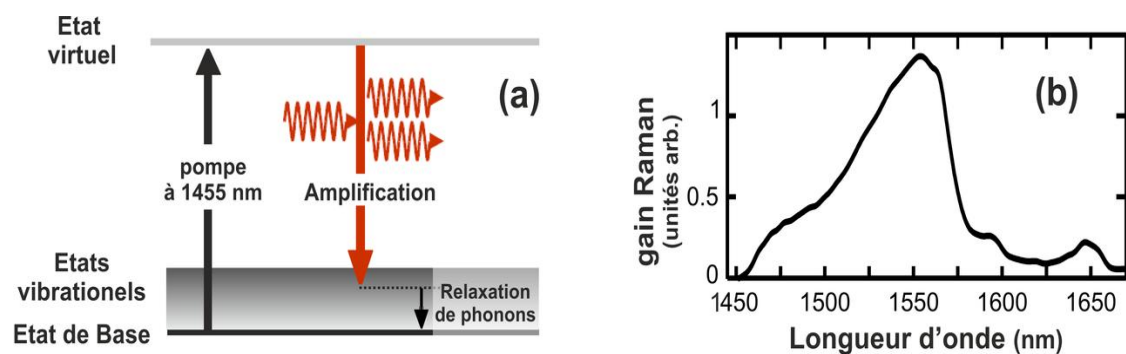


Figure II.11 : Amplification Raman.

II.2.2.1.3 Amplificateurs à semi-conducteur

L'amplificateur à semi-conducteurs, qui a fait l'objet de nombreux travaux depuis le début des années 1970, n'a pas connu beaucoup de développements en tant qu'amplificateur inséré dans un système de transmission, si l'on excepte quelques démonstrations dans la fenêtre de 1,3 μm , où il n'existe pas d'amplificateurs à fibre dopée industriellement disponibles. En revanche, ses caractéristiques lui offrent un large domaine d'utilisation pour tout ce qui touche au traitement optique du signal.

Un SOA est un dispositif optoélectronique qui peut, dans des conditions d'exploitation appropriées, amplifier un signal lumineux incident. Une structure de base d'un SOA est illustrée à la figure II.12. Son élément principal est la région active qui fournit le gain optique lorsque l'amplificateur est pompé électriquement. Le pompage est nécessaire pour atteindre l'inversion de population et par conséquent l'émission stimulée. Un guide d'onde intégré est utilisé pour confiner l'onde de signal à la région active [23].

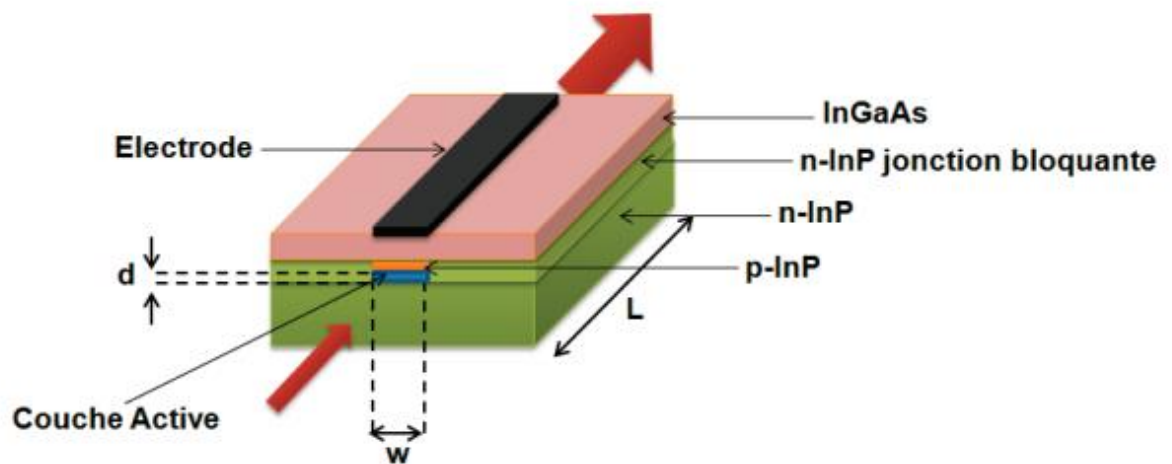


Figure II.12: structure de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs. L, d et w sont respectivement la longueur, l'épaisseur et la largeur de la zone active.

II.2.3 Bloc d'émission

II.2.3.1 Les photodétecteurs

II.2.3.1 .1 Les photodiodes PN et PIN

Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique, la photodiode PN de base est utilisée dans plusieurs cas. La photo-détection se produit dans la zone d'appauvrissement de la diode. Comme elle est relativement petite, la sensibilité n'est pas aussi grande que celle de certaines autres formes de photodiode.

Comme il y a énormément de diodes en électronique, elle est constituée d'une jonction PN. Cette configuration de base fut perfectionnée par l'introduction d'une zone intrinsèque (I) pour former la photodiode PIN.

Une diode PIN (Positive Intrinsic Negative diode en anglais) est une diode constituée d'une zone non-dopée, dite intrinsèque I, intercalée entre deux zones dopées P et N. Elle est polarisée dans le sens direct (passante) et offre une impédance dynamique (vis-à-vis des signaux variables) extrêmement faible. Polarisée dans le sens inverse (bloquée) elle offre une très grande impédance et en particulier une très faible capacité (elle se comporte comme

un condensateur de très faible valeur, quelques picofarads, ou alors de valeurs moindre toujours suivant les modèles).

II.2.3.1 .2 Comparaison des photodiodes PN / PIN:

Les photodiodes PN et les photodiodes PIN peuvent être obtenues auprès de nombreux fournisseurs. Lors de la conception du circuit du photodétecteur, il est nécessaire de choisir le type de photodiode correct en fonction des performances et des caractéristiques requises: Une photodiode PN ne nécessite pas de polarisation inverse et, par conséquent, convient mieux aux applications à faible luminosité en raison des performances de bruit améliorées [24].

La polarisation inverse requise par la photodiode PIN introduit un courant de bruit qui réduit le rapport signal/bruit. Le biais de révérence offre de meilleures performances pour les applications à plage dynamique élevée. La polarisation inverse requise offre de meilleures performances pour les applications à large bande passante car la capacité entre les régions P et N ainsi que le stockage de charges sont faibles [24].

II.2.3.1 .3 Les photodiodes à avalanche PDA :

La photodiode à avalanche a une fonction similaire à la jonction PN et à la photodiode PIN, la seule différence c'est que la tension de polarisation inverse élevée est appliquée dans le cas de photodiode à avalanche afin d'obtenir une multiplication par avalanche.

L'augmentation de génération de porteurs de charge par l'application d'une tension de polarisation inverse élevée à la photodiode d'avalanche ne se fait pas d'une façon directe. Cependant, il fournit de l'énergie aux paires électron-trou générées par la lumière incidente. Lorsque l'énergie lumineuse est appliquée à la photodiode d'avalanche, des paires électron-trou sont générées dans l'épuisement. Les paires électron-trou générées éprouvent une force due au champ électrique de région d'épuisement et au champ électrique externe. Dans une photodiode à avalanche, une tension de polarisation inverse très élevée fournit une grande quantité d'énergie aux porteurs minoritaires (paires électron-trou). Les transporteurs minoritaires qui gagnent une grande quantité d'énergie sont accélérés à des vitesses plus élevées [25].

Lorsque les électrons libres se déplaçant à grande vitesse entrent en collision avec l'atome, ils frappent plus d'électrons libres. Les électrons libres nouvellement générés sont de nouveau accélérés et entrent en collision avec d'autres atomes. En raison de cette collision continue avec les atomes, un grand nombre de porteurs minoritaires sont générés. Ainsi, les photodiodes d'avalanche génèrent plus de porteurs de charges que les photodiodes PN et

PIN. Les photodiodes d'avalanche sont utilisées dans les applications où un gain élevé est un facteur important [25].

II.2.4 Circuit de filtrage:

Le filtrage du signal reçu au niveau du récepteur a pour but de réduire le bruit en sortie, il est filtré dans la plus petite bande passante possible en considérant les interférences inter-symboles, cela signifie que le symbole de la réponse du filtre s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins.

II.2.5 Le Circuit de décision:

La mission de bloc de décision est de garantir une qualité d'information parfaite et pour réaliser ce but, une remise en forme du signal est réalisée. Il se compose d'un circuit de synchronisation, un détecteur à seuil.

Si le signal reçu est supérieur au seuil de décision, le niveau haut sera détecté et établi, sinon, ce sera un niveau bas. L'horloge doit être synchronisée sur le signal incident. Cette récupération de rythme est effectuée grâce à une boucle à verrouillage de phase classique.

II.3 Critères de qualité d'une transmission par fibre

II.3.1 Diagramme de l'œil

Dans le domaine des télécommunications, c'est un oscillogramme représentant des données numériques issues d'un récepteur, celles-ci sont échantillonnées de manière répétitive et sont appliquées à l'entrée de déviation verticale, alors que le déclenchement (déviation horizontale) est synchronisé avec le débit du signal. Le nom de ce diagramme vient du fait que pour nombre de codage, le motif obtenu ressemble à une suite d'yeux encadrés par deux rails horizontaux.

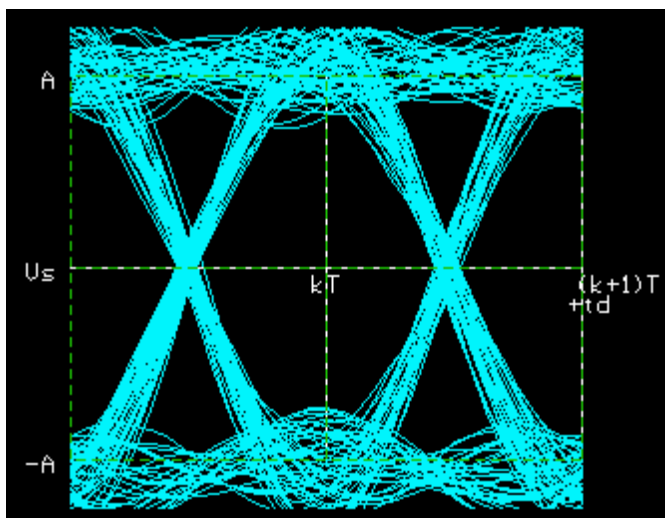


Figure II.13 : Exemple de diagramme d'œil

C'est une manière assez efficace pour l'observation de l'évaluation des performances d'une liaison optique afin d'apprécier la qualité des signaux numériques reçus avant qu'ils n'atteignent le dispositif de démodulation, cette manière est considérée comme une des mesures de base en transmission numérique.

En général il caractérise le bruit et les distorsions apportées par la chaîne de transmission. L'opération d'échantillonnage doit se produire à l'instant précis où l'œil est le plus ouvert. Un œil bien ouvert permettra au dispositif de démodulation de discerner aisément les symboles transmis. A l'opposé, un œil fermé se traduira inévitablement par de nombreuses erreurs de transmission.

II.3.2 Facteur de qualité

Le facteur de qualité est le rapport du signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur, il est défini par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\delta_1 + \delta_2} \quad (2)$$

Où μ_1 et μ_2 sont respectivement les tensions moyennes des symboles «1» et «0» à l'instant de décision, et δ_1 et δ_2 les variances des probabilités de puissance des symboles «1» et «0».

Q est d'habitude exprimé en dB en utilisant la formule suivante :

$$Q \text{ (dB)} = 20 \cdot \log_{10}(Q)$$

II.4 Techniques de multiplexage

En télécommunications, les systèmes optiques utilisent des techniques d'accès multiples qui dépendent fortement des multiplexages de plusieurs canaux de transmission des données sur le même support physique, afin de partager la bande passante de la fibre entre les différents utilisateurs des systèmes. Un démultiplexage adéquat permet de séparer les canaux.

On constate dans la majorité des applications que la transmission des données à des débits élevés sur une seule fibre est beaucoup plus économique que la transmission des débits relativement faibles sur plusieurs fibres optiques et de cela l'importance de multiplexage apparaît énormément.

Dans les systèmes de communications optiques, les techniques d'accès multiples peuvent être classées en trois familles :

- L'accès multiple par répartition temporelle en optique (OTDMA).
- L'accès multiple par répartition en longueurs d'ondes (WDMA).
- L'accès multiple par répartition de codes en optique (OCDMA).

II.4.1 Le multiplexage dans le domaine temporel

Le multiplexage temporel consiste à partager les ressources de la fibre optique en les allouant de façon temporaire à chaque utilisateur. Il est fondé sur la transmission sur une même bande de fréquence, les signaux provenant de plusieurs utilisateurs. L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminées. Un intervalle de temps fixe (IT) est successivement assigné à une source. A la réception, un démultiplexage temporel est effectué permettant de récupérer les données de chaque utilisateur suivant les intervalles temporels du canal correspondant.

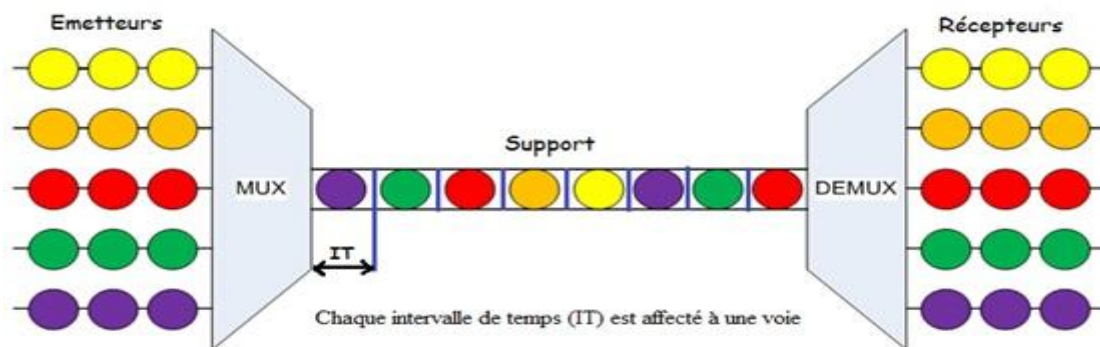


Figure II.14 : Technique TDM.

À la base, la technique de multiplexage temporel a été utilisée pour les systèmes électriques. Mais le domaine électrique atteignait rapidement ses limites dès que l'on s'approchait de débits de l'ordre de 10 Gb/s à cause des composants électroniques.

L'OTDM, développée principalement au début des années 1990, a permis de dépasser cette limitation et d'atteindre des débits avoisinant le Tb/s [26].

Le multiplexage optique temporel peut être aussi utilisé comme technique d'accès dans les réseaux locaux; il suffit de partager le temps entre les différents utilisateurs, autrement dit; chaque utilisateur dispose d'une tranche temporelle pour émettre. Par la suite, les différents signaux sont assemblés pour être transmis sur une porteuse optique unique [27].

II.4.2 Le multiplexage en longueurs d'onde

Le **WDM** (Wavelength Division Multiplexing) est une transposition du multiplexage en fréquence dans les systèmes de communications optiques.

Le multiplexage en longueurs d'onde consiste à utiliser plusieurs sources de lumière opérant sur des longueurs d'ondes légèrement différentes pour transmettre différents flux d'informations simultanément sur la même fibre optique. A l'extrémité de la fibre, il suffit

de séparer ces longueurs d'onde et de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux.

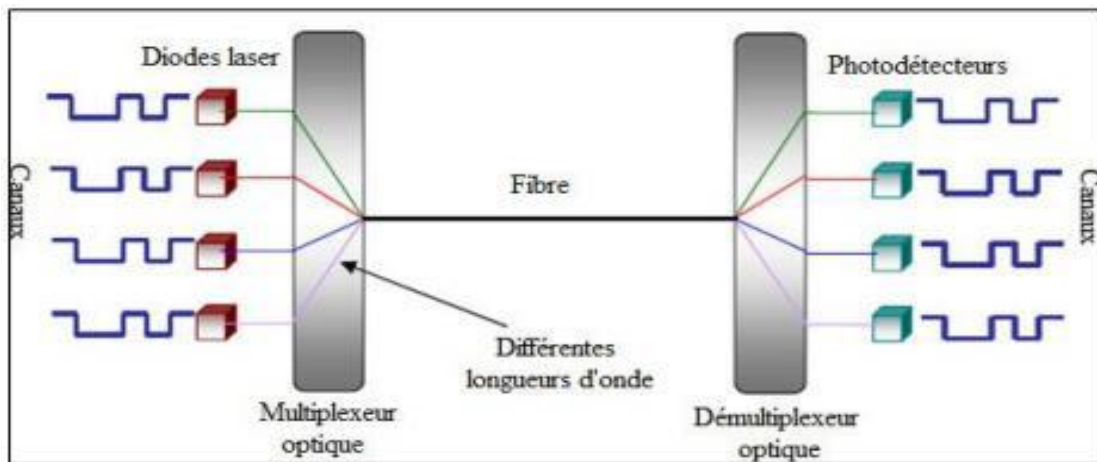


Figure II.15 : Principe du multiplexage en longueur d'onde.

Pour avoir une bonne qualité de transmission du multiplexage dans la fibre, il faut éviter tout chevauchement possible en respectant l'espacement minimum entre les longueurs d'onde émises par chacune des sources. L'espacement dépend de divers facteurs comme: la qualité de la fibre, la qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs, la qualité des sources, le débit de données de chaque source, la longueur de transmission.

Pour augmenter la capacité totale d'un système WDM il existe deux méthodes : soit en jouant sur le débit transporté par canal soit sur le nombre des canaux soit sur les deux facteurs en même temps.

➤ Augmentation du nombre des canaux

Une tendance de la mise en œuvre de la WDM est la quête interminable pour utiliser des longueurs d'onde de plus en plus rapprochées dans une bande passante étroite, autrement dit, utiliser des espacements (entre les longueurs d'onde) de plus en plus petits. Ce qui a conduit à ce qu'on appelle la **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing). Dans ce cas ; l'espacement utilisé est inférieur ou égal à 0.8 nm (100 GHz) ce qui autorise 40 longueurs d'onde dans la bande [14]. Le multiplexage **DWDM** permet d'atteindre des capacités énormes (plus de 10 Tbps) sur les réseaux et liaisons de longue distance.

UDWDM (Ultra Dense WDM) est utilisé pour désigner des espacements encore plus petits (de 25 GHz et 12.5 GHz). C'est une anticipation à l'augmentation de l'efficacité spectrale offerte par les formats de modulations avancées et l'adaptation du multiplexage WDM aux réseaux d'accès où un grand nombre de canaux est souhaitable compte tenu du grand nombre des utilisateurs. Pour réduire le coût du multiplexage WDM, un cas particulier a été

mis au point avec **CWDM** (Coarse WDM). Ça consiste à élargir les espacements entre les longueurs d'onde. Cette solution réduit énormément le coût des composants optiques mais diminue également le nombre de longueurs d'onde à moins d'une vingtaine, ce qui est largement suffisant dans les environnements métropolitains [14].

II.4.3 Le multiplexage par répartition de code

Dans le cas du CDMA, les N utilisateurs du réseau vont transmettre leurs informations simultanément et dans la même bande de fréquence. Les N canaux OCDMA sont différenciés par des codes quasi-orthogonaux entre eux, c'est-à-dire des codes dont l'inter-corrélation est quasi nulle (les éléments composant ces codes sont appelés « chips »). A chaque utilisateur est attribué un code qui lui est propre. Le multiplexage est réalisé en codant les informations de l'utilisateur avec son propre code. Pour démultiplexer les canaux, on effectue une corrélation en convolant les canaux multiplexés avec le conjugué du code définissant le canal voulu. L'information d'origine de l'utilisateur est ainsi reconstituée, ainsi qu'un pseudo-bruit à large bande venant de l'inter-corrélation non-nulle entre les autres canaux et le code utilisé [28].

Le multiplexage OCDMA a pour avantage de permettre un accès multiple asynchrone, un partage de ressources flexibles sans gestion de temps ni de fréquence, et peut être réalisé dans le domaine optique grâce à des dispositifs de codage et décodage optique. Cependant, cette technique de multiplexage est limitée par la capacité à générer le maximum de codes dont les propriétés de corrélation permettent d'engendrer le moins d'interférences d'accès multiples (MAI : Multiple Access Interférence) possible [28].

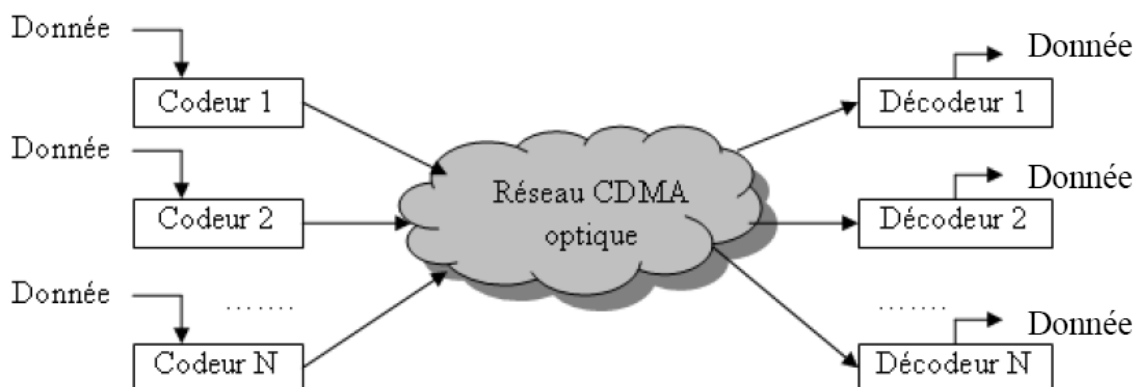


Figure II.16 : La technique d'accès OCDMA.

II.5 conclusion

On conclue que les chaines des transmissions ne peuvent pas assurer l'efficacité de transport de l'information que par des dispositifs et des techniques qui ont été définis et présentés dans notre travail.

Dans ce chapitre, nous avons décrit chaque bloc fonctionnel composant par composant en expliquant leurs principes de fonctionnement, structures et caractéristiques.

Afin d'augmenter la capacité de transmission par fibre optique à l'aide du multiplexage deux solutions sont actuellement utilisées : le multiplexage en longueur d'onde et le multiplexage temporel, ont été étudiés aussi dans ce chapitre.



Chapitre 3

Simulation et résultats

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va représenter l'objectif de notre travail qui a pour but d'étudier et de simuler une chaîne de transmission multiplexée à l'aide du logiciel de simulation OPTISYSTEM.

III.2 Présentation d'Optisystem

"Optical communication System Design Software", OptiSystem, c'est un logiciel de conception des systèmes des télécommunications créé par une société canadienne principalement pour faciliter la tâche de concevoir, tester et optimiser pratiquement tout type de liaison optique avec le privilège d'inclure des dispositifs non linéaires et des sources de bruit non gaussiennes qui sont très complexes et extrêmement longues.

De plus, il répond aux besoins des chercheurs, des ingénieurs en télécommunications optiques, des intégrateurs de systèmes, des étudiants et d'une grande variété d'autres utilisateurs. OptiSystem répond à la demande du marché en évolution de la photonique pour un outil de conception de système optique puissant mais facile à utiliser.

III.2.1 Le principe de fonctionnement :

OptiSystem consiste en l'exécution d'une manière facile efficace et efficiente des tâches (Le dessin et l'analyse de systèmes incluent des composants non linéaires et des sources non gaussiennes de bruit) afin de concevoir, tester, optimiser et résoudre les problèmes de la complexité de simuler les communications optiques par la simplicité de son utilisation que par la grande abondance de sa bibliothèque de composants.

C'est une application Xwindows, elle comprend essentiellement une fenêtre principale répartie en plusieurs parties :

- ❖ Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- ❖ Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- ❖ Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

Sa vaste bibliothèque de composants actifs et passifs comprend des paramètres réalistes. Ces capacités peuvent être étendues facilement avec l'ajout des composants et peuvent être

reliées à un large éventail d'outils. Il s'agit d'un simulateur au niveau du système basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique.

III.2.2 Les caractéristiques d'OptiSystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifié en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
- La bibliothèque des composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels.
- Les outils de visualisation avancée produit le SAOS Spectral, le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation, la constellation schémas et beaucoup plus.
- Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiseurs sur le moniteur au même port.
- l'état de l'art et le calcul de flux de données. Le calcul planificateur contrôle la simulation en déterminant l'ordre d'exécution des modules composants selon les données sélectionnées.

III 2.3 Les points forts

- Obtenir un aperçu de performances du système de fibre optique.
- Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- Présentation virtuelle des options de conceptions.
- La démarche à suivre pour simuler un système optique se décompose en deux étapes :
 - Construire le schéma bloc.
 - Analyser le schéma.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation. OptiSystem permet l'automatisation et la conception de pratiquement n'importe quelle liaison optique dans la couche physique et analyse un large éventail de réseaux optiques. OptiSystem permet aux utilisateurs de planifier, tester et simuler :
 - WDM/ TDM ou la conception du réseau CATV (Cable de Television).
 - Conception d'anneaux SONET/ SDH.
 - Conception de cartes de dispersion.
 - Estimation des pénalités BER des systèmes avec différents modèles de récepteurs.

III.2.4 les applications d'OptiSystem

- Conception de système de communication optique du composant au niveau du système au niveau de la couche physique
- Conception de réseau CATV ou TDM / WDM
- FTTx à base de réseaux optiques passifs (PON)
- Systèmes optiques en espace libre (FSO)
- Radio sur fibre (ROF)
- Conception de l'anneau SONET / SDH
- Conception de l'émetteur, du canal, de l'amplificateur et du récepteur
- Conception de la carte de dispersion
- Estimation du BER et des pénalités du système avec différents modèles de récepteur
- BER système amplifié et calculs du budget de liaison
- Transmission monomode / multimode.
- Amplificateurs et lasers (EDFA, SOA, Raman, hybride, optimisation GFF, Lasers à fibre)
- Traitement du signal (électrique, numérique, tout optique).
- Conception du sous-système émetteur et récepteur (direct / cohérent)
 - Formats de modulation (RZ, NRZ, CSRZ, DB, DPSK, QPSK, DP-QPSK, PM-QPSK, QAM-16, QAM-64).
 - Analyse des performances du système (diagramme de l'œil / facteur Q / BER, puissance du signal / OSNR, états de polarisation, diagrammes de constellation, pénalités linéaires et non linéaires).

III.3 Chaîne multiplexée

III.3.1. La description de la chaîne

On va traiter la simulation d'une liaison WDM à 16 canaux différents. En effet, comme le nombre de canaux est élevé, le débit nécessaire doit être supérieur à 10 Gbits/s (valeur par défaut du simulateur), pour notre cas, on a considéré 40 Gbits/s comme valeur du paramètre du débit global (bit rate) ce qui nous donne automatiquement les valeurs des autres paramètres globaux à savoir la bande passante (sample rate) et la fenêtre temporelle (time Window) du système. De plus, la longueur de séquences binaires pseudo-aléatoires utilisées est de 256 bits avec un espacement de canal de 200 GHz.

Ainsi, le modèle simulé est constitué de 3 principaux blocs :

- ❖ Le bloc d'émission

- ❖ Le bloc de la portée optique (durée de transmission)
- ❖ Le bloc de réception

➤ **Le bloc d'émission**

Dans ce bloc, les composants qui le constituent sont :

- WDM Transmitter : C'est une source optique possédant 16 ports de sorties, une fréquence équivalente à 190.1 THz, un espacement entre canaux de 200 GHz ainsi qu'une modulation du type RZ.
- Ideal Mux : C'est un multiplexeur ajouté au transmetteur, possédant 16 entrées et chargé de combiner tous les canaux pour qu'ils soient transmis à travers la fibre optique. Signalons que ce dernier possède aussi une sortie qui est reliée à l'une des entrées du loop control pour la 2^{ème} phase.

A la sortie du multiplexeur, on visualise la forme du signal par Optical Spectrum Analyzer ainsi que les valeurs numériques des fréquences attribuées aux 16 canaux à l'aide du WDM Analyzer.

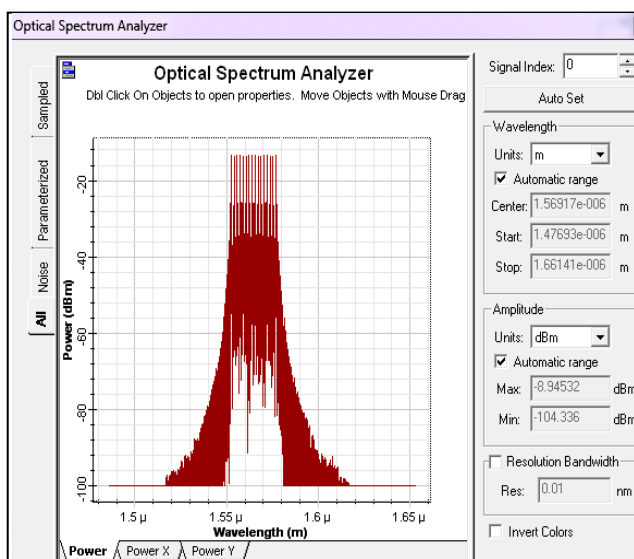


Figure III.1: le spectre à la sortie du multiplexeur

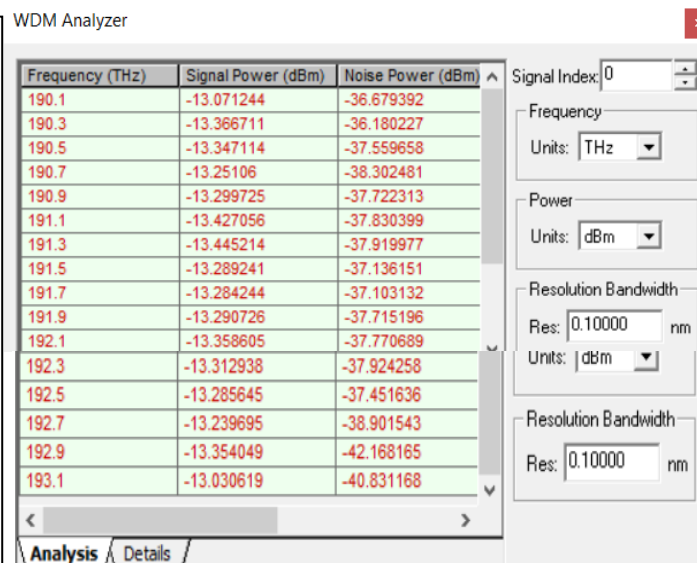


Figure III.2 : les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur.

Le bloc de la portée optique

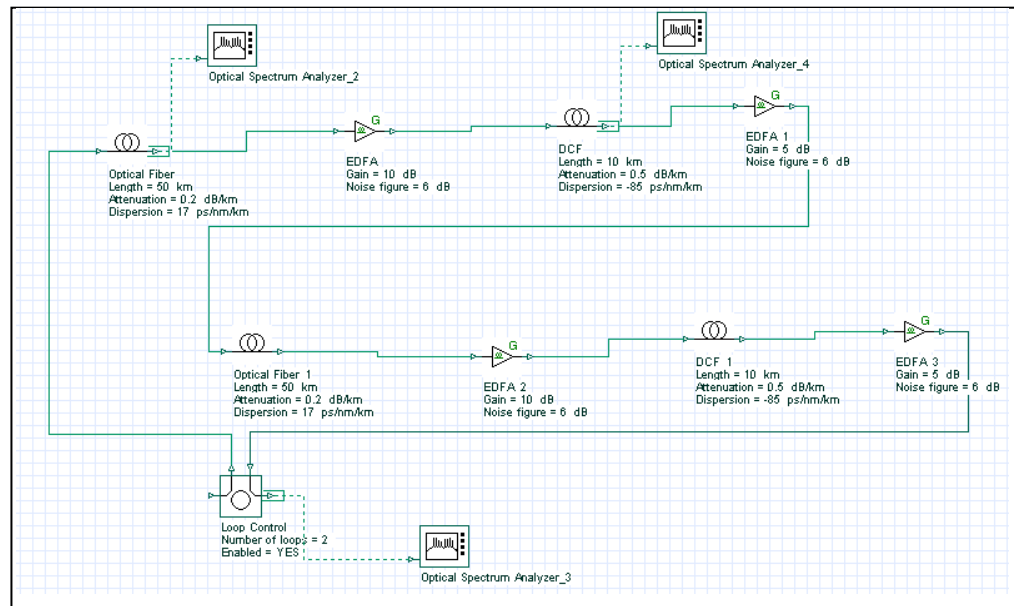


Figure III.3 : Le bloc de la portée de transmission

Description

Dans cette 2^{ème} phase de la simulation, le bloc est constitué de "cellules" (il est donc périodique). A taux aussi élevés que 40 Gb/s, la conception de la cellule est essentielle surtout lors d'une compensation de dispersion; c'est le loop control (contrôle de la boucle) qui sera de ce fait en charge de la multiplication de la cellule le nombre de fois nécessaire (2 fois pour notre cas). Comme la figure le montre, cette architecture comprend 2 cellules (niveaux) constituée chacune:

- Une fibre SMF : de longueur 50Km (la longueur totale du modèle est 100Km), une atténuation de 0.2 dB/Km et une dispersion de 17 ps/(nm.Km).
- Une fibre DCF : de longueur 10Km, une forte atténuation de 0.5 dB/Km et une dispersion de -85 ps/(nm.Km). Cette fibre a pour rôle de compenser exactement les effets de dispersion chromatique causés par le tronçon de fibre de ligne qui la précède, raison pour laquelle on lui attribue une dispersion négative.
- Un amplificateur EDFA : le facteur de bruit est toujours de 6 dB et quant aux gains, ils sont définis de sorte que l'EDFA compense à chaque fois les pertes de la fibre précédente : il est donc de 10 dB pour compenser les pertes d'une SMF et de 5 dB après le passage d'une DCF au cas où elle pourrait entraîner l'effet linéaire suite à sa dispersion négative, d'où ces amplificateurs sont placés régulièrement sur la liaison.

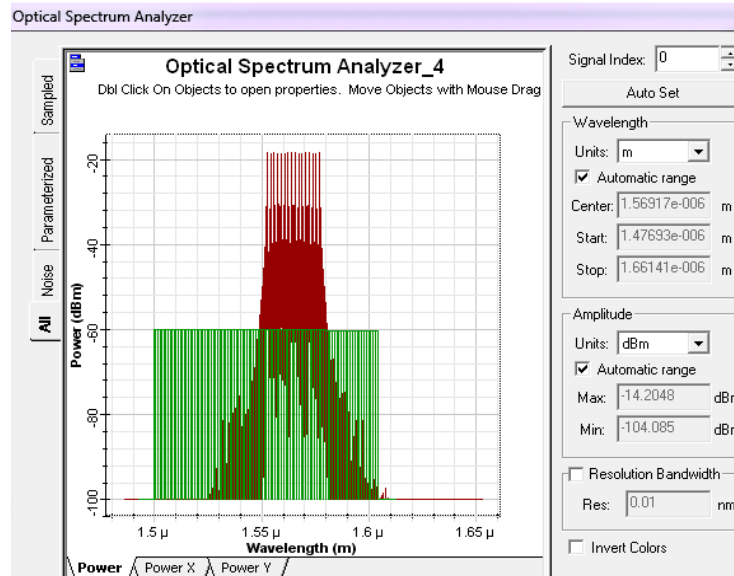


Figure III.4 : Le spectre à la sortie du DCF

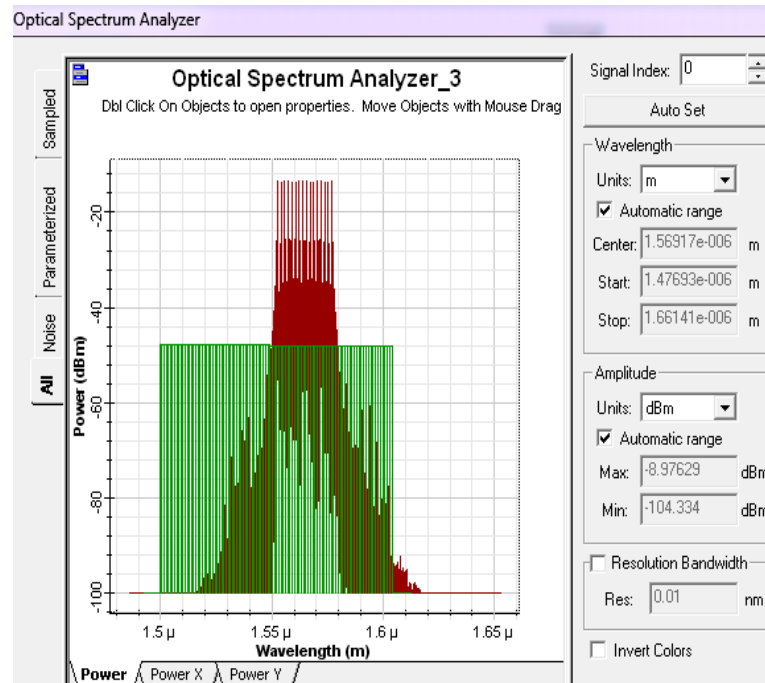


Figure III.5 : Le spectre à la sortie du loop control.

Commentaire

En observant ces trois spectres, on peut en déduire ceci :

- ❖ Le spectre du signal à la sortie de la fibre présente une distorsion du signal avec une couche de bruit aux extrémités, ce qui dégrade les performances du système.
- ❖ Le spectre du signal à la sortie du DCF montre en vert comment elle a pu réduire les pertes dues à la dispersion chromatique causée par la fibre qui est le support de transmission.

- ❖ Le spectre du signal à la sortie d'EDFA montre qu'en plus d'amplifier le signal, il a pu enlever certaines impuretés cachées qui pourraient rester après le passage du DCF du fait de sa dispersion négative et la puissance a également augmenté.

Description

Dans cette 3^e phase de la simulation, le module est fait d'un démultiplexeur WDM à 16 ports de sorties, une fréquence fondamentale de 190.1 THz, un espacement entre canaux de 200GHz et une largeur de bande de 80GHz. En effet, chaque port est relié à un récepteur à canal unique constitué de :

- une photodiode PIN.
- un filtre passe-bas du type Bessel placé derrière la photodiode et qui constitue un réducteur de bruit
- un régénérateur optique 3R : comprenant une ré-amplification, une remise en forme et une resynchronisation du signal en cas de sa distorsion afin de reconstituer à la sortie les données du signal d'entrée.
- un analyseur de BER avec ses paramètres par défaut conservés et est utilisé pour estimer la performance du système complet.

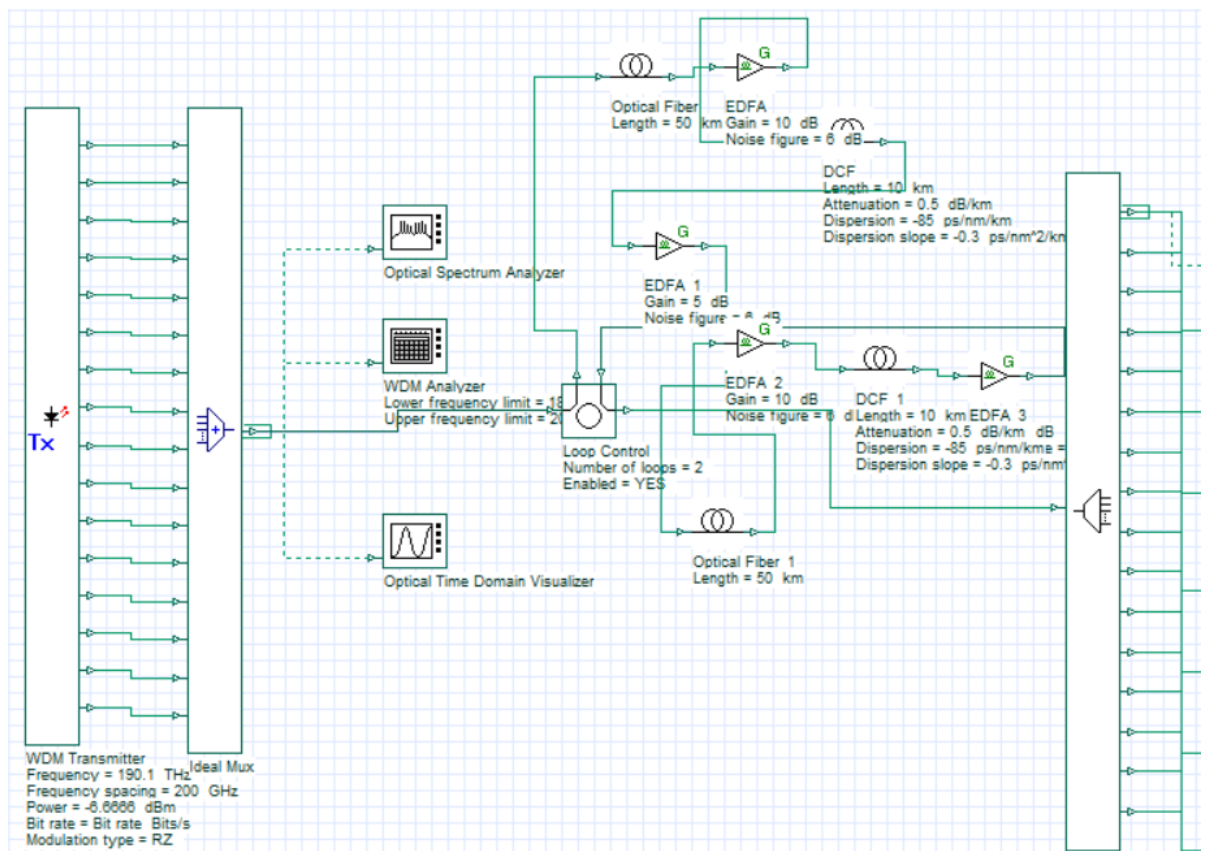


Figure III.6: Schéma Bloc de simulation d'un multiplexage de 16 canaux

III.3.2 Analyse et interprétations de résultats

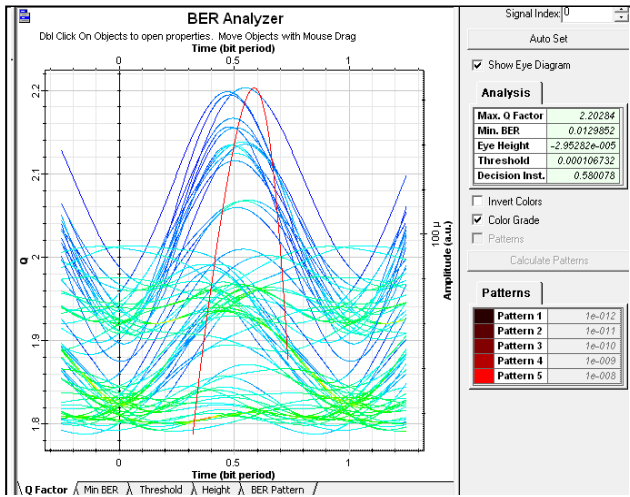


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 1

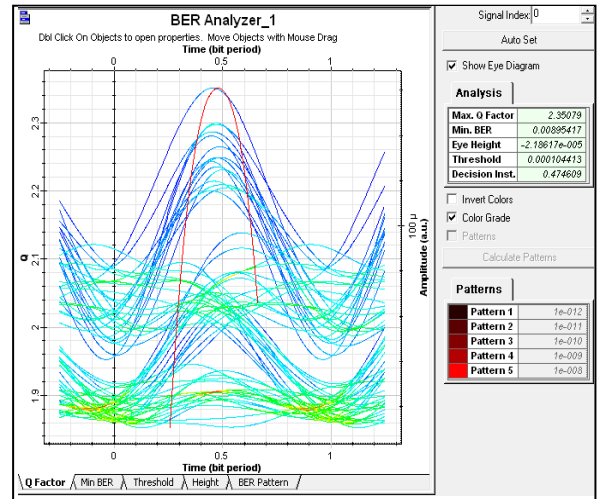


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 2.

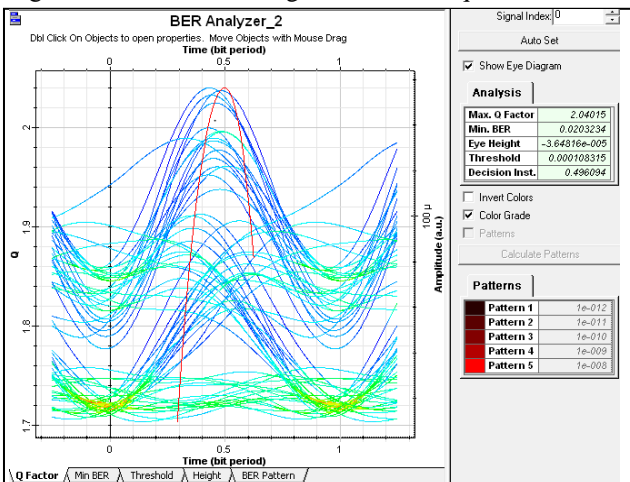


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 3.

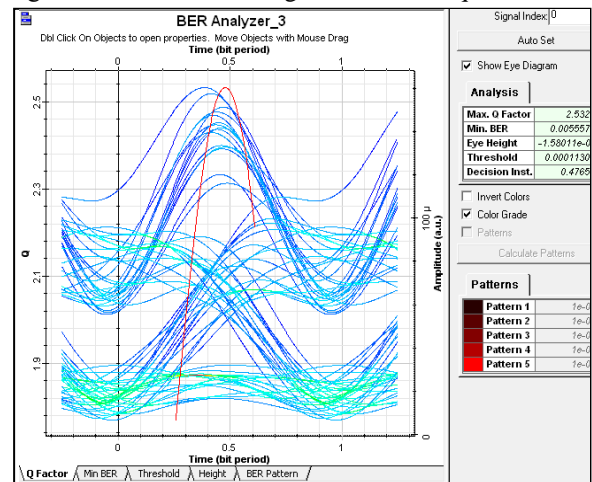


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 4.

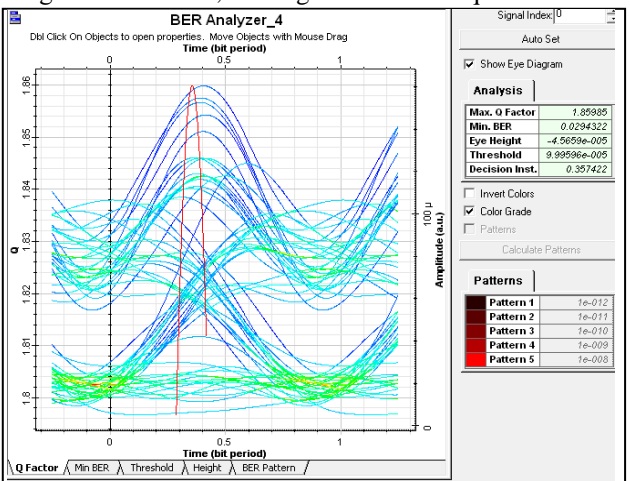


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 5.

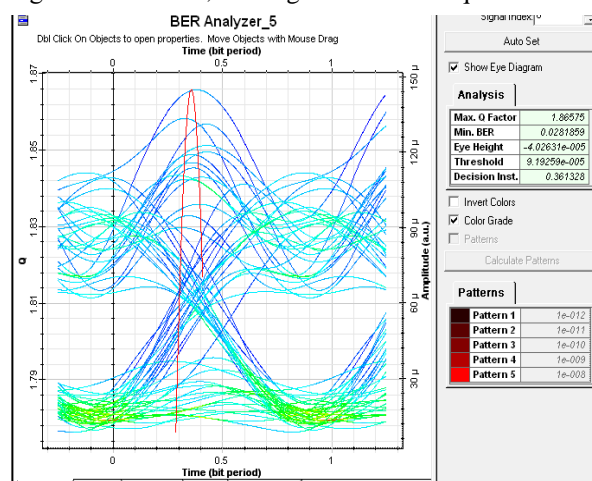


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 6.

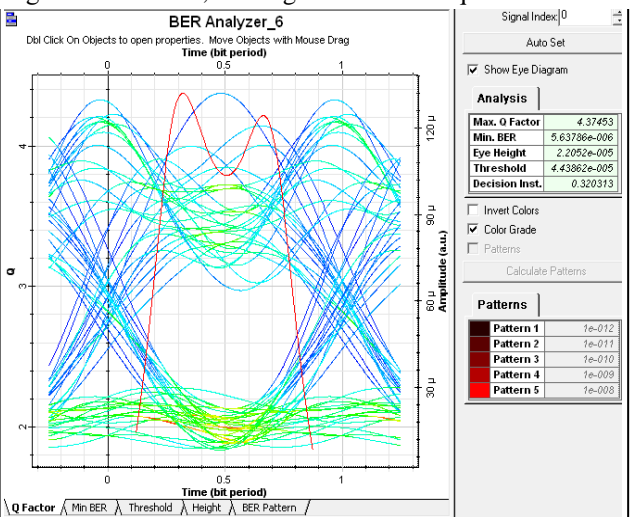


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 7.

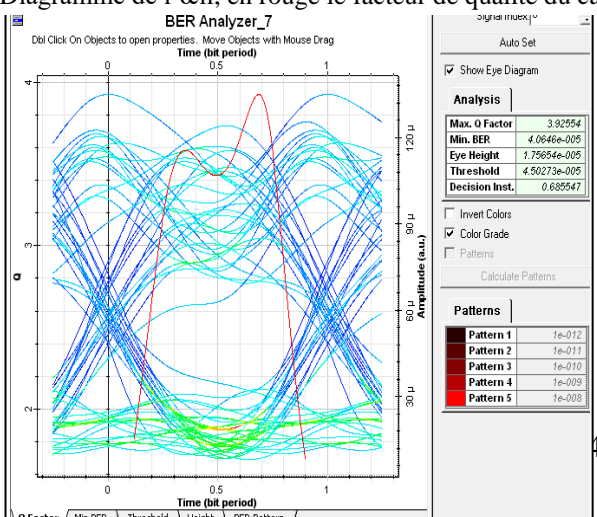


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 8.

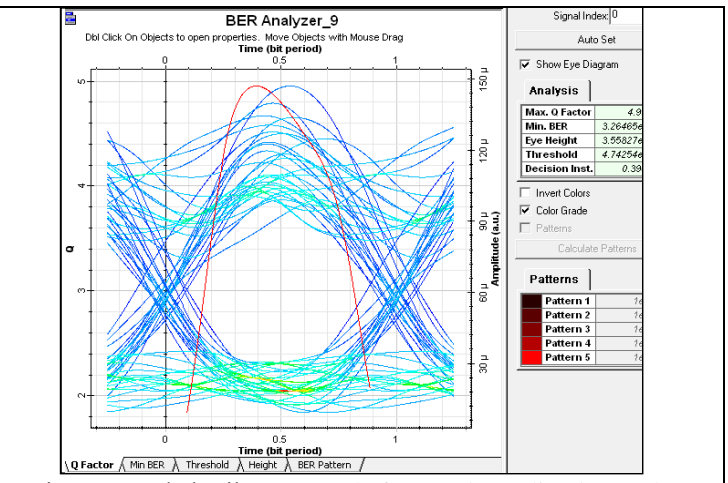
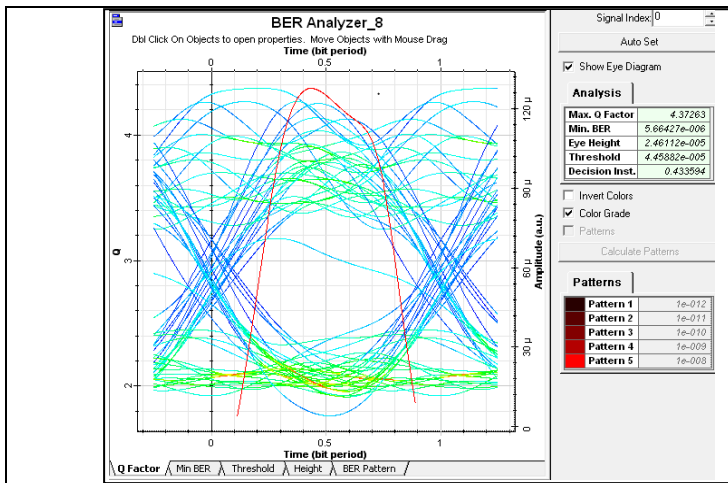


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 9. Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 10.

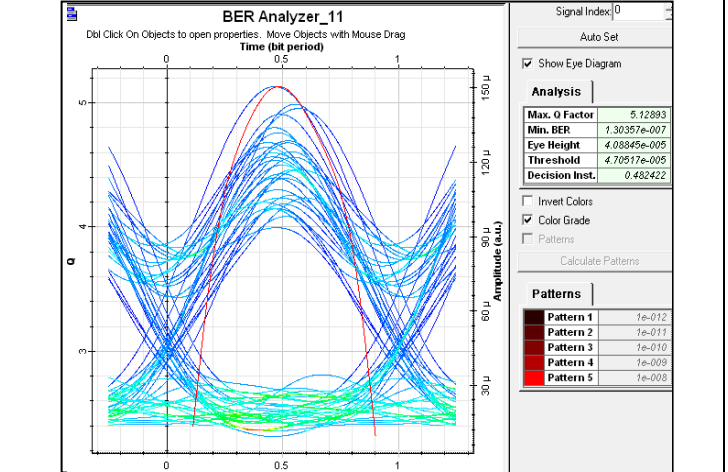
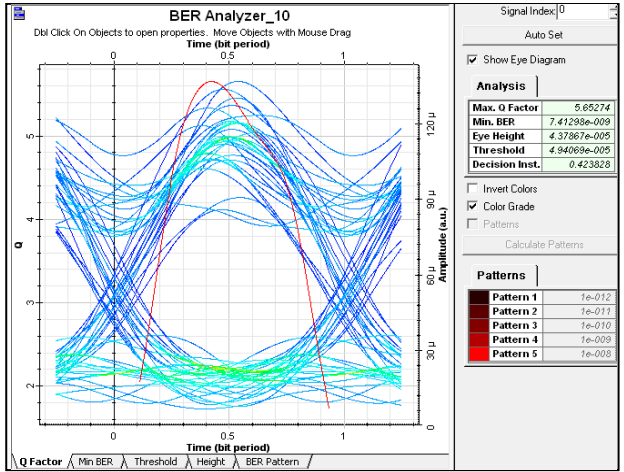


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 11. Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 12.

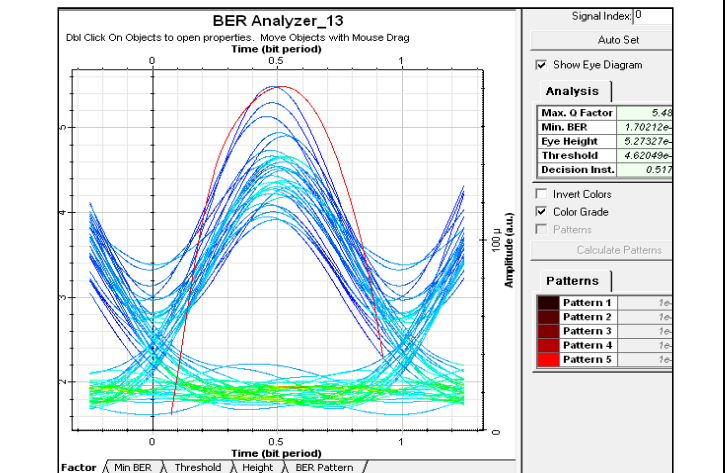
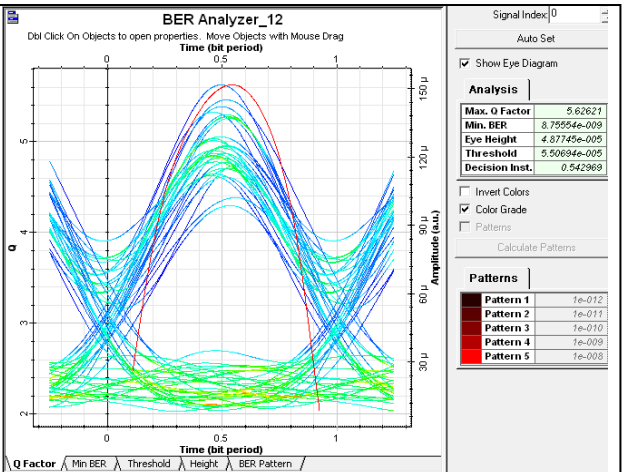


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 13. Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 14.

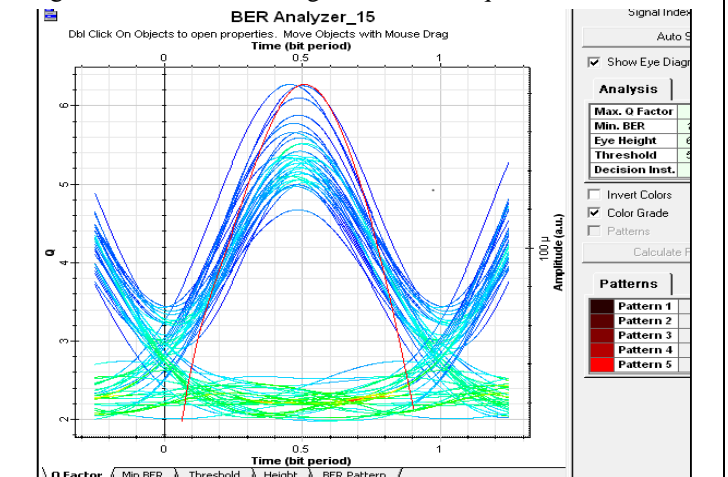
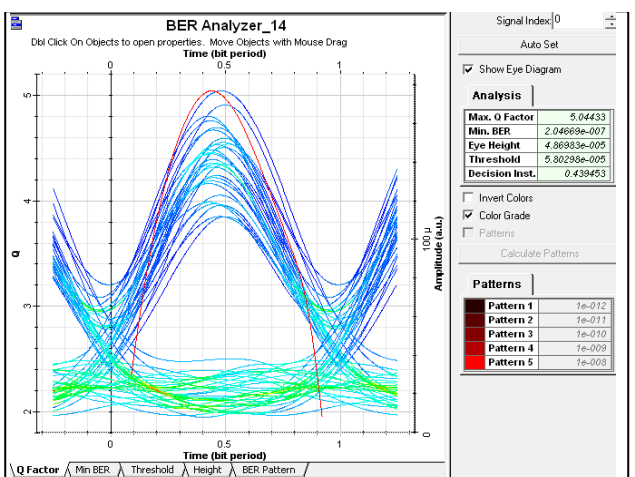


Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 15. Diagramme de l'œil, en rouge le facteur de qualité du canal 16.

Figure III.7: les diagrammes d'œil des canaux et leurs facteurs de qualité.

Interprétation

- les graphes du 1^{er} canal jusqu'au 8^{ème} canal présentent des interférences inter symboles importantes, l'œil est par conséquent fermé voire invisible, ce qui montre automatiquement que le signal est dégradé. De plus, les différentes valeurs du facteur Q sont légèrement supérieures à celles du TEB, donc du bruit persiste malgré la présence du filtre de Bessel.
- A partir du 9^{ème} et jusqu'au 12^{ème} canal, l'œil du diagramme est ouvert mais le signal obtenu dans chacun des canaux cités, présente encore des fluctuations d'amplitude. La valeur du facteur de qualité Q est cette fois ci plus élevée que celle du TEB.
- A partir du 13^{ème} et jusqu'au 16^{ème} canal, on commence à remarquer une remise en forme du signal de la part du régénérateur 3R, l'œil du diagramme est non seulement bien ouvert mais aussi le bruit en provenance de la photodiode, causant ainsi des fluctuations d'amplitude a été corrigé par le filtre passe-bas. Enfin de la transmission c.à.d. au 16^{ème} canal, le signal a été resynchronisé et ré-amplifié d'où on a pu atteindre un facteur de qualité très important de l'ordre de 6.27108 pour un TEB négligeable de $1.59069e^{-10}$. Pour cette raison, on peut en déduire que le système de transmission est performant.

III.3.3 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'Optisystem qui est un logiciel de simulation très puissant et très efficace dans les chaînes de transmissions optiques ainsi que l'ensemble des éléments qui ont servi dans la réalisation du modèle du système à simuler. Nous avons également défini les éléments qui ont servi de critères de qualité pour évaluer la qualité de transmission des données des utilisateurs obtenues en sortie de la partie multiplexage.

En effet, nous avons fait une simulation d'un multiplexage en longueurs d'ondes à 16 canaux de natures différentes passant dans une même fibre. Par la suite, on a interprété les résultats obtenus en se basant sur le diagramme de l'œil, le facteur de qualité et le taux binaire et on a conclu que les effets de filtrage optique interviennent de manière très importante dans la performance globale du système car plus le signal passe à travers un nombre de canaux important, plus le travail de filtrage est efficace surtout pour éliminer les interférences intra canal, donc on peut affirmer que notre signal RZ est bien adapté pour un large spectre d'applications de transmission à longues distances et à très haut débit.

CONCLUSION GENERALE

La transmission sur fibre optique est différente de celles des autres systèmes de transmission soit radio soit filaires, ce qui revient à dire que pour obtenir de hautes performances de transmission, des technologies spécifiques doivent être développées.

On a fait un aperçu général sur l'une de ces dernières à savoir le WDM, qui est un multiplexage en longueurs d'ondes. On a étudié de manière théorique son principe de fonctionnement, les différents types de WDM souvent utilisés. On a fini par déduire que le WDM est une technique à bas coût qui permet le passage d'un nombre important de canaux sur une seule fibre optique donc d'élargir la capacité des systèmes de transmission.

Malgré cette technique, on a vu que le signal peut tout de même subir des distorsions suite à de nombreux facteurs :

- la dispersion chromatique et l'atténuation causées par le canal de transmission.
- les interférences inter-symboles et les fluctuations d'amplitude après détection.

Des mesures ont été prises pour résoudre ces perturbations :

- ✓ la fibre DCF pour compenser les pertes du canal de transmission.
- ✓ l'amplificateur optique EDFA surtout au cas où la DCF pourrait entraîner l'effet linéaire suite à sa dispersion négative.
- ✓ les effets de filtrage optique comme le filtre de Bessel et la régénération 3R pour éliminer les interférences inter-canal.

Cependant, toute cette théorie a été mise en évidence au moyen d'une simulation WDM à 16 canaux par le logiciel Optisystem. Le format du signal choisi a été le RZ et quant aux résultats obtenus, ils ont été interprétés en se basant sur le diagramme de l'œil, le facteur de qualité et le taux binaire, lesquels nous ont servis de guide d'analyse sur le niveau de performance du système réalisé.

Bibliographie

- [1] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Etude et réalisation d'un réseau à base de fibre optique; Présenté par : AGGOUN Ichrak et HADJILA Fadhila ; Année 2018
- [2] <http://www.lafibrelyonnaise.fr/>
- [3] Pierre Lecoy « *Télécoms sur fibres optiques* », Hermès – Lavoisier, Novembre 2007
- [4] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s ; Présenté par : KIMBIRI Seydou, KPEMISSI EYANA Piham ; Année 2013
- [5] Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Thème : Liaison optique à haut débit, Présenté par H.Habbar et K.Djelidi, Année 2004.
- [6] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Optimisation des paramètres d'une liaison à fibre optique; Présenté par : Mr Itgarts Halim et Mr Rezkellah Nadir; Année 2015
- [7] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Option : Réseaux Architecture et Multimédia par Wassila BERROUANE. Thème: Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-nitrures. Année : 2018
- [8] Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Limoges, Thème : Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA, présenté par : Y. ZOUINES, Année 2005.
- [9] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Etude d'une liaison de transmission optique avec application sur L'OMS1200; Présenté par : Boukhdedenna seif allah, Bendiaf Mouloud, Année 2016
- [10] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : la technologie Radio sur Fibre optique; Présenté par : Z.sidi ali mebarek; Année 2014
- [11] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, Thème : Contrôle de la dispersion chromatique dans les fibres à cristaux photoniques à profile d'indice non standard, présenter par : Ahmed Ouadgui . Année 2010.
- [12] <https://emreemic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-des-fibres-optiques/>
- [13] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, Thème : Conception et réalisation d'une application pour caractériser les fibres optiques micro structurés, présenter par : Boulfoul Azzedine et Ettahri Sid Ahmed . Année 2012.
- [14] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Option : Réseaux Architecture et Multimédia par Wassila BERROUANE. Thème : Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-nitrures. Année : 2018
- [15] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication.Option : Réseaux et Systèmes de Télécommunication.THEME : Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s ; Présenté par Melle BILLAMI HananeMelle BENDAHMANE Raouida ; Soutenu en juin 2013
- [16] Y. Sumaetu, K.IGA, "Transmissions sur fibres optiques ", Edition Masson, 1984.
- [17] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat par Victor Girondin. Thème : Etude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe. Année : 2016
- [18] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Régénération tout-optique par similariton du signal OTDM à très haut débit ; Présenté par : BEDOUI Mohamed Amine et HORRI Omar ; Année 2019
- [19]: H. Sunnerud, M. Karlsson, P. A. Andrekson, «A comparison between NRZ and RZ

dataformats with respect to PMD-induced system degradation», Photon.Technol.Lett., Vol.13,N° 5,pp.448 -450, May2001.

[20]:D.Breuer, K. Petermann, «Comparison of NRZ and RZ modulation format for 40Gb/s TDM standard-fiber systems», Photon.Technol.Lett,5 ,Vol.9,N°3,pp.398-400, March 1997.

[21]: R. Ludwig, U. Feiste, E. Dietrich, H. G. Weber, D. Breuer, M. Martin, F. Kuppers,« Experimental comparison of 40Gbit/s RZ and NRZ transmission over standard single mode fibre »,Electron.Lett. , Vol. 35, N° 25, pp. 2216- 2218, December 1999.

[22] http://www.rp-photonics.com/erbium_doped_fiber_amplifiers.html

[23] https://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_optique.com

[24] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Option: Optoélectronique - Télécommunications optiques par Hamidreza Khaleghi. Thème : Influence des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) sur la transmission cohérente de signaux optiques à format de modulation multi-porteuses (CO-OFDM). Année : 2012

[25]: <https://www.electronics-notes.com/>

[26] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, THEME : Etude et Optimisation d'une Photodiode dans une chaine de Transmission par Fibre Optique; Présenté par : ELOTREUCH REFKA BOUGHAR Souad ; Année 2017

[27] Chen Y.K., Hu C.J., Lee C.C., Feng K.M., Lu M.K., Chung C.H., Tu Y.K., Tzeng S.L. «Low-crosstalk and compact optical add-drop multiplexer using a multiport circulator and fiber Bragg gratings », IEEE Photon. Technol. Lett., 12, p 1394 – 1395, 2000.

[28] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat par Jean-Louis VERNEUIL. Thème : Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40gbps. Année : 2003

[29] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER.THEME : ETUDE ET SIMULATION D'UN RESEAU OPTIQUE PASSIF; Présenté par KOURAT Mohamed et MOULAY Saliha; Année 2019.