

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : (Télécommunications)

Spécialité : (Système des Télécommunications)

Par :

SEBAIHI –TANI Abdelkader

BOUKLI HACENE Djawed

Sujet

Étude d'un amplificateur optique dans une chaîne de transmission haut débit

Soutenu publiquement, le 28 / 06 / 2022 , devant le jury composé de :

M. BORSALI.R	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M.KHELLADI.M	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur
M.CHIKH-BLED.H	MCA	Univ. Tlemcen	Encadrant

Remerciement

D'abord nous remercions le bon Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce travail

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide de Monsieur CHIKH-BLED Hicham qui a accepté de nous encadrer durant cette année. Ces précieux conseils et son aide ont contribué efficacement à l'avancement de ce mémoire durant cette période de travail.

Nos vifs remerciements vont également au membre du jury (Mr. BORSALI.R et Mr. KHELLADI.M) pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce modeste travail et de participer à la soutenance.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos professeurs pour leurs générosités et à toutes les personnes qui nous ont aidés de loin ou de près, en particulier nos camarades de la promotion.

Dédicace

Djawed

Ce projet de fin d'étude est dédié :

À mes chers parents qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet représente donc l'aboutissement du soutien et l'encouragement qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

À mon cher frère MOHAMED et ma chère sœur SAFA, qu'ils puissent trouver dans ce mémoire l'expression de mon attachement et de ma profonde reconnaissance.

À mes grands-parents et toute ma famille BOUKLI HACENE pour leurs soutien tout au long de mon parcours universitaire, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être là pour moi.

À mon cher ami HABIB SAHRAOUI pour ses encouragements permanents et son soutien moral.

À mon soutien moral et source de bonheur, ma fiancée NADIA pour l'encouragement et l'aide qu'elle m'a toujours accordé.

Je vous AIME

Dédicace

Abdelkader

Après cinq ans d'études, l'assistance de mes enseignants ainsi que celles de mon entourage m'ont permis de réaliser ce modeste mémoire que je dédie :

Mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin,

Ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu et encouragé depuis mon enfance jusqu'à ce jour-là,

Mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis.

Ma chère sœur Zoubida.

*À tous les membres de ma famille en particulier mon cousin **Ismail** et surtout un grand hommage pour mon frère décède **medjahad fethallah**.*

*À tous mes amis (**Mehdi, Mahfoud, Amine**) de la faculté avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.*

*À mon binôme **Djawed** et A toutes les personnes qui ont cru en moi...*

Résumé :

De nos jours le support de transmission le plus utilisé dans les télécommunications optiques haut-débit est la fibre optique, d'autre part ce canal de transmission présente certaines limitations. L'objectif de notre projet de fin d'étude était de faire une étude d'un composant optique qui est l'amplificateur, afin d'amplifier le signal optique. Les simulations ont été réalisées avec le logiciel Optisystem. L'analyse des résultats obtenus à partir du diagramme de l'œil ainsi que du facteur de qualité. On a remarqué que ce dispositif est un bon moyen d'amplifier (EDFA) le signal optique lors des transmissions optiques longues distances.

Mots clés: Fibre optique – Amplificateur optique – EDFA.

Abstract:

Nowadays, the most widely used transmission medium in high-speed telecommunications is fiber optics. On the other hand, this transmission channel has some limitations. The objective of our final year project was to study an optical component which is the amplifier, in order to amplify the optical signal. The simulations were carried out with the Optisystem software. The analysis of the results obtained from the eye diagram and the quality factor. It was found that this device is a good way of amplifying (EDFA), the optical signal during long-distance optical transmissions.

Key words: Optical fiber - Optical amplifier - EDFA.

ملخص:

في الوقت الحاضر ، تعد الألياف البصرية وسيلة النقل الأكثر استخدامًا في الاتصالات الضوئية عالية السرعة. ومن ناحية أخرى ، قناة الإرسال هذه لها بعض المحددات. كان الهدف من مشروع نهاية الدراسة لدينا هو دراسة مكون بصري ، هو مكبر للصوت من أجل تضخيم الإشارة الضوئية. تم إجراء عمليات المحاكاة باستخدام برنامج Optisystem. تحليل النتائج التي تم الحصول عليها من مخطط العين وكذلك عامل جودة. وقد لوحظ أن هذا الجهاز هو وسيلة جيدة لتضخيم الإشارة الضوئية أثناء الإرسال البصري لمسافات طويلة .

مفتاحية الكلمات : الياف بصرية – مضخم بصري - EDFA

Table des matières

Remerciement	i
Dédicaces	iii
Résumés	iv
Table des matières	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Acronymes	xii
Introduction Générale.....	xiv

Chapitre I : Les systèmes de transmission optique à haut débit

I.1	Introduction	1
I.2	Caractéristiques globale des supports de transmission.....	1
I.2.	Différent type des supports de transmission.....	2
I.2.1	Les supports métalliques (cuivre).....	2
I.2.2	Les supports non métalliques	3
I.3.3	Les supports immatériels.....	4
I.3.4	Les avantages et les inconvénients des supports de transmission	4
I.4	Avantages des fibres optique par rapport aux autres supports	5
I.5	Les différentes composantes d'un système de transmission optique.....	5
I.5.1	Composante d'émission	6
I.5.2	Composante de la ligne de transmission	9
I.5.3	Composante de réception	12
I.6	Conclusion.....	16

Chapitre II : Les amplificateurs optiques

II.1	Introduction.....	18
II.2	Généralités sur l'amplificateur optique.....	18
II.3	L'amplificateur en ligne des systèmes de communication optique.....	18
II.4	L'intérêt de l'amplificateur optique.....	19

II.5	Utilisation de l'amplificateur optique.....	20
II.5.1	Les différentes configuration pour des amplificateurs optiques	20
II.6	Les différents types de l'amplificateur optique	21
II.6.1	Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA)	21
II.6.2	Amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA).....	23
II.6.3	Amplificateur Raman	25
II.7	Les différences caractéristique des trois amplificateurs	26
II.8	Calcul de Bruits sur les liaisons amplifiées	28
II.8.1	Le bruit	28
II.8.2	Bruit en réception en présence d'un amplificateur optique.....	29
II.8.3	Cas d'un récepteur à préamplificateur optique	30
II.8.4	Calcul du bruit sur les liaisons longues	31
II.5	Conclusion.....	32

Chapitre III : Simulations et résultats d'un amplificateur (EDFA)

III.1	Introduction	34
III.2	Présentation du logiciel OptiSystem	34
III.2.1	Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem.....	34
III.2.2	Applications du logiciel OptiSystem.....	35
III.2.3	Avantages du logiciel OptiSystem	35
III.3	Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission.....	35
III.4	Exécution de l'application (OptySystem)	38
III.4.1	Cas d'une chaine de transmission fibre optique simple sans amplificateur	38
III.4.2	Cas d'une chaine de transmission fibre optique simple avec amplificateur	45
III.5	Conclusion.....	51
	Conclusion générale	53
	Bibliographie	55

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1. Câble coaxial	3
Figure I.2. Paire torsadée	3
Figure I.3. La fibre optique	4
Figure I.4. Schéma d'une liaison optique.....	5
Figure I.5. Structure d'un émetteur optique.	6
Figure I.6. La diode LED	7
Figure I.7. La diode laser (DL).....	7
Figure I.8. Laser à homojonction PN	8
Figure I.9. Laser à double hétérojonction.....	9
Figure I.10. Un bout de fibre optique.....	10
Figure I.11. Pertes optiques dans une fibre optique	10
Figure I.12. Connecteur optique.....	12
Figure I.13. Schéma d'un récepteur de données à détection directe	12
Figure I.14. Photodiode PIN.....	14
Figure I.15. Photodiode a avalanche	14

Chapitre II

Figure II.1. Applications de l'amplificateur optique.	19
Figure II.2. Configuration des amplificateurs optiques (A1 et A2 représentent les fibres).....	20
Figure II.3. Types de configuration d'un amplificateur optique.	21
Figure II.4. La structure de base d'un SOA.....	22
Figure II.5. (a) SOA à cavité Fabry-Pérot, (b) SOA à onde progressive.....	23
Figure II.6. Structure de l'amplificateur à fibre optique dopé en erbium.....	23
Figure II.7. Les propriétés d'une fibre dopée erbium.....	24
Figure II.8. Principe de fonctionnement d'un EDFA.	25
Figure II.9. Principe d'une liaison utilisant l'amplificateur Raman distribuée.	26

Figure II.10. Modèle pour le calcul du facteur de bruit..... 28
 Figure II.11. Puissance d'entrée requise en fonction du gain du préamplificateur..... 30

Chapitre III

Figure III.1. Représentations schématique des densités de probabilités et du seuil de décision..... 36
 Figure III.2. Courbe représentant la relation entre le taux d'erreur binaire et le facteur Q 37
 Figure III.3. Simulation d'une chaîne de transmission fibre optique simple (sans amplificateur)..... 38
 Figure III.4. Variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre 43
 Figure II.5. Variation du BER en fonction de la longueur de la fibre 43
 Figure II.6. Variation de facteur de qualité en fonction de débit. 44
 Figure II.7. Variation de BER en fonction de la longueur de débit..... 44
 Figure II.8. Simulation d'une chaîne de transmission fibre optique (avec amplificateur)..... 45
 Figure II.9. Variation de facteur de qualité Q en fonction de distance D 49
 Figure II.10. Variation de BER en fonction de distance D..... 49
 Figure II.11. Variation de facteur Q en fonction de débit D..... 50
 Figure II.11. Variation de BER en fonction de débit D.....50

Liste des Tableaux

Tableau I.1. <i>Les avantages et inconvénients des supports cités précédemment</i>	4
Tableau I.2. <i>Architecture Comparaison des caractéristiques des supports de transmission</i>	5
Tableau I.3. <i>Paramètre de différentes fibres optiques monomode normalisées</i>	12
Tableau I.4. <i>Comparaison PIN, APD</i>	15
Tableau II.1. <i>Comparaison des caractéristiques entre les trois amplificateurs</i>	27
Tableau III.1. <i>Effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER</i>	38
Tableau III. 2. <i>Effet du débit sur le facteur de qualité et le BER</i>	39
Tableau III.3. <i>Effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER</i>	45
Tableau III.4. <i>Effet du débit sur le facteur de qualité et le BER</i>	45

Acronymes

A

APD : Photodiode à avalanche

B

BER: Bit Error Rate

D

DCF : fibre à dispersion décalée

DEL : Diode Electroluminescente

DL : Diode Laser

E

EDFA: Erbium doped fiber amplifier

F

FWM: Four Waves Mixing

L

L'UIT : Union Internationale des Télécommunications

N

NZDSF : fibre à dispersion non nulle

P

PIN : Personal Identification Number

PON : les réseaux optiques passifs

S

SBS: Stimulated Brillouin Scattering

Acronymes

SOA : semi-conducteur Optical amplifier

SPM: Self-Phase Modulation

SRS: Stimulated Raman Scattering

SSMF : standard single mode fiber

T

TEB : Le taux d'erreur binaire

W

WDM: Wave Division Multiplexing

X

XPM: Cross Phase Modulation

Introduction générale

Introduction générale

Avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia, un besoin d'un débit de transmission d'informations plus élevé est apparu. Une alternative au câble coaxial devait être proposée de manière à compenser les inconvénients comme les pertes, les distances de transmissions courtes et les limitations des performances. La fibre optique est apparue comme le support de transmission permettant de pallier ces problèmes. Son utilité est incontournable dans les réseaux de télécommunications.

De nos jours, le développement de l'Internet engendre une évolution des systèmes de télécommunications vers un accroissement des capacités de transmission. La limitation du débit est due aux modules d'émission et de réception intégrant l'électronique et les fonctions optoélectroniques et non plus sur le support qui possède une grande bande passante et des faibles valeurs d'atténuation. Les télécommunications optiques présentent un fort intérêt sur les réseaux de communications à longue distance, en grande partie grâce aux propriétés des fibres optiques (bande passante, pertes quasi nulles).

L'objectif des télécommunications optiques consistent à effectuer la transmission des informations à des débits très élevés, avec l'évolution rapide des services de télécommunications accessibles aux usagers, comme les services multimédias enrichis de l'Internet à très haut débit.

Dans cet article, nous nous intéressons particulièrement aux amplificateurs optiques (EDFA et SOA et Raman) dans les systèmes de transmissions.

Chapitre 1

Les systèmes de transmission
optiques à haut Débit

I.1 Introduction

Parmi les éléments de base de l'existence humaine, le besoin de communication vient juste après le besoin de survie. Les méthodes que nous utilisons pour partager des idées et des informations évoluent constamment. Si le réseau humain se limitait autrefois aux conversations en face à face, les découvertes dans les médias d'aujourd'hui élargissent constamment notre portée grâce aux réseaux de communication. La fonction principale d'un réseau est de transférer des données d'un terminal à un autre. En plus, une gamme de dispositifs matériels et de processus logiciels sont mis en œuvre pour assurer cette transmission, depuis les câbles terrestres ou les ondes radio par lesquels les données circulent jusqu'aux protocoles et règles qui permettent leur traitement. Nous comprenons toutes les façons dont un signal peut voyager de la source à la destination à travers les supports de transmission.

En outre, les systèmes de communication optique jouent un rôle dans une gamme d'éléments, commencer par les composants optiques d'émission/réception, le support de propagation en tant que fibre optique, les amplificateurs optiques et les composants spécifiques pour le WDM. A ces fonctions purement optiques ou bien optoélectroniques s'ajoutent des circuits électroniques rapides qui modulent et amplifient les signaux émis et collectés, récupèrent des signaux de référence, et des équipements de gestion de réseau avancés.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une partie qui généralise les caractéristique et les différents type du support de transmission optique pour arriver enfin à faire une comparaison entre eux et expliquer pourquoi la fibre optique est le support privilégié pour les transmissions à haut débit et afin de dégager les principes ainsi que les terminologies utilisées, et une autre partie détaillé sur les différents composante d'une chaine de transmission.

I.2 Caractéristiques globale des supports de transmission

Quelle que soit la nature du support, un signal représente un courant électrique, lumineux ou ondulatoire d'une Transmission électromagnétique. Certaines propriétés des médias (bande passante, sensibilité au bruit, éventuelles limitations de débit) interfèrent avec leur transmission. Leur connaissance est nécessaire pour fabriquer de « bons » signaux, c'est-à-dire les mieux adaptés aux supports utilisés. La partie suivante présente les caractéristiques globales des supports de transmission.

- **Bande passante :** Il y a une limite à la bande passante du support de transmission. Certains signaux passent correctement (atténués mais identifiables à l'autre extrémité), d'autres non (atténués ou déformés donc non identifiables en sortie). Plus vous avez une bande passante large sur votre support, plus vous pouvez transférer d'informations par unité de temps.
- **Bruits et distorsions :** Le signal transporté par le support de transmission est toujours déformé, même si sa fréquence est ajustée. En fait, il existe diverses sources de bruit qui interfèrent avec

le signal. Les phénomènes environnementaux entraînent également des obstacles (orages, foudre, etc.). Il prend également en charge l'atténuation et le retard du signal. Ces déformations, appelées distorsions, sont notamment dépendantes de la fréquence et de la phase du signal émis, ce qui peut interférer avec la bonne détection du signal de sortie. Même lorsque les signaux sont adaptés aux supports, on ne peut pas garantir leur réception correcte à 100%.

- **Longueur élémentaire** : elle représente la longueur maximale du support et qui nécessite que le signal soit amplifié ou répété afin d'être reçu correctement.
- **Capacité limitée des supports de transmission** La capacité d'un support de transmission mesure la quantité d'informations transmises par unité de temps .La propriété que nous venons de voir limite la capacité d'un support et s'exprime en bits par seconde par la relation suivante:

$$Cap_{MAX} = W \log_2(1 + S/B) \quad (I.1)$$

Avec :

W : est la largeur de la bande passante.

S/B : représente le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit.

Selon le support, des niveaux de qualité très différents peuvent être atteints selon :

- L'affaiblissement, en prenant en compte la distance maximale entre deux éléments actifs du réseau.
- La bande passante.
- L'immunité contre les parasites.
- L'isolation galvanique.

I.3 Différent type des supports de transmission

Il existe de nombreux supports de transmission. Parmi eux, on distingue : le support métallique, non métallique et non matériel.

I.3.1 Supports métalliques (cuivre)

Comme les câbles à paires torsadées et les câbles coaxiaux, ils sont les plus anciens et les plus utilisés, ils transportent le courant électrique.

A. Le câble coaxial

C'est un câble également utilisé pour le téléphone, la télévision, la radio émetteur, récepteur, aviation, laboratoire de mesure physique, etc. Il est constitué d'une âme en fil de cuivre. Ce cœur est dans

une gaine isolante en polyéthylène ou Téflon, elle-même entourée d'une tresse en cuivre, qui est entièrement recouverte par la gaine isolante. [1]

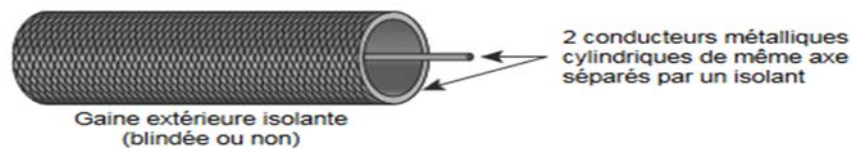


Figure I.1 : câble coaxial [1].

Sa bande passante maximale est d'environ 150 MHz. Les pertes de signal sur les câbles coaxiaux sont intrinsèquement multiples : l'augmentation de la longueur du câble, l'augmentation de la fréquence et la diminution du diamètre du conducteur entraînent des pertes de signal. [2]

B. La paire torsadée

L'utilisation actuelle de la paire torsadée est de connecter l'utilisateur à un central téléphonique (boucle locale) ou de desservir les utilisateurs sur un réseau privé. Son principal inconvénient est l'affaiblissement du courant. Ceci est d'autant plus important en raison du petit diamètre du conducteur. La paire torsadée contient des répéteurs à intervalles réguliers qui régénèrent le signal.

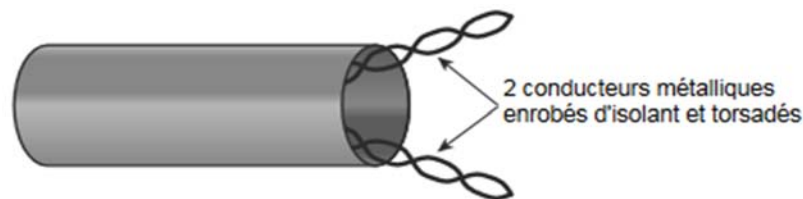


Figure I.2 : paire torsadée [1].

La paire torsadée est suffisante pour les réseaux locaux d'entreprises où la distance est limitée à quelques kilomètres. Il y a de nombreux avantages. Technologie qualifiée, facile à connecter et à ajouter de nouveaux appareils, à faible coût. [1]

I.3.2 Supports non métalliques (cuivre)

A. La fibre optique

Une fibre optique est une ligne de transmission sous la forme d'un guide d'onde cylindrique constitué d'une partie centrale appelée cœur d'indice de réfraction n_1 en silice entourée d'une gaine qui est un autre matériau d'indice de réfraction n_2 . Avec un diamètre de cœur d'environ 10 microns et un diamètre de gaine de plusieurs centaines de microns, la fibre seule est extrêmement fragile, recouverte de plastique pour la protéger des agressions extérieures (humidité, agression chimique), puis de nylon. [3]

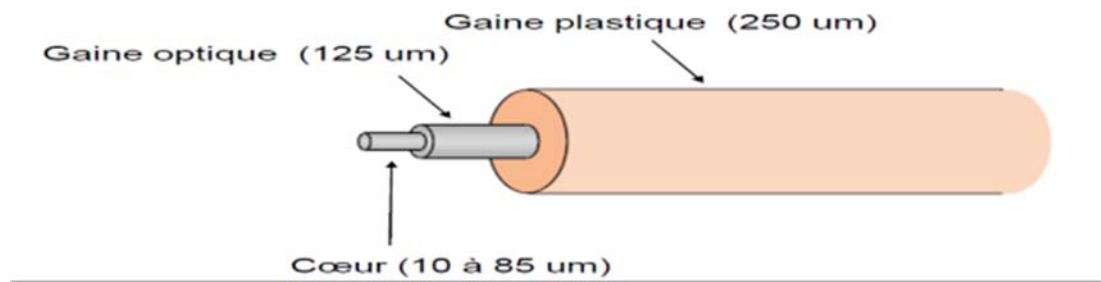


Figure I.3 : la fibre optique [3].

I.3.3 Les supports immatériels

A. Le faisceau hertzien

Les faisceaux hertziens sont basés sur des fréquences très élevées (2 GHz à 15 GHz, jusqu'à 40 GHz) et l'utilisation de faisceaux directs produits par des antennes directives qui rayonnent dans des directions spécifiques. La propagation des ondes est limitée à l'horizon de la lumière. Les transmissions sont effectuées entre les stations à haute altitude, comme sur les collines, pour éviter les obstacles des travaux de construction. Les faisceaux hertziens sont utilisés pour la transmission par satellite, la transmission des chaînes de télévision ou la formation de lignes de transmission longue distance dans les réseaux téléphoniques. [1]

I.3.3 Les avantages et inconvénients des supports de transmission

Le tableau ci-dessous regroupe les avantages et inconvénients des supports cités précédemment.

Type de câble	Avantages	Inconvénients
Paire torsadée	<ul style="list-style-type: none"> - Coût faible - Simple - Possibilité de réutilisation de l'existant 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible aux perturbations électromagnétiques. - Atténuation très importante. - Débits faibles.
Câble coaxial	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques intéressantes. - Immunité aux bruits électromagnétiques. - Transport des données analogiques (75Ω) et numériques (50Ω). 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté d'installation. - Coût élevé.
Fibre optique	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de pertes d'informations. - Haut débit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût très élevé.

Tableau I.1 : les avantages et inconvénients des supports cités précédemment.

I.4 Avantages des fibres optiques par rapport aux autres supports

Par rapport aux autres supports de transmission existants, la fibre optique et grâce à ces nombreux avantages qu'elle offre reste le meilleur choix. La Comparaison des caractéristiques des supports de transmission sont présentés dans le tableau suivant (on a plusieurs supports de transmission mais on s'intéresse beaucoup plus sur la paire torsadé, câble coaxiale et la fibre optique) :

Support	Paire torsadé	Câble coaxiale	Fibre optique
Cout	Bas	Moyen	Assez élevé
La bande passante	Moyenne	Large	Très large
Longueur maximale	Moyenne	Elevée	Elevée
Immunité aux interférences	Basse moyenne	Moyenne élevée	Très élevée
Facilité de connexion	Simple	Variable	Difficile
Facilité d'installation	Variable	Variable	Difficile
Fiabilité	Bonne	Bonne	Très bonne

Tableau I.2 : Architecture Comparaison des caractéristiques des supports de transmission.

I.5 Les différentes composantes d'un système de transmission optique

L'architecture d'un système de transmission est en fait assez complexe, mais à un niveau primaire, tous les réseaux sont basés sur des fils appelés liaisons point à point, dont l'architecture est représentée dans la figure (I.4) ci-dessous. Tous les systèmes se composent d'un module émetteur, d'une série de sections de fibre optique et d'un module récepteur.

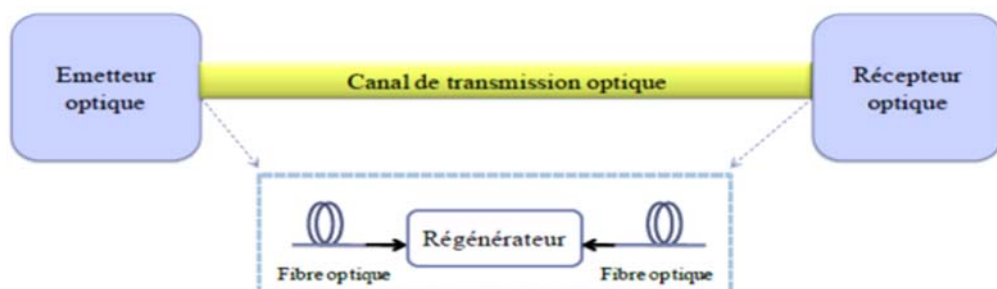


Figure I.4 : Schéma d'une liaison optique.

Le rôle d'un tel système est d'abord d'émettre et de moduler un signal optique continu au niveau du bloc émetteur. Ensuite; Le but d'une ligne optique est de propager ce signal optique sur une distance donnée, en tenant compte des divers effets de propagation pouvant affecter le signal. Enfin, au niveau du récepteur, ce signal lumineux est détecté par un module de détection. [4]

I.5.1 Composants d'émission

La partie émission de la liaison optique est constituée de divers éléments (lasers, modulateurs, dérivés). Sa fonction est de transmettre le signal optique des données écrites au support de transmission. La structure d'un émetteur optique est simplifiée dans la figure suivante :

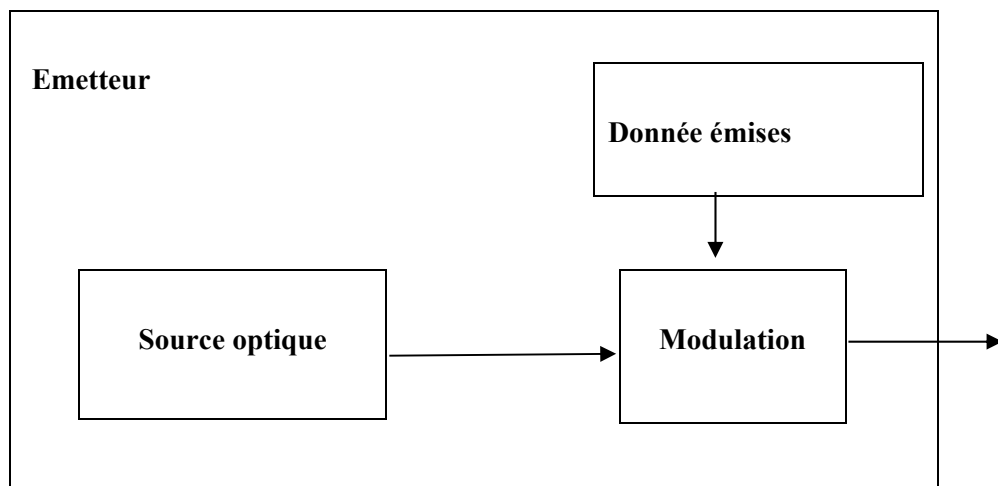


Figure I.5 : Structure d'un émetteur optique.

A. Source optique

La source lumineuse est un élément actif du système de transmission par fibre optique et sa fonction principale est la conversion électro-optique, c'est-à-dire la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Une bonne source de rayonnement doit être de haute intensité, à faible consommation d'énergie, à temps de réponse rapide, facile à moduler, fiable et économique. De plus, le choix de la source lumineuse doit tenir compte des caractéristiques de la fibre : la lumière doit être injectée dans le cône récepteur, la longueur d'onde doit correspondre à une atténuation réduite, et la largeur spectrale doit être faible pour minimiser la dispersion chromatique.

Il existe une différence entre les diodes électroluminescentes et les diodes laser ; malgré les similitudes, les deux dispositifs sont différents. Les deux sont constitués de jonctions PN polarisées en direct et sont basés sur la recombinaison de paires électron-trou.

➤ Diode électroluminescente (DEL)

Si nous regardons autour de nous, nous voyons des LED partout. Ils peuvent apparaître en vert, jaune ou rouge dans les véhicules, les équipements informatiques, les téléphones ou tout autre appareil

électronique (voir la figure (I.6)). Les diodes électroluminescentes ou LED (diodes électroluminescentes) sont les composants d'émetteur les plus simples. Il est basé sur l'émission spontanée et sa sortie produit une lumière à large spectre et à faible directivité. Il est utilisé dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas une très grande bande passante.

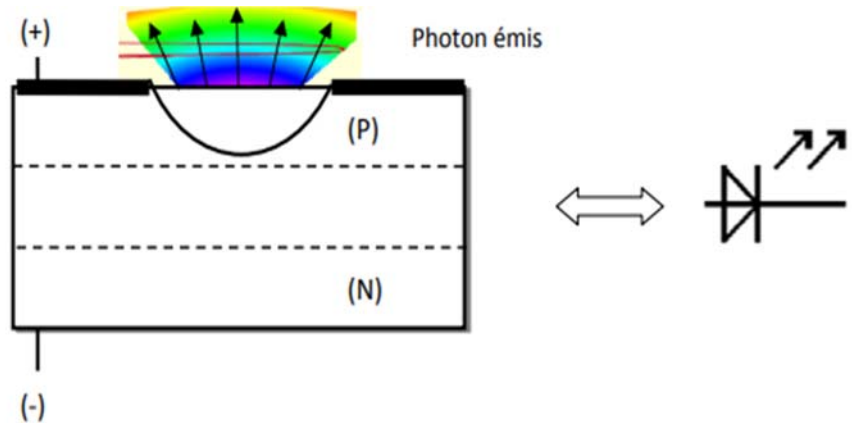


Figure I.6 : la diode LED [12].

➤ La diode laser (DL)

Une diode laser est un composant capable de générer un rayonnement par émission stimulée, comme le montre l'acronyme, le mot issu de « amplification optique d'émission stimulée ». Il s'agit d'une source lumineuse monochromatique cohérente avec une très grande bande passante et une très faible largeur spectrale. Elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très longue distance. Cependant, il est moins précis que la plupart des autres types de lasers, mais reste très adapté à de nombreuses applications. [4]

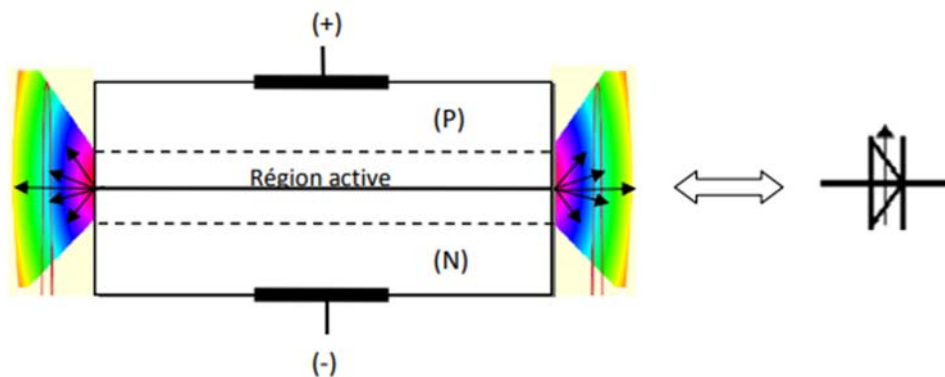


Figure I.7 : la diode laser (DL) [12].

➤ La différence DEL/DL

Les LEDs et les DLs sont les sources les plus couramment utilisées. Les LED ont une large distribution spectrale, tandis que les DL émettent dans une ou plusieurs lignes spectrales. Le choix de la source doit tenir compte des caractéristiques de la fibre. La lumière doit entrer à partir d'une très petite surface et, en théorie, seule la lumière qui pénètre dans le cône d'acceptation se propage à travers la fibre.

De plus, la longueur d'onde doit s'adapter à une faible atténuation sur la fibre et la largeur spectrale doit être réduite pour minimiser la dispersion. Une bonne source de rayonnement doit être puissante, à faible consommation d'énergie, à temps de réponse rapide, facile à moduler, fiable et économique.

Malgré leurs similitudes, les LED et les DL sont des appareils différents. Par exemple, la comparaison est la suivante :

- Par rapport aux LEDs, DL présente une émission plus directionnelle, une largeur spectrale plus étroite, une intensité plus élevée et un temps de réponse plus rapide. En revanche, il est plus cher que les LED ;
- Les LEDs sont lentes, mais elles sont moins sujettes aux décharges temporaires ;
- L'impulsion optique en fonction du courant d'injection est presque;
- Les LEDs sont linéaires, mais DL est un dispositif à effet de seuil. Contrairement aux LEDs, la puissance lumineuse de DL change avec la température ;
- L'utilisation de DL n'est pas beaucoup plus simple que celle de LED car la puissance optique caractéristique en fonction du courant n'est pas régulière ;

Par conséquent, la sélection est effectuée en fonction de l'importance des critères sélectionnés pour l'application particulière. DL est la meilleure source de communication optique car elle offre la plus grande efficacité de couplage optique avec la fibre. [5]

➤ Différents types de laser

✚ Laser à homojonction

La première génération de laser à consistait en homojonction PN à base d'AsGa fonctionnant à une longueur d'onde voisine de $0,85 \mu\text{m}$. (Figure I.8)

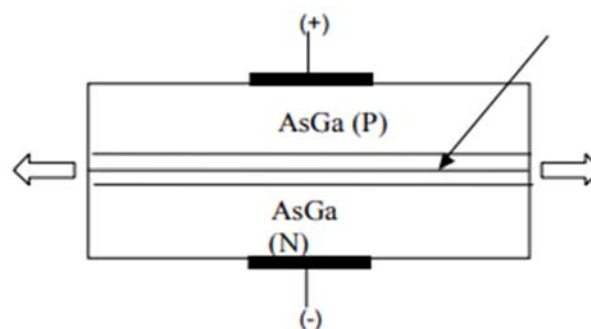


Figure I.8: *laser à homojonction PN.*

Ce type de laser a un courant de seuil élevé ($I > 10 \text{ A}$), ce qui provoque un échauffement important et une détérioration du joint. Dans de telles situations, ce laser ne peut pas fonctionner en continu, il est surtout utilisé en régime impulsionnel.

✚ Laser à double hétérojonction

Les lasers de deuxième génération introduits sont des lasers à double hétérojonction qui fonctionnent à des courants de seuil beaucoup plus faibles. Cette génération de lasers peut être utilisée en mode continu (Figure I.9). [6]

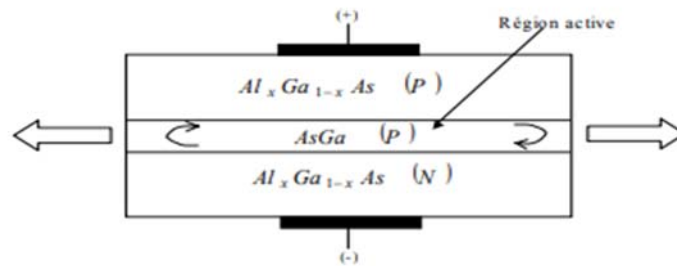


Figure I.9 : Laser à double hétérojonction. [6]

➤ Les modulateurs

La modulation, qui permet d'imprimer des informations sur des signaux physiques, est une caractéristique importante de tout système de transmission. Une technique appelée modulation directe consiste à moduler directement le courant délivré au laser. L'inconvénient de cette méthode est que lorsque le courant d'injection laser est modulé en amplitude, il s'accompagne d'une modulation de fréquence parasite comme décrit ci-dessus. Ces effets, combinés à la dispersion en longueur d'onde de la fibre, étalent l'impulsion. C'est encore plus important en raison de la longueur des fibres.

Une deuxième méthode pour contourner cette difficulté est les techniques de modulation externe. L'émetteur est alors constitué d'une source lumineuse qui émet des ondes pures et d'un modulateur externe (en niobate de lithium LiNbO_3). Le courant d'injection laser n'est plus modulé, le modulateur externe introduit beaucoup moins de conversion amplitude-fréquence, et le signal modulé envoyé à la fibre est beaucoup moins affecté par ce phénomène. [7]

I.5.2 Composante de la ligne de transmission

Une fois le signal lumineux émis par la source et modulé selon le format choisi, il est introduit dans la première fibre optique du système, il peut donc commencer à se propager sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres sous cette forme, il est utilisé pour plus de 10 000 km de zone métropolitaine du système [8]. Par la suite nous allons citer les principales caractéristiques de fibre optique qui concerne la transmission du signal optique.

A. Le câble de transmission

Qui est la fibre optique :



Figure I.10 : un bout de fibre optique [12].

B. Les Caractéristiques de La fibre optique

✓ Atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal émis. Elle est généralement exprimée en décibels (dB). On définit le coefficient d'atténuation α , exprimé en dB/Km, pour une ligne de transmission de longueur L, comme celle-ci [9]:

$$\alpha(\lambda)_{\left(\frac{dB}{Km}\right)} = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_S}{P_E} \right] \quad (I.2)$$

Avec :

P_E : Puissance injectée à l'entrée.

P_S : Puissance à la sortie.

Par rapport à d'autres supports de transmission comme le cuivre, l'atténuation de la fibre optique est faible, elle dépend en particulier de la longueur d'onde des impulsions lumineuses [10].

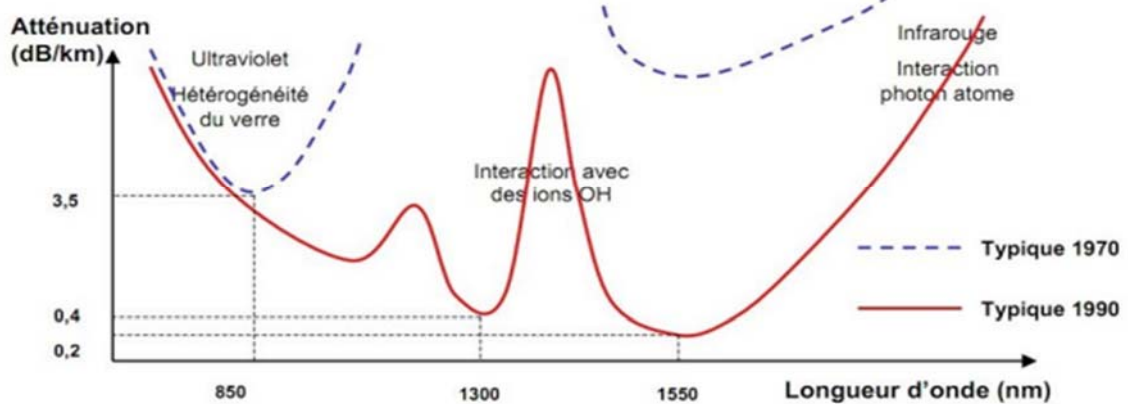


Figure I.11: pertes optiques dans une fibre optique [11].

✓ Dispersion chromatique

Par conséquent, la dispersion en longueur d'onde de la fibre, si elle n'est pas totalement monochromatique, conduit à des temps de propagation et des étalements temporels différents des impulsions émises. Si cet étalement devient relativement important après une certaine distance, il peut y avoir des chevauchements qui provoquent des interférences entre les symboles. Cette augmentation τ est calculée comme suit :

$$\tau = D \left(\frac{P_s}{nm.km} \right) * L(Km) * \Delta\lambda(nm) \quad (I.3)$$

Où D le coefficient de dispersion chromatique de la fibre, L la longueur de la fibre et $\Delta\lambda$ la largeur spectrale de la source.

Par conséquent, la dispersion chromatique est un facteur majeur de limitation des performances des systèmes de transmission sur fibre à haut débit.

✓ Dispersion de modes de polarisation

En principe, une fibre parfaitement circulaire n'a pas de polarisation le long de la fibre. En réalité, rien de tel ne peut être observé. Une petite section de fibre est communément vue comme une lame de biréfringence avec un mode dit lent avec une polarisation linéaire orthogonale au mode dit rapide. De plus, dans les fibres réelles, cette biréfringence et la direction de l'axe naturel changent de manière continue et incontrôlée, rendant la polarisation imprévisible. [12]

✓ Fibres optiques monomodes commercialisé

La fibre optique monomode est actuellement définie par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications). L'UIT a d'abord normalisé la fibre monomode G.652 (fibre distribuée sans décalage, également appelée SSMF (standard single mode fibre) Ces fibres sont les plus utilisées dans le monde. Ensuite, la fibre monomode G.653 (DCF : fibre à dispersion décalée) a été normalisée. Ces fibres sont notamment utilisées dans les câbles sous-marins. En raison de l'influence de la dispersion chromatique et de la dispersion de mode, en tant que paramètres importants du haut débit, certains fournisseurs en sont venus à proposer la fibre monomode G.655 (NZDCF : fibre à dispersion non nulle) pour la normalisation. Conçus spécifiquement pour les systèmes WDM améliorés, ils sont actuellement utilisés dans les infrastructures terrestres et sous-marines à longue portée .La dernière génération de fibre monomode est la fibre G.657, qui prend en charge de très petits rayons de courbure. Ceci est particulièrement utile pour le câblage à l'intérieur des bâtiments [13]. (voir le Tableau I.3).

Type de fibre monomode	Unité	G.652 SSMF	G.653 DCF	G.655 NZDCF	G.657
Atténuation à 1550 nm	dB/km	<0.25	<0.25	<0.25	<0.21
Dispersion chromatique à 1550 nm	ps.nm ⁻¹ .Km ⁻¹	17	0	<5	<18
Dispersion de modes de polarisation	Ps/Km ^{1/2}	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Tableau I.3 : paramètre de différentes fibres optiques monomode normalisées.

C. Les coupleurs et les connecteurs

Leur travail consiste à connecter l'émetteur et le récepteur avec la fibre optique, comme ils assurent les connexions entre les fibres optiques. [12]

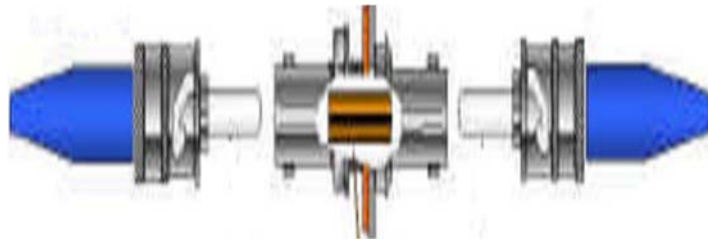


Figure I.12 : connecteur optique [14].

I.5.3 Composante de réception

De même que pour les modules d'émission, des avancées technologiques importantes ont été réalisées dans le module récepteur. Le rôle du récepteur est de convertir de manière optimale le signal optique en un signal électrique. Ce module se compose de plusieurs blocs fonctionnels. La figure (I.13) montre trois parties du rôle décrites en détail dans le paragraphe suivant.

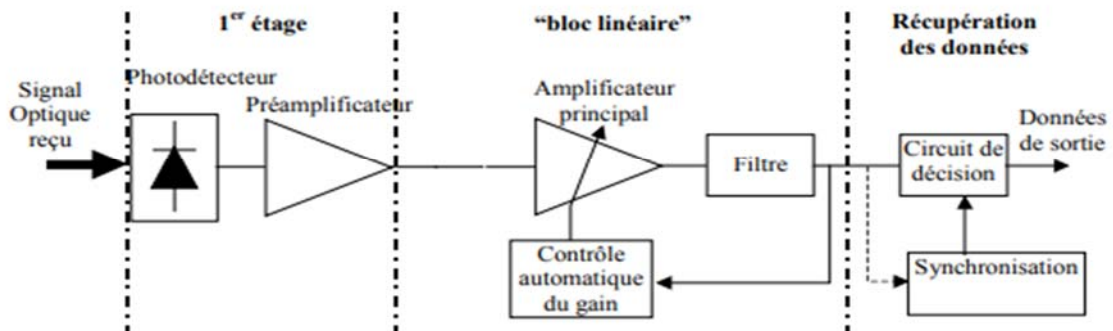


Figure I.13 : schéma d'un récepteur de données à détection directe [9].

Le bloc « premier étage » est constitué d'un photo détecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur qui vise à générer un courant optique suffisamment fort, même si le signal optique reçu est faible ou la photo détecteur insensible.

Le bloc linéaire est constitué d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre de réduction de bruit.

Enfin, le bloc "récupération de données" correspond à l'étape finale du récepteur. Il y a un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme (circuit de synchronisation) [9]. Par la suite, nous allons présenter chaque bloc afin de reconstituer le module de réception.

A. L'élément de base « Photo détecteur »

Un photodétecteur transforme les photons incidents en courant d'électron. Un bon photo détecteur doit être très sensible à la longueur d'onde utilisée, minimiser le bruit et être suffisamment rapide. Les photodétecteurs à semi-conducteurs sont les plus couramment utilisés car ils sont extrêmement rapides, peu coûteux et dimensionnellement compatibles avec les fibres optiques.

Sous l'action d'un photon d'énergie suffisante, un électron de la bande de valence est arraché et passe dans la bande de conduction produisant une paire de porteurs électrons - trous. Ces porteurs sont dissociés, sous l'action d'un champ électrique et participent à des photos courantes de déplacement.

- Etat stable (pas de photons incidents).
- Génération de paires d'électrons par absorption de photons.
- Génération de courant de déplacement sous l'action d'un champ électrique externe.

Les photons incidents ne peuvent être absorbés que si leur énergie $h\nu$ est au moins égale à la GAP ΔE du matériau : $h\nu \geq \Delta E$.

Les photodiodes (PIN)

La principale caractéristique d'une photodiode PIN est que la composante d'entraînement du photo courant domine sur la composante diffusive, parce que la plupart de la puissance optique incidente est absorbée à l'intérieur de la zone I.

En effet, la zone I est située entre les zones P et N d'un semi-conducteur différent dont la bande interdite est choisie afin que les photons incidents soient absorbés seulement dans la zone I de la photodiode (voir la figure I.14).

Les photodiodes PIN utilisent généralement du matériau InGaAs pour la région I et du matériau InP pour les couches P et N.

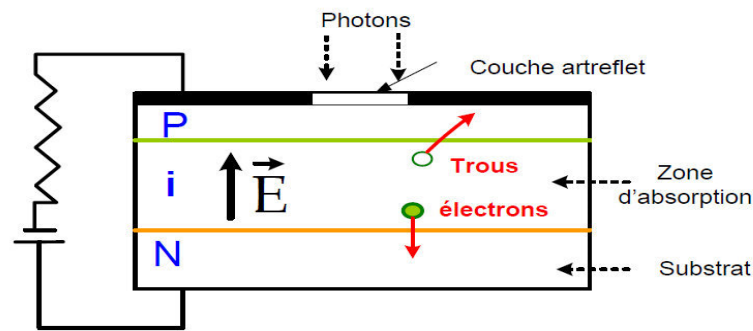


Figure I.14: Photodiode PIN [11].

Les principaux paramètres, dépendant du matériau et de la structure, qui caractérisent une photodiode PIN sont la sensibilité, le courant d'obscurité et le temps de réponse. Le photo courant I_{ph} est directement proportionnel à la puissance optique incidente P_{opt} selon La relation suivante :

$$I_{ph} = S * P_{opt} + I_{obs} \quad (I.4)$$

✚ Photodiode à avalanche (APD)

Lorsqu'une diode PIN est utilisée et qu'une tension inverse élevée est appliquée à ses bornes, un fort champ électrique est généré dans la région intrinsèque, aussi appelée région semi isolante.

Si le champ électrique est suffisamment fort, les charges générées dans la zone semi isolante peuvent acquérir suffisamment d'énergie pour ioniser un atome neutre. Cela crée une nouvelle paire de trous d'électrons.

Ainsi, pour chaque paire créée par l'absorption d'un photon, on obtient ainsi M paires au total : on dit qu'il y a multiplication des paires électron-trou par avalanche. La figure (I.15) Indique le principe de la photodiode à avalanche

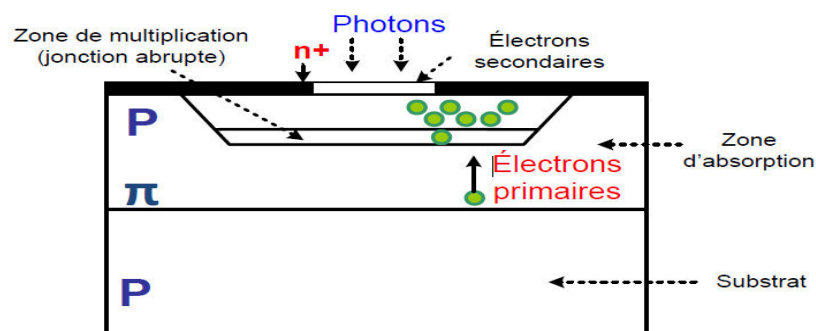


Figure I.15 : Photodiode a avalanche [11].

L'absorption se produit dans une grande région légèrement dopée appelée la région d'absorption, et le doublement se produit dans une jonction pn + soudaine. De plus, lorsque la tension de blocage est élevée, la zone de charge d'espace s'étend jusqu'à la zone π et sa résistivité augmente avec la tension.

Ce principe a un effet stabilisateur : le champ électrique et le gain augmentent lentement, ce dernier peut atteindre de fortes valeurs tout en le commandant avec précision. [11]

✚ Comparaison PIN, APD

Caractéristiques	PIN	APD
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	Nom	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Elevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyenne
Facteur d'accès de bruit	non	Oui

Tableau I.4 : Comparaison PIN, APD.

B. Caractéristiques du photo détecteur

- **Le rendement quantique** : ceci est le rapport entre le nombre de paires de porteurs (collectés) et le nombre de photons incidents. Il ne peut pas dépasser 1 et croît avec l'épaisseur de la zone absorbante.
- **La sensibilité (coefficient de réponse)** : exprimé en ampères/watts (A/W), elle lie le photo courant I_{ph} à la puissance lumineuse incidente P_{opt} par la relation :

$$R_i = I_{ph}/P_{opt} \quad (I.4)$$

- **La bande passante.**
- **Le bruit du photo détecteur** : certains électrons du courant utile peuvent être générés sans absorber de photons. Ils s'ajoutent aux photoélectrons et perturbent le courant.
- **Le coefficient d'absorption** : ce facteur dépend du matériau utilisé et de la longueur d'onde. En plus, il détermine le rendement du photo détecteur. [15]

C. Amplificateur électrique

D'une part, les lignes de transmission optique contiennent des amplificateurs optiques qui peuvent être utilisés de trois manières différentes :

- En tant qu'amplificateur de puissance à l'émission (en anglo-américain booster) ;
- Comme amplificateur en ligne;

– Comme préamplificateur de réception ;

Par contre, le courant émis par la photodiode de réception, malgré la présence d'un préamplificateur, reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur à la sortie du photorécepteur.

D. Circuit de filtrage

Pour minimiser le bruit à la sortie du récepteur, le signal numérique doit être filtré dans la bande $0-\Delta F$ la plus petite possible sans générer d'ISI. Par conséquent, la réponse du filtre au symbole est annulée à tous les points de la détermination du symbole adjacent.

Le critère de Nyquist montre qu'un filtre passe-bas rectangulaire de largeur $2\Delta F = Fr$ (Fr est la fréquence rythmique du signal) possède cette caractéristique. Cependant, ce filtre théorique n'est pas réalisable. De plus, ce critère s'applique aux impulsions Dirac, et non aux impulsions de style NRZ.

E. Le Circuit de décision

Le récepteur doit garantir une qualité de message parfaite [9]. A cet effet, le signal détecté est mis en forme au moyen d'un bloc de décision. Ce dernier est constitué d'un détecteur de seuil et d'un circuit de récupération du rythme, également appelé circuit de synchronisation. Sur le front montant de l'horloge, le signal reçu est comparé au seuil de décision. Si haut, détecter et affirmer haut, sinon bas. L'horloge doit être synchronisée avec le signal incident. Cette récupération de synchronisation est réalisée par une boucle à verrouillage de phase classique [12].

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé les différents supports de transmission et ces caractéristiques, avantages et inconvénients afin de comprendre quel support convient le mieux à notre chaîne de transmission optique, comme nous l'avons vu, l'utilisation des informations de transmission optique consiste à obtenir des débits de transmission très élevés. En outre, les fibres optiques présentent de nombreux avantages à l'usage, tels qu'une bande passante élevée, une faible sensibilité aux facteurs externes et une résistance aux interférences électromagnétiques, faisant des fibres optiques le support de transmission préféré. Enfin, nous avons également vu que l'utilisation de la fibre optique comme support de transmission nous ramène à ce qu'on appelle les systèmes de transmission optique ; qui comme tout autre système de transmission relie entre la composante d'émission et la composante de la réception.

Le chapitre suivant sera consacré aux amplificateurs optiques.

Chapitre 2

Les amplificateurs optiques

II.1 Introduction

Un amplificateur optique est un dispositif qui garantit qu'un signal est amplifié et reste dans le domaine optique. Aujourd'hui, trois types d'amplificateurs optiques ont clairement défini leurs applications : les amplificateurs optiques à semi-conducteurs, les amplificateurs à fibre dopée et les amplificateurs Raman. Ces trois types d'amplificateurs optiques fonctionnent sur le même principe physique. Le faisceau incident est amplifié par une source d'énergie externe appelée pompe. Les amplificateurs optiques offrent de nombreux avantages de qualité par rapport aux répéteurs régénératifs qui doivent être conçus pour des débits de données spécifiques. En effet, dans les amplificateurs optiques, la bande passante n'est plus limitée par l'électronique et peut atteindre des centaines de mégahertz.

II.2 Généralités sur l'amplificateur optique

Un amplificateur optique est un dispositif optoélectronique qui amplifie un signal tout en conservant le domaine optique. Les amplificateurs optiques fonctionnent par émission stimulée d'états excités d'atomes ou d'ions. L'atome est pompé pour que ses électrons soient transférés de l'état fondamental à l'état métastable après pompage optique ou électrique. Le signal à amplifier doit être dirigé vers la région active de l'amplificateur afin de générer une émission stimulée à partir de ce niveau d'énergie métastable. Les photons résultants vont générer une nouvelle émission stimulée, et par l'effet de cascade, un gain très significatif peut être obtenu. Plusieurs types d'amplificateurs optiques ont été développés dans les années 1980, et l'utilisation d'amplificateurs optiques dans les systèmes de transmission est devenue courante dans les années 1990. Les amplificateurs optiques sont principalement divisés en trois types:

- Les amplificateurs à fibre optique tels que les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium (EDFA : Erbium doped fiber amplifier).
- Les amplificateurs à effet Raman (Raman Amplifier).
- Les amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA : semi-conducteur Optical amplifier). [16]

II.3 L'amplificateur en ligne des systèmes de communication optique

Un des souhaits des concepteurs de systèmes de transmission est de pouvoir allonger au maximum la distance séparant un émetteur optique du récepteur optique. La technologie a évolué dans cette direction, passant de la fibre multimode à la fibre monomode, ce qui élimine la dispersion intermodale et fait passer la longueur d'onde de 1330 nm à 1550 nm, ce qui minimise l'atténuation.

Cependant, cela reste la première limitation des liaisons longue distance. Une fois que la distance à transmettre est supérieure à la portée du système, un répéteur régénératif optoélectronique doit être utilisé pour convertir le signal optique en signal électrique, le régénérer et le convertir en signal optique afin de le

transmettre à un autre répéteur ou terminal de ligne. Les régénérateurs photoélectriques comprennent des lasers, des photodiodes et de nombreux circuits intégrés.

Tous ces composants qui doivent fonctionner à des vitesses élevées sont coûteux, complexes et difficiles à produire et à connecter. Malgré les avancées indéniables de l'électronique haut débit, il y a lieu de penser que développer ce type de régénérateur à des débits supérieurs à 2,5 Gbits/s serait coûteux.

Cependant, les exigences de débit continuent d'augmenter. Cette course de capacité semble se ralentir pour des raisons techniques liées à la viabilité des régénérateurs photoélectriques, d'où un grand engouement pour les systèmes non régénératifs utilisant l'amplification optique. [17]

II.4 L'intérêt de l'amplificateur optique

Les amplificateurs optiques offrent de nombreux avantages de qualité par rapport aux répéteurs régénératifs qui doivent être conçus pour un débit spécifique. En effet, dans les amplificateurs optiques, la bande passante n'est plus limitée par l'électronique et peut atteindre des centaines de gigahertz. L'avantage d'un amplificateur optique est qu'il peut amplifier un signal dont la longueur d'onde correspond à sa gamme de sensibilité, quels que soient le débit de transmission et le format de modulation utilisé. Or, un amplificateur optique ne régénère pas le signal, ni ne met en forme le signal à amplifier, il amplifie le signal et son bruit associé. L'amplification optique peut être réalisée en trois points de la liaison, correspondant aux trois principales applications des amplificateurs optiques, comme le montre la figure (II.1) [18] :

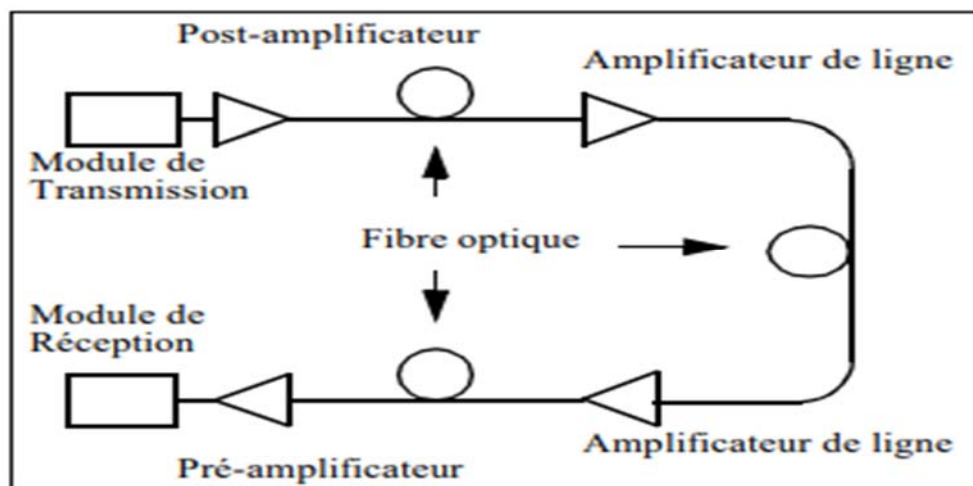


Figure II.1 : applications de l'amplificateur optique.

✚ Le rôle d'un amplificateur :

Les amplificateurs sont insérés dans les systèmes de communication optique et font partie des moyens de reproduction d'un signal optique. Ce signal est constitué d'une porteuse modulée va être maltraité de diverses manières au cours de sa propagation. Pertes qui vont atténuer son intensité. Variance

qui modifie la forme de la modulation et décale chaque impulsion. Pour corriger ces défauts générés au cours de la propagation, différents systèmes existent comme le système qui consiste à ré-amplifier le signal pour corriger les pertes, et le remettre en forme puis le synchroniser.

II.5 Utilisation de l'amplificateur optique

Cependant, le choix de l'amplificateur optique doit être fait en fonction de son rôle. Il peut être utilisé comme amplificateur de puissance d'émission (booster), préamplificateur de réception et amplificateur en ligne. Les paramètres varient en fonction de l'application. Par exemple, un amplificateur de puissance doit être capable de délivrer une puissance de sortie élevée et ses performances de bruit ne sont pas très importantes, mais le préamplificateur doit être aussi silencieux que possible. Les amplificateurs en ligne sont un compromis pour tous ceux-ci pour augmenter la distance de transmission sans dégrader la qualité du signal transmis. Voir figure (II.2). [12]

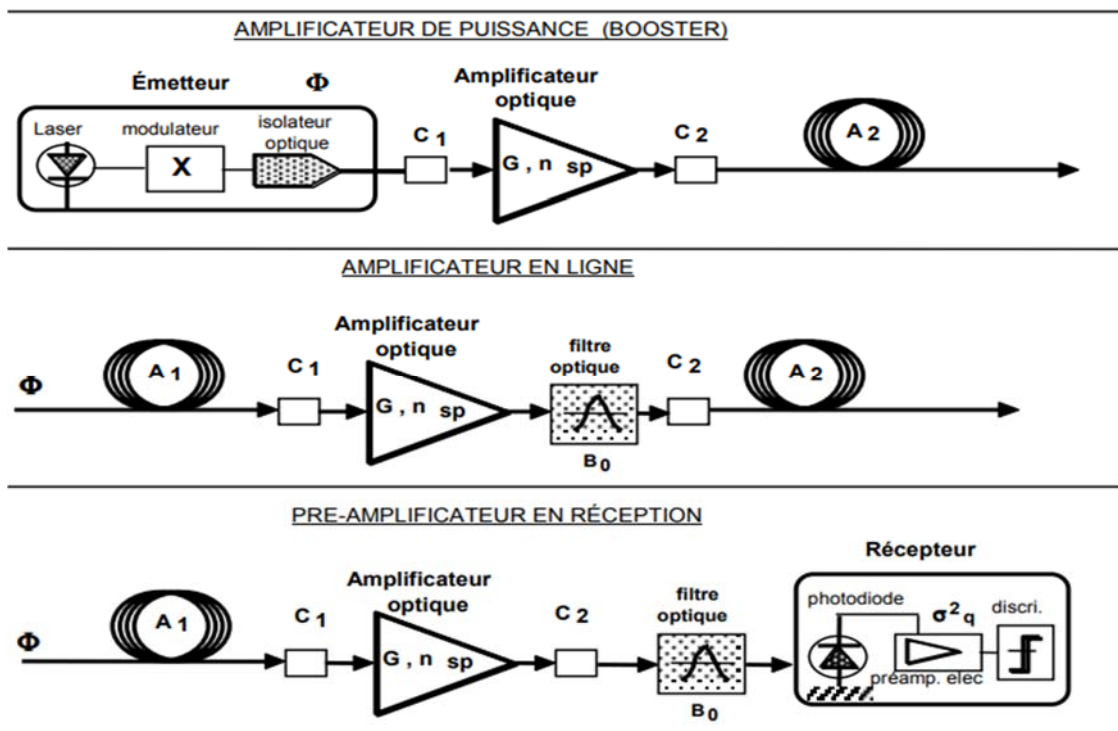


Figure II.2 : configuration des amplificateurs optiques (A_1 et A_2 représentent les fibres).

II.5.1 Les différentes configurations pour des amplificateurs optiques

Tout d'abord, trois configurations peuvent être distinguées dans la chaîne de transmission optique globale utilisée pour amplifier le signal optique (voir figure (II.3)):

- **Booster (Amplification de puissance) :** Utilisé uniquement dans les systèmes à un canal et placé en début de chaîne immédiatement après l'émetteur. Ils présentent une puissance de sortie très élevée, ce qui permet d'initier la transmission avec un signal de haut niveau.

- **Amplificateur en ligne** : Situé sur la ligne de transmission, il a la capacité de compenser la perte causée par la fibre de ligne. Ils sont généralement placés environ tous les 80 km et ont un gain élevé et des niveaux de bruit faibles.
- **Préamplificateur** : Situé en bout de chaîne de transmission, il sert à amplifier le niveau du signal avant le récepteur. Ils se caractérisent par un gain élevé et des niveaux de bruit très faibles [19].

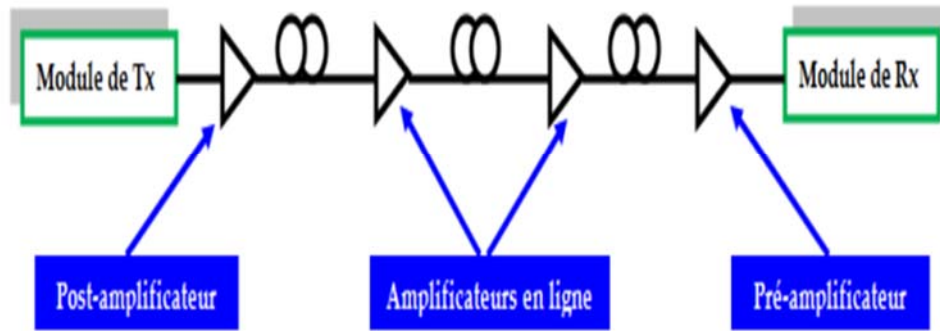


Figure II.3 : types de configuration d'un amplificateur optique.

II.6 Les différents types de l'amplificateur optique

Les paramètres les plus importants qui caractérisent un amplificateur sont présentés comme suit :

- Bande spectrale dans laquelle il y a du gain, Gain (en dB) ;
- Efficacité du gain : (rapport gain /puissance de pompe (en dB/mW)) ;
- Puissance de saturation (puissance de sortie maximale de l'amplificateur) ;
- Facteur de bruit ; -Sensibilité du gain à la polarisation du signal ;
- Longueur d'onde de pompe, Efficacité du couplage de la pompe et du signal ;
- Sensibilité aux fluctuations du signal et de la pompe ;
- Diaphonie dans le cas de communications WDM.

Les différents types de l'amplificateur optique sont présentés de la manière suivant :

II.6.1 Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA)

➤ Description

Un amplificateur optique à semi-conducteur est un composant optoélectronique actif dont la structure de base consiste en une diode de type pi-n à hétérojonction qui permet l'amplification de la lumière incidente par émission stimulée. Pour assurer des performances optimales de cette diode, il est nécessaire de confiner le maximum de porteurs et de photons dans la région intrinsèque (région active) du composant. Cette figure (II.4) montre un schéma simplifié de SOA. SOA est un dispositif

optoélectronique capable d'amplifier des signaux optiques dans des conditions de fonctionnement appropriées.

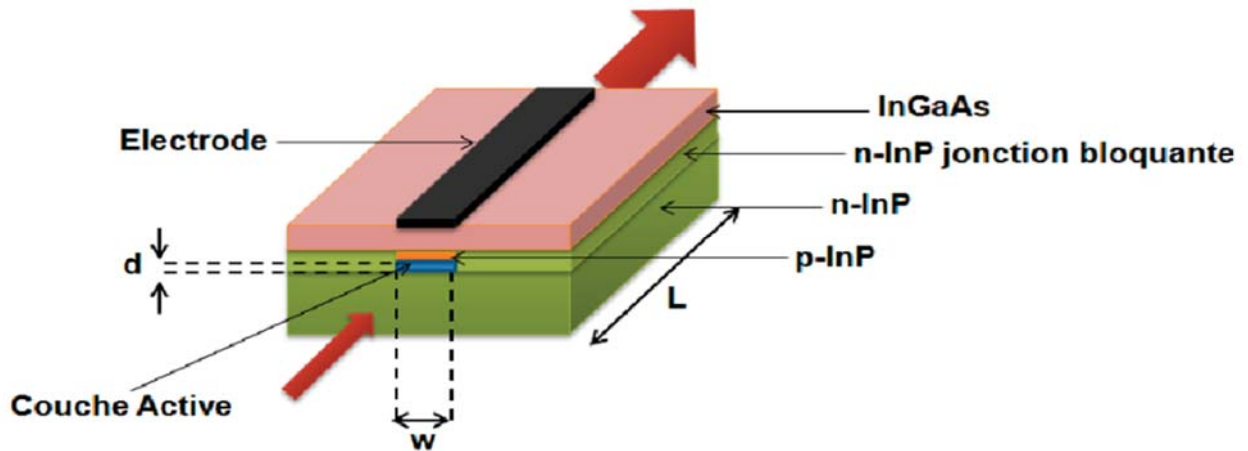


Figure II.4 : la structure de base d'un SOA [20].

➤ Caractéristiques

L'élément principal du SOA est la région active, généralement constituée d'un semiconducteur fournissant du gain, qui agit pour diriger le signal optique dans la région active et confiner les porteurs dans cette région. Les SOA sont des composants de type diode laser avec des surfaces non réfléchissantes. Les facettes de SOA ont un coefficient de réflexion proche de zéro pour éviter les effets laser. Le but de SOA est d'amplifier le signal optique en un seul passage plutôt que de le générer. Comme les diodes laser, SOA a une jonction PN qui est polarisée en direct pendant le fonctionnement de l'appareil. La polarisation de la jonction PN permet une inversion de population dans la région active du SOA, ce qui entraîne un gain optique. [21]

➤ Principe de fonctionnement

Ces composants ont une structure similaire aux diodes lasers, mais avec des conceptions spécifiques à leurs extrémités visant à réduire les réflexions, afin d'éviter l'émission laser. Les SOA partagent également une structure commune dont la fonction est de guider les signaux à amplifier et confiner les porteurs dans la zone active, cette structure s'appelle un guide d'onde. La structure du SOA joue un rôle très important dans les performances du composant. Son structure est choisie pour obtenir une très bonne caractéristique (puissance de saturation, réduction de la réflexion des extrémités, insensibilité à la polarisation...etc.) ou accentuer sur une caractéristique pour une application donnée. D'après les coefficients de la réflexion des facettes en trouvant dans le littérature généralement deux types des SOA, les SOA à cavité Fabry-Pérot (Fabry-Pérot (FP) amplifieur) et les SOA à onde progressive (traveling wave amplifieur TW-SOA) [22]. La différence entre les deux est présentée dans la figure (II.5) suivante :

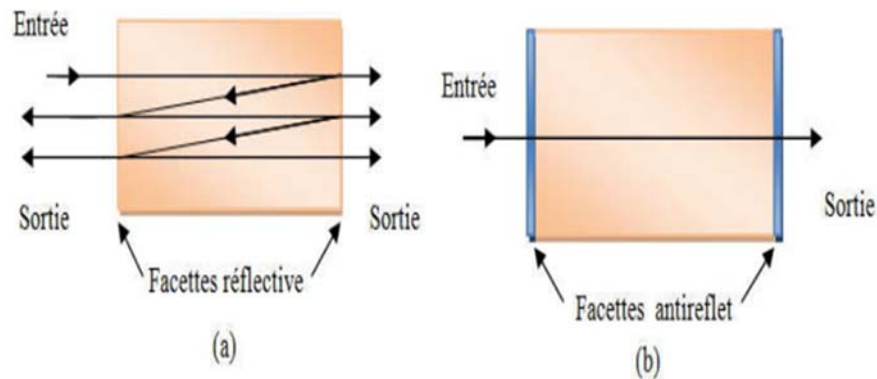


Figure II.5 : (a) SOA à cavité Fabry-Pérot, (b) SOA à onde progressive.

II.6.2 Amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA)

Les amplificateurs à fibre dopée ont été introduits en 1964 et ont été mis sur le marché au début des années 1990. Ce sont des fibres de quelques centimètres à des dizaines de mètres. Des ions de terres rares ont été ajoutés au cœur de la fibre, avec une concentration d'environ 1,5%. Le dopant le plus largement utilisé de 0,1% est qu'il peut obtenir un gain dans la fenêtre spectrale "C" couvrant les longueurs d'onde de 1528 à 1563 nm. Quand un signal laser avec une longueur d'onde inférieure (980 ou 1480 nm) appelé signal de pompe est envoyé dans la fibre, le dopant entre dans un état d'énergie plus élevée (environ 1,27 eV) qui est excité. Le passage des photons dans la bande de gain excitera les ions excités pour libérer des photons avec la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident [23]. voir la figure (II.6) :

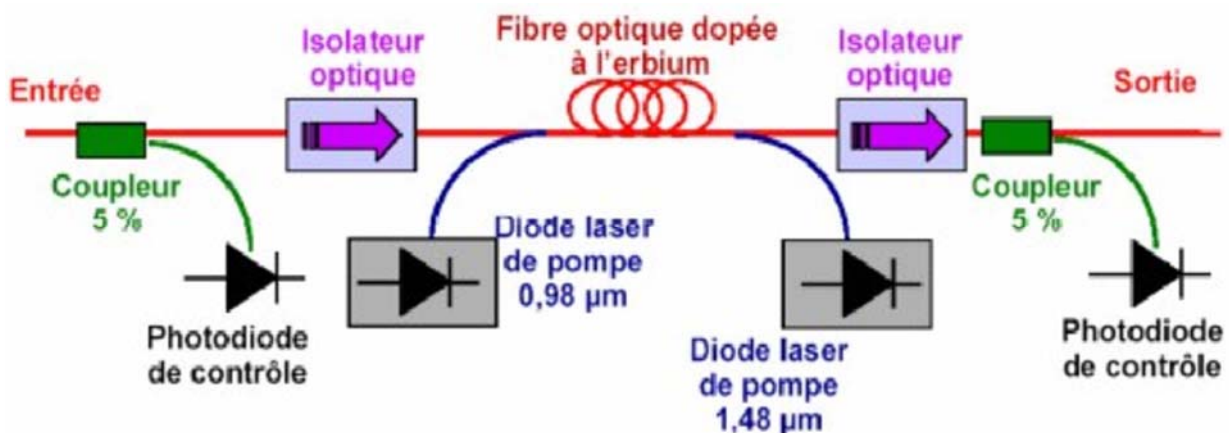


Figure II.6 : structure de l'amplificateur à fibre optique dopée en erbium [24].

Le milieu est toujours la fibre sauf que l'amplification se fait grâce aux éléments terre rare qui la dopent les longueurs d'ondes d'amplification et la bande spectrale de gain dépendent par conséquent de l'ion dopant l'erbium est un élément majeur utilisé dans les systèmes de transmission car il est opéré des longueurs d'ondes proches de la troisième fenêtre des télécommunications. Les propriétés des fibres

dopées erbium sont dues à l'exploitation des différentes transitions entre les niveaux d'énergie de l'ion Er^{3+} en effet dans un modèle théorique, Ceci permet d'expliquer l'amplification de l'erbium et est compatible avec la plupart des configurations utilisant le dopage à l'erbium. Ces transitions peuvent être présentées comme sur la figure (II.7) ci dessous. [25]



Figure II.7 : les propriétés d'une fibre dopée erbium.

➤ Caractéristiques

En raison de plusieurs facteurs, c'est un élément favorable de la communication optique. Ses caractéristiques d'amplification naturelle autour de 1550 nm en font le principal matériau candidat à combiner avec une fibre de quartz, cette longueur d'onde est cohérente avec l'atténuation minimale de la fibre optique. Il s'agit d'un dispositif qui contient une fibre dopée qui constitue le milieu amplificateur, un laser pompe qui génère une énergie lumineuse de très haute puissance et les composants optiques passifs nécessaires dans un seul boîtier compact. L'introduction du dopant (Erbium) dans la fibre optique est le point de départ du niveau d'absorption supplémentaire autour de la longueur d'onde prédéterminée (980 nm ou 1480 nm) en fonction du dopant. En pompant précisément cette longueur d'onde, nous obtiendrons le phénomène d'amplification optique [26].

➤ Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de l'amplificateur à fibre dopée est similaire à celui d'un laser. Une partie de la fibre optique dopée est pompée optiquement avec un laser pour placer les ions dopés dans un état excité. Lorsqu'un signal lumineux traverse cette fibre, il désexcite les ions par effet laser, générant ainsi un photon en chaque point qui est le même que le photon incident. Par conséquent, le signal optique a doublé. Par effet d'avalanche, le signal est amplifié à la sortie de la partie dopée de la fibre. On injecte le signal à amplifier (P_s) et le signal de pompage (P_p) dans l'extrémité d'entrée de la fibre optique. L'énergie de la pompe est transmise des ions au signal à travers la fibre d'erbium. En conséquence, le signal est amplifié à l'extrémité de sortie de la fibre. Voir la figure (II.8).

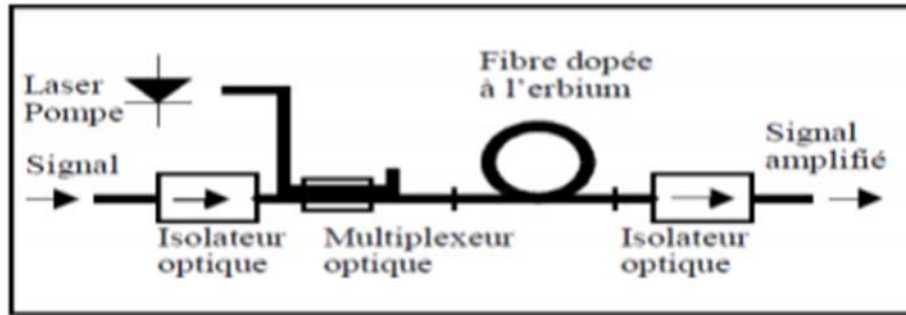


Figure II.8 : principe de fonctionnement d'un EDFA.

Il est important de bien comprendre la théorie derrière l'EDFA afin de modéliser correctement les sections de base suivantes liées à l'émission d'ions et à l'EDFA comme suit :

- Connaissances de base liées aux transitions électroniques et aux niveaux d'énergie atomique.
- La définition de l'équation décrit le changement de densité de groupe atomique au fil du temps.
- Simplifiez le modèle proposé en un modèle à deux niveaux.
- Définition de l'émission spontanée amplifiée.
- Définissez le coefficient de transition stimulé.
- Modéliser la propagation de différents signaux (pompes, signaux, émission spontanée amplifiée).
- Définissez le facteur de récupération.
- Introduire la méthode d'analyse numérique du modèle proposé.

II.6.3 Amplificateur Raman

L'effet Raman est un phénomène physique de diffusion moléculaire de la lumière qui a été démontré expérimentalement en 1928 par le physicien indien Chandrasekhara Venkata Raman, qui a remporté le prix Nobel en 1930. Les atomes constitutifs de la matière sont en vibration constante. Lorsqu'une lumière est envoyée sur un objet, elle va lui fournir de l'énergie. Cette énergie va alors modifier les vibrations des liaisons chimiques entre les atomes.

➤ Caractéristiques

Les amplificateurs Raman sont des amplificateurs optiques basés sur le gain Raman généré par l'effet de diffusion Raman stimulé. Le milieu actif en Raman est généralement une fibre optique mais il peut aussi être un cristal en vrac, un guide d'ondes dans un circuit intégré photonique, ou d'une cellule avec un milieu gazeux ou liquide. Un signal d'entrée peut être amplifié pendant Co ou Contra-propagative avec un faisceau de pompage, la longueur d'onde est typiquement de quelques dizaines de nanomètres plus courtes. Pour les fibres de silice, le gain maximal est obtenu à un décalage de position d'environ 10 à 15 THz entre la pompe et le signal de fréquence, en fonction de la composition du cœur de la fibre.

➤ Principe de fonctionnement

En télécommunications l'amplificateur Raman est pompé avec une lumière à onde continue à partir d'un laser à diode. L'amplification efficace des impulsions ultracourtes est également possible en utilisant des impulsions de pompe Co-propagatives. Cependant, le phénomène de la vitesse de groupe est non-concordance alors limite considérablement la longueur d'interaction utile, en particulier pour des durées d'impulsion inférieures à 1 Ps. Les fibres utilisées pour les amplificateurs Raman ne sont pas dopées avec des ions de terres rares. En principe, toute fibre ordinaire unique mode peut être utilisée, et en pratique, les fibres de transmission elles-mêmes sont souvent appropriées (amplificateurs distribués). Cependant, il y a des fibres spéciales avec augmentation de gain Raman, résultant de certains dopants (par exemple Germania) pour des coupes Raman améliorées, ou tout simplement d'une petite zone de mode efficace. Ces fibres sont utilisées pour les amplificateurs Raman localisés, où un morceau de fibre courte est dédié à une amplification seulement [6]. voir la figure (II.9).

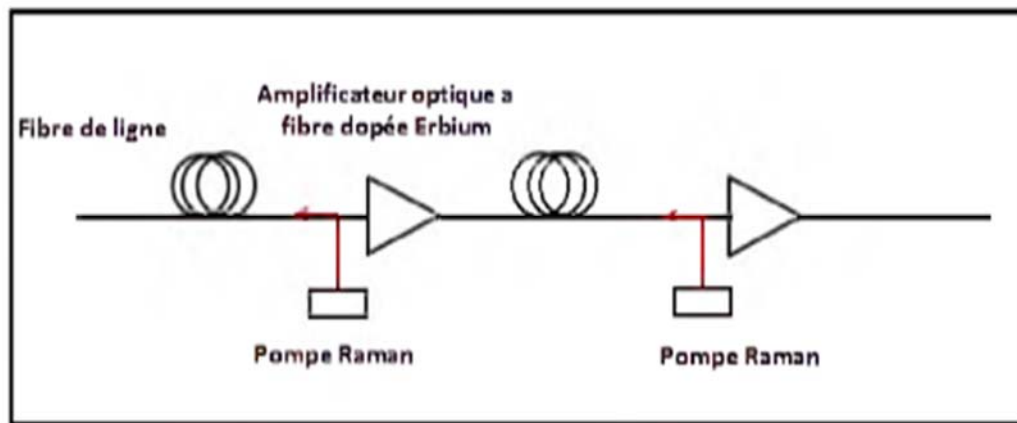


Figure II.9 : principe d'une liaison utilisant l'amplificateur Raman distribuée.

Son domaine d'utilisation est dans les télécommunications à fibres optiques, des applications métrologiques et la composition chimique d'un matériau. Certes, les amplificateurs optiques sont considérés comme des fibres optiques, qui sont des facteurs importants dans l'amélioration du chemin optique.

II.7 Les différences caractéristiques des trois amplificateurs

Un amplificateur optique est une technologie importante pour les réseaux de communication optiques. Il est utilisé à la place d'un répéteur sans avoir à le convertir au préalable en un signal électrique. Comme on le sait, il existe plusieurs types d'amplificateurs optiques. Parmi celles-ci, les principales technologies d'amplification sont l'amplificateur à fibre dopée (par exemple, EDFA), l'amplificateur optique à semi-conducteur (SOA) et l'amplificateur à fibre optique Raman. [27]

Le tableau (II.1) présente une comparaison entre ces trois amplificateurs :

caractéristiques	EDFA	SOA	RAMAN
Gain	30- 50 dB	20- 35 dB	5-40 dB proportionnel à l'intensité de la pompe et la longueur de la fibre de transmission
Rapport signal/bruit	4dB	8dB	4dB
Puissance de saturation en sortie	1-10mW	10dBm	Egale à la puissance de l'onde de pompe
Bande spectrale	25nm	40nm	50nm
Densité d'intégration	Faible	Très fort	Faible
Facteur de bruit	6-8 dB	6db	
Maximum de saturation	22	18	0.75 *POMPE
Facteur de cout	Moyen	bas	Elevé
Longueur d'onde	1530-1560	1280-1650	1280-1650

Tableau II.1 : comparaison des caractéristiques entre les trois amplificateurs.

Par conséquent , le meilleur candidat est à 1,3 μm et qu'il se prête à l'intégration monolithique, ses caractéristiques défavorables, font que l'amplificateur à semi-conducteur n'apparaît que très peu dans les systèmes de transmission, au regard des caractéristiques présentées par les amplificateurs EDFA qui ont permis de créer un milieu de propagation sans perte sur une très grande distance dans les systèmes de transmission travaillant à 1,55 μm .

Contrairement aux SOA, ils introduisent une perte d'insertion plus faible, une distorsion de signal plus faible, un gain plus élevé et sont insensibles à la polarisation de la lumière incidente, ce qui conduit à une préférence pour les EDFA. Leur plus gros défaut est qu'ils ne peuvent amplifier que des longueurs d'onde autour de 1550 nm. Des problèmes qui peuvent être résolus en utilisant une nouvelle génération d'amplificateurs Raman à larges bandes d'amplification et à faible bruit.

II.8 Calcul des Bruits sur les liaisons amplifiées

II.8.1 Le bruit

Les amplificateurs optiques sont des éléments nécessaires pour toute transmission longue distance. Aussi maîtriser la génération de bruit dans ces derniers afin de limiter les effets du bruit dans la déformation des signaux transmis est un enjeu fondamental pour assurer une transmission future rapide et fiable.

✚ Facteur de bruit

Comme pour un amplificateur électronique, le facteur de bruit est défini comme la dégradation du rapport signal/bruit (optique) entre l'entrée et la sortie. À l'entrée, le "bruit de fond" optique a une densité spectrale de $h\nu$, résultant du principe d'incertitude d'Heisenberg ; à la sortie, il est augmenté par l'émission spontanée amplifiée de densité spectrale N_{ase} . Les pertes en entrée ($-10 \log C_1$) et en sortie ($-10 \log C_2$) (Figure II.10) doivent être prises en compte.

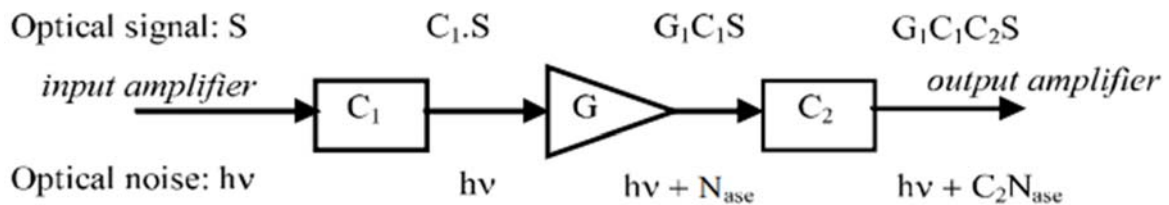


Figure II.10 : modèle pour le calcul du facteur de bruit.

Le facteur de bruit est donc égal à :

$$F = \frac{1}{GC_1} \left[\frac{1}{C_2} + \frac{N_{ase}}{h\nu} \right] = \frac{1}{GC_1 C_2} + 2N_{sp} \cdot \frac{G-1}{GC_1} \quad (\text{II.1})$$

- Si G est grand et que les pertes sont faibles, alors F tend vers une limite égale à $2 N_{sp}$; le minimum théorique est de 3 dB (en l'absence d'action particulière sur la polarisation).
- Si G est petit, F devient inférieur à 3 dB lorsque G tend vers 1, ce qui n'est plus intéressant d'un point de vue pratique.

Le facteur de bruit est un bon indicateur de la qualité de l'amplificateur, mais pour le calcul du bruit sur la liaison, il est préférable d'utiliser la densité spectrale N_{ase} .

II.8.2 Bruit en réception en présence d'un amplificateur optique

Un courant de bruit apparaît alors dans le récepteur qui s'ajoute au bruit de grenaille de la photo détection et éventuellement au bruit d'intensité relative de la source, généralement négligeable au niveau du récepteur. Après la photo détection, le bruit optique va créer un battement avec le signal de puissance optique reçu $P_{S(r)}$, comme avec lui-même, à cause de la détection quadratique. Le courant de bruit global a une valeur moyenne quadratique qui est la somme de :

- Le bruit de fond associé au signal :

$$\langle i_{q(s)}^2 \rangle = 2q \cdot S \cdot P_{S(r)} \cdot \Delta F \quad (\text{II.2})$$

- Le bruit du tir associé à l'émission spontanée :

$$\langle i_{q(ase)}^2 \rangle = 2q \cdot S \cdot P_{ase(r)} \cdot \Delta F = 2q \cdot S \cdot N_{ase(r)} \cdot \Delta V \cdot \Delta F \quad (\text{II.3})$$

- Le battement entre le signal et l'émission spontanée :

$$\langle i_{b(ase)}^2 \rangle = 2 \cdot S^2 \cdot P_{S(r)} \cdot N_{ase(r)} \cdot \Delta F \quad (\text{II.4})$$

- Le battement entre les différentes composantes de l'émission spontanée :

$$\langle i_{b(ase/ase)}^2 \rangle = 2 \cdot S^2 \cdot N_{ase(r)}^2 \cdot \Delta V \cdot \Delta F \quad (\text{II.5})$$

- La puissance du signal électrique après détection est toujours égale :

$$\langle i_s^2 \rangle = S^2 \cdot P_{S(r)}^2 \quad (\text{II.6})$$

La densité spectrale de l'émission spontanée amplifiée reçue à l'entrée du détecteur. On suppose qu'elle est constante à l'intérieur du filtre optique de largeur 'q'.phénomène de battement, conséquence de la détection quadratique, fait que toutes les composantes d'émission spontanée amplifiée éloignées les unes des autres (ou de la porteuse optique) à une valeur inférieur à ΔF créeront un bruit électrique dans la bande ΔF contenant le signal.

ΔF Est la largeur de bande du filtre électrique, déterminée par le débit binaire du signal, tandis que 'q' est la largeur de bande du filtre optique, plus grande dans la pratique, qui doit être rendue aussi petite que possible (puisque le minimum théorique, en modulation d'intensité, est de $2\Delta F$).Sinon, les

termes de bruit liés à l'émission spontanée amplifiée peuvent devenir très élevés. La fibre optique offre un certain "auto-filtrage", grâce à sa courbe d'atténuation spectrale, mais ce n'est pas suffisant.

Nous pouvons développer ces formules en utilisant :

$$P_{S(r)} = G C_1 C_2 A \cdot P_{(e)} \quad (\text{II.7})$$

Et :

$$N_{ase(r)} = 2N_{SP} (G - 1) h\nu C_2 \cdot A \quad (\text{II.8})$$

Dans le cas d'une liaison avec un amplificateur, séparé du récepteur par une atténuation totale A (ou $-10 \log(A)$ en dB) de la section de la fibre, puisque $P(e)$ est la puissance du signal à l'entrée de l'amplificateur. Nous notons que les termes de bruit quantique sont comme $A \cdot G$, alors que les termes de battement sont comme $(A \cdot G)^2$, comme pour la puissance du signal électrique.

II.8.3 Cas d'un récepteur à préamplificateur optique

Dans le cas de l'utilisation d'un préamplificateur à fibre dopée juste avant le détecteur, A est proche de 1 et les termes de battement sont prédominants. Tant qu'ils sont inférieurs au bruit de fond du récepteur, le rapport porteuse/bruit à l'entrée est amélioré de $10 \log G$. Le Gain asymptotique possible sur la puissance moyenne reçue qui est nécessaire pour un rapport signal/bruit donné (figure II.11). Sa valeur est de 15 à 20 dB.

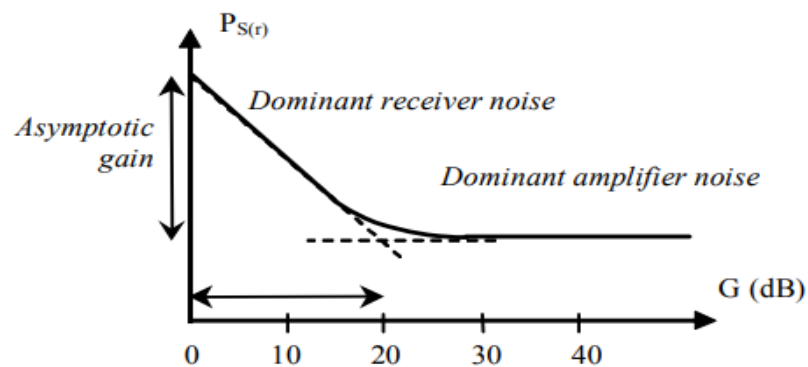


Figure II.11 : puissance d'entrée requise en fonction du gain du préamplificateur.

En instrumentation (notamment en réflectométrie), les préamplificateurs optiques commencent à être utilisés pour amplifier des signaux optiques très faibles et ainsi se rapprocher des quanta.

En revanche, si l'amplificateur est éloigné du récepteur, $A \ll 1$, ce qui rend généralement les termes de battement négligeables. Le gain doit alors être fort puisque le bruit dominant est le bruit quantique, en G , alors que la puissance du signal (électrique) est en G^2 . La limite du gain est alors due à la saturation de l'amplificateur.

II.8.4 Calcul du bruit sur les liaisons longues

Du fait de l'absence de régénération, il se produit une accumulation de bruit qui limite la distance entre les amplificateurs optiques, à une valeur d'autant plus faible que la liaison est longue. En effet, à l'extrémité d'une longueur L , comportant M tronçons amplificateurs identiques de longueur $d = L/M$, le bruit optique causé par l'accumulation de l'émission spontanée amplifiée accumulée est égal, en densité spectrale, à :

$$N_{ase(tot)} = 2MN_{SP} (G - 1) h\nu \quad (\text{II.9})$$

D'où :

$$g = 10 \log \log G = \alpha d \quad (\text{II.10})$$

Est le gain en dB pour chaque amplificateur qui compense l'atténuation du section de fibre précédente, d'atténuation linéique α .

Ainsi :

$$M = \alpha L / g \quad (\text{II.11})$$

Et :

$$N_{ase(tot)} = 2N_{SP} \alpha L \frac{(G - 1)}{10 \log G} h\nu \quad (\text{II.12})$$

Qui est d'autant plus faible que G est petit.

Ce terme apparaît dans les différentes composantes du bruit décrites précédemment. Le calcul de la liaison nous permettra alors de déterminer sa valeur maximale en fonction du taux d'erreur binaire attendu, donc du rapport signal/bruit. La valeur maximale du gain G , donc le nombre minimal d'amplificateurs à utiliser, en est déduit. Comme G diminue lorsque L augmente, le nombre de répéteurs

augmente plus vite que la longueur de la liaison (contrairement à ce qui se passe dans le cas de l'utilisation d'un amplificateur).

La réalité est plus compliquée car il faut tenir compte de la saturation de l'amplificateur par l'accumulation du bruit optique doit être prise en compte. Des filtres optiques étroits doivent alors être utilisés dans chaque amplificateur pour éviter l'apparition de ce phénomène. Tant que la puissance d'émission spontanée amplifiée est beaucoup plus faible que le signal, elle peut fonctionner en saturant le signal, ce qui permet un certain contrôle de niveau sur la liaison. Dans une liaison longue, l'utilisation de contrôle automatique de gain (AGC), en agissant sur la puissance de la pompe, est recommandée, cependant, afin de compenser les éventuelles fluctuations d'atténuation.

L'utilisation d'un code de correction d'erreur au niveau du récepteur devient très utile (et plus facile qu'avec une liaison régénérée où il faudrait l'utiliser à chaque répéteur).

Dans le cas d'une liaison sous-marine, les amplificateurs intermédiaires étant alimentés à distance, l'objectif est d'optimiser le gain tout en limitant la puissance de pompage. Le rapport g/P_p doit être maximisé. Il est possible de télépomper un amplificateur en ligne depuis un terminal situé à plusieurs dizaines de kilomètres. Dans une liaison sous-marine, il est alors possible de d'augmenter la distance entre, les terminaux et d'éviter les éléments actifs immergés. (Des distances de plus de 400 km ont été atteintes) [28].

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu en détail les amplificateurs optique, leurs rôles, leurs utilisations ainsi leurs différentes configuration. Par la suite, nous avons focalisé sur les types d'amplificateurs optique, car on a présenté quelle que type comme l'amplificateur optique à semi-conducteur (SOA), amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA), Amplificateur Raman. En fin, nous avons calculé le bruit d'un amplificateur optique dans des différents cas. En effet, le bruit de l'amplificateur optique dépend de la longueur d'onde et de la puissance injectée dans la fibre. Le prochain chapitre portera sur la simulation des amplificateurs optique.

Chapitre 3

**Simulations et résultats d'un
amplificateur (EDFA)**

III.1 Introduction

Depuis l'éclatement de la bulle Internet, les systèmes de télécommunications ont toujours exigé des débits plus élevés. L'amplification optique est l'une des technologies importantes qui peuvent constamment repousser les limites du compromis distance/débit bien connu dans ces systèmes.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude et la conception d'un système de transmission optique à très haut débit en utilisant un amplificateur optique de type EDF. La théorie précédente nous a permis de développer une simulation introduite sous le logiciel industriel OptiSystem. Tout d'abord, nous commençons par une description sur la performance d'une liaison optique à haut débit et une présentation de logiciel OptiSystem, suivie d'une configuration des différentes simulations effectuées sur des liaisons optiques nécessaires pour étudier l'évolution des normes de qualité en modifiant les paramètres essentiels de simulation.

III.2 Présentation du logiciel OptiSystem

Logiciel OptiSystem développé par Optiwave Canada; optique Logiciel de conception de systèmes de communication, qui permet aux ingénieurs et aux chercheurs Concevoir, simuler et analyser des systèmes de distribution optique. La variété des systèmes de simulation peut être étendue en insérant des fonctions définies par l'utilisateur qui peuvent être ajoutées au système de simulation.

Il permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique, il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optique. [29]

III.2.1 Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

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

III.2.2 Applications du logiciel OptiSystem

Parmi les diverses applications d'OptiSystem nous allons citer les plus utilisées :

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER ou TEB) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et les réseaux optiques passifs (PON).
- L'espace libre pour les systèmes optiques (OSA).
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

III.2.3 Avantages du logiciel OptiSystem

Les avantages du logiciel OptiSystem sont :

- Obtenir un aperçu des performances du système de fibre optique.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
- Présentation virtuelle des options de conception.
- La démarche à suivre pour simuler un système optique se décompose en deux étapes :
 - Construire le schéma bloc.
 - Analyser le schéma.

III.3 Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission

Pour évaluer la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal sont le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q.

Taux d'erreurs binaires (TEB ou BER)

Les données sont transmises sous forme numérique, c'est-à-dire suivant une séquence de données binaires. L'évaluation de la qualité d'une transmission numérique binaire exige la comparaison de la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus grâce au calcul du nombre de bits erronés c'est-à-dire le nombre de « 0 » détectés pour un symbole « 1 » émis ou vice versa.

On définit alors le taux d'erreur binaire TEB ou Bit-Error Rate BER en anglais par le nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis.

$$\text{BER} = \text{TEB} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits totaux envoyés}} \quad (\text{III.1})$$

Un système est généralement considéré de bonne qualité en télécom optique si son taux d'erreur binaire BER est inférieur à 10^{-9} ou à 10^{-12} suivant les systèmes [30].

✚ Le facteur de qualité

Le facteur de qualité (Q), est un paramètre permettant de quantifier et d'évaluer le signal sans avoir à compter directement les erreurs [30]. Considérons que le bruit introduit par la transmission de données binaires est gaussien. On définit alors un facteur Q pour les niveaux hauts et un pour les niveaux bas.

$$Q_i = \left| \frac{D - \mu_i}{\sigma_i} \right|, i = 0,1 \quad (\text{III.2})$$

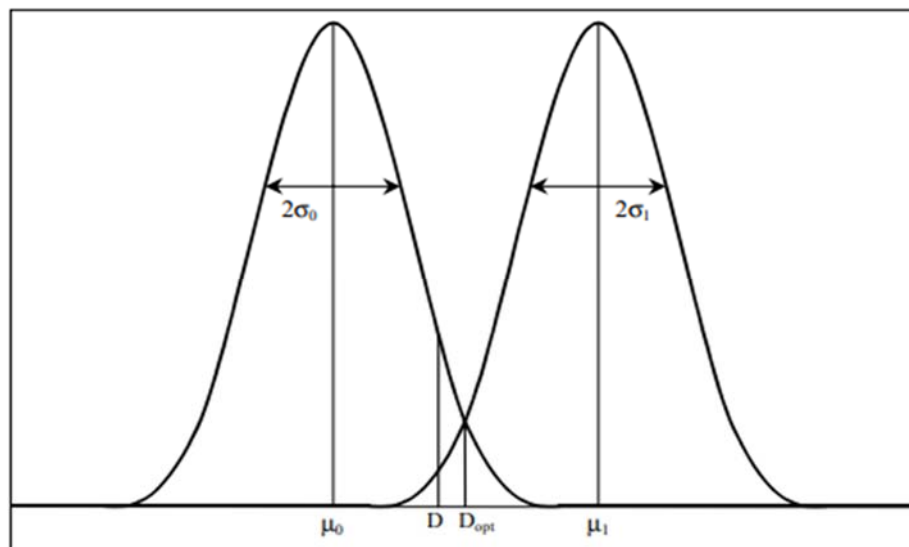


Figure III.1 : représentations schématisées des densités de probabilités et du seuil de décision.

Lorsque les probabilités d'un niveau haut et d'un niveau bas sont équiprobables, le BER est défini en fonction du facteur de qualité avec la relation suivante :

$$\text{TEB} = \frac{1}{4} \left[\text{erfc} \left(\frac{Q_0}{\sqrt{2}} \right) \right] + \frac{1}{4} \left[\text{erfc} \left(\frac{Q_1}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

Avec *erfc* est la fonction d'erreur complémentaire.

On peut optimiser le TEB en optimisant la position du seuil de décision. Cette position est approximativement donnée par la formule suivante :

$$D_{opt} = \left| \frac{\sigma_1 \mu_0 + \sigma_0 \mu_1}{\sigma_0 + \sigma_1} \right| \quad (\text{III.4})$$

Le facteur Q et le taux d'erreur deviennent alors :

$$Q = \left| \frac{\sigma_1 \mu_0 + \sigma_0 \mu_1}{\sigma_0 + \sigma_1} \right| \quad (\text{III.5})$$

Et

$$TEB = \frac{1}{2} \left[\text{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.6})$$

Le TEB varie très rapidement en fonction de Q. La Figure III- 7 représente bien cette forte évolution du TEB en fonction du facteur de qualité.

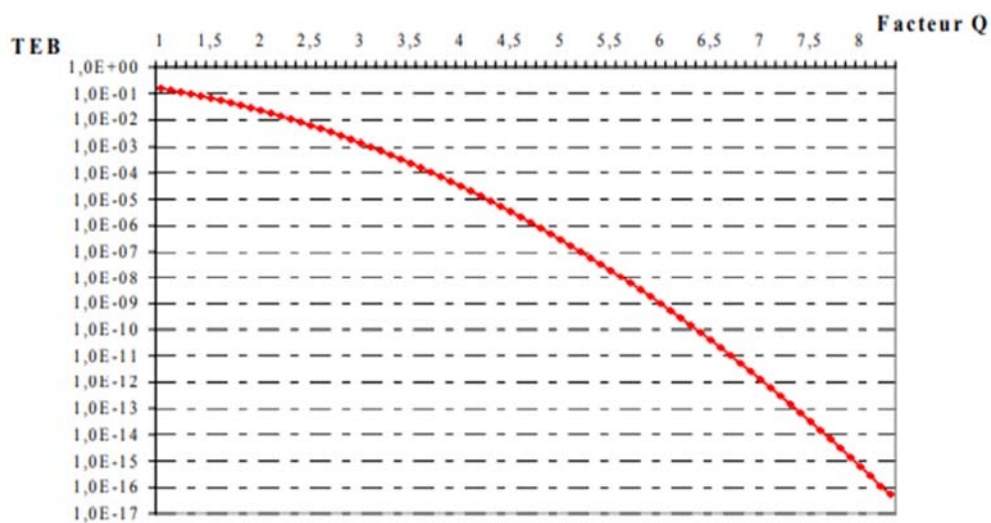


Figure III.2 : courbe représentant la relation entre le taux d'erreur binaire et le facteur Q.

En plus de ces estimations quantitatives, des méthodes qualitatives peuvent également être utilisées, telles que l'étude des diagrammes de l'œil. [12].

✚ Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est la façon « visuelle » de juger la qualité d'un signal. Il est formé par la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. Plus le signal est de bonne qualité, plus le diagramme de l'œil est ouvert, plus le facteur de qualité est fort et ainsi plus la détection du signal sans erreur est facile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé [31].

III.4 Exécution de l'application (OptiSystem)

III.4.1 Cas d'une chaîne de transmission fibre optique simple sans amplificateur

✚ Présentation du montage

La figure III.3 présente le montage suivant :

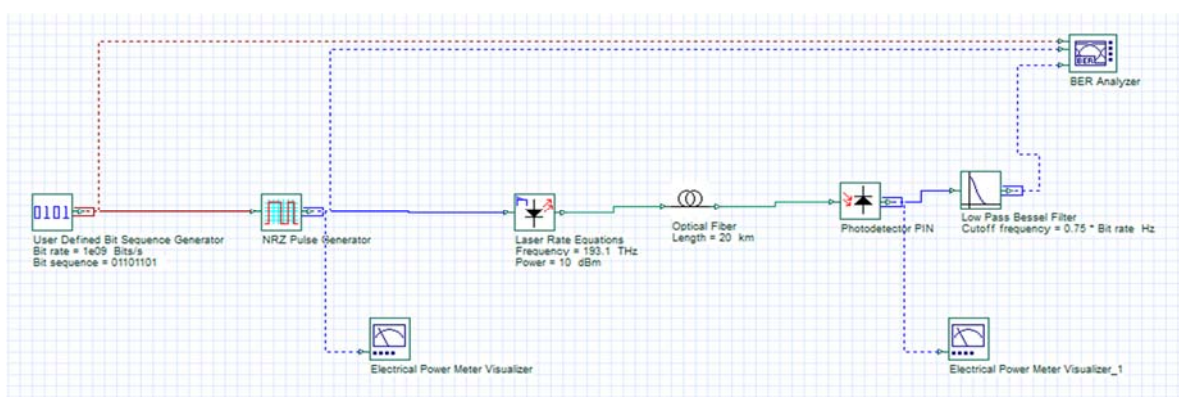


Figure III .3 : simulation d'une chaîne de transmission fibre optique simple (sans amplificateur).

✚ Paramètre de simulation

- **Variation de la longueur L** : on peut voir l'effet de la longueur de la fibre sur le facteur de qualité et le BER à l'aide du programme OptiSystem .On varie la longueur de la fibre, et on fixe le débit à 1 Gbit/s. Les paramètres considérés au niveau du système étudié sont résumés dans le tableau ci-dessous :

La longueur L (km)	Facteur de qualité Q	BER
10	152,548	00
40	99,5447	00
80	81,7485	00
120	23,036	$9,8465e^{-118}$

Tableau III.1: effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER.

- **Variation du débit** : on peut voir l'effet du débit sur le facteur de qualité et le BER à l'aide du programme OptiSystem. Les paramètres considérés au niveau du système étudié sont résumés dans le tableau ci-dessous :

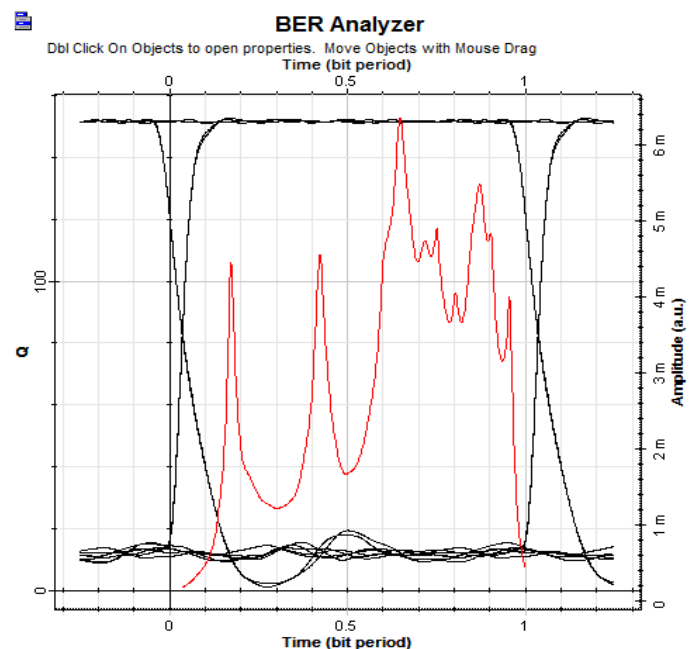
La longueur L (km)	Facteur de qualité Q	BER
1	115.406	00
2	32.891	1.33833 e -237
3	18.7452	1.05788 e -078
10	00	01

Tableau III. 2: effet du débit sur le facteur de qualité et le BER.

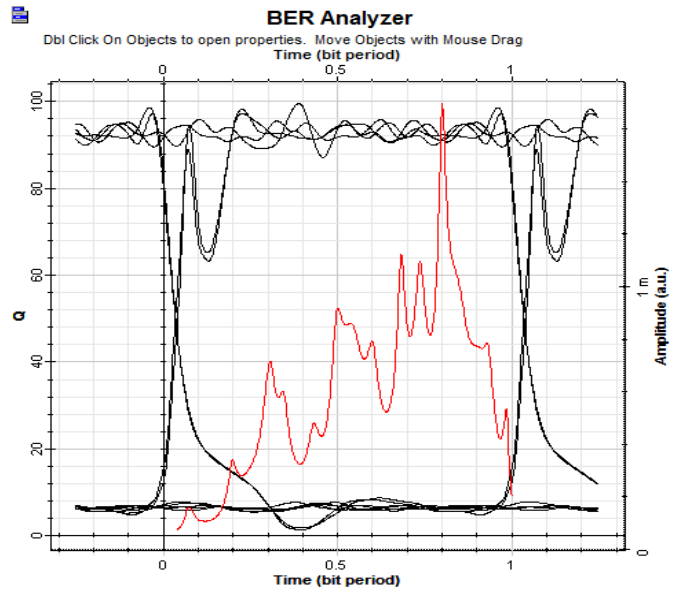
🔗 Résultat et analyse

- **Résultat obtenu d'après la variation de la longueur L** : la longueur de fibre optique a un effet sur la qualité de transmission à cause de l'atténuation. Pour le vérifier on peut faire varier par exemple la longueur de la fibre de 10 à 120 km (longueur de la fibre de type monomode) en fixant le débit à 1Gb/s, On note à chaque fois le BER et le facteur de qualité (Q). Les figures ci-dessous présentent les résultats suivants :

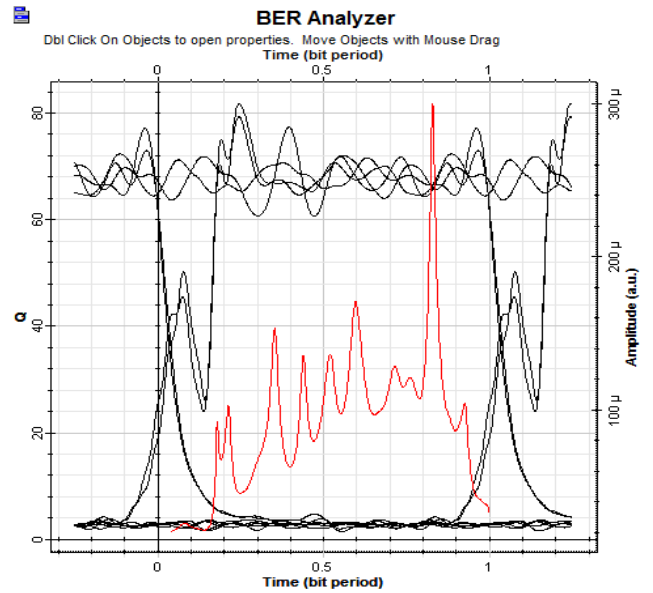
- Pour L=10km :



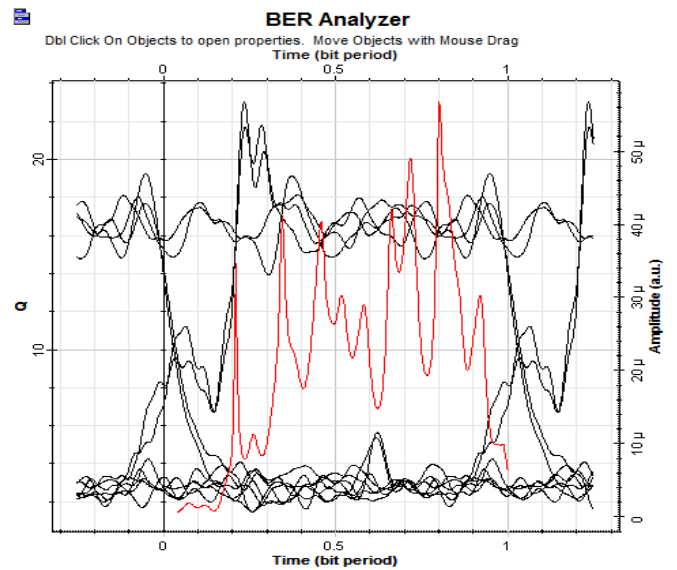
- Pour $L=40\text{km}$:



- Pour $L=80\text{km}$:

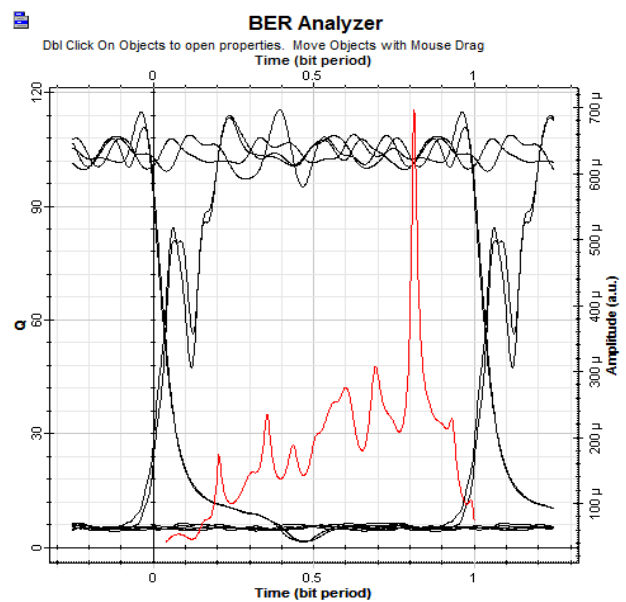


- Pour $L=120\text{km}$:

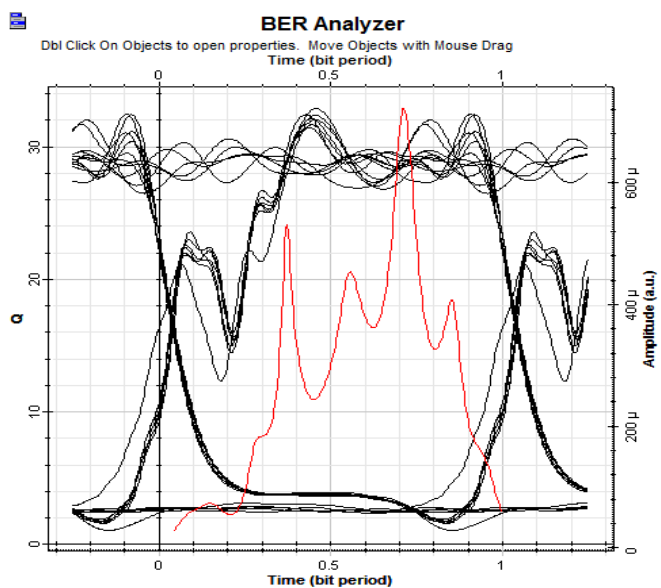


- ✓ D'après les quartes diagrammes visualisés, on remarque l'ouverture de diagramme qui commence à se fermer avec une légère dégradation de qualité de transmission.
- **Résultat obtenue d'après la variation du débit :** Le but de toute liaison est d'atteindre une meilleure transmission avec le plus grand débit, tout en conservant le signal émis à la réception. Dans ce qui suit on va présenter l'effet du débit sur notre liaison. nous avons pris des valeurs du débit variant allant de 1Gbits/s à 10Gbits/s. Les résultats sont montrés dans les figures suivant :

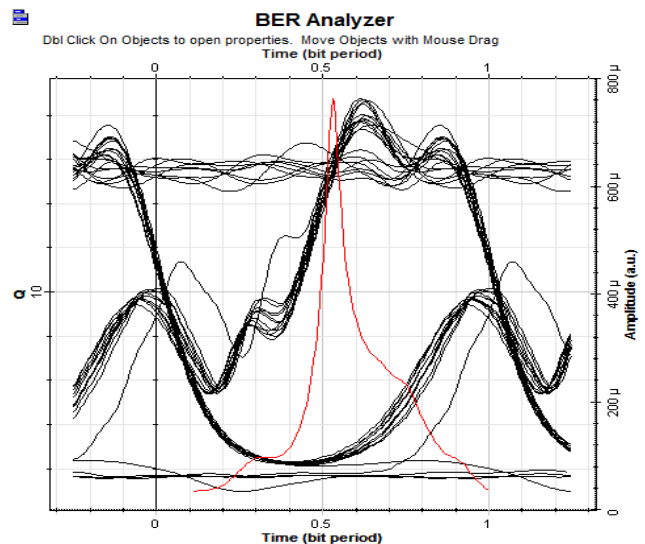
- Pour $D=1\text{Gbit/s}$:



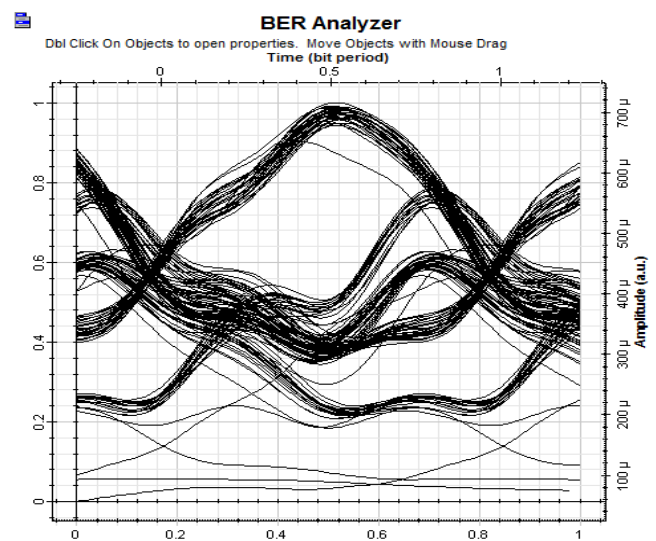
- Pour $D=2\text{Gbit/s}$:



- Pour $D=3\text{Gbit/s}$:



- Pour $D=10\text{Gbit/s}$:



- ✓ pour les débits 1 Gbit/s et 2 Gbit/s, on observe une ouverture qui confirme que la qualité de transmission est bonne et en même temps confirme l'importance et l'influence de débit sur la qualité de transmission.
 - ✓ pour les débits de 3 Gb/s jusqu'à 10Gb/s, on observe la fermeture du diagramme de l'œil et que la qualité de transmission est mauvaise et en même temps confirme l'importance et l'influence de débit sur la qualité de transmission.
- **Résultat obtenue d'après la variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre et d'après la variation du BER en fonction de la longueur de la fibre :** nous avons pris les valeurs du Tableau (III.1), les deux figures ci-dessous présentent le résultat de simulation du programme MATLAB.

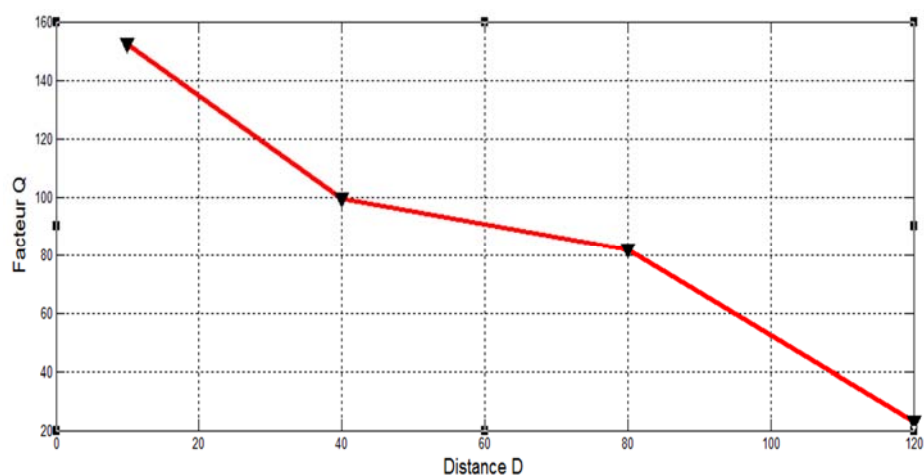


Figure III.4: variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre.

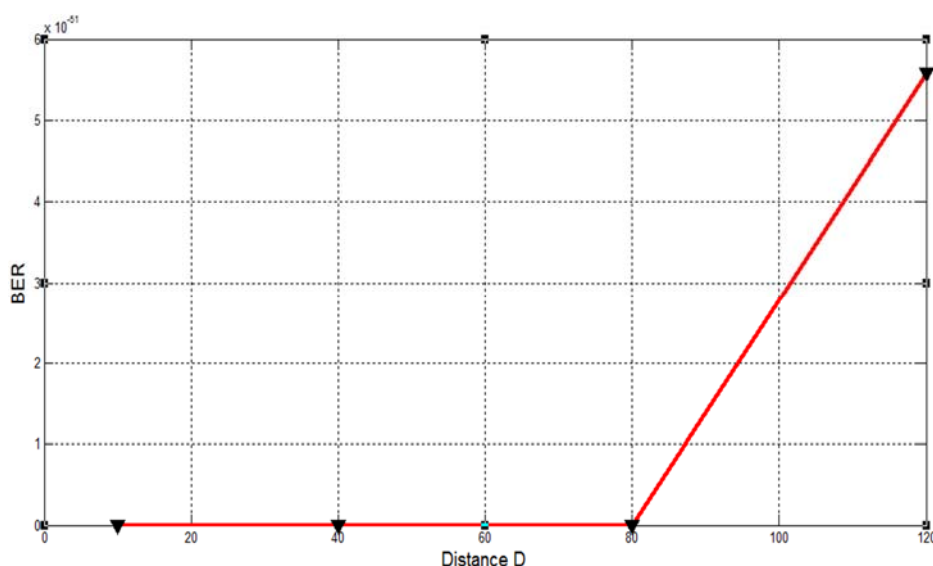


Figure III.5: variation du BER en fonction de la longueur de la fibre.

- ✓ La Figure (III. 4) donne les variations du facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre, tandis que la Figure (III. 5) donne les variations du BER en fonction de la longueur de la fibre.
- ✓ Les résultats présentés montrent que le facteur de qualité diminue en fonction de la longueur de fibre optique, par contre le taux d'erreur binaire augmente. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que différentes dégradations dues principalement à la dispersion modale et chromatique ainsi que d'autres effets non linéaires le signal sont étalés voire déformés dans le temps au cours de la propagation dans la fibre.
- **Résultat obtenu d'après la variation de facteur de qualité en fonction de débit de la fibre et d'après la variation du BER en fonction de débit :** La figure (III. 6) représente les

variations du facteur de qualité en fonction de débit, et la figure (III. 7) montre les variations du BER en fonction de la longueur de débit.

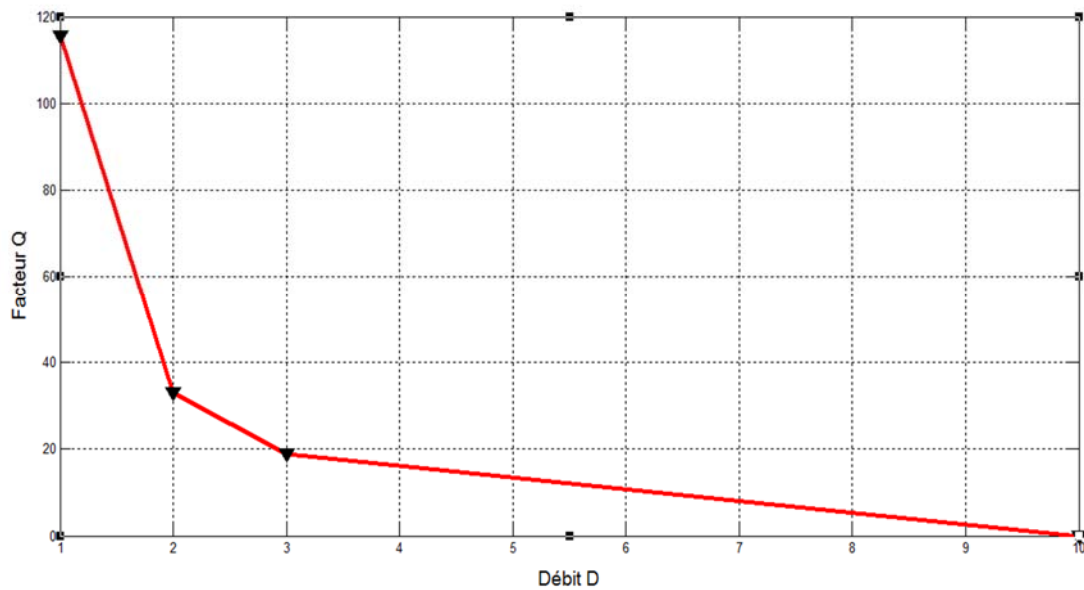


Figure III. 6: variation de facteur de qualité en fonction de débit.

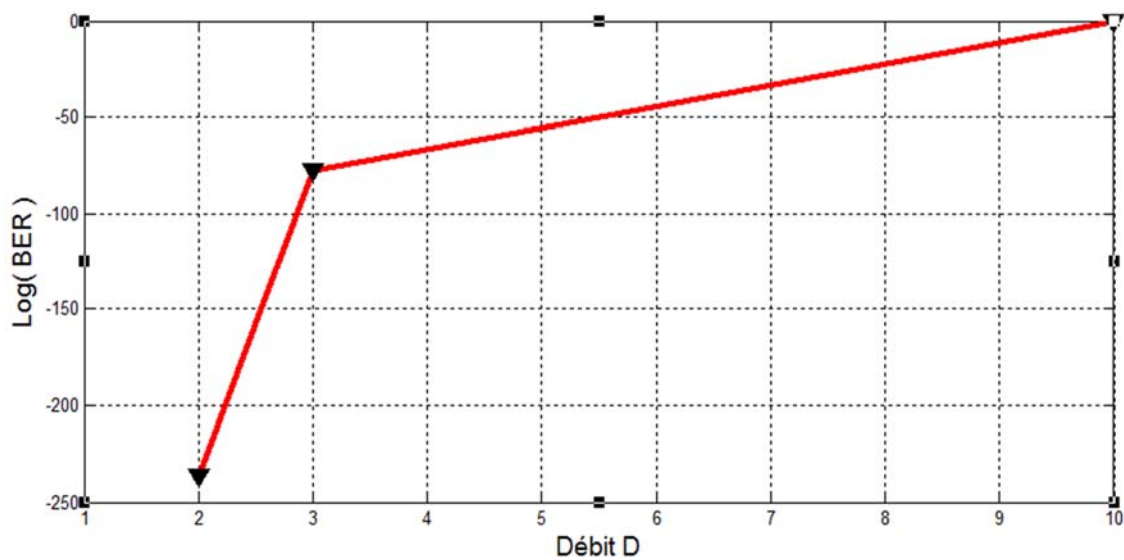


Figure III. 7: variation de BER en fonction de la longueur de débit.

- ✓ En observant ces résultats on peut noter que le facteur de qualité est maximal pour le débit de 1 Gbit/s et plus le débit augmente plus le facteur de qualité diminue et le taux d'erreur binaire se augmente.

III.4.2 Cas d'une chaîne de transmission fibre optique simple avec amplificateur

✚ Présentation du montage

La figure III.8 présente le montage suivant :

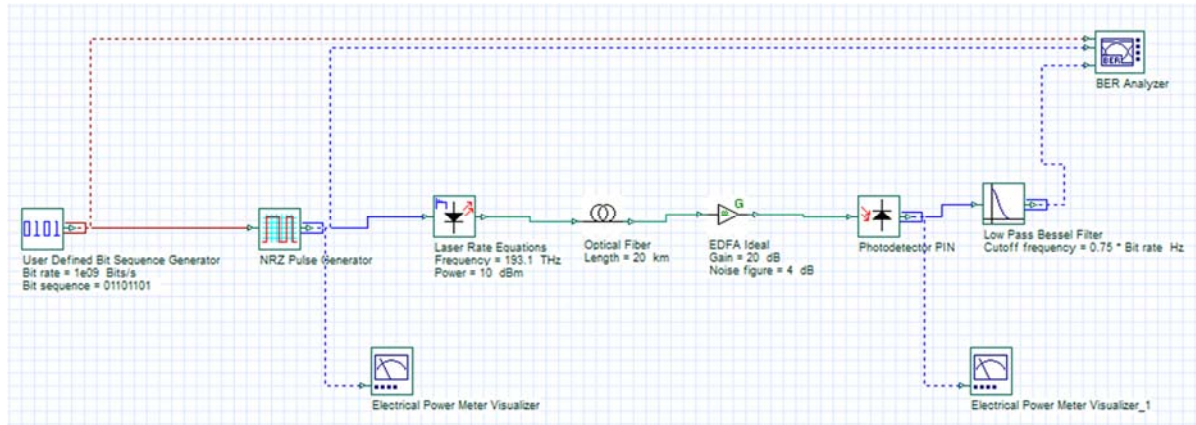


Figure III 8: simulation d'une chaîne de transmission fibre optique (avec amplificateur).

✚ Paramètre de simulation

- **Variation de la longueur L** : c'est les mêmes démarches que le cas précédent. Les paramètres considérés au niveau du système étudié sont résumés dans le tableau ci-dessous :

La longueur L (km)	Facteur de qualité Q	BER
10	164.632	00
50	96.9443	00
100	133.869	00
200	19.0243	$5.19701e^{-081}$

Tableau III.3: effet de la longueur de fibre sur le facteur de qualité et le BER.

- **Variation du débit** : la même chose que le cas précédent. Les paramètres considérés au niveau du système étudié sont résumés dans le tableau ci-dessous :

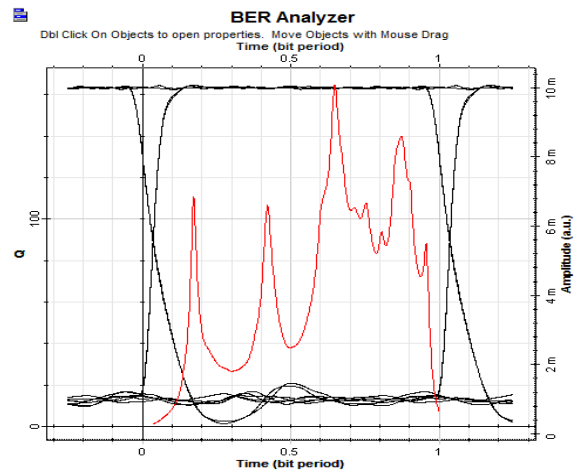
La longueur L (km)	Facteur de qualité Q	BER
1	119.382	00
3	19.3688	$7.039e^{-084}$
6	1.65256	0.0311022
10	00	01

Tableau III.4: effet du débit sur le facteur de qualité et le BER.

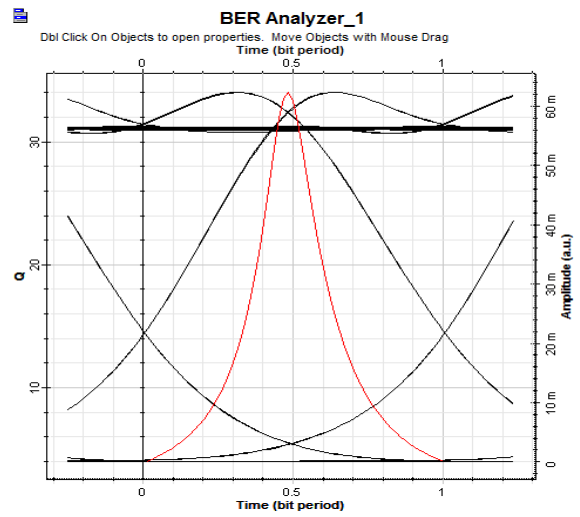
➤ Résultat et analyse

➤ **Résultat obtenue d'après la variation de la longueur L :** Les figures ci-dessous présentes les résultats suivant :

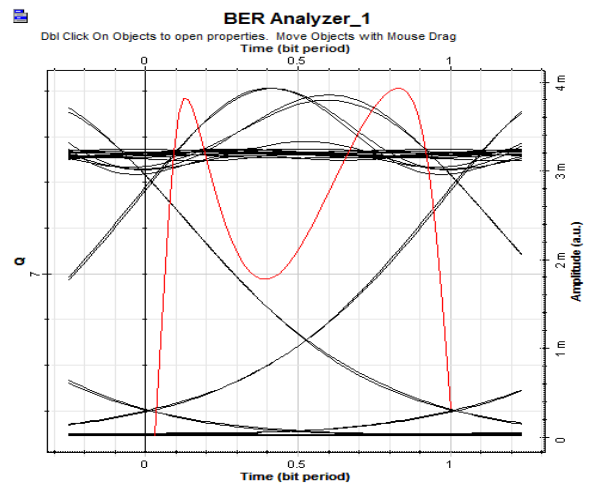
- Pour $L=10\text{km}$:



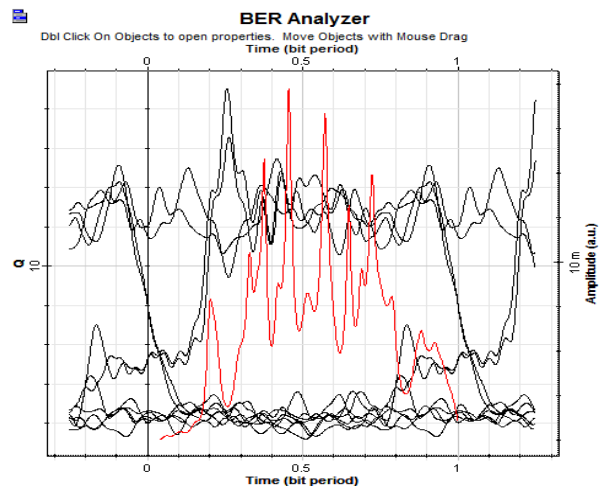
- Pour $L=50\text{km}$:



- Pour $L=100\text{km}$:



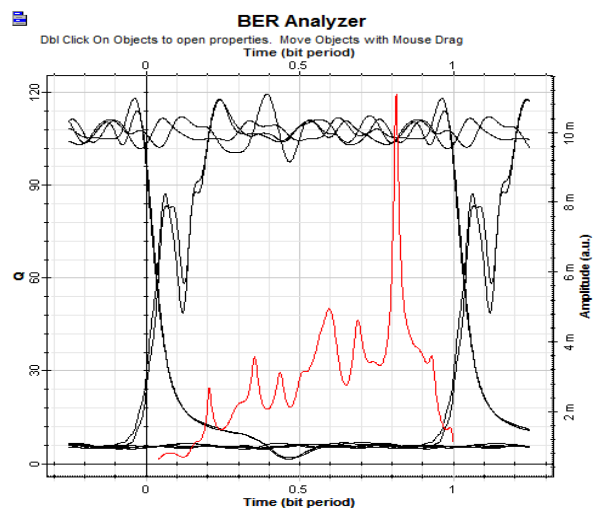
- Pour $L=200\text{km}$:



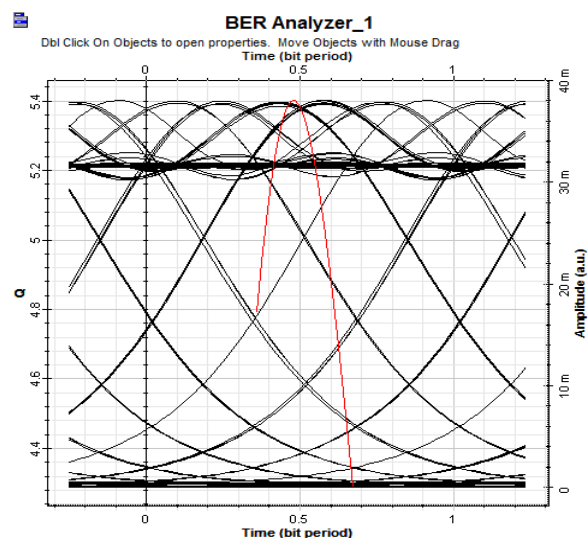
✓ D'après ces derniers diagrammes visualisés, on remarque l'ouverture de diagramme qui commence à se fermer par rapport aux premiers diagrammes avec une légère dégradation de qualité de transmission.

- Résultat obtenue d'après la variation du débit : les résultats est illustrée dans les figures suivant :

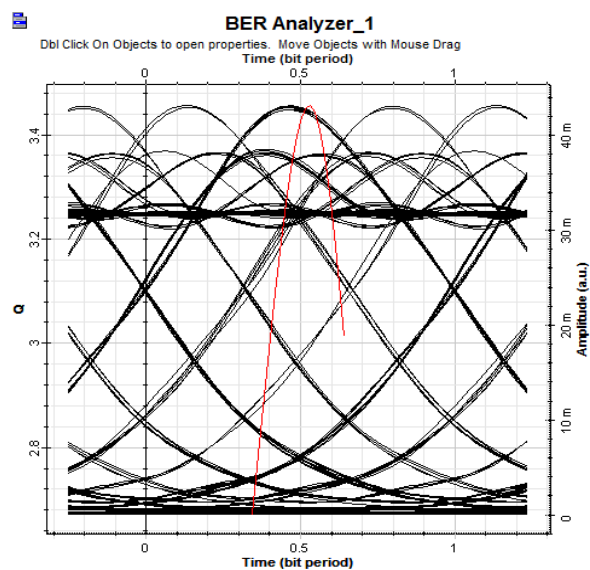
- Pour $D=1\text{Gbit/s}$



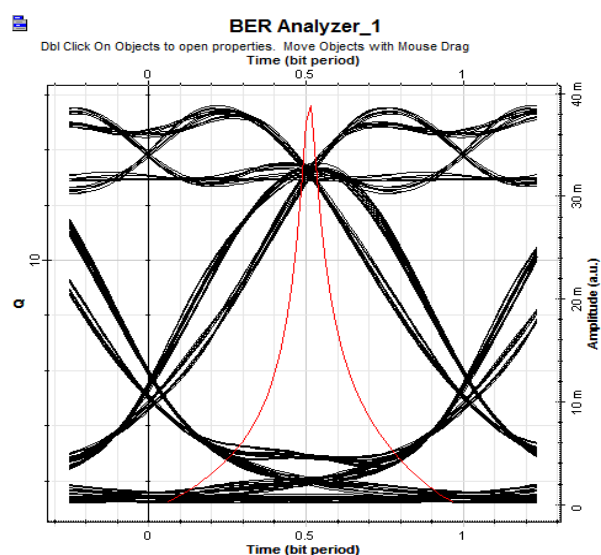
- Pour $D=3\text{Gbit/s}$



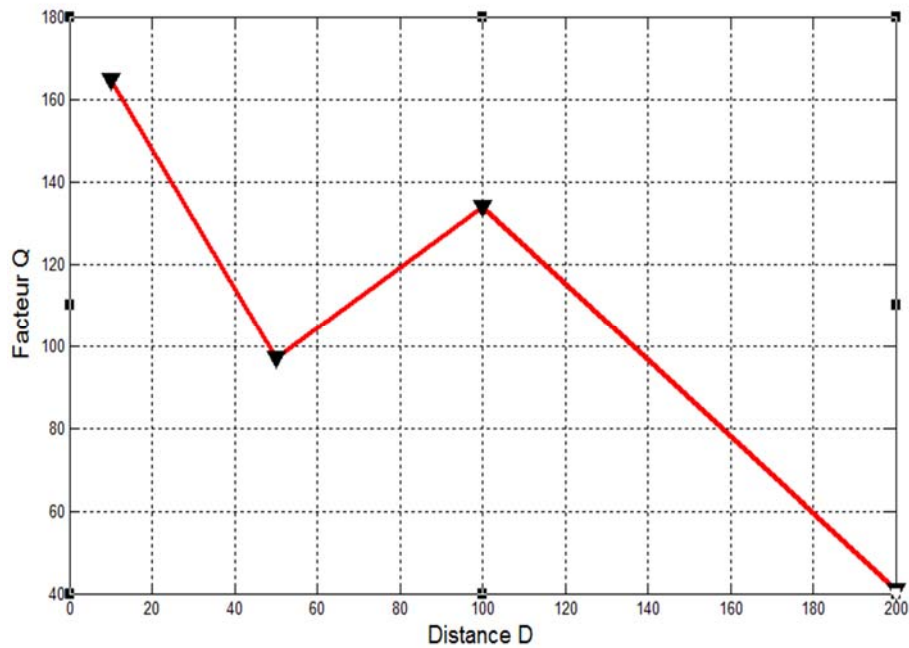
- Pour $D=6\text{Gbit/s}$



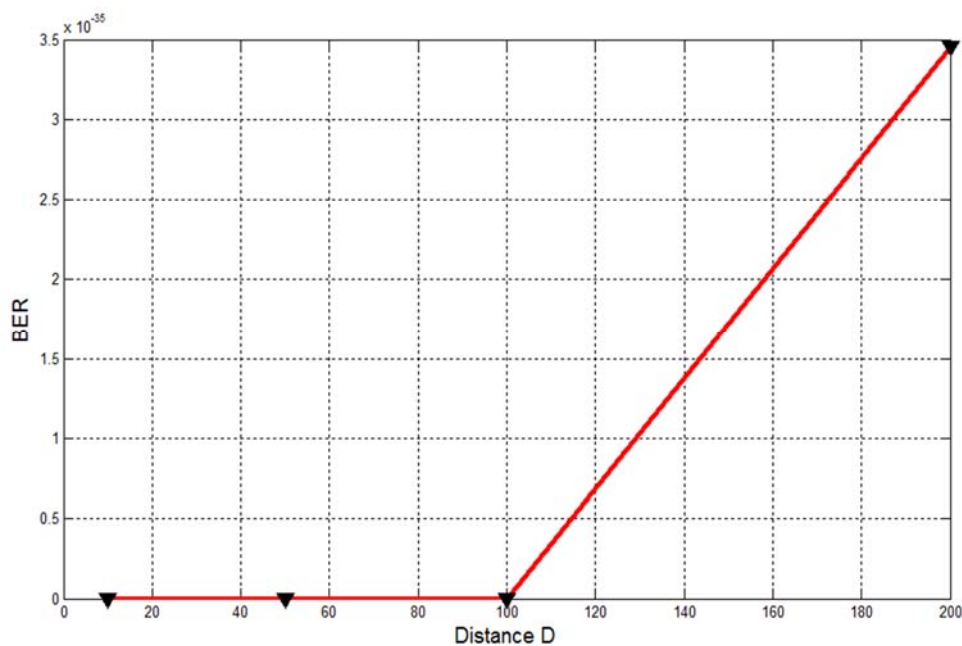
- Pour $D=10\text{Gbit/s}$



- ✓ pour les débits 1 Gbit/s, on observe une ouverture qui confirme que la qualité de transmission est bonne et en même temps confirme l'importance et l'influence de débit sur la qualité de transmission.
 - ✓ pour les débits de 3 Gb/s jusqu'à 10Gbit/s, on observe un chevauchement de l'ouverture qui confirme que la qualité de transmission est mauvaise et en même temps confirme l'importance et l'influence de débit sur la qualité de transmission.
- **Résultat obtenue d'après la variation de facteur de qualité en fonction de la longueur de la fibre et d'après la variation du BER en fonction de la longueur de la fibre : nous avons pris les valeurs du Tableau (III.3), les résultats sont pris comme le cas précédent.**



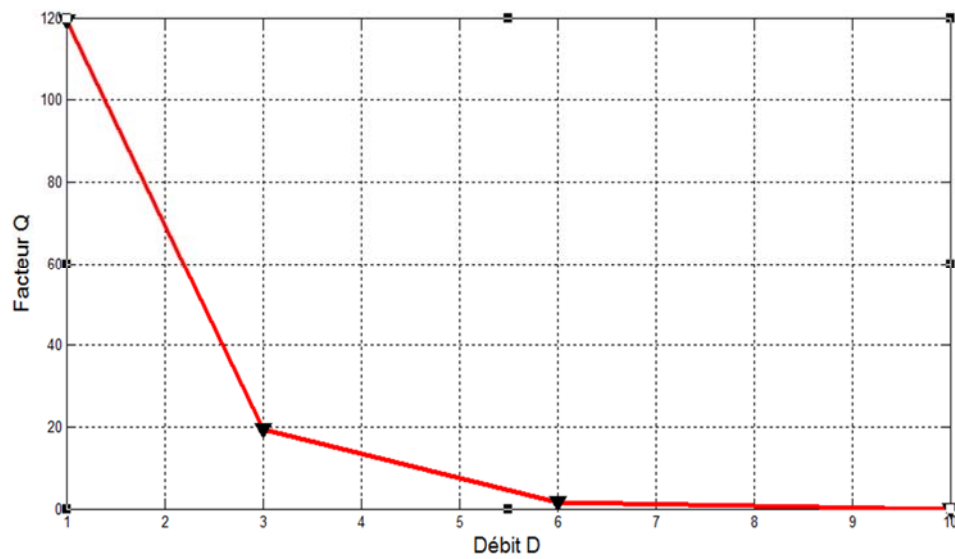
Figures III.9 : variation de facteur de qualité Q en fonction de distance D .



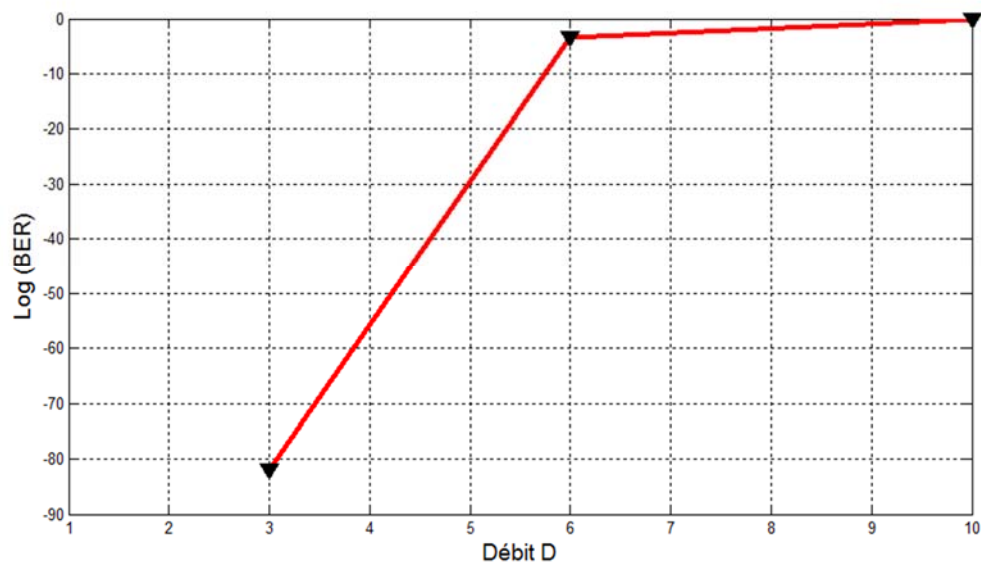
Figures III.10: variation de BER en fonction de distance D .

- ✓ En observant ces résultats on peut noter que le facteur de qualité est maximal pour une longueur minimal et diminue en fonction de la longueur et plus le BER est nul.
- **Résultat obtenue d'après la variation de facteur de qualité en fonction de débit de la fibre et d'après la variation du BER en fonction de débit :** La figure (III. 11) représente les

variations du facteur de qualité en fonction de débit, et la figure (III. 12) montre les variations du BER en fonction de la longueur de débit.



Figures III.11 : variation de facteur Q en fonction de débit D .



Figures III.12: variation de BER en fonction de débit D .

- ✓ Pour ces résultats on note que le facteur de qualité est maximal pour le débit de 1 Gbit/s et en dégradation jusqu'à ce qu'il s'annule et le taux d'erreur binaire est minimal jusqu'à ce qu'il devient stable=1.

III.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons effectué nos recherches sur la variation de taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité en agissant sur deux paramètres différents tel que la longueur de la fibre et le débit de la liaison, car ces paramètres sont très importants dans le système de transmission par fibre optique. Les résultats de cette étude montrent que la simulation système est avant tout une aide importante pour la conception et l'optimisation d'une liaison optique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le principal objectif de ce travail était de faire une étude sur les amplificateurs pour avoir leurs performances dans une liaison optique. Le déploiement du système de télécommunications à haut débit nécessite le développement de nouveaux composants et architectures optoélectroniques adaptés à ces vitesses de transmission.

L'étude de ce projet a comporté trois chapitres qui nous ont amené aux conclusions suivantes : Au cours du premier chapitre, nous avons fait une description détaillée sur les systèmes de transmission optiques à haut débit et on a conclu que la fibre optique a supplanté toutes les autres moyennes de transmissions, et comme nous l'avons vu, l'utilisation des informations de transmission optique consiste à obtenir des débits de transmission très élevés, ce qui est à la distance maximale possible.

Dans le deuxième chapitre nous avons parlé sur les amplificateurs optique, leurs rôles, leurs utilisations ainsi leurs différentes configuration. Par la suite, on a focalisé sur les types d'amplificateurs optiques et que le bruit de ce dernier dépend de la longueur d'onde et de la puissance injectée dans la fibre.

Le dernier chapitre de ce projet est consacré à la conception et la simulation d'une liaison optique longue distance jouant sur les différents paramètres la longueur de la fibre monomode ainsi le débit. On a aussi introduit en premier lieu liaison sans EDFA et en deuxième lieu une liaison avec EDFA pour avoir l'effet du l'amplificateur dans la liaison optique.

Bibliographie

-
- [1] D. Dromard, D. Seret, « Pearson France - Architecture des réseaux », (2010).
- [2] Messaoudi.R, «ETUDE PAR SIMULATION LES EFFETS DES AMPLIFICATEURS OPTIQUE SUR LE SIGNAL», UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI), 30/06/2021.
- [3] REDJDAL.K, « Étude d'une Chaîne de Télécommunication Optique, Université Abderahmane Mira de Bejaia » Mémoire de Fin de Cycle, (2013).
- [4] BERROUANE, M. W, « Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-nitrures » (Doctoral dissertation), (2018) .
- [5] Thon-Adjalin,C , « Étude d'un système de transmission sur fibre optique plastique à saut d'indice », (2011).
- [6] Thinhinane.B, & Fatma.B, « Liaison Par Fibre Optique À Haut Débit: Etude Des Liaison Polychromatiques » (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri), (2011) .
- [7] RUMELHARD. M. C, & HINCELIN. M. G. « COMMUNICATIONS OPTIQUES A TRES HAUT DEBIT » .
- [8] Le François. M., « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s » (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI), (2007).
- [9] Boudrioua . N, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique par voie optique: vers une compensation électronique des effets de la PMD » (Doctoral dissertation, Université Paul Verlaine-Metz), (2007).
- [10] U. OSTERBERG, « Signal Processing in Optical Fibers MSRI Publications» P 46 - 301-316, (2003).
- [11] BENAMMAR.A, MILOUDI.W, Etude d'une liaison optique WDM Radio sur Fibre, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 12/06/2017.
- [12] Verneuil. J. L. « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s » Université de Limoges, (2003).
- [13] Khaleghi. H, « Influence des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) sur la transmission cohérente de signaux optiques à format de modulation multi-porteuses (CO-OFDM) » (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest), (2012).
- [14] REDJDAL .K, « Étude d'une Chaîne de Télécommunication Optique, Université Abderrahmane Mira de Bejaia », Mémoire de Fin de Cycle , (2013).
- [15] Aib. S, « Modélisation d'un photodétecteur dans une chaîne de transmission par fibre optique » , (2017).
- [16] Abdelheq, E. L. E. Z. A. A. R. (2019). Contribution à la l'étude et la simulation des propriétés optiques des structures des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (AOS) (Doctoral dissertation).

- [17] Sofiane. R., & Mohamed. S, « Canal De Transmission Optique: Étude Des Éléments De La Chaîne De Transmission Et De Leurs Bruits Respectifs» (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri) , (2014).
- [18] L. Thibaut, « L'amplification optique dans les réseaux terrestres de transport: la famille 1610 OA » , Communication & Transmission 1, p. 27- 34, janv./fév, (1993).
- [19] MELLOUK. A, ZIANI.O, Analyse des performances d'un système de communication optique en utilisant différents canaux : FSO, OWC et SMF, université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen,, le 08 / 06 / 2017.
- [20] Meriem, A., & Aicha, M. E. (2016). La technique WDM en telecoms optiques avancées. Mémoire MASTER.
- [21] G. Eisenstein, «Semiconductor Optical Amplifier», IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 5, n° 14, pp. 25-30, (1989).
- [22] J.C.SIMON, «GaInAsP Semiconductor Laser Amplifiers for Single Mode Fiber Communications», J. LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vols. 1 sur 2LT-5, n° 19, (1987).
- [23] Mr B .Bousbir, « Etude et optimisation des différents paramètres d'un amplificateur à fibre optique dopée avec des ions de terres rares », mémoire de magistère, université de Badji Mokhtar anabas, (2009).
- [24] Pierre Lecoy, «Technologie des télécoms »Ed,Hermès, (1995).
- [25] A.Bentahar et M.Kandouci et Z .Mahdjoub, « Simulation d'une amplification des systèmes de communication optique La fibre optique dopée à l'erbium (EDFA) », Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Electronique, Université Djillali Liabès, B.P.89, Sidi Bel-Abbès 22000, Algérie
- [26] R. H. Stolen et E. P. Ippen, « Raman gain in glass optical waveguides », (1973).
- [27] © Foc Technology Co, droit d'auteur ,Ltd Tous droits réservés,(2011).
- [28] L.Pierre, «Fiber-Optic Communications » , (3° Éd. revue et augmentée), (2007).
- [29] « OptisyStem overview ». Consulté le: aout 16,2020.[En ligne].Disponible sur : <https://optiwave.com/optisystem-overview/>.
- [30] Louazani .M,Meddane.S , « Etude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde »,Université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, (juin 2017).
- [31] Hadjere, Ismail, Noura, Imad, « Etude et simulation de la technique CDMA appliqué » . transmissions optiques utilisant les réseaux de Bragg», Université Djilali Bounaama Khemis Miliana,2015/2016.