

UNIVERSITE ABOU BEKR BEIKAID TLEMCEN
Faculté de Technologie



Département de Télécommunication



MEMOIRE

Présenté par:

DIB Mouaad Yassin

El ABBES Mohammed El amine

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER En:

Réseaux et Télécommunications

Thème :

**Comparaison des formats de
modulations RZ et NRZ pour les
systèmes a 40Gb/s**

Soutenu le 26/09/2020, devant le jury composé de :

Mr Hadjila Mourad	MCA	Président
Mr BOUABDELLAH Réda	MAA	Examineur
Mr KHELLADI Mounir	MCA	Encadrant

Année universitaire 2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé :

La plupart des fibres optiques installées actuellement sont des fibres monomodes standard. Pour atteindre un bon niveau de taux d'erreur sur les bits (BER) ainsi que pour permettre un espacement plus grand entre les répéteurs et un rapport signal sur bruit (SNR) plus important dans ce type de fibre, il est très important de prendre en compte l'influence de la vitesse de groupe. L'augmentation de la capacité des systèmes optiques peut nécessiter soit une augmentation du débit binaire, soit l'utilisation du WDM, soit les deux. À des débits binaires élevés, le format de modulation, le type de schéma de compensation de dispersion et la puissance du canal deviennent des éléments importants pour la conception optimale du système. En particulier, il a été démontré numériquement et expérimentalement que le format de modulation conventionnel sans retour à zéro (NRZ) est supérieur par rapport à la modulation par retour à zéro (RZ) dans le cas de systèmes WDM de grande taille, car la modulation RZ provoque une perte de temps significative. Pénalité de fermeture des yeux près des canaux d'extrémité.

Notre but est d'étudier les deux types de codages RZ et NRZ pour comparer les sanctions de fermeture des yeux.

Mots clés :

Codage RZ, Codage NRZ, Dispersion chromatique, Multiplexage en longueur d'onde.

Abstract:

Most of the fibers installed are standard single-mode fibers. To achieve a good level of bit error rate (BER) as well as to allow greater spacing between repeaters and a greater signal to noise ratio (SNR) in this type of fiber, it is very important to take into account the influence of group speed. Increasing the capacity of optical systems may require either increasing the bit rate, using WDM, or both. At high bit rates, the modulation format, the type of dispersion compensation scheme and the channel power become important elements for the optimal system design. In particular, it has been shown numerically and experimentally that the conventional non-return-to-zero (NRZ) modulation format is superior to return-to-zero (RZ) modulation in the case of large WDM systems, because the modulation RZ causes a significant loss of time. Penalty for closing eyes near end canals.

Our goal is to study these two types of RZ and NRZ coding to compare the penalties for closing eyes.

Keyword

RZ coding, NRZ coding, Chromatic dispersion, Wavelength multiplexing.

ملخص :

معظم الألياف المركبة هي ألياف أحادية الوضع. لتحقيق مستوى جيد من معدل خطأ البتات وكذلك للسماح بمسافة أكبر بين أجهزة إعادة الإرسال ونسبة إشارة إلى ضوضاء أكبر في هذا النوع من الألياف ، من المهم جدًا مراعاة تأثير سرعة المجموعة. قد تتطلب زيادة سعة الأنظمة الضوئية إما زيادة في معدل البتات أو استخدام مضاعفة طول الموجة أو كليهما. في معدلات البت العالية ، يصبح تنسيق التشكيل ونوع مخطط تعويض التشتت وقدرة القناة عناصر مهمة لتصميم النظام الأمثل. على وجه الخصوص ، تبين عددًا وتجريبًا أن تنسيق التعديل التقليدي بعدم العودة إلى الصفر يتفوق على تعديل العودة إلى الصفر في حالة أنظمة تعدد الإرسال الكبيرة ، لأن تعديل العودة إلى الصفر يسبب مضاعفة كبيرة للوقت. عقوبة إغلاق العين بالقرب من القنوات المائية. هدفنا هو دراسة كلا النوعين من الترميز بالعودة إلى الصفر وعدم العودة إلى الصفر لمقارنة عقوبات إغلاق العين.

الكلمات الدالة

الترميز بالعودة إلى الصفر ، الترميز بدون الرجوع إلى الصفر ، التشتت اللوني ، مضاعفة الطول الموجي

REMERCIEMENTS

Nous tenons particulièrement à remercier le Tout Miséricordieux, le Tout Puissant, le Tout Clément qui a récompensé nos prières ; ce mémoire n'aurait jamais été réalisé sans Sa Bénédiction.

Nous remercions :

- *Notre encadreur, Monsieur KHELLADI Mounir, Maître de Conférences à l'université de Tlemcen, qui a suivi de très près notre mémoire afin qu'il soit réalisé à terme.*
- *Monsieur HADJILA Mourad, Maître de Conférences à l'université de Tlemcen, d'avoir l'amabilité de présider ce jury.*
- *Monsieur BOUABDELLAH Rèda Maîtres assistant l'université de Tlemcen, pour avoir acceptés d'examiner notre travail*
- *Nos chers parents, nos familles pour l'aide et l'affection qu'elles n'ont jamais cessées de nous apporter .*
- *Tous nos professeurs de l'université Abou Bekr BELKAÏD et spécialement du département de télécommunication .*
- *Tous nos amis et collègues , ainsi que tous ceux que nous avons oublié de mentionner et qui nous ont aidé, tant sur le plan matériel que sur le plan moral.*

Dédicaces

J'adresse en premier lieu la plus grande reconnaissance à ALLAH le tout puissant, pour m'avoir permis de réaliser mon objectif, car sans lui rien n'aurait été possible.

Un grand remerciement pour mes chers parents qui m'ont aidé et encourager tout au long de mes études.

Pour mon frère et mes sœurs qui ont toujours apporté de la joie et de la tendresse.

*Pour toute ma famille sans exception.
A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici mes sincères reconnaissances et gratitude. Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.*

DIB Mouaad Yassin

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à: A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie. A ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet: mes frères. A toute ma famille et mes amis. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

El-ABBES Mohamed EL Amine

Table des matières :

RESUME.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
DEDICACES.....	IV
TABLE DES MATIERES.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	IX
TABLE DES ACRONYMES.....	XI
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : TECHNIQUES DE CODAGE.....	2
1. Introduction.....	1
2. Les différents codes en ligne.....	1
2.1 code NRZ (non-retour à zéro).....	7
2.1.1 code NRZ unipolaire.....	8
2.1.2 NRZ (bi)polaire.....	8
2.1.3 code NRZ-I.....	7
2.1.4 Densité spectrale de puissance du code NRZ.....	7
2.1.5 Domaine d'utilisation et caractéristique de format NRZ.....	9
2.1.6 Avantage du code NRZ.....	9
2.1.7 Inconvénient du code NRZ.....	10
2.2 Code RZ (retourne à zéro).....	10
2.2.1 RZ unipolaire.....	10
2.2.2 RZ bipolaire.....	10
2.2.3 DSP du code RZ.....	10
2.2.4 Domaine d'utilisation et caractéristique de format RZ.....	10
2.2.5 Les avantages de code RZ.....	10
2.2.6 Les inconvénients de code RZ.....	10
2.3 Code Manchester.....	11
2.3.1 DSP du code Manchester.....	13
2.3.2 Domaine d'utilisation du code Manchester et caractéristique.....	13
2.3.3 Les avantages du code Manchester.....	14
2.3.4 Les inconvénients du code Manchester.....	14
3. Comparaison entre les différents schémas de codage de ligne.....	14
4. Conclusion.....	14
CHAPITRE II MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDES (WDM).....	15

1. Introduction.....	16
2. Multiplexage en longueur d'onde (WDM)	16
2.1 Définition.....	16
2.2 Principes de fonctionnement de WDM.....	17
2.3 Mode de fonctionnement du multiplexage WDM	17
2.4 Utilisations du multiplexage par répartition en longueur d'onde.....	19
2.5 Différence entre CWDM et DWDM	21
3. Conclusion.....	23
Chapitre III LES COMPOSANTS OPTIQUE	24
1.Introduction	25
2. Composants optiques.....	26
2.1 Fibre optique	26
2.1.1 Définition	26
2.1.2 Types de fibre optique.....	26
2.1.3 propagation dans la fibre optique	29
2.2 Atténuation	30
2.3 Dispersion.....	30
2.4 Filtre Optique	31
2.4.1 Définition	31
2.4.2 Types de filtre optiques.....	31
2.5 Modulateur optique	32
2.5.1 Types de modulateurs optiques.....	32
2.6 Amplificateur optique	33
2.6.1 Amplificateur dopée Erbium (EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier).....	33
2.6.2 Amplificateur à base de semi-conducteur (SOA : Semi-conductor Optic Amplifier)	34
2.7 Les coupleurs optiques	34
2.8 Les multiplexeurs.....	35
3.Conclusion.....	36
Chapitre IV SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	37
1. Introduction	38
2.Presentation du logiciel Optisystem	38
2.1 Presentation	38
2.2 Interface	38
2.3 Bibliothèque des composants	39

2.4 Applications d'Optisystem.....	39
2.5 Evaluation de la qualité de transmission.....	41
3. Définition.....	41
3.1 Taux d'erreurs binaire (BER).....	41
3.2 Facteur de qualité.....	41
3.3 Diagramme de l'œil.....	42
4. Simulation.....	42
4.1 Simulation de la chaîne de transmission en utilisant le codage NRZ.....	42
4.1.1 Partie Emission.....	48
4.1.2 Partie Réception.....	49
4.2 Simulation de la chaîne de transmission en utilisant le codage RZ.....	54
4.2.1 Partie émission.....	55
4.2.2 Partie réception.....	55
4.3 Interprétations des résultats et Comparaison.....	60
5. Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	61
REFERENCE ET BIBLIOGRAPHIE.....	62

Liste de figures :

<i>Figure I. 1 : principe de codage en ligne</i>	6
<i>Figure I. 2 Schéma de principe d'une modulation externe ici</i>	7
<i>Figure I. 3 Chronogramme du code NRZ unipolaire</i>	8
<i>Figure I. 4 Chronogramme du code NRZ bipolaire</i>	7
<i>Figure I. 5 Chronogramme du code NRZ I</i>	7
<i>Figure I. 6 DSP du code NRZ [4]</i>	9
<i>Figure I. 7 Schéma du code RZ</i>	10
<i>Figure I. 8 Chronogramme du code RZ unipolaire</i>	10
<i>Figure I. 9 Chronogramme du code RZ bipolaire</i>	10
<i>Figure I. 10 DSP du code RZ</i>	10
<i>Figure I. 11 Schéma d'un codeur Manchester</i>	11
<i>Figure I. 12 Chronogramme du code Manchester</i>	13
<i>Figure I. 13 DSP du code Manchester</i>	13
<i>Figure I. 14 Comparaison des schémas de code</i>	14
<i>Figure II. 1 Schéma du Multiplexage</i>	16
<i>Figure II. 2 Principe de fonctionnement</i>	17
<i>Figure II. 3 Mode de fonctionnement</i>	18
<i>Figure II. 4 Mode de fonctionnement</i>	19
<i>Figure II. 5 CWDM et DWDM</i>	20
<i>Figure II. 6 Multiplexage par répartition en longueur d'onde dense</i>	21
<i>Figure II. 7 Différence entre CWDM et DWDM</i>	17
<i>Figure III. 1 Fibre optique</i>	26
<i>Figure III. 2 Fibre monomode (a) et multimode (b)</i>	27
<i>Figure III. 3 Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques</i>	29
<i>Figure III. 4 Propagation des rayons dans le cône d'acceptance</i>	29
<i>Figure III. 5 Courbe d'atténuation</i>	30
<i>Figure III. 6 Dispersion</i>	30
<i>Figure III. 7 Types de dispersions</i>	31
<i>Figure III. 8 Représentation du EDFA</i>	34
<i>Figure III. 9 Amplification SOA</i>	34
<i>Figure III. 10 Coupleur optique</i>	35
<i>Figure III. 11 Exemple d'un MUX/DEMUX optique</i>	35
<i>Figure IV. 1 Aperçu de l'interface principale Optisystem</i>	39
<i>Figure IV. 2 Bibliothèque des composants</i>	39
<i>Figure IV. 3 Schéma d'un système de transmission à 40 Gbit/s avec le codage NRZ</i>	42
<i>Figure IV. 4 Schéma d'un système de transmission à 40 Gbit/s avec le codage NRZ (Simplifier)</i>	43
<i>Figure IV. 5 Débit binaire au niveau codage NRZ</i>	48
<i>Figure IV. 6 Débit binaire après modulateur Mach-Zehnder</i>	48
<i>Figure IV. 7 Débit binaire après multiplexage</i>	48
<i>Figure IV. 8 Débit binaire après propagation dans la fibre optique</i>	48
<i>Figure IV. 9 Débit binaire au niveau du récepteur</i>	49
<i>Figure IV. 10 Débit binaire après démultiplexage</i>	48
<i>Figure IV. 11 Débit binaire après filtrage optique</i>	48
<i>Figure IV. 12 Spectre optique après le modulateur de Mach-Zehnder</i>	49
<i>Figure IV. 13 le spectre optique après multiplexage</i>	48
<i>Figure IV. 14 Spectre optique après propagation dans la fibre optique</i>	48
<i>Figure IV. 15 Spectre optique après démultiplexage par User 1</i>	50
<i>Figure IV. 16 Spectre optique après le filtrage optique User 1</i>	50

<i>Figure IV. 17</i> Diagramme de l'œil	51
<i>Figure IV. 18</i> Schéma d'un système de chaîne de transmission à 40 Gbit/s avec le codage RZ.....	54
<i>Figure IV. 19</i> Débit binaire au niveau du codeur RZ	55
<i>Figure IV. 20</i> Débit binaire après modulateur Mach-Zehnder	55
<i>Figure IV. 21</i> Débit binaire après Multiplexage.....	54
<i>Figure IV. 22</i> Débit binaire après propagation dans la fibre optique.....	54
<i>Figure IV. 23</i> Débit binaire au niveau du récepteur	55
<i>Figure IV. 24</i> Débit binaire après démultiplexage	55
<i>Figure IV. 25</i> Spectre optique après le modulateur de Mach-Zehnder	55
<i>Figure IV. 26</i> Spectre optique après le multiplexage.....	55
<i>Figure IV. 27</i> Spectre optique après propagation dans la fibre optique	56
<i>Figure IV. 28</i> Spectre optique après Démultiplexage	56
<i>Figure IV. 29</i> Spectre optique après le démultiplexage	57
<i>Figure IV. 30</i> Spectre optique après filtrage optique	57
<i>Figure IV. 31</i> Spectre optique après le filtrage optique.....	59
<i>Figure IV. 32</i> Diagramme de l'œil	59

Table des acronymes :

acronymes	Signification anglo-saxonne	Signification française
RZ	Return to zero	Retour a zéro
NRZ	No return to zero	Non retour a zéro
WDM	Wavelength division multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde
CWDM	Coarse wavelength division multiplexing	Cros multiplexage en longueur d'onde
DWDM	Dense Wavelength division multiplexing	Multiplexage dense en longueur d'onde
CW-laser	Continous wave laser	Laser en régime continu
MZI	Mach-zehnder interformeter	Interféromètre de Mach-zehnder
EDFA	Ebrium doped fibre amplififier	L'amplificateur dopé a l'ebrium
FTTH	Fiber to the home	Fibre a domicile
FTTX	Fiber to the x	La fibre jusqu'a ..
MZM	Mach zehnder modulateur	Modulateur Mach-zehnder
BER	Bit error rate	Taux erreur binaire
Q	Q factor	Facteur de qualité

Introduction générale

Le besoin d'établir des communications entre l'humanité partout dans le monde rapidement, facilement et à tout moment a fait que tous les recherches soient orientées pour ce développement. Pour transmettre des données numériques, On passe par une adaptation électrique d'un symbole numérique sur un canal de transmission, Cette opération est appelé une modulation en bande de base.

Les signaux en bande de base sont à une atténuation qui dépend du support employé et qui doivent donc être régénéré périodiquement sur une longue distance. Les données stockées dans un ordinateur sont sous forme de 0 et de 1 transporter d'un endroit à un autre, c'est ce qu'on appelle la conversion numérique-numérique, dans ce type de codage, les 1 et 0 binaires générés par l'ordinateur sont traduits en séquence d'impulsions de tension qui peuvent se propager sur un fil.

L'information est émise sous sa forme initiale (numérique) avec une amplification et une codification, Cette opération consiste à représenter le signal numérisé à transporter par un autre signal qui présente des variations d'amplitude régulièrement espacées dans le temps, Après le codage le signal sera émis sur le canal de transmission sous la forme de variations de la tension ou du courant afin de définir une transition entre deux tensions pour coder le signal numérique.

Les techniques de multiplexages sont mises afin transférer plusieurs informations à travers un seul support numérique. Le multiplexage en longueur d'onde WDM est la meilleure technique lors d'utilisation d'un support de transmission optique.

Il y'a quelques dizaines d'années, les systèmes de transmission optique se sont imposés comme la meilleure révolution numérique. La communication optique est une méthode de transmission d'informations en projetant des impulsions de lumière à travers une fibre optique. La lumière forme une onde porteuse électromagnétique modulée pour transporter l'information. La bande passante potentielle des systèmes de communication optique est la force motrice derrière le développement et le déploiement mondial du système d'ondes lumineuses.

Chapitre I

Techniques de codage

1. Introduction

Pour transmettre des données numériques on passe par une adaptation électrique d'un symbole numérique sur un canal de transmission cette opération est appelé une modulation en bande de base. Les signaux bande de base sont a une atténuation qui dépend du support employé et qui doivent donc être régénéré périodiquement sur une longue distance.

Les données stockées dans un ordinateur sont sous forme de 0 et de 1 transporter d'un endroit à un autre, c'est ce qu'on appelle la conversion numérique-numérique, dans ce type de codage, les 1 et 0 binaires générés par l'ordinateur sont traduits en séquence d'impulsions de tension qui peuvent se propager sur un fil.

Dans certains cas ont doit convertir le signal analogique en un signal numérique, également appelé numérisation d'un signal analogique ou de convertir un signal numérique en signal analogique cette conversion est appelé « modulation d'un signal numérique »

Souvent, un signal analogique est envoyé sur une longue distance à l'aide de supports analogiques. Il s'agit d'une conversion analogique-analogique ou d'une modulation d'un signal analogique.

2. Les différents codes en ligne

Un code de ligne est une affectation d'un symbole ou d'une impulsion à chaque bit d'une séquence de zéros ou des uns à transmettre sous forme d'un signal électrique.

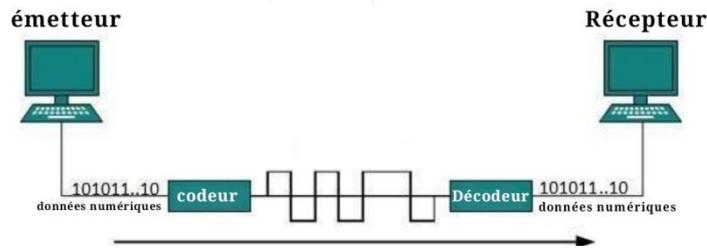


Figure I. 1 : principe de codage en ligne

- Les données numériques sont représentées par des formats de données en bande de base appelés code de ligne.
- Le signal électrique est modulé en amplitude par un format de modulation OOk (on/off keying)
- La vitesse des données est généralement exprimée en bits / seconde ou octets / seconde
- Le débit de données R_b lié à la période de bit T_b (durée d'un bit).

$$R_b = \frac{1}{T_b} \tag{I.1}$$

- Le débit binaire est généralement appelé la capacité du canal.
- Les systèmes de communication utilisent des symboles pour transmettre des informations.
- Un symbole peut être un bit par symbole (appelé binaire), ou un groupe de bits, ou une collection de niveaux de tension définis (symboles à plusieurs niveaux)
- La forme d'un signal électrique à transmettre :

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} a_k g(t - kT) \tag{I.2}$$

$g(t)$ Fonction utilisé pour la transmission

a_k poids associe au codage

- Le taux de symbole R_{sym} est lié à la période (ou la durée) T_s du symbole par

$$R_{sym} = \frac{1}{T_s} \tag{I.3}$$

- Le débit de symboles est également appelé débit en bauds. Le débit binaire R_b peut être écrit comme :

$$R_b = R_{sym} \times \log_2(\eta) = R_{sym} \times n \text{ (I.4)}$$

Où $\eta = 2^n$ est le nombre de niveaux (pour n bits par symbole).

- Efficacité d'un code en ligne :** un code en ligne est dit efficace si il présente une largeur de bande minimal et un maximum de puissance d'émission, ainsi que la présence d'une raie spectrale de synchronisation sur $f = R$.

Il est efficace aussi si il ne représente pas de composante continue a $f = 0$ Hz [1].

- Modulation externe :** La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu.

Sa réalisation nécessite l'utilisation d'un modulateur externe de type Mach-Zehnder (MZM, Mach-Zehnder Modulator), à la source, qui module le faisceau lumineux à sa sortie du laser.

Le signal est beaucoup moins dégradé à la sortie de ce type de modulateur que celui issu de la modulation directe. [2]

La figure I.2 représente le schéma de principe d'une modulation externe

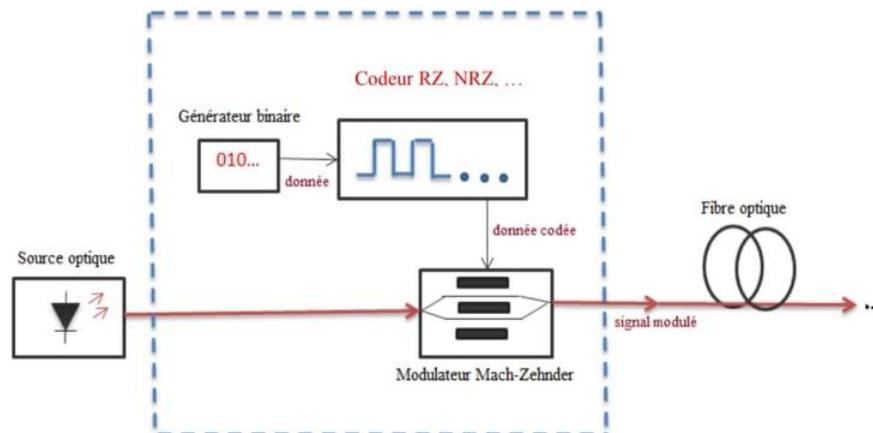


Figure I. 2 Schéma de principe d'une modulation externe ici

2.1 code NRZ (non-retour à zéro)

C'est un format de codage le plus simple et intuitif qui existe , le signal modulé en NRZ est une forme du signal binaire électrique, c'est a dire il transforme tout simplement les zéros et

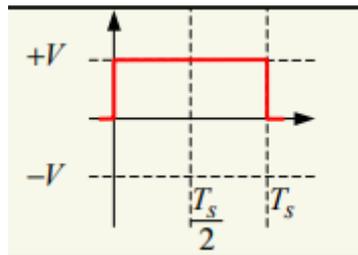
les uns binaire en tension continue (+v ou -v).[3]

Un « 0 » est codé par un signal à faible tension (idéalement nulle)

Un « 1 » est codé un signal a forte tension.

$$\text{Impulsion du code NRZ } g(t) = \begin{cases} A & t \in [0, T] \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

La figure suivante représente la forme d'onde $g(t)$ du code NRZ .



Il existe deux types de formes d'onde NRZ, à savoir. Unipolaire et bipolaire (NRZ-LEVEL) et la forme inversée du format NRZ (NRZ-I). On explique c'est format par des chronogrammes de ces code en ligne.

2.1.1 code NRZ unipolaire

La figure II.1représente le chronogramme du code NRZ unipolaire d'une suite binaire (1011010) avec :

V_0 → Tension maximale

T_b → Durée d'un bit

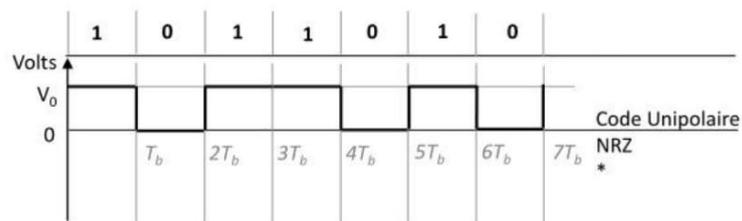


Figure I. 3 Chronogramme du code NRZ unipolaire

2.1.2 NRZ (bi)polaire

La figure II.2 représente le chronogramme du code NRZ bipolaire d'une suite binaire (1011010) avec :

V_0 → Tension maximale

T_b → Durée d'un bit

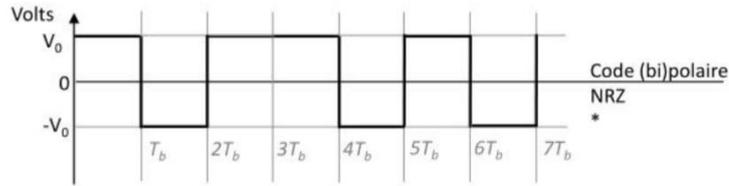


Figure I. 4 Chronogramme du code NRZ bipolaire

2.1.3 code NRZ-I

Ce code symétrise par rapport au zéro, c'est une variante inversée du code NRZ

- Une transition du signal pour chaque bit « 1 »
- Pas de transition pour les bits « 0 »
- Pour une suite continue des bits de « 0 » il n'y a pas de transition et une variante NRZ-L pour le bit « 1 ».[3]

La figure II.3 représente le chronogramme du code NRZ-I bipolaire d'une suite binaire (10000101111).

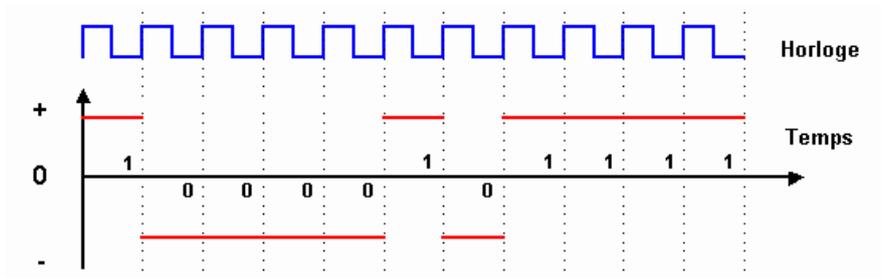


Figure I. 5 Chronogramme du code NRZ I

Le code NRZ-I est utilisé en fast-Ethernet (100baseFX),FDDI

2.1.4 Densité spectrale de puissance du code NRZ

La densité spectrale de puissance (DSP) d'une impulsion est le carré de la transformé de fourrier de cette impulsion.

$$Y_{nrz} = A^2 T \frac{\sin^2(\pi f T)}{(\pi f T)^2}$$

(I.6)

Avec :

γ_{nrz} → La densité spectrale de puissance du code NRZ

$A \rightarrow$ L'amplitude maximal (V_0)

$f \rightarrow$ La fréquence d'émission

$T \rightarrow$ La durée de symbole. [4]

La figure II.4 représente le spectre (DSP) d'un code NRZ binaire

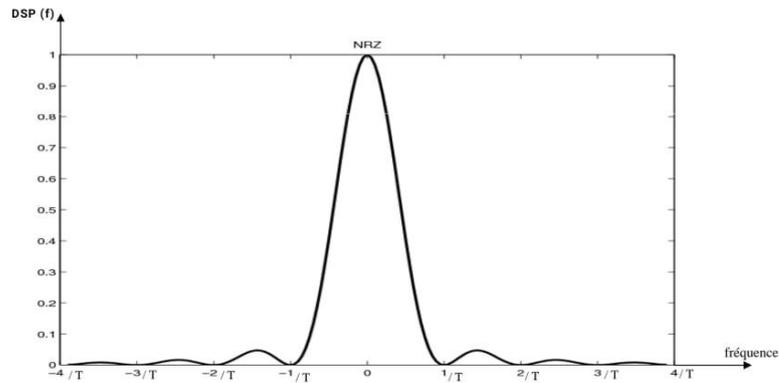


Figure I. 6 DSP du code NRZ

2.1.5 Domaine d'utilisation et caractéristique de format NRZ

Le code NRZ exige un modulateur externe simple aux débits à grande vitesse et fonctionne efficacement jusqu'à 10 Gbits/s.

- Le code NRZ est généralement utilisé pour des débits inférieurs à 10 Gbits/s, aussi il est beaucoup utilisé dans les systèmes WDM (Multiplexage par répartition en longueur d'onde à 2.5 Gbit/)
- Il a été utilisé en raison de son immunité au bruit de phase laser et de ses exigences de faible bande passante par rapport à d'autres formats de modulation.
- Le code NRZ est combiné uniquement dans les systèmes de transmission linéaire.
- Il a une amplitude variable et une phase constante. [5]

2.1.6 Avantage du code NRZ

- La simplicité à mettre en œuvre et une bonne efficacité spectrale car il peut atteindre de 2 bits / Hz
- Une bande passante moindre est requise.
- Aucun problème de chute de signal (pour le NRZ bipolaire)
- Aucun composant DC (NRZ bipolaire). [5] [6]

2.1.7 Inconvénient du code NRZ

- La possibilité d'un affaiblissement de signal en présence d'un composant de basse fréquence.
- Aucune correction d'erreur n'est effectuée
- La possibilité de perte de synchronisation pour les longues chaînes de « 0 » et « 1 ».
- Présence de niveau DC (pour le format NRZ unipolaire)
- Aucun composant d'horloge à synchroniser sur le récepteur
- Capacité de correction d'erreur limitée (pour NRZ bipolaire).[5] [6]

2.2 Code RZ (retourne à zéro)

Le code RZ est le dérivé du format NRZ. Comme son nom l'indique, à chaque temps-bit, un retour à zéro systématique est opéré [2]. Sa réalisation nécessite une opération logique NON ET entre le signal électrique de donnée NRZ et le signal d'horloge comme le montre la figure II.5 [5]

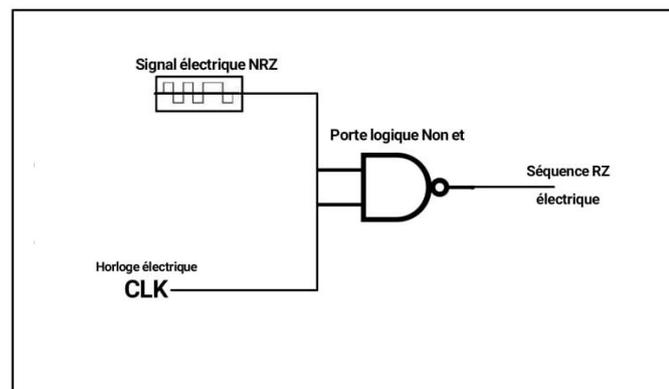


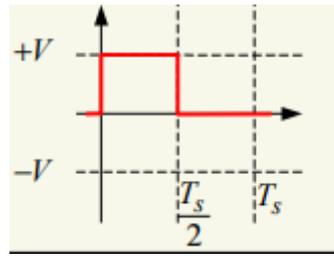
Figure I. 7 Schéma du code RZ

Ce code associé un niveau de tension V_0 pour chaque état logique « 1 » sur une période $T/2$ et un niveau 0 a chaque état logique « 0 » sur une période $T/2$.

$$\text{Impulsion RZ : } g(t) = \begin{cases} A & t \in \left[0, \frac{T}{2}\right] \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

(I.7)

La figure représente la forme d'onde $g(t)$ du code RZ.



Il existe deux types de formes d'onde RZ, à savoir. Unipolaire et bipolaire

2.2.1 RZ unipolaire

La figure II.6 montre un chronogramme d'un codage RZ unipolaire d'une suite binaire(1011010) [1].

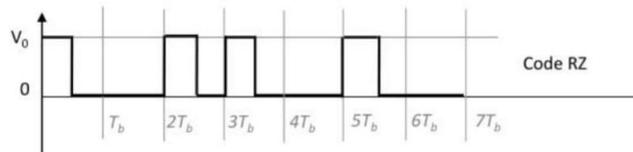


Figure I. 8 Chronogramme du code RZ unipolaire

2.2.2 RZ bipolaire

La figure II.7 montre un chronogramme d'un codage RZ unipolaire d'une suite binaire (1011010) [1].

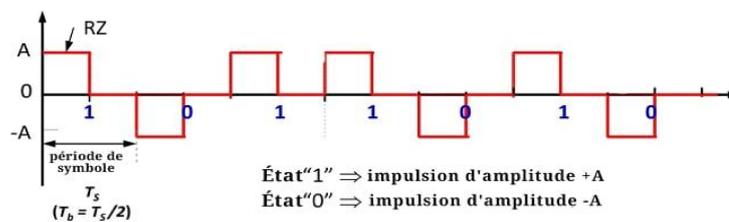


Figure I. 9 Chronogramme du code RZ bipolaire

2.2.3 DSP du code RZ

$$\gamma_{RZ} = \frac{A^2 T}{16} \left(\frac{\sin \pi f \frac{T}{2}}{\pi f \frac{T}{2}} \right)^2 + \frac{A^2}{16} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \delta \left(f - \frac{i}{T} \right) \left(\frac{\sin \pi f \frac{T}{2}}{\pi f \frac{T}{2}} \right)^2 \quad (I.8)$$

γ_{RZ} → La densité spectrale de puissance du code RZ

A → L'amplitude maximal (V_0)

$f \rightarrow$ La fréquence d'émission

$T \rightarrow$ La durée de symbole

La figure II.8 représente le spectre (DSP) d'un code RZ binaire [4].

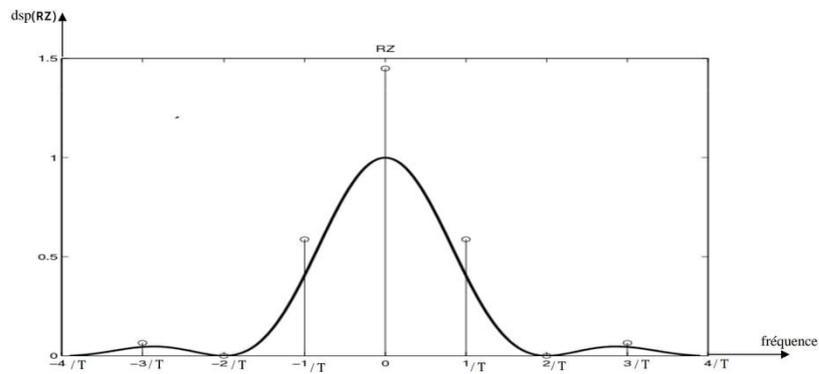


Figure I. 10 DSP du code RZ

2.2.4 Domaine d'utilisation et caractéristique de format RZ

- Utilisé pour des débits plus élevés (au-delà 10 Gbit/s) car il a une puissance maximale plus élevée .
- La bande passante dans un format RZ est égale au débit.
- Le code RZ est combiné aux systèmes de transmission linéaire et non linéaire. [5]

2.2.5 Les avantages de code RZ

- La présence d'une raie de synchronisation de $\frac{1}{T}$ (pour le RZ bipolaire)
- Simplicité et ne nécessite pas beaucoup de bande passante
- Aucun composant DC (RZ bipolaire)
- Pas de problème d'affaiblissement du signal.

2.2.6 Les inconvénients de code RZ

- Capacité de correction d'erreur limitée (RZ bipolaire)
- Présence de niveau DC (RZ unipolaire)
- Une longue chaîne de zéros provoque une perte de synchronisation (RZ unipolaire)
- Aucun composant d'horloge à synchroniser sur le récepteur (RZ bipolaire). [6]

2.3 Code Manchester

C'est une autre technique de codage qui assure et améliore la transmission à haut débit et la communication sans fil, il s'appelle aussi le code bi-phase [2]

La réalisation d'une opération logique OU exclusif entre le signal électrique de donnée et le signal d'horloge donne un signal codé en Manchester comme le montre la figure II.9.

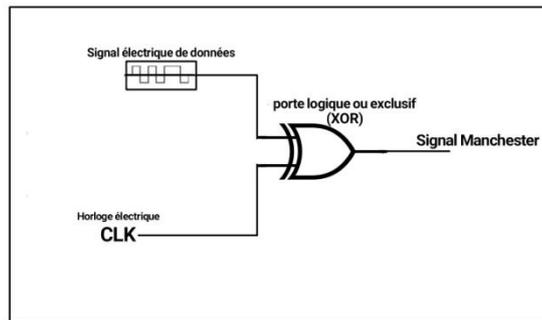
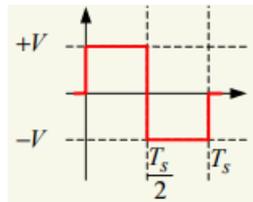


Figure I. 11 Schéma d'un codeur Manchester

Le code Manchester associe à chaque état logique « 1 » un niveau de tension V_0 pendant la période $\frac{T}{2}$ et à chaque état logique « 0 » un niveau $-V_0$ pendant $\frac{T}{2}$

La figure représente la forme d'onde $g(t)$ de code Manchester.



$$\text{Impulsion Manchester : } g(t) = \begin{cases} +V & t \in \left[0, \frac{T}{2}\right] \\ -V & t \in \left[\frac{T}{2}, T\right] \end{cases} \quad (\text{I.10})$$

La figure II.10 montre un chronogramme d'un codage Manchester d'une suite binaire (1011010) [2]

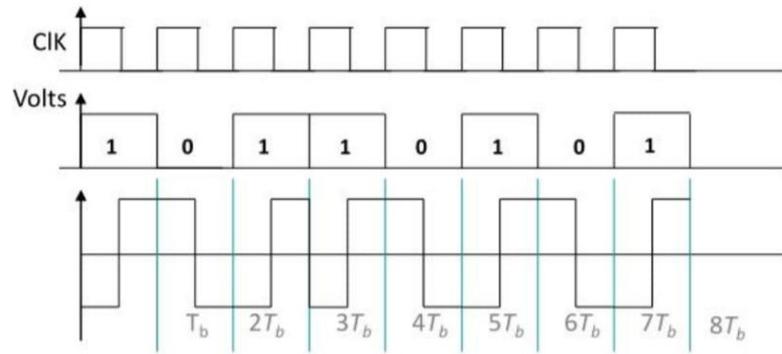


Figure I. 12 Chronogramme du code Manchester

2.3.1 DSP du code Manchester

$$\gamma_{nrz} = A^2 T \frac{\sin^4\left(\pi f \frac{T}{2}\right)}{\left(\pi f \frac{T}{2}\right)^2} \quad (\text{I.11})$$

La figure II.11 représente le spectre (DSP) d'un code Manchester binaire [4].

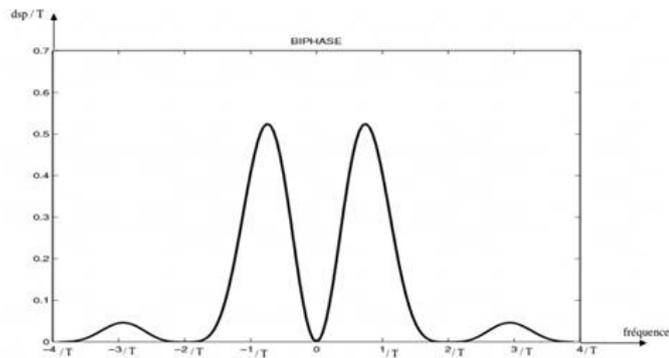


Figure I. 13 DSP du code Manchester

2.3.2 Domaine d'utilisation du code Manchester et caractéristique

Le code Manchester est utilisé beaucoup plus pour la transmission de données binaires à partir des signaux analogiques, RF, optique, vitesse numérique élevée ou des signaux numériques à grande distance.

- Les normes Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL utilise le code Manchester [7].

2.3.3 Les avantages du code Manchester

- Le code Manchester est facile à synchroniser avec la forme d'onde
- Absence du signal continu a $f = 0$
- Lanon-concentration de l'énergie en base fréquences
- Aucun problème d'affaiblissement de signal et pas de composent DC
- Il surveille le signal numérique afin qu'il ne reste jamais longtemps avec le même niveau logique (haut ou bas).
- Il fait la conversion de signal de données en un signal de données de synchronisation.
- Faciliter la récupération d'horloge moyennant un traitement de détection des fronts en réception.[7]

2.3.4 Les inconvénients du code Manchester

- Élargissement de la bande passante de concentration de l'énergie
- Aucune capacité de correction d'erreur
- Une plus grande bande passante requise pour cette forme d'onde
- Aucune capacité de correction d'erreur.

3. Comparaison entre les différents schémas de codage de ligne

Les deux codes NRZ (unipolaire) et RZ (unipolaire) ont besoin d'un seul bloc d'alimentation par contre les codes NRZ (bipolaire), RZ(bipolaire) et Manchester ont besoin de deux blocs.

A chaque période de symbole les codes NRZ (bipolaire), RZ (bipolaire) et Manchester donne une impulsion. Ce n'est pas le cas pour la NRZ unipolaire, la RZ unipolaire. [8]

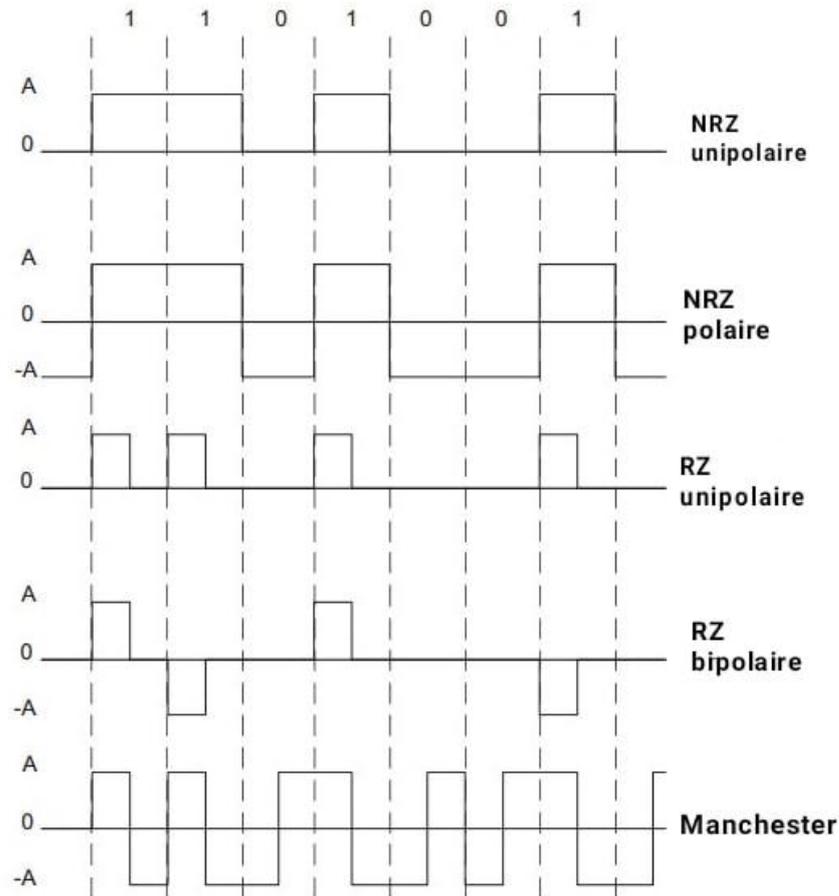


Figure I. 14 Comparaison des schémas de code

4. Conclusion

Les signaux numériques sont généralement des informations binaires séquentielles sous la forme de zéros et des uns. Chacun de ces chiffres binaires est représenté par une certaine largeur d'impulsion. Cette largeur d'impulsion varie en fonction des exigences de débit de données de transmission. Dans trois types de signaux utilisés dans la transmission numérique d'informations binaires. Ce sont les codes NRZ, RZ et Manchester.

Chapitre II :
Multiplexage en longueur d'onde
(WDM)

1. Introduction

Le terme « multiplexage » est un type de technique permettant de combiner plusieurs signaux analogiques et numériques en un seul signal sur le même canal. Cette technique est applicable aux télécommunications ainsi qu'aux réseaux informatiques.

Par exemple, dans les télécommunications, un câble est utilisé pour acheminer différents appels téléphoniques. En 1870, la technique de multiplexage est inventée d'abord en télégraphie, et à l'heure actuelle, elle est largement utilisée dans les communications. Le scientifique « George Owen Squier » a reconnu la croissance du multiplexage en téléphonie en 1910.

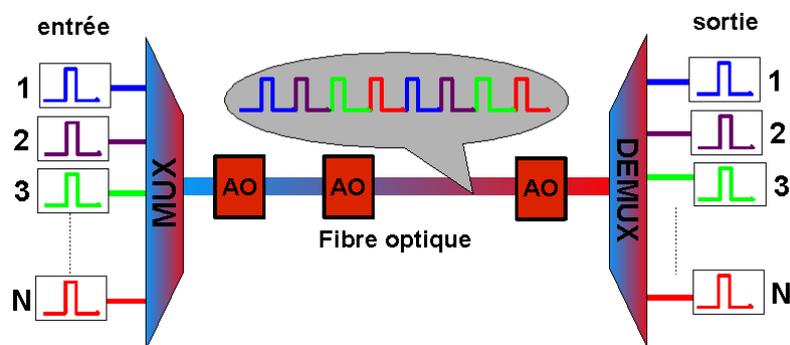


Figure II. 1 Schéma du Multiplexage

Un dispositif est appelé démultiplexeur est utilisé à l'extrémité de réception qui divise le signal en ses signaux composants . Il a donc une seule entrée et un certain nombre de sorties [9].

2. Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

2.1 Définition

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est une technologie de transmission optique modulant de nombreux flux de données, c'est-à-dire des signaux porteurs optiques de différentes longueurs d'onde (couleurs) de la lumière laser, sur une seule fibre optique. WDM permet une communication bidirectionnelle ainsi que la multiplication de la capacité du signal.

WDM est en fait un multiplexage par répartition en fréquence (FDM), mais référençant la longueur d'onde de la lumière par opposition à la fréquence de la lumière. Cependant, étant donné que la longueur d'onde et la fréquence ont une relation inverse (une longueur d'onde plus courte signifie une fréquence plus élevée), les termes WDM et FDM décrivent en fait la même technologie - la lumière dans un câble optique utilisé pour transporter des données et des signaux de communication.[9]

2.2 Principes de fonctionnement de WDM

Les réseaux WDM utilisent plusieurs couleurs de lumière, ou longueurs d'onde, sur le même chemin commun (fibre). Les émetteurs optiques réglés sur des longueurs d'onde spécifiques envoient la lumière dans un combinateur passif appelé multiplexeur. Toutes les longueurs d'onde voyagent le long d'une paire de fibres commune et sont séparées à l'aide d'un séparateur passif, ou démultiplexeur.

La figure II.2 illustre le processus de circulation de plusieurs signaux sur un réseau WDM. Dans cet exemple, le flux de signal est montré pour une direction à des fins d'illustration. Cependant, les réseaux WDM sont traditionnellement bidirectionnels et permettent des longueurs d'onde combinées et divisées dans les deux sens sur une seule paire de fibres.[8]

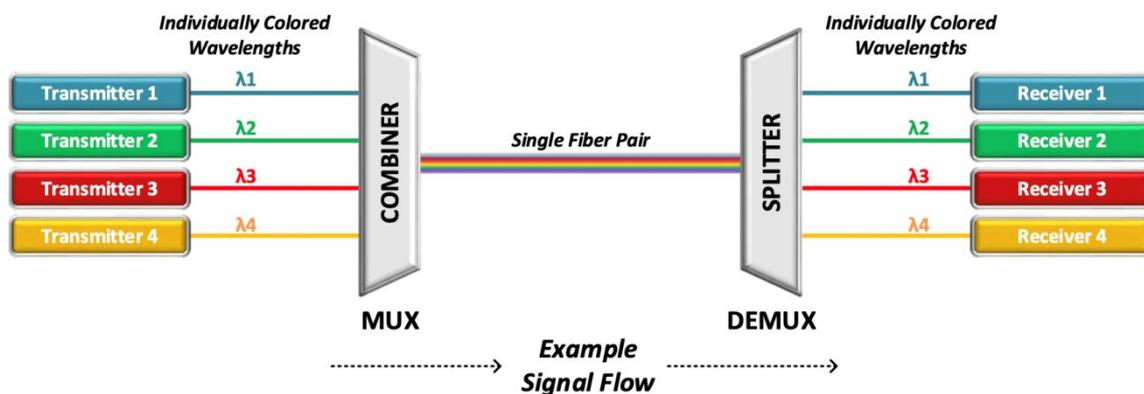


Figure II. 2 Principe de fonctionnement

2.3 Mode de fonctionnement du multiplexage WDM

La mise en œuvre d'un réseau WDM nécessite une variété de dispositifs passifs et / ou actifs pour combiner, distribuer, isoler et amplifier la puissance optique à différentes longueurs d'onde. Un multiplexeur est nécessaire pour combiner les sorties optiques en un

spectre série de signaux de longueur d'onde étroitement espacés et les coupler sur une seule fibre à l'extrémité de réception. Un démultiplexeur est nécessaire pour séparer les signaux optiques en canaux de détection appropriés pour le traitement du signal.

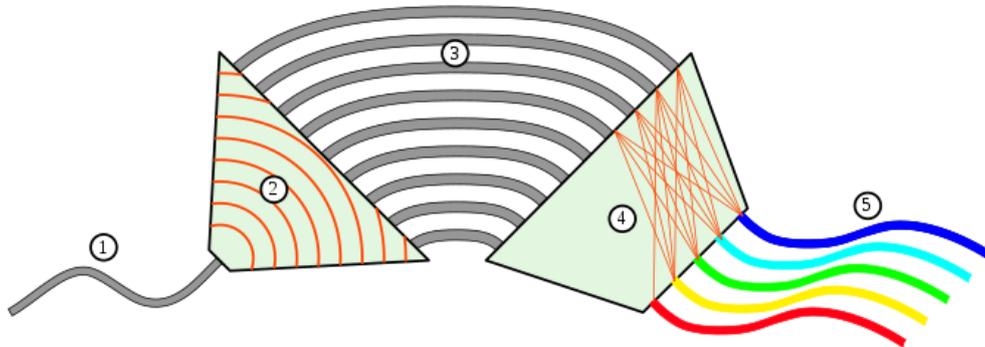


Figure II. 3 Mode de fonctionnement

La lumière entrante (1) prisme (2) et pénètre dans un faisceau de fibres optiques ou de guides d'ondes à canaux (3). Les fibres ont des longueurs différentes et appliquent ainsi un déphasage différent à la sortie des fibres. La lumière traverse alors un autre prisme (4) et interfère aux entrées des guides d'ondes de sortie (5) de telle sorte que chaque canal de sortie ne reçoit que de la lumière d'une certaine longueur d'onde. Les lignes orange illustrent uniquement le trajet de la lumière. Le trajet lumineux de (1) à (5) est un démultiplexeur, de (5) à (1) un multiplexeur.

Les AWG conventionnels à base de silice représentés schématiquement sur la figure ci-dessus sont des circuits à ondes lumineuses planaires fabriqués en déposant des couches dopées et non dopées de silice sur un substrat de silicium. Les AWG se composent d'un certain nombre de coupleurs d'entrée (1) / sortie (5), d'une région de propagation en espace libre (2) et (4) et des guides d'ondes à réseau (3). Le réseau se compose de nombreux guides d'ondes avec un incrément de longueur constant (ΔL). La lumière est couplée à l'appareil via une fibre optique (1) connectée au port d'entrée. La lumière diffractant hors du guide d'ondes d'entrée à l'interface coupleur / plaque se propage à travers la région d'espace libre (2) et illumine le réseau avec une distribution gaussienne. Chaque longueur d'onde de lumière couplée aux guides d'ondes à réseau (3) subit un changement constant de phase attribué à l'incrément de longueur constante dans les guides d'ondes à réseau. La lumière diffractée de chaque guide d'ondes du réseau interfère de manière constructive et est recentrée sur les guides d'ondes de sortie (5), la position spatiale, les canaux de sortie, étant la longueur d'onde dépendant du déphasage du réseau.

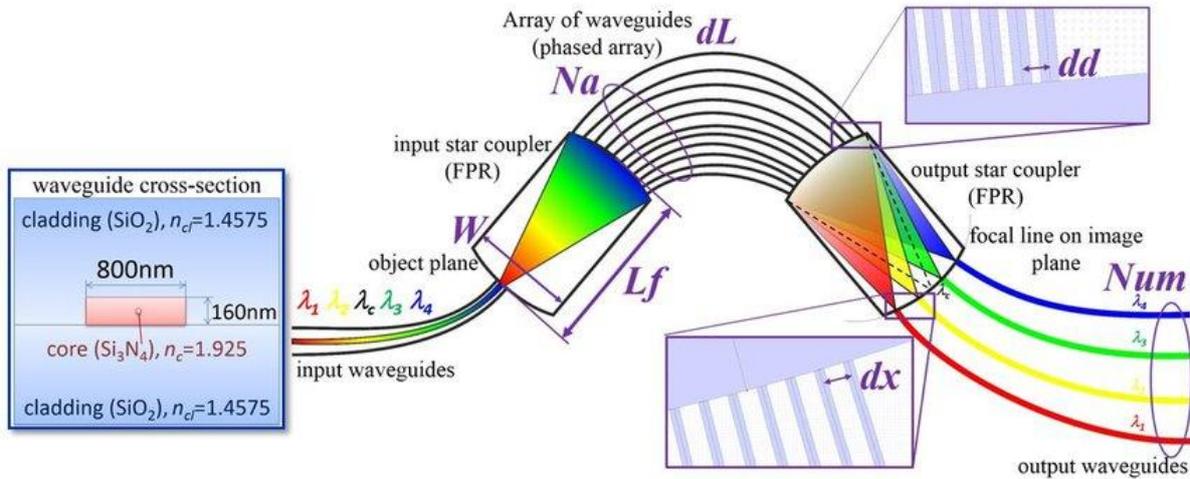


Figure II. 4 Mode de fonctionnement

Le multiplexage WDM exige un ensemble de diodes lasers émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (dans le voisinage des 1550 nm). A la réception, un démultiplexeur optique combine/sépare les différentes longueurs d'onde converties ainsi vers le domaine électron au moyen de photodiodes.

2.4 Utilisations du multiplexage par répartition en longueur d'onde

- WDM multiplie la bande passante effective d'un système de communication à fibre optique. Un répéteur à fibre optique appelé amplificateur à erbium peut faire du WDM un outil économique et c'est la solution à long terme.
- Cela réduit le coût et augmente la capacité du câble à transporter des données.
- Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) utilise plusieurs longueurs d'onde (couleurs de la lumière) pour transporter des signaux sur une seule fibre.
- Il utilise une lumière de différentes couleurs pour créer un certain nombre de chemins de signaux.
- Il utilise des prismes optiques pour séparer les différentes couleurs à l'extrémité de réception et les prismes optiques ne nécessitent pas de source d'alimentation.
- Ces systèmes utilisaient des lasers stabilisés en température pour fournir le nombre de canaux requis.

Les systèmes WDM sont divisés en fonction des longueurs d'onde - WDM (CWDM) et WDM dense (DWDM). Le CWDM fonctionne avec 8 canaux (c'est-à-dire 8 câbles à fibres optiques)

qui sont appelés « bande C » ou « fenêtre d'erbium » avec des longueurs d'onde d'environ 1550 nm. Le DWDM fonctionne également dans la bande C mais avec 40 canaux à un espacement de 100 GHz ou 80 canaux à un espacement de 50 GHz. La plupart des systèmes WDM fonctionnent sur des câbles à fibre optique monomode ayant un diamètre de noyau de 9 μm . Le multiplexage par répartition en longueur d'onde est une technique où les signaux optiques de différentes longueurs d'onde sont combinés, transmis et séparés.

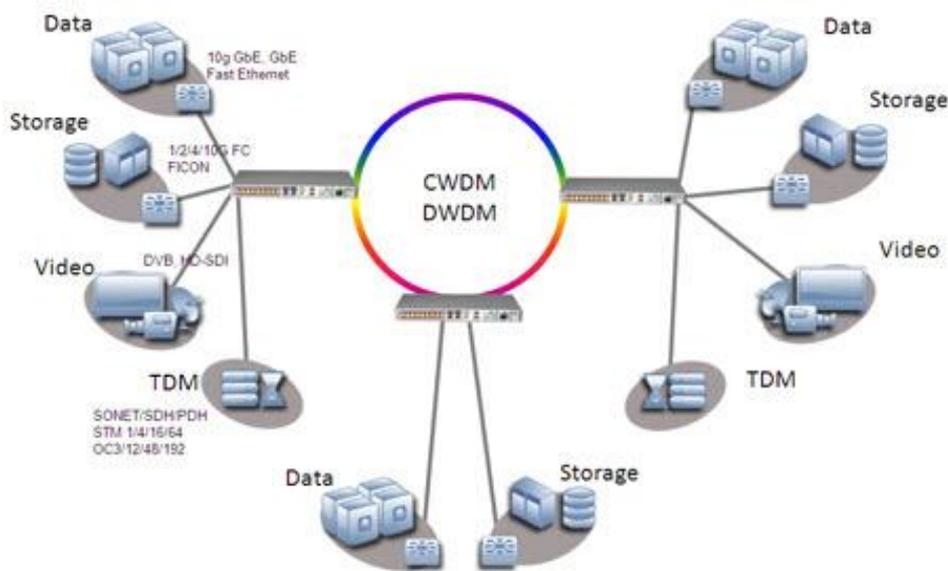


Figure II. 5 CWDM et DWDM

Chaque couleur obtenue à partir du prisme est capable de transporter de 10 Gbit/s à 40 Gbit/s. Une solution 16 couleurs, basée sur 10 Gbit/s par couleur, offre une capacité réseau totale de 160 Gbit/s. Chaque couleur peut se détacher du réseau sur plusieurs nœuds et tous ces nœuds sont terminés dans un ou plusieurs centres de données en permettant un routage résilient entre les circuits et également des services « en rampe ».

Comme le montre la figure, multiplexage par répartition en longueur d'onde dans la fibre optique, les signaux d'entrée se voient attribuer une longueur d'onde qui est combinée sur une fibre pour la transmission et séparée avant la réception.[8]

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (DWDM) est une technologie qui permet à plusieurs signaux simultanément d'être transmis sur une seule fibre à différentes longueurs d'onde et c'est également une technologie de multiplexage optique utilisée pour augmenter la bande passante sur les réseaux de fibre existants. En raison de la large bande passante d'amplification des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium, tous les canaux peuvent

souvent être amplifiés dans un seul appareil. Les systèmes DWDM offrent un nombre de canaux élevé et une portée plus longue.

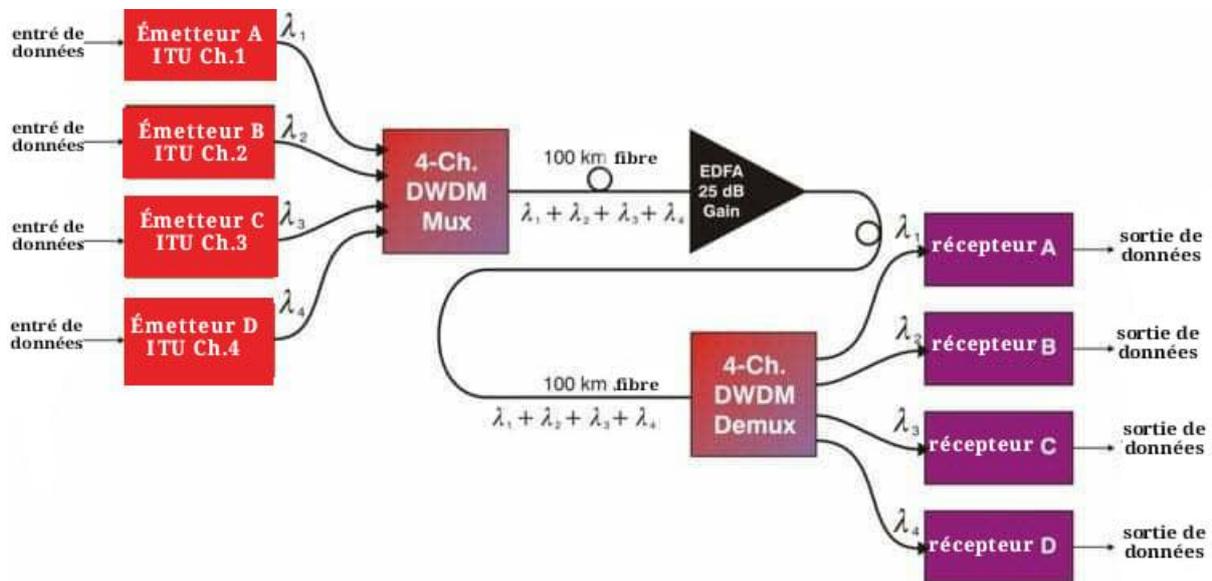


Figure II. 6 Multiplexage par répartition en longueur d'onde dense

Dans cette technologie, une autre fibre n'est pas nécessaire et grâce au DWDM, les fibres simples ont pu transmettre des données à une vitesse pouvant atteindre 400 Go/s. Cette technologie offre d'excellentes caractéristiques de performances, notamment une séparation étroite des canaux et une large bande passante dans la gamme de fréquences qui passent à travers un filtre.[9]

2.5 Différence entre CWDM et DWDM

CWDM signifie multiplexage par **répartition en longueur d'onde grossière**

- CWDM est défini par des longueurs d'onde
- CWDM est des communications à courte portée.
- Il utilise des fréquences étendues et diffuse des longueurs d'onde

DWDM signifie **multiplexage en longueur d'onde dense**.

- Le DWDM est défini en termes de fréquences.
- Le DWDM est conçu pour les transmissions longues où les longueurs d'onde sont serrées.

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (DWDM) est une technique ou une technologie pour la transmission d'informations ou de données volumineuses sur de longues distances.[9]

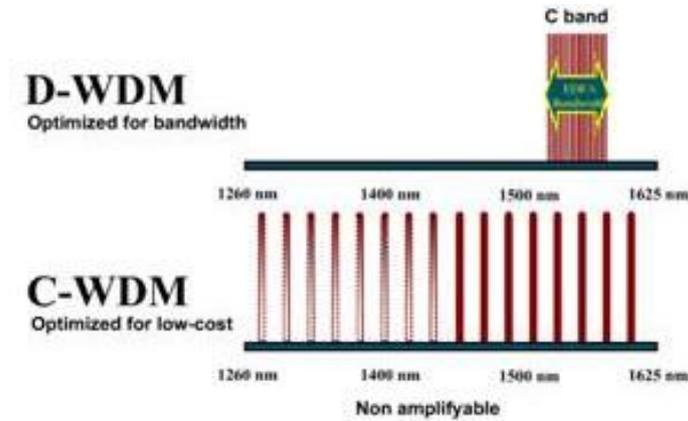


Figure II. 7 Différence entre CWDM et DWDM

3. Conclusion

On constate que grâce aux techniques de multiplexage qu'on peut atteindre des débits très importants, en occupant la bande passante de la fibre, surtout avec la technique WDM ou on peut y aller jusqu'à 16 canaux, et on peut les transmettre 9 en même temps.

La capacité des systèmes WDM a récemment augmenté, en raison de la multiplication du nombre de canaux. Afin d'atteindre de plus grandes capacités, il faudra augmenter le débit binaire par canal, rapprocher les canaux et élargir la bande passante optique exploitée.

La DWDM n'a pas encore atteint ses limites. De nouvelles techniques se développent vont permettre de multiplier encore plus les capacités des systèmes optiques.

Chapitre III

Composants optiques

1. Introduction

En physique, le côté optique travaille à base de la lumière qui passe dans la fibre optique. Cette dernière doit être rassemblée avec des composants optiques qui la relient entre la fibre et d'autres composants que nous allons définir par la suite.

Une liaison en fibre optique est constituée de trois parties :

- **Émetteur optique** : Travail avec la Diode laser
- **Fibre optique** : c'est un support de transmission optique
- **Récepteur optique** : du côté réception les Photodiodes sont les principaux composants utilisés.

2. Composants optiques

2.1 Fibre optique

2.1.1 Définition

La fibre optique est un guide cylindrique utilisé comme un support de transmission qui transmet les données sous forme d'impulsions lumineuses d'un emplacement à un autre, Elle assure la transmission numérique en grande quantité à grande vitesse et avec une grande sécurité.

La conception de ces câbles peut être réalisée avec du plastique ou de fils de verre afin que les données puissent être transmises efficacement et rapidement que les câbles en cuivre.

Les fibres optiques trouvent leurs applications essentiellement dans les télécommunications.

Elle est composée de deux diélectriques le cœur et la gaine (voir figure ci-dessus).[11]

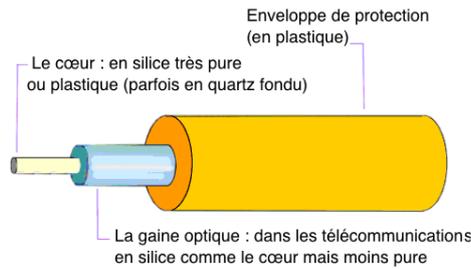


Figure III. 1 Fibre optique

2.1.2 Types de fibre optique

Il y a plusieurs types de fibre optique dont :

Les fibres à saut d'indice et à gradient d'indice.

2.1.2.1 fibres à saut d'indice(S-I)

- Les fibres monomodes qui utilisent un seul mode de propagation de la lumière sont principalement utilisées pour transmettre des signaux sur de longues distances.
- Les fibres multi modes qui utilisent plusieurs modes de propagation de la lumière sont principalement utilisées pour transmettre des signaux sur de courtes distances.

- **Fibres monomodes**

Les fibres monomodes sont les plus fiables et les plus utilisées dans les réseaux mondiaux.

Cette fibre a un petit noyau diamétral qui permet à un seul mode de lumière de se propager. Pour cette raison, le nombre de réflexions de lumière créées lorsque la lumière passe à travers le noyau diminue, ce qui réduit l'atténuation et permet au signal de se déplacer plus loin. Cette application est généralement utilisée dans les trajets longue distance et à bande passante plus élevée par les opérateurs télécoms.

Le profil d'indice ainsi que la nature de propagation des ondes dans le cœur de cette fibre sont présentés sur la figure III.2.a

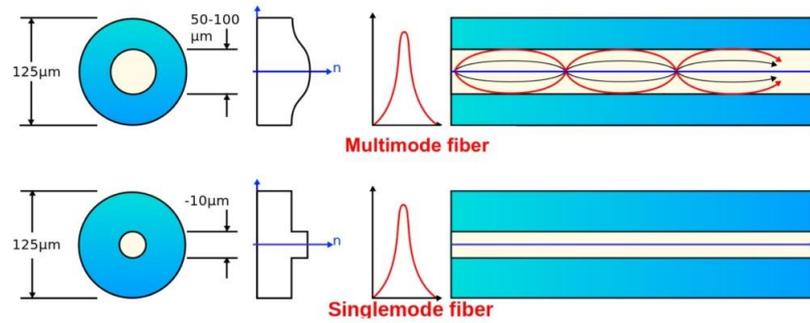


Figure III. 2 Fibre monomode (a) et multimode (b)

- **Fibre multi modes**

Le câble à fibres optiques multimode a un grand noyau diamétral qui permet à plusieurs modes de lumière de se propager. Pour cette raison, le nombre de réflexions de lumière créées lorsque la lumière traverse le noyau augmente, ce qui permet à plus de données de passer à un moment donné. En raison du taux de dispersion et d'atténuation élevé avec ce type de fibre, la qualité du signal est réduite sur de longues distances. Cette application est généralement utilisée pour les applications de courte distance.

Le profil d'indice ainsi que la nature de propagation des ondes dans le cœur de cette fibre sont présentés sur la figure III.2.b.

2.1.2.2 fibres à gradient d'indice (G-I)

Ce type consiste à réduire la dispersion présentée à l'extrémité de la fibre multimode à S-I. Dans ce type tous les rayons optiques arrivent en même temps.

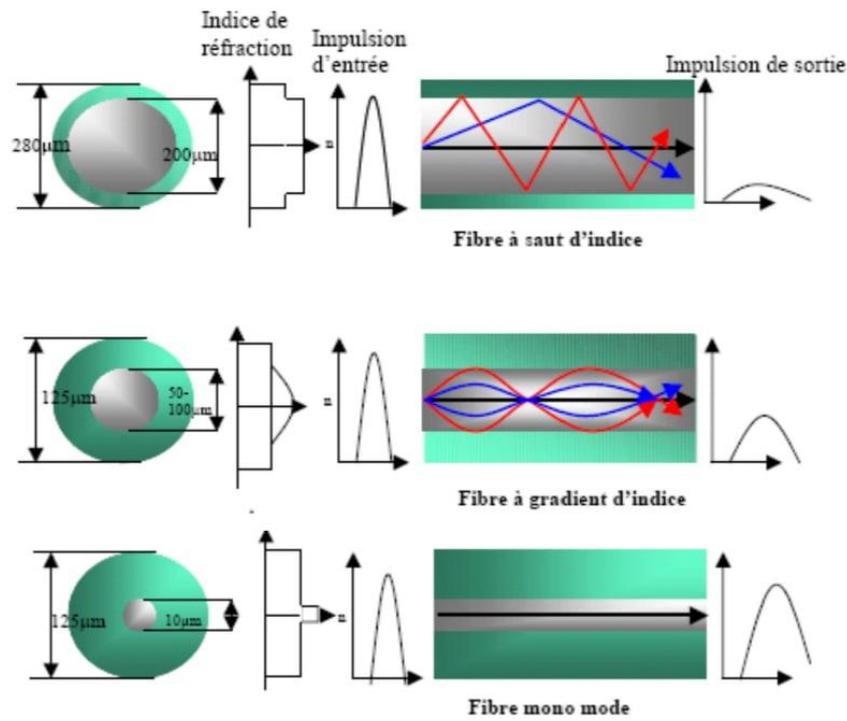


Figure III. 3 Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques[12] ici

2.1.3 propagation dans la fibre optique

Elle se fait par la réflexion des rayons sur l'interface cœur-gaine d'une manière successive. La figure III.4 représente la propagation des rayons dans le cône d'acceptance [11].

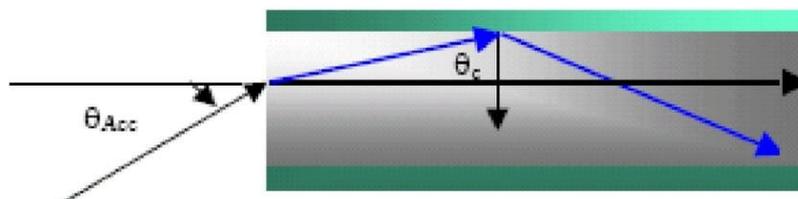


Figure III. 4 Propagation des rayons dans le cône d'acceptance

θ_{Acc} : L'angle d'acceptance

θ_c : L'angle critique

$$\theta_{Acc} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{II.1}$$

- Ouverture numérique : indique la capacité de propagation des rayons optiques dans une fibre

$$ON = \sin(\theta_{Acc}). \tag{II.2}$$

2.2 Atténuation

L'atténuation est l'un des facteurs les plus importants dans les fibres optiques qui indique la mesure de la perte de lumière entre l'entrée et la sortie qui dépend de l'absorption et de la distance lors d'une transmission d'un signal. Elle est exprimée en dB/km. [13]

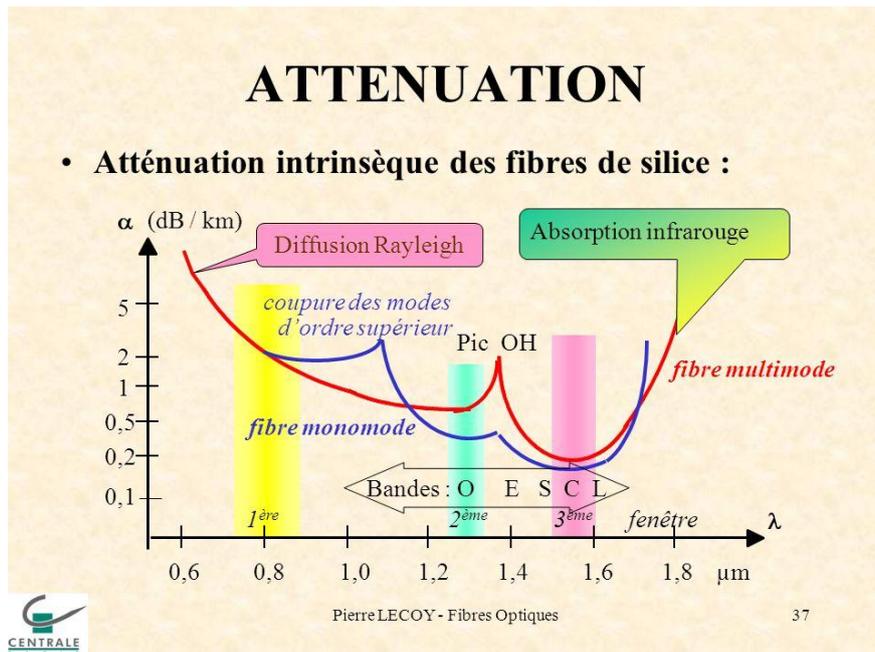
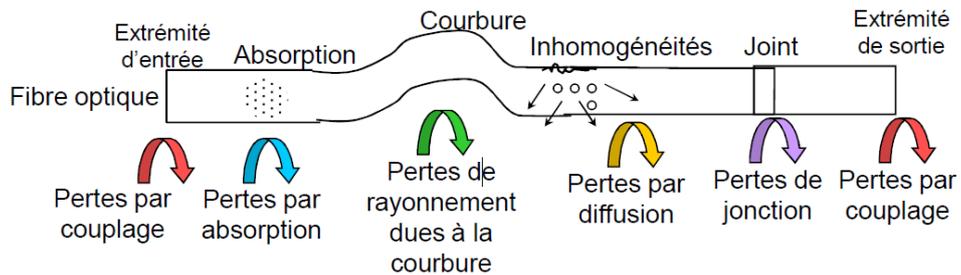


Figure III. 5 Courbe d'atténuation

- Le coefficient d'atténuation de la fibre peut être de 0,36 dB/km en longueur d'onde de 1310 nm ainsi que 0,22 dB / km en longueur d'onde de 1550 nm.
- La formule de l'atténuation pour deux niveaux de puissance P_1 et P_2 est :

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{II.3})$$

2. 3 Dispersion

Dans les fibres optiques, la dispersion chromatique, correspondant aux variations de temps de propagation des diverses longueurs d'onde, et l'un des facteurs limitant de la bande passante.

Comme l'atténuation, la dispersion raccourcit la distance parcourue par le signal à l'intérieur des fibres optiques. Contrairement à l'atténuation, la dispersion n'affaiblit pas le signal, mais elle brouille le signal. Par exemple, une impulsion de 1 nanoseconde à l'émetteur sera étalée à 10 nanosecondes au récepteur. [14]

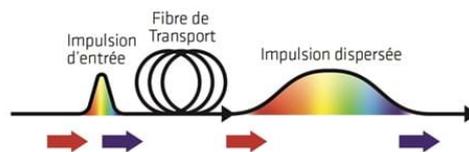


Figure III. 6 Dispersion

Par conséquent, les signaux ne sont pas correctement reçus et décodés.

Fondamentalement, il existe 4 types de dispersion dans la fibre optique:

- Dispersion modale: différents modes se propagent à différentes vitesses de groupe
- Dispersion du guide d'onde: le changement d'indice de réfraction à travers le guide d'onde signifie que différentes longueurs d'onde ont des retards différents

- Dispersion des matériaux : est le résultat de la largeur de raie finie de la source lumineuse et de la dépendance de l'indice de réfraction du matériau sur la longueur d'onde.[14]

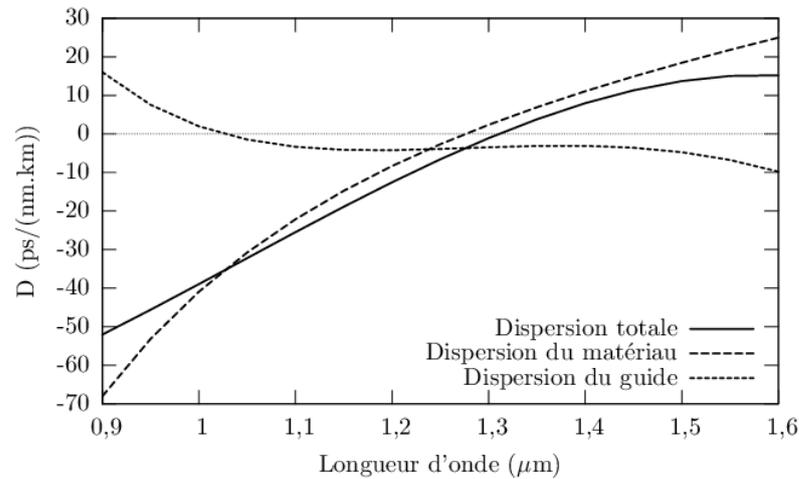


Figure III. 7 Types de dispersions

Equation de dispersion

- $E_{z\text{coeur}} = E_{z\text{gaine}}$; $E_{\theta\text{coeur}} = E_{\theta\text{gaine}}$; $H_{z\text{coeur}} = H_{z\text{gaine}}$; $H_{\theta\text{coeur}} = H_{\theta\text{gaine}}$

$$\epsilon_{1r\text{coeur}} = \epsilon_{2r\text{gaine}} ; \mu_{1Hr\text{coeur}} = \mu_{2Hr\text{gaine}} \quad (\text{II.4})$$

2.4 Filtre Optique

2.4.1 Définition

Les filtres optiques sont des dispositifs dont la transmission dépend de la longueur d'onde. Il existe également des filtres qui dépendent de la polarisation ou de la distribution spatiale.

Les Filtres Optiques sont utilisés pour transmettre ou rejeter sélectivement une longueur d'onde ou une gamme de longueurs d'onde et également dans des applications telles que la chimie clinique, spectroscopie, la microscopie à fluorescence.

2.4.2 Types de filtre optiques

Filtrage par absorption : ces filtres sont composés d'un colorant diffusé dans un support. Ces colorants absorbent certaines longueurs d'onde ; l'énergie est restituée sous forme de chaleur.

Filtrage de polarisation : absorbe la lumière à proportion de la différence de polarisation par rapport à son axe.

Filtre dichroïque, ou interférentiel, transmet une partie de la lumière et réfléchit le reste.

Filtrage spatial :

Le filtrage spatial consiste à sélectionner l'information selon la fréquence spatiale à laquelle une valeur apparaît sur une ligne ou dans un plan. Il est couramment effectué par des moyens informatiques. Cependant il peut se faire par des moyens optiques, et c'est parfois indispensable.

2.5 Modulateur optique

C'est un dispositif qui peut être utilisé pour manipuler une propriété de la lumière - souvent d'un faisceau optique, par exemple un faisceau laser. En fonction de la propriété de la lumière est contrôlée, les modulateurs sont appelés modulateurs d'intensité, des modulateurs de phase, des modulateurs de polarisation, les modulateurs de lumière spatiaux, etc. Une large gamme de modulateurs optiques sont utilisés dans des domaines d'application très divers, par exemple dans les communications à fibres optiques, des écrans, pour la commutation Q active ou le verrouillage de mode des lasers, et en métrologie optique.

2.5.1 Types de modulateurs optiques

Il existe différents types de modulateurs optiques:

- Les modulateurs acousto-optiques sont basés sur l'effet acousto-optique Ils sont utilisés pour commuter ou ajuster en continu l'amplitude d'un faisceau laser, pour décaler sa fréquence optique, ou sa direction spatiale.
- Les modulateurs électro-optiques exploitent l'effet électro-optique dans une cellule Pockels. Ils peuvent être utilisés pour modifier la polarisation, la phase ou la puissance d'un faisceau, ou pour le prélèvement d'impulsions dans le cadre d'amplificateurs d'impulsions ultra - courts.
- Les modulateurs d'électro absorption sont des modulateurs d'intensité, utilisés par exemple pour les émetteurs de données dans les communications par fibre optique.

- Les modulateurs interférométriques, par exemple les modulateurs de Mach – Zehnder, sont souvent réalisés dans des circuits intégrés photoniques pour la transmission optique de données.
- Les modulateurs à fibre optique peuvent exploiter divers principes physiques. Ils peuvent être de véritables dispositifs à fibre ou contenir des composants en vrac à queue de cochon en fibre.
- Les modulateurs à cristaux liquides conviennent, par exemple, aux affichages optiques et aux formateurs d'impulsions ultra-rapides. Ils sont également disponibles en tant que modulateurs spatiaux de la lumière, c'est-à-dire avec une transmission variante spatialement, par exemple pour les écrans. [15]

2.6 Amplificateur optique

Ce sont des composants qui amplifient les signaux optiques sans recourir aux solutions optoélectroniques basées sur des conversions optique/électronique et électronique/optique (photo détection, amplification électronique, émission laser à la même longueur d'onde à partir du signal amplifié électroniquement)[10]

2.6.1 Amplificateur dopée Erbium (EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier)

L'amplificateur à fibre dopée à l'erbium EDFA est un amplificateur qui utilise la fibre dopée à l'erbium comme support d'amplification optique pour améliorer directement les signaux, il est composé d'une fibre optique en verre dopée aux ions erbium et le gain amplifie la lumière à des longueurs d'onde proche de 1550 nm.

Le noyau d'une fibre de silice est dopé avec des ions erbium trivalent et peut être efficacement pompé par un laser à une longueur d'onde de 980 nm ou 1480 nm

L'EDFA fonctionne mieux dans la plage de 1530 à 1565 nm, et il possède un faible bruit et peut amplifier simultanément de nombreuses longueurs d'onde, ce qui en fait l'amplificateur à fibres optiques de choix pour la plupart des applications des communications optiques.[16]

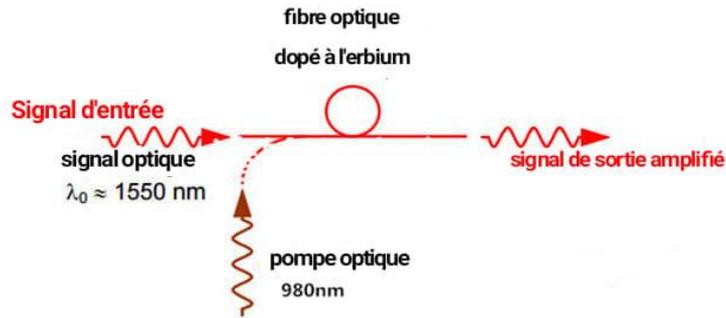


Figure III. 8 Représentation du EDFA

2.6.2 Amplificateur à base de semi-conducteur (SOA : Semi-conductor Optic Amplifier)

L'Amplificateur SOA est un amplificateur qui utilise le semi-conducteur comme moyen de gain cet amplificateurs à une structure similaire à celle des diodes laser Fabry-Pérot.

Il est disponible en 1310 nm, 1400 nm, 1500 nm, 1600 nm de longueur d'onde, peut être utilisé avec un mode unique ou une polarisation préservant l'entrée / la sortie des fibres. [16]

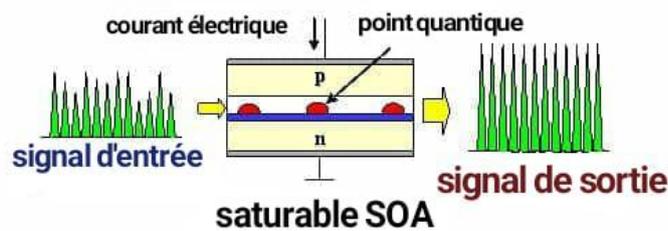


Figure III. 9 Amplification SOA

2.7 Les coupleurs optiques

En optique, un coupleur est un dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois. La répartition de la puissance entre les différentes sorties dépend en général de la longueur d'onde et de la polarisation du signal d'entrée.

Il y'a plusieurs type de coupleur dont celui utilisée dans les télécommunications le coupleur Y, les coupleurs sont largement utilisés pour relier des terminaux au bus principal.



Figure III. 10 Coupleur optique

2.8 Les multiplexeurs

Le multiplexage en longueur d'onde, souvent appelé WDM (Wavelength Division Multiplexing en anglais), est une technique utilisée en communication optique qui permet d'augmenter le débit sur une fibre optique en faisant circuler plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur une seule fibre, en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (Mux) et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMux). Il s'agit pour simplifier de faire passer plusieurs « couleurs » simultanément dans une fibre – ou le plus souvent une paire de fibres (émission / réception). Ces « couleurs » sont visibles séparément à chaque extrémité, mais circulent de concert sur le médium. Chaque « couleur » constitue alors un lien réseau séparé et indépendant du point de vue des équipements qui l'utilisent.

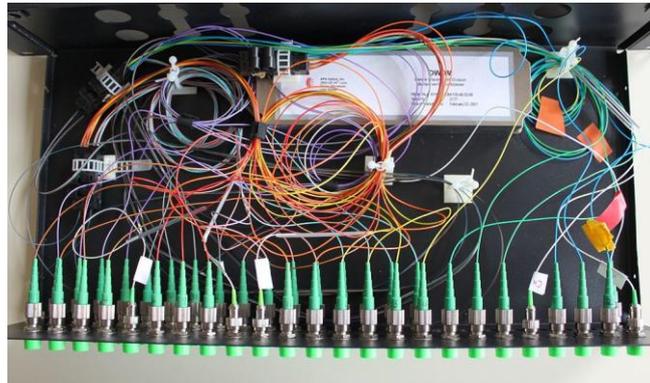


Figure III. 11 Exemple d'un MUX/DEMUX optique

3.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appris à connaître les différents composants des réseaux optiques et les principales configurations et manipulation d'une propriété de la lumière pour la transmission par fibre optique.

L'utilisation de l'optique dans les domaines des télécommunications a permis d'augmenter la bande passante et multiplier le débit par des chiffres très importants et cela à commencer juste par le côté équipements jusqu'à aujourd'hui où on cherche à déployer la fibre même côté équipements-Abonnés ce qui s'appelle FTTH plus que ça le FTTX des opérateurs

Chapitre IV

Simulations et interprétations des résultats

1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons simuler une chaîne de transmission optique et faire une comparaison entre les deux formats de codage NRZ et RZ pour un système à 40Gb/s. Pour cela nous utilisons un logiciel de simulation Optisystem. Commençons par l'analyse des deux types de formats de modulations RZ et NRZ au niveau de l'émission du signal jusqu'à la réception et en visualise les différentes formes des signaux optiques et électriques au niveau de chaque composant.

2. Présentation du logiciel Optisystem

2.1 Présentation

OptiSystem "Optical communication System Design Software", est un logiciel de simulation développé par des canadiens et qui fait partie du pack Optiwave, Cette suite de conception permet aux utilisateurs de planifier, tester et simuler des liaisons optiques dans la couche de transmission des réseaux optiques modernes. Il contient une bibliothèque complète des composants optiques.

Cet outil doté d'une interface interactive alliant des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et d'une interface utilisateur, possède un nouveau 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 [1].

2.2 Interface

L'interface de Optisystem contient une fenêtre principale repartit en plusieurs parties :

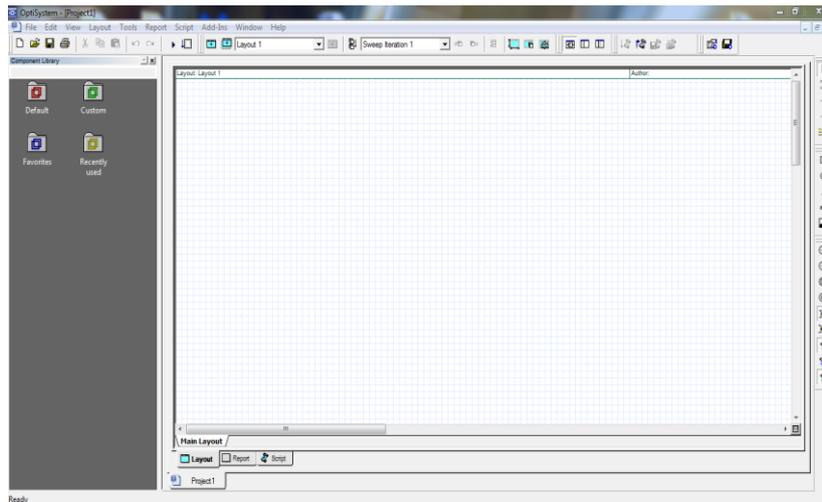


Figure IV. 1 Aperçu de l'interface principale Optisystem

2.3 Bibliothèque des composants

Optisystem dispose d'une bibliothèque comme une base de données de différents composants prêts à configurer et utiliser dans les simulations.

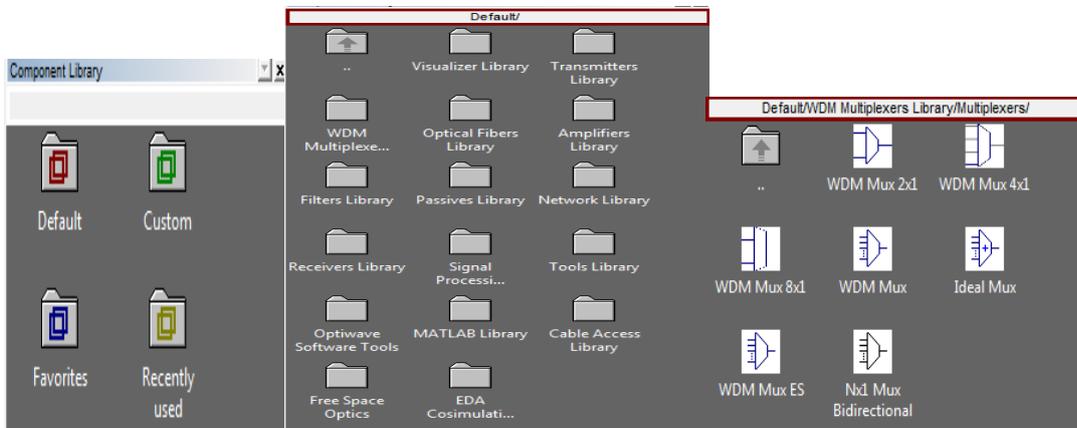


Figure IV. 2 Bibliothèque des composants

2.4 Applications d'Optisystem

- ❖ La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- ❖ Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- ❖ La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).

- ❖ L'espace libre pour les systèmes optiques (OSA).
- ❖ La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

Et d'autres Applications

2.5 Evaluation de la qualité de transmission

Afin d'évaluer la qualité d'une transmission sur les systèmes qui utilisent le WDM on doit passer par trois étapes nécessaires qui se présentent comme suit :

3. Définition

3.1 Taux d'erreurs binaire (BER)

La qualité de transmission est représentée par le Taux d'erreurs binaire (TEB, ou BER pour Bit Error Rate) qui présente la probabilité d'une prise de décision erronée sur un élément binaire. Il se définit comme suit :

$$\mathbf{BER} = \frac{\text{Nombres d'erreurs détectés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{IV.1})$$

La mesure de qualité globale d'un système de canaux multiplexés en longueurs d'onde passe nécessairement par une mesure du BER de tous les canaux. Si un seul canal parmi plusieurs présentes des erreurs, BER du système global est proche de celui du canal présentant des erreurs.

3.2 Facteur de qualité

Le facteur de qualité d'un système est une mesure sans unité du taux d'amortissement d'un oscillateur. Q est défini par :

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

Q : Facteur de qualité

Le facteur de qualité est généralement défini en décibel (dB) en utilisant la conversion

suivante :

$$Q_{(dB)} = 20 * \log_{10}(Q) \quad (IV.3)$$

3.3 Diagramme de l'œil

La meilleure façon de juger la qualité d'un signal est d'observer son diagramme de l'œil représentant la superposition synchrone de tout symbole binaire de la séquence transmise [5].

Si le signal est de mauvaise qualité Q , le diagramme de l'œil sera fermé, Donc si Q est faible la détection du signal sans erreur vas être très difficile. Ce diagramme est un moyen visuel efficace jugeant la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé.

4. Simulation

4.1 Simulation de la chaine de transmission en utilisant le codage NRZ

Pour la simulation on a utilisé les données suivantes :

Nombre d'utilisateurs	4
Débit binaire pour chaque utilisateur (Gbit/s)	10
La longueur de la fibre SMF (km)	50
Dispersion chromatique (ps/nm.km)	-16
La longueur de fibre DCF (km)	10
Dispersion chromatique (ps/nm.km)	80

Tab IV.1 : paramètres de simulations

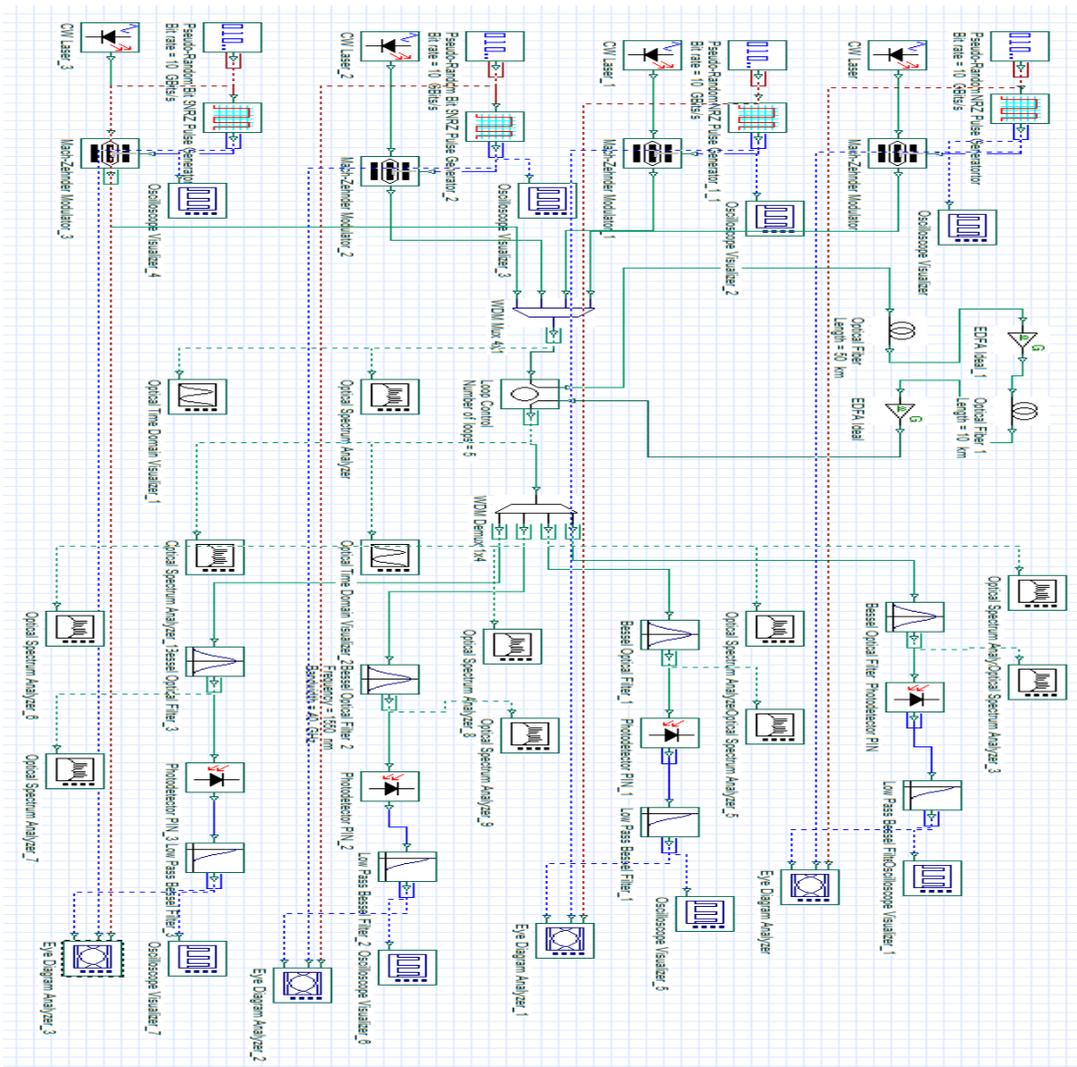


Figure IV. 3 Schéma d'un système de transmission à 40 Gbit/s avec le codage NRZ

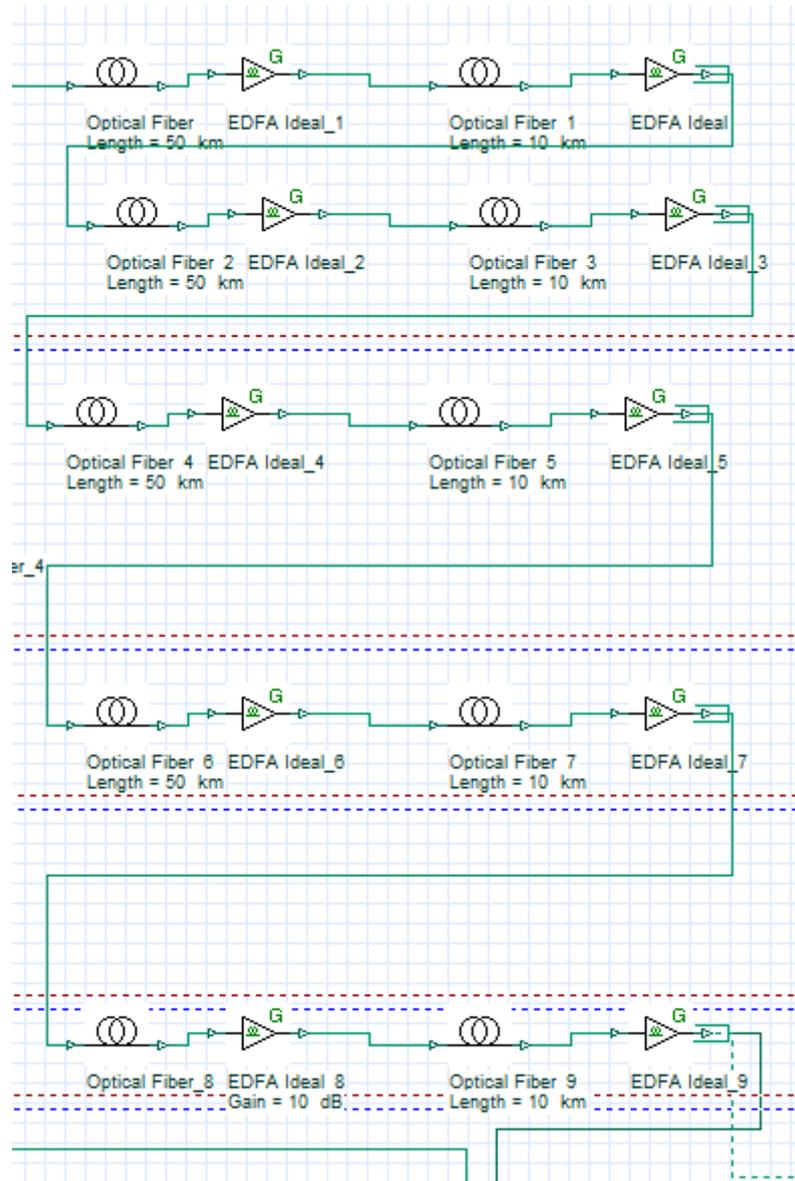


Figure IV. 4 Schéma d'un système de transmission à 40 Gbit/s avec le codage NRZ (Simplifier)

Débit binaire

Le débit binaire nous a permis de mesurer la quantité de données numériques transmises par l'unité de temps, les figures suivantes ont été prélevées après chaque étape de simulation afin de suivre le changement de débit.

4.1.1 Partie Emission

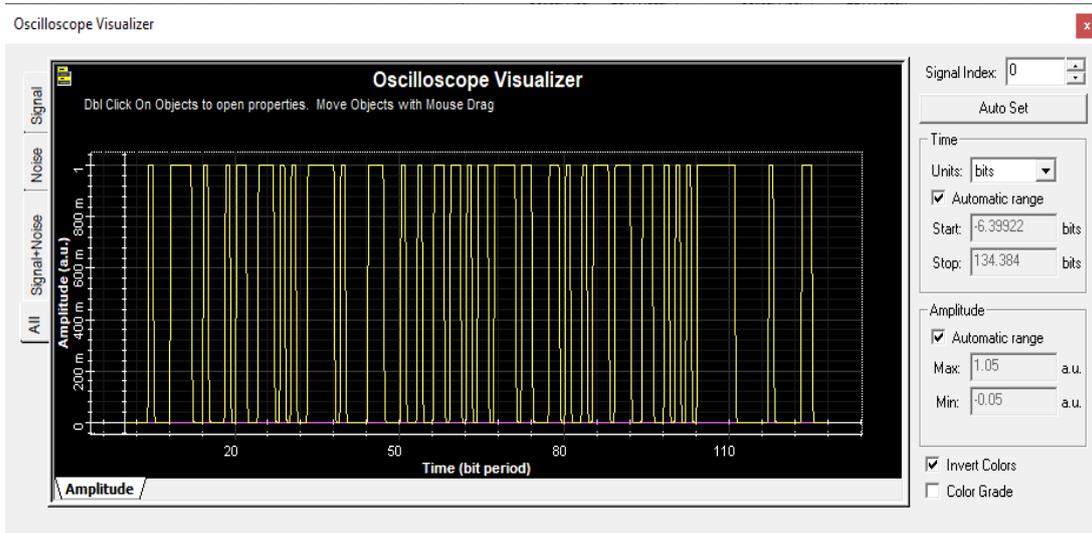


Figure IV. 5 Débit binaire au niveau codage NRZ

Nous constatons sur la figure IV.5 que Le format du signal binaire est stable et bien défini au niveau du modulateur optique.

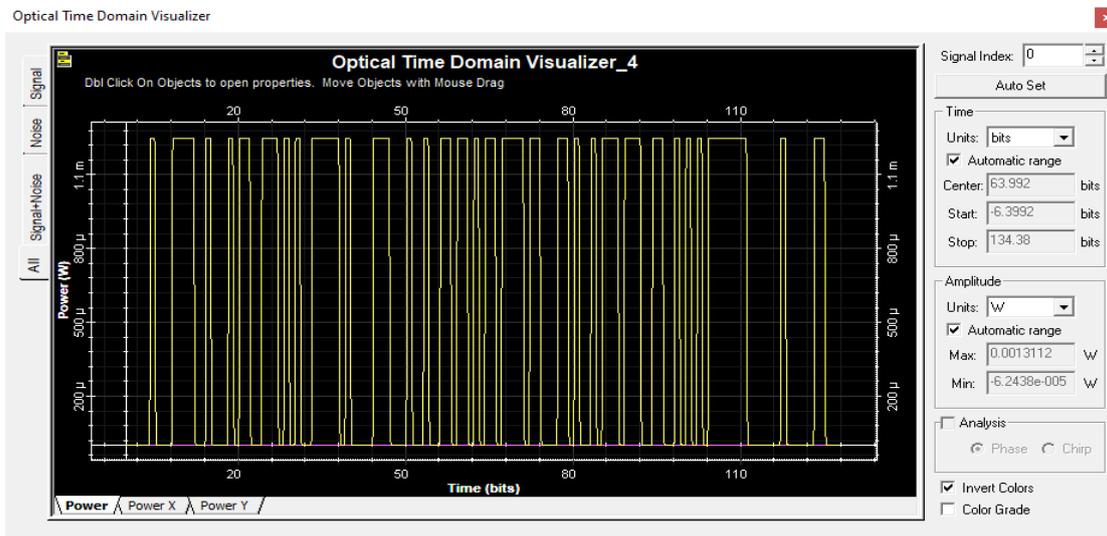


Figure IV. 6 Débit binaire après modulateur Mach-Zehnder

Le débit binaire après le modulateur Mach-Zehnder prend la même forme du signal auparavant avec une augmentation d'amplitude.

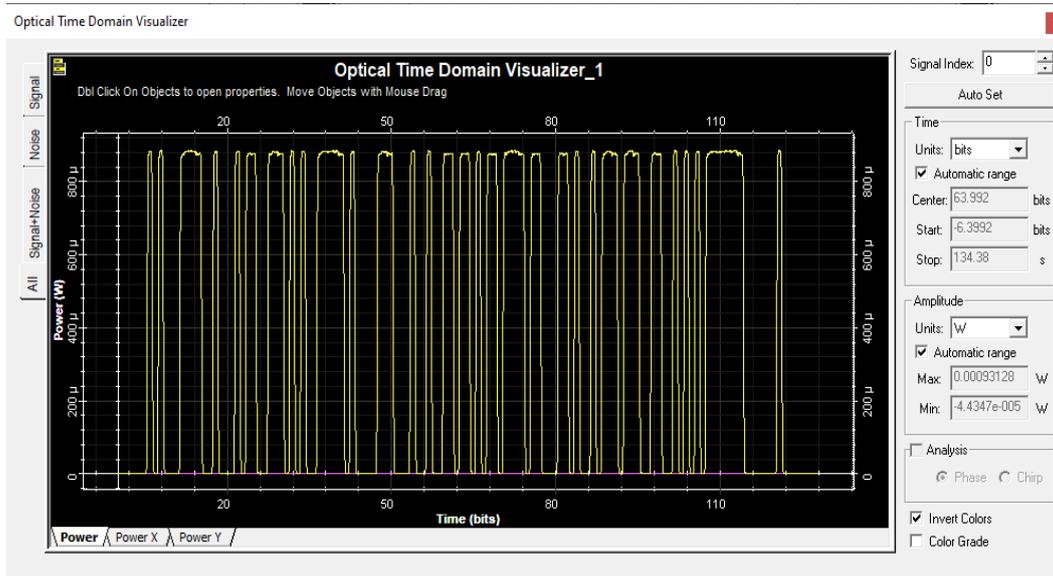


Figure IV. 7 Débit binaire après multiplexage

- La puissance du signal optique a diminué après le multiplexage. Les bits commencent à ce modifier en amplitude et en durée.

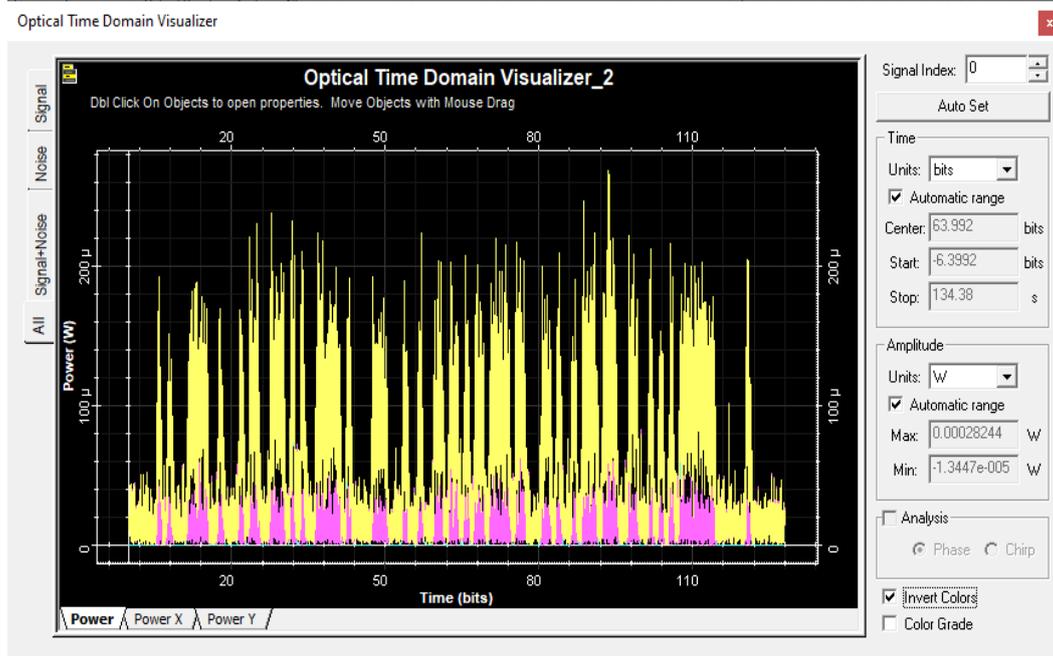


Figure IV. 8 Débit binaire après propagation dans la fibre optique

Après la propagation du signal dans la fibre optique on remarque l'existence d'un bruit considérable et diminution de la puissance optique. Un amplificateur optique est

nécessaire pour remédier ce problème.

4.1.2 Partie Réception

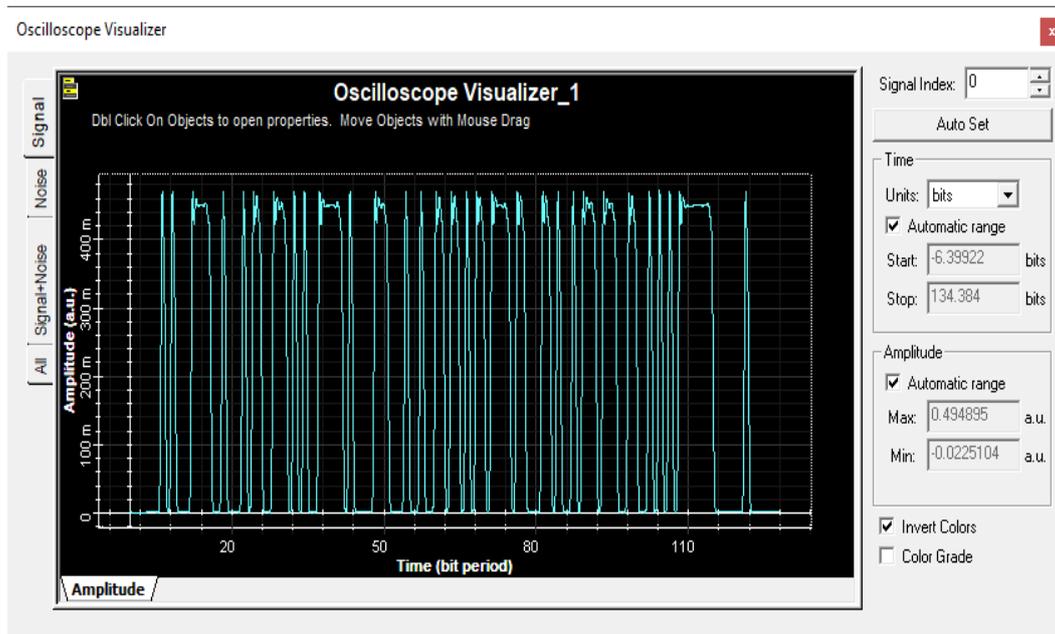


Figure IV. 9 Débit binaire au niveau du récepteur

- Une dégradation de la forme du signal au niveau de réception par rapport à l'émission et une diminution de l'amplitude. Mais l'essentiel qu'on à récupérer les donner sans erreurs.

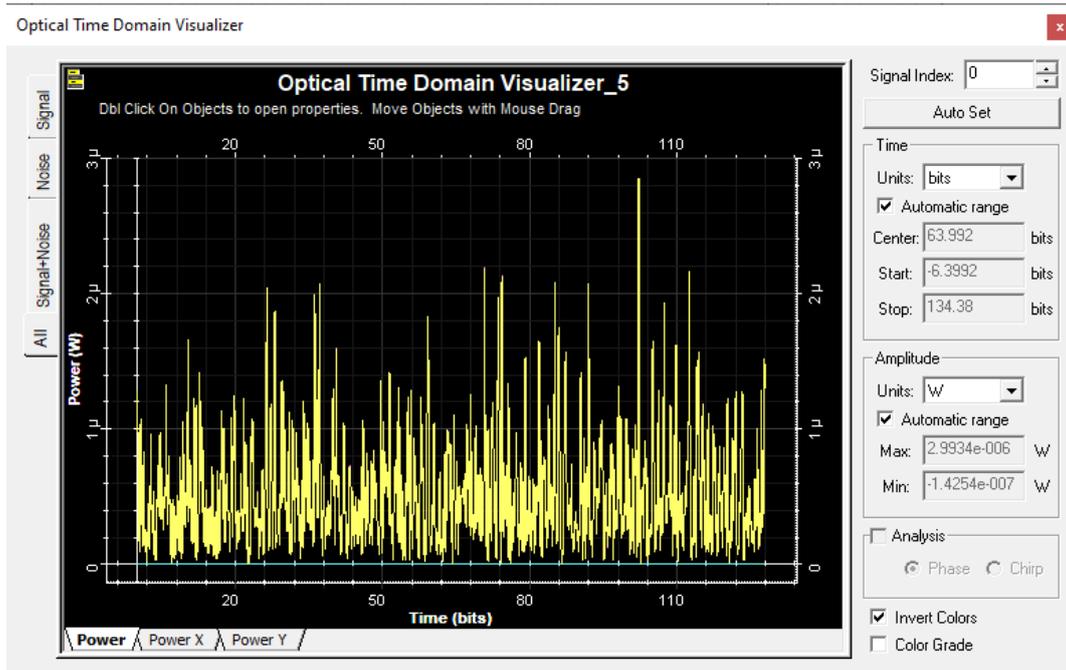


Figure IV. 10 Débit binaire après démultiplexage

- Le signal a repris une forme sans bruit avec une diminution d'amplitude.



Figure IV. 11 Débit binaire après filtrage optique

- Le signal a repris la forme qu'il avait avant le multiplexage mais la puissance a nettement diminué.
- Spectre du signal

-Après l'injection du signal optique en émission on a les figures suivantes :

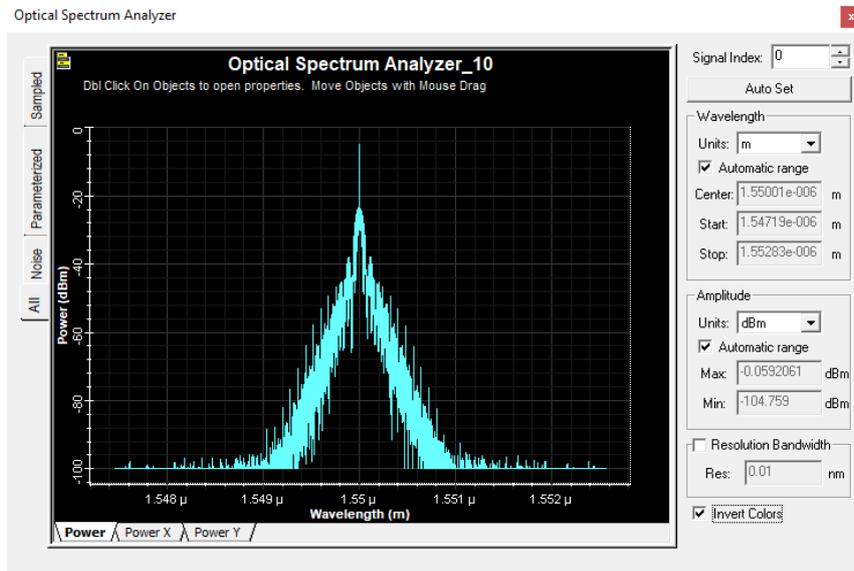


Figure IV. 12 Spectre optique après le modulateur de Mach-Zehnder

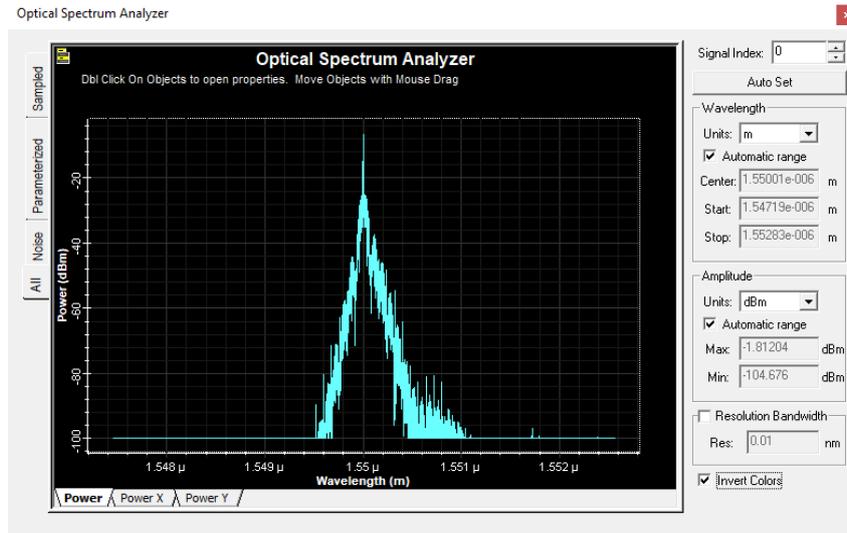


Figure IV. 13 le spectre optique après multiplexage

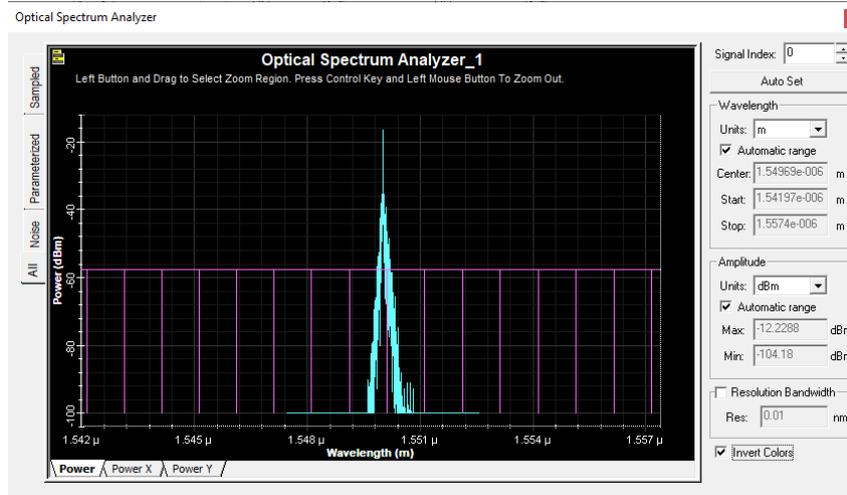


Figure IV. 14 Spectre optique après propagation dans la fibre optique

-Après la réception du signal optique on a les figures suivantes :

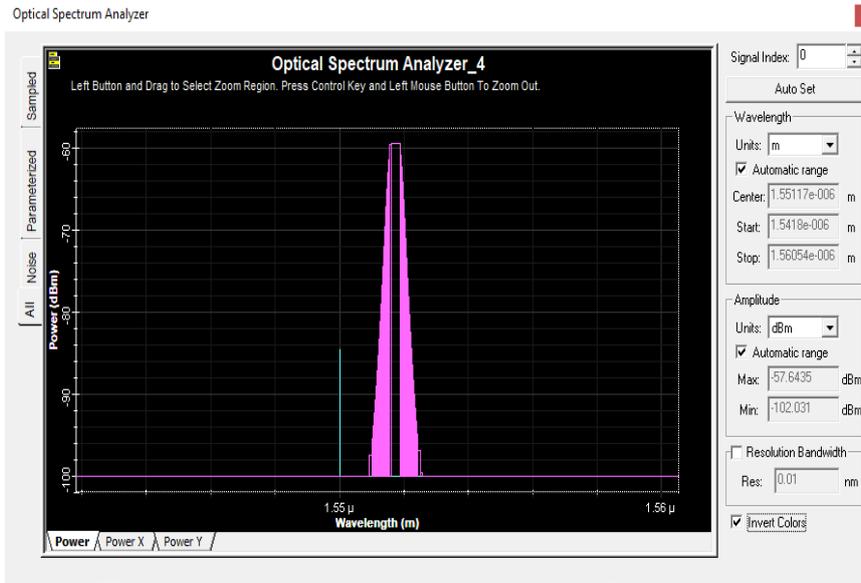


Figure IV. 15 Spectre optique après démultiplexage par User 1

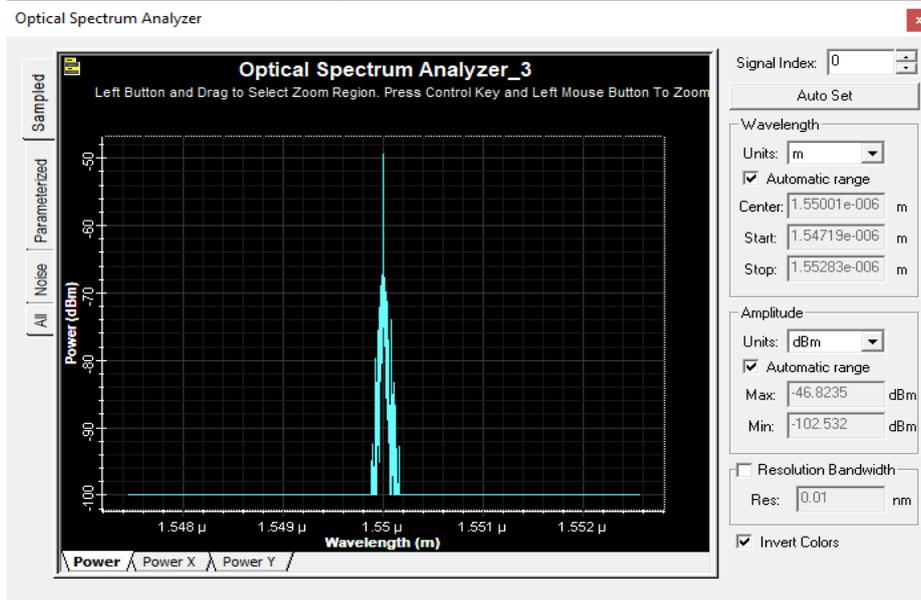


Figure IV. 16 Spectre optique après le filtrage optique User 1

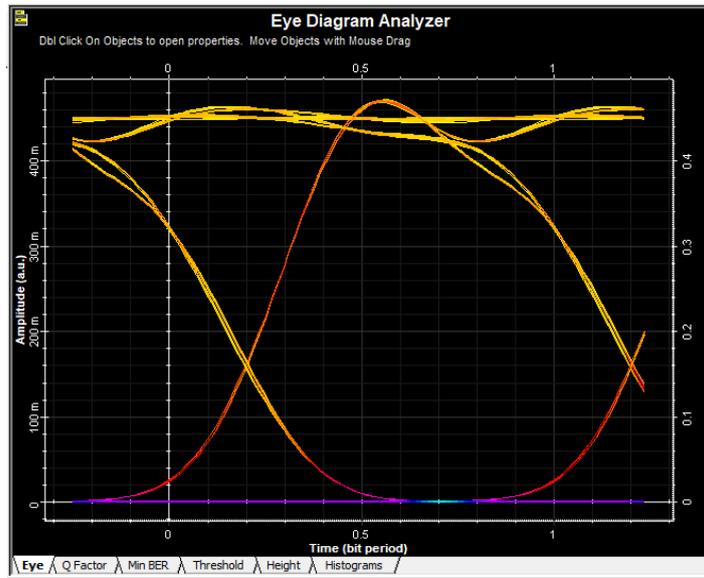


Figure IV. 17 Diagramme de l'œil

4.2 Simulation de la chaîne de transmission en utilisant le codage RZ

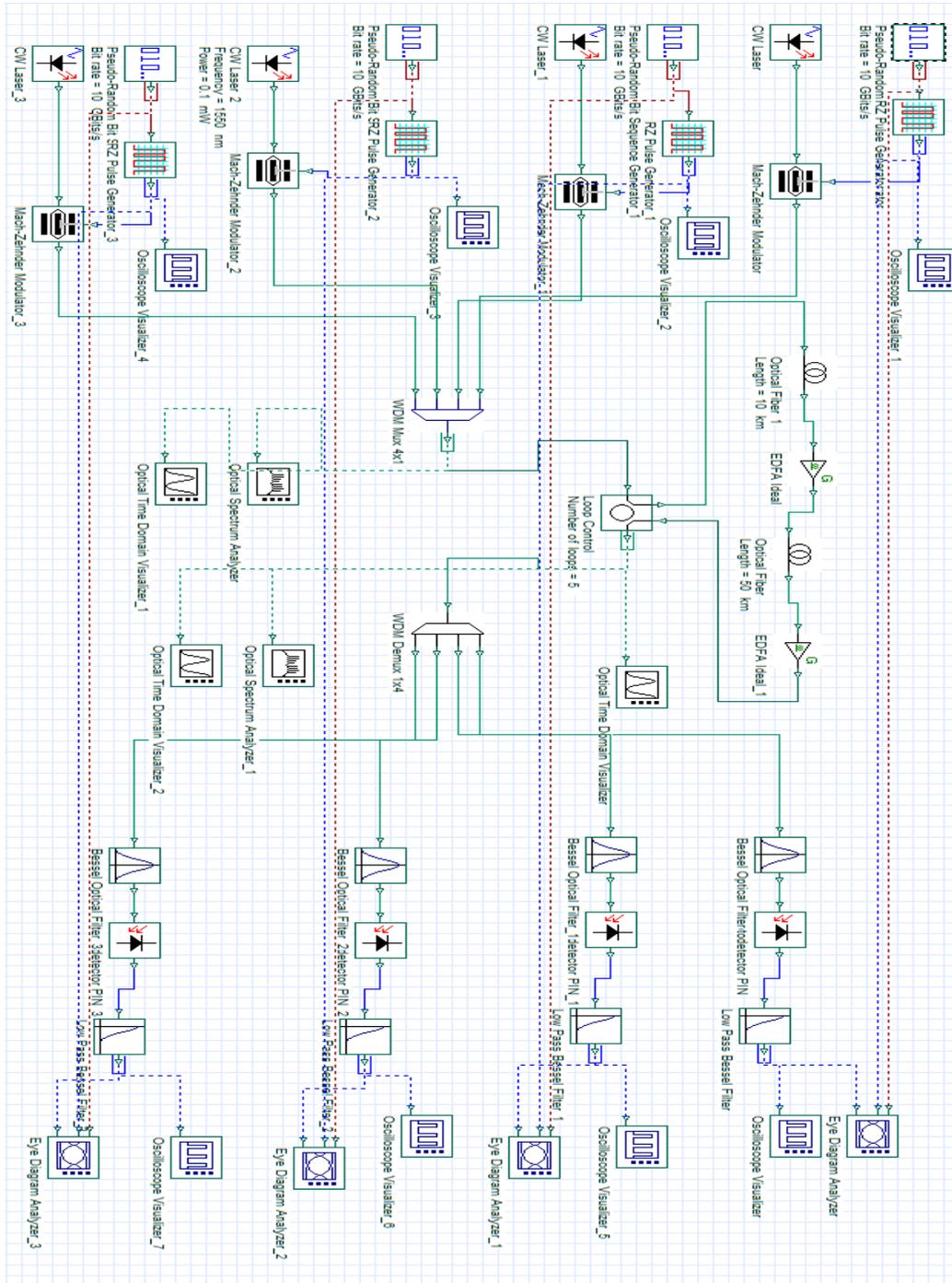


Figure IV. 18 Schéma d'un système de chaîne de transmission à 40 Gbit/s avec le codage RZ

4.2.1 Partie émission

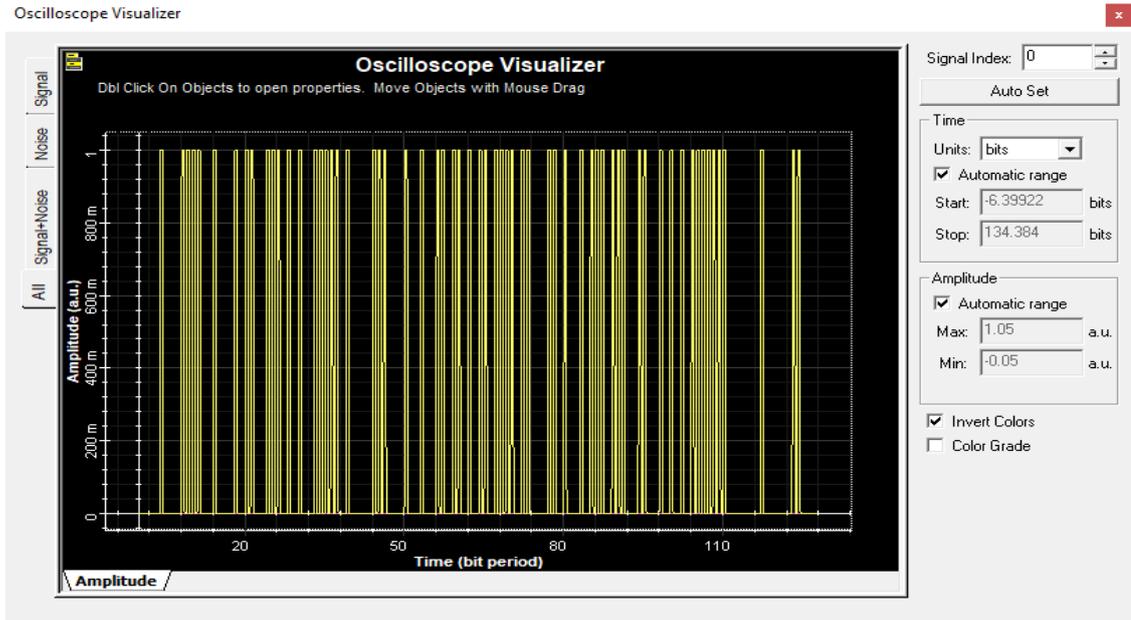


Figure IV. 19 Débit binaire au niveau du codeur RZ

➤ Le format du signal binaire est correct à l'émission.

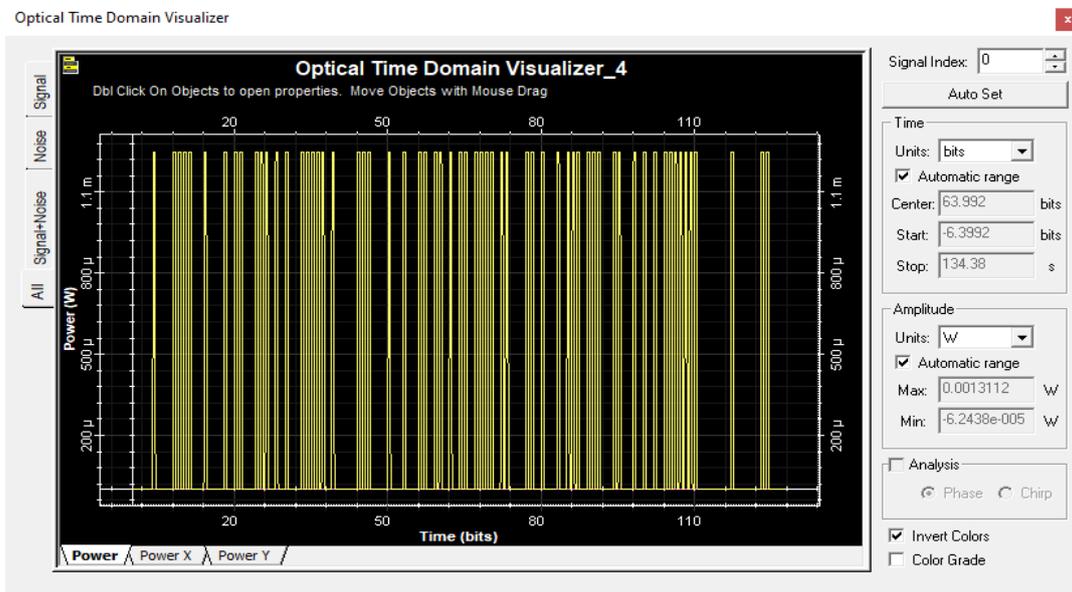


Figure IV. 20 Débit binaire après modulateur Mach-Zehnder

➤ Augmentation de l'amplitude du signal après sa modulation.

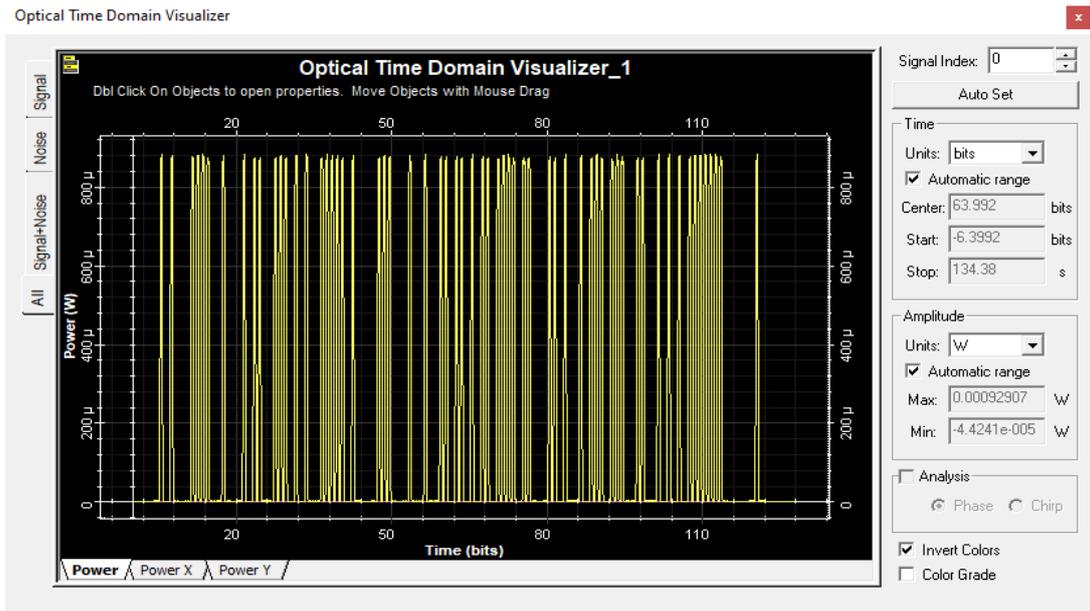


Figure IV. 21 Débit binaire après Multiplexage

- La puissance du signal est acceptable après le multiplexage.

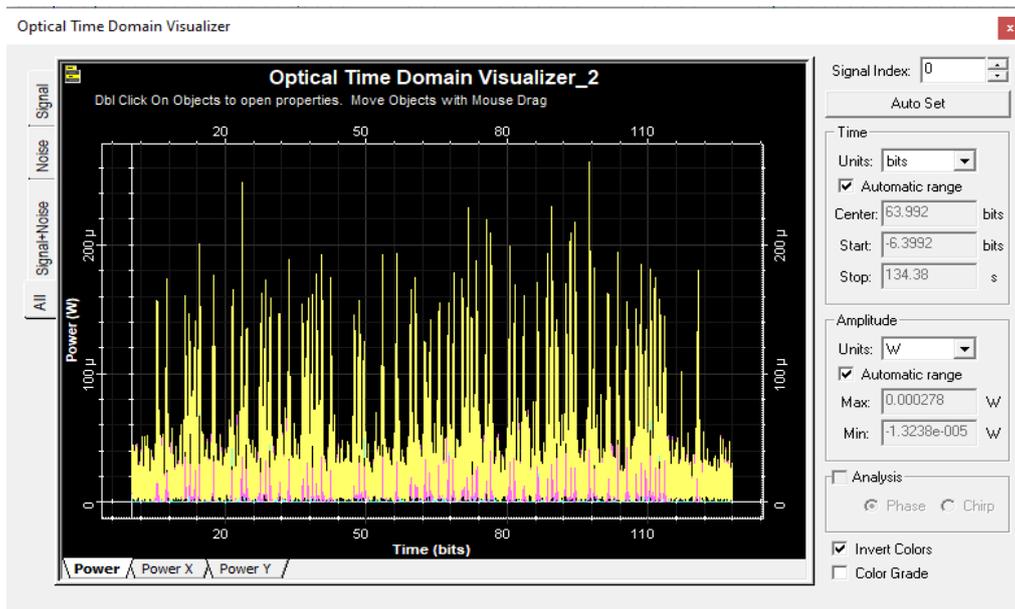


Figure IV. 22 Débit binaire après propagation dans la fibre optique

- La puissance du signal a diminué avec une apparition d'un petit bruit.

4.2.2 Partie réception

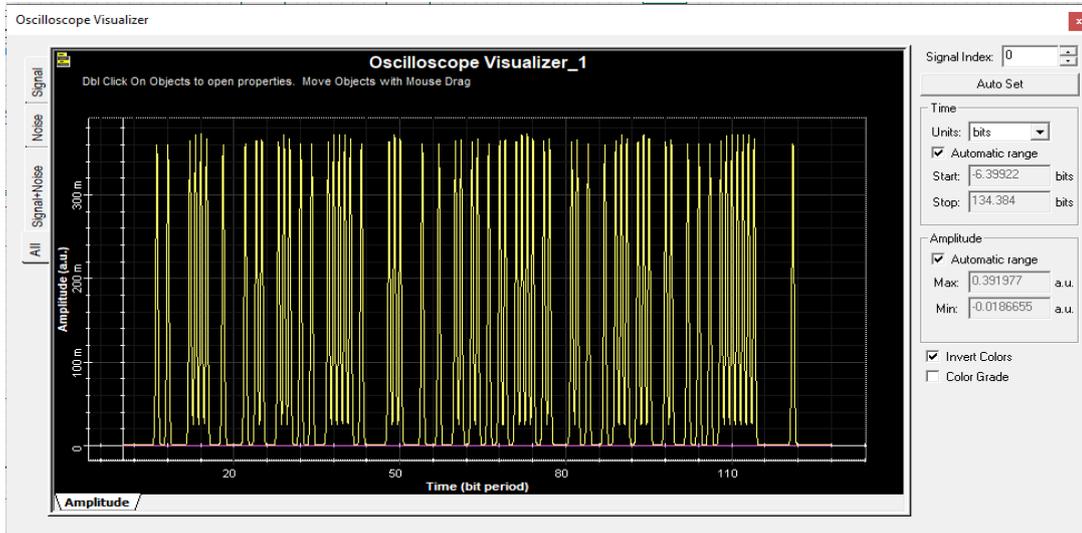


Figure IV. 23 Débit binaire au niveau du récepteur

➤ Dégradation de l'amplitude du signal après sa réception.

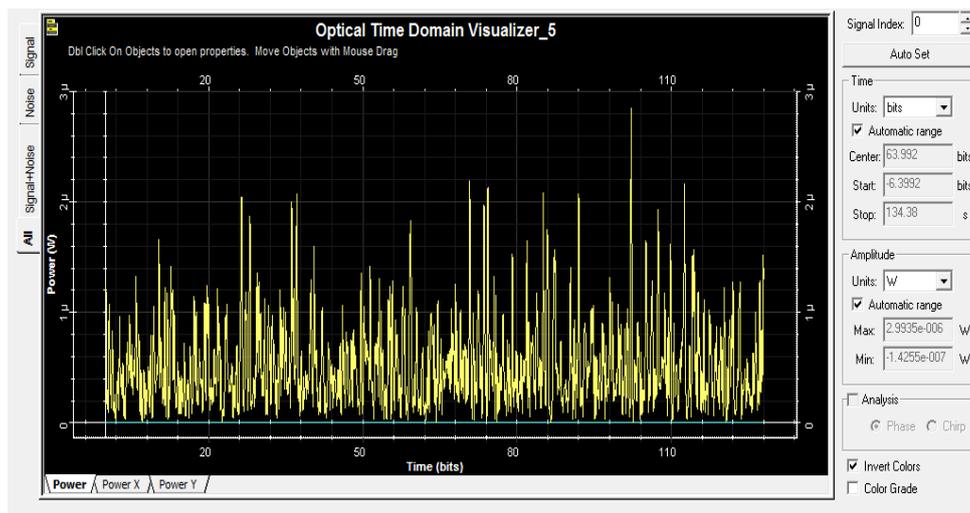


Figure IV. 24 Débit binaire après démultiplexage

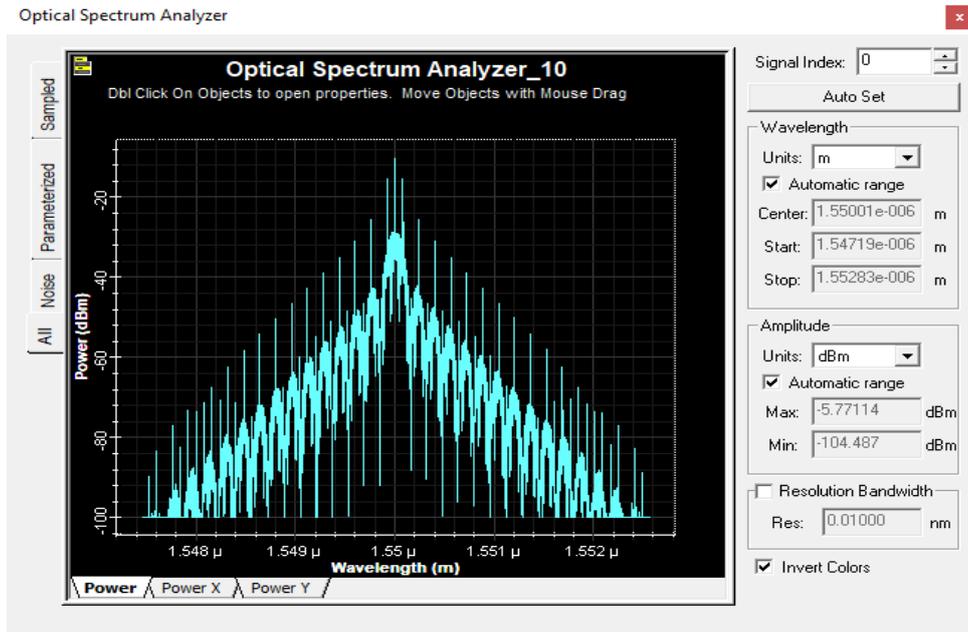


Figure IV. 25 Spectre optique après le modulateur de Mach-Zehnder

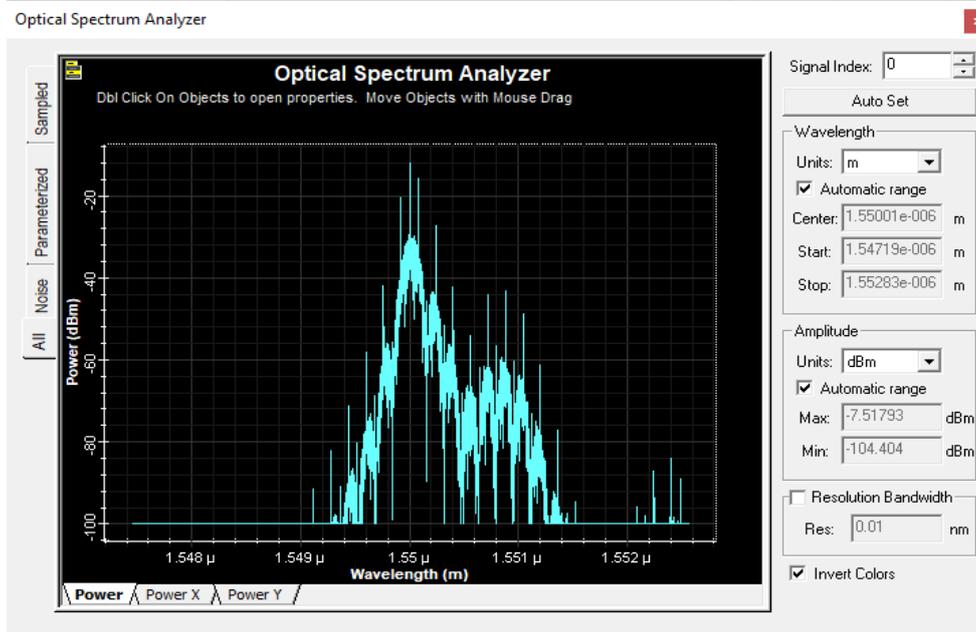


Figure IV. 26 Spectre optique après le multiplexage

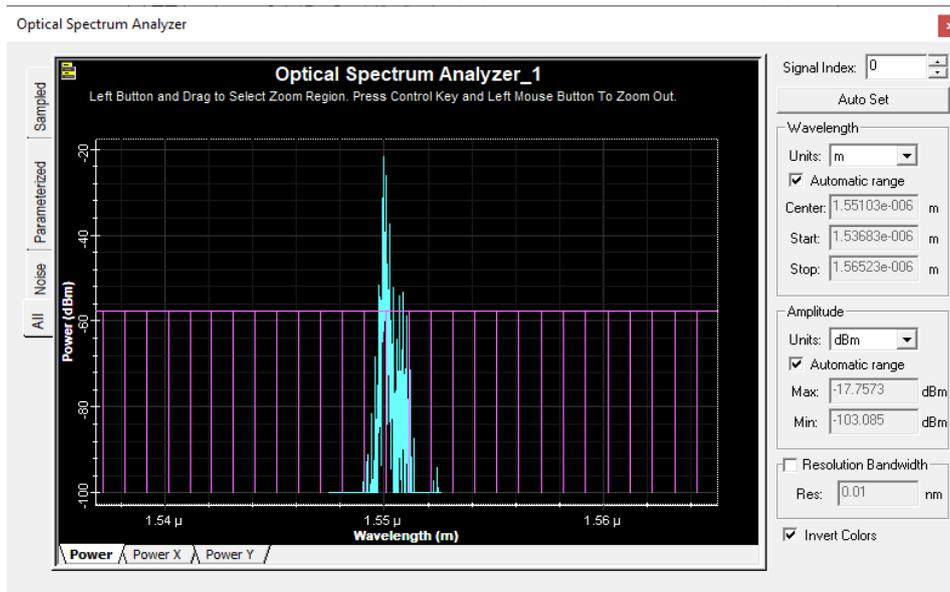


Figure IV. 27 Spectre optique après propagation dans la fibre optique

-Après la réception du signal optique on a les figures suivantes :

- **Spectre du signal**

-Après l'injection du signal optique en émission on a les figures suivantes :

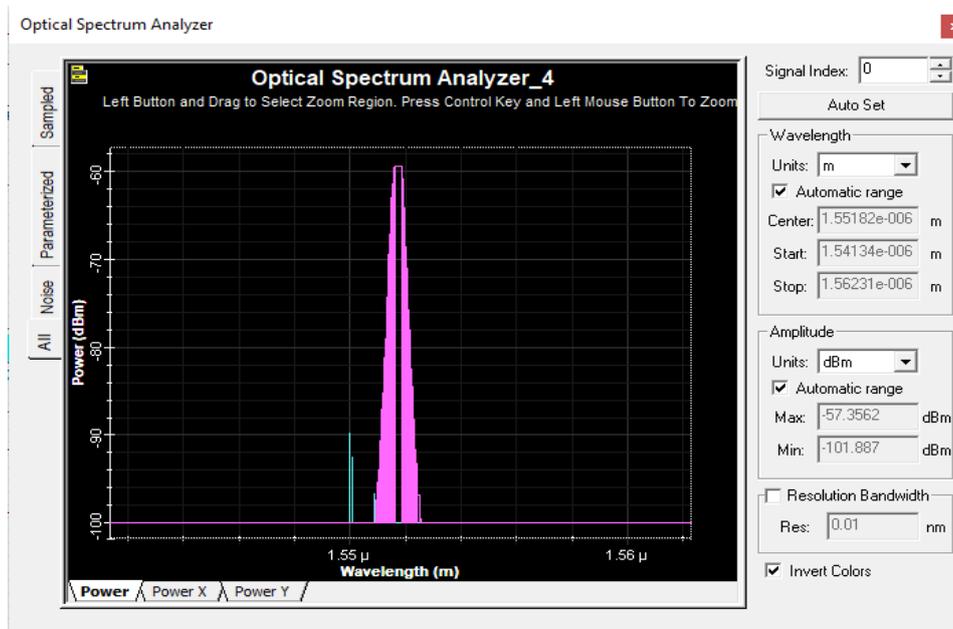


Figure IV. 28 Spectre optique après Démultiplexage

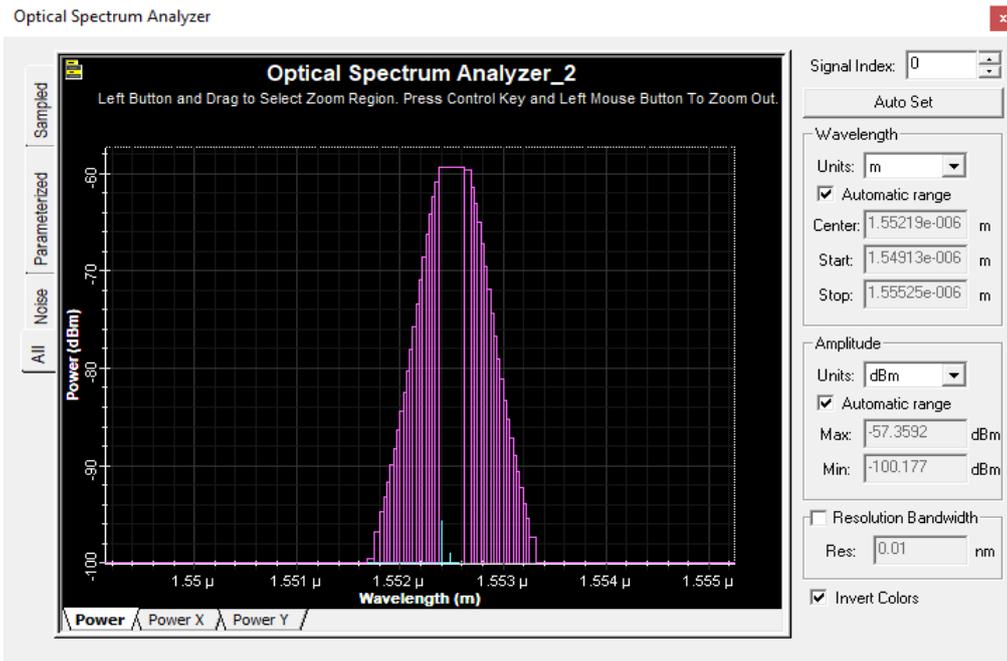


Figure IV. 29 Spectre optique après le démultiplexage

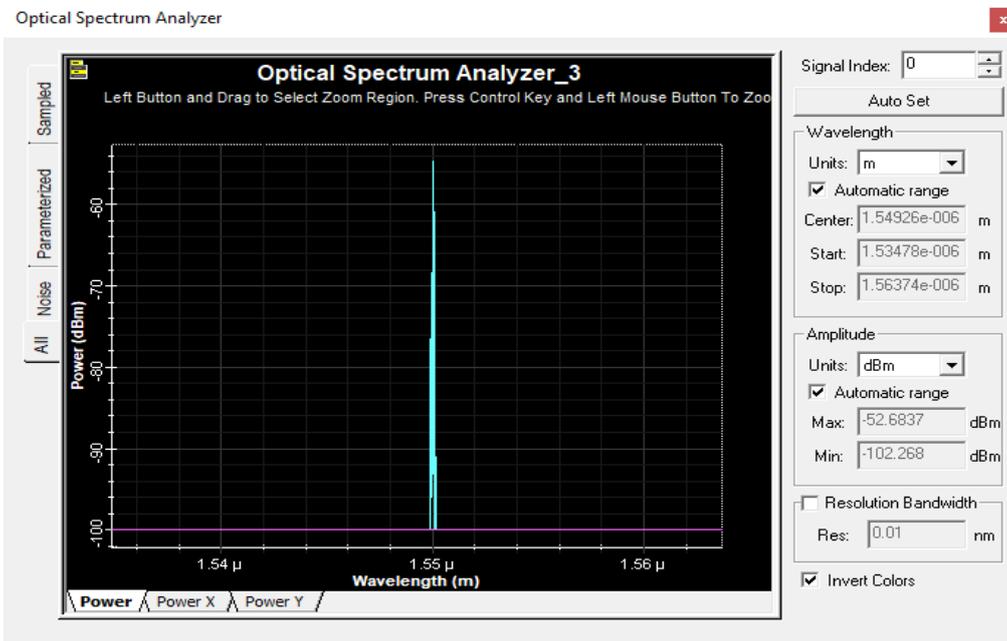


Figure IV. 30 Spectre optique après filtrage optique

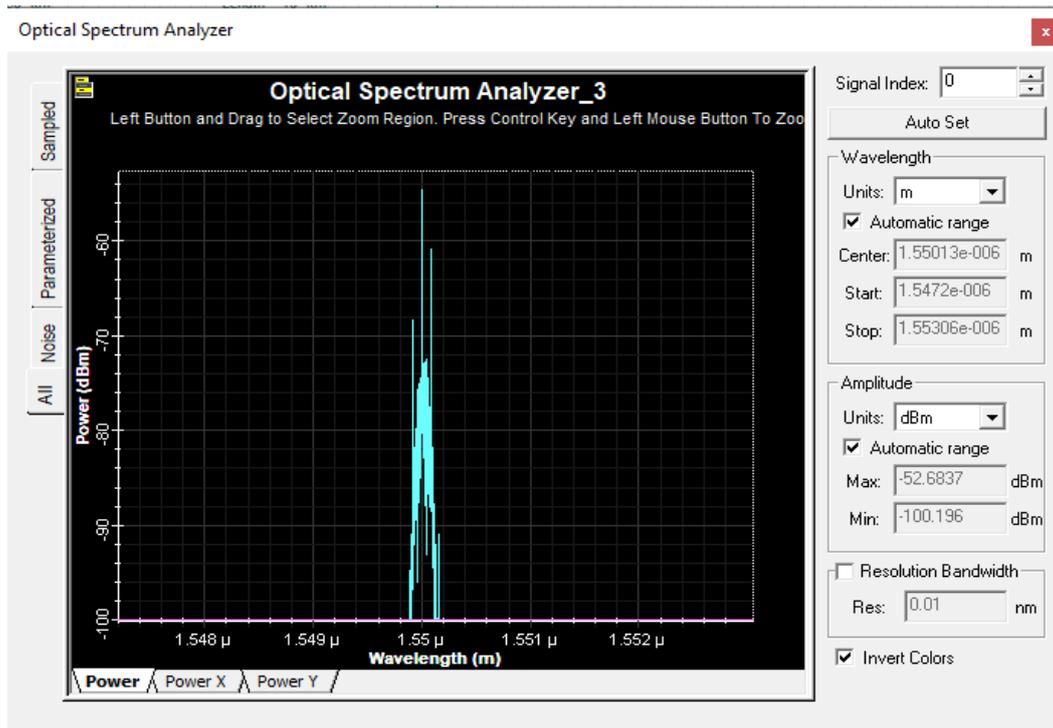


Figure IV. 31 Spectre optique après le filtrage optique

Pour observer la qualité d'un signal on doit visualiser son diagramme de l'œil, ce dernier dépendra du format de codage utilisé comme suit :

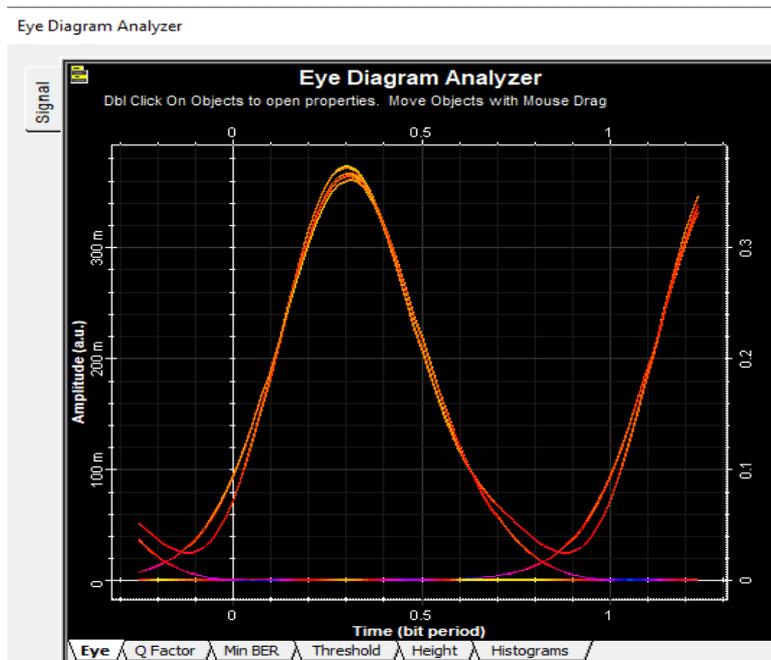


Figure IV. 32 Diagramme de l'œil

4.3 Interprétations des résultats et Comparaison

Après avoir effectué la compilation de notre chaîne de simulation on est sorti avec les résultats suivant :

- Le codage NRZ résiste beaucoup mieux que le codage RZ au phénomène de dispersion.
- Le débit binaire au niveau du récepteur pour le codage RZ est beaucoup affecté par rapport au codage NRZ.
- Le spectre optique est symétrique et bien centré au niveau du modulateur Mach-Zehnder dans le cas du codage NRZ par rapport au codage RZ.
- Le diagramme de l'œil dans le cas du codage NRZ présente un œil ouvert et clair par rapport au codage RZ.

5. Conclusion

Le but de ce chapitre est d'optimiser une chaîne de transmission à 40 Gb/s sur fibre optique. En utilisant le logiciel Optisystem qui permet de simplifier la conception et minimiser le temps de la simulation. Nous avons comparé deux types de codage avec la même longueur de fibre et même débit binaire aussi garder les mêmes composants et leurs paramètres de simulation.

Conclusion générale

Au court de ce mémoire, nous avons étudié quelques formats de modulation optiques. Cette dernière a été réalisée du aux futurs réseaux optiques et a ces différentes configurations de modulation qui peuvent être exigeantes en fonction de caractéristiques telles que le débit binaire et la taille parmi d'autres.

Dans une première partie, nous avons parcouru quelques techniques de base traditionnellement utilisées et régulièrement améliorées. Elles concernent essentiellement les codages en bande de base, L'utilisation des techniques de codage sur les lignes de transmission constitue l'interface du support physique. Lors des mises en œuvre ces derniers aident à obtenir une performance de transmission.

Puis nous avons décrit la technique de multiplexage WDM pour un besoin toujours croissant en débits sur les grandes artères de communication et dans la desserte locale de l'utilisateur, ce multiplexage consiste en l'émission d'un signal lumineux composé de plusieurs longueurs d'ondes qui va transiter sur le même canal. La transmission optique est la meilleure solution comparée à toutes autres comme technologie de transfert de l'information, grâce aux progrès en WDM, de cette façon on peut facilement augmenter le débit de transmission dans une fibre.

Par la suite une troisième partie où nous avons fait connaissance avec différents composants des réseaux optiques et les caractéristiques de la fibre qui permettent théoriquement l'établissement de systèmes de transmission à des débits très élevés. Cependant, le traitement électronique des données, à l'émission et à la réception, impose des limitations en termes de débits, dues aux composants électroniques dont la bande passante reste bien en deçà de celle accessible par l'optique.

Enfin, dans la dernière partie une série de simulation à l'aide d'Optisystem vient conclure notre projet en utilisant le multiplexage WDM afin de faire la comparaison entre la modulation des formats NRZ et RZ en suivant l'évolution des débits binaires depuis l'émission jusqu'à la réception du signal puis on compare leurs diagrammes de l'œil.

Références et bibliographies :

- [1] Eric Vouc'h, communications numérique , <https://www.coursehero.com/file/43165944/Communications-numeriques-Master2-2015pdf/> , (consulté 15 Mars 2020)
- [2] J.L.VERNEUIL, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbit/s » Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, novembre 2003.
- [3] Nicolas Fourty, Télécommunication numérique , https://www.slideserve.com/loe/t-l-communications-numeriques?fbclid=IwAR0OrbnqkPdFFUZWY0A_Mkiw9qPczSaQAU2X4x7jZYyvoNpH5xiK7JS46Y , (consulté 15 Mars 2020)
- [4] Gilles Burel, Transmissions Numérique , http://pagesperso.univ-brest.fr/~gburel/enseignement/cmtc13_2015.pdf , (consulté 15 Mars 2020)
- [5] M. LEFRANÇOIS, « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s », Thèse de Doctorat de l'université Paris-Sud, décembre 2007
- [6] MEUNIER, J.-P. ;– Télécoms Optique : Composants à fibres systèmesde transmission. Ed. Hermes. Paris. pp.134, 208, 2003
- [7] codifie Manchester, <https://www.elettoamici.org/fr/codifica-manchester-che-cose-e-perche-usarla/>, (15 avril 2020)
- [8] Marc Van Droogenbroeck, http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/total1/elen008/node126_mn.html, Mars 2015 (consulté 15 avril 2020)
- [9] <https://www.elprocus.com/understanding-wavelength-division-multiplexing-wdm/> (consulté 15 avril 2020)
- [10] Boualem Merabet, La technique WDM en télécoms optiques avancées. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER, 2015
- [11] Dr. Bernard Lee, Ryo Konno, Mac Watanabe <https://www.senko.com/technical/pdf/Arrayed%20Waveguide%20Grating.pdf> ,septembre 2019 (consulté 15 aout2020)

[12]W. Daum, J. Krauser, P. E. Zamzow et O. Ziemann. « Optical Short Range Transmission Systems », Springer, deuxième édition, 2008.

[13]M. N lagreb et R. bouzaher. «Les Formats de Modulation dans la Transmission Solitonique en Télécoms Optiques». Mémoires de fin d'études. Spécialité Télécommunicaion, S.L, 2007

[14]Y. Frignac, «Contribution à l'ingénierie des systèmes de transmission terrestres sur fibre optique utilisant le multiplexage en longueur d'onde de canaux modulés au débit de 40 Gbit/s», Thèse de doctorat, ENST, soutenue en 2003.

[15] Dr. Paschotta, https://www.rp-photonics.com/optical_modulators.html, RP Photonics Encyclopedia (consulté le 22 juillet 2020)

[16] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique ». Edition Dunod, 1996