

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : ELECTRONIQUE
Domaine : SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
Filière : TELECOMMUNICATION
Spécialité : RESEAUX ET
ELECOMMUNICATION

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Thème:

Etude par simulation de l'impact de l'amplificateurs optique
SOA associé au réseau de BRAGG dans les systèmes de
communication par fibre optique

Présenté par : *SNANI Nour el houda*

Encadrant : *SAHARAOUI Leila*

MCB

Université- Annaba

Jury de Soutenance :

Kouadria Nasredine	MCA	UBMA	Président
Saharaoui Leila	MCB	UBMA	Encadrant
Khaldouna Zahia	MCB	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَى
إِنَّ رَبَّهُ لَسَدِيدٌ
إِلَىٰ عَرْشِهِ الرَّحِيمُ
الَّذِي يُخَوِّضُ الْغَوَّاصِينَ
الَّذِي يُصَوِّرُ السَّحَابَ
مِثْلَ الْقُبُورِ إِنَّهُ
كَانَ سَمِيعًا عَلِيمًا
أَلَمْ يَجْعَلْ لَكُمْ
الْيَوْمَ أَجْمَعِينَ
إِيَّاهُ تَوَكَّلْتُمْ
وَإِلَيْهِ تُرْجَعُونَ
أَلَمْ يَجْعَلْ لَكُمْ
الْيَوْمَ أَجْمَعِينَ
إِيَّاهُ تَوَكَّلْتُمْ
وَإِلَيْهِ تُرْجَعُونَ

Remerciements

Avant tout, Je remercie Allah le tout puissant qui nous a donné la force et la Patience d'accomplir ce Modeste travail.

A Mon Encadreur

DR. Saharaoui Leila

Votre compétence, votre clairvoyance et votre grande disponibilité ont constitué un apport considérable sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Je vous remercie infiniment pour vos précieux conseils, votre patience et votre confiance.

Veillez trouver à travers ces mots, le témoignage de ma sincère

Aux membres du jury

DR. Khaldouna Zahia et DR. Kouadria Nasredine

Je vous remercie fortement pour l'intérêt que vous avez porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par vos propositions.

A toutes les enseignantes et le cadre administratifs de département de

l'électronique d'Annaba en Mentionnant, Dr Zermi, Pr Ramdani, Pr Doghmane, Pr Iefifi

Pr Messedek, Pr Lakel, Dr. Nasri, Dr Boulmaiz, Pr Kaddeche

Et Mme Fairouze, Mme Louiza et Melle Fatiha, Mme Zahra

Et le chef de département Dr. CHAKER et L'Adjoint DR Dass Sara pour leurs soutiens administratifs

Nous tenons à vous exprimer nos profondes gratitude et nos sentiments les plus respectueux.

A Mme SNANI CHERIFA Le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager

Mes remerciements vont aussi aux : Mr M BOUAROUIJ et Mr A MECHAKA qui ont été toujours là pour m'aider et me soutenir.

Dédicace

A mes chers parents

A mes chers frères

A chers mes sœurs

A mon cher mari

A ma petite fille

A ma belle mère

A mes neveux

A mes nièces

A mes beaux-frères

A mes belles sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis

Nour el houda

Résumé

Dans la fibre optique, la compensation de dispersion des systèmes de communication est devenue l'un des principaux sujets d'importance et de recherche de nos jours. En effet, toute présence de dispersion peut conduire à un étalement des impulsions qui peut provoquer des interférences symboliques inters (ISI) et qui conduit à une dégradation du signal. Dans ce travail, différents modèles sont considérés pour la compensation de la dispersion, en utilisant La fibre de compensation de dispersion (DCF) et réseaux de Bragg à fibre (FBG), ces configurations différentes de pré-compensation, post-compensation, et une compensation symétrique sont examinés. Ces conceptions sont utilisés dans une liaison optique à base d'amplificateur optique SOA, afin d'étudié l'impact de ce dernier sur l'ensemble de la liaison à fibre. Toutes ces conceptions sont comparées en termes de facteur de qualité (facteur Q) et le taux d'erreur sur les bits (BER), la simulation a été effectuée avec le logiciel Optisystem

Mots clés :

Fibre optique, réseaux de Bragg (FBG), Dispersion Chromatique (DC), Amplificateur optique a semi-conducteur (SOA), facteur de qualité (FQ), Taux d'erreur sur les bits (BER) .

Abstract

In fiber optics, the dispersion compensation of communication systems has become one of the main topics of importance and research nowadays. Indeed, any presence of dispersion can lead to a spreading of the pulses which can cause inter symbolic interference (ISI) and which leads to a degradation of the signal. In this work, different models are considered for dispersion compensation, using dispersion compensation fiber (DCF) and fiber Bragg gratings (FBG), these different configurations of pre-compensation, post-compensation, and a symmetrical compensation are examined. These designs are used in an optical link based on SOA optical amplifier, in order to study the impact of the latter on the entire fiber link. All of these designs are compared with quality factor (Q factor) and bit error rate (BER), the simulation was carried out with the Optisystem software.

Key words:

Fiber Optics, Bragg Gratings (FBG), Chromatic Dispersion (DC), Semiconductor Optical Amplifier (SOA), Quality Factor (FQ), Bit Error Rate (BER).

ملخص

في الألياف الضوئية ، أصبح تعويض التشتت لأنظمة الاتصالات أحد الموضوعات الرئيسية ذات الأهمية والبحث في الوقت الحاضر. في الواقع ، يمكن أن يؤدي أي وجود للتشتت إلى انتشار النبضات التي يمكن أن تسبب تداخلاً بين الرموز (ISI) مما يؤدي إلى تدهور الإشارة. في هذا العمل ، تم النظر في نماذج مختلفة لتعويض التشتت ، باستخدام ألياف تعويض التشتت (DCF) وشبكات ألياف براغ (FBG) ، يتم فحص هذه التكوينات المختلفة للتعويض المسبق ، والتعويض اللاحق ، والتعويض المتماثل. تُستخدم هذه التصميمات في ارتباط بصري يعتمد على مكبر بصري SOA ، من أجل دراسة تأثير الأخير على رابط الألياف بأكمله. تتم مقارنة كل هذه التصميمات فيما يتعلق بعامل الجودة (عامل Q) ومعدل خطأ البت (BER) ، وقد تم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج Optisystem.

الكلمات المفتاحية:

الألياف البصرية، حواجز براغ (FBG)، التشتت اللوني (DC)، المضخم البصري لأشباه الموصلات (SOA) ، عامل الجودة (FQ) ، معدل الخطأ في البت (BER).

Table des matières

Remerciements	i
Dédicaces:	ii
Résumé :	iii
Table des matières	iv
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	x
Liste des acronymes	xii
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : La Fibre Optique	
Introduction	3
1. Fibre optique	3
2. Type des fibres	4
2.1. La fibre monomode (SMF).....	4
2.2. La fibre multimode (MMF).....	4
2.2.1. La fibre à saut d'indice	5
2.2.2. Fibre optique multi-mode à gradient d'indice :.....	6
3. Description des systèmes de transmission optique.....	6
3.1. Bloc d'émission	7
3.1.1. Les sources optiques.....	7
3.1.2. La modulation	9
3.2. Composants de la ligne de transmission	11
3.2.1. Les amplificateurs.....	11
3.3. Bloc de Réception.....	13
3.3.1. Les photodétecteurs.....	13
3.3.2. Circuit de filtrage:	14

3.3.3. Le Circuit de décision:	14
CONCLUSION.....	15
Chapitre 2 : Compensation de la dispersion	
Introduction :	16
1. La dispersion.....	16
1.1. Dispersion chromatique	16
1.2. Dispersion modale	17
2. Techniques de compensation de dispersion :	17
2.1. Technique compensation de dispersion par des fibres compensatrice (DCF) :.....	18
2.2. La fibre à réseau de Bragg (FBG).....	19
2.2.1. Présentation du réseau de Bragg.....	19
2.2.2. Principe de fonctionnement [8] :	20
2.2.3. types de réseau de Bragg :.....	23
2.2.3.1. Réseau de Bragg uniforme :.....	23
2.2.3.2. Réseau de Bragg « tilted » ou « blazed » :.....	24
2.2.3.3. Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped » :.....	24
2.2.3.4. Réseau de Bragg apodisé :.....	24
CONCLUSION.....	25

Chapitre 3 : Simulation et résultats

Introduction	26
1. Présentation du logiciel Optisystem:	26
1.1. Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem.....	27
1.2. Application du logiciel OptiSystem	27
1.3. Avantage du Optiswstem	28
1.4. Différents modes de simulation.....	28
2. Interface du logiciel OptiSystem.....	28
2.1. Démarrer OptiSystem	28
2.2. Affichage des résultats à partir d'un appareil	30
3. Résultats de simulation.....	30

3.1. Paramètres de qualité d'une liaison optique.....	30
4. Présentation de la simulation	32
4.1. Chaîne de transmission de base.....	32
5. La simulation des combinaisons de compensation :.....	33
5.1. Fibre compensatrice de dispersion chromatique (DCF) avec SOA :.....	33
5.1.1. Pré-DCF	34
5.1.2. Post-DCF.....	35
5.2. Disposition de compensation à réseau de Bragg (FBG)avec SOA :.....	40
5.2.1.Pre-FBG	41
5.2.2.Post-FBG	41
5.3. Combinaisons de compensation (DCF) et (FBG) avec SOA :	46
5.3.1 . Pré- DCF_ FBG.....	46
5.3.2 . Post - DCF_ FBG	47
5.4. Chaîne de transmission symétrique avec Fibres compensatrices de dispersion chromatique (DCF) et compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg (FBG) avec SOA :	54
5.4.1. Prépost FBG -DCF	54
CONCLUSION.....	57
Références	
Références Chapitre 1	77
Références Chapitre 2	78
Références Chapitre 3	79

Liste des figures

Liste des figures : Chapitre 1

Figure I.1 : Schéma d'un câble à fibre optique.	3
Figure. I.2 : Structure de fibre monomode.	4
Figure I.3: Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre à saut d'indice.	5
Figure I.4: Fibre optique multi-mode à gradient d'indice	6
Figure I.5 : Schéma de principe d'un système de transmission optique.	7
Figure I.6 : Spectre d'émission d'une LED.	8
Figure I. 7 : Spectre d'émission d'une diode Laser.	8
Figure I.8 : Synoptique de la modulation directe.	9
Figure I.9 : Synoptique de la modulation externe.	10
Figure I.10 : Schéma d'un interféromètre de Mac-Zehnder.	11
Figure I.11: structure de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs	13

Liste des figures : Chapitre 2

Figure II.1: Effet de la dispersion chromatique.	17
Figure II.2: Effet de la dispersion modale.	17
Figure II.3 : Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales.	20
Figure II.4 :(A gauche en haut : spectre de la lumière injectée ; en haut à droite : spectre de la lumière transmise ; au centre : FBG avec symbolisées la transmission la réflexion de la lumière ; en bas à gauche : spectre de la lumière reflétée).	21
Figure II.5 : Représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre [10], λ_B : longueur d'onde de Bragg, L : longueur du réseau, n_{co} : indice de cœur, Δn_{mod} : indice de modulation, Δn_{moy} : indice moyen, Λ : pas du réseau	22
Figure II.6 : Les différents types de réseau de Bragg.	24

Liste des figures : Chapitre 3

Figure III. 1 : Interface du logiciel OptiSystem 20.0	29
---	----

Liste Des Figures

Figure III. 2 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.	29
Figure III.3: Diagramme de l'œil.....	31
Figure III. 4 : Chaîne de transmission de base.	32
Figure III. 5 : Chaîne de simulation du Pré-DCF	34
Figure III. 6 : Chaîne de simulation du Post-DCF.....	35
Figure III.7 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / Pré-DCF	36
Figure III.8: Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance /Post-DCF.....	38
Figure III.9 : Chaîne de transmission Pré-FBG	40
Figure III.10 : Chaîne de transmission Post FBG.....	41
Figure.III.11 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / (Pré-FBG).....	42
Figure III.12 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg(FBG) (Pré FBG) avec les deux Basse Puissances ((A) = -20 dBm et (B) = -30dBm)	43
Figure.III.13 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance/ (Post-FBG)	44
Figure III.14 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg(FBG) (Post FBG) avec les les deux Basse Puissances (A = -15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm)	45
Figure III. 15 : Chaîne de simulation du Pré- DCF_ FBG.	46
Figure III. 16 : Chaîne de simulation du Post- DCF_ FBG.....	47
Figure III.17 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / Pré-DCF_ FBG	48
Figure III.18 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Pré -DCF_ FBG avec les Basses Puissances (A= -15 dBm et B =-20dBm et C =-30dBm.....	49
Figure III.19: Facteur de qualité et min ber en fonction de puissance Post-DCF_ FBG.....	51
Figure III.20 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Post -DCF_ FBG avec les Basses Puissances(A= -15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm).....	52
Figure III.21 : Chaîne de simulation du Prépost-DCF_ FBG.....	54
Figure III.22: Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance Prépost-DCF_ FBG..	55
Figure III.23: Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion symétrique Prepost -DCF_ FBG avec les Basses Puissances (A= -15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm)	56

Liste des Tableaux

Tableau III. 1 : Paramètres de simulation.....	33
Tableau III. 2 : Paramètres de simulation avec DCF.	34
Tableau III. 3 : Résultats de simulation de Pré-DCF.	35
Tableau.III.4 :Résultats de Simulation Post-DCF.....	37
Tableau III.5 : Diagrammes de l'œil pour Pré-DCF, Post-DCF, avec les différentes puissances.....	39
Tableau III.6 : Paramètres de simulation avec FBG.	40
Tableau.III.7 : Résultats de simulation Pré-FBG.....	41
Tableau.III.8 : Résultats de Simulation Post-FBG.....	43
Tableau III. 9 : Paramètres de simulation avec FBG_ DCF.	46
Tableau.III.10 : Analyse de Pré-DCF_FBG.	47
Tableau.III.11 : Analyse de Post-DCF_FBG.....	50
Tableau III.12 : Diagrammes de l'œil pour Pré-DCF_FBG, Post-DCF_FBG, avec le différentes puissances	53
Tableau.III.13 : Analyse de Prepost-DCF_FBG.....	55

Liste des acronymes

(SMF)	La fibre monomode
(SOA)	Amplificateurs à semi-conducteur
(FBG)	la fibre à réseau de Bragg
(MMF)	La fibre multimode
(LED)	La diode électroluminescente
(DL)	La diode laser
(DCF)	Fibres compensatrices de dispersion
(EDFA)	L'amplificateur à fibre dopée à Erbium
(PN)	Positif Négatif
(PIN)	Positif Intrinsèque Négatif
(PDA)	Les photodiodes à avalanche
(Pré)	Avant
(post)	Après
(Prépost)	Symétrique
(RDS)	La pente de dispersion relative
(OADM)	Multiplexeur optique d'insertion-extraction
(PON)	Les réseaux optiques passifs
(FSO)	Systèmes optiques en espace libre
(ROS)	Systèmes radio sur fibre .
(BER)	Binary error rate
(LAN)	Local Area Network
(MAN)	Metropolitan Area Network
(WDM)	Wavelength Division Multiplexing

Introduction générale

Introduction Générale

Les dix dernières années ont été marquées par une croissance explosive des télécommunications optiques. Les systèmes de télécommunications à fibre optique ont été développée avec l'amélioration des leurs performances et leur capacité, en permettant aussi des communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors inexplorés.

Les nouvelles technologies de communication FTTx, (Fiber To The...) qui permettent des débits de 10, 50 ou 100 Mbit/s, puisque l'affaiblissement de la fibre est moins important que celui du cuivre à très haut débit, Elles offre une multitude d'usages innovants et présentent de nombreux avantages tels que : une bande passante plus élevée, une capacité de transfert de données plus élevée, des liaisons de communication optiques fiables et à faible coût

Néanmoins, ces systèmes sont affectés par des perturbations et des non linéarités due à la dispersion dans la fibre, pour remédier à ce problème, différentes techniques de compensations de la dispersion sont utilisés tels que : la fibre de compensation de dispersion (DCF) et le réseau de Bragg sur fibre (FBG). Dans ce concept nous avons utilisés différentes conceptions autour de ces deux méthodes dans une liaison optique avec un amplificateur optique l'SOA, afin d'explorer son l'impact sur la compensation de la dispersion avec différentes configurations pre-compensation, post-compensation de la fibre de communication monomode SMF. Toutes ces conceptions sont comparées en fonction du facteur de qualité (facteur Q) et le taux d'erreur sur les bits (BER), la simulation a été effectuée avec le logiciel Optisystem 20

Ce mémoire est articulé au tour de trois chapitre :

La fibre optique à fait l'objet le du premier chapitre avec la présentation des différents types de la fibre optique, nous avons également présenté les composant de la ligne de transmission optique avec l'amplificateur SOA.

Dans le second chapitre nous allons exposer la dispersion et ces aspects, nous avons également exploré deux techniques de compensation de la dispersion : La fibre compensatrice (DCF) et le réseau à fibre de Bragg (FBG).

Le dernier chapitre présente la simulation sous le logiciel Optisystem 20, ainsi que la discussion des résultats

En fin une conclusion générale, résume les résultats et les discussions tirées de ce travail avec quelques perspectives futures.

Chapitre I

INTRODUCTION

Les systèmes de communication par fibre optique ont révolutionné l'industrie des télécommunications depuis les années 1970 joue un rôle majeur dans le développement la téléphonie et les systèmes de traitements de l'information. En raison de ses avantages par rapport à la transmission électrique, la fibre optique représente un support pour la transmission des données très performant, en se basant sur sa structure, ces caractéristiques et les modes de propagation de la lumière, dans ce chapitre nous allons présenter la fibre optique, sa constitution, les différents types de fibre ainsi qu'une description d'une liaison de transmission en fibre optique et ses composants

1. Fibre optique

Une fibre optique est un guide d'onde cylindrique et diélectrique aussi fin que des cheveux humains, constitué de matériaux à faible perte tell que verre de silice ; dans sa forme la plus simple, elle se compose d'une partie centrale appelée le cœur, d'indice de réfraction n_1 , et d'une gaine optique, d'indice de réfraction n , entourée par un revêtement protecteur pour le protéger des dommages environnementaux et mécaniques [1].

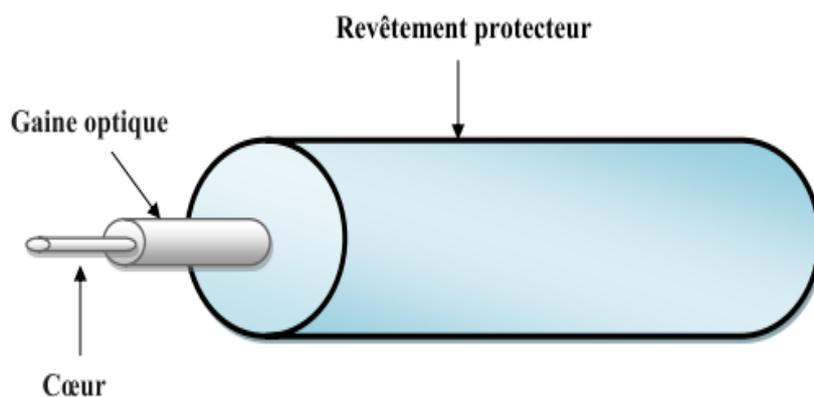


Figure I.1 : Schéma d'un câble à fibre optique.

Le guidage de la lumière dans la fibre se fait par la réflexion totale interne. Cela n'est garanti que si deux conditions sont réunies, la première condition est que le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur.

La deuxième condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique (ON) [2]

$$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{EQ I.1})$$

2. Type des fibres

Selon le profil d'indice de réfraction de la fibre optique, elle peut être classée comme : fibre monomode, fibre multimode à saut d'indice et fibre multimode à gradient d'indice

2.1. La fibre monomode (SMF)

Avec un diamètre du cœur très petit ($< 10\mu\text{m}$), ce diamètre est tellement réduit qu'il ne peut exister qu'un seul mode de propagation d'où l'appellation mono (uni) mode.

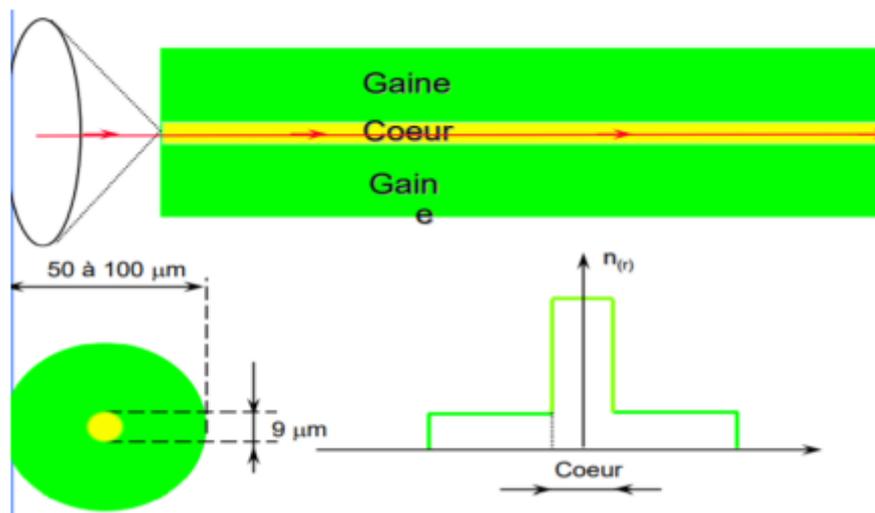


Figure. I.2 : Structure de fibre monomode.

Généralement les fibres monomodes présentent une bande passante plus large et une atténuation de l'ordre (0.5 dB/km pour 1.3 et 0.2 dB/Km pour $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$). cette particularité la rendu universellement utilisées pour les transmissions haut débit et sur des longues distances [2].

2.2. La fibre multimode (MMF)

Cette fibre de diamètre de cœur supérieur ou égale à $50\mu\text{m}$ qui oblige le faisceau de la lumière à se propager suivant plusieurs chemins nommés « Modes », le nombre de mode se propageant dans le cœur égale approximativement à $2/\lambda^2$. Comme ce type de fibre à plusieurs modes de propagation, certains d'entre eux se propagent plus rapidement que d'autres.

Ce qui provoque la dispersion intermodale qui peut produire des déformations temporelles des impulsions optiques. Ce type de fibre optique est habituellement réservé à des applications courte distance telle que les réseaux informatiques [3].

Selon le profil d'indice, On distingue deux types de fibres optiques :

- Fibres à saut d'indice
- Fibres à gradient d'indice.

2.2.1. La fibre à saut d'indice

Comme l'indice de réfraction reste constant dans tout le cœur, puis décroît brusquement en effectuant un saut d'indice dans la gaine. Les rayons qui se propagent ici avec la même longueur d'onde prennent des chemins différents avec une vitesse de valeur constante

$$v = c/n_1.$$

Ces rayons donc arrivent à destination avec des temps distincts selon les chemins effectués, ceci cause une forte dispersion du signal lumineux.

Le profil de l'indice de réfraction dans le cœur et la gaine est exprimé comme suit [4] :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & r < a \\ n_2 & r \geq a \end{cases} \quad \begin{matrix} (\text{cœur}) \\ (\text{gaine}) \end{matrix} \quad (\text{EQ I.2})$$

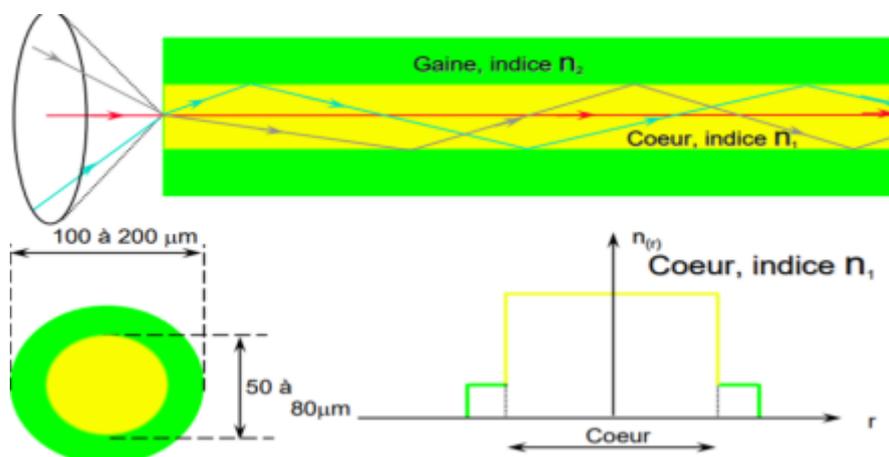


Figure I.3: Profil d'indice et vue en coupe d'une fibre à saut d'indice.

2.2.2. Fibre optique multi-mode à gradient d'indice :

L'indice du cœur n'est pas constant mais possède une symétrie autour de l'axe; l'indice est modifié de sorte à créer un gradient d'indice. Réduction des différents temps de propagation et les écarts entre chemins optiques sont diminués. Le signal optique devient sinusoïdal et les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale. L'atténuation est moins importante que sur les fibres à saut d'indice [5].

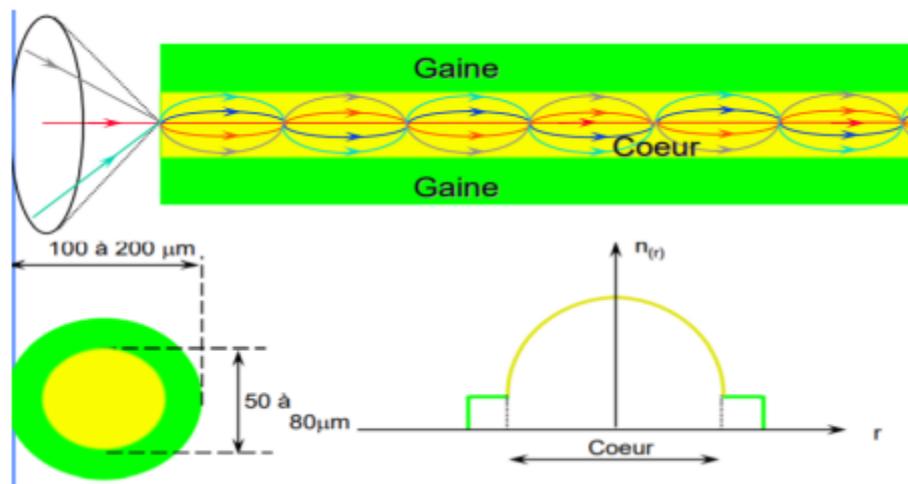


Figure I.4: Fibre optique multi-mode à gradient d'indice

3. Description des systèmes de transmission optique

La liaison optique est basée sur trois blocs fondamentaux pour assurer le transfert des données, elle est constituée d'un émetteur optique qui sert à envoyer des données (signal électrique) par le câble optique et les convertis à un signal optique qui se propage avec une certaine atténuation et dispersion, à la fin, au niveau du récepteur optique, le signal propagé sera converti en un signal électrique avec une diminution des pertes de donnée (figure I.5).

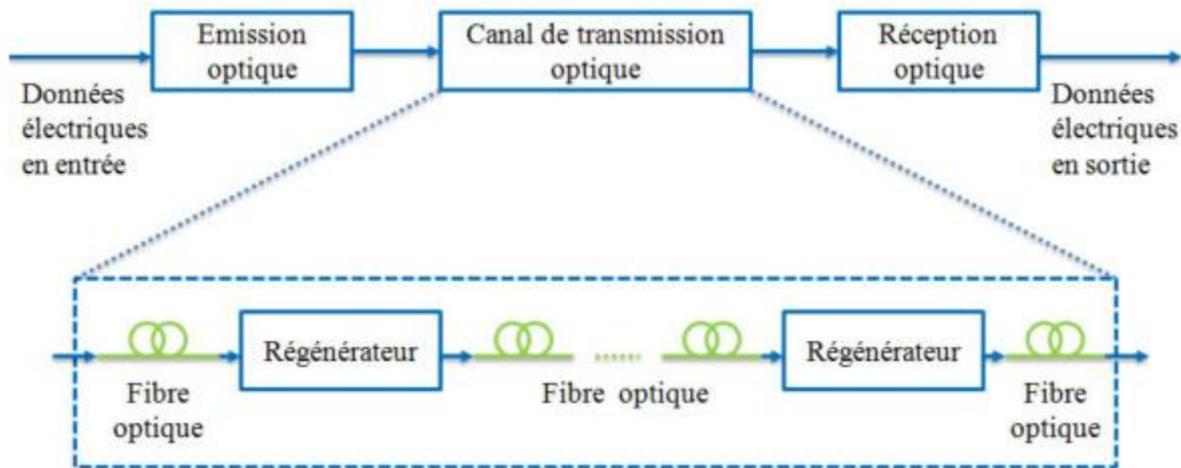


Figure I.5 : Schéma de principe d'un système de transmission optique.

3.1. Bloc d'émission

3.1.1. Les sources optiques

Les sources optiques sont des composants actifs qui transforment les impulsions électriques en impulsions lumineuses avec un intense rayonnement, consommation de faible puissance, temps de réponse rapide, modulable facile, fiable et économique. En télécommunication optique, il existe deux catégories de sources optiques : les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). Elles sont réalisées à partir de jonctions PN polarisées en direct et fondées sur la recombinaison des paires électron-trou.

3.1.1.1. La diode électroluminescente (LED)

La diode LED (Light Emitting Diode) est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et poly-chromatique, elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui n'exigent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre continu et assez large d'où une forte sensibilité à la dispersion chromatique (figure I.6).[6]

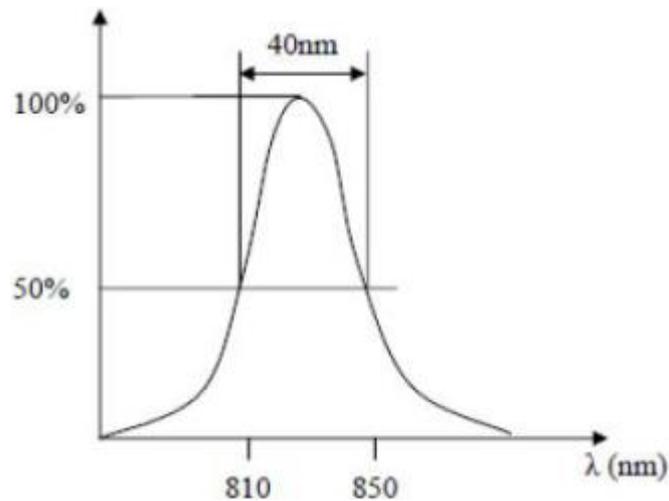


Figure I.6 : Spectre d'émission d'une LED.

3.1.1.2. La diode laser (DL)

Le LASER est un acronyme pour "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (amplification de la lumière par l'émission stimulée de rayonnement). Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée), d'une structure résonante (cavité de Fabry-Pérot ou autre types) et d'un processus de pompage (courant électrique) (figure I.7).

Les diodes Laser reposent sur des technologies bien différentes en fonction de la couleur émise. En fonction de la couleur du Laser, le principe sera différent :

diode laser simple ou diode laser de pompage et cristaux optiques spécifiques.

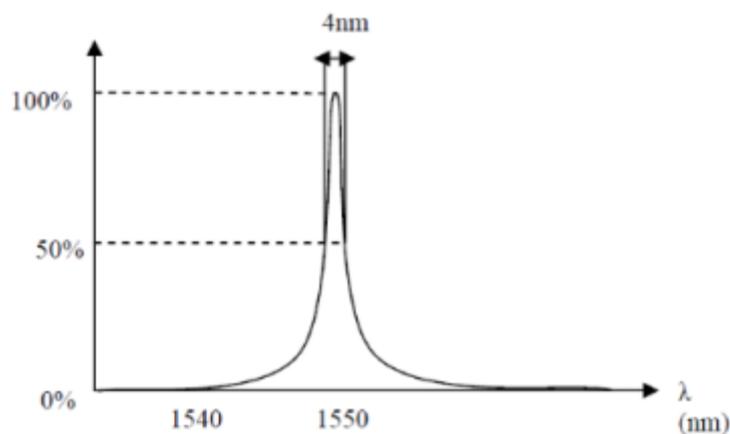


Figure I.7 : Spectre d'émission d'une diode Laser.

3.1.2. La modulation

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

3.1.2.1. La modulation directe

La modulation directe a pour but de moduler le courant d'alimentation de la diode laser, ce qui entraîne une modulation de la puissance optique délivrée (figure I.8). Cependant, le niveau de puissance délivrée est souvent très faible, et l'utilisation d'amplificateurs optiques s'impose dans le cas des transmissions sur des longues distances [7].

La modulation directe du courant d'injection de la diode laser est une modulation d'intensité optique ou de puissance optique, mais ce n'est pas la modulation de l'intensité du courant.

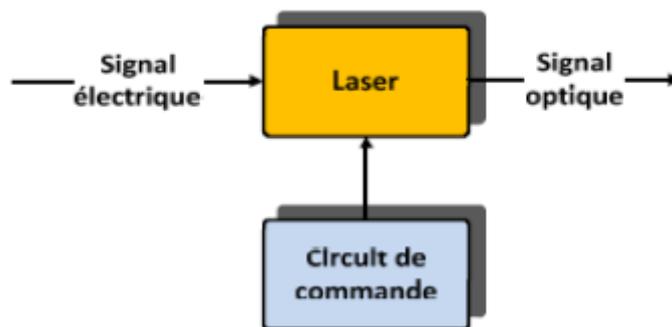


Figure I.8 : Synoptique de la modulation directe.

3.1.2.2. La modulation externe

La modulation externe consiste à changer l'un des paramètres de l'onde lumineuse par l'intermédiaire d'un modulateur externe à la source lumineuse (figure I.9). Cette méthode de modulation est très privilégiée pour les télécommunications à haut débit sur de longues distances . Elle permet d'obtenir une bande passante plus importante et un indice de modulation plus élevé que dans le cas de la modulation directe. Le signal optique continu émis par la diode laser fonctionnant à courant constant subit moins de dégradation, lors de sa transmission à travers le modulateur, car le signal électrique qui associé au données module l'indice optique du matériau du modulateur et par suite son facteur de transmission [7].

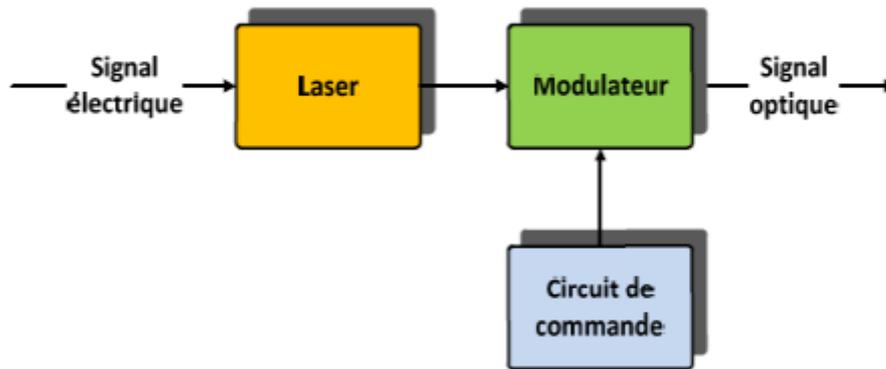


Figure I.9 : Synoptique de la modulation externe.

3.1.2.3. Le modulateur d'intensité de Mach-Zehnder

Les modulateurs de **Mach-Zehnder** sont des modulateurs électro-optiques que l'on place directement en sortie du laser. Ils sont fréquemment utilisés pour les applications de télécommunication large bande. Il existe d'autres modulateurs mais, on va citer le **Mach-Zehnder** vu ses nombreux avantages et applications.

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

A l'aide d'électrodes qui permettent d'appliquer un champ électrique entraînant une modification de l'indice de réfraction du matériau électro-optique et provoquant un changement de la phase de l'onde lumineuse comme pour le modulateur de phase. À la sortie de l'interféromètre, la lumière ne se recombine plus ou moins efficacement, voire pas du tout, en sortie de l'interféromètre, conduisant ainsi à une modulation de la puissance lumineuse [8].

Ces modulateurs, souvent réalisés à base du matériau électro-optique Niobate de Lithium (LiNbO₃), nécessitent cependant une tension de commande élevée; leur intégration avec d'autres composants est difficile et ils ne sont pas stables dans le temps du fait d'une dérive du point de fonctionnement [8].

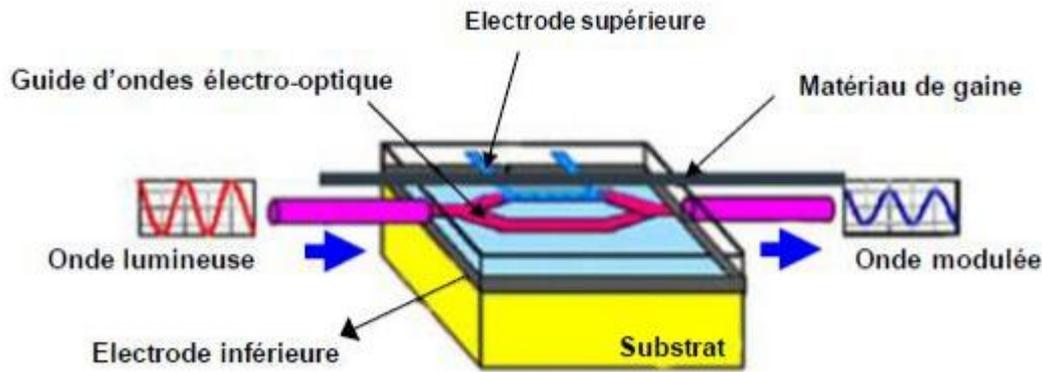


Figure I.10 : Schéma d'un interféromètre de Mac-Zehnder.

3.2. Composants de la ligne de transmission

3.2.1. Les amplificateurs

En optique, un amplificateur optique, un système qui augmente un signal lumineux sans avoir besoin de le convertir en premier lieu en signal électrique.

L'amplificateur à fibre, apparu à la fin des années 1980, est un dispositif clé de tous les futurs réseaux de télécommunications optiques. Outre sa fiabilité, sa linéarité (il est sensible seulement à la puissance moyenne des signaux qui le traversent, ce qui évite toute distorsion de ces derniers), et d'autre part, son bruit faible et voisin des limites théoriques. La bande passante importante des amplificateurs à fibre (plus de 30 nm) permet d'envisager l'amplification simultanée de plusieurs longueurs d'onde (porteuses optiques).

3.2.1.1. Amplificateur à fibre dopée

Un amplificateur à fibre dopée fonctionne à la manière d'un laser. Une portion de fibre optique est dopée, l'augmentation du signal se fait par effet d'avalanche des photons jusqu'à la section dopée à sortie d'un morceau de fibre optique.

Amplificateur à fibre dopée à l'erbium (**Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA**), L'amplificateur à fibre dopée à Erbium (Erbium doped Fibre Amplifier), son principe repose sur la possibilité d'amplification optique par émission stimulée de lumière.

Les longueurs d'ondes de travail sont réparties en deux fenêtres. La bande Conventiionnelle (d'où C-Band) entre 1 525 nm et 1 565 nm et la bande Longue (appelée L-Band) entre 1 570 nm et 1 610 nm. Ces deux bandes peuvent être indifféremment augmentées par ce type

d'amplificateur, mais on préfère fréquemment utiliser des amplificateurs optimisés pour chaque application.

la longueur de fibre dopée est nettement plus longue, ce qui nécessite un pompage optique moins fort. Il existe deux longueurs d'onde pour le pompage optique de ce type d'amplificateur : 980 nm et 1480 nm [9]

Amplificateurs pour d'autres longueurs d'ondes le thulium est utilisé comme dopant pour augmenter les signaux d'entre 1450 et 1490 nm et le praséodyme pour les longueurs d'ondes d'environ 1300 nm. Cependant, ces longueurs d'ondes n'ont pas connu un usage commercial significatif et n'ont pas permis un développement de ces amplificateurs comme les amplificateurs dopés à l'Erbium [10].

3.2.1.2. Amplificateurs à effet Raman

L'effet Raman est un phénomène physique de diffusion moléculaire de la lumière. Les atomes constituant de la matière sont en constante vibration. Les amplificateurs Raman n'utilisent pas les transitions atomiques d'ions dopés mais se basent sur un échange d'énergie par diffusion Raman, un faisceau laser de pompage injecté dans la fibre va amplifier la lumière décalée vers les basses fréquences d'environ 13,2 THz, valeur caractéristique du décalage Raman dans la silice. Pour les télécommunications optiques usuelles à 1550 nm, il faut donc utiliser un laser de pompage autour de 1450 nm [11].

3.2.1.3. Amplificateurs à semi-conducteur (SOA)

L'amplificateur à semi-conducteurs, qui a fait l'objet de nombreux travaux depuis le début des années 1970, n'a pas connu beaucoup de développements en tant qu'amplificateur inséré dans un système de transmission, En revanche, ses caractéristiques lui offrent un large domaine d'utilisation pour tout ce qui touche au traitement optique du signal. Un SOA est un dispositif optoélectronique qui peut, dans des conditions d'exploitation appropriées, amplifier un signal lumineux incident. Une structure de base d'un SOA est illustrée à (la figure I.11) Son élément principal est la région active qui fournit le gain optique lorsque l'amplificateur est pompé électriquement. Le pompage est nécessaire pour atteindre l'inversion de population et par conséquent l'émission stimulée. Un guide d'onde intégré est utilisé pour confiner l'onde de signal à la région active [12].

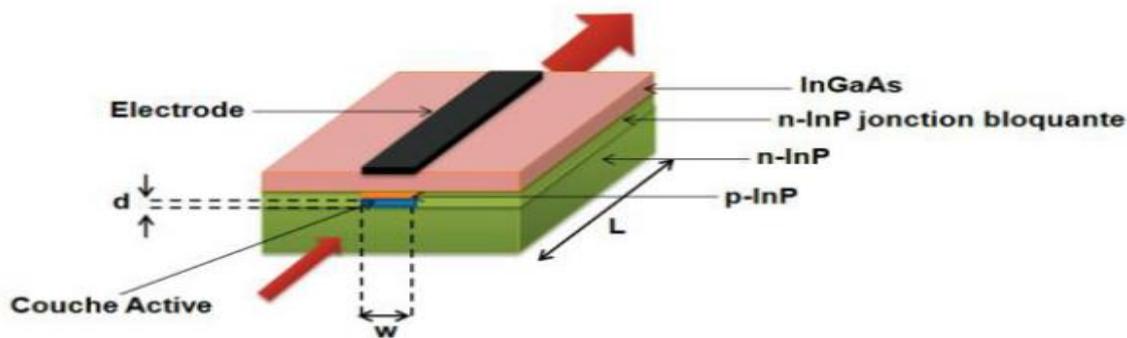


Figure I.11: structure de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs

3.3. Bloc de Réception

3.3.1. Les photodétecteurs

3.3.1.1. Les photodiodes PN et PIN

Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique, la photodiode PN de base est utilisée dans plusieurs cas. Comme il y a énormément de diodes en électronique, elle est constituée d'une jonction PN. Cette configuration de base fut perfectionnée par l'introduction d'une zone intrinsèque (I) pour former la photodiode PIN.

Une diode PIN (Positive Intrinsic Negative diode en anglais) est une diode constituée d'une zone non-dopée, dite intrinsèque I, intercalée entre deux zones dopées P et N.

3.3.1.2. Comparaison des photodiodes PN / PIN:

Lors de la conception du circuit du photodétecteur, il est nécessaire de choisir le type de photodiode correct en fonction des performances et des caractéristiques requises: Une photodiode PN ne nécessite pas de polarisation inverse et, par conséquent, convient mieux aux applications à faible luminosité en raison des performances de bruit améliorées [13].

La polarisation inverse requise par la photodiode PIN introduit un courant de bruit qui réduit le rapport signal/bruit. La polarisation inverse offre de meilleures performances pour les applications à large bande passante car la capacité entre les régions P et N ainsi que le stockage de charges sont faibles [13].

3.3.1.3. Comparaison des photodiodes PN / PIN:

Les photodiodes PN et les photodiodes PIN peuvent être obtenues auprès de nombreux fournisseurs.

Lors de la conception du circuit du photodétecteur, il est nécessaire de choisir le type de (figure I.6)photodiode correct en fonction des performances et des caractéristiques requises:

Une photodiode PN ne nécessite pas de polarisation inverse et, par conséquent, convient mieux aux applications à faible luminosité en raison des performances de bruit améliorées [13].

La polarisation inverse requise par la photodiode PIN introduit un courant de bruit qui réduit le rapport signal/bruit. Le biais de révérence offre de meilleures performances pour les applications à plage dynamique élevée. La polarisation inverse requise offre de meilleures performances pour les applications à large bande passante car la capacité entre les régions P et N ainsi que le stockage de charges sont faibles [13].

3.3.1.4. Les photodiodes à avalanche (PDA) :

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

Pour la photodiode à avalanche, une tension de polarisation inverse très élevée fournit une grande quantité d'énergie aux porteurs minoritaires (paires électron-trou). Elle génère plus de porteurs de charges que les photodiodes PN et PIN. Les photodiodes d'avalanche sont utilisées dans les applications où un gain élevé est un facteur important [14].

3.3.2. Circuit de filtrage:

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

3.3.3. Le Circuit de décision:

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

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

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous pouvons dire que la fibre possède des qualités non négligeables comme support de transmission de l'information qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications.

Les défauts qui peuvent contrarier le bon fonctionnement d'un système à fibre semblent pouvoir se corriger (la dispersion chromatique par une fibre à dispersion contraire, l'atténuation par un amplificateur optique,...) qui ont été mentionnées aussi dans notre travail.

.

Chapitre II

Introduction :

L'augmentation du débit sur les lignes de transmission a fait de la dispersion un problème majeur. La dispersion de vitesse des ondes dans la fibre optique perturbe la propagation du signal dans les réseaux de télécommunications optiques. Cette dispersion temporelle des impulsions lumineuses, peut causer des distorsions du signal transmis sur fibre. Par conséquent, il est crucial de compenser la dispersion qui se cumule au cours de la propagation du signal. Pour résoudre les problèmes d'élargissement temporel, notre attention se porte sur les techniques de compensation de la dispersion chromatique. Dans ce chapitre nous allons exposer la dispersion et ces aspects, nous suggérons également deux techniques de compensation de la dispersion : La fibre compensatrice (DCF) et la fibre à réseau de Bragg (FBG). L'objectif est de compenser la dispersion chromatique grâce à ces deux composants.

1. La dispersion

Le facteur qui limite la transmission des signaux à haut débit sur de longues distances est la dispersion, elle se manifeste par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation [1]. Il y'a deux types de dispersion :

1.1. Dispersion chromatique

Lorsque des impulsions optiques se propagent à travers une fibre, leurs évolutions temporelle et spectrale sont affectées par les propriétés dispersives de la fibre. Il est donc essentiel de pouvoir maîtriser la dispersion chromatique, qui correspond à un étalement des impulsions lumineuses lors de leur propagation. Ce paramètre résulte de la somme de deux effets: la dispersion relative aux matériaux (qui dépend du type de verre utilisé et des impuretés résiduelles dans la fibre) et la dispersion du guide (qui dépend de la forme du profil d'indice). Il est donc possible, en contrôlant les paramètres opto-géométriques de la fibre ou en utilisant des dopants dans le cœur, En outre, plus l'impulsion est brève, plus sa gamme de fréquences est étendue. Aussi la dispersion chromatique est un facteur d'autant plus limitatif que les débits sont élevés, car les impulsions sont très brèves et proches les unes des autres dans le temps. Ce type de dispersion apparaît dans le cas des fibres monomode et multi-mode. Elle est de l'ordre du ps/Km [1].

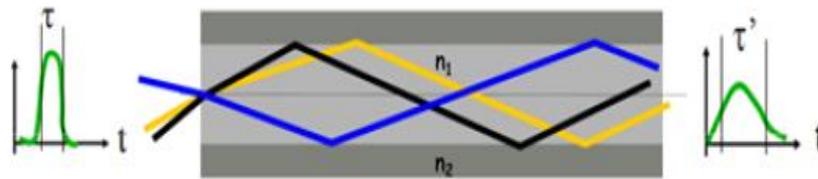


Figure IL.1: Effet de la dispersion chromatique.

1.2 . Dispersion modale

La dispersion modale est la principale cause de dispersion dans les fibres multi-modes, elle limite la distance de propagation et le débit de transmission de l'information. Inhérente aux fibres multi-modes, elle n'existe pas dans les fibres monomodes. La dispersion modale provient de la différence de temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus. Elle est due à la différence de temps des trajets du rayon axial [2].

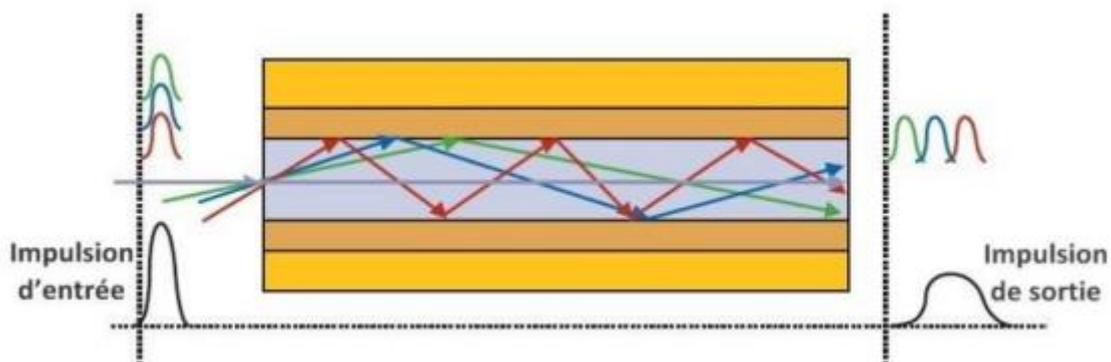


Figure IL.2: Effet de la dispersion modale.

2 . Techniques de compensation de dispersion :

Il existe plusieurs techniques pour compenser la dispersion, chacune ayant ses avantages et inconvénients. Les techniques les plus couramment utilisées dans la pratique sont :

fibres compensatrices de dispersion (**DCF**), les réseaux à fibre de Bragg de Bragg (**FBG**), des combinaisons des deux techniques DCF, FBG et cascades FBG. Toute ces combinaison ont été utilisé avec trois sorte des dispositions dans liaison optique en fonction de leurs position par rapport position la fibre SMF (avant : **pré**, après : **post** et **symétrique** : double compensation pré et post SMF).

2.1. Technique compensation de dispersion par des fibres compensatrice (DCF) :

La compensation de la dispersion accumulée est réalisée en utilisant une fibre spécifiquement allouée à cela, comme la fibre dite "à compensation de dispersion" (DCF). Plutôt que de compenser la dispersion accumulée en une seule fois au niveau du récepteur, il est recommandé de répartir la compensation de la dispersion tout le long du système pour minimiser les interactions entre la dispersion et les effets non-linéaires le long de la ligne. [3]

Un module de compensation de dispersion est compensé par une fibre de longueur prédéterminée et de dispersion égale et de signe opposé à celle de la fibre de transmission.

Les fibres à compensation de dispersion sont insérées dans la liaison optique afin de compenser la dispersion accumulée le long de la ligne de transmission. La condition pour obtenir des pentes de dispersion nulles à la longueur d'onde de fonctionnement d'une liaison composée de SMF et de DCF est que la pente de dispersion relative (RDS) de la DCF soit égale à celle de la SMF à la longueur d'onde de fonctionnement. La relation entre la dispersion positive de la SMF et la dispersion négative de la DCF est donnée par l'équation (EQ II.1). [4]

$$D_{SMF}L_{SMF} + D_{DCF}L_{DCF} = 0 \quad (\text{EQ II.1})$$

où L_{SMF} et L_{DCF} représentent respectivement les longueurs de la SMF et de la DCF.

La dispersion d'une liaison en fibre SMF-DCF concaténée peut être caractérisée par une dispersion équivalente $D_{eq}(\lambda)$ par l'équation: (EQ II.1)

$$D_{eq}(\lambda) = \frac{[RD_{SMF} + D_{DCF}(\lambda)]}{(1+R)} \quad (\text{EQ II.2})$$

où R est le rapport de longueur entre la SMF et DCF, et D_{SMF} et D_{DCF} sont les dispersions respectives des segments SMF et DCF.

À partir de l'équation (EQ II.2), si $D_{eq}(\lambda)$ est égal à zéro, cela satisfait la condition idéale de compensation de dispersion exprimée par l'équation (EQ II.1). Un taux de compensation de dispersion sur une large plage de longueurs d'onde est donné par l'équation: (EQ II.3)

$$\text{Taux de compensation (\%)} = \frac{(\text{Pente}_{DCF} / \text{Pente}_{SMF})}{(\text{Dispersion}_{DCF} / \text{Dispersion}_{SMF})} \quad (\text{EQ II.3})$$

Où la pente est définie comme la différence entre les valeurs de dispersion par intervalle de longueur d'onde [3]

2.2. La fibre à réseau de Bragg (FBG)

La fibre à réseau de Bragg (FBG) est un dispositif optique passif qui contiennent des modulations périodiques de l'indice de réfraction du cœur de la fibre optique (fibre monomode ou multimode) sur une longueur finie [5,6]. Ces variations périodiques sont généralement une perturbation de la propriété de photosensibilité du cœur de la fibre.

Les FBG en raison de leurs principaux avantages comme une sensibilité et une résolution élevées, trouve d'énormes applications en tant que capteurs dans divers domaines de mesure, en tant qu'éléments de compensation de dispersion dans la fibre optique dans systèmes de transport. De plus, les FBG sont actuellement déployés dans différents secteurs tels que le pétrole et le gaz

2.2.1 . Présentation du réseau de Bragg

Découvert en 1978 par Ken Hill , le réseau de Bragg a été fabriqué en utilisant un laser visible se propageant le long du cœur de la fibre [7].

En 1989, Gerald Meltz et ses collègues ont démontré la technique transversale plus flexible où l'illumination du laser est faite du côté de la fibre. Cette technique utilise le pattern d'interférence de la lumière laser ultraviolet pour créer la structure périodique du réseau de Bragg dans le cœur de fibre [8].

Aujourd'hui, on utilise plus souvent la technique du masque de phase afin de fabriquer la fibre à réseau de Bragg.

Une fibre à réseau de Bragg (FBG, Fiber Bragg Grating) est un type de réflecteur de Bragg distribué le long de la fibre. Le réseau est construit dans un court segment de la fibre optique, qui réfléchit les longueurs d'onde particulières de la lumière et transmet toutes les autres. Ce segment est obtenu en ajoutant une variation périodique ou apériodique de l'indice de réfraction dans le cœur de la fibre, qui génère un miroir diélectrique spécifique.

La figure 1 montre la structure de la fibre à réseau de Bragg ainsi que les profils spectraux de l'entrée, de la réflexion et de la transmission, respectivement.

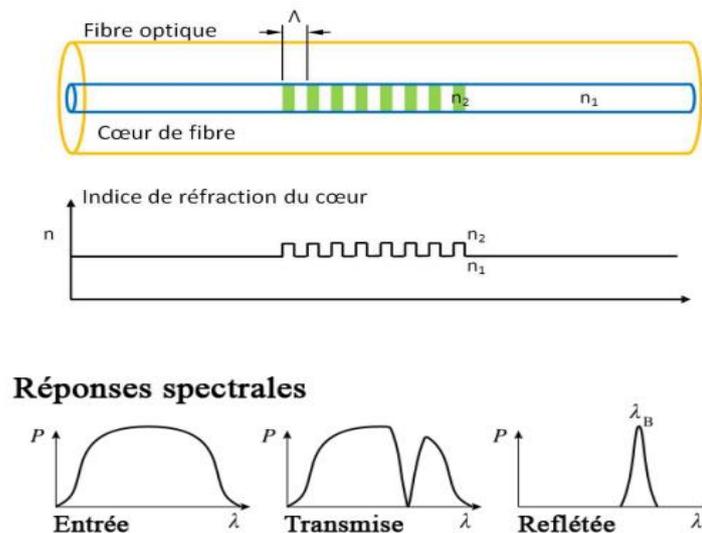


Figure II.3 : Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales.[9]

Grâce aux caractéristiques physiques, la fibre à réseau de Bragg s'emploie dans deux domaines principaux : senseur et télécommunication.

Pour l'application comme senseur, avec la flexibilité extraordinaire et bonne sensibilité au changement de la température, la fibre à réseau de Bragg peut alors être utilisée comme dispositifs de détection directe tels que capteur de pression, de vibration de séisme et de température [8].

L'application essentielle de la fibre à réseau de Bragg est dans le domaine des systèmes de télécommunications optiques, avec plusieurs application comme :

Filtre coup-bande ou filtre éjecteur de bande, laser à fibre optique, compensateur de dispersion chromatique pour les systèmes de communication à haut débit (40 Gb/s). Elles sont également appliquées dans les multiplexeurs et démultiplexeurs optiques avec un circulateur optique, ou multiplexeur optique d'insertion-extraction (OADM, Optical Add-Drop Multiplexer).

2.2.2. Principe de fonctionnement [8] :

Le réseau de Bragg est une structure symétrique, qui reflète toujours la lumière selon la longueur d'onde peu importe d'où provient la lumière.

Différents capteurs fabriqués à partir de réseaux ayant une longueur d'onde spécifique peuvent être implémentés en série sur une même ligne optique (typiquement jusqu'à 16).

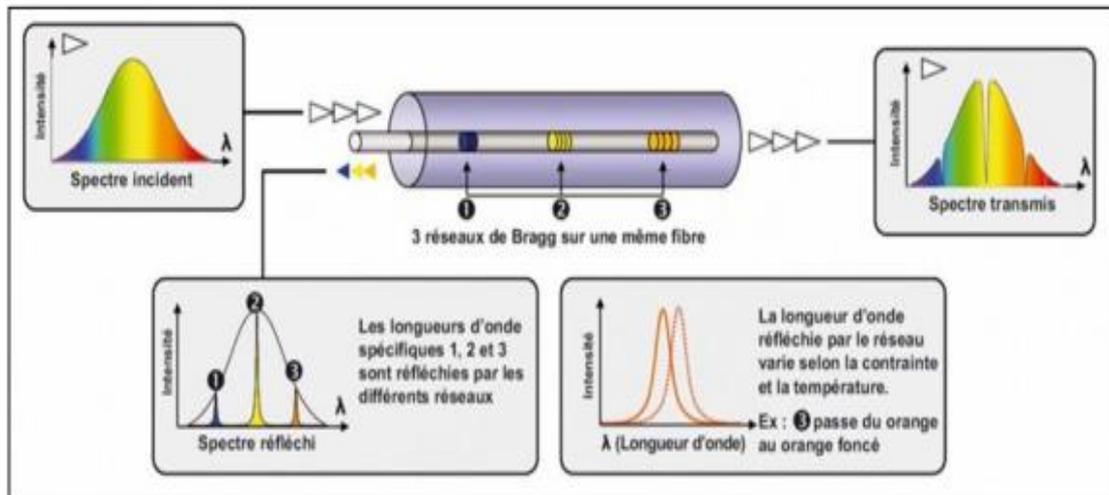


Figure II.4 : (A gauche en haut : spectre de la lumière injectée ; en haut à droite : spectre de la lumière transmise ; au centre : FBG avec symbolisées la transmission la réflexion de la lumière ; en bas à gauche : spectre de la lumière reflétée) [8].

(La figure II.4) montre la représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre. Lorsque la période et l'amplitude de la modulation de l'indice sont constantes, le réseau est appelé uniforme et représente la structure de base pour décrire les différents types de réseau de Bragg existants. La modulation de l'indice de réfraction de la fibre optique résultante de l'irradiation UV s'écrit :

$$\Delta n(z) = \Delta n_{moy} + \Delta n_{mod} \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \quad (\text{EQ II.4})$$

Δn_{moy} : La variation de l'indice moyen

Δn_{mod} : L'amplitude de la modulation

z : La position dans le réseau

Λ : La période ou pas de variation de l'indice de réfraction.

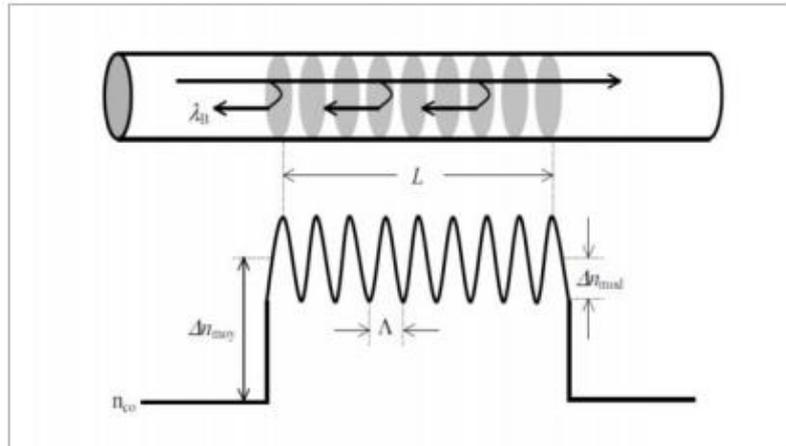


Figure II.5 : Représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre [10], λ_B : longueur d'onde de Bragg, L : longueur du réseau, n_{co} : indice de cœur, Δn_{mod} : indice de modulation, Δn_{moy} : indice moyen, Λ : pas du réseau

Le pas du réseau est fixé par les paramètres géométriques et les variations de l'indice par l'amplitude du signal UV. Les variations périodiques de l'indice de réfraction vont produire une résonance à la longueur d'onde de Bragg λ_b due à l'échange d'énergie entre les différents modes se propageant dans la fibre :

$$\lambda_b = 2n_{eff}\Lambda \quad (\text{EQ II.5})$$

Ou n_{eff} est l'indice effectif du réseau. De ce fait, seules les longueurs d'onde autour de la longueur d'onde de Bragg sont affectés par les effets de la structure périodique. Pour les autres, la structure sera pratiquement transparente [8].

Le réseau provoque un couplage des modes se propageant dans la fibre. De plus, comme seul un mode transversal existe dans les fibres optiques monomodes, le couplage se produit alors entre les deux sens de propagation différents de ce mode. Le coefficient de couplage, défini comme l'ordre de grandeur de l'interaction entre les modes dans la fibre, est décrit par :

$$K = \frac{\pi\Delta n_{mod}}{\lambda_b}\eta \quad (\text{EQ II.6})$$

Dans le cas d'une modulation de l'indice de forme sinusoïdal. Le facteur de confinement dans la fibre optique a une valeur de $\eta \approx 0.83$. L'influence du réseau sur l'onde incidente peut être expliquée à partir du fait que le réseau est un composant sélectif en longueur d'onde.

2.2.3. types de réseau de Bragg :

2.2.3.1. Réseau de Bragg uniforme :

Ce sont des réseaux standards qui ont une période constante et des pas perpendiculaires à l'axe de la structure (la fibre ou guide d'onde). Par exemple pour un réseau de Bragg consiste en une variation périodique dans le cœur d'une fibre optique, selon l'axe de la fibre.

$$\Delta n_{eff}(z)$$

Généralement un réseau de Bragg est une modulation périodique de l'indice du cœur de la fibre. On peut formuler cette perturbation d'indice comme suit :

$$\Delta n_{eff}(z) = \Delta \bar{n}_{eff}(z) \left\{ 1 + v(z) \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \theta(z)\right) \right\} \quad (\text{EQ II.7})$$

$$\text{Où } \Delta \bar{n}_{eff}(z)$$

est la modification moyenne de l'indice de réfraction, $v(z)$ la visibilité ou apodisation de la modulation, Λ la période de la modulation et $\theta(z)$ sa phase.[11]

Cette modulation d'indice réalise un filtre en longueur d'onde. En effet, les longueurs d'onde situées autour de la longueur d'onde de Bragg vérifiant la loi de Bragg sont partiellement réfléchies par le réseau, les autres sont transmises, avec période Λ de modulation d'indice et n_{eff} l'indice de réfraction effectif du mode fondamental.

$$\lambda_b = 2n_{eff}\Lambda \quad (\text{EQ II.5})$$

On peut identifier ainsi les simulations de différents types de réseaux dont la modulation d'indice est représentée sur la figure 2.4.

Les FBG primaires ou FBG peuvent généralement être sous-catégorisés en uniforme, apodisé, chirpé, super-structure, déphasé, incliné FBG et réseaux ROGUE et peuvent généralement fonctionner jusqu'à 350 °C. La figure 2.4 représente le schéma de profil et son réflectivité en fonction de la longueur d'onde pour certains FBG couramment utilisés

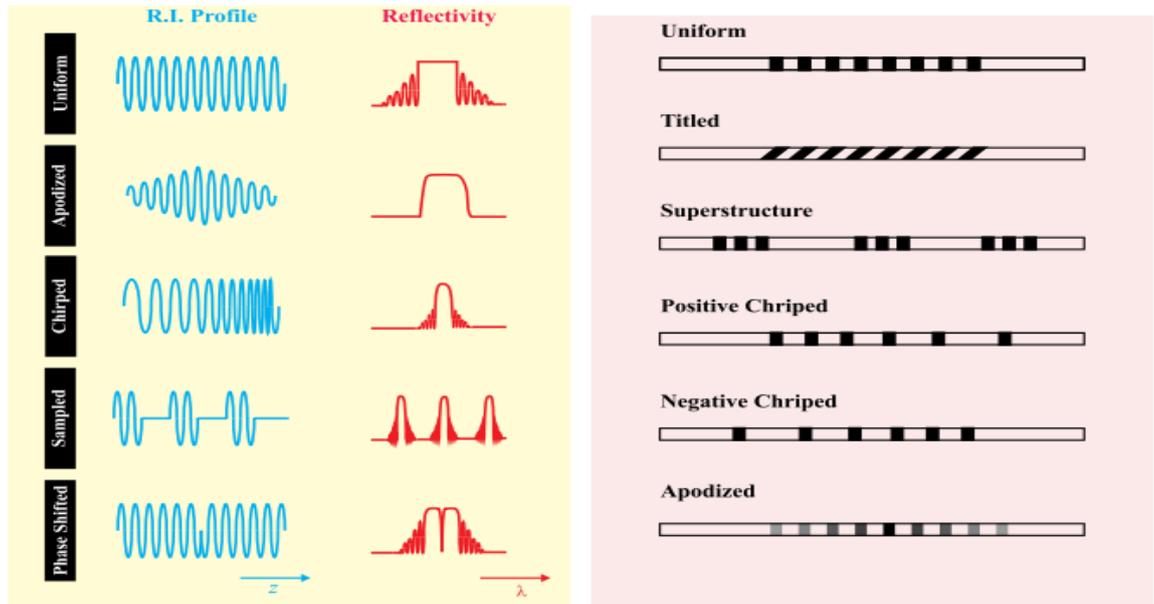


Figure II.6 : Les différents types de réseau de Bragg [12]

2.2.3.2. Réseau de Bragg « tilted » ou « blazed » :

Les réseaux « tilted » ont des pas inclinés d'un certain angle par rapport à l'axe de la fibre à titre d'exemple (figure II.6) ce qui permet un couplage de la lumière à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du cœur. [10]

2.2.3.3. Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped » :

Souvent, soit par la conception même du réseau soit à cause des techniques de fabrication utilisées, le réseau de Bragg dévie un peu de cette structure parfaite. Si le pas du réseau varie légèrement tout au long de la structure, on dit alors qu'il présente un écart ou « chirp ».

Dans les réseaux chirpés la période augmente progressivement d'un pas à les grandes longueurs d'onde sont réfléchies en début de réseau et les plus courtes en fin de réseau ; ainsi la dispersion peut être compensée et le signal d'origine rétabli. [10]

2.2.3.4. Réseau de Bragg apodisé :

Dans ces réseaux l'amplitude du coefficient de couplage c varie le long de la structure. C'est à dire une variation de son coefficient de couplage le long de la structure. Cette variation est obtenue ici par une modification de la profondeur de gravure [10].

CONCLUSION

Ce chapitre a traité le phénomène de la dispersion dans les systèmes de télécommunications optiques, où celle-ci peut entraîner une distorsion du signal et une perte d'information. Par contre, il existe des technologies qui peuvent résister contre cette dispersion, qui sont les fibres à dispersion chromatique décalée (**DCF**) et les réseaux de Bragg à (**FBG**), que nous avons exposé, à la fin du chapitre.

Chapitre III

Introduction

La raison principale pour laquelle de nombreux travaux de recherche portent sur l'amélioration des performances que peuvent atteindre les systèmes de transmission optique, notamment de leur produit capacité \times distance, est la demande croissante et continue en capacité de transmission. Il est important donc de concevoir des systèmes capables de répondre à cette demande. Pour cela, deux solutions sont possibles :

- Déployer directement des systèmes d'une nouvelle génération dont la Capacité maximale est significativement supérieure à la demande du moment. Ainsi ils pourront servir pendant toute leur durée de vie et absorber l'augmentation de la demande en capacité sans entrer en Saturation. Mais cela implique aussi qu'ils seront utilisés largement en sous-capacité pendant une certaine période, ce qui peut être contraignant en termes de retour sur investissement.
- Utiliser tels quels les systèmes déployés opérationnels aujourd'hui, et à modifier uniquement leurs émetteurs et leurs récepteurs pour leur permettre d'améliorer leurs performances dans la mesure des possibilités offertes. Et donc le coût de la mise à niveau du système s'en trouve drastiquement amoindri, même si le gain en performance peut être limité.

Notre objectif dans ce chapitre consiste à cerner et étudier les techniques de compensation de la dispersion dans une liaison de transmission optique avec l'amplificateur optique semi-conducteur SOA et pour faire une comparaison entre les chaînes de transmission que nous avons simulées :

Avec DCF, avec FBG, avec DCF_FBG et symétrique DCF_FBG

Ce travail, a été effectué à l'aide du logiciel de simulation « Optisystem20.0 », qui est un outil performant permettant de réaliser et simuler des chaînes de transmissions optiques.

1 . Présentation du logiciel Optisystem:

OptiSystem est un logiciel développé par la société canadienne Optiwave, il permet aux ingénieurs et aux chercheurs de concevoir, de simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique.

La diversité des systèmes simulés peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions réalisées par l'utilisateur et qui peuvent être ajoutées aux systèmes simulés.

Le logiciel « OptiSystem » 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 optiques.

1.1. 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 mesurés 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 des visualiseurs sur le moniteur au même port.

1.2. Application du logiciel OptiSystem

OptiSystem permet l'automatisation de la conception et l'application de n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique, et l'analyse d'un large spectre de réseaux optiques, des systèmes longue distance aux MAN et LAN. [1]

La large gamme d'applications d'OptiSystem comprend :

- Conception du système de communication optique du niveau composant au niveau système au niveau de la couche physique.
- Conception de réseau TDM / WDM.
- FTTx basé sur les réseaux optiques passifs (PON).
- Systèmes optiques en espace libre (FSO).
- Systèmes radio sur fibre (ROF).

- Conception de bague SONET / SDH.
- Conception de l'émetteur, du canal, de l'amplificateur et du récepteur.
- Conception de cartes de dispersion.
- Estimation du BER et des pénalités du système avec différents modèles de récepteurs.
- BER système amplifié et calculs de budget de liaison. [1]

1.3. Avantage du Optiswstem

- Prototypage rapide et économique.
- Aperçu global des performances du système.
- Accès simple à vastes ensembles de données de caractérisation du système.
- Analyse et optimisation automatiques des paramètres.
- Évaluation des sensibilités des paramètres facilitant les spécifications de tolérance de conception.
- Réduction spectaculaire du risque d'investissement et du délai de mise sur le marché.
- Représentation visuelle des options de conception et des scénarios à présenter aux clients potentiels. [1]

1.4. Différents modes de simulation

Le logiciel Optisystem offre trois modes de simulation :

- Le mode normal : où il suffit d'entrer la valeur du paramètre désiré.
- Le mode de balayage (Sweep) : Où la valeur du paramètre varie suivant une courbe donnée.
- Le mode scripte : où le paramètre est évalué comme une expression arithmétique

2 . Interface du logiciel OptiSystem

2.1. Démarrer OptiSystem

Pour lancer OptiSystem, nous devons effectuer l'action suivante :

Dans le menu Démarrer, sélectionnez : Programs > Optiwave Software> OptiSystem
20 >

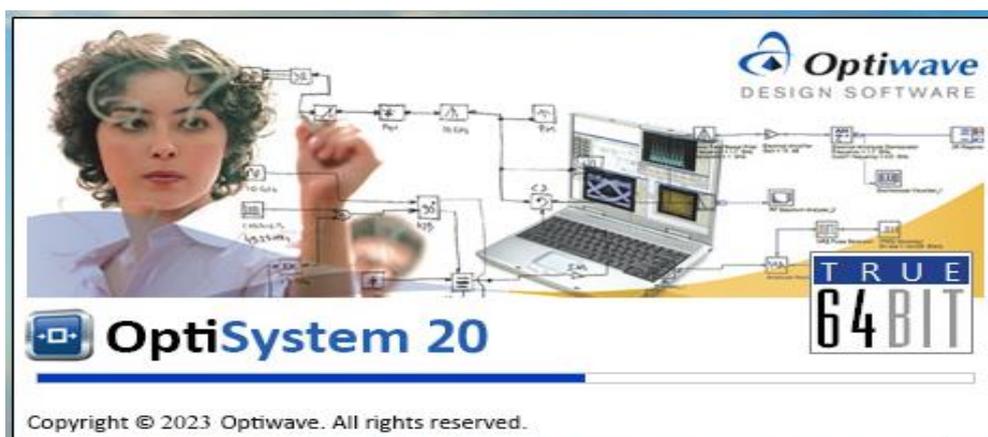


Figure III. 1 : Interface du logiciel OptiSystem 20.0

OptiSystem se charge et l'interface utilisateur graphique apparaît et une fenêtre principale répartit en Plusieurs parties apparaît -figure III. 2

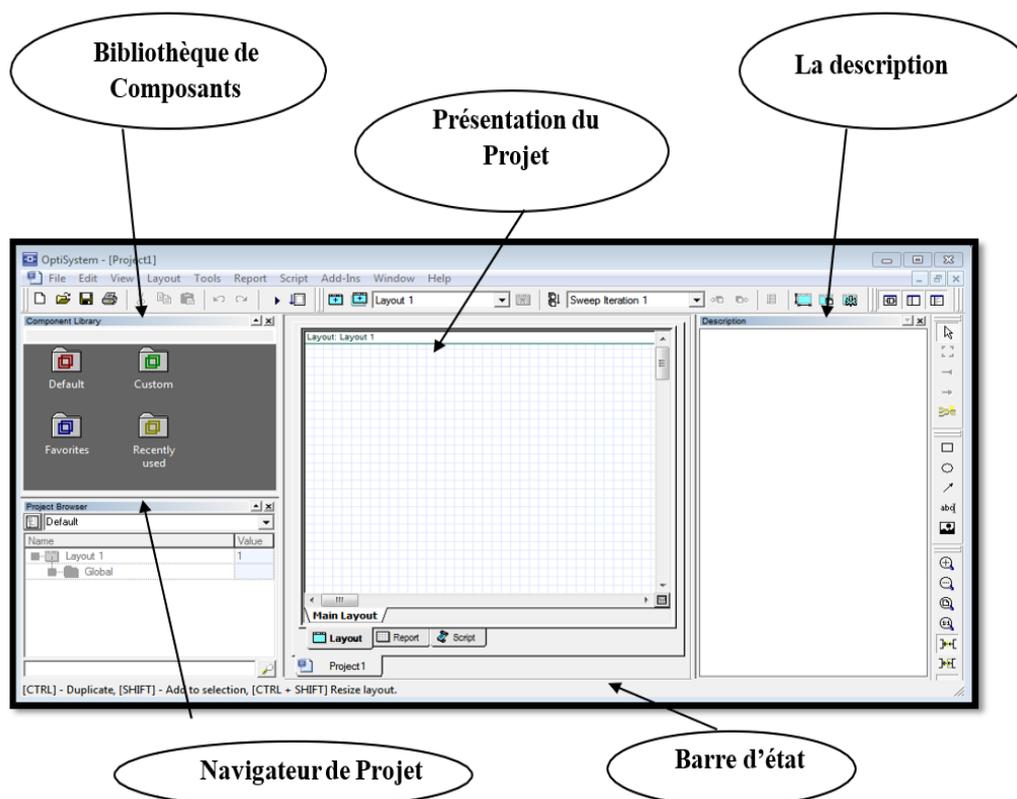


Figure III. 2 : Interface graphique du logiciel OptiSystem.

2.2. Affichage des résultats à partir d'un appareil

Pour afficher les graphiques et les résultats générés par la simulation, il faut faire double cliques sur le visualiseur dans la structure du projet

- **Analyseur de spectre optique:** Affiche le signal optique modulé dans le domaine fréquentiel.
- **Visualiseur optique en domaine temporel:** Affiche le signal optique modulé dans le le domaine temporel.
- **Domaine Temporel. Oscilloscope :** Affiche le signal électrique après le code PIN dans le domaine temporel.
- **Analyseur BER(BET):** mesure les performances du système en fonction du signal avant et après la propagation.

Remarque: Vous pouvez associer plusieurs appareils de visualisation à une sortie du composant.

3. Résultats de simulation

3.1. Paramètres de qualité d'une liaison optique

Pour mesurer la qualité de transmission optique afin d'évaluer le bon fonctionnement d'un système, trois critères principaux s'imposent : le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil. [02] .

➤ Le facteur de qualité:

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

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_0} \quad (\text{Eq III.1})$$

Où I_1 et I_0 sont les valeurs moyennes des photo courants du symbole 1 et 0, δ_1 et δ_2 sont les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0. La mesure expérimentale du facteur Q d'un signal est difficile c'est-à-dire I_1 , I_0 , δ_1 et δ_2 , ne sont souvent pas directement mesurables.

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

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

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

➤ **Le taux d'erreur binaire :**

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

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bit erroné}}{\text{Nombre de bit transmis}} \quad (\text{Eq III.3})$$

➤ **Le diagramme de l'œil :**

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tout le symbole binaire de la séquence transmise pour estimer la qualité d'un signal d'une manière visuelle (voir figure III.3).

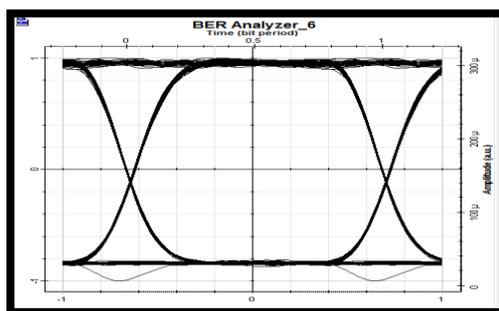


Figure III.3: Diagramme de l'œil.

Ce diagramme est caractérisé par :

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

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

Dans la liaison, le bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission amplifiée sur signal tout au long de son parcours. [03]

4. Présentation de la simulation

4.1. Chaîne de transmission de base

La figure (III.4) ci-dessous représente une chaîne de transmission optique simple sans compensation de dispersion. Ce schéma décrit les composants utilisés pour l'analyse de l'effet de la dispersion. Les performances de la liaison optique sont estimées via deux critères, le facteur de qualité Q et le taux d'erreur binaire BER. Sachant que, pour maintenir une bonne qualité de transmission dans le domaine des télécommunications on doit avoir un facteur Q supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

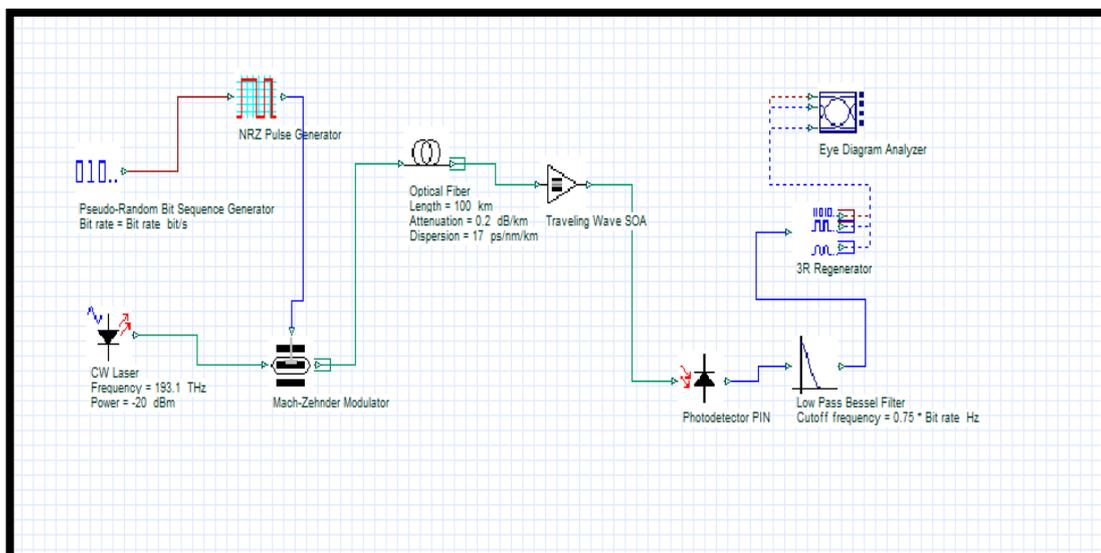


Figure III. 4 : Chaîne de transmission de base.

Cette chaîne de base est composée essentiellement de trois sections avec un émetteur, la fibre de liaison optique et un récepteur : Un Laser modulé avec un générateur NRZ et un modulateur Mach Zehnder joue le rôle d'émetteur ; la liaison optique avec

l'amplificateur SOA ; Une photodétecteur de type PIN est utilisé comme récepteur pour effectuer l'opération inverse de l'émetteur optique connecté à un filtre électrique passe-bas avec une fréquence de coupure 0.75 fois la fréquence de rythme. Pour illustrer les résultats nous utiliserons un analyseur de BER.

Les paramètres utilisés dans cette simulation sont donnés dans le tableau III.1 .

Tableau III. 1 : Paramètres de simulation.

Paramètres	Valeurs	Unité
Puissance	20 a -20	DBm
Longueur de SMF	100	Km
Bruit SOA	1000	1/m
Fréquence	193.1	THz

5. La simulation des combinaisons de compensation :

5.1. Fibre compensatrice de dispersion chromatique (DCF) avec SOA :

Dans cette section on va présenter les résultats obtenus en utilisant les fibres compensatrices de dispersion (DCF) et l'amplificateurs optique (SOA) afin de compenser les pertes due à l'atténuation. La fibre optique utilisée de type SMF a une longueur de 100 km avec une dispersion chromatique de 17 ps/nm/km. Par conséquent, la dispersion cumulée totale est de $17 \times 100 = 1760$ ps/nm. Cette dispersion peut être compensée en utilisant une fibre compensatrice de dispersion chromatique de type DCF de longueur de 21.25km et ayant une dispersion de -80 ps/km/nm.

Les paramètres utilisés dans cette simulation sont présentés dans le tableau III.2 , ci-dessous

Tableau III. 2 : Paramètres de simulation avec DCF.

CW Laser	
Fréquence	193.1THz
Puissance	-20 to 20dBm
SMF	
Longueur	100 Km
Longueur d'onde utilise	1550 nm
Pente de dispersion	0.08ps/ nm ² /Km
DCF	
Longueur d'onde de reference	1550 nm
Longueur	21.25 km
Pente de dispersion	-0.35ps/nm ² /km
SOA	
Bruit	1000 1/m

Deux dispositions de compensation seront étudiées selon la position du DCF :

5.1.1. Pré-DCF, où la DCF est placée avant le SMF pour compenser la dispersion positive de la fibre standard.

La figure(III.5) montre une chaîne de simulation du Pré-DCF

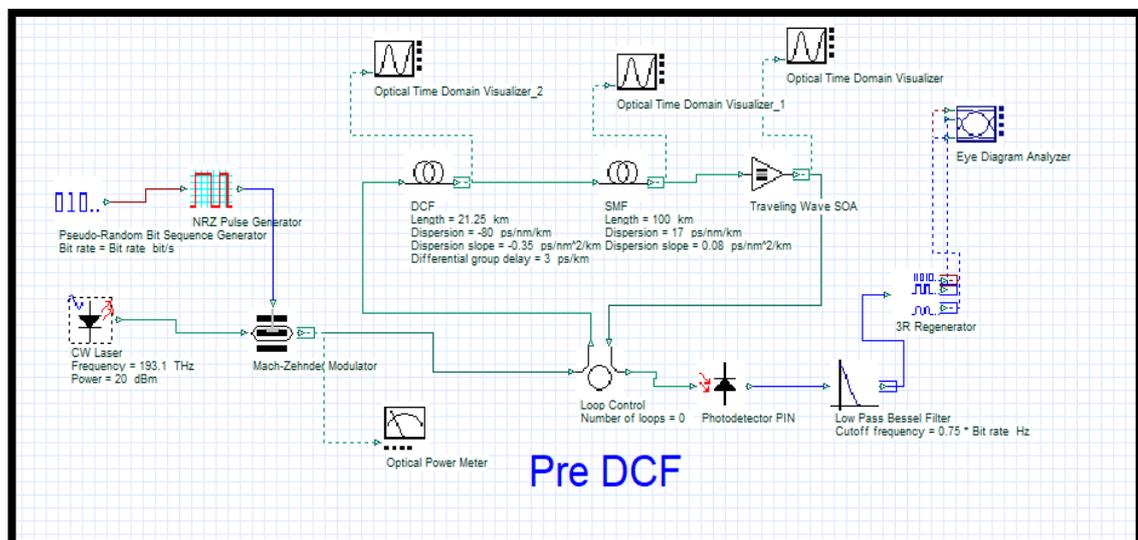


Figure III. 5 : Chaîne de simulation du Pré-DCF

5.1.2. **Post-DCF** où la DCF de dispersion négative est placée après le SMF pour compenser la dispersion positive de la fibre standard , comme illustré à la figure (III.6).

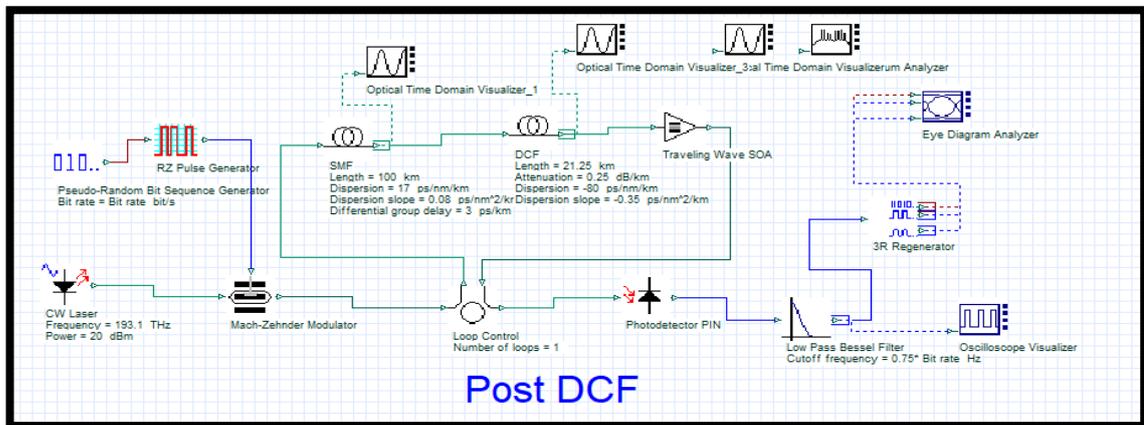


Figure III. 6 : Chaîne de simulation du Post-DCF

Les résultats de simulation de deux chaînes de compensation de dispersion Pré-DCF et Post-DCF avec (SOA) pour différents Puissances sont présentés dans les deux tableaux suivants :

➤ **Analyse de Pré-DCF**

Tableau III. 3 : Résultats de simulation de Pré-DCF.

Résultats de simulation Pré-DCF		
Puissance	Facteur de qualité Q	MIN BER
20 dBm	3380.55	0
15 dBm	2091.32	0
10 dBm	1164.31	0
5 dBm	554.285	0
0 dBm	252.95	0
-5 dBm	111.569	0
-10 dBm	38.5413	0
-15 dBm	11.3555	3.47821e-30
-20 dBm	4.28026	9.28434e-06

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition **Pré-DCF** sont représentés dans la figure(II.7) suivante :

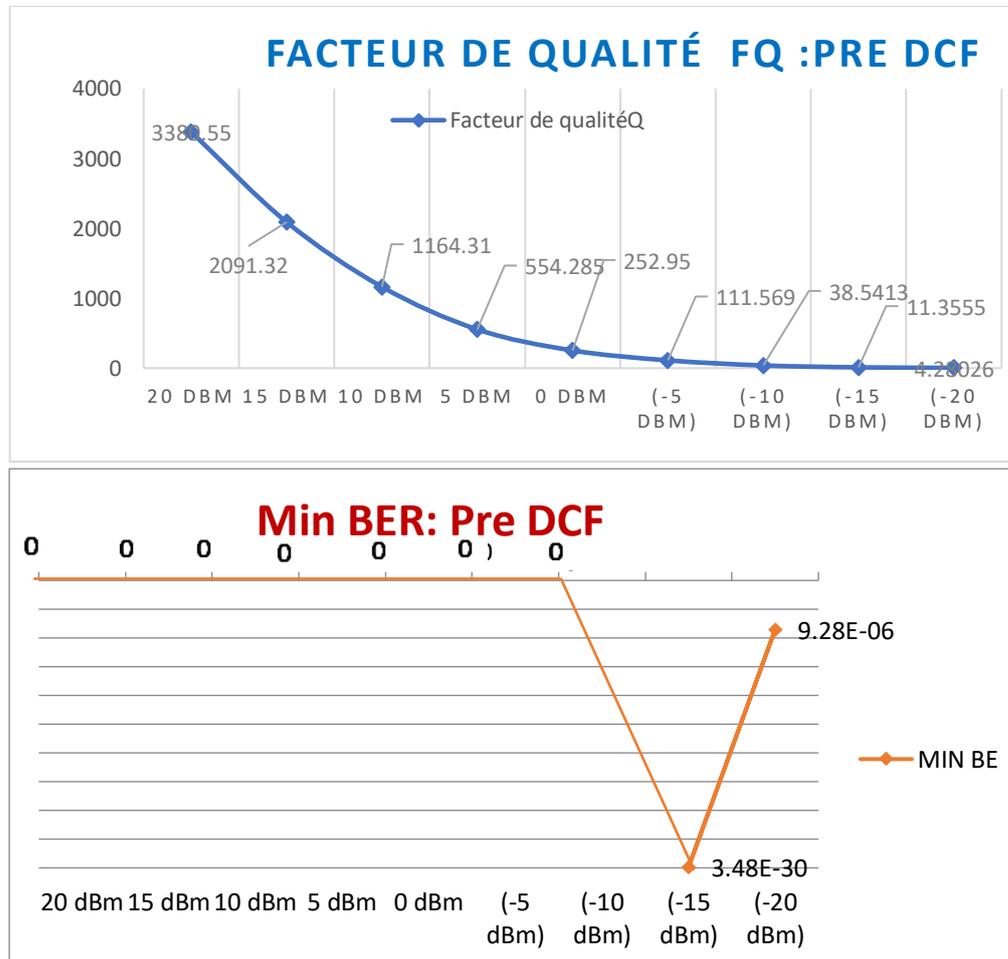


Figure III.7 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / Pré-DCF

Dans la Figure (III.7) et d'après le tableau (III.3) nous remarquons dans la simulation **Pré- DCF** un facteur FQ appréciable pour les puissances basses (**-15 dBm et -20 dBm**) on peut considérer la puissance (**-15 dBm**) comme puissance recommandé pour la transmission avec **FQ= 11.3555** et un **Min BER=3.47821e-30**

➤ Analyse de Post-DCF

Tableau.III.4 : Résultats de Simulation Post-DCF.

Résultats de Simulation Post-DCF		
Puissance	Facteur de qualitéQ	MIN BER
20 dBm	1.63334	0.0392626
15 dBm	3.79338	6.27168e-05
10 dBm	3.82166	4.89777e-05
5 dBm	3.92523	2.84026e-05
0 dBm	3.31426	0.00034472
-5 dBm	3.67002	6.8522e-05
-10 dBm	3.65655	7.97701e-05
-15 dBm	4.13011	9.62972e-06
-20 dBm	4.10645	1.31989e-05

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition **Post-DCF** sont représentés dans la figures (III.8) suivante :

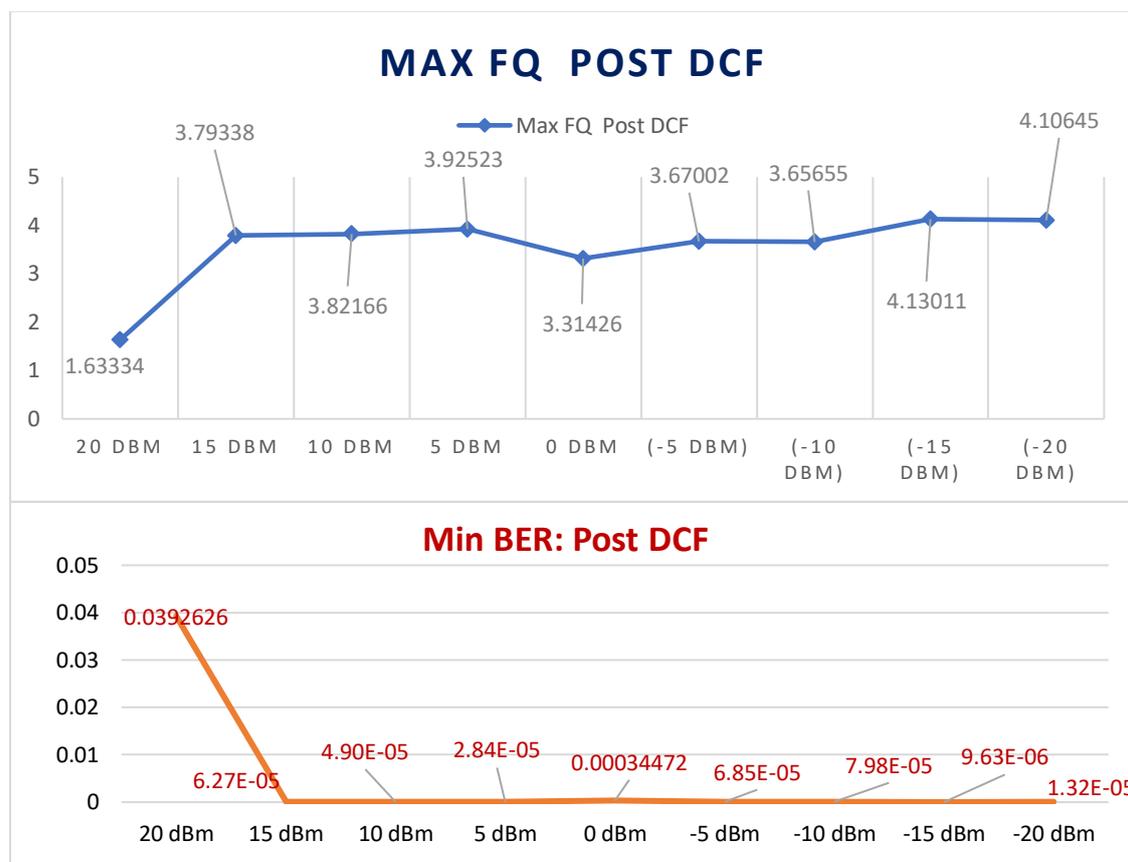


Figure III.8: Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance /Post-DCF

- Dans la Figure (III.8) et d'après le tableau (III.4) pour l'analyse **Post- DCF** les meilleurs résultats sont retrouvés avec les puissances toujours basses (**-15 et -20 dBm**) avec des facteurs de qualité **FQ= (4.13011 et 4.10645)** et **Min BER= (9.62972e-06 et 1. 31989e-05)** on peut considérer aussi la puissance (**-15 dBm**) comme puissance de recommandé de la transmission.

- Les diagrammes de l'œil correspondant à différentes Puissances (**20 a - 20 dBm**) pour les deux dispositions de compensation Pré-DCF et Post-DCF sont représentés sur les figure dans le tableau (III.5) suivant :

Tableau III.5 : Diagrammes de l'œil pour Pré-DCF, Post-DCF, avec les différentes puissances

Puissance	Pré-DCF	Post-DCF
20dBm		
10dBm		
0dBm		
-10dBm		
-20dBm		

5.2. Disposition de compensation à réseau de Bragg (FBG) avec SOA :

Dans cette partie nous allons présenter les résultats de simulation obtenus on utilise les mêmes composants de la première simulation, on change seulement le DCF par un FBG. Qui est la fibre à réseau de Bragg (Fibre Bragg Grating) comme techniques de compensation chromatique.

Les paramètres de simulation utilisés sont présentés dans le tableau (III.6).

Tableau III.6 : Paramètres de simulation avec FBG.

FBG	
Fréquence	193.1THz
Dispersion	-860ps/nm

Deux dispositions de compensation de la dispersion sont également utilisées pour compenser la dispersion, en fonction de la position des fibres FBG.

5.2.1. Pré-FBG

Le FBG est placé à l'entrée de la liaison optique et avant l'amplificateur, comme cela indiqué sur la figure(III.9).

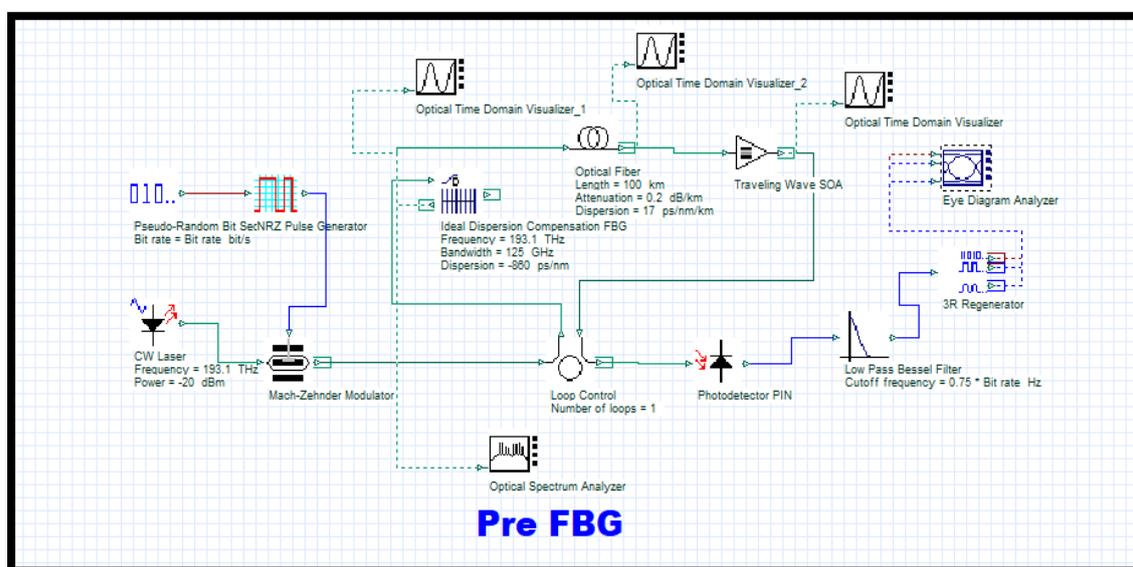


Figure III.9 : Chaîne de transmission Pré-FBG

5.2.2. Post-FBG

Le Post-FBG est placé au dernier point de la liaison optique, comme indiqué sur la figure (III.10)

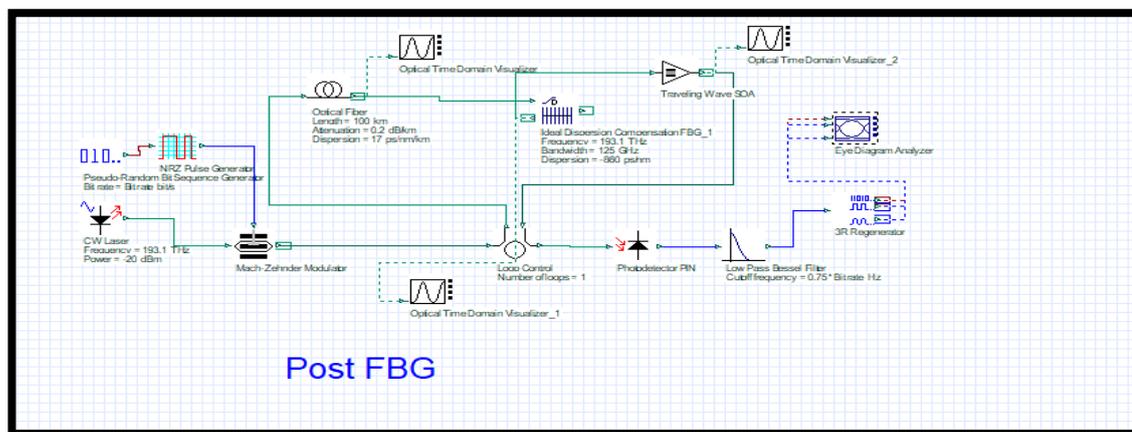


Figure III.10 : Chaîne de transmission Post FBG.

Les résultats de simulation de compensation à réseau de Bragg FBG avec (SOA) pour différents Puissances sur une distance de 100 Km et pour les deux dispositions **Pré-FBG et Post-FBG** sont représentés dans les deux tableaux suivants :

➤ Analyse Pré-FBG

Tableau.III.7 : Résultats de simulation Pré-FBG.

Résultats de simulation Pré-FBG		
Puissance	Facteur de qualitéQ	MIN BER
20 dBm	1.27208	0.0994075
15 dBm	1.47996	0.0601097
10 dBm	1.622	0.0430764
5 dBm	1.80801	0.028794
0 dBm	1.9026	0.0212278
-5 dBm	1.97152	0.0188904
-10 dBm	2.07426	0.0140453
-15 dBm	2.19106	0.00992797
-20 dBm	2.49439	0.00479102

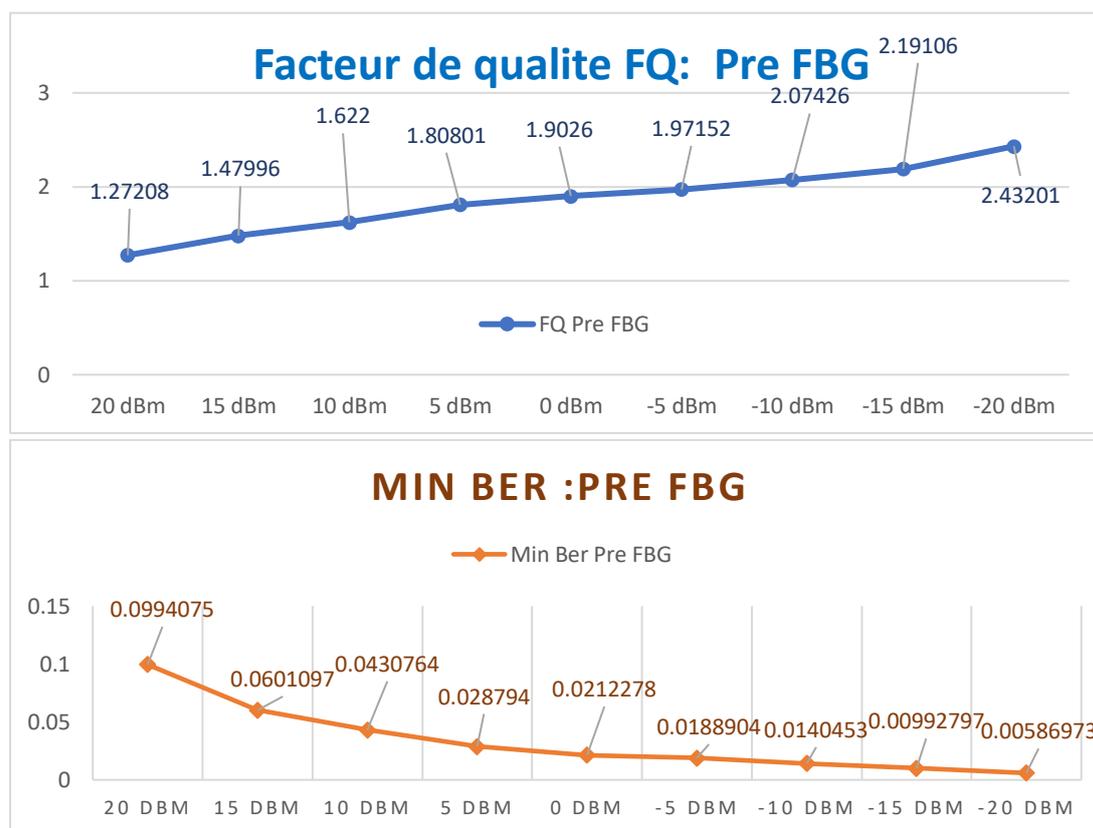
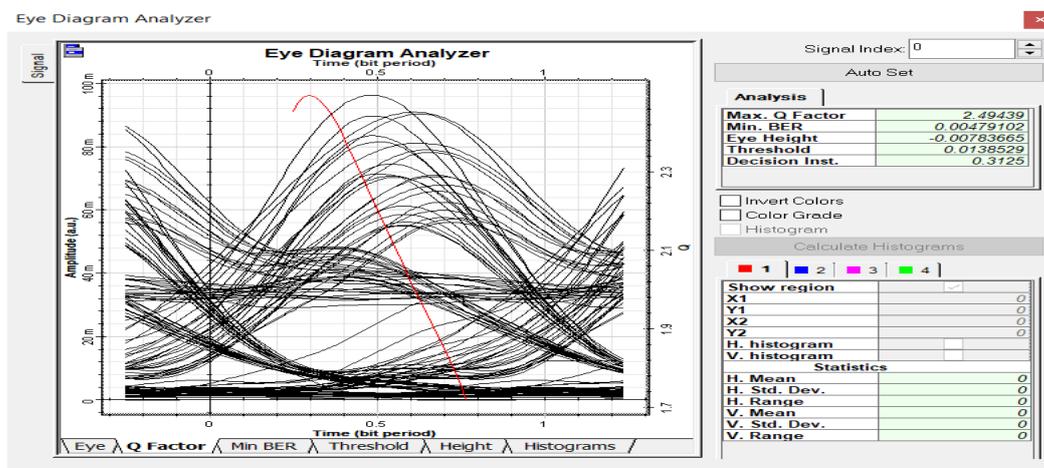
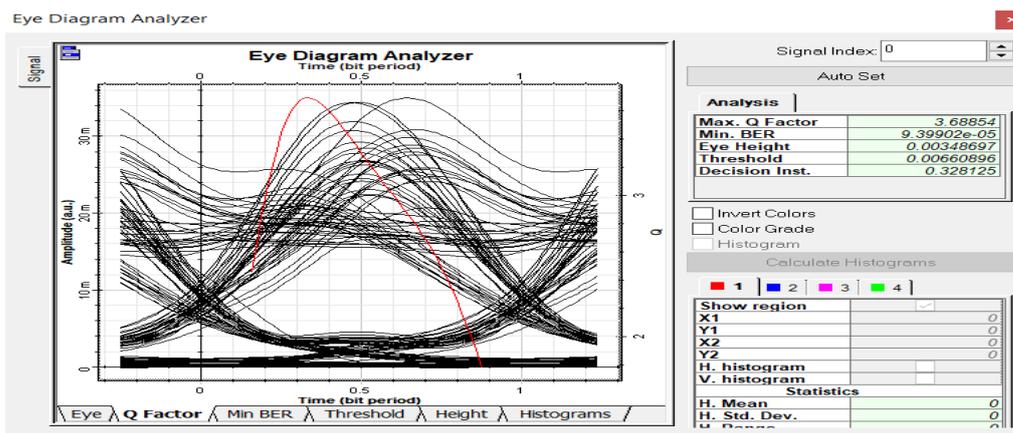


Figure.III.11 :Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / (Pré-FBG)

Les diagrammes de l'œil correspondant aux deux Basses Puissances (-20 dBm a -30 dBm) pour la technique de compensation FBG fibres à réseau de Bragg Pré-FBG



(A) Pré FBG Puissances (-20 dBm)



(B) Pré FBG Puissances (- 30 dBm)

Figure III.12 : Diagramme de l’œil du compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg(FBG) (Pré FBG) avec les deux Basse Puissances ((A) = -20 dBm et (B) = -30dBm)

Dans les Figures (III.11 et III.12) pour l’analyse Pré- FBG qui représente un facteur de qualité peu appréciable avec $FQ = 2.49439$ et un $Min\ BER = 0.00479102$ à (-20 dBm) présenté dans la figure (A) nous avons jugé de tester la puissance(-30dBm) qui confirme un résultat amélioré avec $FQ = 3.68854$ et un $Min\ BER = (9.39902 \times 10^{-5})$

➤ Analyse Post-FBG

Tableau.III.8 : Résultats de Simulation Post-FBG.

Résultats de Simulation Post-FBG		
Puissance	Facteur de qualité Q	MIN BER
20 dBm	1.26467	0.0627557
15 dBm	1.33195	0.0733524
10 dBm	1.4173	0.065026
5 dBm	1.55018	0.0531384
0 dBm	1.51758	0.0554744
-5 dBm	1.3371	0.0660563
-10 dBm	1.45762	0.0536086
-15 dBm	1.46584	0.0570846
-20 dBm	1.54804	0.0454838

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition Post-FBG sont représentés dans la figure (III .13) suivante :

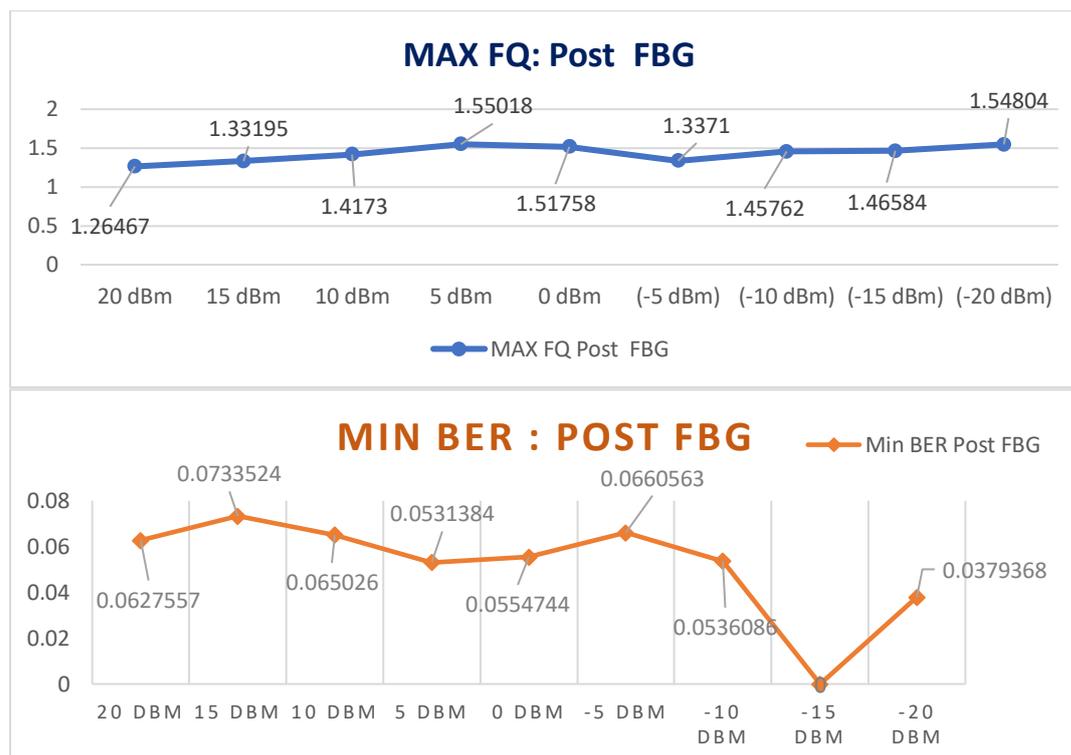
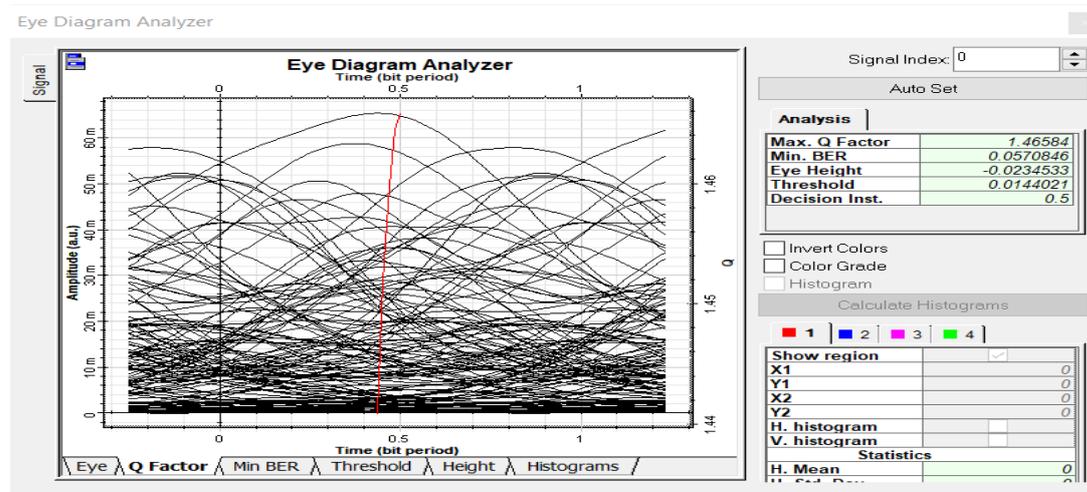


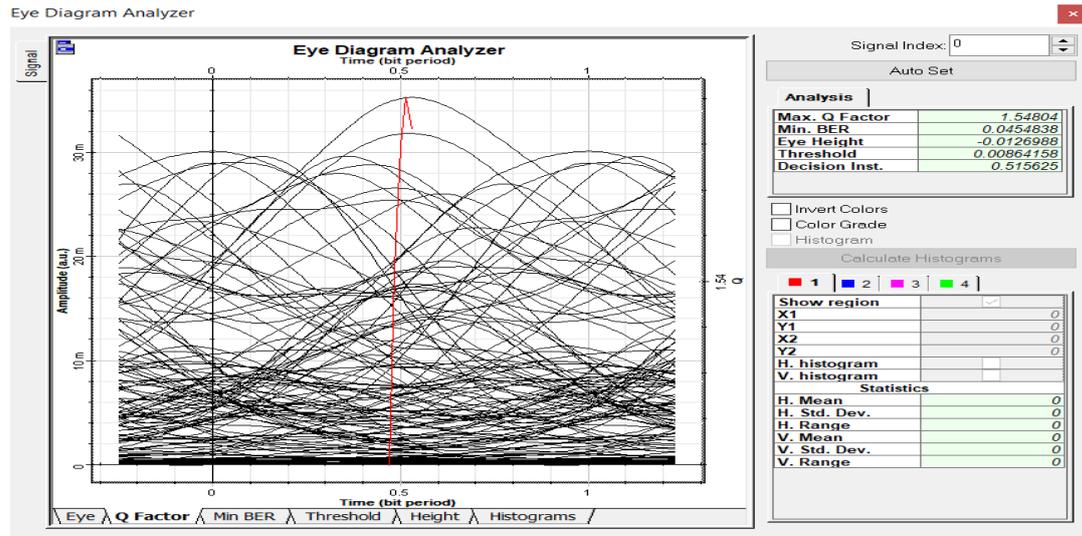
Figure.III.13 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance/ (Post-FBG)

On va afficher seulement les diagrammes de l’œil qui montre un résultat significatif :

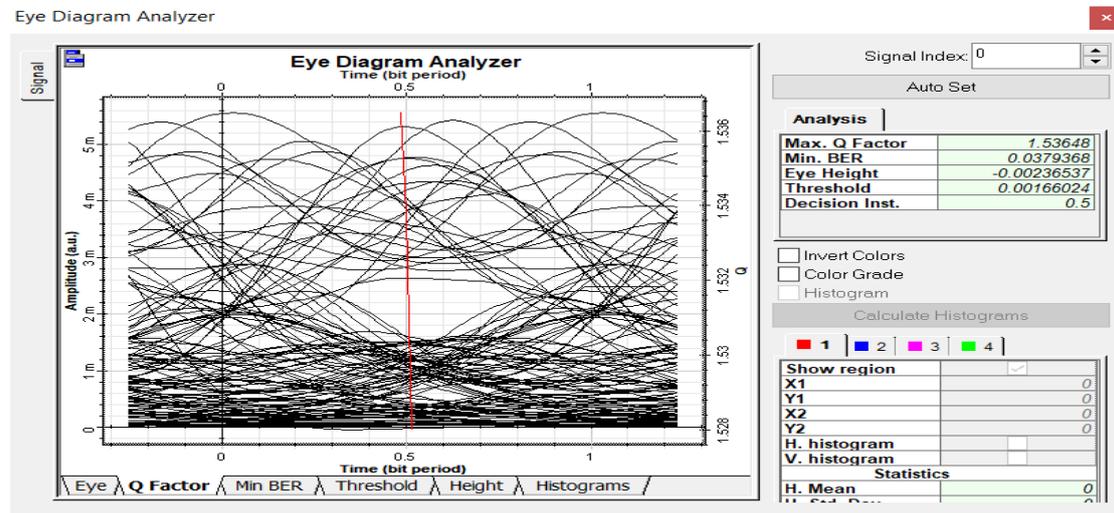
Les diagrammes de l’œil correspondant à les Basse Puissances (-15 dBm ; -20 dBm et -30dBm) pour le technique de compensation FBG fibres à réseau de Bragg Post-FBG



(A) Post FBG Puissances (-15 dBm)



(B) Post FBG Puissances (- 20 dBm)



(C) Post FBG Puissances (- 30 dBm)

Figure III.14 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg(FBG) (Post FBG) avec les les deux Basse Puissances (A = -15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm)

-Dans la Figure (III.13 et III.14) pour l'analyse Post FBG qui représentent aussi des facteurs de qualité faibles avec $FQ = (1.46584 \text{ et } 1.54804)$ et un $\text{Min BER} = (0.0570846 \text{ et } 0.0454838)$ à (-15 dBm -20dBm), on a testé la simulation pour la Puissance (-30dBm) qui représentent aussi un facteur de qualité son changement notable $FQ = 1.53648$ et un $\text{Min BER} = (0.0379368)$.

5.3. Combinaisons de compensation (DCF) et (FBG) avec SOA :

Dans cette partie nous allons présenter les résultats de simulation obtenus en utilisant les mêmes composants de la simulation précédente (avec DCF modifié) :

Les paramètres de simulation utilisés sont présentés dans le tableau (III.9).

Tableau III. 9 : Paramètres de simulation avec FBG_ DCF.

DCF	
Longueur	10 Km
Atténuation	0.2 dB/Km
Pente de dispersion	-0.37ps/ nm ² /Km

Deux dispositions de compensation de la dispersion sont également utilisées pour compenser la dispersion, en fonction de la position des fibres (FBG_ DCF).

5.3.1. Pré- DCF_ FBG

Le FBG et DCF sont placés à l'entrée de la liaison optique et avant le SMF, l'amplificateur SOA est placé à la fin de liaison, comme indiqué sur la figure (III.15).

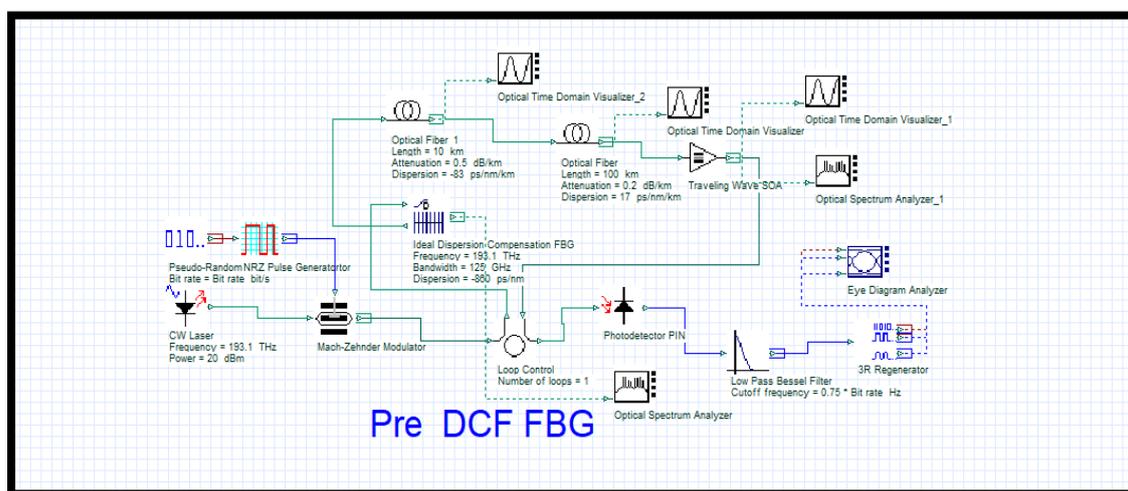


Figure III. 15 : Chaîne de simulation du Pré- DCF_ FBG.

5.3.2. Post- DCF_ FBG

Le FBG et DCF sont placés après le SMF qui est placé à l'entrée de liaison, l'amplificateur a semi- conducteur SOA est placé à la fin de liaison, comme indiqué sur la figure (III.16)

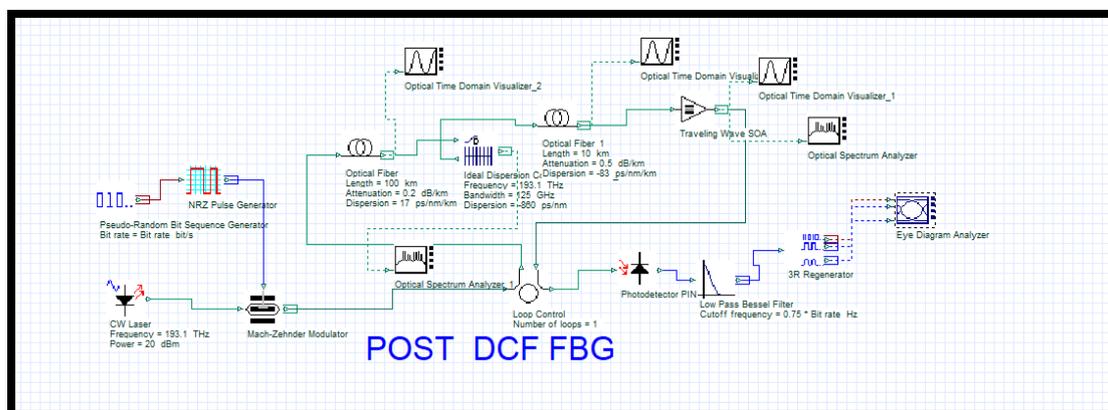


Figure III. 16 : Chaîne de simulation du Post- DCF_ FBG.

Les résultats de simulation de deux dispositions pour les deux dispositions **Pré-DCF_ FBG** et **Post-DCF_ FBG** avec (SOA) sont représentés dans les deux tableaux suivants

➤ Analyse Pré-DCF_ FBG

Tableau.III.10 : Analyse de Pré-DCF_ FBG.

Résultats de Simulation Pré-DCF_ FBG		
Puissance	Facteur de qualité Q	MIN BER
20 dBm	1,51503	0,0437751
15 dBm	1,61376	0,036293
10 dBm	1,8097	0,0230129
5 dBm	1,80485	0,021594
0 dBm	2,89431	0,00109472
-5 dBm	3,24308	0,000366163
-10 dBm	3,70604	8,33633e-5
-15 dBm	3,86668	4,57896e-5
-20 dBm	6,66452	8,29969e-8

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition Post-FBG sont représentés dans la figure (III .17) suivante :

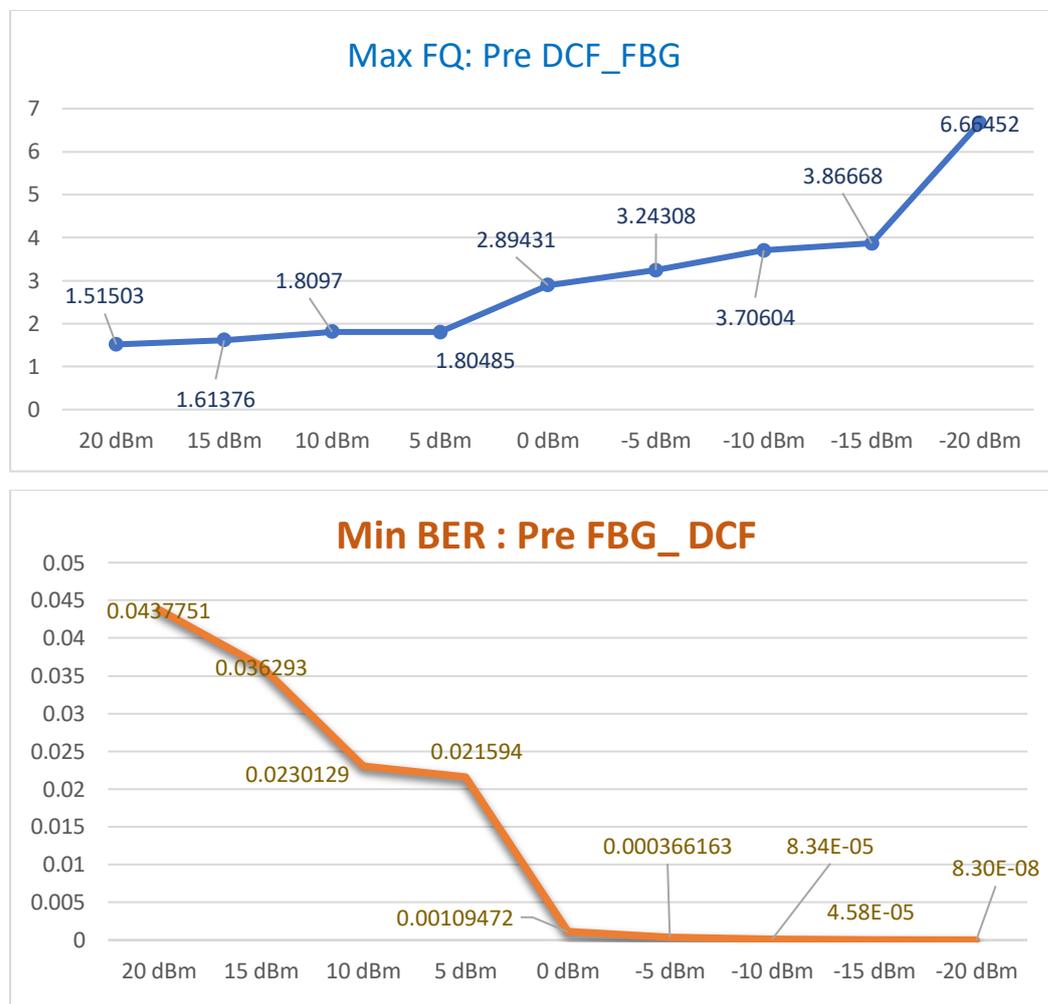
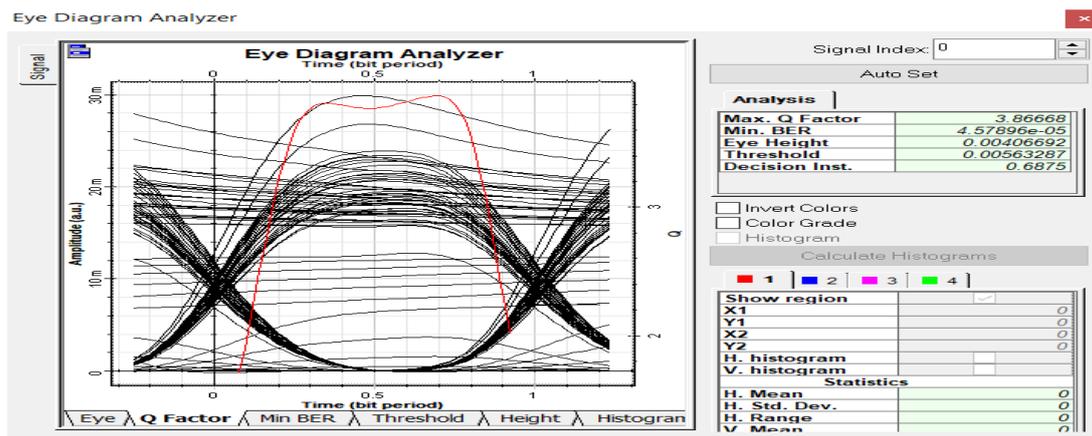
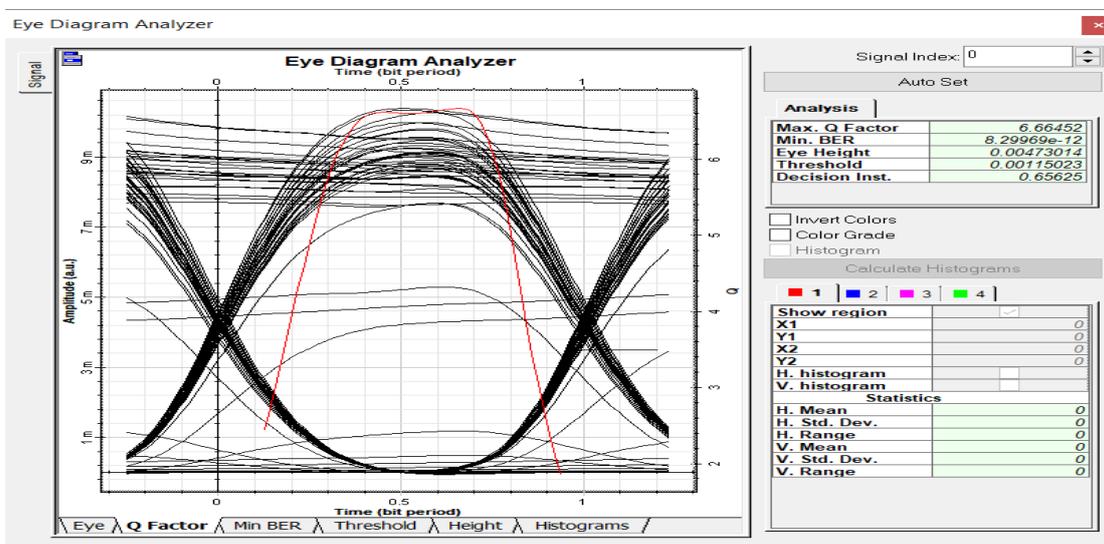


Figure III.17 : Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance / Pré-DCF_FBG .

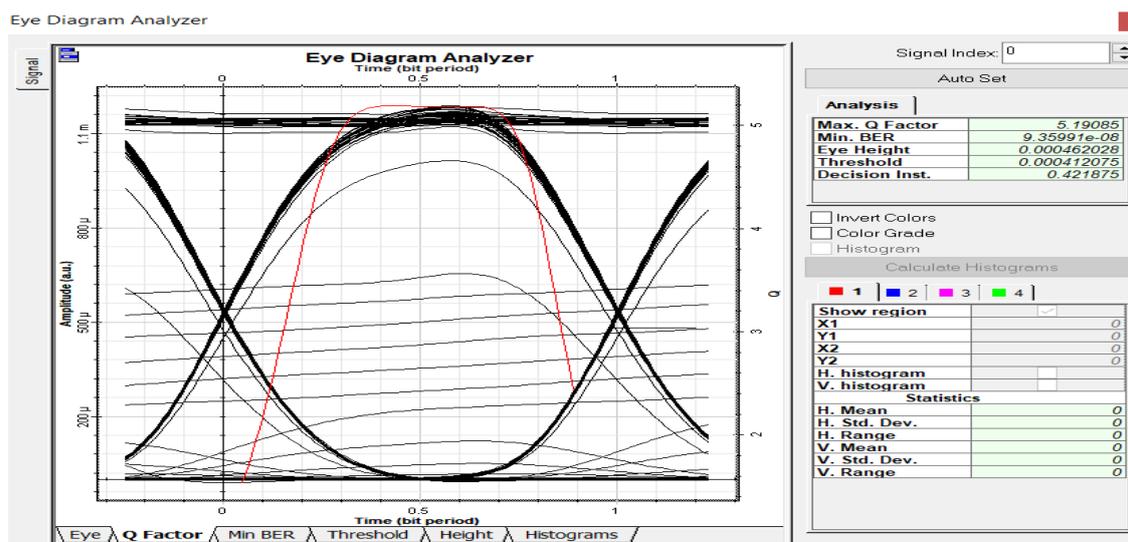
Nous avons affiché Les diagrammes de l’œil correspondant à les Basse Puissances (-15 dBm , -20 dBm et -30dBm) pour le technique de compensation Pré-DCF_FBG Avec amplificateur a semi-conducteurs (SOA) .



(A)Pré DCF_FBG Puissances (- 15dBm).



(B)Pré DCF_FBG Puissances(- 20dBm)



(C)Pré DCF_FBG Puissances (- 30 dBm).

Figure III.18 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Pré -DCF_FBG avec les Basses Puissances (A= -15 dBm et B =-20dBm et C =-30dBm)

-La compensation Pré- FBG_ DCF avec SOA montre des bons résultats pour les puissances basses (-15 dBm) et(-20 dBm) et devient plus performante a la puissance basse (-30dBm) avec un facteur de qualité $FQ = 5.19085$ et un $MinBER = 9.35991e-8$

➤ **Analyse Post-DCF _FBG**

Tableau.III.11 : Analyse de Post-DCF _FBG.

Résultats de simulation Post-DCF _FBG		
Puissance	Facteur de qualité Q	MIN BER
20 dBm	1,20254	0,1092220
15 dBm	2,98937	0,00101595
10 dBm	3,75492	6,19336E-05
5 dBm	3,3192	0,000368959
0 dBm	4,10114	1,91754-05
-5 dBm	4,13545	1,08106E-05
-10 dBm	4,19261	9,2717E-06
-15 dBm	4,89581	4,29253E-07
-20 dBm	6,13434	4,05033E-09

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition **Post-DCF _FBG** sont représentés dans la figures suivante :

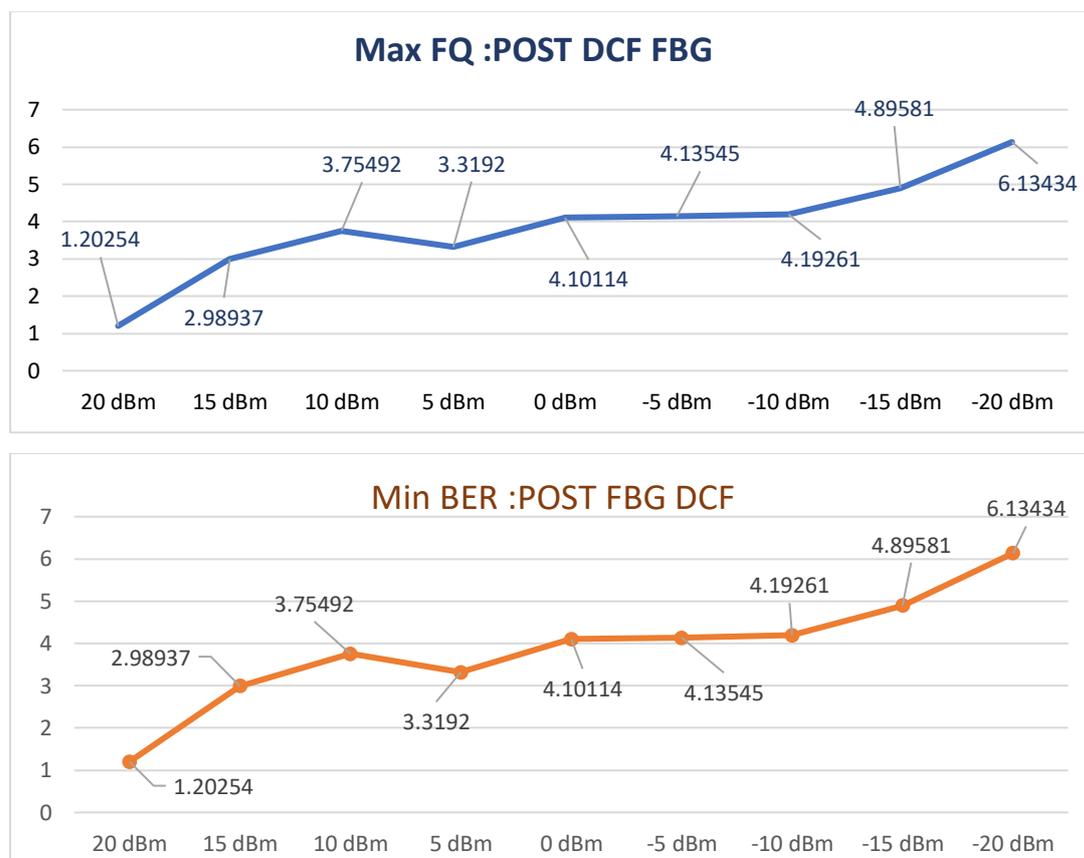
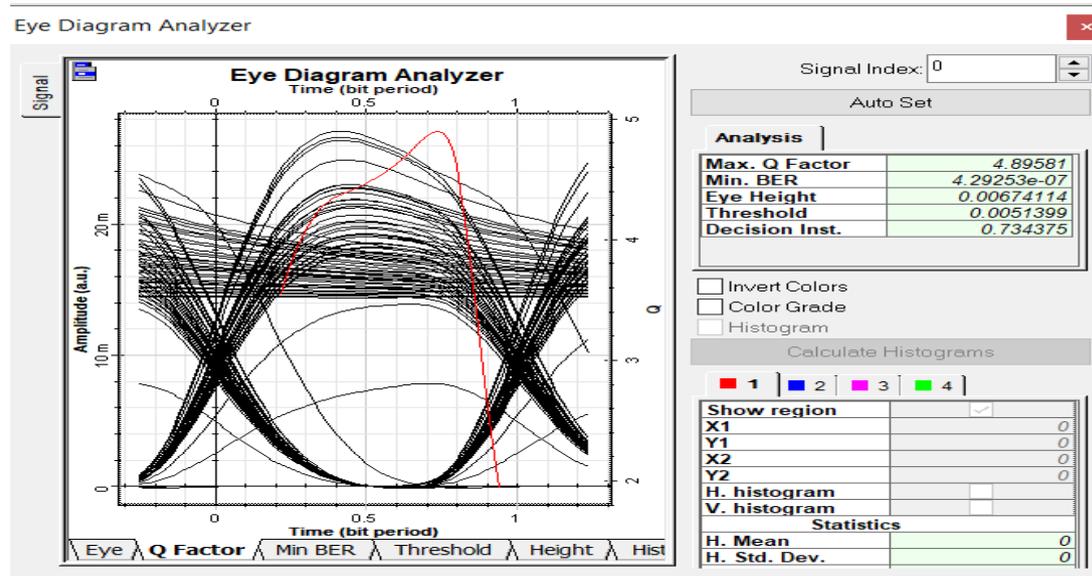
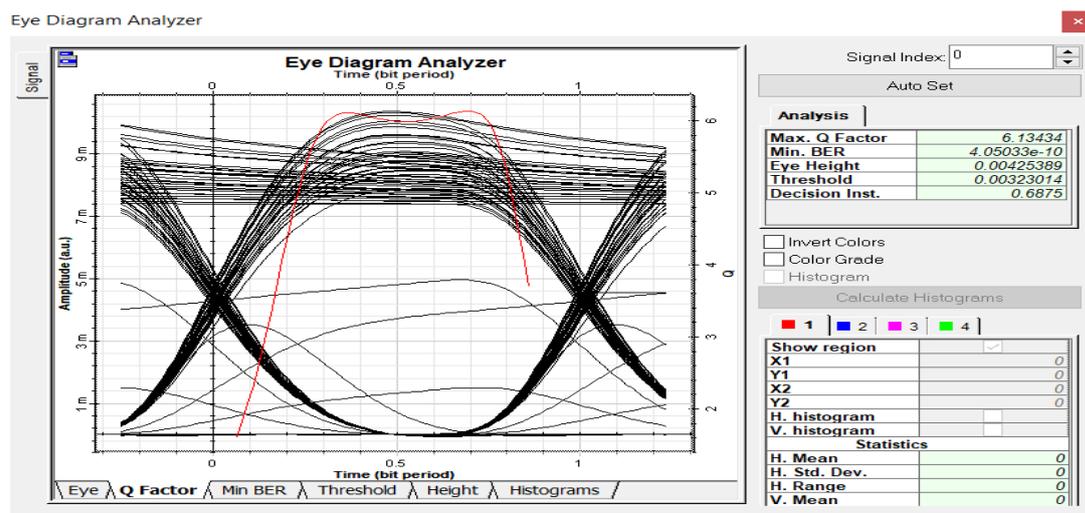


Figure III.19: Facteur de qualité et min ber en fonction de puissance Post-DCF_FBG.

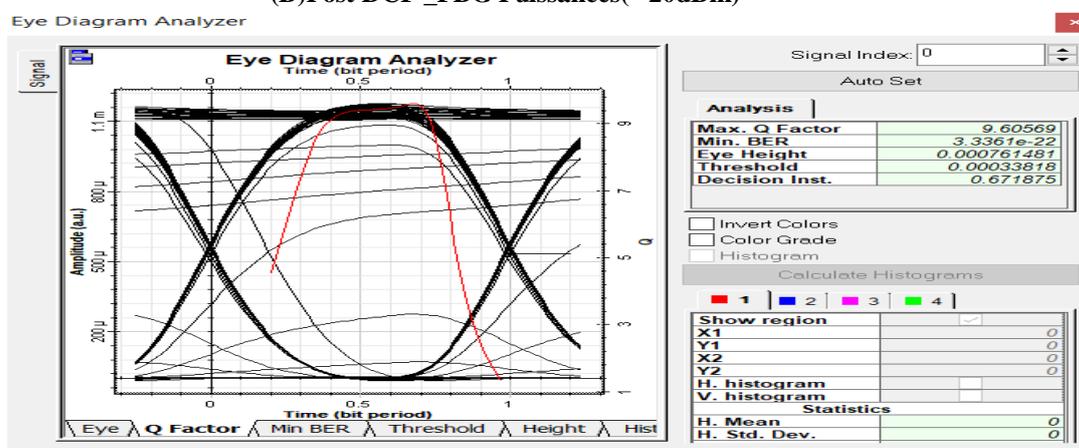
Les diagrammes de l’œil correspondant à les Basse Puissances (-15 dBm ; -20 dBm et -30dBm) sont exposé ici pour des disposition de compensation post DCF_FBG avec (SOA).



(A)Post DCF_FBG Puissances (-15dBm)



(B) Post DCF_FBG Puissances (- 20dBm)



(C) Post DCF FBG Puissances (- 30 dBm)

Figure III.20 : Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion Post -DCF_FBG avec les Basses Puissances (A = - 15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm)

On a testé la puissance (-30 dBm) , le résultat est meilleur avec un facteur de qualité $FQ=9.60569$ et un $\text{Min BER}=3.3361e-22$ ça confirme que la compensation Post DCF FBG avec SOA apporte des meilleurs contribution pour la transmission sur fibre a des puissances basses (-15 dBm et -20dBm et -30dBm)

- Les diagrammes de l'œil correspondant à différents Puissances (20 a -20dBm) pour les Deux techniques de compensation DCF , Pré-DCF_FBG et Post-DCF_FBG et une Fréquence 193.1THz Sont représentés sur les figures dans le tableau suivant :

Tableau III.12 : Diagrammes de l'œil pour Pré-DCF_FBG, Post-DCF_FBG, avec le différentes puissances

PUISSANCE	Pré-DCF_FBG	Post-DCF_FBG
20dBm		
10dBm		
0dBm		
-10dBm		
-20dBm		

5.4. Chaîne de transmission symétrique avec Fibres compensatrices de dispersion chromatique (DCF) et compensateur de dispersion Fibres à réseau de Bragg (FBG) avec SOA :

Dans cette partie nous allons présenter les résultats de simulation obtenus en utilisant les mêmes composants de la simulation précédente deux amplificateurs optiques a semi-conducteurs SOA

5.4.1. Prépost FBG -DCF

La position de la fibre suit la séquence suivante :

- La premier disposition FBG_DCF et sont placés à l'entrée de la liaison avant SMF 1 puis l'amplificateur SOA1 se trouve a la fin de premier liaison
- la deuxième disposition FBG_DCF est placé à la sortie de la liaison optique après le SMF2 et avant l'amplificateur SOA2 comme illustré dans la (Figure III.21) montre une chaîne de simulation du Pré-post FBG DCF

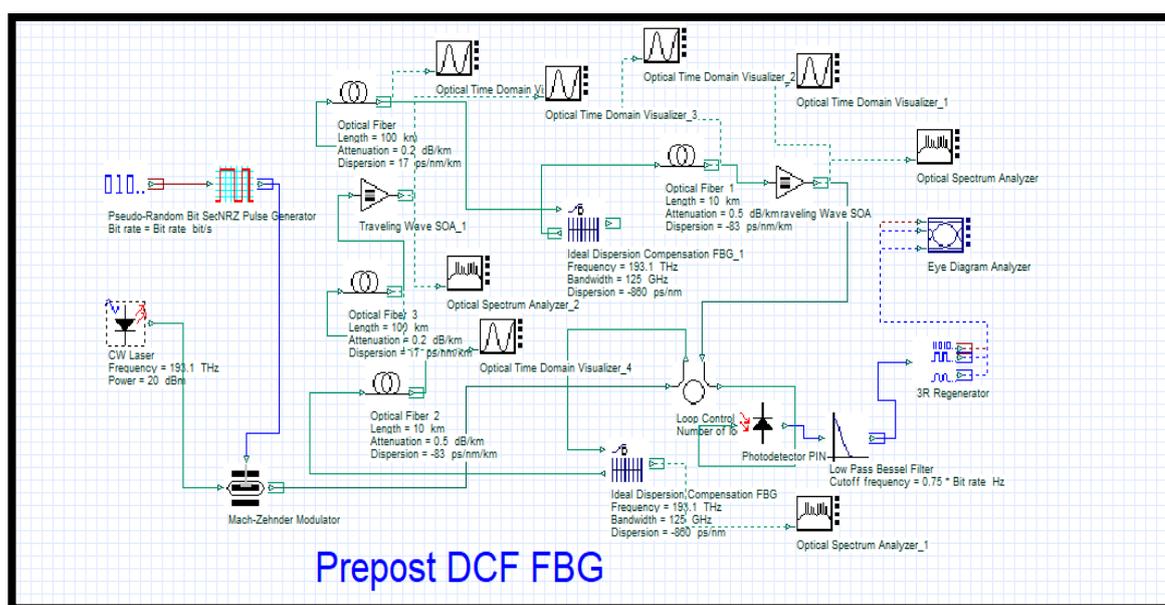


Figure III.21 : Chaîne de simulation du Prépost-DCF_FBG.

Les résultats de simulation de cette chaine symétrique Prépost-DCF_FBG sont représentés dans le tableau suivant :

➤ Analyse Prépost -DCF_FBG

Tableau.III.13: Analyse de Prepost-DCF_FBG.

Résultats de Simulation Post-DCF_FBG		
PUISSENCE	Facteur de qualitéQ	MIN BER
20 dBm	1,45476	0,0609483
15 dBm	1,62287	0,0402424
10 dBm	1,43609	0,0426495
5 dBm	1,21807	0,0753861
0 dBm	1,09500	0,0917155
-5 dBm	0,945243	0,137096
-10 dBm	0,955378	0,149146
-15 dBm	2,46008	0,00565066
-20 dBm	1,41833	0,0501267

Le Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance à la disposition Post-FBG sont représentés dans la figures suivante

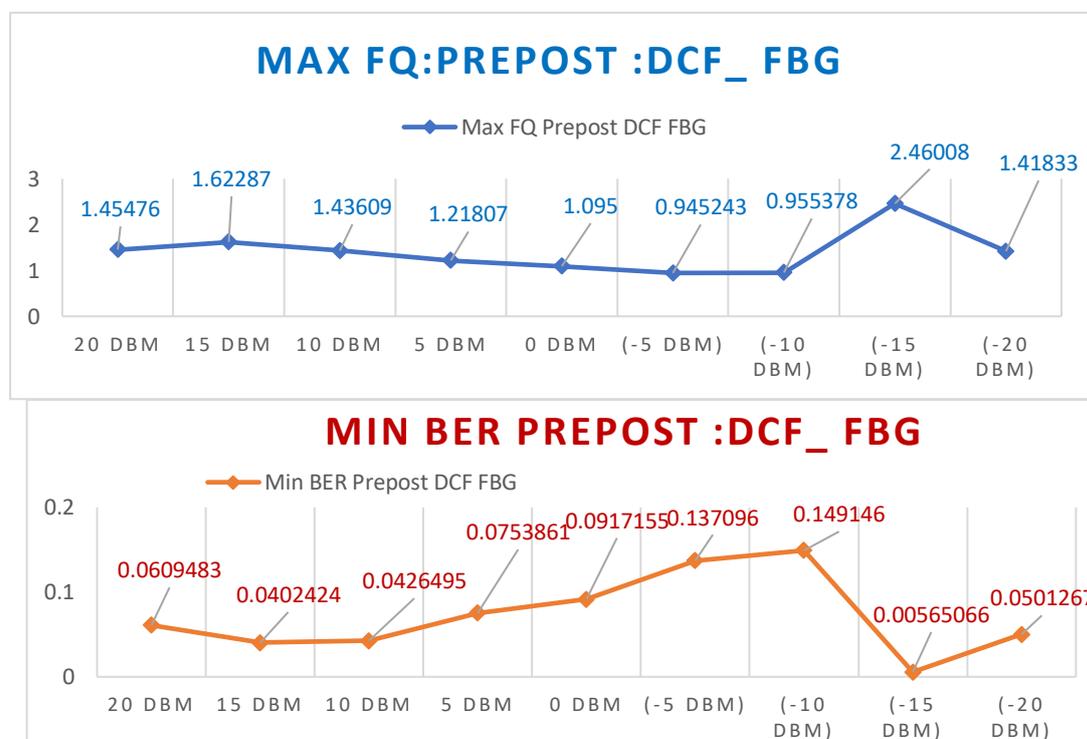
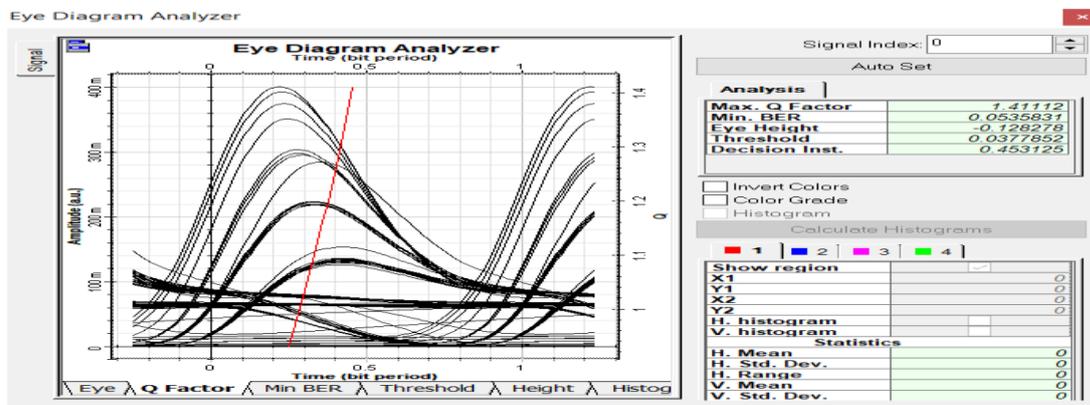
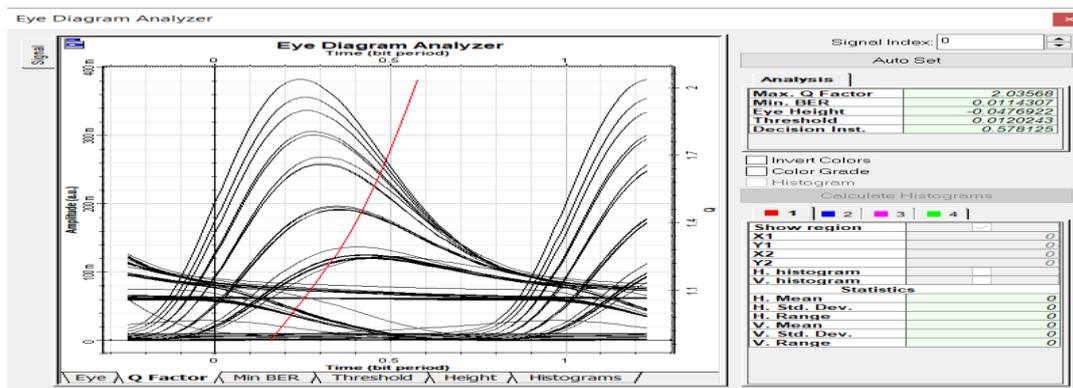


Figure III.22: Facteur de qualité FQ et Min BER en fonction de puissance Prepost-DCF_FBG

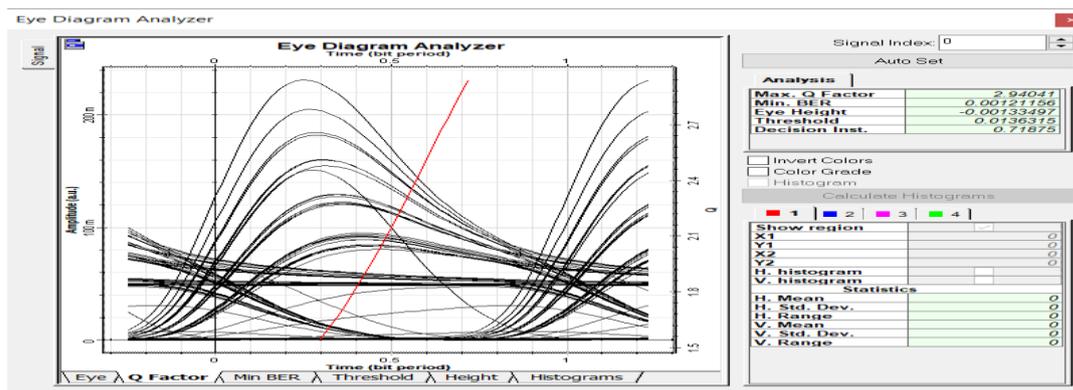
Les diagrammes de l'œil correspondant à les Basse Puissances (-15 dBm ; -20 dBm et -30dBm) pour la compensation symétrique Prepost DCF_ FBG Avec amplificateur a semi-conducteurs (SOA)



(A)Prépost DCF_ FBG Puissances (- 15dBm)



(B)Prépost DCF_ FBG Puissances(- 20dBm)



(C)Prépost DCF_ FBG Puissances (- 30 dBm)

Figure III.23: Diagramme de l'œil du compensateur de dispersion symétrique Prepost - DCF_ FBG avec les Basse Puissances (A= -15 dBm et B = -20dBm et C = -30dBm)

-Dans la Figure (III.22 et III.23) et d'après le tableau (III.16) pour l'analyse Pre post DCF_FBG la simulation montre des moins bons résultats avec cette compensation le facteur de qualité FQ est très faible et un Min BER qui avoisine le zéro ; On a testé avec la puissance -30 qui s'est avérée non performante avec des résultats aussi faibles.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons étudié des différentes chaînes de dispositions optiques.

- Dans un premier temps on a simulé une chaîne de transmission optique avec le compensateur de dispersion chromatique (DCF) avec l'amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) en utilisant : Pré-DCF, Post-DCF la disposition Pré-DCF représente les meilleures valeurs à la puissance basse (-15dBm) et qui peut être utilisable dans la transmission à faible puissance
- En suite on a aussi fait une simulation d'une chaîne de transmission optique avec lcompensateur de dispersion FBG et (SOA) en utilisant : Pré-FBG, Post-FBG les deux dispositions représentent des résultats plus faibles par rapport à la disposition avec DCF
- Dans la troisième simulation on a simulé une chaîne de transmission optique avec combinaison (DCF_FBG et (SOA) en utilisant : Pré-DCF _FBG , Post-DCF_FBG les deux dispositions représentent des bons résultats avec les deux dispositions Pré et Post aux puissances les plus basses (-20 dBm ; -30 dBm)
- A la fin on a simulé une chaîne de transmission optique avec une compensation de dispersion symétrique (DCF_ FBG) et (SOA) en utilisant la technique symétrique : Pré post-DCF _FBG avec ; cette disposition représente de moins bons résultats. Avec cette compensation le facteur de qualité est très faible et le Min BER avoisine le zéro et les résultats de la simulation de cette chaîne aux puissances basses (-20 dBm ; -30 dBm) sont très faibles a comparé avec ceux des dispositions Pre post DCF_ FBG

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire est consacré à faire l'étude de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant les techniques de la compensation : fibre à réseau Bragg (FBG) avec l'amplificateurs optique SOA et la fibre compensatrice (DCF) associé à l'amplificateurs optique SOA dans la chaîne de transmission optique, ou différents modèles de la compensation de la dispersion ont été considérés

- Fibre compensatrice de dispersion chromatique (DCF) avec SOA dans les dispositions Pré-DCF et Post-DCF
- Chaîne de transmission avec compensateur de dispersion Fibre à réseau de Bragg(FBG) avec SOA dans les dispositions Pré-FBG et Post-FBG
- Chaîne de transmission avec Fibre compensatrice de dispersion chromatique (DCF) et compensateur de dispersion Fibre à réseau de Bragg (FBG) avec SOA Pré-FBG-DCF et Post-FBG-DCF
- Chaîne de transmission symétrique avec Fibres compensatrices de dispersion chromatique (DCF) et compensateur de dispersion Fibre à réseau de Bragg (FBG) avec SOA.

Après la simulation des ces chaines nous avons obtenu les résultats suivantes :

- L'utilisation de la compensation pré DCF avec SOA c'est avéré plus performante que le poste DCF avec l'utilisation de SOA comme amplificateur optique au puissance basse (-15 dBm, -30dBm)
- L'utilisation de compensation FBG associé à SOA n'apporte aucune amélioration au système de transmission et elle donne des faibles résultats pour toutes les puissances utilisées
- Pour les combinaisons Pré et Post DCF-FBG : se sont avérées plus compétitive avec SOA aux puissances basses (-20 dBm,-30dBm) et plus encore avec la disposition post DCF-FBG
- Pour la compensation symétrique avec SOA ; elle n'apporte pas de changement appréciable dans la transmission avec toutes les puissances testées.

Finalement, nous avons choisi d'utiliser SOA pour étudier le comportement de la ligne transmission optique avec les différentes combinaisons de compensation DCF, FBG. Ces résultats confirment que le système peut être affecté par le gain de saturation de l'amplificateur SOA qui provoque des non-linéarités avec les longues distances dans la fibre optique ; on utilise alors les amplificateurs EDFA

Perspectives

Étant donné que SOA est couramment utilisé pour la détection de décalage des ondes, il serait très intéressant de tester ces avantages avec l'association de la DCF et ou FBG pour améliorer certains aspects de recherches antérieures.

Les Références

Références Chapitre I

- [1] Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Limoges, Thème : Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA, présenté par : Y. ZOUINES, Année 2005.
- [2] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, Thème : Contrôle de la dispersion chromatique dans les fibres à cristaux photoniques à profile d'indice non standard, présenter par : Ahmed Ouadgui . Année 2010.
- [3] <https://emrecmic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-des-fibres-optiques/>
- [4] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Option : Réseaux Architecture et Multimédia par Wassila BERROUANE. Thème : Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-nitrides. Année : 2018.
- [5] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s ; Présenté par : KIMBIRI Seydou, KPEMISSI EYANA Piham ; Année 2013.
- [6] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication.Option Réseaux et Systèmes de Télécommunication.THEME : Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s ; Présenté par Melle BILLAMI HananeMelle BENDAHMANE Raouida ; Soutenu en juin 2013.
- [7] Y. Sumaetu, K.IGA, "Transmissions sur fibres optiques ", Edition Masson, 1984.
- [8] THESE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat par Victor Girondin. Thème : Etude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe. Année : 2016
- [9] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Etude d'une liaison de transmission optique avec application sur L'OMS1200; Présenté par : Boukhdedenna seif allah, Bendiaf Mouloud, Année 2016
- [10] R. Ludwig, U. Feiste, E. Dietrich, H. G. Weber, D. Breuer, M. Martin, F. Kupperts, «Experimental comparison of 40Gbit/s RZ and NRZ transmission over standard single mode fibre »,Electron.Lett. , Vol. 35, N° 25, pp. 2216- 2218, December 1999.
- [11] http://www.rp-photonics.com/erbium_doped_fiber_amplifiers.html
- [12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_optique.com

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

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

Références Chapitre II

[1] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : Etude d'une liaison de transmission optique avec application sur L'OMS1200; Présenté par : Boukhdedenna seif allah, Bendiaf Mouloud, Année 2016

[2] Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER. Thème : la technologie Radio sur Fibre optique; Présenté par : Z.sidi ali mebarek; Année 2014

[3] Nsengiyumva, I., Mwangi, E., & Kamucha, G. (2022). Performance Analysis of a Linear Gaussian- and tanh-Apodized FBG and Dispersion Compensating Fiber Design for Chromatic Dispersion Compensation in Long-haul Optical Communication Networks.

[4] Bernier, M. (2010). Inscription de réseaux de Bragg à fibre optique à l'aide d'impulsions brèves et applications aux lasers à fibre (Mémoire de maîtrise). Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec

[5] Kaplan, N., Jasenek, J., Červeňová, J., Ušáková, M., 2018. Magnetic optical FBG sensors using optical frequency-domain reflectometry IEEE Trans. Magn. 55 (1), 14.

[6] Koo, K.N., Ismail, A.F., Othman, M.H.D., Samavati, A., Tai, Z.S., Rahman, M.A., Bakhtiar, H., Mat, M.A., 2020. Fabrication and modification of temperature FBG sensor: role of optical fiber type and Cu sputtered thickness. Phys. Scr. 95 (9), 095509.

[7] Hill, K.O., Fujii, Y., Johnson, D. C., Kawasaki, B. S. (1978) "Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection fiber fabrication", Appl. Phys. Lett. 32 (10): 647.

[8] Meltz, G., Morey, W., Glenn, W., (1989) "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method", Opt. Lett. 14 (15): 823.

[9] XunqiWu « Etude de cavités optiques formées de miroirs de Bragg à réseaux à pas variable: application aux filtres et lasers » Supélec, 2012. Français. NNT:

[10] [www.photoniques.com/http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168041](http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168041).

[11] J.R. Dunphy et al., "Embedded optical sensor capable of strain and temperature measurement using a single diffraction grating", issued March 21, 1995.

[12] Chaluvadi V Naga Bhaskar, Subhradeep Pal, Prasant Kumar Pattnaik "Recent advancements in fiber Bragg gratings based temperature and strain measurement"

Elsevier SciencesDirect Results in Optics 5 (2021) 100130.

Références Chapitre III

[1] OptiSystem Getting Started Optical Communication System Design Software Copyright © 2014 Optiwave.

[2] «Etude et planification du réseau FTTH pour les transmissions optiques à haut débit» Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, Mémoire du Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme deMaster, Année Universitaire: 2017/2018.

[3] HALASSA Manal et KHEMISSAT «Yasmine Etude Des Réseaux De Bragg Dans LesFibres Optiques Projet de fin cycle Université de KASDI MERBAH OUARGL Année Universitaire : 2019 /2020.