

République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB BLIDA 1
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MESTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunications (ST)

Intitulé du mémoire :

Contribution de la modulation DPSK dans les systèmes de transmission optique

Présenté par : DJIAR ASMA & BOUKRID HICHEM

Soutenu le 19 juin 2023

Mme. N. BOUTALEB

MAA

U.Blida 01

Promotrice

Mr. S. ZAIR

MAA

U.Blida 01

Président

Mme. Z. BERKET

MCB

U.Blida 01

Examinatrice

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*On exprime toute notre reconnaissance et nos particuliers remerciements à notre promotrice, **M^{me} Boutaleb**, qui nous a permis de réaliser ce travail pour son suivi permanent et fait confiance durant notre projet avec une grande patience, ses conseils, ses lectures attentives, sa expérience dans la recherche et l'enseignement ainsi que sa disponibilité. On a beaucoup apprécié son enthousiasme pour la recherche. Elle nous a largement fait profiter de son expérience dans le domaine de communication optique. Les échanges que nous avons pu avoir avec elle ont été très enrichissants. Elle a assuré l'encadrement au quotidien du mémoire.*

Nous remercions sincèrement les membres du jury chacun par son propre nom pour l'honneur et l'intérêt qu'ils nous ont accordé en acceptant d'examiner et d'évaluer notre mémoire.

On adresse nos sincères remerciements à tous les enseignants de département d'électronique et particulièrement les professeurs de l'option « Télécommunication » et à tous les professeurs, tout au long de notre parcours universitaire, et également toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé notre réflexion.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience, à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de cette mémoire.

Merci à tous et à toutes, à nos parents, à nos frères, à toute la famille et les amis.

Dédicace

Les années ont passé très vite, avec leur douceur et leur amertume, avec leur fatigue et joie. Je suis très fier d'où je suis et où je suis maintenant. Ce n'était pas facile, mais je l'ai fait Après 18 ans de labeur, me voilà aujourd'hui, je le conclus par cette dédicace. Vraiment, il est dommage que nous soyons arrivés au bout, mais tout commencement a une fin.

*Avant tout, je voudrais avoir pitié de mon grand-père « **AHMED** », et je voudrais perpétuer sa mémoire en ce jour glorieux. Je sais que si tu étais présent avec moi ce jour-là, tu serais fier de ce que je suis maintenant mais, Dieu interdit ce qu'il veut faire. Que Dieu ait pitié de toi mon amour, et t'accorde le plus haut des paradis. Et à ma grand-mère « **KHADIDJA** », tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite.*

*À mon oncle maternelle « **MOHAMED** », tu as toujours été mon fan et mon soutien. Les mots ne suffisent pas vraiment pour te remercier, je ne peux pas te rendre un peu de ce que tu as fait pour nous. Je peux juste dire Que Dieu te bénisse au-dessus de nos têtes et prolonge ta vie.*

*À mes chères parents « **AHCENE** » & « **AMINA** », je dédie ce mémoire à vous autant de phrases et d'expressions soit-il ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Vos conseils, vos patiences sans fin, vos compréhensions et vos encouragements sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester toujours votre fierté et ne jamais vous décevoir. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour vous, reçoit ce travail en signe de ma reconnaissance et profonde. Que Dieu vous donne tout puissant vos préservez, vous accorde la santé, le bonheur, quiétude de l'esprit et vous protège de tout mal.*

*À mon frère et mon soutien « **ABDERRAHMANE** » et m'adorable sœur « **LAMIA** », ma cousine et ma princesse « **MERIEM** », mon fils et mon chat « **Félix** », je vous souhaite une vie pleine de bonheur, succès et des objectifs atteints. Que Dieu vous protège et vous garde toujours pour nos.*

*À la plus importante dans ma vie ma tante « **HAMIDA** » et sa petite famille, je vous remercie beaucoup pour votre encouragement, votre soutien et votre aide, je porte beaucoup de tendresse et de respect à vous. Que Dieu vous protège à moi et vous accorde le bonheur dans votre vie.*

*Un spécial dédicace à ma chère cousine « **WALAA** » et mes belles et chères **cousines** et mes beaux **cousins** chacun par son propre nom. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur, succès et des objectifs atteints. Que Dieu vous protège et vous garde.*

À tous mes oncles et toutes mes tantes chacun par son propre nom, à toute la famille en générale.

À tous les gens qui m'ont accompagné durant cette année et les années précédentes et à tous mes connaissances, je vous souhaite une vie pleine de bonheur, succès et des objectifs atteints. Que Dieu vous protège et vous garde.

*Et à la fin, j'adresse mes sincères dédicaces à mon ami et mon binôme « **HICHEM** », mon meilleur « **RIAD BEN** », mes amis « **JASS** », « **HOUTA** », « **AYOUB** », « **ISLEM** », « **MERIEM** », « **NADJET** », « **MANEL** », « **Naro** » et toute la **promo M2_ST** chacun par son propre nom, qui ont des cœurs remplis d'amour et d'amitié.*

Asma

Dédicace

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant Formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À Mes Sœurs Fella et Yousra , mon frères Zakaria sans oublier la petite Ines .

À toute ma famille et surtout à mes tantes et mon oncle.

À toute mes amies

Merci pour tout

Hichem



Résumé

الملخص:

يهدف مشروع نهاية الدراسة هذا إلى تحسين أنظمة نقل الألياف الضوئية باستخدام تعديل الكثافة البصرية الخارجية بمعدل 40 جيجابت / ثانية. واستكشاف تنسيقات التشكيل الثنائي و "DPSK" لتحسين أداء هذه الأنظمة، ولا سيما تلك التي تستخدم تقنية تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي ل "WDM".

الكلمات المفتاحية: أنظمة الإرسال، الألياف البصرية، التعديل الثنائي، تقنية DPSK، تقنية تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي WDM.

Résumé :

Ce projet de fin d'étude vise à optimiser les systèmes de transmission par fibre optique en utilisant la modulation optique externe d'intensité à 40 Gbits/s, et à explorer les formats de modulation duobinaire et DPSK pour améliorer les performances de ces systèmes, en particulier ceux utilisant la technique de multiplexage en longueurs d'onde WDM.

Les mots-clés : les systèmes de transmission, fibre optique, la modulation duobinaire, DPSK, la technique de multiplexage en longueurs d'onde WDM.

Summary:

The aim of this end-of-study project is to optimize optical fiber transmission systems using external optical intensity modulation at 40 Gbps, and to explore duobinary and DPSK modulation formats to improve the performance of these systems, in particular those using the WDM wavelength-division multiplexing technique.

Keywords: transmission systems, optical fibre, duobinary modulation, DPSK, WDM wavelength division multiplexing technique.



TABLE DES MATIERES

TABLEAU DES MATIERES

Remerciement

Dédicace

Résumé

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE.....01

CHAPITRE I :Généralités sur la fibre optique

I.1. Introduction..... 02

I.2. Structure de la fibre optique 02

I.3. Fenêtres de transmission optique..... 03

I.4. Types de la fibre 04

I.5. Caractéristiques des fibres monomodes..... 06

I.5.1. Dimensions 06

I.5.2. Fréquence normalisée de coupure 06

I.5.3. Bande passante 06

I.5.4. Effets linéaires et non linéaires dans la fibre optique..... 07

I.6. Bilan optique 12

I.7. Avantages 13

I.8. Applications..... 14

I.9. Conclusion : 15

CHAPITRE II : Système de transmission par la fibre optique

II.1. Introduction..... 17

II.2. Architecture d'un Système de transmission par fibre optique 17

II.2.1. Bloc d'émission..... 18

II.2.2. Canal de communication..... 21

II.2.3. Bloc de réception 21

II.2.4. Multiplexage en longueur d'onde (WDM) 24

II.2.5. Amplificateur optique 24

II.3. Formats de modulation 26

II.3.1. Principe..... 26

II.3.2. Codages en intensité (OOK) 27

II.3.3. Codages duobinaires 30

II. 4. Comparaison entre les différents formats 31

II.5. Conclusion 31

CHAPITRE III: Simulation et Résultats

III .1. Introduction..... 33

III.2. Logiciel OptiSystem	33
III.3. Edition et simulation :	34
III.4. Critères d'évaluation	36
III.4.1. Le facteur de Qualité.....	36
III.4.2. Le diagramme de l'oeil.....	37
III.5. Travaux de simulation	38
III.5.1. Etude de la modulation externe de l'intensité.....	38
III.5.2. Comparaison entre trois systèmes optique modulé en : intensité, duobinaire et DPSK.....	43
III.5.3. Comparaison d'un système modulé en : intensité et DPSK.....	48
III.5.4. Comparaison d'un systèmes WDM modulé en : intensité, duobinaire et DPSK.....	53
III.6. Conclusion	57
CONCLUSION GENERALE :	59
ABRIVIATION	61
BIBLIOGRAPHIE	63



LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Structure interne d'une fibre optique.....	03
Figure 1.2 : Fenêtres de transmission optique.....	04
Figure 1.3 Structure interne d'une fibre optique.....	06
Figure 1.4 : L'effet d'atténuation.....	08
Figure 1.5 : Courbe de l'atténuation d'une fibre en fonction de la longueur d'onde [1.5].....	08
Figure 1.6 : Effet de la dispersion chromatique.....	11
Figure 2.1 : Schéma synoptique d'un système de communications par fibre Optique.....	17
Figure 2.2 : Schéma synoptique du liaison optique modulé en directe.....	18
Figure 2.3 : Schéma synoptique du liaison modulée indirectement.....	20
Figure 2.4 : Photo diode PIN.....	22
Figure 2.5 :Schéma de principe du multiplexage WDM avec 3 longueurs d'onde. [2.1].....	24
Figure 2.6 : Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium.....	25
Figure 2.7 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format OOK.....	28
Figure 2.8 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format DPSK.....	29
Figure 2.9 : schéma d'un détecteur différentiel pour DPSK (T : retard d'un temps-bit).....	30
Figure 2.10 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format duobinaire optique.....	30
Figure 3.1: Interface graphique du logiciel OptiSystem.....	34
Figure 3.2 : Le paramétrage d'un composant [3.3].....	34
Figure 3.3: Modification des paramètres globale du layout [3.2].....	35
Figure 3.4: Démarrage de la simulation [3.2].....	35
Figure 3.5: Diagramme de l'œil de la partie réception. [3.3].....	37
Figure 3.6: Interprétations des diagrammes de l'œil.....	37
Figure 3.7: topologie de la modulation d'intensité compensation.....	39
La figure 3.8 : le facteur de qualité Q en fonction de la variation du débit.....	40
Figure 3.9:Q en fonction de la distance d'un système modulé en intensité sans compensation de la dispersion.....	41
Figure 3.10 : Topologie d'un système modulé en intensité avec compensation de la dispersion.....	42
Figure 3.11 Q en fonction de la distance d'un système modulé en intensité avec compensation de la dispersion.....	43
Figure 3.12: topologie de la modulation duobinaire.....	44
Figure 3.13 : topologie de la modulation DPSK.....	45
Figure 3.14 : Q en fonction du débit d'un système modulé en duobinaire.....	46
Figure 3.15 : Q en fonction du temps dans un système modulé en DPSK.....	47
Figure 3.16: Schéma synoptique de système à 10Gbit/s dans les applications SMF NRZ.....	49
Figure 3.17 : Schéma synoptique des systèmes non-linéarités de la fibre et de la dispersion monocanal.....	50
Figure 3.18 : Le diagramme d'oeil d'un schema synoptique de système modulé en intensité à 100 Km.....	51
Figure 3.19 : Le diagramme d'oeil un système modulé en DPSK à 100 km.....	51
Figure 3.20: Le graphe de Q en fontion de variation de la distance dans le système en intensité.....	52
Figure 3.21 : Le graphe de Q en fontion de variation de la distance dans le système en DPSK.....	52
Figure 3.22: Système optique WDM avec 7 canaux.....	54
Figure 3.23: Le diagramme de l'intensité.....	55
Figure 3.24: Le diagramme de la duobinaire.....	55
Figure 3.25: Le diagramme de la DPSK.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Comparaison entre les fibres monomodes et multimodes.	05
Tableau 2.1 : comparaison entre les différents formats de modulation.	31
Tableau 3.1 : paramètres de composants.....	40



Introduction Générale

Introduction

La modulation DPSK (differential phase shift keying) est une technique de modulation optique utilisée dans les systèmes de transmission optique. Elle consiste à moduler la phase de la lumière transportée par la fibre optique, plutôt que son amplitude comme dans la modulation d'amplitude.

La modulation DPSK présente plusieurs avantages pour les systèmes de transmission optique. Tout d'abord, elle permet de réduire la sensibilité aux fluctuations d'amplitude du signal, ce qui peut être un problème dans les systèmes de transmission optique à longue distance. De plus, la modulation DPSK permet de réduire l'effet de la dispersion chromatique, qui est un phénomène qui affecte la qualité du signal en raison de la variation de la vitesse de propagation de la lumière selon la longueur d'onde.

En outre, la modulation DPSK permet d'augmenter la capacité de transmission des données en utilisant des niveaux de modulation supplémentaires, tels que la modulation quadrature (QPSK) ou la modulation à amplitude quadrature (QAM), qui peuvent être combinées avec la modulation DPSK.

Cependant, la modulation DPSK peut être plus complexe à mettre en œuvre que la modulation d'amplitude, car elle nécessite une détection de phase cohérente, ce qui peut être difficile dans certaines situations.

En somme, la modulation DPSK est une technique de modulation optique efficace pour les systèmes de transmission optique à longue distance, car elle permet de réduire les effets de la dispersion chromatique et d'augmenter la capacité de transmission des données. Cependant, elle peut être plus complexe à mettre en œuvre que d'autres techniques de modulation optique, et peut nécessiter des équipements plus sophistiqués pour la détection de phase cohérente.



CHAPITRE I :
Généralités sur la fibre optique

I.1. introduction

La fibre optique est une technologie de transmission de données à haute vitesse qui utilise la lumière pour transporter des informations sur de longues distances. Les réseaux de fibres optiques sont largement utilisés dans les domaines des télécommunications, de la téléphonie, de la télévision et des réseaux informatiques.

Dans cette optique, le chapitre "Généralités sur la fibre optique" a pour but de fournir une vue d'ensemble de cette technologie, son fonctionnement et ses applications. Ce chapitre s'adresse à toute personne souhaitant avoir une compréhension de base de la technologie de la fibre optique.

Nous explorerons les principaux avantages de la fibre optique, tels que son haut débit, sa grande bande passante et sa faible atténuation. Nous expliquerons également les différents types de fibres optiques et leurs caractéristiques techniques.

Nous détaillerons également le fonctionnement des réseaux de fibres optiques, en expliquant les différents éléments qui les composent, tels que les émetteurs, les récepteurs et les amplificateurs optiques.

Enfin, nous aborderons les applications de la fibre optique, y compris la communication de données, la transmission vidéo et la télémédecine. Ce chapitre fournira une introduction claire et concise à la technologie de la fibre optique pour toute personne souhaitant approfondir ses connaissances sur ce sujet passionnant.

I.2. Structure de la fibre optique

La fibre optique est un composant clé dans les systèmes de communication modernes. Elle permet la transmission de signaux lumineux à travers un guide d'onde cylindrique, également appelé canal de communication. Ce guide d'onde est constitué de plusieurs éléments de base, notamment le cœur, la gaine et le revêtement [1.1].

- **Le cœur:** est la région centrale de la fibre qui permet le guidage des ondes lumineuses, grâce à un indice de réfraction élevé (n_1).
- **La gaine:** quant à elle, représente une couche entourant le cœur de la fibre, avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui du cœur, permettant ainsi la réflexion totale et perpétuelle des modes à l'interface cœur-gaine.

- **Le revêtement:** assure la protection de la fibre contre les dommages physiques et chimiques. La compréhension de ces éléments de base est essentielle pour comprendre le fonctionnement de la fibre optique et ses applications dans les systèmes de communication modernes.

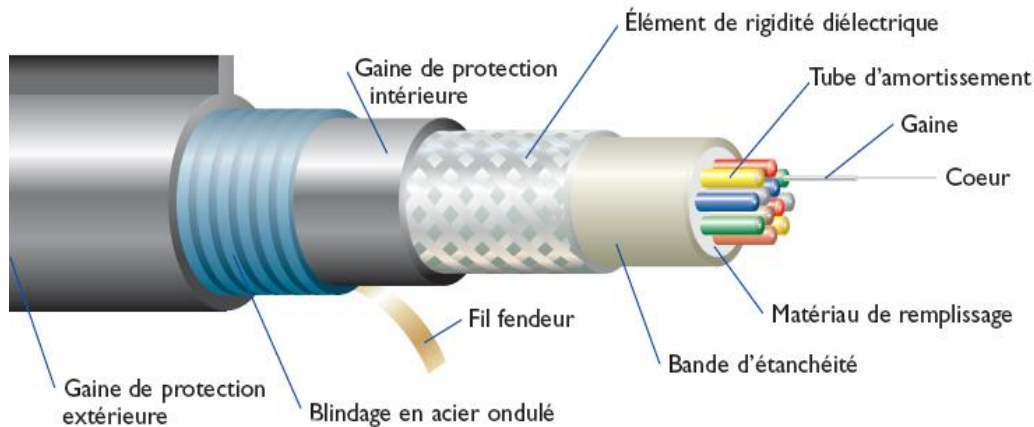


Figure 1.1 Structure interne d'une fibre optique [1.1]

I.3. Fenêtres de transmission optique

La technologie de la fibre optique offre de nombreux avantages en termes de transmission de données sur de longues distances, mais elle est également soumise à certaines contraintes. L'une de ces contraintes est l'atténuation, qui peut affecter la qualité du signal transmis. Pour minimiser l'impact de l'atténuation, les spécialistes ont défini trois fenêtres de transmission pour les signaux optiques: 850 nm, 1310 nm et 1550 nm.

Les fibres optiques sont principalement utilisées dans deux fenêtres de transmission, correspondant aux longueurs d'onde minimales d'atténuation :

- **La fenêtre de 1310 nm:** est particulièrement utile pour la transmission de signaux optiques sur des distances relativement courtes et avec une bande passante limitée. Cette fenêtre a une bande passante de 50 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,4 dB/km, ce qui la rend adaptée aux systèmes de télécommunication à faible capacité ou de courte portée (quelques dizaines de kilomètres), tels que les réseaux locaux et les connexions à fibres optiques à domicile.
- **La fenêtre de 1550 nm:** est largement utilisée dans les systèmes de communication optique pour les transmissions à longue distance et à haut débit. Cette fenêtre offre une largeur de bande de 100 nm, avec une atténuation moyenne d'environ 0,2 dB/km, ce

qui en fait un choix idéal pour les réseaux de fibres optiques à grande échelle. En effet, la faible atténuation de cette fenêtre permet de transmettre des signaux sur des distances très élevées sans perte de qualité ou de puissance. C'est pourquoi la fenêtre de 1550 nm est considérée comme la bande de fréquence universelle pour les télécommunications optiques.

Ces deux fenêtres offrent un excellent compromis entre la qualité du signal et l'atténuation, permettant ainsi une transmission de données rapide et efficace sur de grandes distances [1.2].

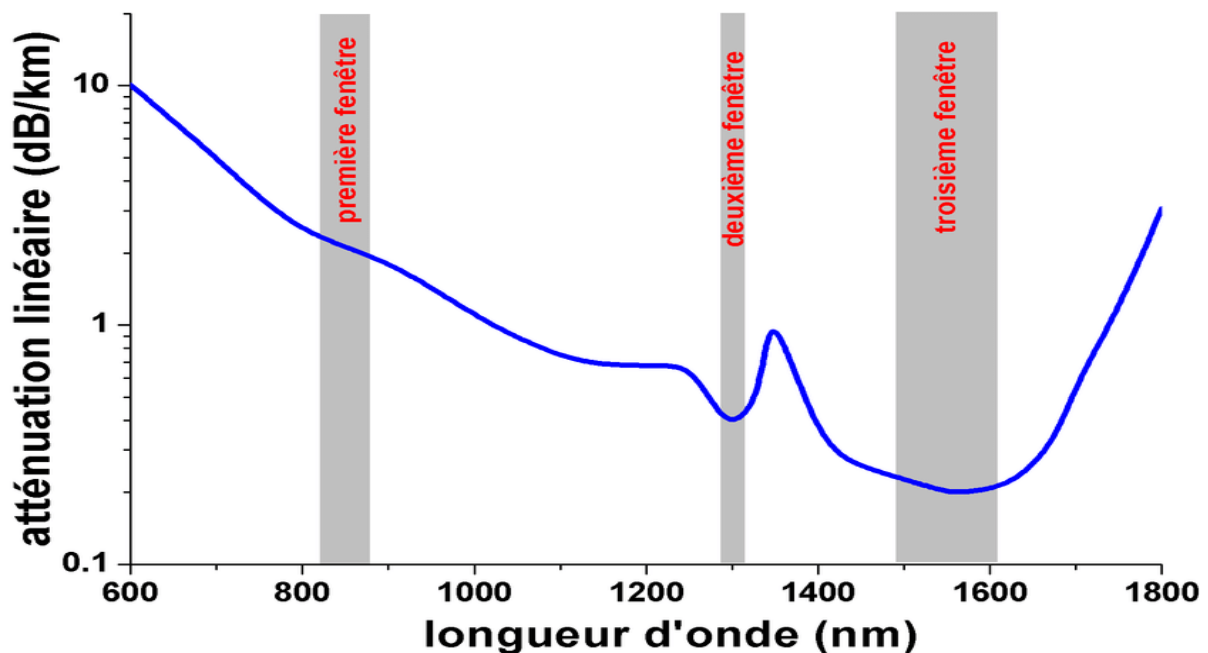


Figure 1.2 : Fenêtres de transmission optique [1.2]

I.4. Types de la fibre

En optique, les fibres optiques peuvent être classées en fonction du nombre de modes qu'elles supportent, c'est-à-dire le nombre de chemins de propagation des ondes lumineuses dans la fibre. Les types de fibres optiques en fonction du nombre de modes sont les suivants [1.1]:

- **Fibre monomode** : une fibre monomode ne supporte qu'un seul mode de propagation de la lumière. Cela signifie que la lumière ne peut se propager que dans un seul chemin à travers la fibre. Les fibres monomodes sont utilisées pour les transmissions à longue distance et les réseaux de télécommunications à haute bande passante.
- **Fibre multimode** il y a deux types de la fibre optique multimode sont :
 - **À saut d'indice** : une fibre multimode à saut d'indice prend en charge plusieurs modes de propagation de la lumière. Les modes se propagent à des vitesses

différentes dans la fibre, créant des distorsions temporelles (dispersion) qui limitent la bande passante utile. Les fibres multimodes à saut d'indice sont principalement utilisées pour les applications à courte distance telles que les réseaux locaux (LAN).

- **À gradient d'indice** : une fibre multimode à gradient d'indice est conçue pour réduire la dispersion modale en utilisant une structure de gradient d'indice qui permet de faire se propager les différents modes à des vitesses similaires. Cela permet d'augmenter la bande passante utile par rapport aux fibres multimodes à saut d'indice. Les fibres multimodes à gradient d'indice sont utilisées pour les transmissions à moyenne distance.

Le tableau I. 1 présente une étude comparative de ces deux types de fibres optiques :

Type de fibre	Monomode	Multimode
Atténuation	Très Faible (0.2 db/km)	Faible (0.4 db/km)
Dispersion	Faible	Forte
Distance	Très longues	Courtes (4 km)
Applications	Réseaux de transport	Réseaux locaux
Débit	Très haut débit	Haut débit
Coût	Onéreuse	Moins onéreuse

Tableau 1.1 : Comparaison entre les fibres monomodes et multimodes.

Avec la comparaison avec les fibres multimodes, les fibres monomodes : en trouvant que la fibre monomode est la meilleure option pour les transmissions à longue distance et les réseaux à haute bande passante, tandis que la fibre multimode à saut d'indice convient mieux aux transmissions à courte distance. La fibre multimode à gradient d'indice offre un compromis entre les deux en offrant une bande passante plus élevée et une distance de transmission plus longue que la fibre multimode à saut d'indice, mais à un coût plus élevé.

Dans notre projet, nous nous limitons à l'étude de la fibre optique monomode car nous travaillons dans les longues distances.

I.5. Caractéristiques des fibres monomodes

Dans les réseaux de communication à fibres optiques, les fibres monomodes ont une grande importance. Contrairement aux fibres multimodes, elles ne laissent passer qu'un seul mode de propagation. La fibre monomode permet de transmettre des signaux lumineux sur de très longues distances, tout en conservant la qualité du signal. Sa bande passante, sa fréquence de coupure et ses effets linéaires et non linéaires sont des paramètres importants qui déterminent les performances de la fibre [1.2].

I.5.1. Dimensions

Les fibres optiques monomodes possèdent un cœur extrêmes fin de diamètre variant entre 4 à 9 μm et une gaine de diamètre 125 μm .

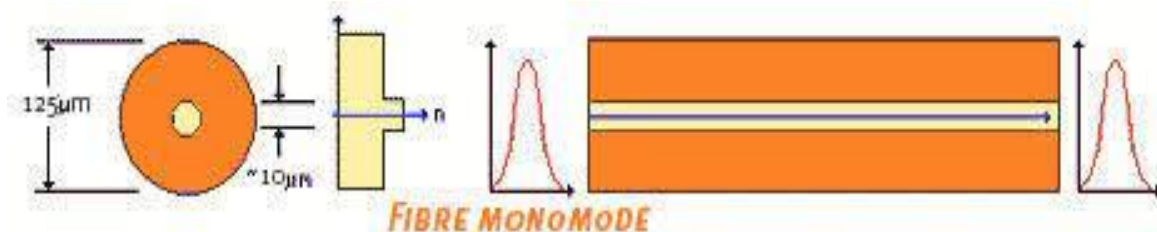


Figure 3.3 Structure interne d'une fibre optique. [1.2]

I.5.2. Fréquence normalisée de coupure

Lorsque la lumière est transmise dans une fibre optique monomode, elle doit avoir une fréquence ν inférieure à une certaine fréquence de coupure $\nu_c = 2,405$ pour permettre la propagation d'un seul mode. Ce mode fondamental LP 01 est présent à toutes les fréquences [1.2]. Ainsi, on peut noter que :

$$\nu < \nu_c = 2,405. \quad (1.1)$$

I.5.3. Bande passante

La bande passante BP d'une fibre optique est la plage de fréquences de la lumière qui peut être transmise à travers la fibre avec une atténuation acceptable. Elle est généralement exprimée en hertz (Hz) ou en gigahertz (GHz) et représente la quantité de données qui peuvent être transmises par seconde. Elle est influencée par plusieurs facteurs, tels que la longueur d'onde

de la lumière utilisée pour transmettre les signaux, la qualité de la fibre, les connecteurs et les composants utilisés dans le système de transmission. Les fibres monomodes ont généralement une bande passante plus élevée que les fibres multimodes, car elles sont capables de transmettre des signaux à des fréquences plus élevées.

La bande passante est un facteur important dans la transmission de données à haute vitesse, telle que l'Internet haut débit, la vidéo en streaming et les réseaux de communication en temps réel. Une bande passante élevée permet de transmettre plus de données en moins de temps et avec une meilleure qualité de signal.

Il est important de noter que la bande passante réelle d'une fibre optique peut varier en fonction de la longueur de la fibre, des conditions environnementales et des équipements utilisés dans le système de transmission [1.2]. Elle représente une mesure du phénomène de la dispersion donnée par l'équation (I.2) :

$$\mathbf{BP} = \frac{1}{2 \cdot \sigma_{\text{tot}}} \quad \mathbf{(I.2)}$$

Avec :

σ_{tot} : Coefficient de dispersion total de la fibre.

I.5.4. Effets linéaires et non linéaires dans la fibre optique

La fibre optique possède d'autres caractéristiques de transmission qui se résument dans les effets linéaires et non linéaires qui dégradent la qualité de la transmission du signal dans la fibre optique [1.3].

I.5.4.1. Effets linéaires

L'effet linéaire est un phénomène qui se produit dans les fibres optiques lorsque la lumière se propage à travers la fibre et interagit avec les atomes du matériau de la fibre. Il se caractérise par une atténuation de la puissance optique du signal, une dispersion chromatique et une dispersion de polarisation modale.

L'effet linéaire est appelé ainsi car il se produit de manière proportionnelle à la puissance optique du signal, ce qui signifie que les perturbations sont proportionnelles à l'intensité du signal et sont donc linéaires. Pour minimiser l'effet linéaire, des techniques de régénération optique et de compensation de dispersion sont utilisées dans les systèmes de transmission optique [1.3].

A) Atténuation du signal optique

L'atténuation de la puissance optique se produit lorsque la lumière se propage à travers la fibre et est absorbée par les atomes de la fibre, ce qui diminue la puissance du signal. Cela peut être causé par des imperfections dans le matériau de la fibre, des pertes de connexion ou des courbures dans la fibre [1.4].

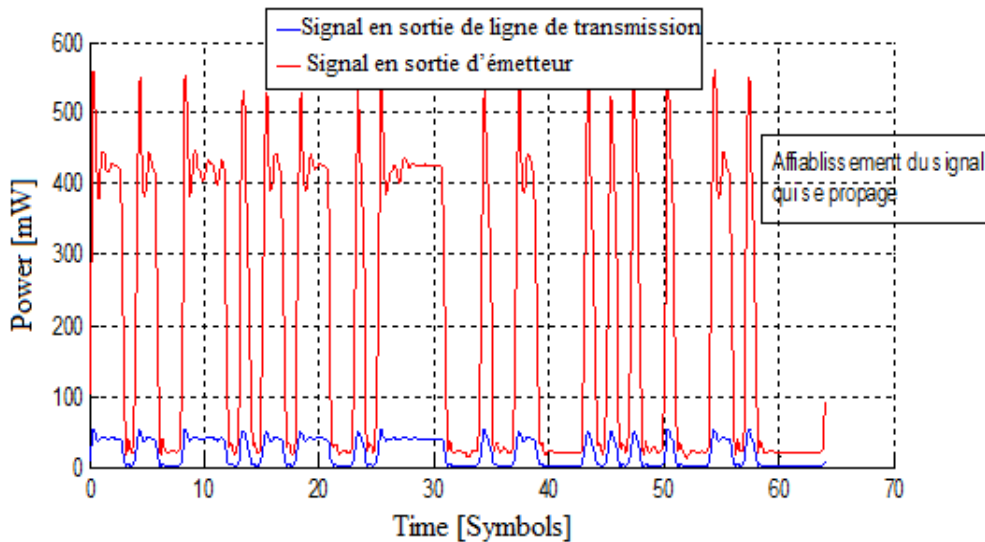


Figure 4.4 : L'effet d'atténuation [1.4].

Dans les systèmes de communication optique, la quantité de puissance optique reçue par le récepteur est cruciale pour assurer une récupération précise du signal. Cependant, l'atténuation de la fibre optique peut limiter les performances du système en réduisant la puissance du signal pendant la propagation. Cette atténuation est principalement causée par l'absorption de matériau pic OH et la diffusion de Rayleigh, qui peuvent altérer la qualité du signal transmis. Il est donc important de prendre en compte l'atténuation de la fibre lors de la conception des systèmes de communication optique pour garantir des performances optimales. [1.4]

L'allure typique de l'atténuation des fibres optiques, due aux phénomènes de diffusion et d'absorption, en fonction de la longueur d'onde est indiquée dans la figure I.5

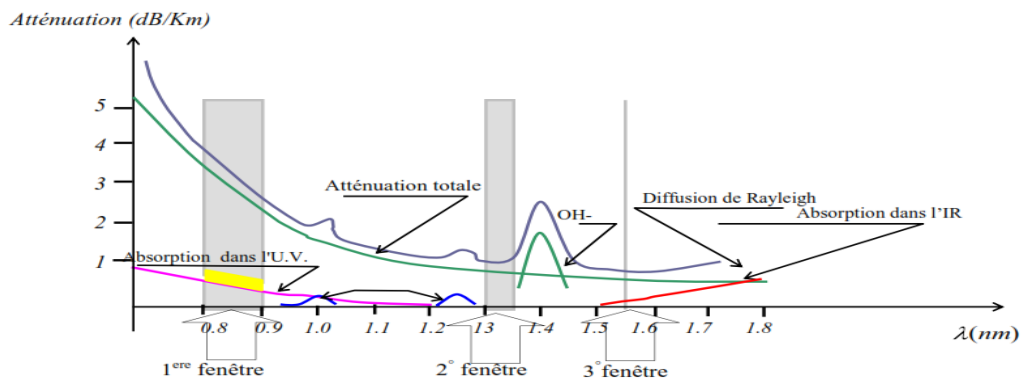


Figure 5.5 : Courbe de l'atténuation d'une fibre en fonction de la longueur d'onde [1.5].

L'atténuation est notée par :

$$\alpha = \frac{1}{L} \mathbf{10} * \log \frac{P(0)}{P(L)} \quad (\mathbf{I.3})$$

A

v

L: la longueur de la fibre

P (0) : puissance lumineuse injectée à l'entrée de la fibre

P(L) : puissance reçue.

:

B) Dispersion

La dispersion se traduit par l'élargissement des impulsions à la sortie de la fibre optique. Si l'élargissement est trop important, les informations reçues sont erronées. On distingue deux types de dispersion : modale de polarisation et chromatique [1.6].

B-a) Dispersion modale de polarisation

La dispersion modale de polarisation (PMD : *Polarisation Mode Dispersion*) est un effet indésirable dans le domaine des télécommunications optiques à très haut débits [1.7]. Ce phénomène qui se produit dans les fibres optiques où la polarisation de la lumière qui se propage dans la fibre se sépare en deux modes de polarisation orthogonaux qui se propagent à des vitesses légèrement différentes. Cela peut entraîner une distorsion de la forme d'onde du signal et une réduction de la qualité du signal. Elle est causée par des variations dans la birefringence de la fibre optique, qui est la différence entre les indices de réfraction des deux modes de polarisation orthogonaux. Les variations de birefringence peuvent être causées par des contraintes mécaniques ou thermiques sur la fibre optique, ou par des défauts dans la structure de la fibre [1.6].

La PMD est un problème important pour les systèmes de transmission optique à haute vitesse, car elle peut limiter la capacité de transmission et la qualité du signal. Pour minimiser les effets de la PMD, il est courant d'utiliser des fibres optiques de haute qualité avec une faible birefringence et des techniques de conception de système pour minimiser les effets de la PMD.

Des techniques de compensation de la PMD sont également disponibles pour corriger les effets de la PMD dans les systèmes de transmission optique. Ces techniques utilisent des dispositifs tels que des compensateurs de PMD, des filtres adaptatifs, ou des techniques de traitement numérique du signal pour corriger les effets de la PMD sur le signal [1.7].

La PMD est généralement exprimée en picosecondes par racine carrée de kilomètre (ps/ $\sqrt{\text{km}}$) et sa formule pour calculer est :

$$\text{PMD} = \sqrt{D^2 + S^2} \quad (\text{I.4})$$

Avec :

D : la DGD (Differential Group Delay)

S : le facteur de couplage de la PMD (PMD coupling factor)

B-b) Dispersion chromatique

La silice est un matériau très utilisé dans la fabrication des fibres optiques, mais il présente des particularités qui peuvent affecter la transmission de l'information. En effet, son indice de réfraction dépend de la longueur d'onde de la lumière, c'est ce qu'on appelle la dispersion. Cette propriété engendre une différence de temps de propagation de groupe pour les différentes longueurs d'onde, ce qui peut impacter la qualité du signal. Ainsi, le temps de propagation de groupe, noté t_{gr} , est défini comme le temps nécessaire à une impulsion pour parcourir une fibre de longueur **L** [1.6]. Ce temps dépend de la longueur d'onde λ , et de la vitesse de groupe $V_g(\lambda)$. On l'exprime par :

$$t_{gr} = \frac{L}{V_g(\lambda)} \quad (\text{I.5})$$

Notons que $V_g(\lambda)$ est la vitesse de groupe définie par :

$$V_g(\lambda) = \frac{\partial \omega}{\partial \beta} \quad (\text{I.6})$$

Avec ω la pulsation et β la constante de propagation axiale, qui est la projection sur de l'axe de propagation, du module du vecteur d'onde \vec{k} dont la définition est la suivante :

$$\|\vec{k}\| = n_{coeur} \|\vec{k}_0\| = \frac{2\pi}{\lambda} n_{coeur} \quad \text{avec } k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

\vec{k}_0 : Vecteur d'onde dans le vide.

$$\beta = k_0 n_{coeur} \quad (\text{I.7})$$

Nous pouvons aussi définir l'indice de réfraction **N** qui sera :

$$N = \frac{c}{V_g} \quad (\text{I.8})$$

C : la vitesse de la lumière.

Soit n_e l'indice effectif de ce mode à une longueur d'onde donnée :

$$n_e = \frac{\beta}{k_0} \quad (\text{I.9})$$

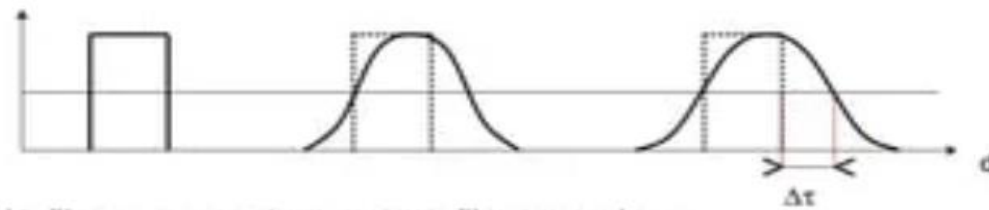


Figure 6.6 : Effet de la dispersion chromatique [1.7]

La dispersion chromatique est un effet indésirable qui peut affecter la qualité des signaux transmis dans les fibres optiques. Cependant, il existe des techniques pour compenser cette dispersion. Parmi ces techniques, on peut citer l'utilisation de fibres optiques à dispersion décalée ou de fibres optiques compensatrices. Ces solutions permettent de réduire efficacement la dispersion chromatique et d'améliorer ainsi la qualité de la transmission optique [1.7].

I.5.4.2. Effets non linéaires

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont optimisés pour une transmission linéaire, mais l'apparition d'effets non linéaires peut dégrader leurs performances lorsque les puissances véhiculées augmentent. Cependant, avec les progrès technologiques récents, les systèmes de transmission à grande distance et haut débit utilisent des amplificateurs de puissance pour émettre des signaux à des puissances très élevées dans la fibre optique. Cette augmentation de puissance entraîne l'apparition de phénomènes non linéaires significatifs qu'il convient de prendre en compte [1.8].

Les effets non linéaires les plus courants dans les fibres optiques comprennent :

A) Effet Kerr

L'effet Kerr est l'un des effets non linéaires les plus importants dans les fibres optiques. Il se produit lorsque la polarisation d'un matériau change en réponse à un champ électrique appliqué, qui est généré par la présence d'un signal optique à haute intensité dans la fibre. Cet effet peut causer des distorsions dans la forme d'onde du signal optique et une modification de l'indice de réfraction du matériau, ce qui peut entraîner une dispersion et une atténuation supplémentaires du signal optique.

L'effet Kerr est utilisé dans certaines applications optiques, telles que la génération d'impulsions ultra-courtes dans les lasers femtosecondes. Cependant, il est également un effet non linéaire indésirable dans les fibres optiques à haute puissance, car il peut causer des distorsions importantes dans la forme d'onde du signal optique.

Il existe plusieurs techniques pour minimiser les effets de l'effet Kerr dans les fibres optiques à haute puissance. Par exemple, il est possible d'utiliser des fibres optiques spéciales qui présentent une dispersion non linéaire minimale, ou de limiter la puissance du signal optique pour éviter que l'effet Kerr ne devienne important. Il est également possible d'utiliser des techniques de compensation numérique pour corriger les effets de l'effet Kerr sur le signal optique [1.8].

B) Effet Raman, Brillouin, auto-modulation de phase

- **La diffusion Raman :** Ce phénomène se produit lorsque la lumière optique interagit avec les molécules de la fibre, provoquant des changements dans la fréquence et l'intensité de la lumière [1.8].
- **La diffusion Brillouin :** Ce phénomène se produit lorsque la lumière optique interagit avec les phonons, ou les vibrations mécaniques, de la fibre. Cela peut provoquer des distorsions de phase et d'amplitude du signal optique. Une solution mise en œuvre pour les combattre consiste à moduler en amplitude à très basse fréquence le courant d'injection du laser par un signal sinusoïdal, ce qui provoque une modulation de fréquence du signal optique émis et élargit le spectre jusqu'à quelques GHz [1.8]
- **L'auto-modulation de phase :** Ce phénomène se produit lorsque la puissance du signal optique modifie la phase de la lumière à l'intérieur de la fibre. Cela peut entraîner une distorsion de la forme d'onde du signal et une réduction de la qualité du signal [1.8].

I.6. Bilan optique

Le bilan optique est une mesure essentielle pour concevoir et évaluer les performances des systèmes de transmission optique, et il est important de maintenir un bilan optique positif adéquat pour assurer une transmission fiable des signaux optiques sur de longues distances. Et sa formule notée par :

- **Pour la fenêtre 1310 nm :**

$$\text{Bilan optique (dB)} = 0.35 * D + 0.15 * n_{\text{imp}} + 0.5 * n_{\text{con}} \quad (\text{I.10})$$

- **Pour la fenêtre 1550 nm :**

$$\text{Bilan optique (dB)} = 0.25 * D + 0.15 * n_{\text{imp}} + 0.25 * n_{\text{con}} \quad (\text{I.11})$$

Avec :

D : La distance.

n_{imp} : nombre d'impulsage (points de soudage).

n_{con} : nombre de connecteurs.

I.7. Avantages

La fibre optique offre de nombreux avantages par rapport à d'autres technologies de communication telles que le cuivre ou le sans-fil. Voici quelques-uns des avantages clés de la fibre optique [1.8]:

- Bande passante élevée (de l'ordre de 1 GHz pour 1 km) : La fibre optique permet des débits de données très élevés, permettant des transferts de données rapides et en temps réel, sans latence.
- Faible atténuation : La fibre optique a une faible atténuation de signal, ce qui signifie que les signaux peuvent parcourir de longues distances sans perdre de puissance. Le pas de régénération est supérieur à 100 km, alors que, sur du câble coaxial, il est de l'ordre de 2 à 3 km.
- Immunité aux interférences électromagnétiques : Les signaux de fibre optique ne sont pas affectés par les interférences électromagnétiques, contrairement aux signaux de cuivre.
- Sécurité accrue (Absence de rayonnement) : La fibre optique est très difficile à pirater car elle ne rayonne pas de signaux électromagnétiques, ce qui la rend idéale pour les transmissions de données sensibles par exemple les applications militaires.
- Coût de maintenance faible : Les câbles de fibre optique ont une durée de vie plus longue que les câbles de cuivre, nécessitent moins d'entretien et sont plus résistants aux conditions météorologiques extrêmes.
- Faible latence : Les signaux de fibre optique voyagent à la vitesse de la lumière, ce qui permet une communication quasi instantanée.
- Économie d'énergie : La fibre optique consomme moins d'énergie que les autres technologies de communication, ce qui permet des économies d'énergie significatives à long terme.
- Grande légèreté, le poids d'un câble optique par unité de longueur, de l'ordre de quelques grammes au kilomètre, étant environ neuf fois plus faible que celui d'un câble conventionnel.

- Résistance à conditions environnementales adverses. Moins d'influence des liquides corrosifs, gaz et variations de température.
- Les prix de la fibre restent faibles, car la matière de base utilisée, la silice (verre très pur composé de dioxyde de silicium), très abondante sur la terre [1.8].

En raison de ces avantages, la fibre optique est largement utilisée dans les réseaux de communication modernes pour la transmission de données à haut débit, tels que les réseaux de télécommunications, les réseaux d'entreprise, les centres de données, et plus encore.

I.8. Applications

La fibre optique est utilisée dans de nombreux domaines, notamment [1.8] :

- **Les télécommunications** : la fibre optique est utilisée pour transmettre des données à haut débit sur de longues distances, ce qui en fait une technologie essentielle pour les réseaux de télécommunications modernes.
- **L'internet haut débit** : la fibre optique est utilisée pour fournir une connectivité Internet à haut débit aux utilisateurs résidentiels et aux entreprises.
- **La télémédecine** : la fibre optique permet la transmission de données médicales à distance pour les consultations à distance, la surveillance à distance et les interventions chirurgicales à distance.
- **Les réseaux de capteurs** : la fibre optique est utilisée dans les réseaux de capteurs pour la surveillance à distance de l'environnement, tels que les tremblements de terre, les tempêtes, la pollution de l'air, etc.
- **Les systèmes de sécurité** : la fibre optique est utilisée pour la surveillance vidéo à distance et pour les systèmes de sécurité tels que les alarmes et les détecteurs d'intrusion.
- **Les applications industrielles** : la fibre optique est utilisée dans les systèmes de contrôle industriel pour surveiller et contrôler les processus de production à distance.
- **Les applications militaires** : la fibre optique est utilisée dans les communications militaires, les systèmes de détection et les systèmes d'arme à guidage laser.
- **Les applications de recherche scientifique** : la fibre optique est utilisée dans les expériences de physique, les instruments scientifiques et les systèmes de mesure de haute précision.

En somme, les applications de la fibre optique sont très larges et elles sont en constante évolution grâce aux avancées technologiques.

I.9. Conclusion :

La fibre optique est un support de transmission de l'information qui a connu un grand succès grâce à ses qualités remarquables et qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications notamment dans les réseaux de transmission. Cependant, comme tout système, elle présente des défauts tels que la dispersion chromatique et l'atténuation du signal qui ont longtemps été des obstacles majeurs à son utilisation. Heureusement, des solutions ont été mises en place pour corriger ces défauts. Ainsi, la dispersion chromatique peut être corrigée par l'utilisation d'une fibre à dispersion contraire, tandis que l'atténuation peut être compensée par l'utilisation d'un amplificateur optique. Ces avancées technologiques ont considérablement amélioré les performances de la fibre optique et ont permis son utilisation dans une grande variété de domaines. Le chapitre suivant fera l'objet de l'étude d'un système de transmission par fibre optique.

CHAPITRE II :

Systeme de transmission par la fibre optique

II.1. Introduction

Avec le développement rapide des technologies de télécommunication, le monde vise à utiliser des liaisons optiques pour augmenter le débit de transmission des données, afin de aux besoins des utilisateurs. Dans le présent chapitre, nous allons intéresser à présenter des différents composants optiques et optoélectroniques constituant une liaison optique WDM, de l'émetteur optique au récepteur optique.

II.2. Architecture d'un Système de transmission par fibre optique

Les systèmes de transmission par fibre optique sont comme tous les systèmes de communications. Ils se basent sur trois différents blocs fondamentaux : un bloc d'émission, un canal de communication et un bloc de réception.

Dans une simple liaison, ces blocs peuvent contenir de simples composants tels qu'un laser, une fibre optique, et un photo-détecteur. Dans des systèmes plus complexes, d'autres composants entrent en jeu, il s'agit de : modulateur optique externe, multiplexeur en longueur d'onde, des amplificateurs optiques. Dans les paragraphes suivants, nous détaillons ces composants [2.1].

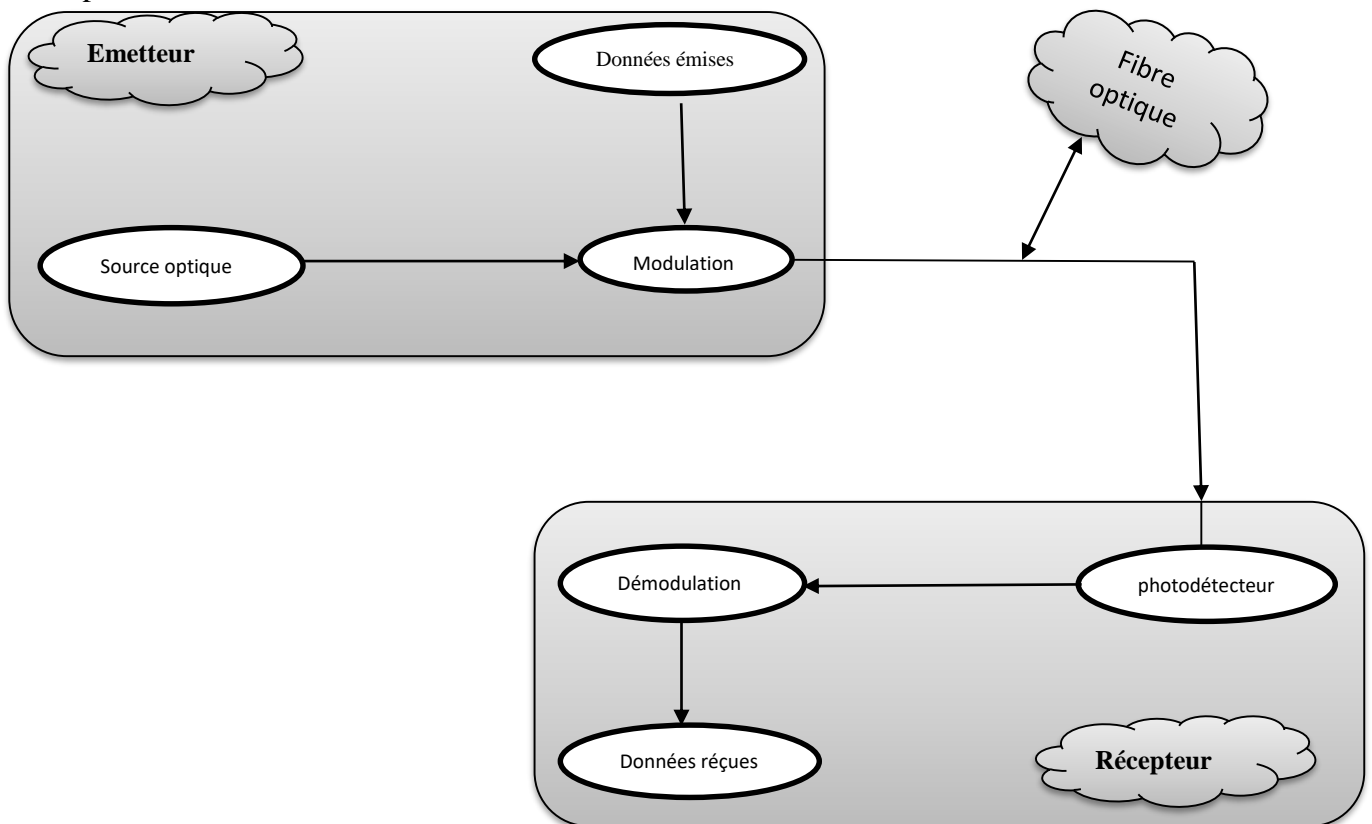


Figure 2.1 : Schéma synoptique d'un système de communications par fibre Optique.

II.2.1. Bloc d'émission

La source lumineuse, telle que le modulateur optique, est un élément essentiel de l'architecture d'un système de transmission par fibre optique. Elle permet de délivrer un signal lumineux sur la fibre optique, portant les données à transmettre et assurant ainsi une communication efficace et performante [2.1].

1. Modulateur optique

Dans les systèmes de transmission optique, deux types de modulation optique sont couramment utilisés : la modulation directe et la modulation externe. Chacun de ces types de modulation a son rôle spécifique dans le processus de transmission des signaux optiques

1.1. Modulation directe

La modulation directe est une méthode de modulation optique dans laquelle la variation du courant de la source lumineuse entraîne une variation proportionnelle de la puissance émise. Cependant, cette méthode présente certaines limitations en termes de bande passante et ne peut être utilisée efficacement au-delà de 5 GHz. Cette restriction est principalement due à la taille du composant électronique utilisé pour moduler le courant, qui devient problématique pour des débits élevés tels que 40 Gb/s. Lorsqu'on atteint des débits élevés, la modulation directe présente des inconvénients qui peuvent affecter la qualité du signal optique modulé.

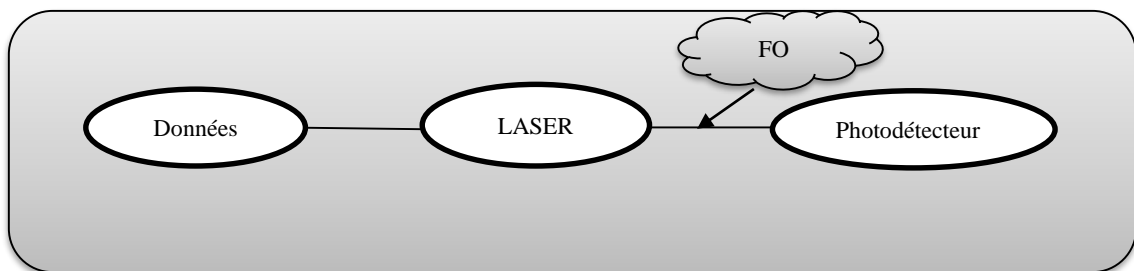


Figure 1.2 : Schéma synoptique de la liaison optique modulée en directe.

- a) **LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation):** Le LASER est un dispositif optique qui produit un faisceau lumineux cohérent et intense grâce au phénomène d'émission stimulée. Pour que l'effet laser se produise, deux conditions doivent être remplies [2.2]

1. Une inversion de population : Il est nécessaire d'avoir un nombre suffisant d'électrons dans un état d'énergie supérieure. Dans les semi-conducteurs, cette inversion de population est obtenue par un processus de pompage électrique, où de l'énergie est fournie aux électrons pour qu'ils passent dans la bande de conduction.

2. Rétroaction optique : Il faut accumuler suffisamment de photons excitants dans une cavité résonante, comme une cavité Fabry-Pérot, afin de renforcer l'émission stimulée. Cette accumulation de photons dans un espace restreint permet de générer un faisceau laser cohérent et directionnel. [9]

Cependant, malgré les avantages du LASER, il présente également certains inconvénients, notamment en ce qui concerne le bruit. Le bruit relatif d'intensité (RIN - Relative Intensity Noise) est un type de bruit qui peut affecter la qualité du signal émis par le LASER [2.2]. Il est défini comme la variation de l'intensité du signal laser par rapport à sa valeur moyenne:

$$RIN(f) = \frac{\langle \Delta P_{opto}^2(f) \rangle}{P_{opto}^2} \quad (II.1)$$

ΔP_{opto} : la densité spectrale des fluctuations des photons et le nombre de photons au carré.

1.2. Modulation indirecte

Dans les systèmes de transmission optique, il existe différentes méthodes de modulation optique pour améliorer les performances du système. L'une de ces méthodes est la modulation externe indirecte (Figure II.3), qui consiste à moduler optiquement le faisceau lumineux en sortie du laser plutôt que de moduler le courant d'alimentation à l'entrée du laser.

La modulation optique offre plusieurs avantages, notamment une augmentation significative du débit des systèmes de transmission optique, en particulier ceux multiplexés en longueurs d'onde. Des débits de 40 Gbits/s sont couramment atteints dans les systèmes d'intensité. De plus, il existe d'autres formats de modulation optique qui permettent d'optimiser davantage le débit de ces systèmes, tels que la modulation duobinaire et la modulation DPSK, que nous étudierons plus en détail dans la section II.3.

Dans l'industrie des télécommunications optiques, deux types de modulateurs externes sont largement utilisés [2.2]:

- **Le modulateur de Mach-Zehnder**
- **Le modulateur à électro-absorption**

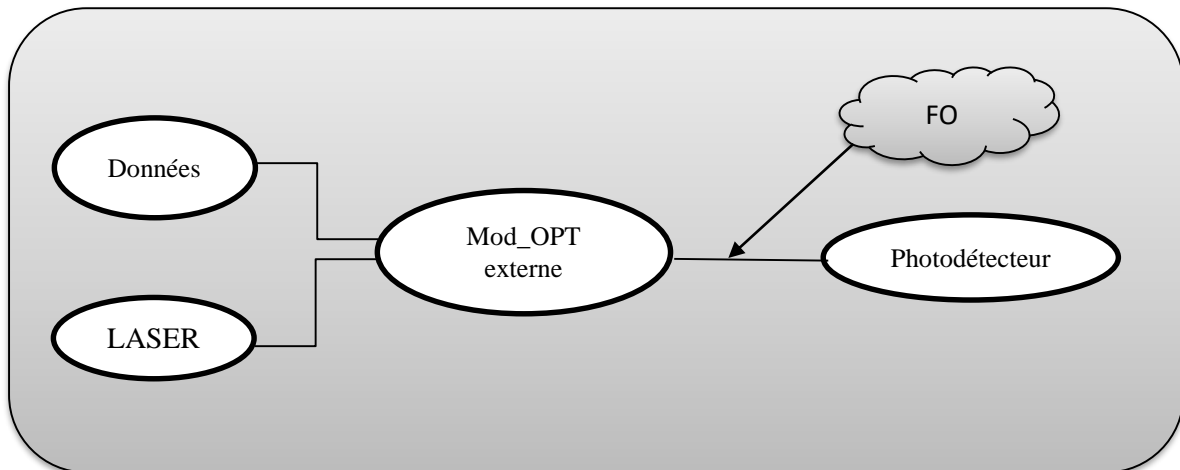


Figure 2.3 : Schéma synoptique de la liaison modulée indirectement.

- a) **Le modulateur à électro-absorption (EAM)** : L'EAM est un composant optique essentiellement composé de matériaux semi-conducteurs, dont la conversion de l'intensité lumineuse dépend de la tension appliquée. La caractéristique de transfert de l'EAM est maximale lorsque de faibles tensions lui sont appliquées, puis devient minimale et relativement constante au-delà d'une certaine valeur de tension. Cependant, un inconvénient majeur des EAM est leur sensibilité à la longueur d'onde du signal optique, ce qui peut affecter leur performance. De plus, ils présentent également un phénomène de chirp non négligeable, c'est-à-dire une variation de la fréquence du signal optique en fonction du temps.

Malgré ces limitations, les EAM restent largement utilisés dans les systèmes de communication optique pour leur capacité à moduler efficacement l'intensité lumineuse. Des techniques avancées sont mises en œuvre pour compenser les variations de la fonction de transfert en intensité et atténuer les effets du chirp, afin d'optimiser les performances globales du système de transmission optique [2.2].

- b) **Le modulateur Mach-Zehnder (MZM)** : Le modulateur Mach-Zehnder est un dispositif optique basé sur l'interférométrie à deux ondes. Il est composé de deux bras qui reçoivent chacun la moitié de la puissance lumineuse initiale. Au niveau de ces bras, un déphasage relatif est appliqué entre les deux signaux à l'aide de cellules électro-optiques, généralement situées dans chaque bras. Ce déphasage induit une variation d'intensité du signal optique grâce à l'interférence entre les signaux déphasés provenant des deux bras [2.2].

Ce concept de modulation basé sur l'interférence permet d'obtenir une modulation de l'intensité lumineuse avec une grande précision et une linéarité élevée. Le modulateur Mach-Zehnder est largement utilisé dans les systèmes de communication optique pour sa capacité à transmettre efficacement des signaux modulés à des débits élevés. Il est également utilisé dans d'autres applications telles que les capteurs optiques et les dispositifs de traitement de signal optique. L'avantage principal du modulateur Mach-Zehnder est sa capacité à réaliser des modulations optiques linéaires, ce qui permet de minimiser la distorsion du signal et d'optimiser la qualité de transmission. Cependant, il convient de noter que sa mise en œuvre peut nécessiter des dispositifs de contrôle complexes pour assurer un fonctionnement précis et stable [2.2].

II.2.2. Canal de communication

Le canal de communication dans les systèmes de transmission par fibre optique correspond à la fibre optique elle-même, qui joue un rôle clé dans la transmission efficace et fiable des signaux optiques sur de longues distances. L'étude de celle-ci a été abordée dans le premier chapitre [2.1].

II.2.3. Bloc de réception

Une fois que le signal optique a parcouru plusieurs tronçons de fibres optiques et a été amplifié par des amplificateurs, il atteint finalement le récepteur, où il est converti en un signal électrique par le photodétecteur. Le photodétecteur est un composant essentiel responsable de la détection de la lumière et de la conversion du signal optique en un signal électrique exploitable. Il existe principalement deux types de photodétecteurs couramment utilisés : la photodiode à jonction PIN et l'amplificateur à avalanche (APD). Chaque type présente des caractéristiques et des performances différentes, adaptées à des applications spécifiques.

En comparaison de l'APD, la sensibilité de la PIN est limitée par son bruit thermique au détriment d'un coût moins élevé.

Dans notre projet, nous nous limitons à l'étude de la fibre optique monomode car elle s'avère la moins coûteuse [2.1].

a) Photo diode PIN

La photodiode PIN (Figure 2.8) est un composant optoélectronique constitué d'une jonction PN intercalée par une couche intrinsèque I. Cette couche intrinsèque permet de réduire le dopage de la région N de la diode, ce qui augmente la distance de diffusion des porteurs de charge et donc la zone de déplétion. Ainsi, la photodiode PIN offre une plus grande surface de collecte de photons et permet d'obtenir un courant électrique plus important que les photodiodes classiques. Elle est souvent utilisée dans les applications de détection de faibles niveaux de lumière ou de signaux optiques à haute vitesse.

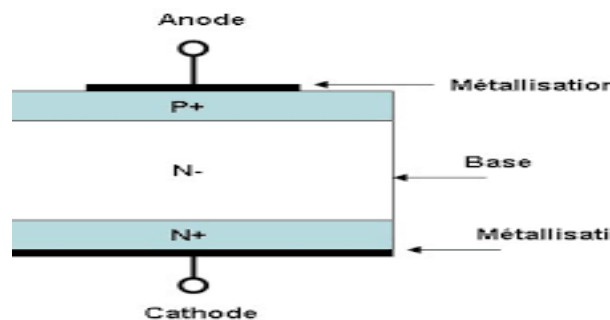


Figure 2.4 : Photo diode PIN [2.1]

b) Bruits du photo-détecteur

1. Bruit thermique

Le bruit thermique est en effet le résultat des fluctuations aléatoires des porteurs à l'intérieur d'une résistance, provoquées par l'agitation thermique. Il est comparable au mouvement brownien des particules, où les électrons se déplacent de manière aléatoire en raison de l'énergie thermique présente dans le système. Ces fluctuations génèrent un courant électrique indésirable, qui se traduit par du bruit dans le circuit [2.2].

Sa formule donnée par la formule de Johnson Nyquist :

$$\langle I_{th}^2 \rangle = \frac{4KT}{R} \Delta f \quad (II.2)$$

Avec

K: la constante de Boltzmann.

T: la température en Kelvin.

R: la valeur de la résistance équivalente du circuit.

Δf : la bande passante du système de détection.

2. Bruit de courant d'obscurité

Le bruit d'obscurité fait référence au courant détecté par un dispositif de détection, tel qu'une photodiode, en l'absence de tout signal lumineux incident. Il est également connu sous le nom de courant de fuite ou courant d'obscurité [2.2].

La valeur efficace de ce bruit est donnée par la formule de Schottky:

$$\langle I_s^2 \rangle = 2q(I_0 + I_P) \Delta f \quad (\text{II.3})$$

Avec

I_0 le courant d'obscurité.

I_P le photo courant.

q : (1.6.10-19c) la charge élémentaire de l'électron.

3. Bruit quantique

Le bruit quantique est un type de bruit qui résulte de la nature corpusculaire de la lumière et de la création aléatoire des paires électron-trou dans la jonction PN de la photodiode. Ce bruit est indépendant de la température et est proportionnel à la fréquence de modulation du signal optique. Il est généralement considéré comme le bruit fondamental des photodétecteurs et est irréductible. Le bruit quantique limite donc la sensibilité des photodétecteurs, en particulier dans les applications à très faible niveau de signal [2.2].

En donnent la formule générale pour le bruit de photocourant d'un photodétecteur par :

$$I_{\text{bruit}} = 2 * q * I_d * B * G \quad (\text{II.4})$$

Où :

I_{bruit} : le bruit de photocourant en ampères (A).

q : la charge élémentaire (environ $1,6 \times 10^{-19}$ C).

I_d : le courant de détection moyen en ampères (A).

B : la bande passante du système en hertz (Hz).

G : le gain du photodétecteur.

II.2.4. Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le multiplexage en longueur d'onde (WDM pour Wavelength Division Multiplexing) a révolutionné la transmission optique en augmentant considérablement sa capacité. Cette technique consiste à moduler plusieurs sources laser simultanément, chacune émettant à une longueur d'onde différente. Les longueurs d'onde peuvent être très proches les unes des autres, permettant ainsi de transmettre une grande quantité de données sur une seule fibre optique. Cette technique est utilisée dans les réseaux de télécommunications pour permettre le transport à haut débit de données sur de longues distances [2.3].

(La Figure 2.5) : Illustre le multiplexage WDM.

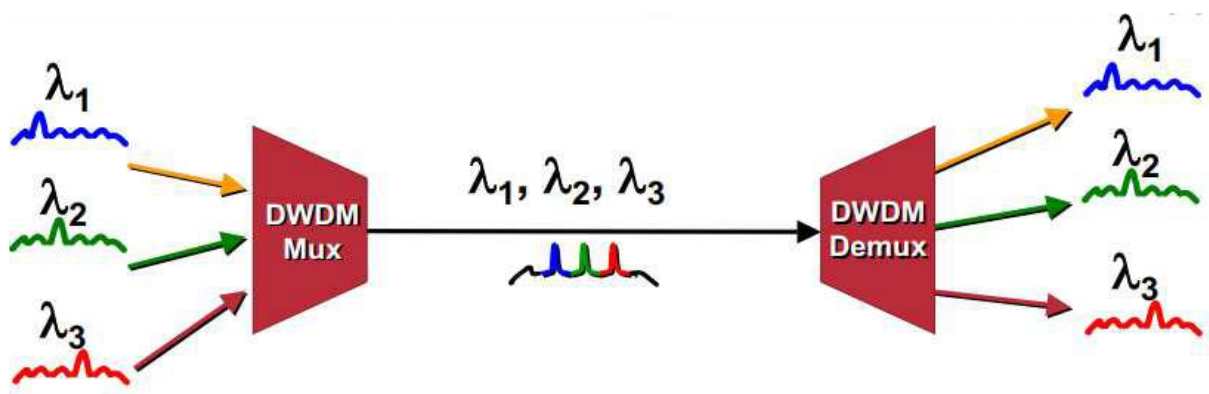


Figure 2.5 : Schéma de principe du multiplexage WDM avec 3 longueurs d'onde. [2.1]

II.2.5. Amplificateur optique

La distance de propagation d'un signal sur une fibre optique est influencée par deux facteurs principaux : l'atténuation et la dispersion. L'atténuation correspond à la diminution de l'intensité lumineuse lorsqu'elle se propage dans la fibre, limitant ainsi la distance sur laquelle le signal peut être transmis sans perte de qualité. Pour pallier cela, on utilise des amplificateurs optiques dans les liaisons à longue distance. [2.2]

Il existe trois types d'amplificateurs couramment utilisés : les amplificateurs à fibre dopée, les amplificateurs Raman, et les amplificateurs à semi-conducteur.

II.2.5.1. Amplificateurs à fibre dopée (EDFA)

les amplificateurs à fibre dopée, tels que les amplificateurs à erbium (EDFA), qui utilisent des fibres optiques dopées avec des ions d'erbium pour amplifier le signal optique. Ces amplificateurs sont largement utilisés en raison de leur large bande passante et de leur faible distorsion.

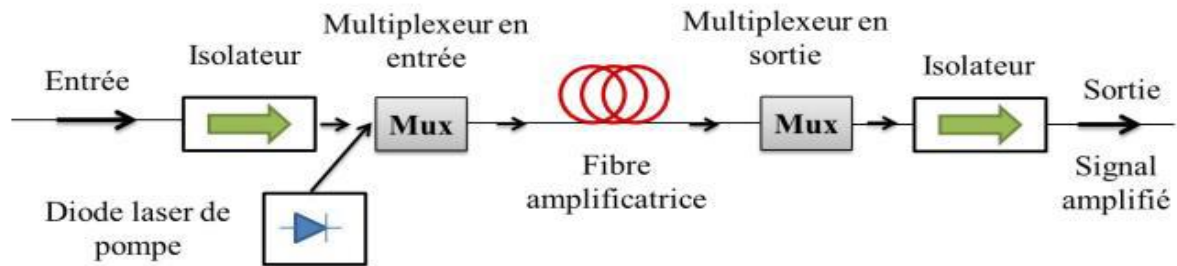


Figure 2.6 : Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium [2.3]

L'EDFA fonctionne en utilisant une fibre optique dopée à l'erbium, qui est une terre rare ayant des propriétés luminescentes. La fibre dopée est pompée optiquement avec un laser à une longueur d'onde spécifique pour exciter les ions d'erbium dans la fibre. Lorsque la lumière à amplifier passe à travers la fibre dopée, elle est absorbée par les ions d'erbium excités, ce qui provoque leur désexcitation et la libération de photons de même longueur d'onde que le signal incident. Ce processus, appelé émission stimulée, amplifie le signal lumineux et génère de nouvelles copies du signal. Ce processus se répète à chaque ion d'erbium excité dans la fibre, amplifiant ainsi le signal tout au long de la fibre. Le signal amplifié est ensuite envoyé à travers une autre fibre optique pour la transmission à longue distance. [2.3]

II.2.5.2. Amplificateur Raman

L'amplification Raman est un autre type d'amplificateur optique utilisé dans les systèmes de communication optique. Contrairement à l'amplificateur à fibre dopée à l'erbium, l'amplification Raman se base sur un phénomène appelé diffusion Raman, qui est une interaction entre la lumière et les vibrations des molécules du matériau de la fibre optique, généralement de la silice. Dans l'amplificateur Raman, une onde optique dite "onde Stokes" est introduite dans la fibre optique. Cette onde a une longueur d'onde légèrement plus grande que celle du signal à amplifier. Lorsque l'onde Stokes interagit avec les molécules de la fibre, une partie de son énergie est transférée aux vibrations moléculaires, créant ainsi une nouvelle onde lumineuse à une fréquence légèrement différente, correspondant à une longueur d'onde plus petite, appelée "onde anti-Stokes". L'onde anti-Stokes résultante est en fait une amplification du signal initial. En se propageant dans la fibre, elle se combine avec le signal existant et le renforce, augmentant ainsi la puissance du signal à la longueur d'onde d'origine. Ce processus permet donc de compenser les pertes d'atténuation subies par le signal lors de sa propagation dans la fibre optique. [2.4]

II.2.5.3. Amplificateurs à semi-conducteur (SOA)

Les amplificateurs à semi-conducteur, tels que les amplificateurs à cascade de SOA (amplificateurs à semi-conducteur à amplification optique), sont basés sur l'utilisation de matériaux semi-conducteurs pour amplifier le signal optique. Toutefois les technologies associées aux SOA ne sont pas encore suffisamment matures pour permettre à un SOA de se substituer à un EDFA, en particulier dans les systèmes longue distance et large bande, et à haut-débit. Ils sont plus utilisés dans les systèmes métropolitains, ou pour des opérations de routage ou de régénération optique. [2.5]

II.3. Formats de modulation

II.3.1. Principe

Les systèmes de transmission par fibres optiques permettent de transmettre des signaux optiques portant des informations binaires, généralement représentées par les valeurs "0" et "1". Pour réaliser cette transmission, il est essentiel d'utiliser un format de modulation approprié pour convertir les signaux binaires en signaux optiques.

L'un des formats de modulation les plus couramment utilisés est le codage en intensité, appelé OOK (On/Off Keying). Dans ce format, les informations sont transmises en modulant l'intensité du signal optique, en allumant et en éteignant la source lumineuse en fonction des bits à transmettre.

Outre l'intensité, la phase de l'onde lumineuse peut également être utilisée pour moduler les signaux binaires. Il existe plusieurs formats de modulation basés sur la modulation de phase, tels que le PSK (Phase-Shift Keying). Cependant, nous nous intéresserons plus particulièrement au DPSK (Differential Phase-Shift Keying), qui est une méthode de modulation très intéressante. Dans le DPSK, les variations de phase entre les symboles binaires adjacents sont utilisées pour transmettre les informations.

Le choix du format de modulation est crucial car chaque format présente des caractéristiques temporelles, de phase et de spectre propres. Les signaux optiques se propageant dans la fibre optique sont soumis à des effets tels que l'atténuation, la dispersion, les effets non linéaires et l'accumulation du bruit d'ASE (Amplified Spontaneous Emission), qui dépendent des propriétés temporelles et spectrales du signal. Chaque format de modulation réagira différemment à ces effets, certains étant plus tolérants que d'autres. Les formats de modulation les plus tolérants peuvent être plus complexes ou plus coûteux à générer et/ou à détecter.

Ainsi, le choix du bon format de modulation dépend des contraintes et des exigences spécifiques du système de transmission optique, en tenant compte des effets de propagation et des performances attendues en termes de débit, de fiabilité et de qualité de signal [2.5].

II.3.2. Codages en intensité (OOK)

La modulation en amplitude (AM) est l'un des formats de modulation optique les plus simples et couramment utilisés. Dans ce format, l'information binaire est transmise en modulant l'amplitude du signal optique.

Dans la modulation en amplitude, une puissance lumineuse élevée est utilisée pour représenter un "1" binaire, tandis qu'une puissance plus faible (idéalement nulle) est utilisée pour représenter un "0" binaire. Le signal optique est modulé en ajustant la puissance lumineuse en fonction du signal binaire d'entrée. Pour générer la modulation en amplitude à l'aide d'un modulateur Mach-Zehnder, la tension de commande est modulée avec un signal électrique proportionnel au signal binaire initial. Ce signal de commande varie entre les valeurs minimale et maximale de la fonction de transfert en intensité du modulateur Mach-Zehnder, permettant ainsi de moduler l'amplitude du signal optique.

Cependant, il est important de noter que des imperfections de modulation peuvent entraîner une puissance résiduelle pour le codage du "0", ce qui se traduit par un taux d'extinction fini (ER). L'ER représente le rapport entre la puissance optique du signal "1" et la puissance résiduelle du signal "0". Un ER élevé indique une meilleure distinction entre les deux niveaux de puissance, ce qui améliore la fiabilité de la détection du signal [2.5]. Le taux d'extinction pour le format de modulation OOK est défini comme suit :

$$ER = \frac{P_1}{P_0} \quad (\text{II.5})$$

Avec **P1** et **P0** respectivement les puissances moyennes du niveau 1 et du niveau 0. Un format généré expérimentalement a un **taux d'extinction typique** de **13 dB**.

La modulation en amplitude est un format simple et largement utilisé, mais il présente certaines limitations, notamment en termes de sensibilité au bruit et de capacité de transmission. D'autres formats de modulation plus avancés, tels que la modulation de phase (PSK) et la modulation de fréquence (FSK), offrent une meilleure efficacité spectrale et une plus grande capacité de transmission pour les systèmes à haut débit [2.5].

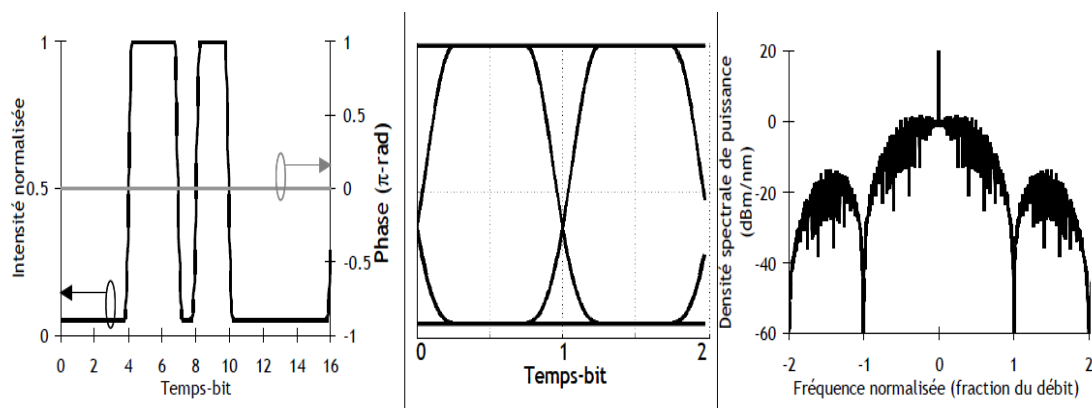


Figure 2.7 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format OOK [2.5]

Le format NRZ (Non-Return-to-Zero) est le plus simple à générer car il utilise une seule valeur de niveau optique pour représenter les bits, contrairement aux formats RZ (Return-to-Zero) et CSRZ (Carrier Suppressed Return-to-Zero) qui utilisent plusieurs niveaux optiques. Cependant, le format NRZ présente une sensibilité élevée aux effets de dispersion et de distorsion, ce qui limite sa portée de transmission et sa tolérance aux effets non-linéaires. Ces limitations sont particulièrement importantes à des débits élevés tels que 40 Gbit/s, où les signaux ont une durée d'impulsion très courte et sont plus sensibles aux distorsions. Ainsi, pour des débits élevés, il est souvent nécessaire d'utiliser des formats de modulation plus avancés tels que le format RZ ou le format CSRZ pour obtenir une meilleure tolérance aux effets non-linéaires et de dispersion. II.3.3. Codages différentiels en phase (DPSK) [2.5].

1. Principe

Dans le domaine de la transmission optique, la modulation en phase est souvent préférée à la modulation en amplitude en raison de sa meilleure résistance aux perturbations et aux effets de propagation. En modulant l'information binaire dans la phase de l'onde lumineuse plutôt que dans son amplitude, on réduit la sensibilité du signal optique aux fluctuations d'intensité causées par les perturbations sur le trajet de transmission.

Le format de modulation DPSK est un format simple qui utilise la phase de l'onde lumineuse (où la phase peut prendre deux valeurs, 0 ou π) pour coder les données binaires. Il nécessite un précodage logique pour générer le signal modulé et utilise la détection différentielle pour reconstruire les données binaires à partir du signal reçu. Bien que cela introduise une complexité supplémentaire, le DPSK offre une certaine robustesse aux perturbations et peut être utilisé dans diverses applications de transmission optique.

Le spectre du signal DPSK présente une largeur similaire à celle du signal OOK, mais avec une visibilité réduite de la fréquence de l'onde porteuse et de ses harmoniques. Cela est dû à la modulation de phase utilisée dans le DPSK, qui privilégie les variations de phase pour coder les données binaires plutôt que les variations d'amplitude [2.5]. (Figure 2.8) :

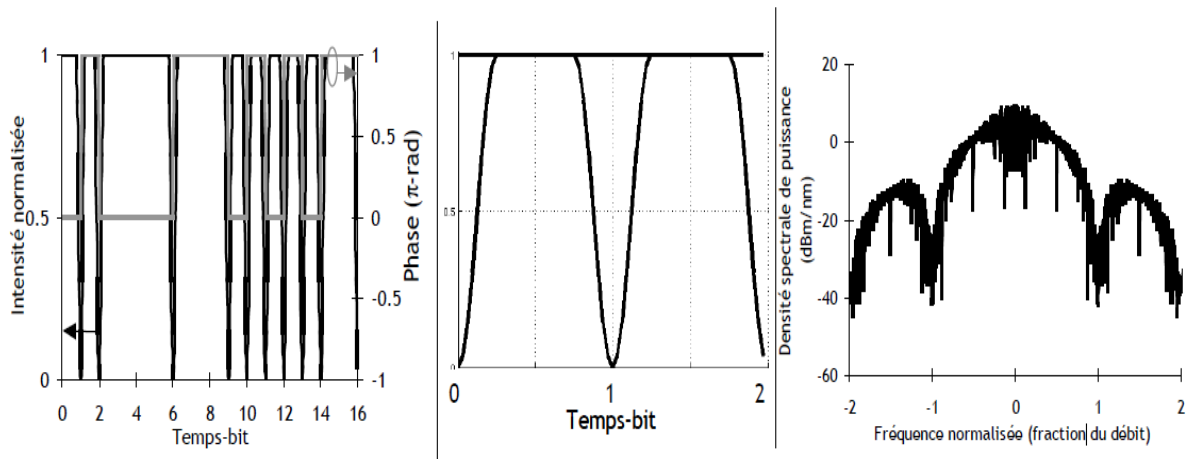


Figure 2.8 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format DPSK [2.5]

2. Détection différentielle

Nous savons que les détecteurs optiques ne sont sensibles qu'à l'intensité du signal et non à sa phase. Pour récupérer l'information de phase d'un signal optique, on utilise la démodulation cohérente, où le signal à détecter est interféré avec un oscillateur local stabilisé en fréquence et en phase. Ce montage permet de récupérer l'information de phase du signal optique et est utilisé dans des systèmes de communication optique à haut débit pour améliorer les performances de détection et de suppression des distorsions.

La détection différentielle est une technique utilisée pour récupérer l'information de phase dans les signaux optiques. Dans cette technique, le signal optique transmis est interféré avec lui-même, mais décalé d'un temps-bit. Cela est réalisé en utilisant un interféromètre de Mach-Zehnder, où l'un des bras de l'interféromètre est plus long que l'autre d'une longueur correspondant à la distance de propagation du signal pendant une durée équivalente à un temps-bit (environ 4 cm pour 10 Gbit/s, ou 1 cm pour 40 Gbit/s) [2.1].

L'interféromètre de Mach-Zehnder ainsi créé est appelé démodulateur différentiel. Il est placé juste avant le détecteur optique, formant ainsi un détecteur différentiel [2.1]. Le schéma d'un détecteur différentiel DPSK est illustré dans (la Figure 2.9)

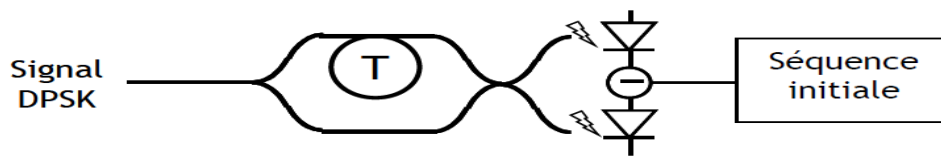


Figure 2.9 : schéma d'un détecteur différentiel pour DPSK (T : retard d'un temps-bit) [2.1]

II.3.3. Codages duobinaires

La dernière famille de formats de modulation que nous allons présenter ici est celle du codage duobinaire. Dans les formats de modulation duobinaire, l'information est détectée en intensité à l'aide d'un récepteur OOK conventionnel, mais la phase intervient également dans la modulation du signal. Dans ce cas, la phase peut être modifiée chaque fois qu'un symbole "0" est codé, tandis qu'un symbole "1" peut présenter une phase de 0 ou de π (p).

La (Figure 2.10) illustre les caractéristiques de ce format de modulation duobinaire, montrant la relation entre l'amplitude, la phase et le spectre du signal. On peut observer que les transitions de phase entre les symboles "0" contribuent à la réduction de la largeur spectrale, tout en maintenant une détection en intensité grâce à un récepteur OOK [2.5].

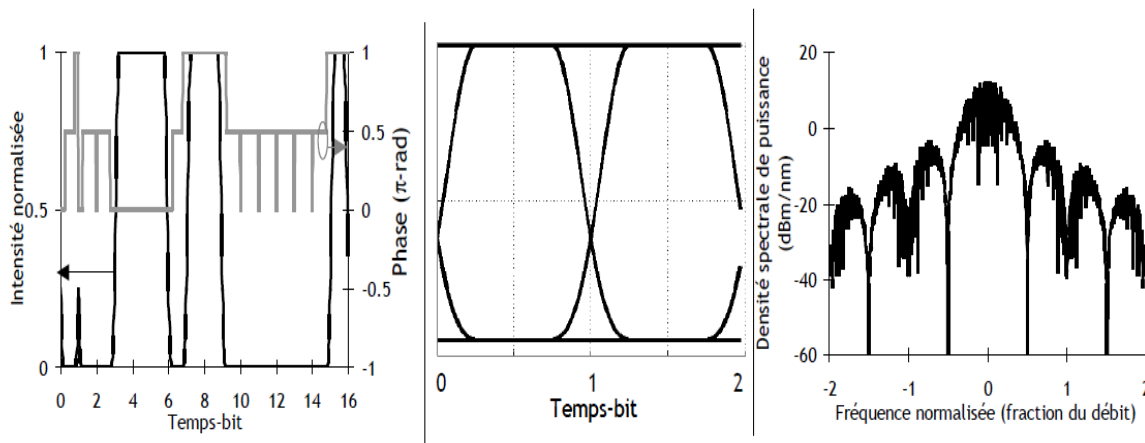


Figure 2.10 : trace temporelle, diagramme de l'œil et spectre du format duobinaire optique. [2.5]

Le duobinaire peut être généré de manière électrique en effectuant un traitement du signal binaire initial. Ce traitement consiste à soustraire le signal binaire à lui-même décalé d'un temps-bit, ce qui produit un signal électrique à trois niveaux : +1, 0 et -1, correspondant respectivement à "1-0", "1-1" ou "0-0", et "0-1". Ces niveaux sont ajustés pour correspondre aux premiers maximums de la fonction de transfert en intensité du modulateur Mach-Zehnder (MZM), au minimum suivant et au maximum suivant. Ces ajustements correspondent à des phases de 0, π et 0, respectivement [2.5].

II.4. Comparaison entre les différents formats

Le tableau II.1 présente une étude comparative entre les différents formats abordés précédemment :

Format de modulation	OOK	DPSK	Duobinaire
Mise en œuvre	simple	Onéreux	Onéreux
Débit maximal	40 Gbits /s	Plus que 40Gbits /s	Plus que 40 Gbits /s
Multiplexage WDM	Moins performant	Plus performant	Performant

Tableau 2.1 : comparaison entre les différents formats de modulation.

En comparaison entre les formats de modulation OOK et duobinaire, il est vrai que la DPSK présente généralement de meilleures performances, notamment en termes de tolérance aux perturbations et de robustesse aux effets non linéaires. Cependant, la mise en œuvre de la modulation DPSK peut être plus complexe et coûteuse par rapport à la modulation OOK.

II.5. Conclusion

Le développement rapide des technologies de télécommunication a rendu l'utilisation de liaisons optiques et de systèmes de transmission par fibre optique indispensables pour répondre aux besoins croissants en termes de débit de transmission des données. Dans une liaison optique WDM, les blocs fondamentaux comprennent le bloc d'émission, le canal de communication et le bloc de réception. Le bloc d'émission délivre le signal sur la fibre optique en utilisant une source lumineuse telle qu'un laser, avec la modulation directe ou externe. La fibre optique sert de canal de communication et le bloc de réception convertit le signal lumineux en un signal électrique à l'aide d'un photodétecteur tel qu'une photodiode PIN ou PDA. La technique de multiplexage en longueur d'onde (WDM) permet d'augmenter la capacité des systèmes de transmission optique en utilisant plusieurs sources laser émettant à différentes longueurs d'onde simultanément dans la fibre optique. Enfin, les amplificateurs optiques tels que les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium (EDFA) sont utilisés pour compenser l'atténuation du signal dans les liaisons à longue distance. Dans l'ensemble, ces composants optiques et optoélectroniques sont essentiels pour assurer une transmission efficace des données à haut débit sur de longues distances.

CHAPITRE III

Simulation et Résultats

III .1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de simulations effectuées à l'aide du logiciel OPTISYSTEM (forme OPTIWAVE). Ces simulations visent à analyser, évaluer et comparer les performances des systèmes optiques modulés en intensité, duobinaire et DPSK. Le chapitre III est divisé en trois parties principales :

1. Simulation d'un système optique modulé en intensité : Nous effectuons des simulations pour évaluer les performances d'un système optique utilisant la modulation en intensité.
2. Comparaison entre trois systèmes optiques modulés en intensité, duobinaire et DPSK : Nous effectuons des simulations pour comparer les performances des trois formats de modulation : intensité, duobinaire et DPSK.
3. Comparaison d'un système WDM modulé en intensité, duobinaire et DPSK : Nous effectuons des simulations pour comparer les performances des trois formats de modulation dans un système de multiplexage en longueur d'onde (WDM).

Avant d'aborder les travaux de simulation, nous présentons le logiciel OPTISYSTEM et les critères d'évaluation utilisés dans nos simulations. Ces travaux de simulation sont importants pour comprendre les avantages et les limitations des différents formats de modulation et pour guider le choix du format le plus adapté en fonction des besoins spécifiques du système optique étudié.

III.2. Logiciel OptiSystem

OptiSystem "Optical communication System Design Software", est un logiciel de simulation développé par une société canadienne, pour permettre aux chercheurs et ingénieurs de modéliser et simuler des systèmes de télécoms optiques afin de concevoir, essayer et optimiser toute liaison optique. Cet outil doté d'une interface interactive alliant des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et d'une interface utilisateur, possède un nouvel environnement de simulation très puissant et une définition hiérarchique de composants et systèmes. Ses capacités peuvent être facilement augmentées grâce à l'ajout de composants d'utilisateur et d'interfaces sans failles à une gamme d'outils couramment utilisés [3.1].

- a. **Interface OptiSystem** :elle contient une fenêtre principale répartie en plusieurs parties, comme le montre la figure

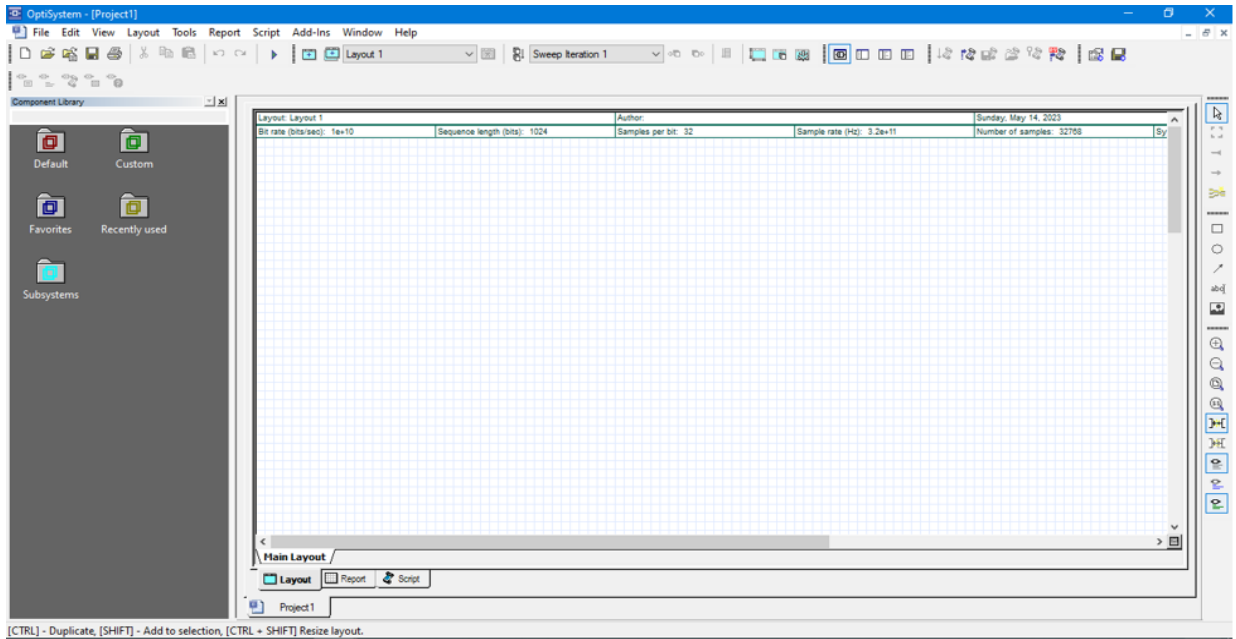


Figure 3.1: Interface graphique du logiciel OptiSystem

- b. Bibliothèque** : une base de données de divers composants existants.
- c. Editeur du layout** : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- d. Projet en cours** : visualise divers fichiers et composants correspondants au projet en cours.

III.3. Edition et simulation :

Lors de la conception d'un layout, il suffit de glisser le composant de la bibliothèque vers le layout pour le placer. OptiSystem permet aussi le paramétrage pour chaque composant défini dans le layout, comme le montre la figure 3.2. En effet, un double-clic sur le composant permet l'affichage de ses paramètres [3.2].

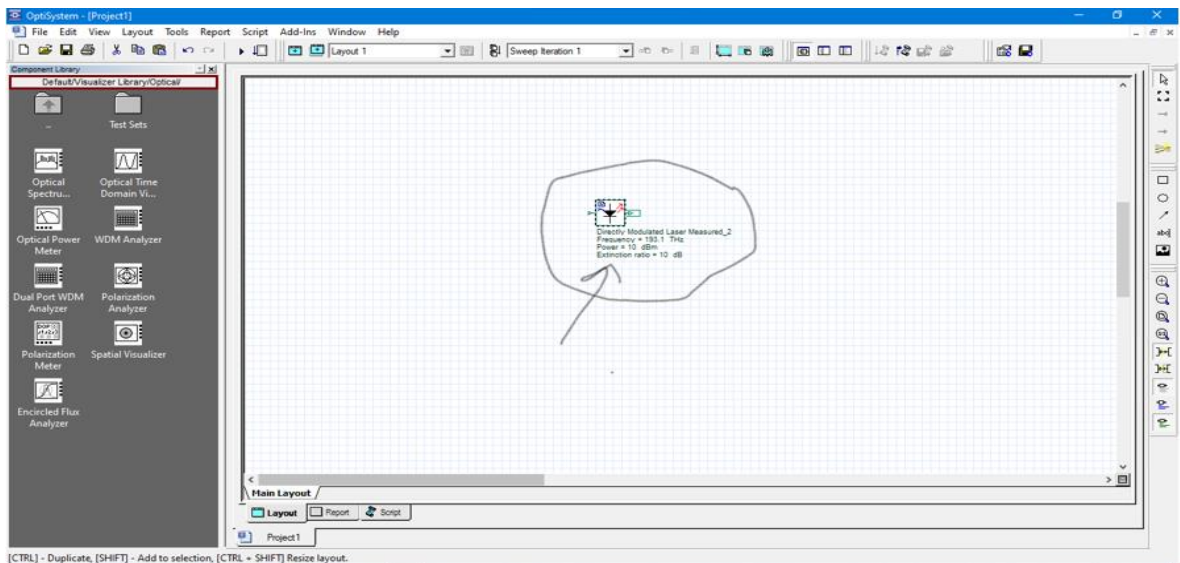


Figure 3.2 : Le paramétrage d'un composant [3.3]

Par contre, avant de lancer la simulation, le layout présente aussi des paramètres qu'on peut contrôler par un simple double-clic dans le layout, comme l'illustre la figure 3.3.

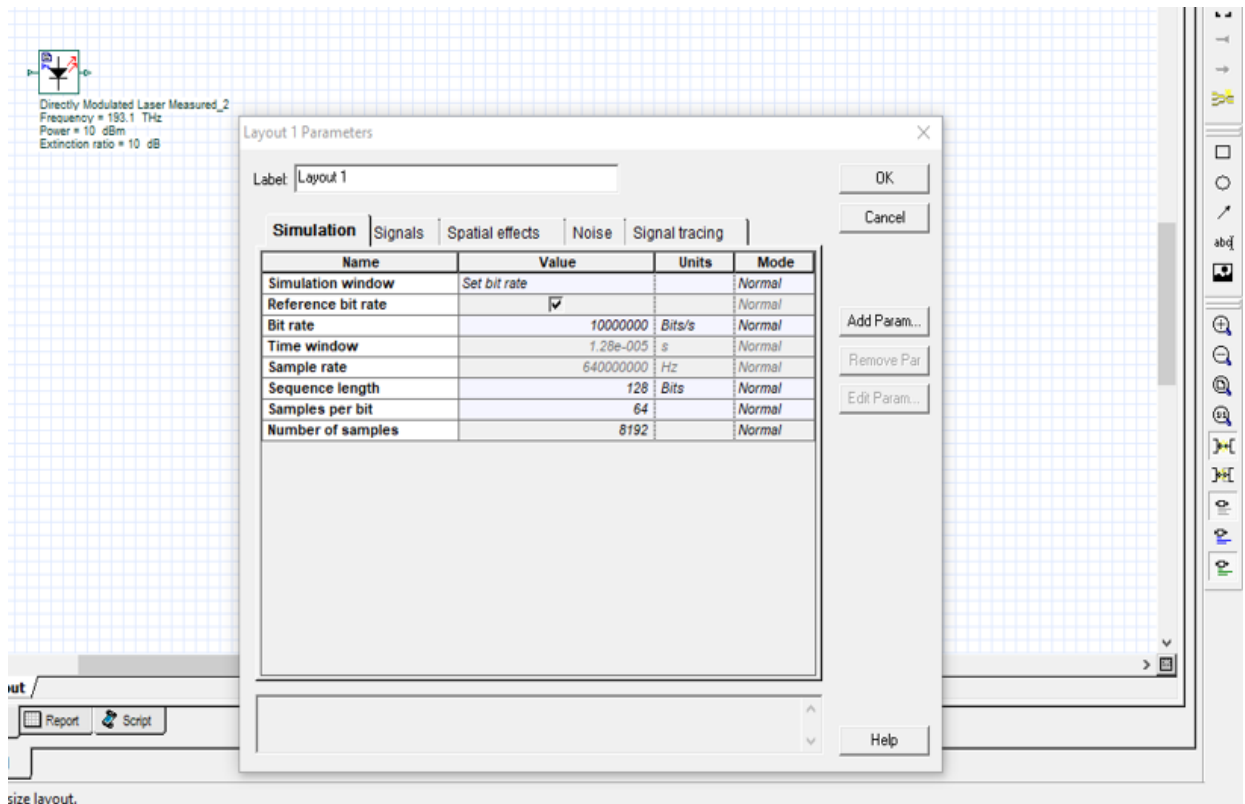


Figure 3.3: Modification des paramètres globale du layout [3.2].

Pour lancer la simulation, il suffit de saisir ou bien en tapant simultanément Ctrl+F5 ou bien en accèdent directement par le menu Fichier puis Calculâtes ou bien cliquer sur le betton Stop, voir la figure 3.4 [3.2].

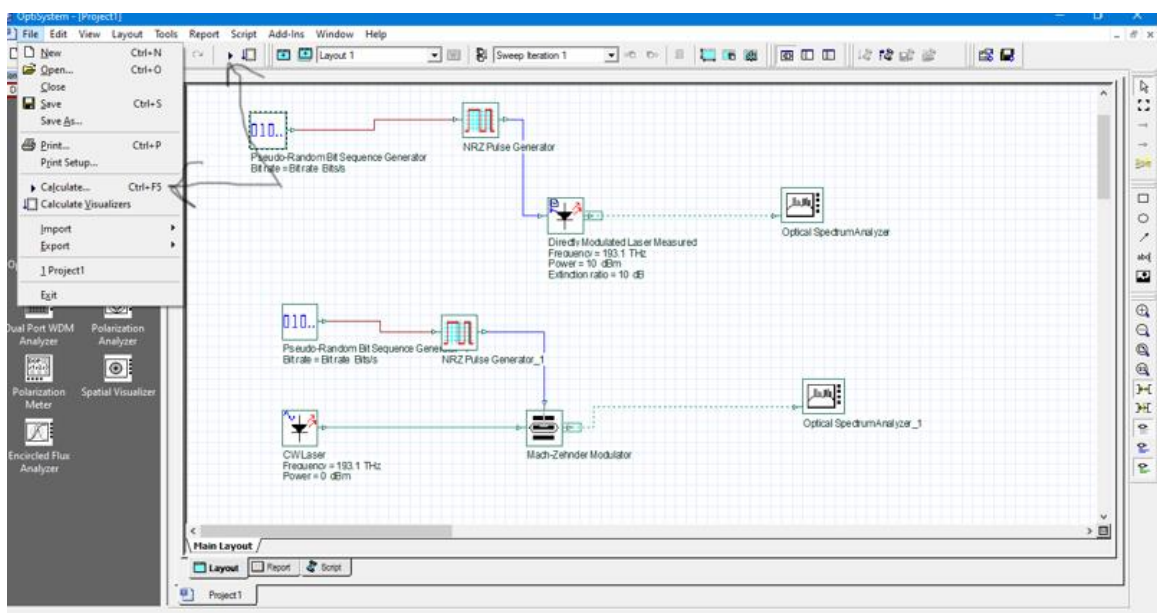


Figure 3.4: Démarrage de la simulation [3.2].

Enfin, pour visualiser les diverses analyses, un double-clic sur l'appareil de mesure pour afficher [3.2].

III.4. Critères d'évaluation

L'utilisation des critères d'évaluation tels que le facteur de qualité et le diagramme de l'œil permet d'évaluer les performances des systèmes optiques et de caractériser la qualité du signal optique transmis. Dans Nos travaux nous utilisons le facteur de qualité et le diagramme de l'œil.

III.4.1. Le Facteur de Qualité

Le facteur de qualité est une mesure de la qualité de transmission d'un système optique. Il est généralement utilisé pour évaluer les performances d'un lien de communication optique en tenant compte des pertes de transmission, du bruit et des distorsions. Un facteur de qualité élevé indique une meilleure qualité de transmission. Le facteur de qualité est calculé en utilisant la formule suivante :

$$Q = 20 \log_{10} \frac{1}{BER} \quad (\text{III.1})$$

Où :

- **Q** : le facteur de qualité.
- **BER** : le taux d'erreur binaire (Bit Error Rate) du système.

Plus le facteur de qualité est élevé, plus le système est capable de transmettre les données de manière fiable avec un faible taux d'erreur.

Elle s'appuie sur l'hypothèse gaussienne de la distribution de bruit d'amplitude pour chaque symbole. Si l'on considère que le bruit est gaussien, qu'on connaît les tensions moyennes (V_0 et V_1) et les variances (σ_0 et σ_1) des niveaux « 0 » et « 1 ». Le facteur de qualité (Q) est donné aussi par :

$$Q = \frac{(V_1 - V_0)}{(\sigma_1 - \sigma_0)} \quad (\text{III.2})$$

III.4.2. Le diagramme de l’œil

Le diagramme de l'oeil est la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. La Figure 3.5 représente une séquence de notre simulation sous OptiSystem de la partie de la réception

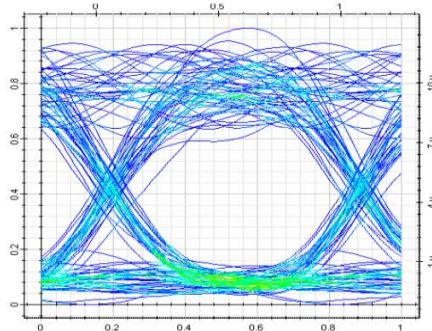
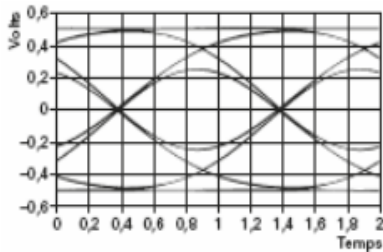
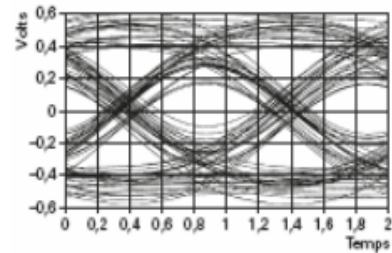


Figure 3.5: Diagramme de l’œil de la partie réception. [3.3]

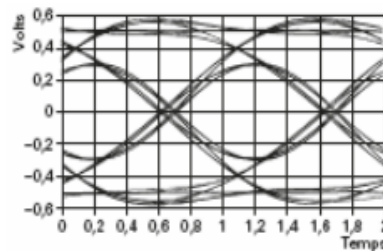
Les figures suivantes permettent d’analyser et d’interpréter les diagrammes de l’œil obtenus :



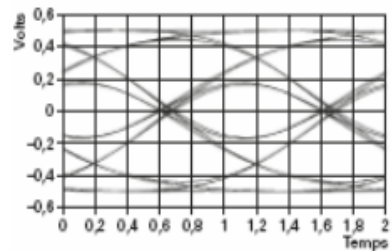
(a) Diagramme de l’œil est bon.



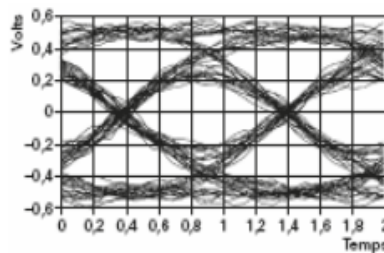
(b) Effet d'un couplage capacitif



(c) distorsion de la phase et d'amplitude Dans le canal de transmission.



(d) Effet du filtrage très restrictif



(d) Effet du bruit sur le diagramme de l’œil

Figure 3.6: Interprétations des diagrammes de l’œil.[3.3]

III.5. Travaux de simulation

III.5.1. Etude de la modulation externe de l'intensité

L'étude d'un système optique modulé en intensité permet d'analyser et d'améliorer ses performances en termes de qualité de transmission. Dans cette partie, l'objectif est d'évaluer l'impact du débit de transmission et de la distance de propagation sur le facteur de qualité Q.

A) Topologie

La figure 3.7 illustre le système modulé en externe en intensité à simuler. Il est composé de :

- ✓ Un générateur de bits pseudo-aléatoire.
- ✓ Un codeur NRZ (Non-Retour à Zéro).
- ✓ Une diode laser CW.
- ✓ Modulateur mach-Zehnder.
- ✓ Une fibre optique monomodale.
- ✓ EDFA (amplificateur a fibre dopée à l'erbium)
- ✓ Une diode PIN.
- ✓ Un filtre passe bande.

Afin d'analyser l'effet de la longueur de la fibre et le débit sur la qualité de la transmission, nous varions la longueur de la fibre optique avec un pas de 5 km et des débits variant

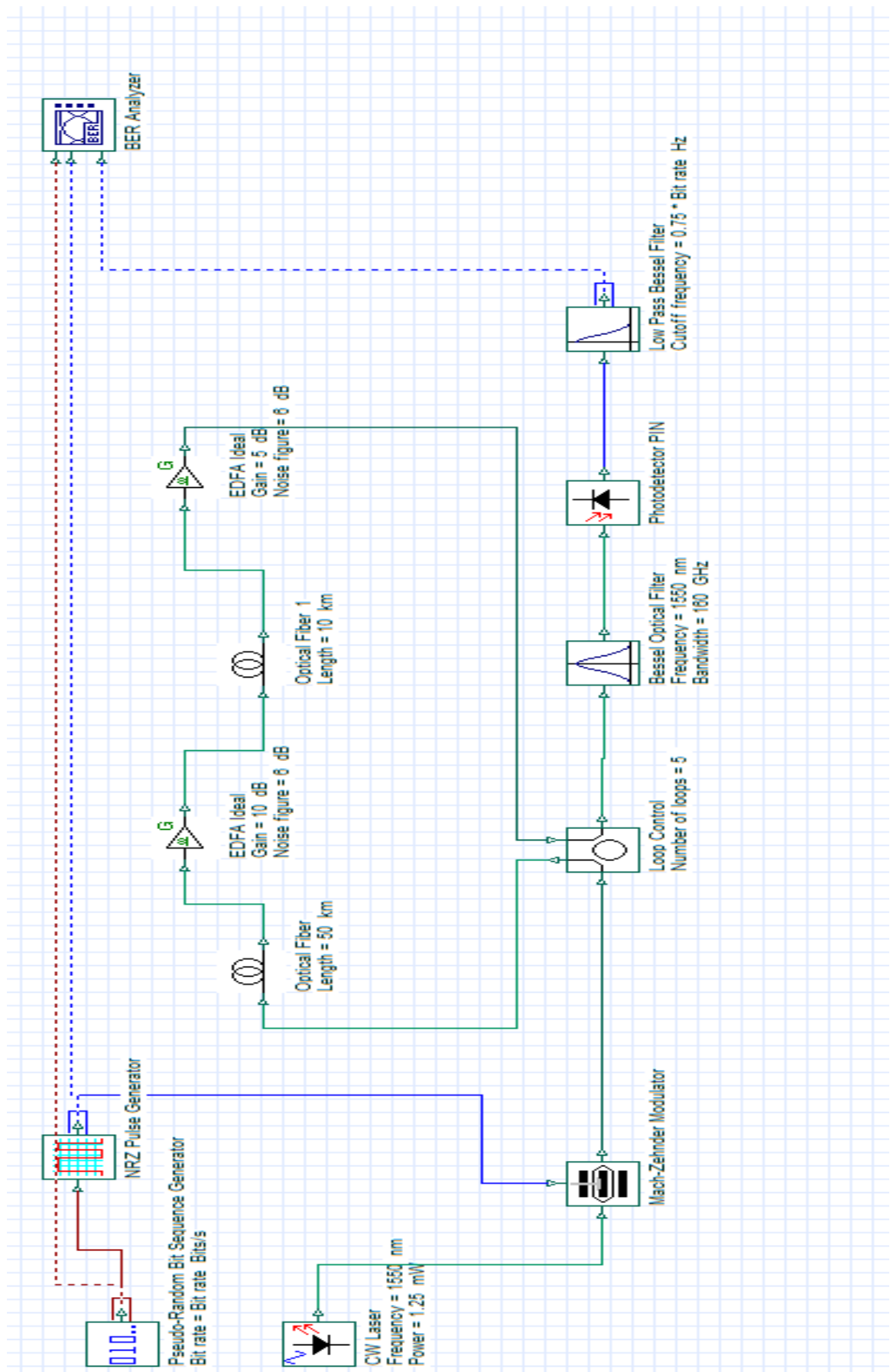


Figure 3.7: topologie de la modulation d'intensité compensation

B) Paramètres des composants

Nous donnons les paramètres des composants optiques dans le tableau 3.1 :

Composants	Paramètres
Photo-émetteur	Longueur d'onde= 1550 nm
Fibre optique	Atténuation=0.2 dB/km
	Dispersion= 16 ps/nm km
	Longueur L
PIN	Sensibilité= 1A/W

Tableau 3.1 : paramètres de composants

C) Présentation des résultats

La figure 3.8 présente respectivement le facteur de qualité Q en fonction du débit

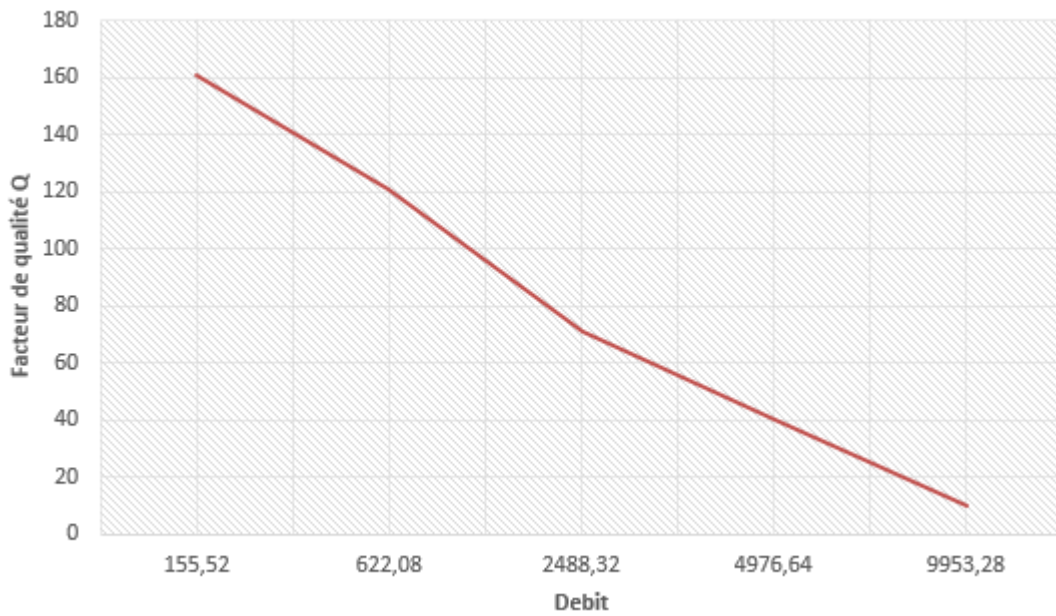


Figure 3.8: Q en fonction de la variation du débit.

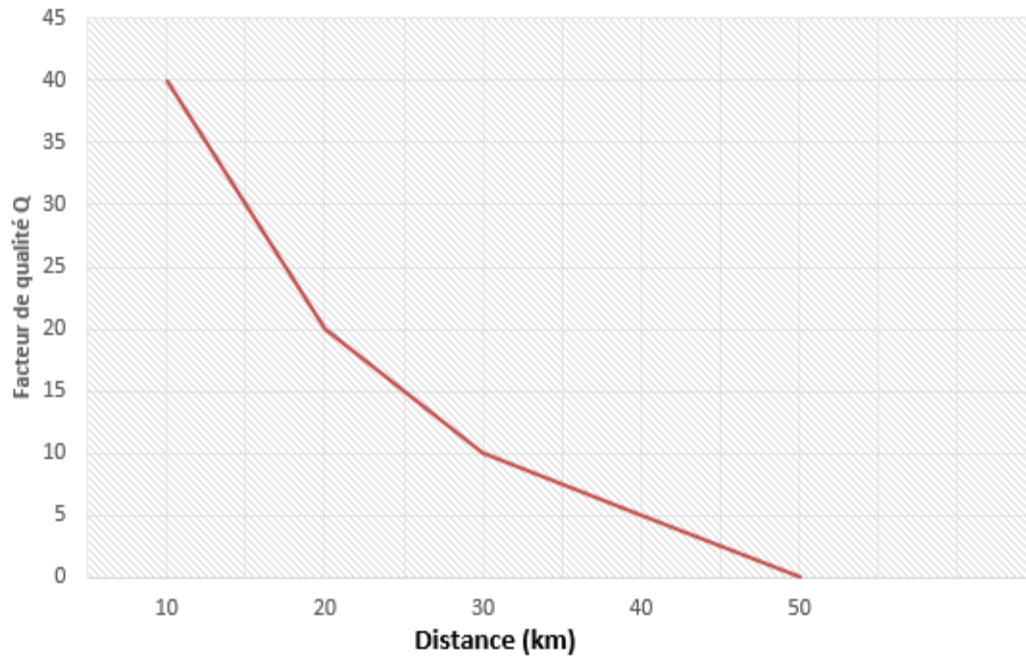


Figure 3.9 : Q en fonction de la distance d'un système modulé en intensité sans compensation de la dispersion

D) Analyses et Interprétations des résultats

Nous observons que la qualité de transmission se dégrade en fonction de la longueur de la fibre et du débit. Cette détérioration du facteur de qualité peut être expliquée par différents facteurs, notamment les bruits et les distorsions inhérents aux composants optoélectroniques et optiques, ainsi que l'affaiblissement et la dispersion chromatique de la fibre optique monomode.

E) Amélioration des performances des systèmes optiques modulés en intensité

Dans le cadre de cette étude, nous cherchons à atténuer les effets néfastes de la dispersion chromatique en utilisant une fibre optique compensatrice de dispersion (DCF) avec un coefficient de compensation de -72 ps/nm km. L'objectif est d'améliorer le facteur de qualité de la transmission sur différentes distances.

La Figure 3.9 illustre la relation entre le facteur de qualité et la distance pour le système optique étudié. Nous pouvons observer l'effet de la dispersion chromatique sur la qualité de transmission, ainsi que l'impact de l'utilisation de la fibre optique compensatrice.

En comparaison du système optique modulé en intensité sans compensation de la dispersion chromatique, l'introduction d'une compensation de la dispersion a entraîné une amélioration significative du facteur de qualité du système. Sans compensation de la dispersion chromatique, la transmission optique est soumise à des distorsions temporelles et à une dégradation du signal, ce qui se traduit par une diminution du facteur de qualité. Cependant, en introduisant une solution de

compensation de la dispersion, telle qu'une fibre optique compensatrice (DCF) avec un coefficient de compensation approprié, les effets néfastes de la dispersion chromatique sont atténués.

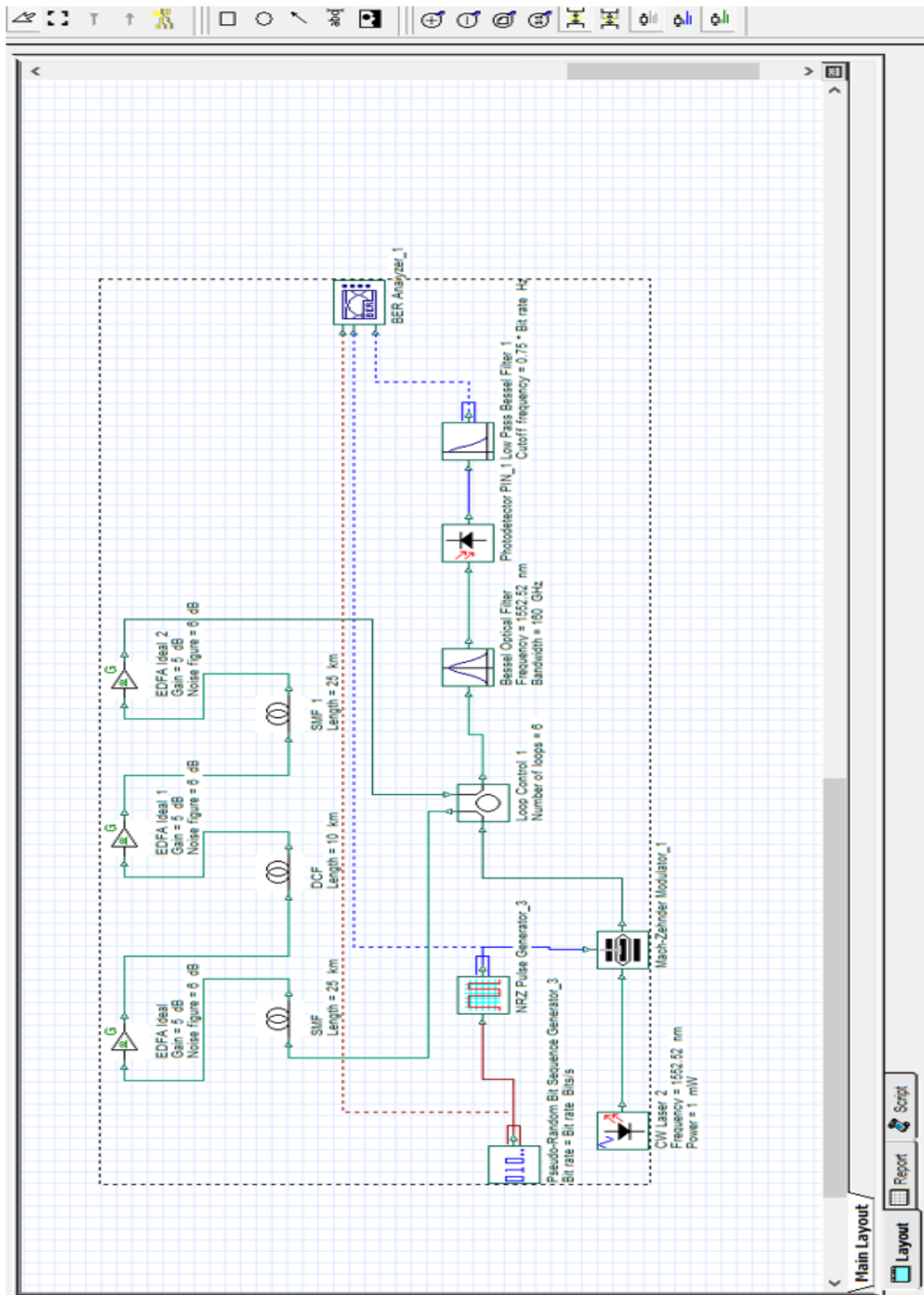


Figure 3.10 : Topologie d'un système modulé en intensité avec compensation de la dispersion

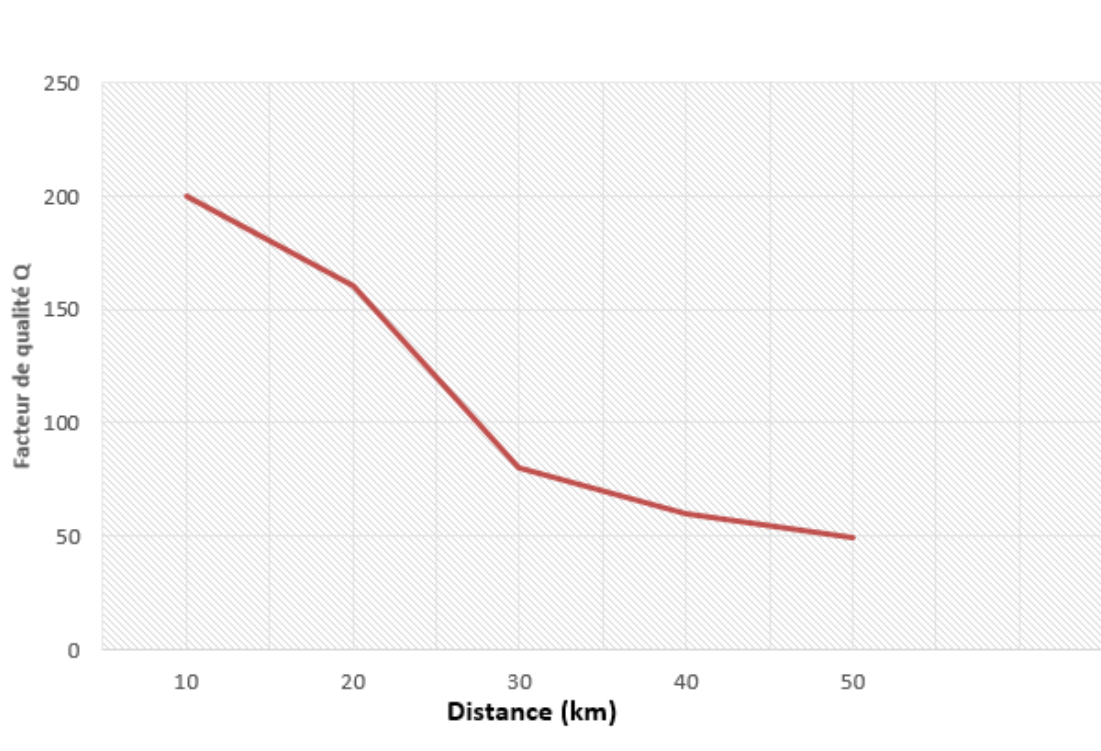


Figure 3.11 : Q en fonction de la distance d'un système modulé en intensité avec compensation de la dispersion

III.5.2. Comparaison entre trois systèmes optique modulé en : intensité, duobinaire et DPSK

Dans cette partie, nous étudions deux systèmes optiques modulés en duobinaire et DPSK, et nous comparons les résultats obtenus avec ceux de la modulation en intensité. L'objectif est d'évaluer la qualité de la transmission en analysant l'impact du débit sur le facteur de qualité Q.

A) Topologies

Les deux topologies des deux systèmes modulés en duobinaire (Figure 3.13) et DPSK (Figure 3.14) sont identiques au système optique modulé en intensité, nous changeons uniquement le format de modulation.

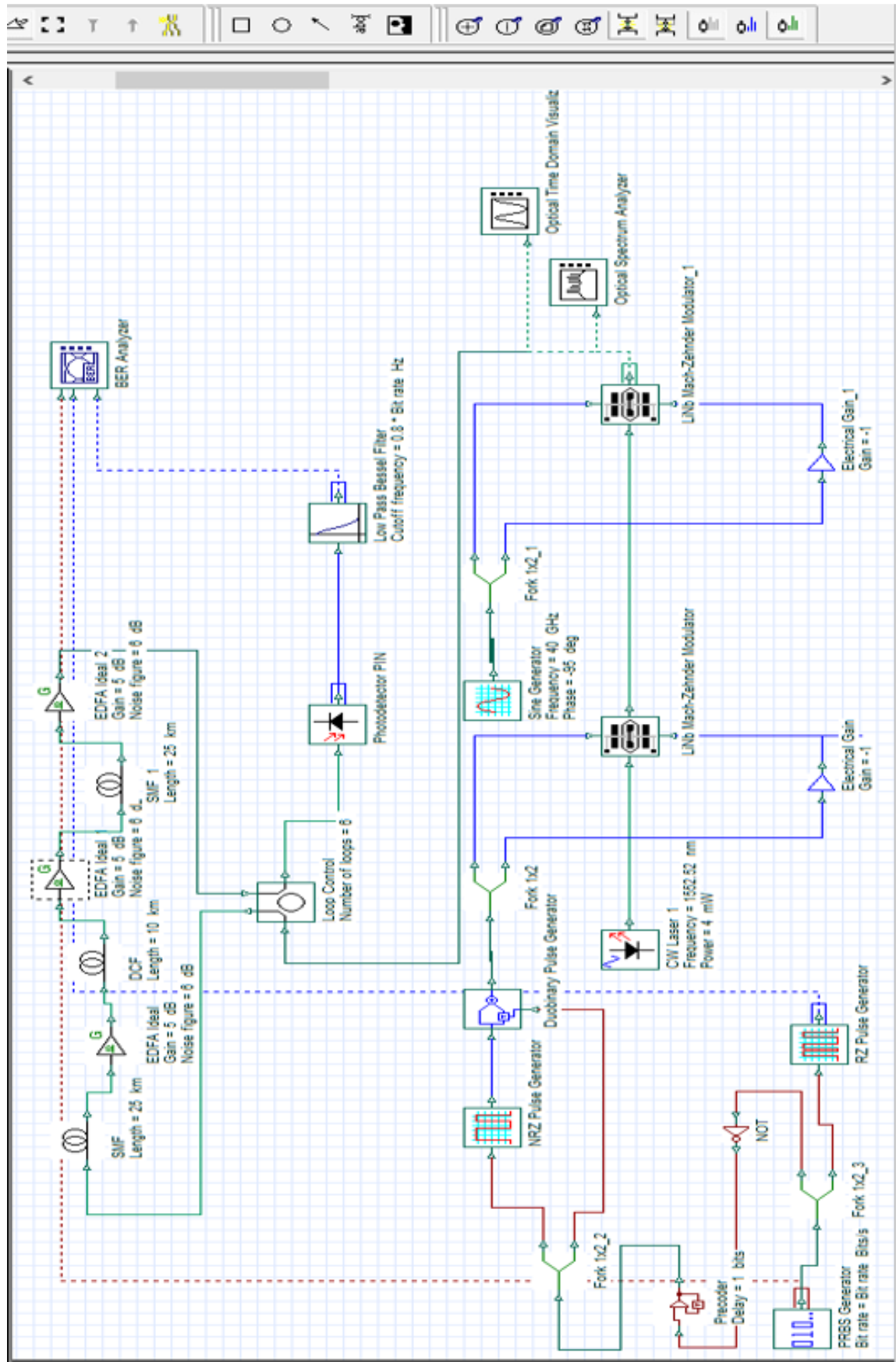


Figure 3.12 : topologie de la modulation duobinaire

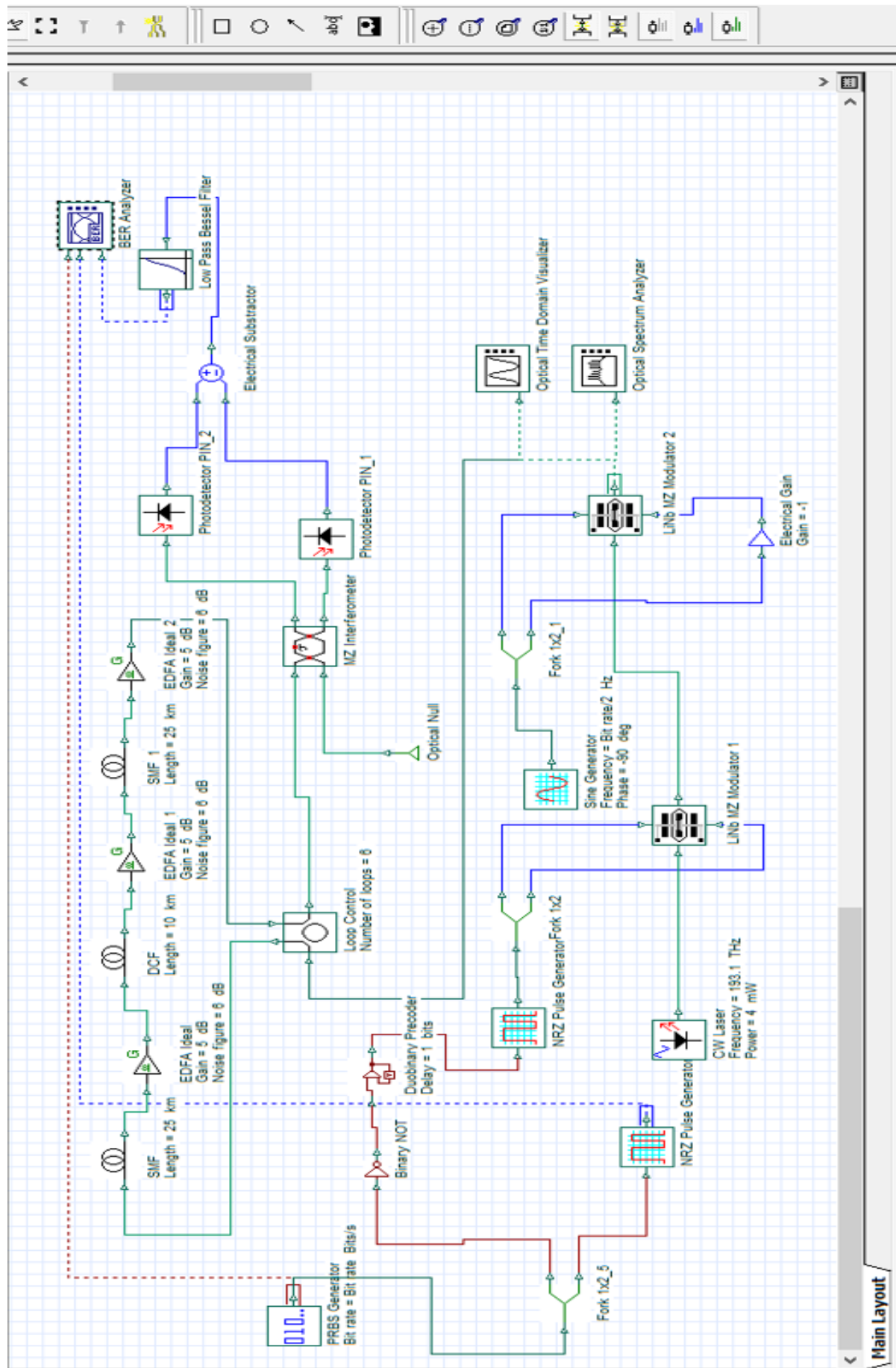


Figure 3.13 : topologie de la modulation DPSK

B) Présentation des résultats

Les figures 3.14 et 3.15 indiquent respectivement le facteur de qualité en fonction du débit de deux systèmes optique modulés en : Duobinaire et DPSK

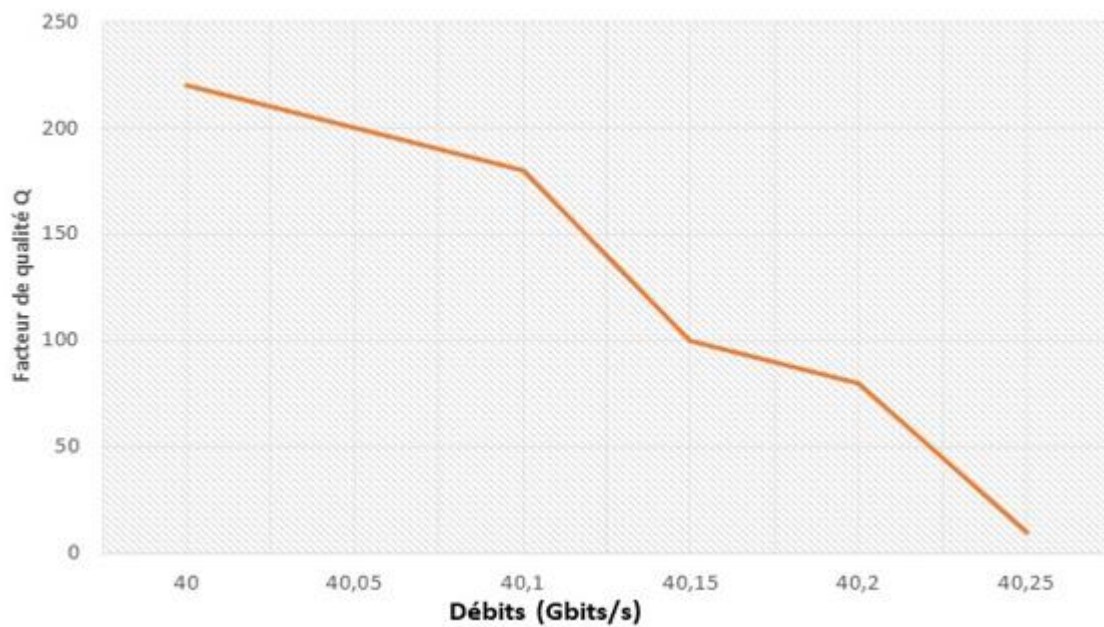
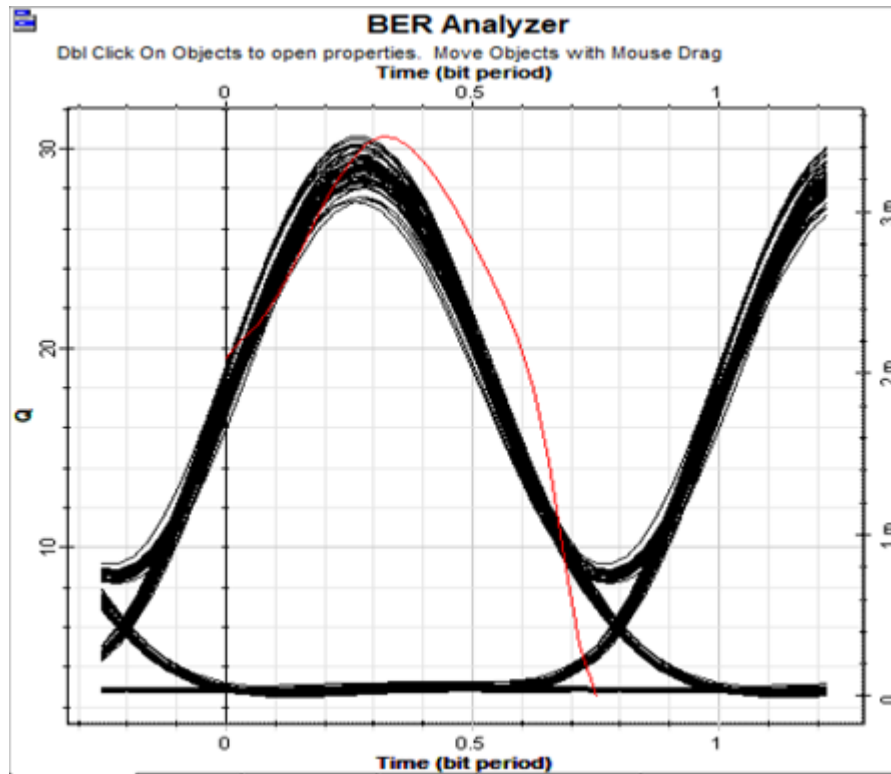


Figure 3.14 : Q en fonction du débit d'un système modulé en duobinaire

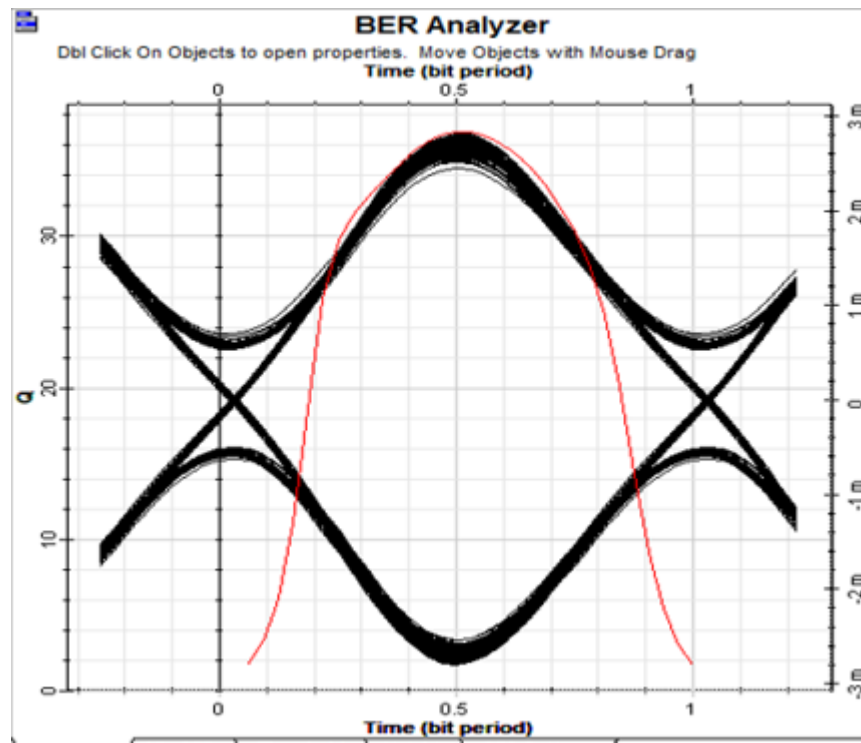


Figure 3.15 : Q en fonction du temps dans un système modulé en DPSK

C) Analyse et Interprétation des résultats

En comparaison avec la modulation d'intensité, nous remarquons que les formats de modulation duobinaire et DPSK présentent l'avantage notable de pouvoir atteindre des débits plus élevés, pouvant aller jusqu'à 40 Gbits/s. Cette amélioration des performances du système optique est le résultat de la robustesse de ces deux formats vis-à-vis des bruits, des distorsions et de la dispersion chromatique.

III.5.3. Comparaison d'un système modulé en : intensité et DPSK

Dans cette partie de l'étude, nous comparons deux systèmes modulés selon deux formats différents : l'intensité et le DPSK.

L'objectif de cette comparaison est de déterminer le meilleur format en termes de débit.

A) Topologie

Le système modulé est identique pour les deux systèmes :

- Un générateur de bits pseudo-aléatoire.
- Un codeur NRZ (Non-Retour à Zéro).
- Une diode laser.
- Modulateur mach-zhender.
- Une fibre optique monomodale de longueur 100 km.
- EDFA (amplificateur a fibre dopée à l'erbium)
- Une diode PIN
- Un filtre passe bande.

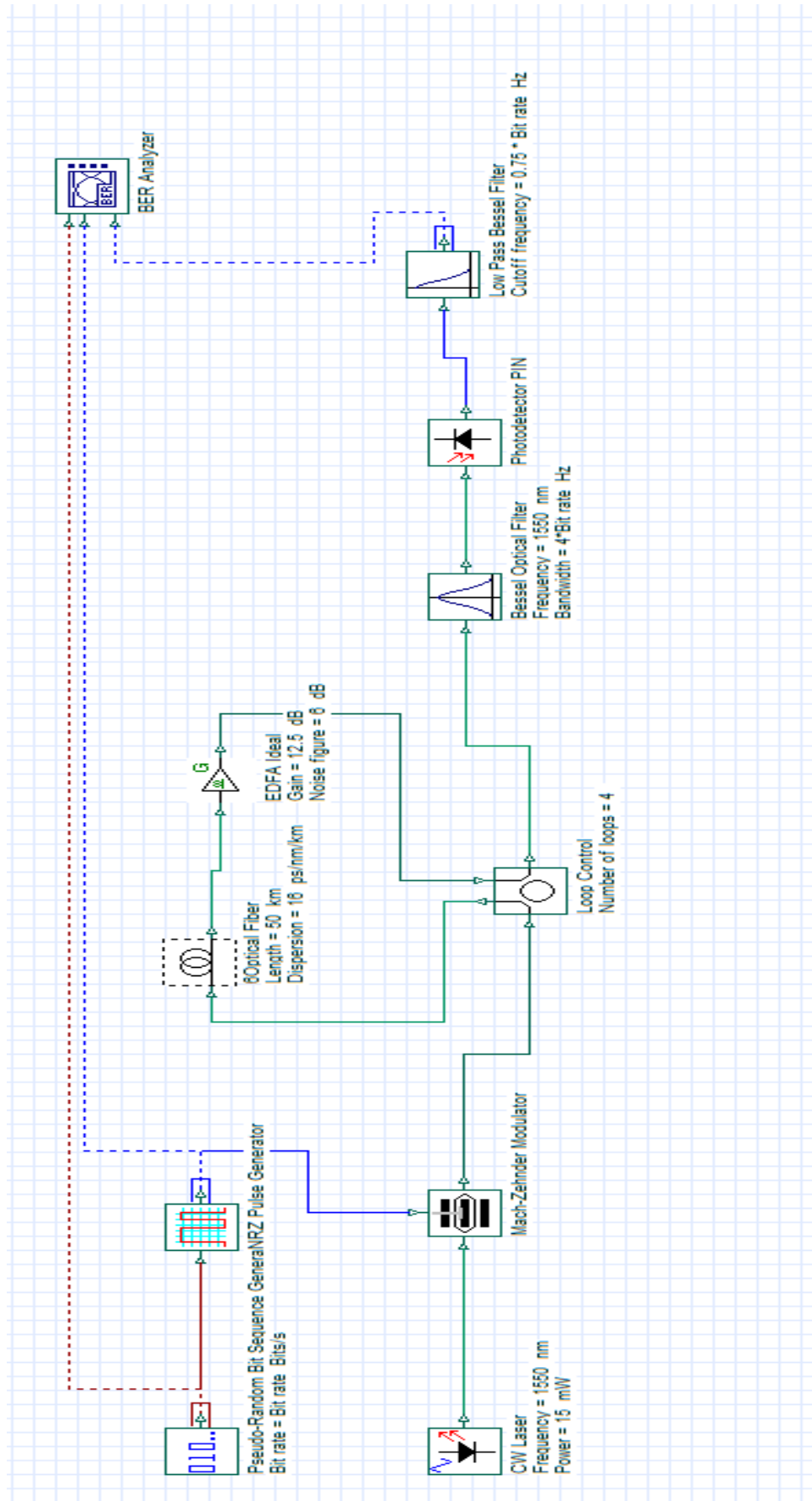


Figure 3.16 : Schéma synoptique de système à 10Gbit/s dans les applications SMF NRZ

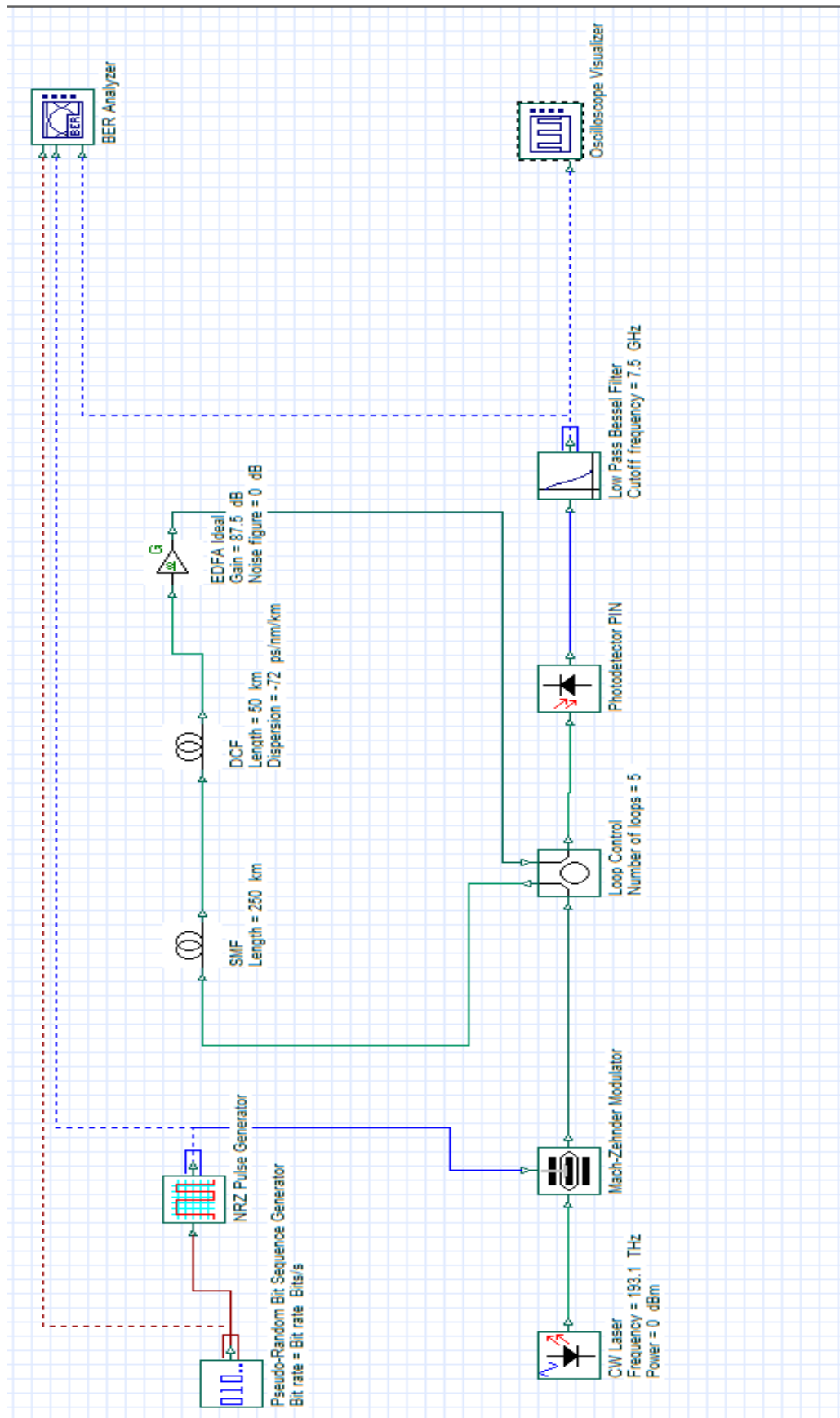


Figure 3.17 : Schéma synoptique des systèmes non-linéarités de la fibre et de la dispersion monocanal

B) Présentation des résultats

Les figures suivantes, présentent respectivement les diagrammes de l’œil des deux systèmes modulés en : intensité et DPSK.

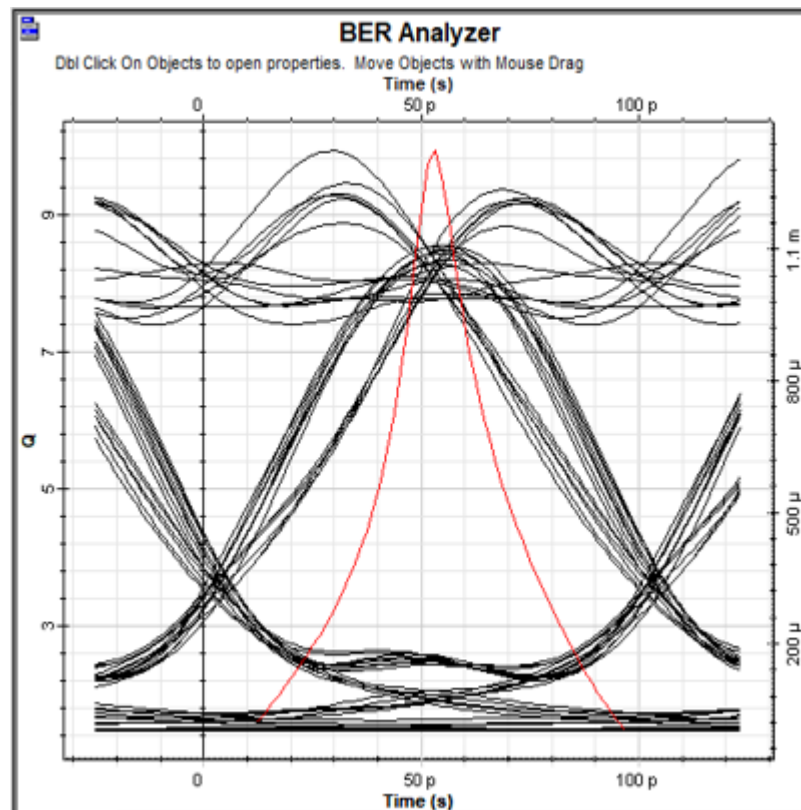


Figure 3.18 : Le diagramme d’œil d’un schéma synoptique de système modulé en intensité à 100 Km

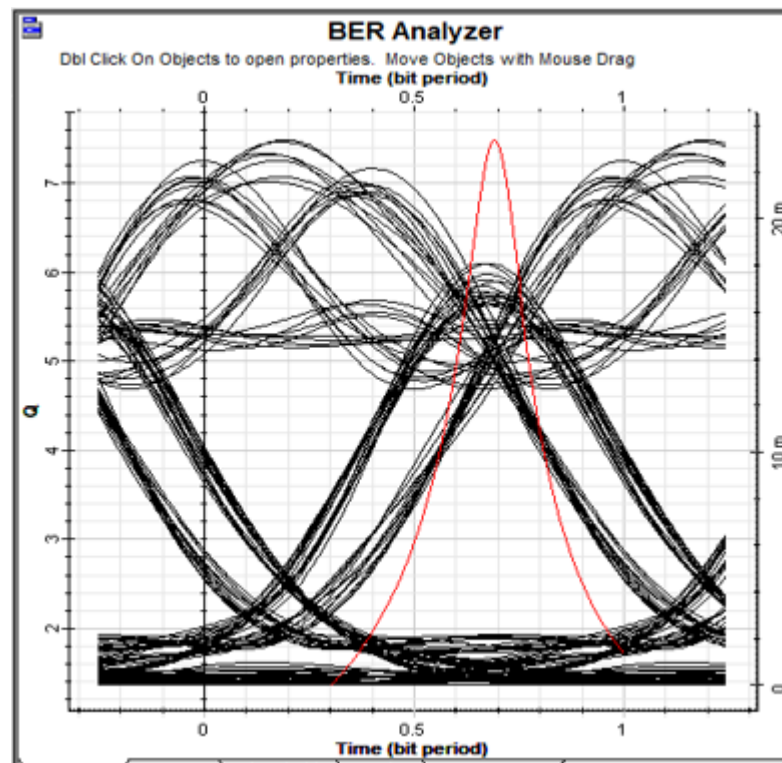


Figure 3.19 : Le diagramme d’œil un système modulé en DPSK à 100 km

Après la simulation à 100 km, on variant la distance et le gain de la fibre optique et trouvent les graphes suivants:

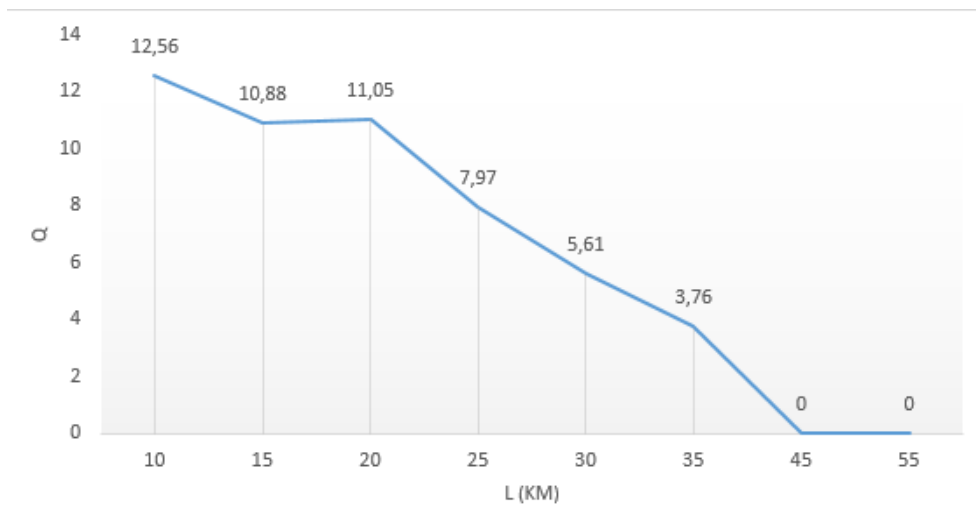


Figure 3.20 : Le graphe de Q en fonction de variation de la distance dans le système en intensité

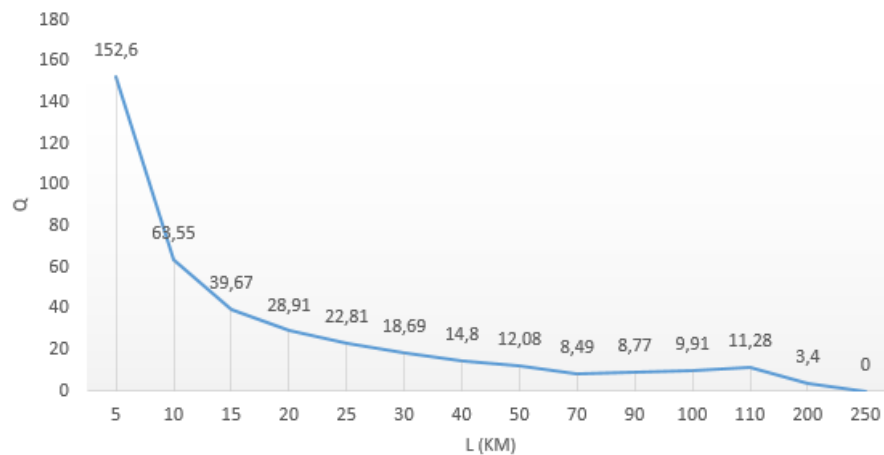


Figure 3.21 : Le graphe de Q en fonction de variation de la distance dans le système en DPSK

C) Analyse et Interprétation des résultats

Les deux diagrammes présentent du bruit et des distorsions de phase et d'amplitude. Cette dégradation du signal s'explique par les : bruits, distorsions, et dispersion chromatique.

Contrairement aux format de modulations d'intensité et DPSK, la modulation DPSK présente le meilleur diagramme de l'œil cela se traduit par la robustesse de la DPSK contre le bruit les distorsions et la dispersion chromatique notamment pour les systèmes modulés.

III.5.4. Comparaison d'un système WDM modulé en : intensité, duobinaire et DPSK

Dans cette partie, nous comparons trois systèmes WDM de 7 canaux modulés respectivement en : Intensité, duobinaire et DPSK.

L'objectif de cette étude est de choisir le meilleur format en terme de débit.

A) Topologies :

Le système WDM à 7 canaux est identique pour les trois systèmes :

- Un générateur de bits pseudo-aléatoire.
- Un codeur NRZ (Non-Retour à Zéro).
- Une diode laser.
- Modulateur mach-zhender.
- Multiplexeur WDM
- Une fibre optique monomodale de longueur 100 km.
- EDFA (amplificateur a fibre dopée à l'erbium)
- Une diode PIN
- Un filtre passe bande.

(les trois schémas sont identique)

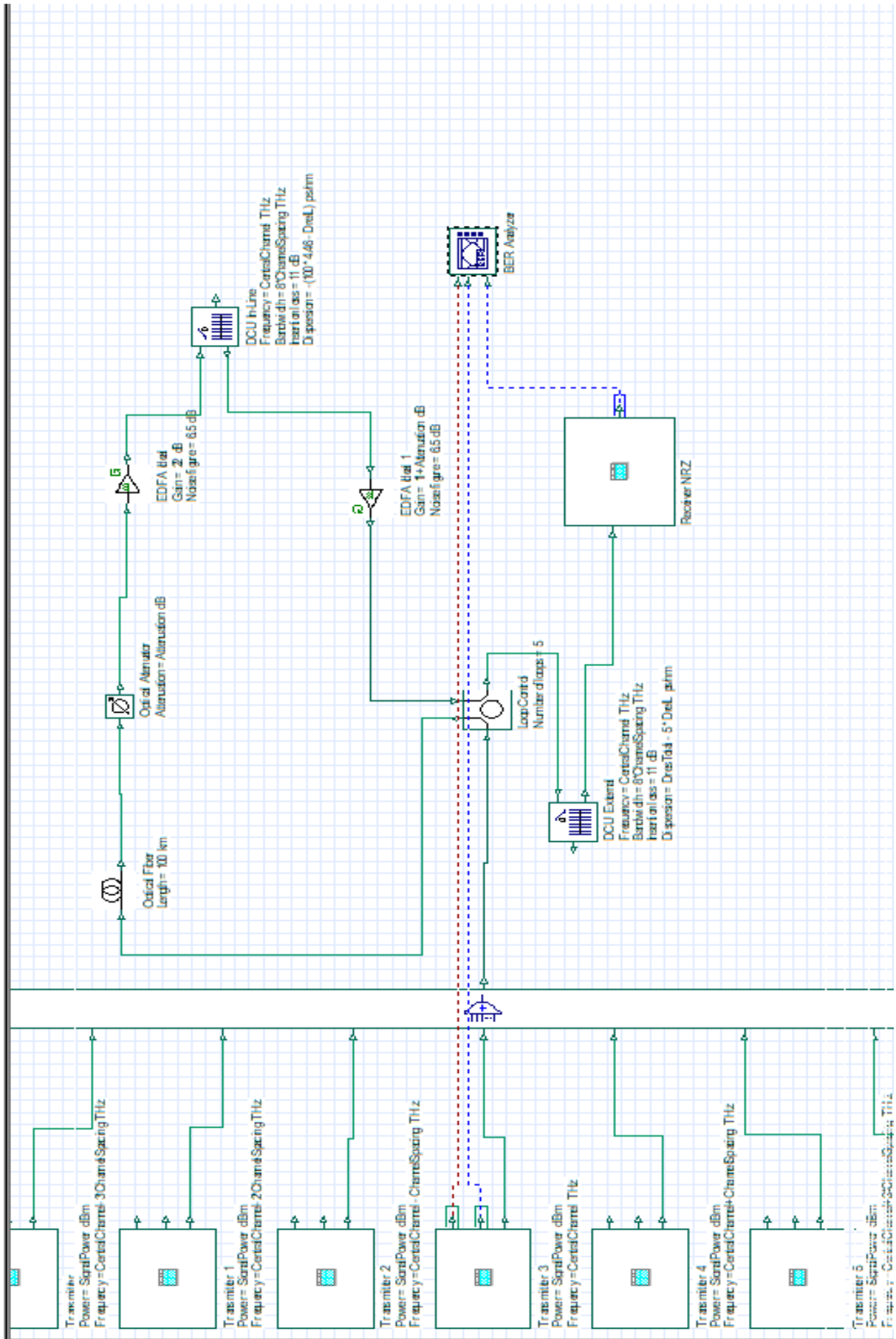


Figure 3.22 : système optique WDM avec 7 canaux

B) Présentation des résultats :

Les figures suivantes présentent respectivement les diagrammes de l'œil des trois systèmes WDM modulés en : intensité, duobinaire, et DPSK.

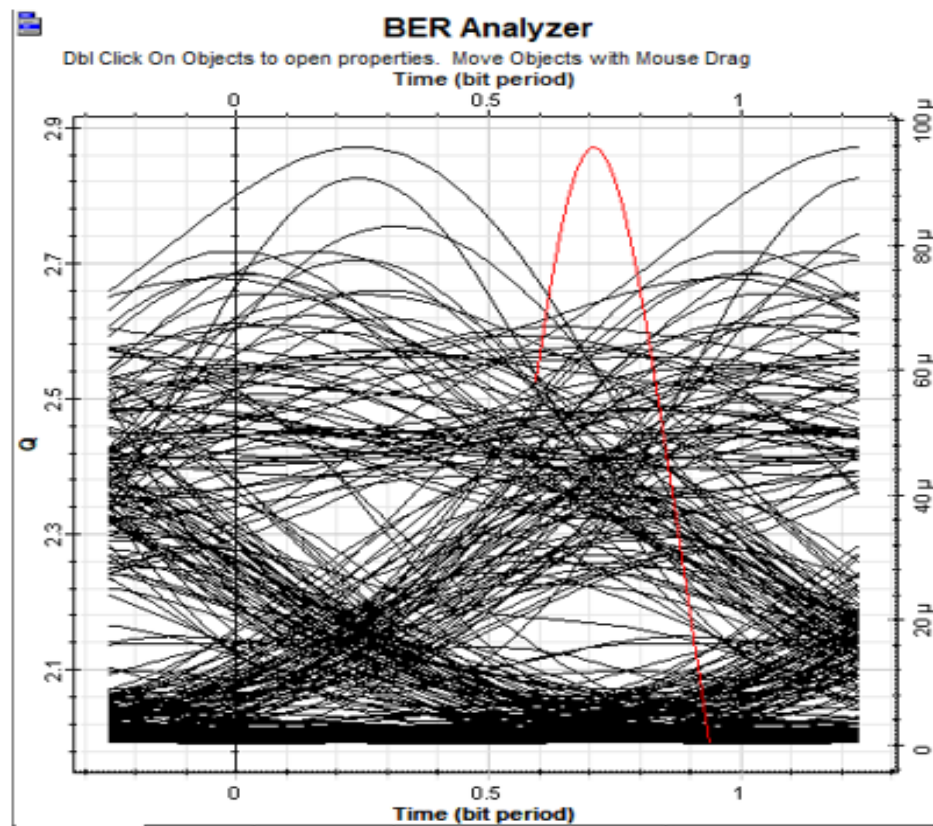


Figure 3.23 : Le diagramme de l'intensité

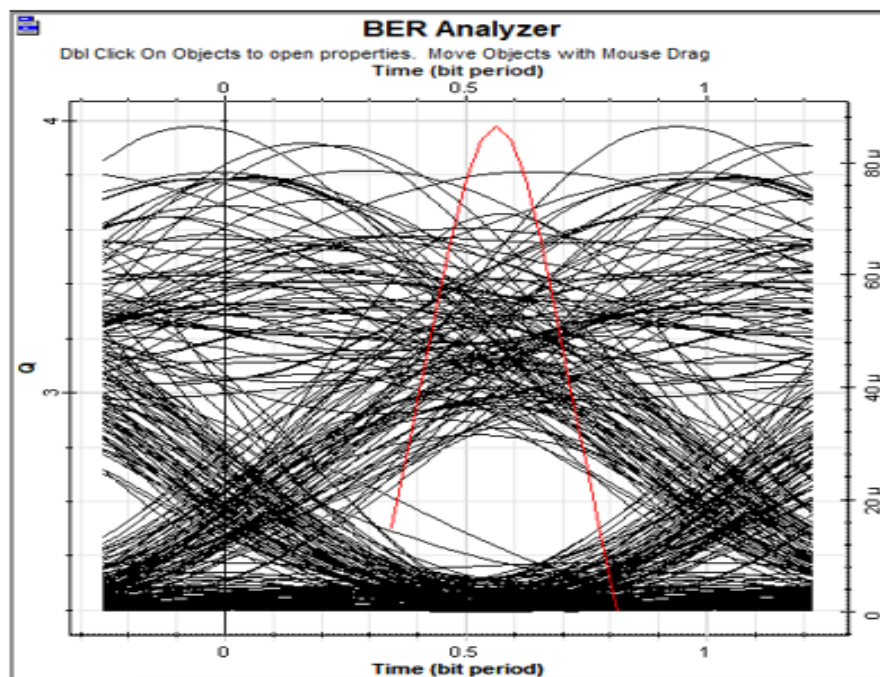


Figure 3.24 : Le diagramme de la duobinaire

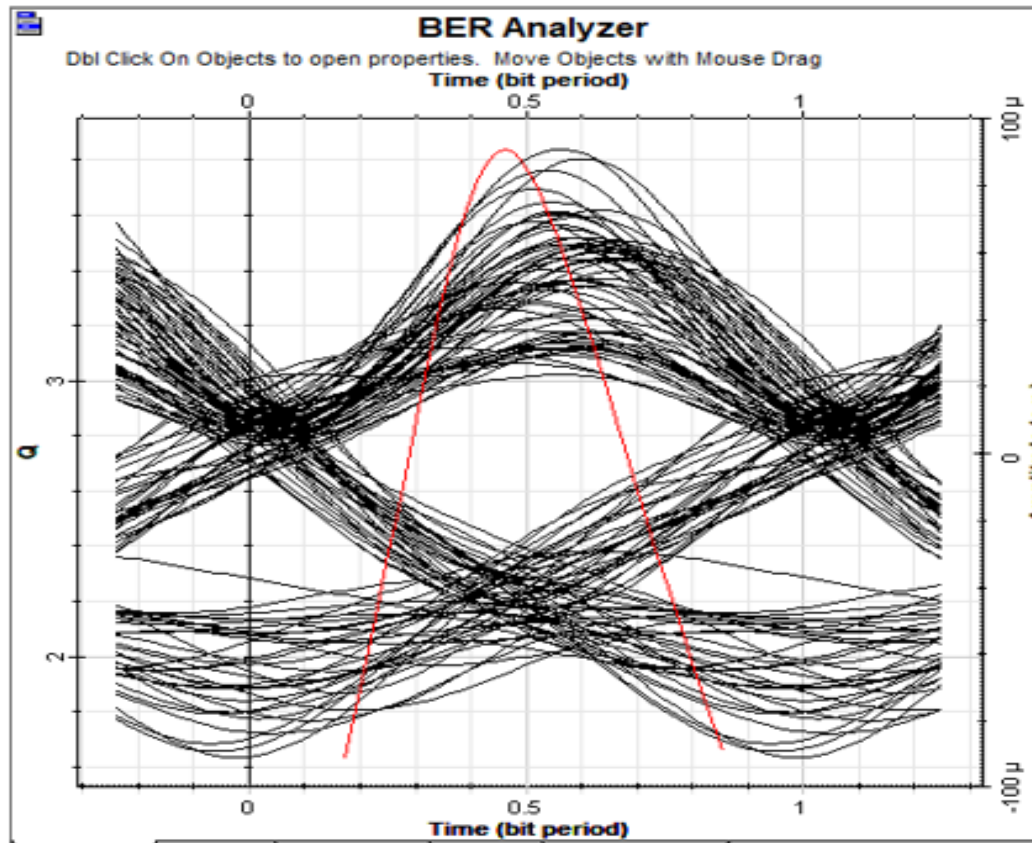


Figure 3.25 : Le diagramme de la DPSK

C) Analyse et Interprétation des résultats :

Les trois diagrammes présentent du bruit et des distorsions de phase et d'amplitude. Cette dégradation du signal s'explique par les : bruits, distorsions, et dispersion chromatique.

Contrairement aux format de modulations d'intensité et duobinaire, la modulation DPSK présente le meilleur diagramme de l'œil cela se traduit par la robustesse de la DPSK contre le bruit les distorsions et la dispersion chromatique notamment pour les systèmes WDM.

III.6. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons réalisé une étude approfondie et une comparaison détaillée des différents systèmes optiques utilisant les formats de modulation de l'intensité, duobinaire et DPSK. Nos résultats mettent en évidence que la modulation DPSK est capable d'atteindre des débits supérieurs à 40 Gbits/s, en particulier pour les systèmes optiques utilisant la technique de multiplexage en longueurs d'onde (WDM).

La modulation DPSK présente des avantages significatifs en termes de performances de transmission. Elle offre une meilleure robustesse contre les bruits, les distorsions et la dispersion chromatique, ce qui permet d'obtenir des débits plus élevés et une qualité de transmission améliorée. Les systèmes optiques WDM, qui utilisent plusieurs canaux optiques fonctionnant à différentes longueurs d'onde, bénéficient également de l'utilisation de la modulation DPSK pour augmenter leur capacité et leur efficacité.

Nos résultats soulignent donc l'importance de considérer le format de modulation DPSK dans la conception et l'optimisation des systèmes optiques, en particulier pour les applications nécessitant des débits élevés, tels que les réseaux de communication à large bande passante. La modulation DPSK offre des performances supérieures et constitue un choix prometteur pour les systèmes optiques WDM à haut débit.

En conclusion, notre étude démontre que la modulation DPSK offre des débits supérieurs à 40 Gbits/s et présente des avantages significatifs par rapport aux formats de modulation de l'intensité et duobinaire. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour l'amélioration des systèmes optiques et la mise en place de réseaux de transmission à haut débit.



Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Au cours de ce mémoire de projet de fin d'études, nous avons consacré nos efforts à une étude théorique approfondie des réseaux de transmission optique et de trois formats de modulation optique externe : l'intensité, le duobinaire et la DPSK.

Nous avons ensuite réalisé des travaux de simulation sur le logiciel OptiSystem d'Optiwave afin de compléter notre étude théorique. Dans une première partie, nous avons effectué des simulations et analysé l'impact du débit et de la distance sur la qualité de transmission d'un système optique modulé en intensité.

Par la suite, nous avons amélioré les performances de ce système en utilisant un compensateur de dispersion chromatique, ce qui a entraîné une amélioration significative. Dans un souci de comparaison, nous avons conclu que le déploiement de la modulation duobinaire et de la DPSK améliore de manière très significative le débit des systèmes optiques. Ces formats se sont révélés plus robustes face aux bruits, aux distorsions et à la dispersion chromatique, qui sont des contraintes inhérentes aux systèmes optiques à multiplexage.

Enfin, nous avons démontré que la DPSK présente les meilleures performances en termes de débit, notamment pour les systèmes de transmission WDM. En raison de sa capacité à gérer efficacement les problèmes liés au bruit, à la distorsion et à la dispersion chromatique dans les systèmes optiques multiplexés.

En guise de conclusion, ce projet nous a permis d'améliorer nos compétences dans le domaine des systèmes optiques et d'acquérir de nouvelles connaissances, en particulier sur les réseaux de transmission optique, la modulation externe et le multiplexage en longueurs d'ondes.



Abriviation

APD : Photodiode à avalanche

Bruit d'ASE : Bruit de la lumière spontanée amplifiée

DPSK : Modulation de phase différentielle

DSP : Traitement numérique du signal (Digital Signal Processing en anglais)

DWDM : Multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (Dense Wavelength Division Multiplexing en anglais)

EAM : Modulateur à électro-absorption

EDFA : Amplificateur de fibre dopée à l'erbium

Fo : Fibre optique

GHz : GigaHertz (unité de mesure de fréquence équivalant à 10^9 hertz)

MZM : Modulateur Mach-Zehnder

MZM : Réponse en amplitude du MZM pour une variation de la tension appliquée

Nm : Nanomètre (unité de mesure de longueur équivalant à 10^{-9} mètres)

NRZ : Modulation de code en ligne non-retour à zéro

OOK : Modulation d'amplitude de type on-off

PIN : Photodiode à jonction PIN

PMD : Dispersion de polarisation (Polarization Mode Dispersion en anglais)

PSK : Modulation de phase de type phase-shift keying

RIN : Bruit de bruit de l'intensité relative

SOA : Amplificateur optique à semi-conducteur

WDM : Multiplexage par répartition en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing en anglais)



Bibliographie

Références:

chapitre 1:

- [1.1] Taha, T. R., Ablowitz, M. J. Analytical and numerical aspects of certain nonlinear Evolution equations. II. Numerical, nonlinear Schrödinger equation. Journal of Computational Physics. 55(2), 203-230. 1984. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(84\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0021-9991(84)90003-2).
- [1.2] H. Apithy, Y. Bouslimani et H. Hamam, Faculté d'ingénierie, Université de Moncton, 'Communications. à fibres optiques : Limitations caus.es par la dispersion et les effets nonlinéaires''2004
- [1.3] P. Lecoy, "Télécommunications sur fibres optiques," Paris : Hermès, 1997.
- [1.4] Amari, A. (2016). Nonlinear effects compensation for long-haul super channel transmission system. Thèse de doctorat.
- [1.5] Essiambre, R. J., Tkach. R. W. (2012). Capacity trends and limits of optical communication networks. Proceedings of the IEEE. 100(5), 1035-1055. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2182970>
- [1.6] Revue d'école nationale des postes et télécommunication « Technologie de la fibre optique » Département Télécommunication - laboratoire de transmission Mars 2004.
- [1.7] M.Aichi et W.Aichi, « les solutions WDM /DWDM pour les télécoms haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Promotion 2011
- [1.8] Muona, Les utilisations de la fibre optique, 07 octobre 2018 <https://www.lafibrelyonnaise.fr/utilisations-de-la-fibre-optique/>, mai 2023

Chapitre 2:

- [2.1]: J.L. VERNEUIL, C. AUPETIT-BERTHELEMOT et J.M. DUMAS, « Prise en compte de modèles réalistes de composants micro-optoélectroniques pour la simulation d'une liaison optique à 40Gbits/s », 9èmes Journées Nationales Microélectronique et Optoélectronique 29 Septembre-2 Octobre 2002, St Aygulf, C-3.125.
- [2.2] Zeno, Toffano, " Optoélectronique, Composant photoniques et fibres optiques ", ©Ellipses édition marketing S.A, 32 rue Bargue 75740 Paris cedex 15, Vol.316, 2001, ISBN 2-7298-0703-9. [2.3] Asifullah Khan, Anabia Sohail, Umme Zahoora, and Aqsa Saeed Qureshi « A Survey of the Recent Architectures of Deep Convolutional Neural Networks » Artificial intelligence review, 2020, vol. 53, no 8, p. 5455-5516.

[2.3] Mme. ARRIBI Meriem. La technique WDM en télécoms optiques avancées, mémoire du Master en télécommunication, soutenu le 23 juin 2017.

[2.4] Degdag Abderrahmane, sayeh Hamadouche : Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit, mémoire du Master en télécommunication, institut des télécommunications ABDELHAFID BOUSSOUF ORAN, soutenue juin 2006.

[2.5] : simulation de system de télécommunications par fibre optique à 40 gbit/s Jean-Louis VERNEUIL, université de limoges, Le vendredi 21 novembre 2003

Chapitre 3 :

[3.1] Jean-Louis VERNEUIL « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s», thèse doctorat UNIVERSITE DE LIMOGES 2003.

[3.2] Sondes KHAMIR, " Génération d'impulsion optiques brèves 40 GHz par mélange a quatre ondes ", PFE, Ecole Supérieur des Communications de Tunis, 2005.

[3.3] M. THUAL, « Télécommunications optiques 2. Composants actifs, télécoms optiques », Génie des télécoms et de réseaux.