

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de télécommunications

Réalisé par :

CHEDALA Latra & LABADI Hana

Thème

**Variantes de Format RZ et NRZ destinées aux
systèmes de transmission optiques à haut débit**

Devant le jury composé de:

M. Abdelkader Hima	MAA	Président
Dr. Nacereddine Lakhdar	MCA	Examineur
Dr. Abdelkader Medjouri	MCA	Rapporteur

Juin 2018

DEDICACE

*À la mémoire de mon profond père
Je dédie ce mémoire*

A ma chère mère

*Pour l'éducation qu'elle m'a prodiguée avec tous les moyens et au prix
de tous les sacrifices qu'elle a consentis à mon égard et pour le sens du
devoir qu'elle m'a enseigné depuis mon enfance,*

A mes chers frères et sœurs,

*Vous aviez toujours cru en moi, et c'est dans ma présence que j'ai puisé
la volonté de continuer*

A mes chers amis

*A l'instar des bons souvenirs, les véritables amis deviennent de plus en
plus précieux avec le temps. Je suis si heureux que vous fasses partie
de ma vie*

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

LABADI Hana

DEDICACE

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 celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce
projet: Mes frères et sœurs : Souhila, Aïcha, Khadidja, Ahmed, Hamza,
Oussama et Ibtisam et bien sûr A mon cher mari Saïd.*

*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.*

CHEDALA Latra

REMERCIEMENTS

On remercie avant tout le Bon Dieu qui nous a donné le courage et la volonté de réaliser ce travail.

*On tient tout particulièrement à remercier Monsieur **Dr. Abdelkader MEDJOURI**, notre encadreur, qui n'a pas ménagé le moindre effort pour nous assister dans le choix du thème et la réalisation du présent mémoire, l'expression de notre profonde gratitude quant à sa patience, le temps et l'attention qu'il nous a consacré.*

*On souhaite particulièrement remercier **Mme. Hind ABID** pour sa précieuse aide à la relecture et à la correction de ce mémoire. Tu savais combien ce travail me tenait à cœur, tu as su garder patience lorsqu'on était très occupé. MERCI !*

*On souhaite remercier également Monsieur **Dr. Abdelatif KEDADRA**. Vous nous avez grandement aidé à avancer, ne pas relâcher, repartir dans la bonne direction. MERCI !*

On tient aussi à remercier tous les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et de juger le présent travail.

Toute notre gratitude pour ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Résumé

L'évolution de la transmission des données par fibre optique s'est accélérée depuis l'apparition de la technique de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM), qui permet d'atteindre des débits binaires de quelques Tbit/s transportés sur une seule et unique fibre. Comme tout système de communications, une liaison à fibre optiques est constituée d'un émetteur, une fibre (canal) et d'un récepteur. L'optimisation de la qualité de transmission est réalisée via un bon choix des composantes dans chaque parties de la liaison. Dans ce cadre, on s'intéresse à l'étude et l'analyse de l'influence du format de données, avant l'émission, sur les performances de la liaison. Ce projet porte, particulièrement, sur l'étude de l'impact de quelques variantes du format NRZ (Non chirpé, chirpé et à bande latérale résiduelle) et RZ (50%, CSRZ 67 %, VSB) sur une liaison point à point fonctionnant à une débit de 40 Gb/s.

Mots clés

Systèmes à fibres optiques, Format NRZ et RZ, Communications haut débit, Techniques de Modulation, Facteur de qualité Q, Taux d'erreur binaire.

SOMMAIRE

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	III
Résume	IV
SOMMAIRE.....	V
LISTE DE FIGURES	VII
LISTE DE TABLEAUX	IX
TABLE DES ACRONYMS	X
INTRODUCTION GENERALE.....	2
I. Chapitre I: Généralités sur les systèmes de transmission optiques	4
I.1. Introduction.....	5
I.2. Bref Historique	5
I.3. Architecture d'un système optique de transmission point à point.....	7
I.4. Les tronçons de fibres optiques	8
I.4.1. La fibre optique.....	8
I.4.2. Notions importantes.....	9
I.4.3. Propagation dans la fibre	9
I.4.4. Classification des fibres optiques	10
I.4.5. Différence relative d'indice.....	11
I.4.6. Caractéristiques de propagation sur fibre optique	12
I.5. Emetteur optique.....	15
I.5.1. Diode électroluminescente (DEL)	15
I.5.2. La diode laser (DL).....	16
I.5.3. Caractéristiques des sources de rayonnement et comparaison DL et DEL	17
I.5.4. Techniques de modulation.....	18
I.6. Le récepteur optique	19
I.6.1. Détection directe.....	19
I.6.2. Photodiode	20
I.6.3. Différents types de photodétecteurs.....	21
I.6.4. La décision.....	22
I.7. Conclusion	23
II. Chapitre II: Les formats de modulation NRZ et RZ dédiés aux transmissions optiques	24
II.1. Introduction:	25
II.2. Format de modulation.....	25

II.3. Les différents formats de modulation	26
II.4. Format NRZ (Non Return-to-Zéro)	27
II.4.1. Chirp avec NRZ.....	28
II.4.2. Alternative Chirp NRZ (alCNRZ).....	28
II.4.3. NRZ à Bande latérale résiduelle (VSB).....	29
II.5. Format RZ (Return-to-Zero)	29
II.5.1. RZ 67 % et RZ 50%.....	31
II.5.2. RZ à bande latérale résiduelle (VSB)	32
II.6. Présentation des composants utilisés et leurs caractéristiques	32
II.6.1. La partie émission.....	32
II.7. Conclusion	34
III. Chapitre III: Résultats de simulations numériques et discussions	35
III.1.Introduction.....	36
III.2.Description du system simulé	36
III.3.Résultats de simulation	47
III.4.Description du system simulé	48
III.5.Résultats des simulations.....	49
III.6.Conclusion	49
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	53

LISTE DE FIGURES

Figure I-1: Tour sémaphore et code alphanumérique Chappe pour la transmission des informations entre les tours sémaphore.	5
Figure I-2: Evolution du produit débit-distance durant la période 1850-2000.....	6
Figure I-3: Evolution de la capacité de transmission dans les systèmes de communications optiques. Le changement de la pente à partir de l'année 1992 est dû à l'avènement de la technologie WDM.	7
Figure I-4: Schéma principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde.	8
Figure I-5: Représentation schématique d'une fibre optique.	8
Figure I-6: Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance.....	9
Figure I-7: Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre.....	10
Figure I-8: Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre à G-I	11
Figure I-9: Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques.	11
Figure I-10: Courbe schématique des pertes par atténuation en fonction de la longueur d'onde dans une fibre optique standard	12
Figure I-11: Dynamique de l'atténuation	13
Figure I-12: Dynamique de la dispersion chromatique.	14
Figure I-13: Puissance lumineuse en fonction du courant d'une diode laser.....	16
Figure I-14: Principe des interactions électro-optiques dans un semi-conducteur.....	17
Figure I-15: Processus optiques et composants associés.....	18
Figure I-16: Schéma de principe de la modulation directe.....	19
Figure I-17: Schéma de principe de la modulation externe.....	19
Figure I-18: Schéma de principe d'un récepteur optique	20
Figure I-19: Courant généré par la photodiode associé à un bruit quantique.....	21
Figure I-20: Photodiode PIN	21
Figure I-21: Principe de la décision basé sur le diagramme de l'œil	22
Figure II-1: Classification des formats de modulation principaux d'intensité et de phase discutés dans les communications optiques.	25
Figure II-2: Format de modulation de type NRZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité Spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation.	27
Figure II-3: le module d'émission NRZ	27
Figure II-4: Génération du signal Chirp NRZ	28
Figure II-5: Génération du signal alCNRZ.....	29

Figure II-6: Génération du signal VSB NRZ.....	29
Figure II-7: Format de modulation de type RZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil (c) Constellation.....	30
Figure II-8: le module d'émission RZ	30
Figure II-9: Forme d'impulsion pour un cycle de travail de 33%, 50% et 67%	31
Figure II-10: Forme d'onde d'intensité optique pour différents sculpteurs d'impulsions générés avec la même puissance moyenne	32
Figure II-11: Génération du signal VSB RZ	32
Figure II-12: modulateur externe.....	33
Figure II-13: Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder	34
Figure III-1: schéma bloque de simulation pour NRZ avec Chirp	36
Figure III-2: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format chirp NRZ.	37
Figure III-3: schéma bloque de simulation pour alternative de NRZ avec chirp.	38
Figure III-4: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format.	39
Figure III-5: schéma bloque de simulation pour VSB NRZ.....	40
Figure III-6: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format VSB NRZ.	41
Figure III-7: schéma bloque de simulation pour RZ 50%	42
Figure III-8: représente la suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format RZ 50%....	43
Figure III-9: schéma bloque de simulation pour RZ 67%	43
Figure III-10: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format RZ 67%	44
Figure III-11: schéma bloque de simulation pour VSB RZ.....	45
Figure III-12: représente la Suite binaire, le diagramme de l'œil et spectre du format VSB RZ	46
Figure III-13: schéma bloque de simulation pour VSB NRZ 40 Gbits	47
Figure III-14: schéma bloque de simulation pour VSB RZ 40 Gbits.....	48
Figure III-15: Diagramme d'œil le canal VSB NRZ 40Gbit/s.....	49
Figure III-16: Diagramme d'œil le canal VSB RZ 40Gbit/s.....	49

LISTE DE TABLEAUX

Tableau II-1: Formats de modulation de transmission	26
Tableau II-2: Formats de modulation de capacité	26
Tableau III-1: le résultat de simulation des différents formats de modulation NRZ et RZ...	47
Tableau III-2: paramètres de modélisation de la ligne de transmission à 40 Gbits/s	48

TABLE DES ACRONYMS

<i>Acronyms</i>	<i>Signification Anglo-Saxons</i>	<i>Signification française</i>
NRZ	non return to zero	Non-retour à zero
VSF	vestigial sideband	Bande latérale résiduelle
SSB	single sideband	Band latérale unique
OOK	on/off keying	Codage tout ou rien
CSRZ	Carrier-Suppressed Return-to-Zero	Retour à zéro avec porteuse Supprimée
DCF	Dispersion Compensating Fiber	Fibre compensatrice de dispersion
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Amplificateur à fibre dopée Erbium
CSRZ	carrier-suppressed RZ	Retour à zéro avec porteuse Supprimée
AP	alternate phase	Phase alternative
DB	duo binary	Duobinaire
PSBT	phase-shaped binary transmission	transmission binaire à profil de phase contrôlé
RZ-DPSK	Return-to-Zero Differential Phase-Shift Keying	Codage différentiel en phase avec retour à zéro
OTDM	Optical TDM	TDM optique
ETDM	Electrical TDM	TDM électrique
AMI	alternate-mark inversion	Signal bipolaire alternant
FEC	Forward Error Corrector	Code correcteur d'erreur
SMF	Single Mode Fiber	Fibre monomode standard
DEL	Light Emitting Diode	Diodes électroluminescentes
LD/DL	Laser Diode	Diodes LASER
WDM	Wavelength-Division Multiplexing	multiplexage en longueur d'onde
MZM	Mach-Zehnder Modulator	Modulateur de Mach-Zehnder
MZI	Mach-Zehnder Interferometer	Interféromètre de Mach-Zehnder
RZ	Return-to-Zero	Retour à zero
CW-Laser	Continuous Wave Laser	Laser en Régime Continu
PRBS	Pseudo-Random Binary	Sequence pseudo aléatoire
BER	Bit Error rate	Taux d'Erreur Binaire
Q	Q factor	Facteur de Qualité

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Les communications optiques est une méthode de transmission d'informations d'un endroit à un autre en envoyant 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.

La première étape de la conception d'un système de communication optique consiste à décider comment le signal électrique serait converti en un train de bits optiques. Normalement, la sortie d'une source optique telle qu'un laser à semi-conducteur est modulée en appliquant le signal électrique directement à la source optique ou à un modulateur externe. Il y a deux choix pour le format de modulation du train de bits optique résultant: les formats retour à zéro (RZ) et non-retour à zéro (NRZ). Dans le format RZ, chaque impulsion optique représentant le bit 1 est plus courte que la tranche de bits et son amplitude revient à zéro avant que la durée du bit soit terminée. Dans le format NRZ, l'impulsion optique reste active tout le long de la fente binaire et son amplitude ne tombe pas à zéro entre deux ou plus de 1 bits successifs. En conséquence, la largeur d'impulsion varie en fonction du modèle de bits, tandis qu'elle reste la même dans le cas du format RZ. Un avantage du format NRZ est que la bande passante associée au flux binaire est plus petite que celle du format RZ d'environ un facteur de 2 simplement parce que les transitions marche-arrêt se produisent moins souvent. Cependant, son utilisation nécessite un contrôle plus étroit de la largeur d'impulsion et peut conduire à des effets dépendant du motif de bits si l'impulsion optique se propage pendant la transmission. Le format NRZ est souvent utilisé dans la pratique en raison d'une bande passante de signal plus petite qui lui est associée.

L'utilisation du format RZ dans le domaine optique a commencé à attirer l'attention depuis l'année 1999 après avoir constaté que son utilisation pouvait aider à la conception de systèmes d'ondes lumineuses de grande capacité.

L'objectif de mémoire est l'étude et l'analyse des performances des émetteurs optiques RZ et NRZ. Ce manuscrit est composé de trois chapitres:

Dans le premier chapitre, nous dresserons l'état des systèmes de transmission par fibre optique. Nous donnons en premier lieu une historique sur les communications par fibre optique. Ensuite, nous rapportons, le principe, les différents types, les différentes applications ainsi que les caractéristiques d'une fibre optique. On parlera aussi des éléments d'une liaison optique à savoir les sources optiques, comme les diodes DEL et les diodes laser, les récepteurs avec la photodiode PIN, les modulations ainsi que les formats de modulation.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différents formats de modulations utilisés dans les systèmes optiques d'une manière générale, en détaillant l'aspect théorique pour l'utilisation de ces formats dans un tel système.

Le troisième chapitre rapporte les résultats de simulations. Nous commençons par analyser, indépendamment, les émetteurs optiques RZ et NRZ puis nous intégrons ces composants dans une liaison optique. Une analyse des performances à savoir le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire ainsi que les diagrammes d'œil sera détaillée.

Nous terminons notre travail par une conclusion là où on va adresser les principaux résultats de simulations ainsi que des éventuelles perspectives envisageables dans des futurs travaux.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de
transmission optiques

I.1. Introduction

Un système de communication a pour objectif de transmettre des informations entre deux points séparés par une distance pouvant être quelques kilomètres ou même transocéaniques. Les informations (d'origine électrique) modulent, souvent, une porteuse électromagnétique ayant une fréquence allant de quelques mégahertz ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$) jusqu'à des dizaines de térahertz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$). Un système de communication optique emploie des porteuses de très hautes fréquences correspondantes aux bandes visible et infrarouge du spectre électromagnétique[1]. Dans le contexte de ce mémoire, on s'intéresse principalement aux systèmes de communication sur fibre optique.

I.2. Bref Historique

Dans le sens large de l'expression, les communications optiques ont été utilisées depuis l'antiquité. La plupart des civilisations humaines ont utilisé les miroirs, des balises de feu et signaux de fumée pour transmettre des courts messages (victoire dans une guerre, par exemple). C'est, pratiquement, la même idée derrière l'utilisation des lampes ou les drapeaux, vers la fin de 18^{ème} siècle. En 1792, les frères Chappe ont proposé de transmettre des informations, codées mécaniquement, sur des longues distances (100 km environ). Le sémaphore est un moyen de communication optique. Il devait exister des relais placés les uns après les autres, chacun étant dans le champ de vision du précédent et du suivant [1]. Un message était constitué de plusieurs symboles et traduits par des formes prises par une structure mobile. Le système ne pouvait être utilisé que de jour.

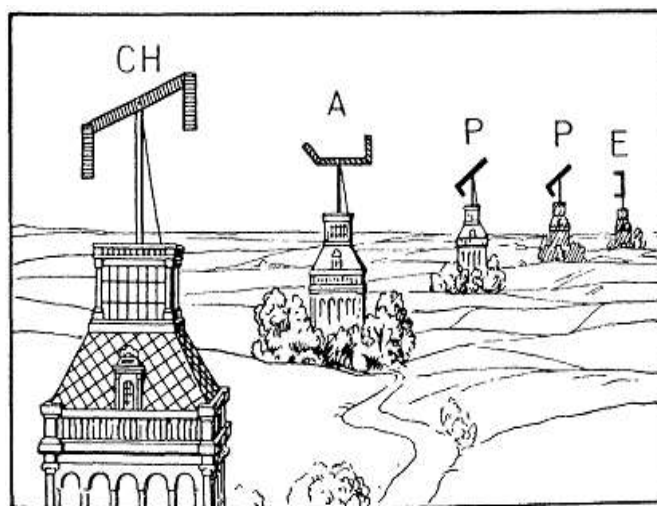


Figure I-1: Tour sémaphore et code alphanumérique Chappe pour la transmission des informations entre les tours sémaphore[1].

Ces systèmes de communication opto-mécanique étaient lents (un débit de transmission effectif inférieur à 1Bit/s).

L'avènement de la télégraphie dans les années 1830s a donné naissance à l'ère de la communication électrique. Le débit a été augmenté pour atteindre 10 Bit/s en utilisant le code Morse. La première liaison télégraphique câblée (transatlantique) a été mise en 1866. Le système électrique analogique a dominé le monde des communications pour environ un siècle. En plus, le remplacement des paires torsadées par des câbles coaxiaux a augmenté, considérablement, la capacité de transmission. En revanche, la bande passante du câble coaxial est limitée par les pertes pour les fréquences supérieures à 10 MHz. Cette limitation a permis le développement des systèmes de communications radio (micro-onde) [2], dont le signal porteuse est une onde électromagnétique de fréquence de 1 GHz à 10 GHz.

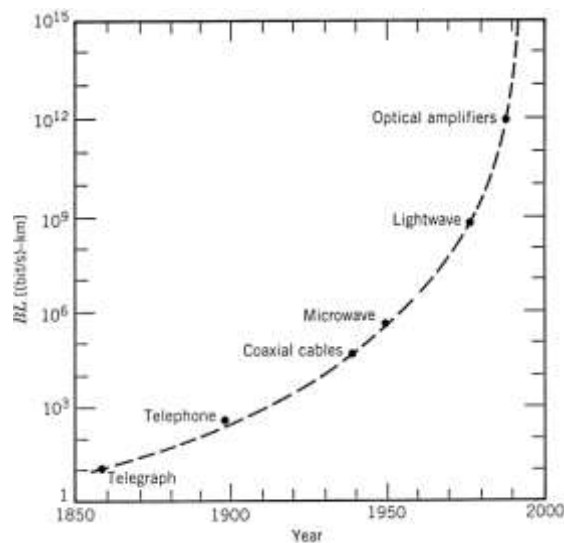


Figure I-2: Evolution du produit débit-distance durant la période 1850-2000[2].

Afin d'augmenter le débit de transmission de plus en plus, l'utilisation des fréquences optiques doivent être, éventuellement, utilisées. Cependant, deux problèmes ont été posés. Le premier est dû à l'absence d'une source optique cohérente. La solution a été, plus tard, trouvée suite à l'invention du laser en 1950. Le deuxième problème est lié au canal de transmission. L'une des solutions proposées à l'époque concerne l'utilisation des fibres optiques. Néanmoins, ces supports souffrent de très fortes pertes de propagation dépassant 1000 dB/km. En 1970, trois chercheurs de la société américaine Corning Inc. ont pu fabriquer une fibre optique avec des pertes inférieures à 20 dB/km à une longueur d'onde proche de 1 μm . Suite aux travaux théoriques en 1966 par Charles Kao, l'utilisation des fibres optiques dans les télécommunications est devenue possible [2], notamment avec l'invention des laser solides (à base de semi-conducteur GaAs) fonctionnant en régime continu.

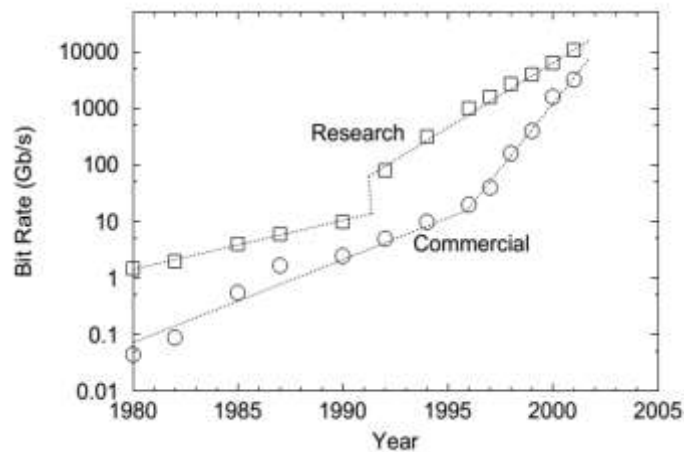


Figure I-3: Evolution de la capacité de transmission dans les systèmes de communications optiques. Le changement de la pente à partir de l'année 1992 est dû à l'avènement de la technologie WDM[2].

I.3. Architecture d'un système optique de transmission point à point

Les systèmes de transmission optique point à point constituent l'ossature des réseaux optiques. Tous les systèmes se composent d'un bloc émetteur, d'une série de tronçons de fibres optiques séparés par des amplificateurs, et d'un bloc récepteur.

Le bloc d'émission a pour rôle de convertir le signal électrique portant l'information en un signal optique. Pour ce faire, une diode laser génère un signal optique qui peut être modulé directement par modulation du courant à son entrée (cas du DML), ou de manière externe en utilisant des modulateurs à sa sortie (cas de la modulation externe). Le signal est ensuite injecté dans la ligne de transmission qui est composée d'une succession de fibres optiques suivies d'amplificateurs optiques EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) afin de transmettre des informations sur de longues distances. Dans le cas des systèmes d'accès, un seul tronçon de fibre sera employé, sans amplificateur. Dans le bloc de réception, le signal optique est reçu, puis converti en un signal électrique par le biais d'une photodiode [3]. Ensuite, après filtrage, le signal électrique est séparé en deux voies: la première est utilisée à la récupération d'horloge, et la seconde au circuit de décision. Ce dernier compare l'amplitude du signal reçu avec un seuil à chaque instant de décision fourni par l'horloge. A la sortie du circuit de décision, le signal électrique est ainsi remis en forme et contient l'information reçue. Une correction éventuelle des erreurs est effectuée par les codes correcteurs d'erreurs (FEC, Forward Error Correction). Les opérateurs demandent aux équipementiers de fournir un système de télécommunication présentant un taux d'erreur binaire environ inférieur à 10^{-12} suivant la norme de l'UIT (Union International des Télécommunication) [4].

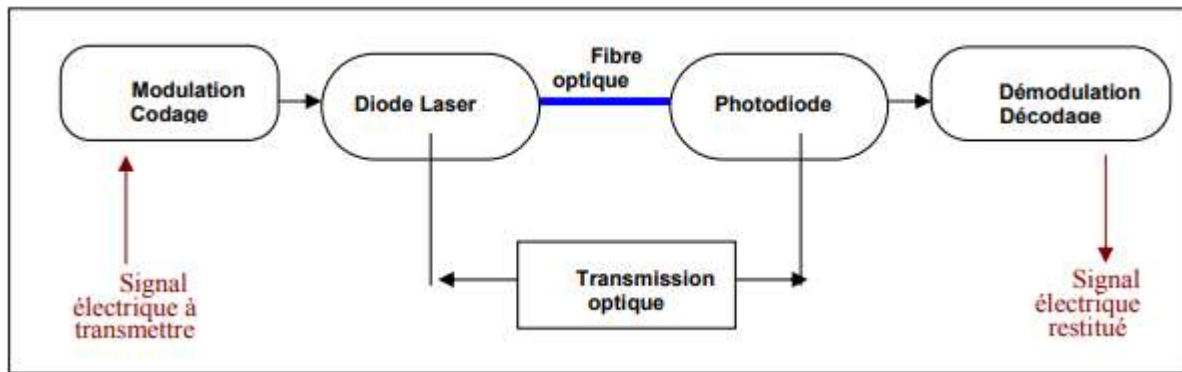


Figure I-4: Schéma principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde[4].

I.4. Les tronçons de fibres optiques

I.4.1. La fibre optique

Dans le domaine des télécommunications, la fibre optique peut être considérée comme un vecteur physique pouvant transporter, via un signal optique, des données numériques d'un point à un autre de la planète.

I.4.1.1. Structure de la fibre optique

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique cylindrique qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Comme illustrée à la figure I.5, elle est constituée de plusieurs couches concentriques d'axe de symétrie z qui sont [5] :

- Un diélectrique interne: le cœur d'indice de réfraction n_1 .
- Un diélectrique externe: la gaine d'indice de réfraction n_2 légèrement inférieure à celui du cœur.
- Couche protectrice : permet le contact de la fibre avec des supports sans perturber le fonctionnement de la partie optique. Généralement en plastique, le tube n'intervient pas dans la transmission de la lumière. Il assure la protection mécanique de la fibre; il sert à la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation.

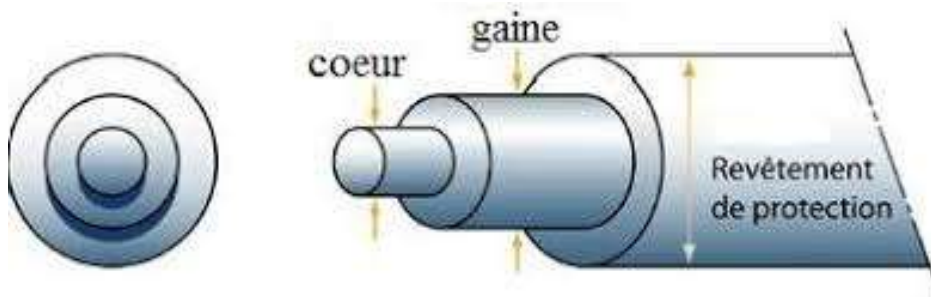


Figure I-5: Représentation schématique d'une fibre optique[5].

I.4.2. Notions importantes

I.4.2.1. L'onde optique

C'est une onde électromagnétique qui se propage dans la fibre caractérisé par:

- Un champ électrique E.
- Un champ magnétique H.
- Une direction de propagation.

I.4.2.2. L'indice de réfraction

Un milieu de propagation quelconque est caractérisé par un indice de réfraction.

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (I-6)$$

ϵ_r : la permittivité relative de milieu. μ_r : la perméabilité relative de milieu.

Il conditionne le chemin parcouru par le signal dans la fibre optique et est obtenu en divisant la vitesse de la lumière dans le vide, c ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), par la vitesse de cette même onde v dans le matériau.

$$n = \frac{c}{v} \quad (I-2)$$

I.4.2.3. Le rayon optique

C'est la trajectoire de l'onde électromagnétique correspondant à la direction du vecteur d'onde.

I.4.3. Propagation dans la fibre

La propagation des rayons optiques se fait par la réflexion successive sur l'interface cœur-gaine

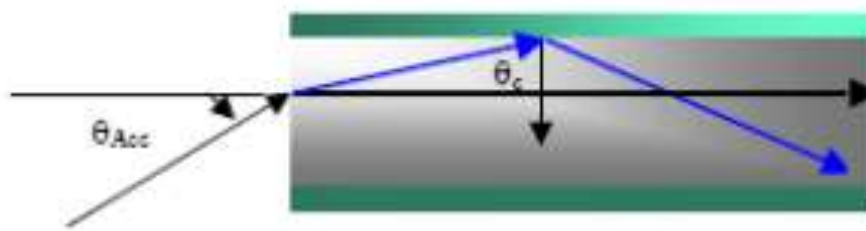


Figure I-7: Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance[5].

Pour que les rayons injectés dans la fibre soit totalement réfléchis par l'interface cœur-gaine, il est nécessaire que l'angle d'incidence soit supérieur à l'angle critique, cette condition impose l'existence à l'entrée de la fibre d'un cône d'acceptance, à l'intérieur du quel tout rayon injecté se propage par réflexion totale:

$$\theta_{acc} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (I-3)$$

θ_{acc} : angle d'acceptance.

- **Ouverture numérique:** c'est un paramètre important qui nous renseigne sur la capacité qu'a une fibre pour propager les rayons optiques.

$$ON = \sin(\theta_{acc}) \quad (I-4)$$

I.4.4. Classification des fibres optiques

En fonction de distribution radiale d'indice de réfraction du cœur, nous pouvons classer les fibres en deux catégories [6]:

I.4.4.1. Fibres à saut d'indice (SI)

Dans ce type de fibres, le cœur est homogène son indice de réfraction est donné par:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{si } r < a \\ n_2 & \text{si } r > a \end{cases} \quad (I-5)$$

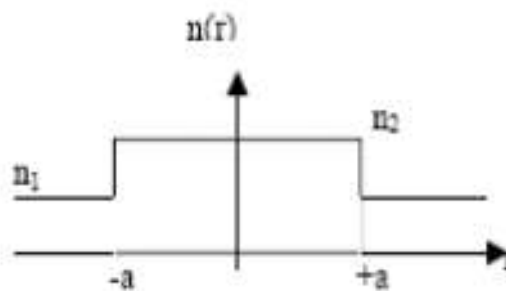


Figure I-8: Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre[6]

Pour une fibre à SI, le nombre de modes qui se propagent dépend du rapport entre le rayon du cœur et la longueur d'onde de fonctionnement, nous pouvons donc classer ce genre de fibres en deux types:

I.4.4.1.1. Les fibres monomodes

Ce sont des fibres dans lesquelles ne se propage que le mode fondamentale, ce type est très intéressant du point de vue de la dispersion et de la bande passante.

I.4.4.1.2. Les fibres multimodes

Dans ce type chaque mode de propagation correspond un rayon optique qui possède sa propre trajectoire avec des vitesses identiques. Ils arrivent à l'extrémité de la fibre dans un ordre dispersé (celui qui parcourt la plus petite distance arrive le premier), cette dispersion limite la bande passante du signal à transmettre. La fibre multi mode présente un certain nombre d'avantages:

- La facilité de couplage avec la source (le diamètre du cœur relativement grand par rapport à celui de la monomode).
- L'utilisation des connecteurs qui ne demande pas une grande dispersion.

I.4.4.2. Fibres à gradient d'indice (GI)

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

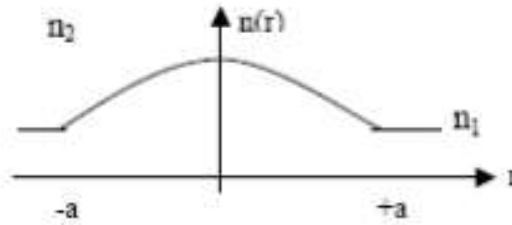


Figure I-9: Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre à G-I[6]

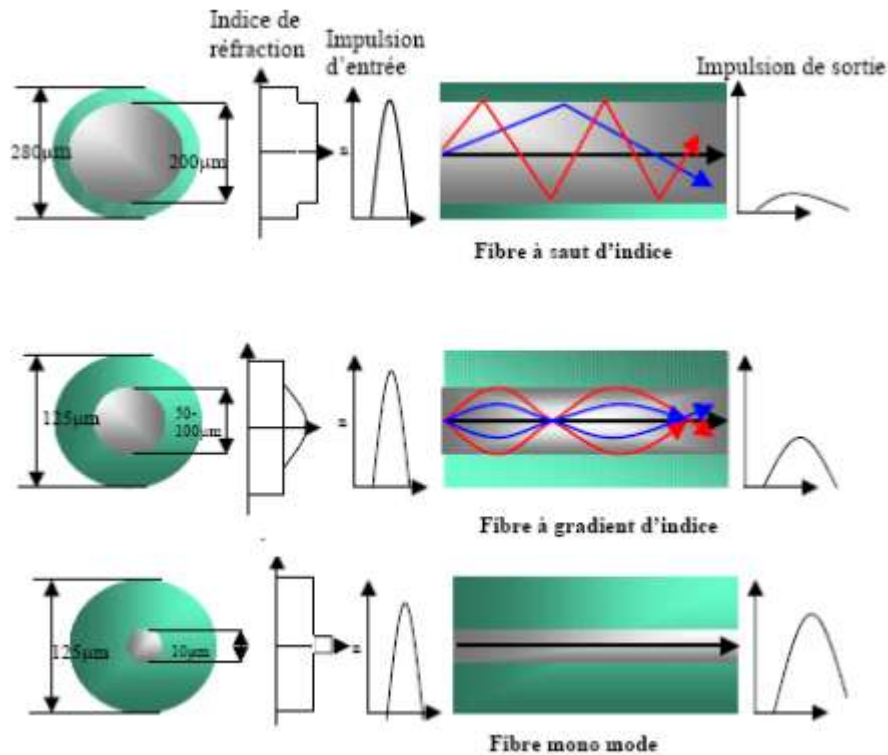


Figure I-10: Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques[6].

I.4.5. Différence relative d'indice

Soient $n_{\text{cœur}}$ et n_{gaine} respectivement les indices de réfraction du cœur et de la gaine de la fibre. On définit la différence d'indice relative de la fibre A comme suit [5] :

$$\Delta = \frac{(n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)}{(2n_{\text{cœur}}^2)} \quad (\text{I-6})$$

Dans le cas où la différence d'indice entre le cœur et la gaine est faible Δ , on utilise l'approximation suivante [5] :

$$\Delta \approx \frac{(n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}})}{n_{\text{cœur}}} \quad (\text{I-7})$$

I.4.6. Caractéristiques de propagation sur fibre optique

I.4.6.1. Effets de propagation linéaires

Les effets de propagation linéaires sont consécutifs à une réponse linéaire du matériau de la fibre à l'excitation électromagnétique induite par le signal, via la susceptibilité. Nous en dénombrons trois principaux: l'atténuation, la dispersion chromatique et la dispersion modale de polarisation [7].

I.4.6.1.1. Atténuation

Lors de la propagation dans une fibre optique, la puissance moyenne du signal lumineux est atténuée en fonction de la longueur d'onde comme cela est illustré sur la figure (I-10) [8].

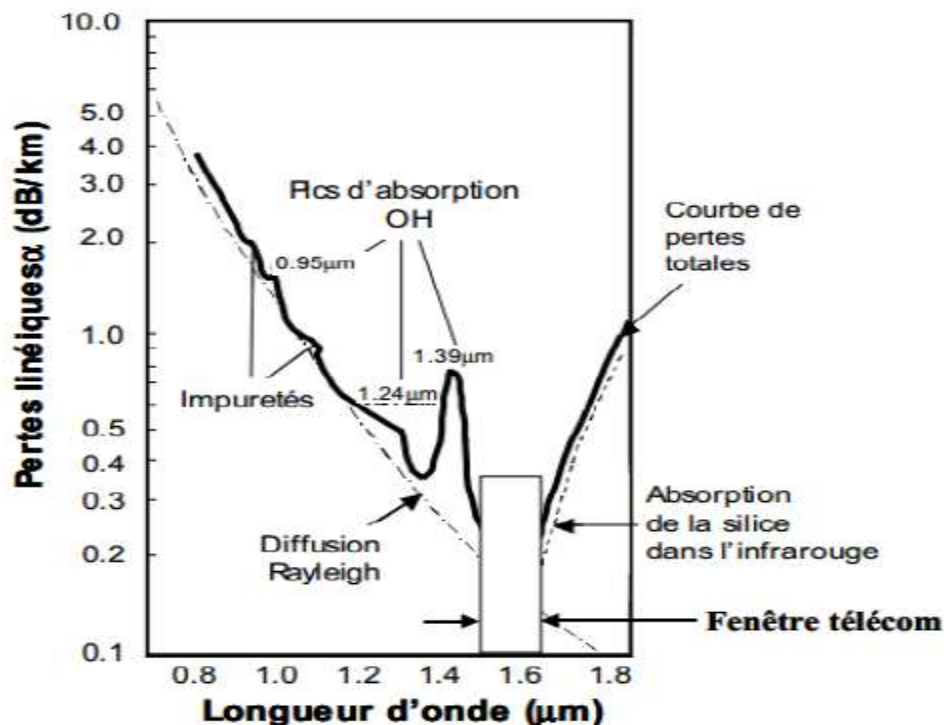


Figure I-11: Courbe schématique des pertes par atténuation en fonction de la longueur d'onde dans une fibre optique standard [8].

Les propriétés d'atténuation ont pour origine les limites imposées par la diffusion Rayleigh dans la bande 0.7 μm à 1,6 μm [9], ensuite c'est l'absorption de la silice dans l'infrarouge qui est prépondérante. Il existe des pics d'absorption aux environs de 1.25 μm (faible) et de 1.39 μm qui sont dus à la présence d'ions OH dans la fibre et qui absorbent la lumière car ils sont particulièrement sensibles aux longueurs d'onde citées.

En générale l'atténuation notée α se calcule en dB/km par la différence des puissances mesurées en entrée de fibre et en sortie [10]:

$$P_{out} = P_{in}e^{-\alpha L} \quad (I-8)$$

L'atténuation est un facteur important qui définit la distance de transmission possible entre émetteur et récepteur sans amplificateur.

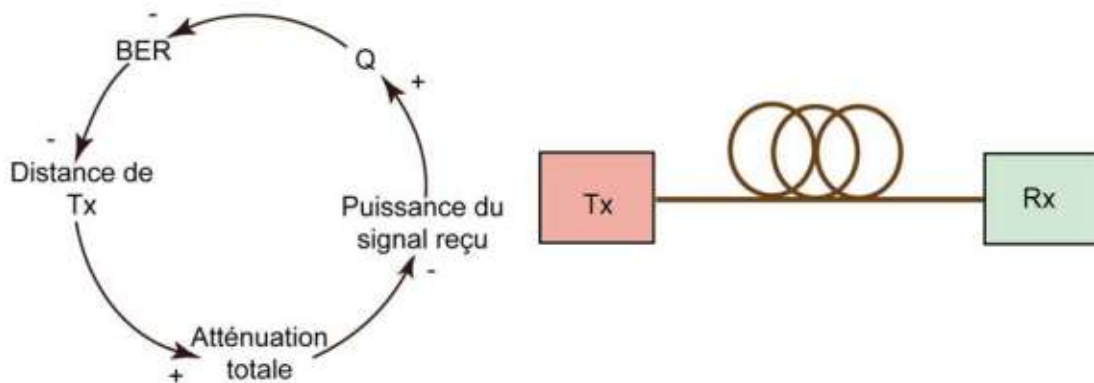


Figure I-12: Dynamique de l'atténuation[10].

I.4.6.1.2. La dispersion chromatique

Quand on transmet un signal optique où la dispersion chromatique de premier ordre n'est pas nulle, chaque composante spectrale du signal subit un retard de transmission différent [11].

Ces différences de temps d'arrivée des composantes spectrales engendrent un élargissement temporel de l'enveloppe de l'impulsion.

Le mécanisme de la dispersion chromatique opère de la manière suivante (voir Fig I.12):

La dispersion chromatique est proportionnelle à la distance de propagation, plus cette distance est importante, plus le retard entre les différentes composantes spectrales le sera. Ce retard se traduit par un élargissement temporel de l'enveloppe de l'impulsion. Un tel étalement finit par causer de l'interférence entre symboles en faisant « déborder » l'impulsion au-delà des limites de son intervalle temporel. Cet étalement de l'énergie de l'impulsion diminue la quantité d'énergie contenue dans l'intervalle de l'impulsion même. En même temps la fraction de l'énergie qui se trouve en dehors de l'intervalle de l'impulsion va interférer avec les impulsions adjacentes, cette interférence peut être associée à une source de distorsion qui dégrade le facteur Q de la transmission. Ces deux effets se combinent pour aboutir à une dégradation de la qualité de la transmission donc une augmentation du TEB. Une réduction de la distance de propagation est nécessaire afin de maintenir la valeur de TEB constante.

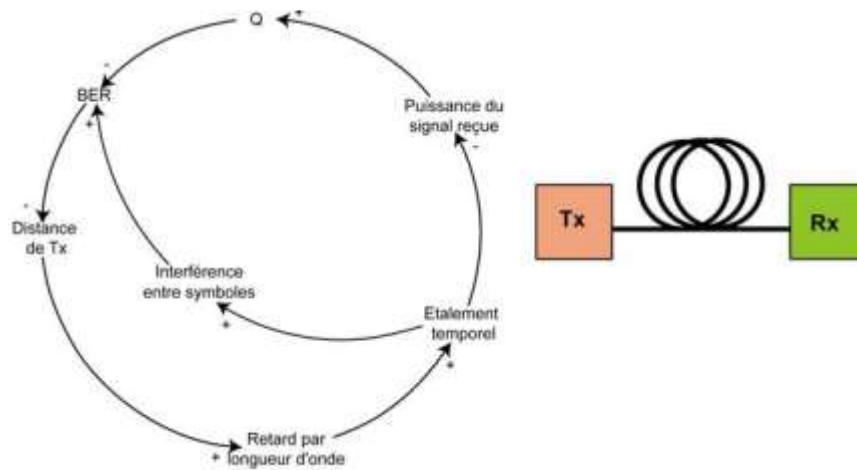


Figure I-13: Dynamique de la dispersion chromatique[11].

I.4.6.2. Les effets non linéaires

Nous allons brièvement décrire les effets non-linéaires pouvant se manifester dans les fibres optiques à savoir: l'effet Kerr, l'effet Raman, le mélange à quatre ondes et l'effet Brillouin.

I.4.6.2.1. L'effet Kerr

Un type d'effet non-linéaire très important dans les fibres optiques est l'effet Kerr. Celui-ci apparaît lorsque l'intensité du signal devient si importante qu'elle peut modifier significativement l'indice de réfraction n de la fibre [12] :

$$n_0 + n_2|E|^2 = n_0 + n_2I \quad (I-9)$$

Où n_0 est l'indice de réfraction linéaire de la silice, n_2 l'indice de réfraction non-linéaire, E l'amplitude du champ électrique et I l'intensité du signal.

Cette dépendance de l'indice de réfraction à l'intensité du signal est à l'origine de certains effets non-linéaires intéressants comme l'automodulation de phase et la modulation de phase croisée.

I.4.6.2.2. L'effet Raman

Est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

I.4.6.2.3. L'effet Brillouin

Est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des phonons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques.

Ces effets sont sensibles dès que la puissance injectée dépasse un certain seuil. 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 [13].

I.5. Emetteur optique

L'étage d'émission convertit un train de données binaire électrique en impulsions optiques. En télécommunications optiques, les émetteurs sont des diodes lasers (DL) ou des diodes électroluminescentes (DEL ou Light Emitting Diode, LED). Ce choix s'explique par les petites dimensions des émetteurs en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, leur spectre optique relativement étroit et leur faible consommation énergétique [14].

I.5.1. Diode électroluminescente (DEL)

C'est le composant le plus simple qui réalise l'émission spontanée. Les DELs génèrent la lumière lorsqu'elles sont parcourues par un courant. Ce sont des émetteurs incohérents, c'est-à-dire que la lumière émise contient plusieurs longueurs d'ondes et ne garde pas sa phase dans le temps mais fluctue : incohérence temporelle; la lumière émise dans différentes directions par différents points de la source n'est pas synchronisée et fluctue aussi : incohérence spatiale. D'un point de vue spectral, les DELs couvrent la gamme du visible allant du vert au rouge en passant par le jaune. L'intensité émise par la DEL est appelée puissance optique; c'est l'énergie rayonnée par seconde. La puissance optique est proportionnelle au courant dans la diode. L'intérêt des DELs réside principalement dans la luminescence élevée, la tension d'alimentation faible, la rapidité de réponse, l'encombrement réduit, la grande fiabilité et la forme variée. Quelques caractéristiques des DELs sont le spectre typique de l'émission spontanée qui est continu et assez large (d'où la forte sensibilité à la dispersion chromatique); la caractéristique puissance-courant linéaire et le temps de réponse assez élevé (de l'ordre de la dizaine de ns) qui limite la bande passante des signaux transmis. Bien que les performances de la DEL soient limitées, c'est un composant intéressant dans la mesure où son coût est faible, le bruit bas et sa fiabilité est excellente [14].

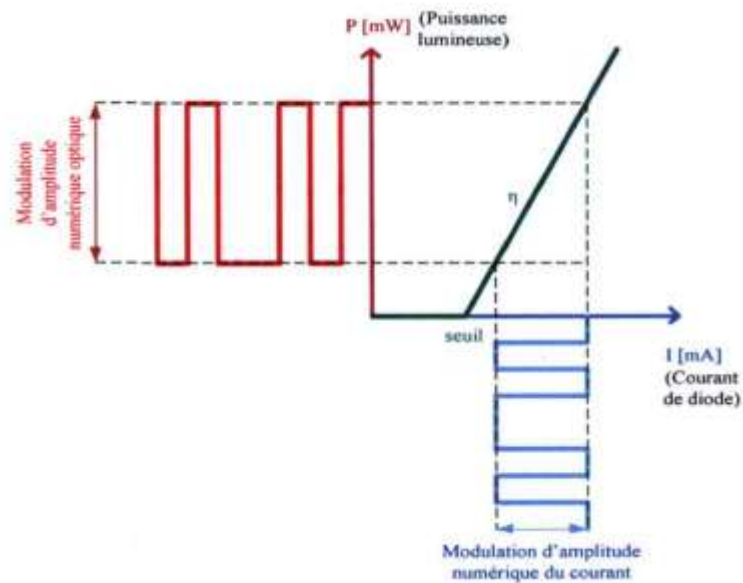


Figure I-14: Puissance lumineuse en fonction du courant d'une diode laser[14].

I.5.2. La diode laser (DL)

La partie "émission" d'une liaison optique est composée de divers éléments dont un élément clé : le laser (pour Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les lasers à semi-conducteur grâce à leurs petites dimensions (par rapport à celles du cœur des fibres optiques), à la facilité de moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, à leur spectre optique relativement étroit et à leur faible consommation énergétique.

Un laser est un dispositif qui émet de la lumière grâce au phénomène d'émission stimulée. Dans un semi-conducteur, un électron peut passer d'un état à un autre de trois manières différentes (figure I.14) :

- **l'émission spontanée** : de sa propre initiative, l'électron peut tomber dans un état moins énergétique non occupé en émettant un photon spontané. Il passe d'un état ionisé à un état lié. La recombinaison d'une paire électron-trou est radiative. C'est l'électroluminescence.
- **l'absorption** : en absorbant un photon, l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de l'état lié (électron et trou combinés) à ionisé (électron dans la bande de conduction et trou dans la bande de valence).
- **l'émission stimulée** : frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique (état lié) en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident. On parle alors

de lumière cohérente. Avec l'émission stimulée s'introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux.

L'émission spontanée trouve son application dans la diode électroluminescente, l'absorption dans la photodiode et l'émission stimulée dans la diode laser [14]. Un semi-conducteur est de type n si le courant électrique est conduit surtout par des électrons (porteurs négatifs). Si le semi-conducteur est de type p, le courant électrique est alors conduit par les trous (porteurs positifs). Une combinaison de deux couches formée par un semi-conducteur de type p et de type n, appelée jonction PN, forme une diode [14]

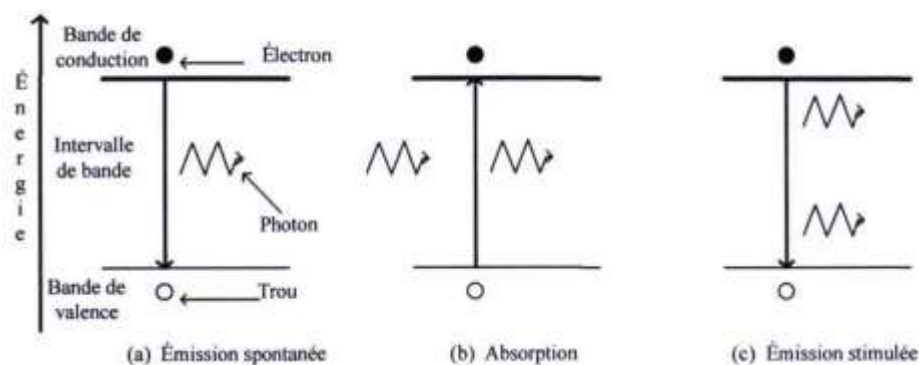


Figure I-15: Principe des interactions électro-optiques dans un semi-conducteur[14].

I.5.3. Caractéristiques des sources de rayonnement et comparaison DL et DEL

Les DELs et les DLs sont les sources les plus utilisées. La DEL a une large répartition spectrale tandis que l'émission de la DL a lieu en une ou plusieurs raies spectrales [14]. Le choix de la source doit tenir compte des propriétés de la fibre. La lumière doit être injectée par une surface très petite et théoriquement, seule la lumière injectée dans le cône d'acceptance se propage dans la fibre. De plus, la longueur d'onde doit correspondre à une atténuation faible par la fibre, et la largeur spectrale doit être faible pour minimiser la dispersion. Une bonne source de rayonnement doit être intense, consommer peu de puissance, avoir un temps de réponse rapide, être modulable facilement, fiable, et économique. Les DELs et les DLs sont des dispositifs différents malgré leurs similitudes. La comparaison donne par exemple :

Comparée aux DELs, les DLs sont caractérisées par une émission plus directionnelle, une largeur spectrale plus faible, une intensité plus grande, et un temps de réponse plus rapide. En revanche, elles sont plus chères que les DELs.

- les DELs sont plus lentes mais moins fragiles aux décharges transitoires.
- l'impulsion lumineuse en fonction du courant d'injection est quasi-linéaire pour les DELs, tandis que les DLs sont des dispositifs à effet de seuil. Contrairement aux DELs, l'émission lumineuse change avec la température pour les DLs.

- l'utilisation des DLs est beaucoup moins simple que celle des DELs à cause de la caractéristique puissance optique en fonction du courant qui n'est pas régulière.

Le choix se fera donc en fonction de l'importance des critères retenus pour une application donnée. La DL est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre. Les DELs vont être privilégiées pour la conception de liens de communications optiques sur de courtes distances pour des considérations de coûts et de facilité de mise en œuvre. La figure I.15 schématise les différents processus optiques et les composants associés.

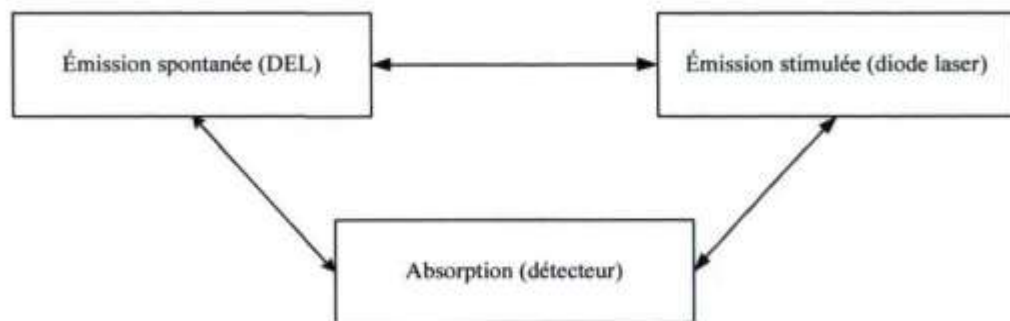


Figure I-16: Processus optiques et composants associés[14].

I.5.4. Techniques de modulation

Afin de transmettre les données dans les systèmes optiques, il faut les mettre sous une forme adéquate. Pour cela, on doit réaliser une conversion des données électriques en données optiques. C'est ce que l'on appelle la modulation. La modulation est généralement une modulation d'intensité lumineuse interne ou une modulation externe.

I.5.4.1. Modulation directe

La modulation directe consiste à moduler directement l'intensité de la lumière émise par la diode laser en fonction de la variation du courant d'alimentation du laser contenant de l'information. Dans ce cas, le laser se comporte comme un interrupteur, s'allumant pour transmettre un bit « 1 » et s'éteignant pour transmettre un bit « 0 ».

La figure I.16 illustre le principe d'un modulateur direct. Il est composé d'un générateur binaire causant une séquence binaire qui définit l'information et d'un driver qui a pour rôle de commander la source optique en niveaux de puissance émise (en fixant les valeurs du courant d'alimentation) [15]

Cette technique offre quelques avantages tels que la simplicité ou le faible coût de mise en œuvre. Cependant, elle présente aussi quelques limitations qui détériorent le signal optique émis. La modulation directe s'accompagne ainsi d'une modulation de fréquence parasite appelée chirp, qui conjugué à la dispersion chromatique de la fibre, provoque un élargissement de l'impulsion d'autant plus importante que la longueur de la fibre est grande.

C'est la raison pour laquelle cette modulation est utilisée pour des débits inférieur ou égal à 10 Gbit/s [15].

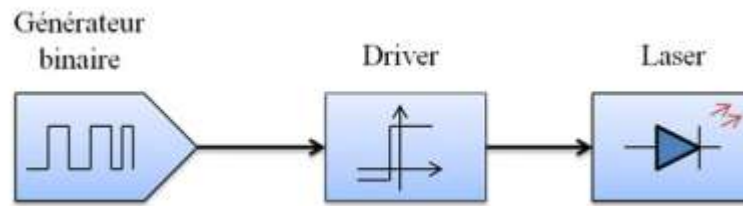


Figure I-17: Schéma de principe de la modulation directe[15].

I.5.4.2. Modulation externe

La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu déjà émit par une source laser. Elle est obtenue en utilisant un modulateur externe à la source, qui module le faisceau lumineux à sa sortie du laser [15]. La figure I.17 illustre le principe de la modulation externe [15].

Parmi les modulateurs les plus utilisés dans les systèmes de transmission, nous pouvons citer le modulateur de type Mach-Zehnder (MZM, Mach-Zehnder Modulator), dont le principe de fonctionnement se base sur l'interférométrie. Le signal à la sortie de ce type de modulateur est beaucoup moins dégradé que celui issu de la modulation directe, d'où son utilisation dans les systèmes à longues distances.

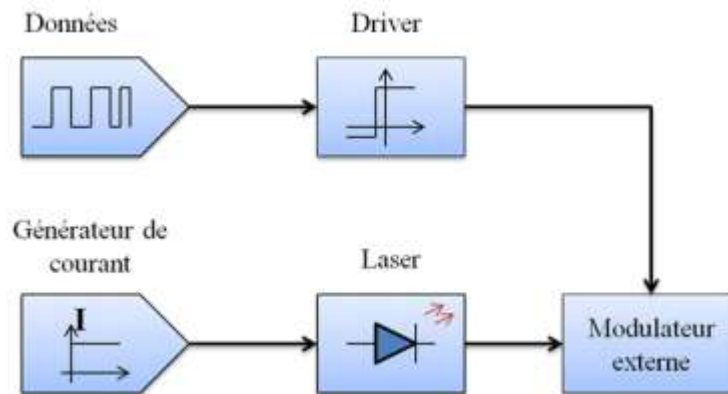


Figure I-18: Schéma de principe de la modulation externe[15].

I.6. Le récepteur optique

Le but du récepteur est d'extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu

I.6.1. Détection directe

Un détecteur direct est composé principalement d'un amplificateur, d'un filtre optique et d'une photodiode, servant à convertir le signal optique en un signal électrique [16]. Une fois que le signal électrique est récupéré, un bloc de décision lui est appliqué. Celui-ci nous

permet de restituer la séquence binaire, à partir de l'amplitude du signal électrique [17]. La figure suivante représente un schéma synoptique d'un récepteur direct.

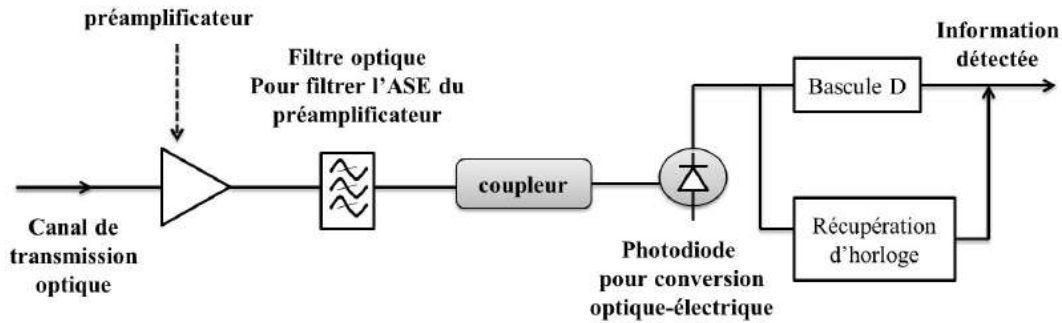


Figure I-19: Schéma de principe d'un récepteur optique[16].

I.6.2. Photodiode

La photodiode est un dispositif essentiel du récepteur qui permet de convertir un signal optique en un signal électrique.

Le principe d'une photodiode est de convertir une puissance optique en libérant des électrons dans la jonction P-N de la photodiode. Le nombre d'électrons est proportionnel au nombre de photons par [18]

$$I_p = \frac{\eta\lambda}{1.24} P_{opt} \quad (I-10)$$

Où η est le rendement de la conversion photon-électron, λ est la longueur d'onde de la lumière

Le courant généré par la photodiode est constitué d'un courant pur et un bruit (i) ajouté à la photodiode, comme illustré sur la figure 1.19. Ainsi :

$$I(t) = I_p + i_s(t) \quad (I-11)$$

Où $i_s(t)$ est un bruit quantique. Sa variance est décrite comme suit :

$$\sigma_s^2 = 2qI_p\Delta f \quad (I-12)$$

Où q est la charge de l'électron et Δf est la bande passante effective de la photodiode.

En plus du bruit quantique, il existe un autre type de bruit, le bruit thermique interne au récepteur.

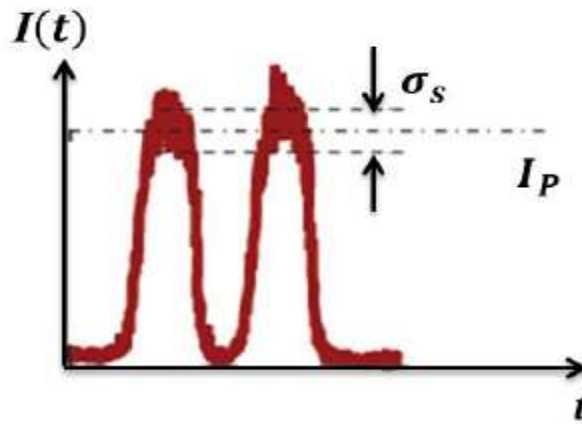


Figure I-20: Courant généré par la photodiode associé à un bruit quantique[18]

Dans les systèmes de transmission, les photodiodes les plus utilisées sont les photodiodes PIN (Positive Intrinsic Negative), qui assurent la conversion optoélectronique avec un minimum de dégradation. Il s'agit d'un semi-conducteur intrinsèque (non dopé). Sa particularité réside dans sa jonction P-N qui est composée d'une zone intrinsèque intercalée entre une couche fortement dopée P et une couche fortement dopée N.

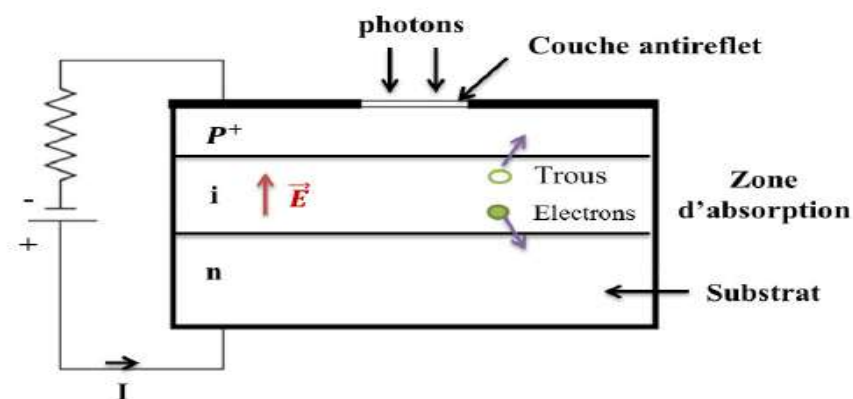


Figure I-21: Photodiode PIN[18]

I.6.3. Différents types de photodétecteurs

Les photodiodes peuvent être classées en deux catégories [14] :

- **PIN: Positive Intrinsic Negative Photodiodes.** Ce sont également des dispositifs à semi-conducteurs qui possèdent une région intrinsèque (faiblement dopée) prise en sandwich entre une région de type p et une région de type n. Lorsqu'il est polarisé en inverse, ce composant émet un courant proportionnel à la puissance optique incidente.
- **APD: Avalanche Photo Diode.** Ce sont des composants semi-conducteurs qui réagissent à l'intrusion de photon dans la zone de jonction PN par le déclenchement d'une avalanche électronique. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir de très peu de photon incident.

Les photodétecteurs de type APD présentent de meilleures performances à 2,5 et 10 Gb/s que les types PIN. Leur coût est également plus élevé. Néanmoins, pour les débits élevés à 40 Gb/s, des prototypes de photodiodes de type PIN surpassent les types APD. Les types PIN pourraient alors reprendre du terrain à ces fréquences sur le type APD.

I.6.4. La décision

Une fois que le signal électrique soit récupéré, il nous faut reconstituer la séquence binaire envoyée dans la ligne. Pour ce faire, nous appliquons le bloc de décision. Celui-ci est composé d'un circuit de récupération d'horloge, appelé aussi circuit de synchronisation, et d'un détecteur de seuil. Par ailleurs, dans notre cas, la décision se fait au moyen du diagramme de l'œil, qui sera décrit dans le paragraphe suivant. La figure suivante illustre ainsi le principe de fonctionnement d'un bloc de décision.

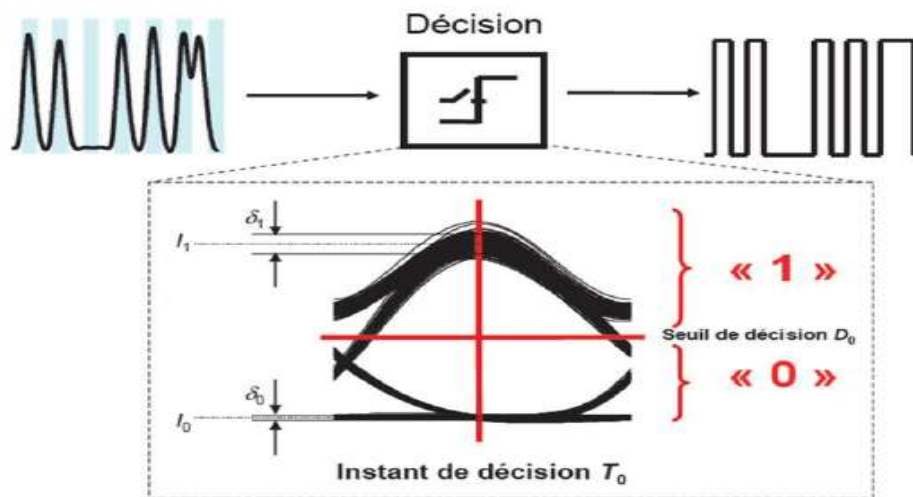


Figure I-22: Principe de la décision basé sur le diagramme de l'œil[19].

A un instant donné, appelé instant de décision, le niveau du signal est mesuré. Généralement, les niveaux mesurés sont distribués autour de deux valeurs moyennes I_0 et I_1 . la variation autour du niveau haut est appelé le bruit sur les 1, et la racine carré de la variance des densités de probabilité est appelé δ_1 . La variation autour du niveau bas est appelée le bruit sur les 0 et la racine de la variance des densités de probabilité est appelée δ_2 . Les échantillons du signal électrique récupérés, la décision se fait de la façon suivante [19] :

- Si l'intensité détectée à l'instant de décision est supérieure au seuil de décision, alors le symbole est un « 1 ».
- Si l'intensité détectée à l'instant de décision est inférieure au seuil de décision, alors le symbole est un « 0 ».

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a été étudié les systèmes de transmission optique point à point en trois parties :

La première partie, nous avons parlé de canal de transmission (fibre optique). Nous avons évoqué les principaux effets linéaires et non linéaires limitant le débit de transmission numérique optique.

La partie émission d'un système de transmission a été aussi abordée. Elle contient principalement le composant optoélectronique d'émission, qui peut être une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL). Nous avons ainsi décrit comment est générée une séquence binaire d'information en signal optique, et mis l'accent sur deux différentes méthodes de modulation dans les systèmes : la modulation directe et la modulation externe.

Dans la dernière partie, la partie réception a été analysée. Ces composants étaient de différents types de photodétecteurs.

Chapitre II

Les formats de modulation NRZ et
RZ dédiés aux transmissions
optiques

II.1. Introduction:

Après une période de croissance explosive puis de déprime, le marché des réseaux optiques de transmission atteint maintenant une phase de maturité dans laquelle les coûts constituent la contrainte la plus sévère. Aujourd'hui, l'exigence des opérateurs porte plus que jamais sur des systèmes de transmission à la fois performantes, flexibles en capacité, faciles à gérer et surtout à des coûts d'investissement et d'opération très bas. Un des axes de progrès les plus étudiés dans la recherche d'un bon compromis performance-complexité-coût réside dans les formats de modulation en transmission. Jusqu'à maintenant, les systèmes de transmission ont majoritairement utilisé les formats classiques NRZ (Non-return to Zéro) et RZ (Return to Zéro) jusqu'à des débits de 10 Gbit/s.

La première étape de la conception d'un système de communication optique consiste à décider comment le signal électrique serait converti en un train de bits optiques. Normalement, la sortie d'une source optique telle qu'un laser à semi-conducteur est modulée en appliquant le signal électrique directement à la source optique ou à un modulateur externe. Il y a deux choix pour le format de modulation du train de bits optique résultant. Ceux-ci sont connus comme les formats de retour à zéro (RZ) et de non-retour à zéro (NRZ).

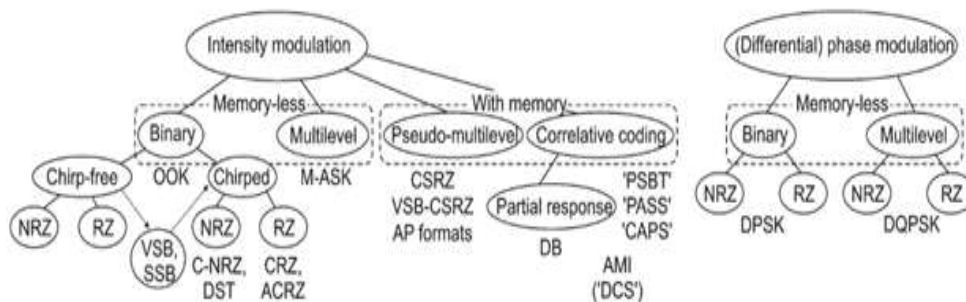


Figure II-1: Classification des formats de modulation principaux d'intensité et de phase discutés dans les communications optiques[21].

II.2. Format de modulation

Les systèmes de transmission par fibre optique sont conçus pour faire propager une séquence de données binaires « 1 » et « 0 » par voie optique. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, cette séquence est d'abord sous la forme d'un signal électrique. La forme de ce dernier, en termes d'amplitude et de phase, est appelée format de modulation.

Le format de modulation le plus simple est le format OOK (On/Off Keying), et il repose sur le principe d'une modulation de l'amplitude du signal électrique. Ainsi, un minimum d'amplitude correspond au bit « 0 », et un maximum d'amplitude correspond à un bit « 1 ».

Pour une séquence temporelle donnée, et donc une succession de bits, il existe deux manières de moduler les impulsions d'un format de modulation donné: la technique de retour à zéro (RZ, Return-to-Zéro), et la technique de non-retour à zéro (NRZ, Non-Return-to-Zéro) [21].

II.3. Les différents formats de modulation

Dans les deux tableaux ci-dessous nous donnons une liste des principaux formats de modulation ainsi que leurs principales caractéristiques et leur domaine d'applications pour chacune des deux familles citées [21].

Tableau II-1: Formats de modulation de transmission

Formats de Modulation	Variations	Debit Gbit/s	Principles caractéristiques
NRZ	Amplitude : variable Phase: constante Polarisation: constante	2,5/10/40	Format de modulation le plus simple à implanter avec un bon rapport performance/complexité.
RZ	Amplitude : variable Phase: constante Polarisation: constante	10/40	Résistance accrue à la plus part de la source de distorsion lors de la transmission

Tableau II-2: Formats de modulation de capacité

Formats de Modulation	Variations	Debit Gbit/s	Principles caractéristiques
NRZ-VSB	Amplitude : variable Phase: constante Polarisation: constante	10/40	Besoin d'un fort filtrage optique du signal. Faible tolérance aux effets non linéaire
RZ-VSB	Amplitude : variable Phase: constante Polarisation: constante	40	Résistance aux distorsions linéaires de propagation. Faible tolérance aux effets non linéaire

Les formats NRZ et RZ se sont imposés comme les principaux formats aptes à intégrer les systèmes de transmission sur fibre optique.

En effet, ces formats ont constitué l'axe principal de développement des systèmes de transmission actuels. Le codage NRZ est associé directement aux systèmes de transmission linéaires. Le format RZ peut par contre basculer entre les systèmes de transmission linéaires et non-linéaires.

II.4. Format NRZ (Non Return-to-Zéro)

Le signal optique modulé en NRZ est une copie conforme du signal binaire électrique. Il possède généralement deux états: l'état (haut-1) qui se traduit par le maximum d'intensité du signal optique et l'état (bas-0) qui se traduit par le minimum d'intensité du signal. Les données binaires « 1 » et « 0 » sont associées à des impulsions optiques de durée égale à un temps bit (inverse du débit). La différence entre un minimum et un maximum d'intensité du signal est appelée taux d'extinction (ER, Extinction Ratio). Il s'exprime de la façon suivante [21] :

$$ER = \frac{P_1}{P_0} \quad \text{où} \quad ER_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (\text{II-3})$$

P_0 et P_1 sont respectivement les puissances moyennes du niveau 0 et du niveau 1. En pratique, pour un minimum d'intensité, l'absence totale du signal optique n'existe pas car le taux d'extinction d'un signal n'est jamais infini.

La figure II.2 montre le schéma de principe du format de modulation de type NRZ-OOK, mettant en évidence la trace temporelle, la densité spectrale de puissance et le diagramme de l'œil, ainsi que la constellation.

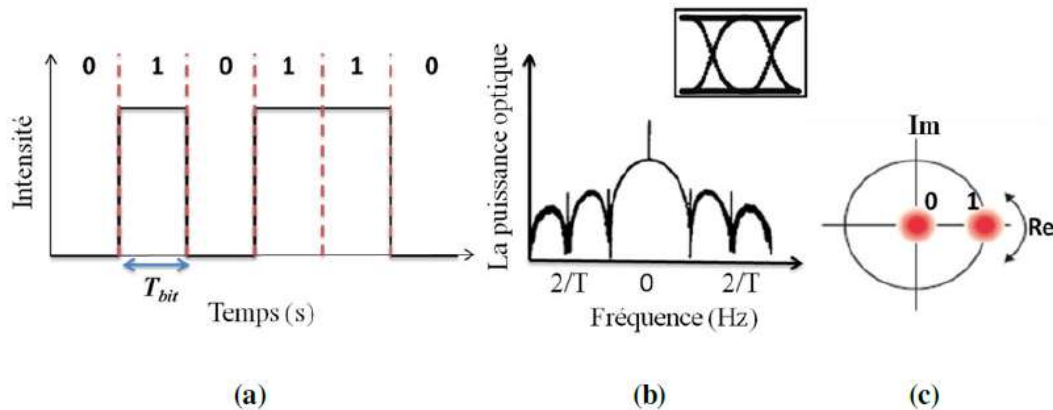


Figure II-2: Format de modulation de type NRZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité Spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation [21].



Figure II-3: le module d'émission NRZ [22]

Le schéma du montage d'un module d'émission de type NRZ est présenté sur la Figure II.3. Le signal NRZ électrique code le signal optique grâce à un modulateur d'intensité à base de Niobate de Lithium (LiNbO_3) de type interféromètre de Mach-Zehnder (MZI). Le signal en sortie est un signal NRZ optique modulé en intensité au débit des données [22].

II.4.1. Chirp avec NRZ

En raison de la présence de fibres optiques à dispersion positive, les composantes à plus haute fréquence contenues dans un spectre de signal modulé se déplacent plus rapidement que les composantes à plus basse fréquence. Le déphasage des composantes spectrales qui en résulte conduit à un élargissement dispersif des impulsions dans le temps, ce qui entraîne des pénalités de transmission. Au premier ordre, cet effet peut être atténué en introduisant la quantité appropriée de chirp à travers chaque impulsion optique: abaissant la fréquence sur le bord d'attaque de l'impulsion, et augmentant la fréquence à travers le bord arrière [20, 21].

Une autre technique plus avancée d'impulsions de pré-balayage, intensité et phase du champ optique est modulée indépendamment en utilisant une forme d'onde analogique pré-calculée numériquement, de sorte que la propagation sur une fibre dispersive reconstruit la forme d'onde non distordue désirée à une distance cible spécifique [23].

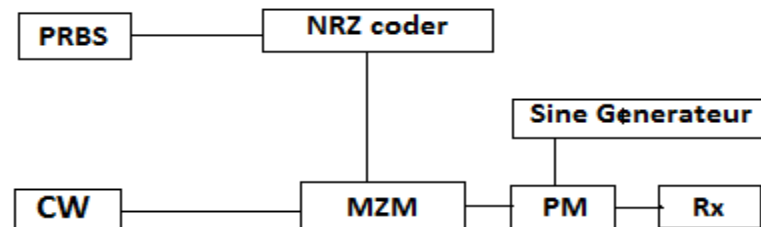


Figure II-4: Génération du signal Chirp NRZ

II.4.2. Alternative Chirp NRZ (alCNRZ)

La modulation de pré-chirp des impulsions optiques sur le côté d'émetteur permet une amélioration de la représentation de transmission du système. Là, le pré-chirp peut être réalisé utilisant (par exemple MZM, modulateur de phase) les composants passifs (par exemple morceau de fibre et filtre optique) ou actifs. L'exécution du pré-chirp cause un élargissement du spectre de signal, de ce fait ramenant la tolérance à la dispersion résiduelle et au filtrage à bande étroite. En conséquence, la quantité du pré-chirp et la méthode de son exécution doivent être soigneusement choisies afin de répondre à des exigences souhaitables de système. Les formats de modulation avec une tolérance non linéaire réduite (par exemple formats basés sur NRZ) pourraient principalement profiter de l'exécution d'un pré-chirp). Ceci est réalisé dans des impulsions chirp alternatives de NRZ (alCNRZ). La modulation d'alCNRZ a pu être un bon candidat pour une amélioration de représentation des systèmes de transmission optiques déployés en raison de sa génération simple. La tolérance non linéaire améliorée fournirait une amélioration de la longueur maximum de transmission. Par conséquent, la cible principale de la modulation d'alCNRZ est de permettre une transmission optique à grande vitesse au-dessus (>400 kilomètre) des distances longues-courrières [24].

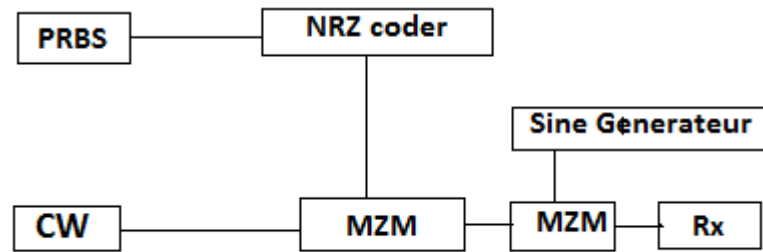


Figure II-5: Génération du signal alCNRZ

II.4.3. NRZ à Bande latérale résiduelle (VSB)

Outre le façonnage (et la compression) du spectre du signal optique au moyen d'une signalisation (pseudo) multi-level ou d'un codage corrélatif, il est possible que certains formats de modulation suppriment en plus la moitié de leur contenu spectral par un filtrage optique approprié. Puisque le spectre des signaux en bande de base à valeur réelle est symétrique autour de la fréquence zéro, filtrer la moitié redondante du spectre (c'est-à-dire l'une des deux bandes latérales spectrales) préserve le contenu informationnel complet, et dans la signalisation VSB la décroissance progressive est décalée de la fréquence porteuse optique pour supprimer les parties principales d'une bande latérale, tout en effectuant en même temps une action de filtrage de l'autre [25]. À titre d'avertissement important, notez que la grande majorité des récepteurs optiques utilise la détection par loi de carré plutôt que la détection cohérente. Afin d'être un candidat réussi pour VSB, un format de modulation à valeur réelle doit maintenir la détectabilité de la loi carrée après conversion en VSB. L'avantage du filtrage VSB au niveau du récepteur provient d'une diaphonie de canal WDM réduite pour la bande latérale souhaitée, si des espacements de canaux WDM inégaux sont utilisés.

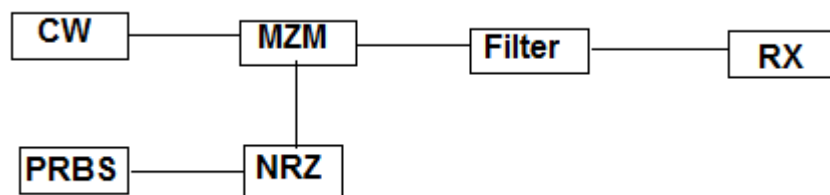


Figure II-6: Génération du signal VSB NRZ

II.5. Format RZ (Return-to-Zero)

Le format RZ quant à lui est différent dans la mesure où une impulsion qui correspond à un maximum d'intensité s'étend sur une durée inférieure au temps bit. Elle revient donc au niveau bas entre deux bits successifs. La figure 2.7 montre le schéma de principe de format de

modulation RZ-OOK, mettant en évidence la forme temporelle, la densité spectrale de puissance, le digramme de l'œil et la constellation [21].

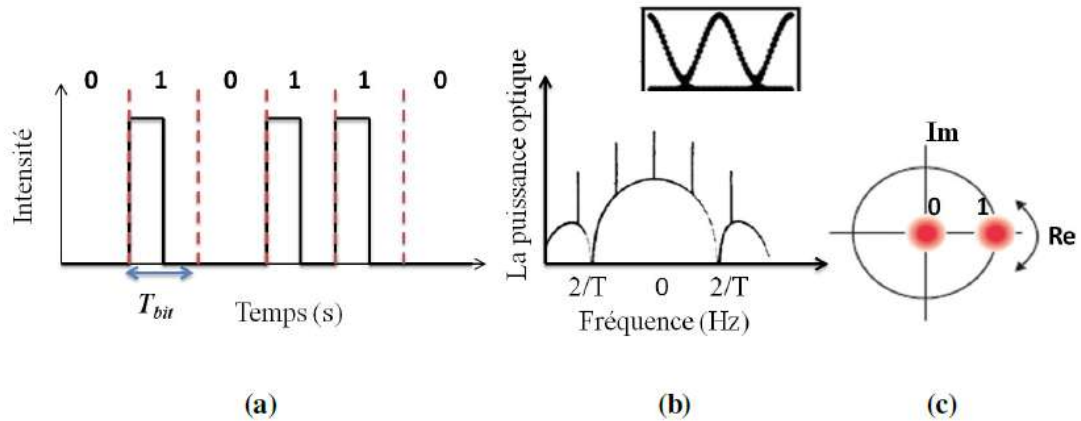


Figure II-7: Format de modulation de type RZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil (c) Constellation [21].

La méthode consiste à injecter dans le modulateur d'intensité de Mach-Zehnder (MZI) un signal RZ électrique. La Figure II.8 schématise le module d'émission. Une séquence NRZ électrique au débit de modulation, qui, couplée à une horloge électrique dans une bascule logique rapide ('NON ET') conduit à une séquence RZ électrique. Cette séquence module l'intensité d'un signal continu issu d'un laser à semi-conducteur (DFB) à travers le modulateur. La largeur à mi-hauteur des impulsions du signal RZ est de la moitié du temps bit [22].

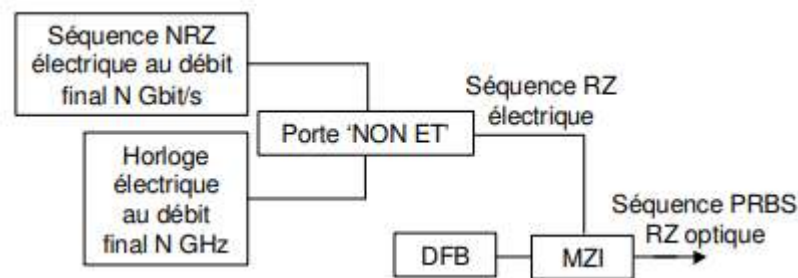


Figure II-8: le module d'émission RZ [22].

Contrairement à NRZ, toutes les formulations RZ sont caractérisées par le fait que les étiquettes adjacentes sont séparées par des périodes dans lesquelles la quantité revient à un niveau bas. Les formats optiques RZ sont classés à travers le cycle de travail et le codage de phase. Trois des formats RZ les plus typiques sont les 50% RZ (RZ50), RZ à porteuse supprimée (CSRZ) et le VSB RZ.

II.5.1. RZ 67 % et RZ 50%

La figure II.10 montre les formes d'impulsion des signaux RZ avec des cycles de service de 33%, 50% et 67%. Trois méthodes ont été utilisées pour convertir le NRZ optique en son équivalent RZ [26,28] :

- 1- Facteur de marche de 33%: le point de polarisation du deuxième modulateur est fixé au maximum de la transmission. Le MZM est piloté par une sinusoïde de 20 GHz d'amplitude $2V\pi$.
- 2- 50% cycle de service: dans ce cas, le modulateur est polarisé dans le point de quadrature. Il nécessite un signal de commande électrique de 40 GHz avec une amplitude crête à crête de $V\pi$.
- 3- 67% de rapport cyclique: le MZM est biaisé au milieu de deux maxima et entraîné par une sinusoïde de 20 GHz d'amplitude $2V\pi$. Ce pulser est caractérisé par une alternance de phase entre les bits consécutifs et correspond à une modulation CSRZ de retour à zéro à suppression de porteuse.

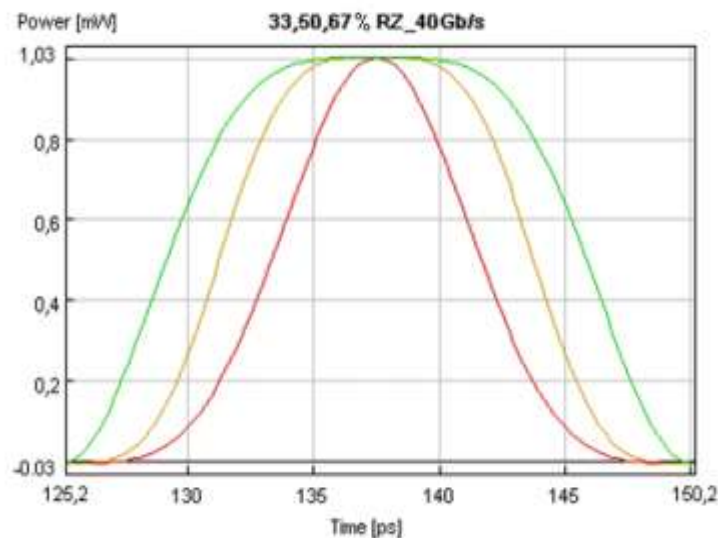


Figure II-9: Forme d'impulsion pour un cycle de travail de 33%, 50% et 67% [28].

Il convient de mentionner que nous obtenons différentes amplitudes de pic pour une même puissance moyenne en fonction du pulser que nous utilisons. Évidemment, dans le cas de 33% de RZ, l'énergie est compressée en une impulsion plus étroite. Par conséquent, l'amplitude de crête est la plus élevée par rapport au cycle de service de 50% et de 67%, comme le montre la figure II.9.

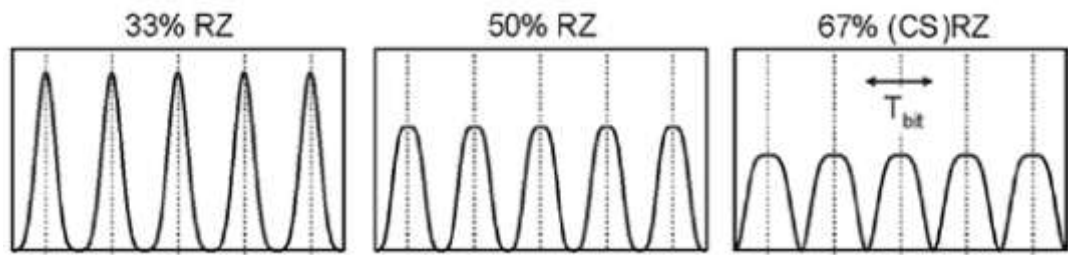


Figure II-10: Forme d'onde d'intensité optique pour différents sculpteurs d'impulsions générés avec la même puissance moyenne [27].

II.5.2. RZ à bande latérale résiduelle (VSB)

Le format de modulation *Vestigial Side Band Return to zero* (VSB-RZ) présente une bande passante de signal étroite et porteuse, dans laquelle la bande passante de transmission est filtrée pour rejeter la bande latérale supérieure ou inférieure. Une fois le filtre réalisé, la simulation de transmission est effectuée sur des systèmes de communication à fibre optique monomodale à longue distance.

Bien que RZ-DSB montre une grande tolérance de dispersion, la résistance contre les effets non linéaires, etc., implique l'envoi de deux bandes latérales avec exactement la même information. Avec des débits de données élevés jusqu'à 40 Gbps et éventuellement supérieurs à 160 Gbit/s, l'efficacité spectrale est le facteur clé des systèmes de transmission optique WDM de nouvelle génération. L'utilisation de la formation de RZ-VSB est nécessaire pour atteindre une efficacité spectrale élevée. Pour ce faire, le filtre passe-bande optique est conçu. En utilisant la plage de passage du filtre optique, la plus grande partie de la bande latérale inférieure peut être supprimée en laissant le côté porteur et le côté supérieur.

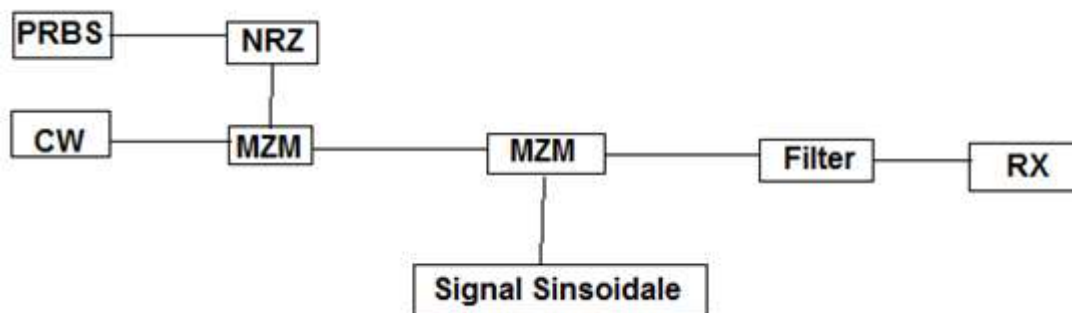


Figure II-11: Génération du signal VSB RZ

II.6. Présentation des composants utilisés et leurs caractéristiques

II.6.1. La partie émission

La partie émission est composée principalement des lasers qui fonctionnent en régime continu (CW-Laser), des modulateurs externes. Les modulateurs externes sont eux aussi

composés de générateurs binaires (PRBS ou Pseudo-Random Binary Sequence), de générateurs NRZ ou RZ et de modulateurs Mach-Zehnder.

La figure II.12 représente le schéma d'une modulation externe

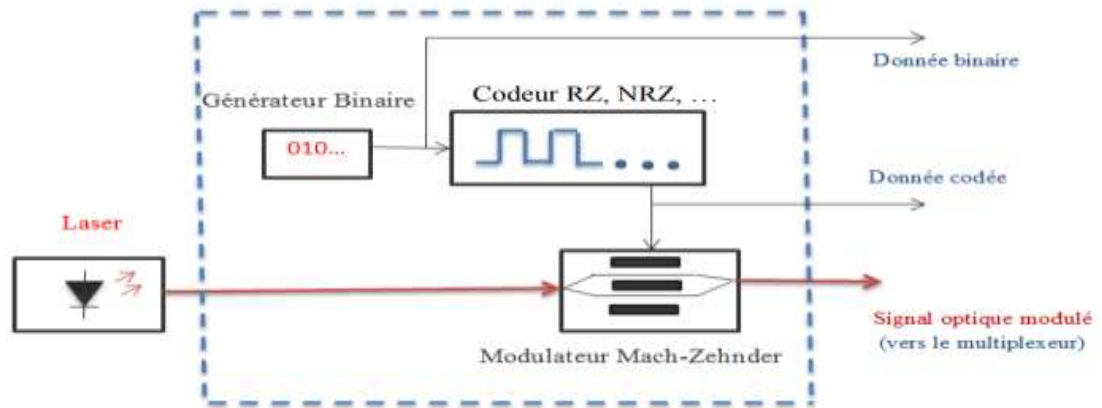


Figure II-12: modulateur externe[27]

II.6.1.1. Générateur binaire PRBS

C'est un générateur qui produit une suite de longueur connue, de « 0 » et de « 1 » logiques. Il est dit aléatoire car c'est une suite arbitraire. Cependant, lorsque la suite arrive à son terme, le générateur ne s'arrête pas de fonctionner. La séquence déjà transmise est à nouveau reproduite, d'où le qualificatif de pseudo-aléatoire [29].

II.6.1.2. Générateur NRZ vs générateur RZ

Dans le générateur NRZ, la donnée binaire « 1 » est associée à une impulsion optique de durée sensiblement égale au temps symbole (inverse du débit), la donnée « 0 » est associée à l'absence de signal. En pratique on n'a pas une absence totale de signal puisque le taux d'extinction n'est jamais infini.

II.6.1.3. Modulateur Mach-Zehnder

C'est la mise en série de deux coupleurs entre lesquels on introduit un déphasage commandé par une tension électrique [30].

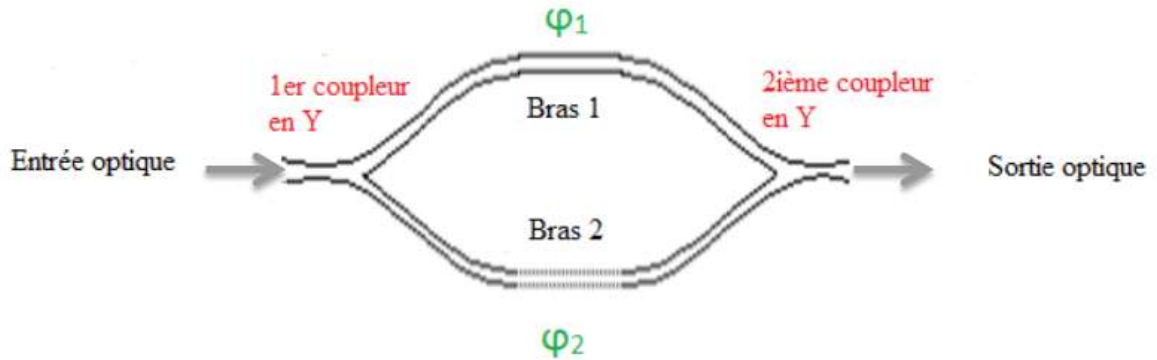


Figure II-13: Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder [31]

La technique utilisée pour moduler l'amplitude d'un faisceau consiste à lui faire traverser un interféromètre de Mach-Zehnder dans lequel il est possible de commander la différence de phase entre les deux bras [31].

La lumière est couplée dans deux guides par un coupleur en Y. Les deux faisceaux se recombinent ensuite dans un deuxième coupleur en Y. L'indice de réfraction du matériau électro-optique, placé sur l'un des bras de l'interféromètre (ou même sur les deux bras), est modifié par l'application d'une tension, entraînant ainsi un déphasage entre les deux faisceaux. Suivant leur différence de marche (ou phase relative), les deux faisceaux interfèrent de manière constructive (dans ce cas on retrouve toute la puissance optique disponible en sortie) ou destructive (dans ce cas aucune lumière n'est injectée dans le guide de sortie) [31].

II.7. Conclusion

Les formats avancés de modulation jouent un rôle important dans la conception des réseaux optiques. Nous avons discuté des formats de modulation optiques les plus importants à savoir RZ et NRZ ainsi que leurs différentes variantes. Dans le chapitre suivant, on va présenter les résultats de simulations des blocs d'émission ainsi que des systèmes de transmission mono canal.

Chapitre III

Résultats de simulations numériques
et discussions

III.1. Introduction

Les simulations rapportées dans ce chapitre sont réalisées à l'aide du logiciel Optisystem v15.0. Nous commençons par l'étude et l'analyse des différents types de formats de modulation en lignes puis on les implémente dans la partie émission d'une liaison optique mono canal à un débit de fonctionnement de 40 Gb/s.

III.2. Description du system simulé

Les différents formats de modulation RZ (50%, CSRZ 67 %, VSB) et NRZ (chirp, Alternner Chirp, VSB) ont toujours le même émetteur. Généralement, les composants de chaque émetteur sont:

Générateur binaire PRBS qui produit aléatoirement une séquence binaire composée de 0 et 1 où la probabilité est 50% pour 0 et 50% pour 1.

Laser émettant en régime continu avec une fréquence de 193.1 Hz correspondant à une longueur d'onde de 1.55 μm et dont la puissance émise est de 0 dBm (1 mW).

On utilise toujours un Modulateur de type Mach-Zehnder.

La visualisation se réalise à l'aide d'un oscilloscope pour afficher le signal dans le domaine temporel et l'analyse de spectre pour voir le signal dans le domaine spectrale.

L'oscilloscope et l'analyse spectrale sont utilisés ensemble dans différents points pour suivre l'évolution du spectre. Ainsi, on utilise, dans la partie du récepteur une photodiode de type PIN.

III.2.1.NRZ avec Chirp

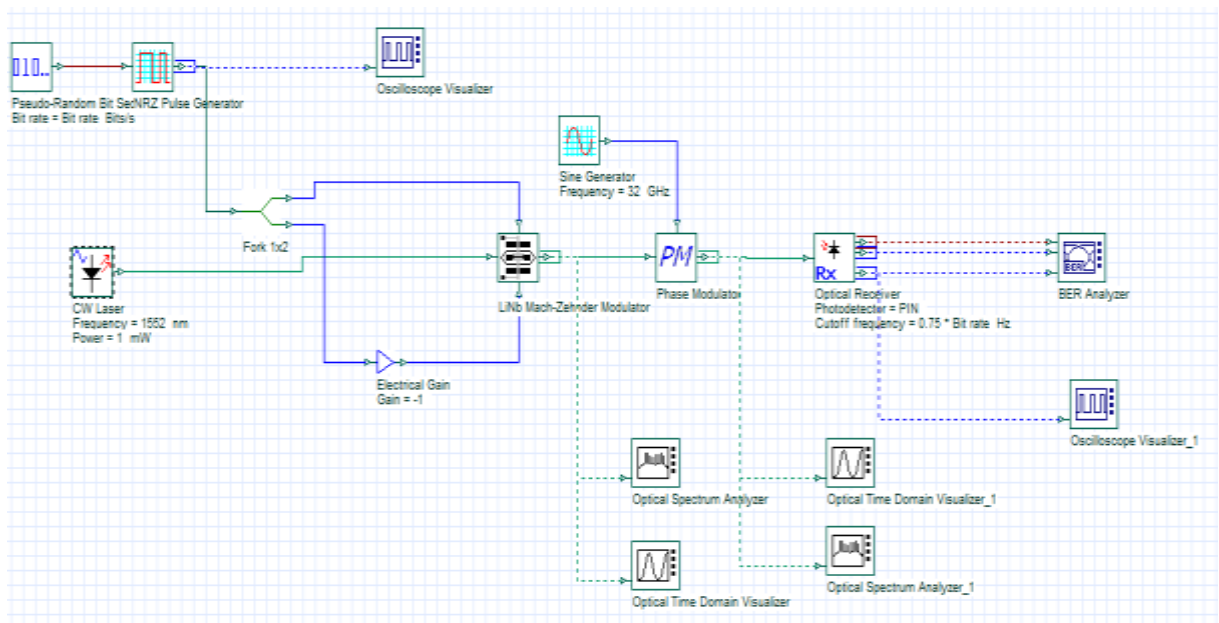
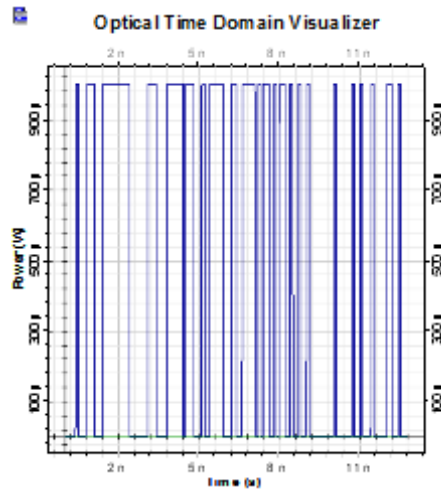
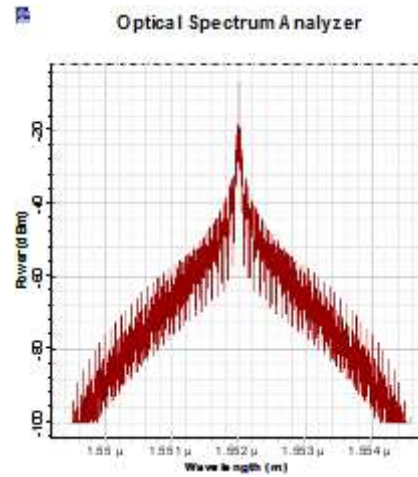


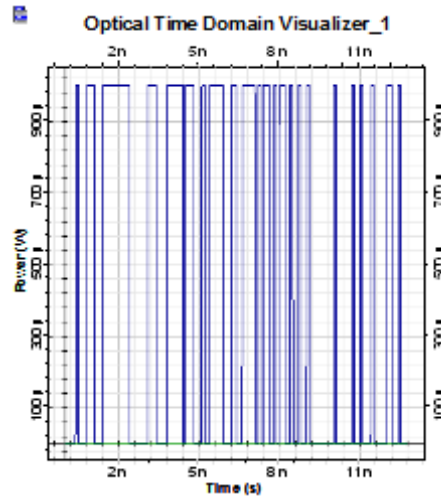
Figure III-1: schéma bloqué de simulation pour NRZ avec Chirp



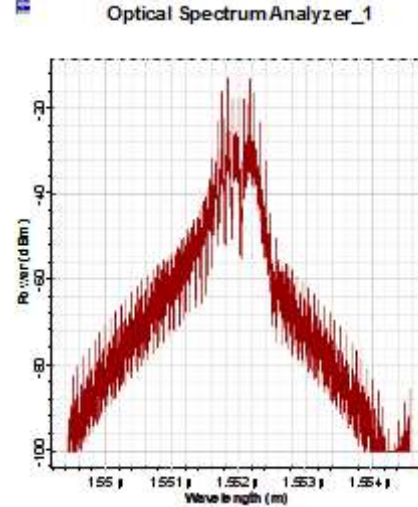
(a) Suite binaire après modulateur MZM



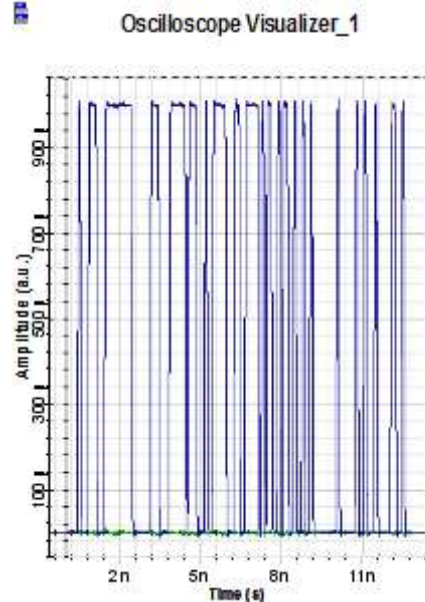
(b) le spectre optique



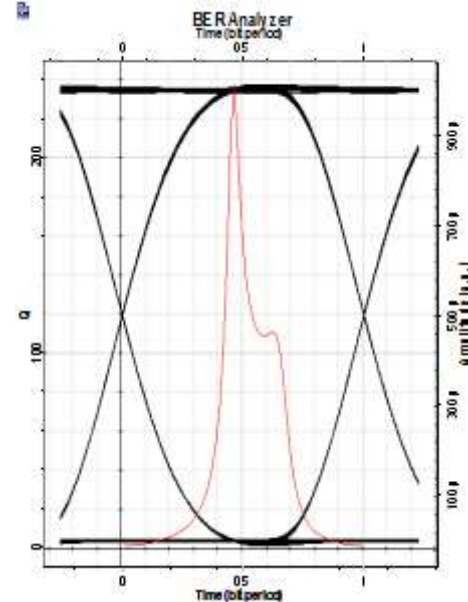
(c) Suite binaire après modulateur de phase



(d) le spectre optique



(e) Suite binaire dans récepteur



(f) le diagramme de l'œil

Figure III-2: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format chirp NRZ.

Le figure représente (b) le spectre optique après modulateur MZM et (d) représente le spectre optique après modulateur de phase .Nous remarquons une légère dégradation au niveau de la réception mais la qualité reste excellente.

III.2.2.Alternative de NRZ avec chirp

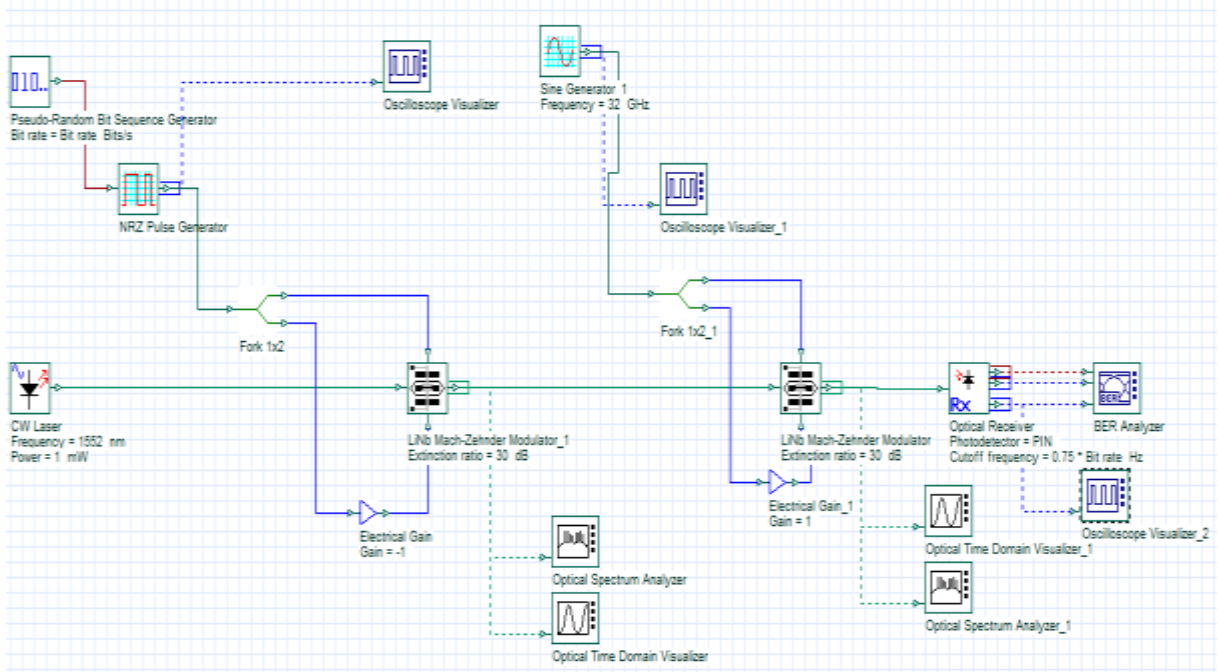
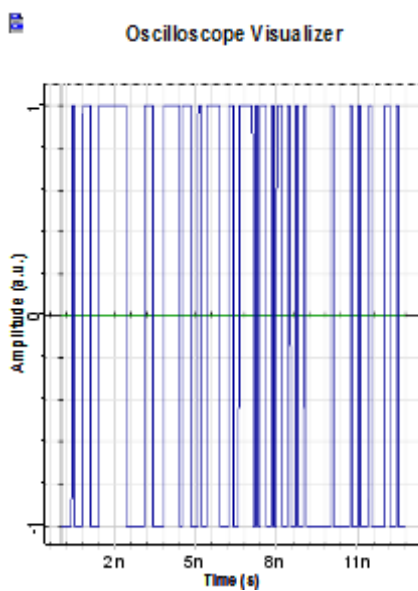
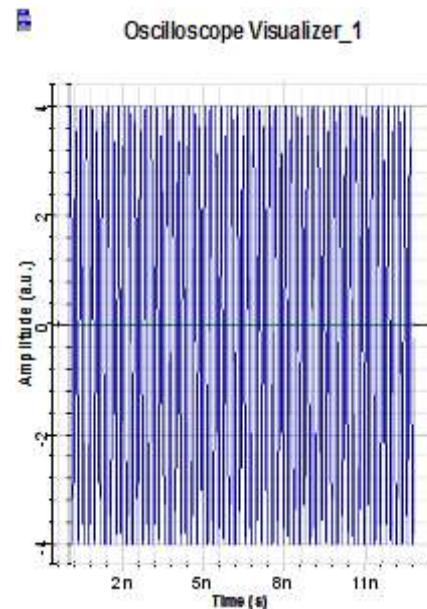


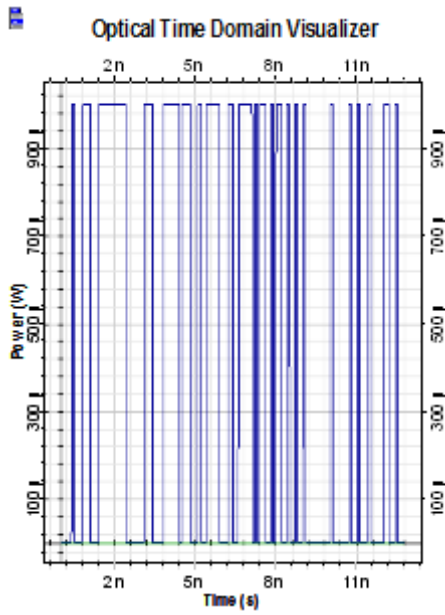
Figure III-3: schéma bloqué de simulation pour alternative de NRZ avec chirp.



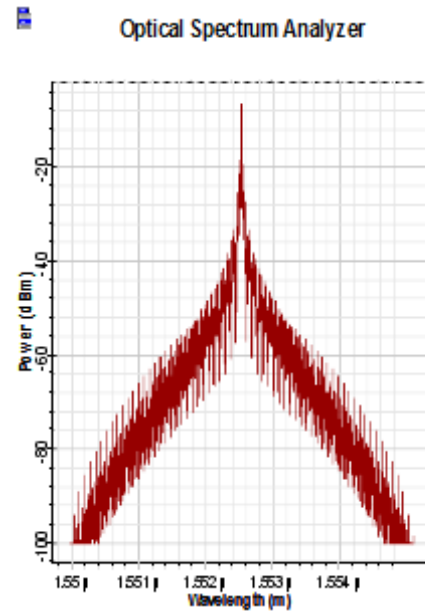
(a)suite binaire après générateur NRZ



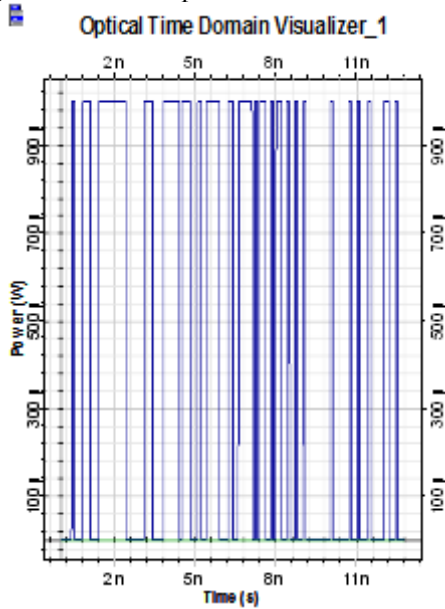
(b)suite binaire après générateur sinusoïdal



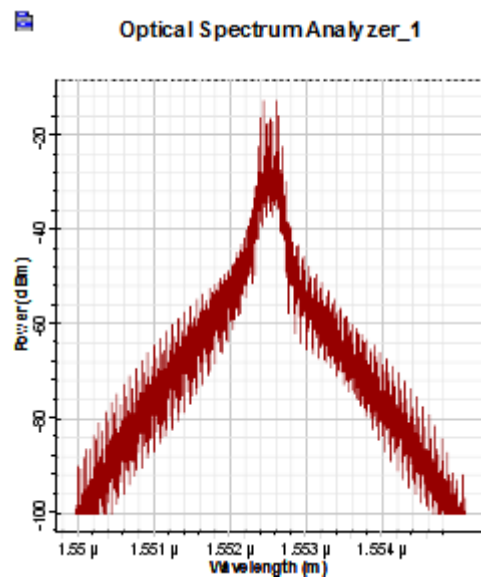
(c) suite binaire après modulateur MZM (1)



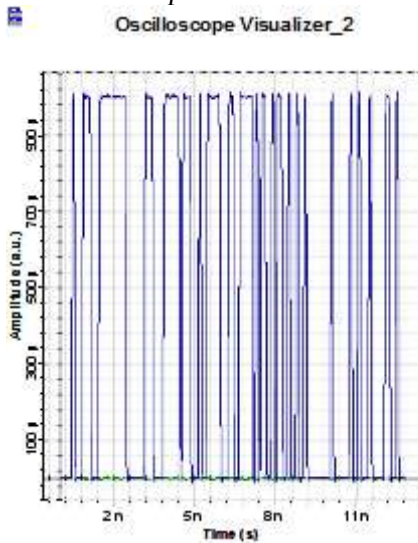
(d) le spectre optique (1)



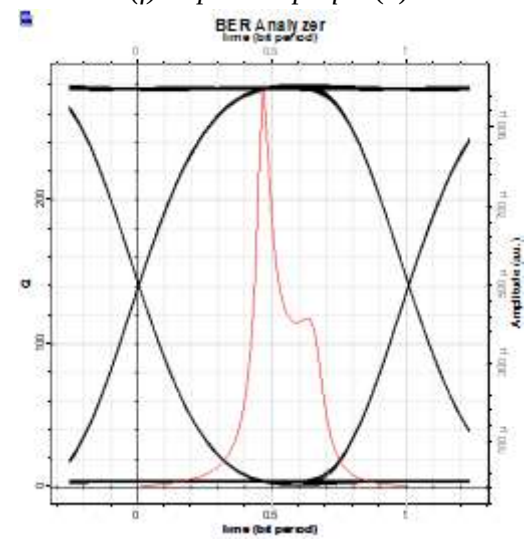
(e) suite binaire après le modulateur MZM (2)



(f) le spectre optique (2)



(g) suite binaire après au niveau du récepteur



(h) le diagramme de l'œil

Figure III-4: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format.

Le figure (d) représente le spectre après modulateur MZM (1) et (f) après modulateur MZM (2) et (h) le diagramme de l'œil .Nous remarque le symétrique diminue par rapport le spectre original et le diagramme l'œil représentent la bon qualité .

III.2.3.NRZ à bande latérale résiduelle

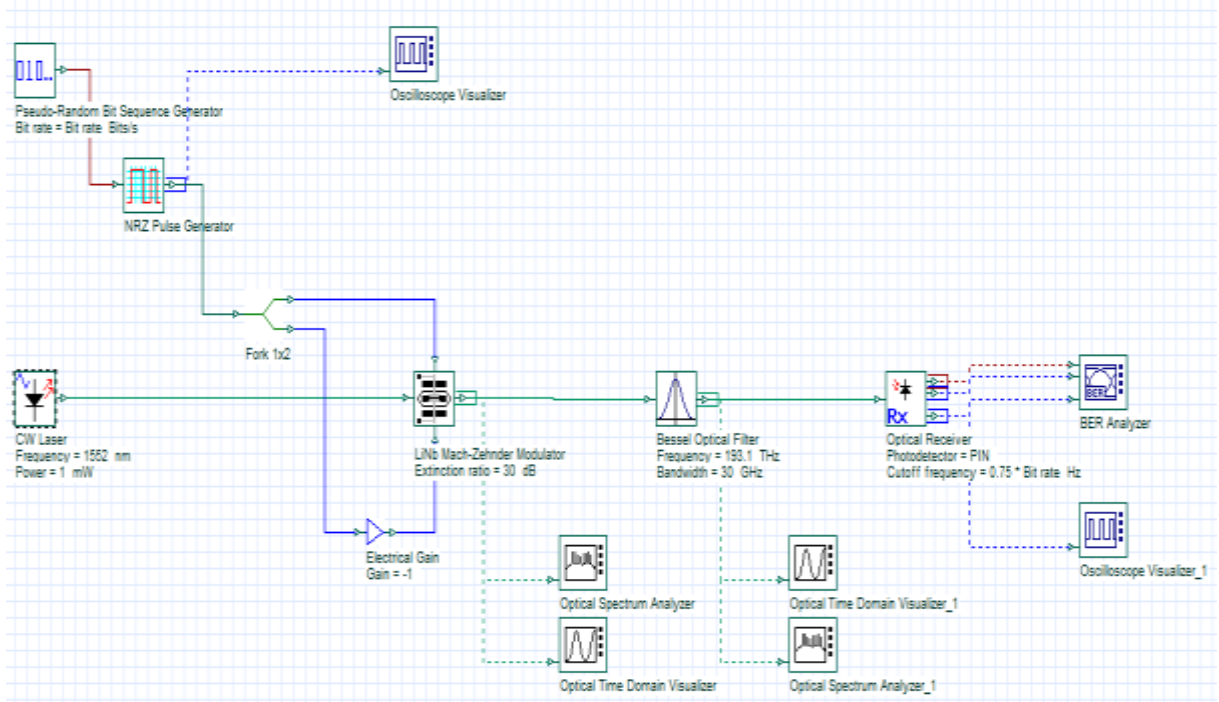
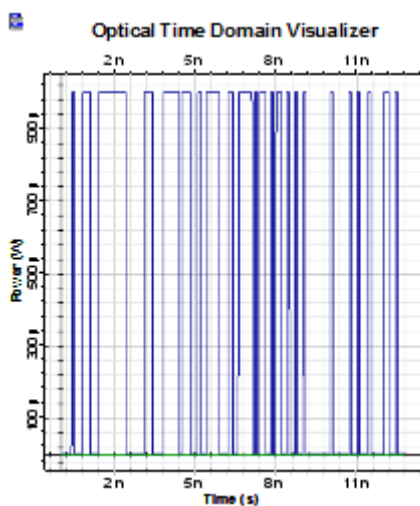
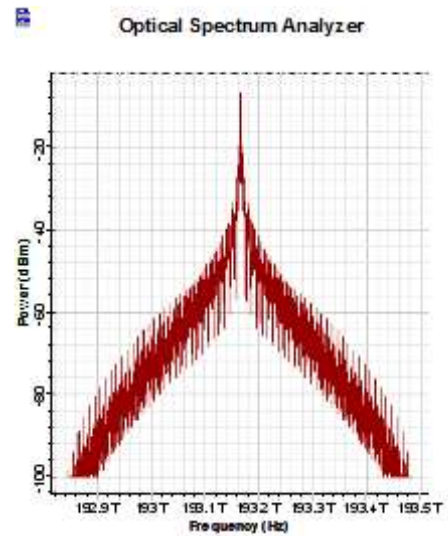


Figure III-5: schéma bloqué de simulation pour VSB NRZ



(a)suite binaire après modulateur MZM



(b)le spectre optique (1)

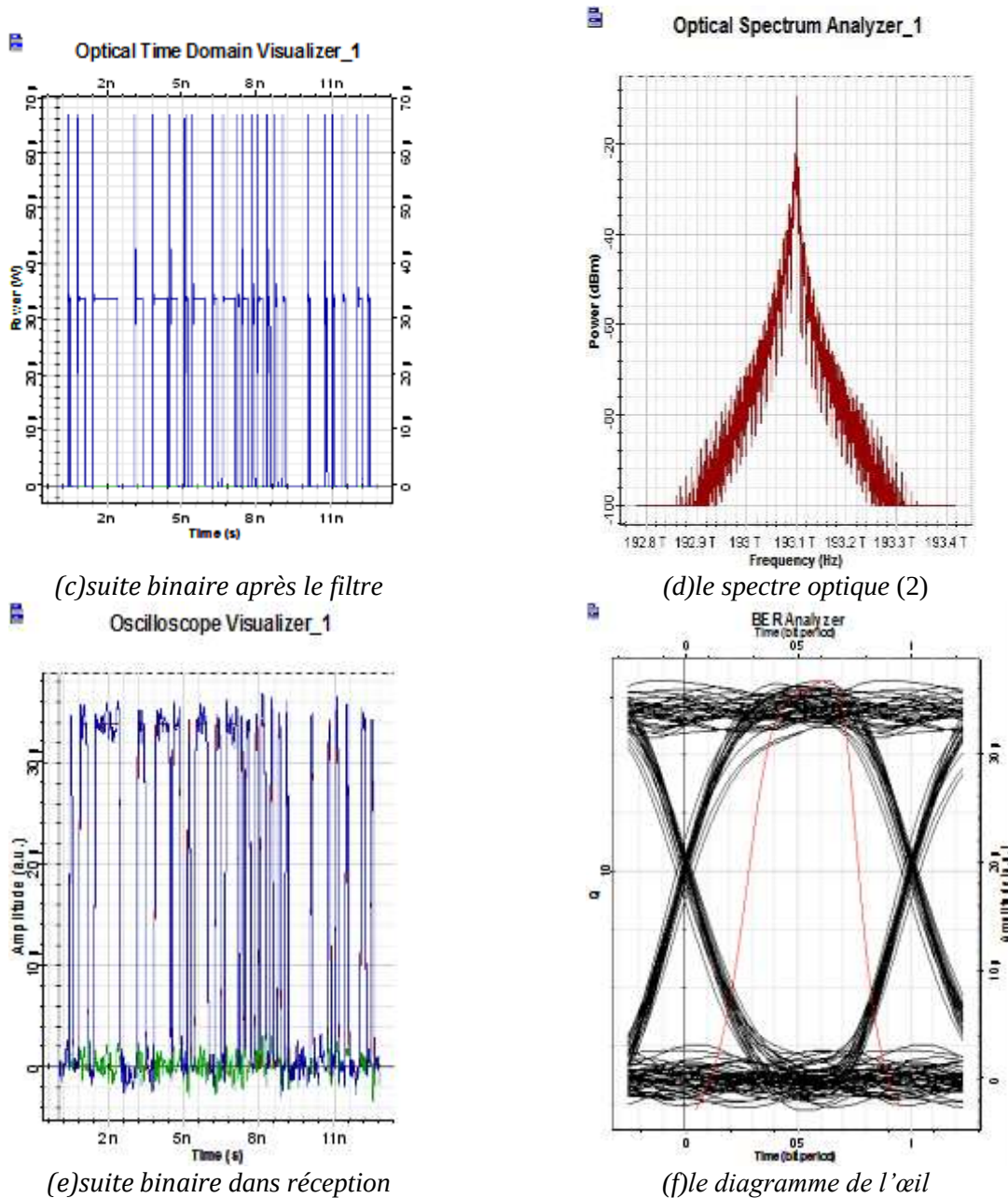


Figure III-6: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format VSB NRZ.

Pour de bons systèmes de transmission, l'ouverture des yeux doit être aussi large et ouverte que possible et la modulation NRZ est la meilleure technique pour les grands systèmes WDM. Le format NRZ donne de meilleurs résultats et donne moins de BER. Le taux d'erreur le plus faible a été observé dans le cas NRZ VSB.

III.2.4. RZ 50 %

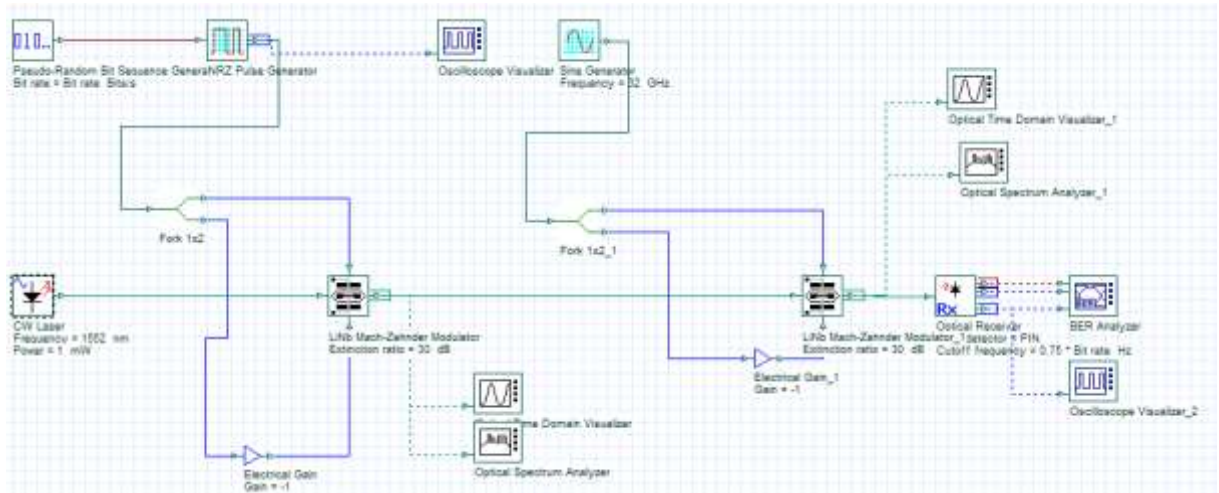
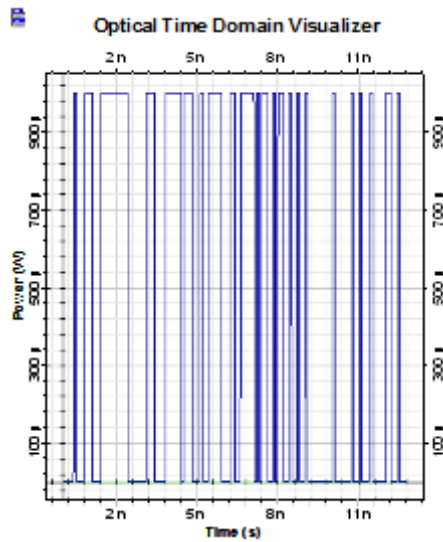
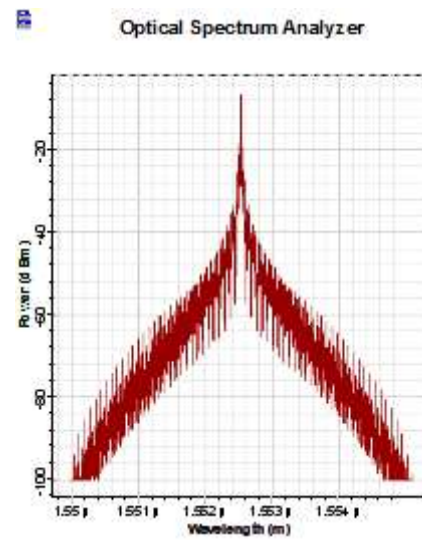


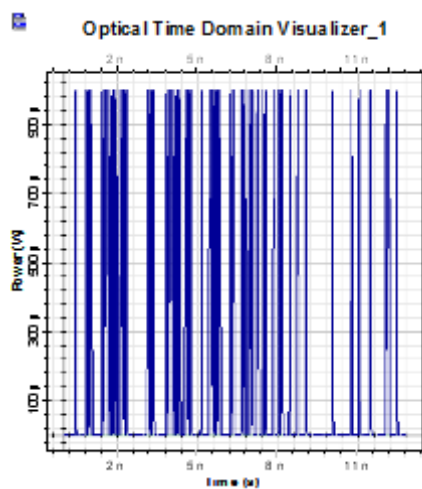
Figure III-7: schéma bloqué de simulation pour RZ 50%



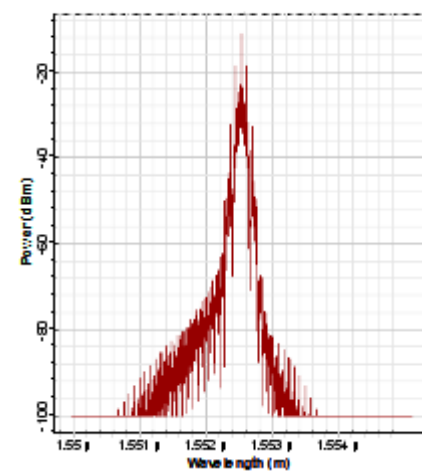
(a)suite binaire après modulateur MZM (1)



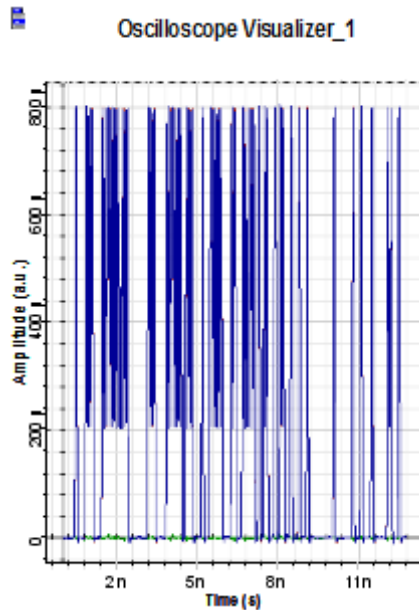
(b)le spectre optique (1)



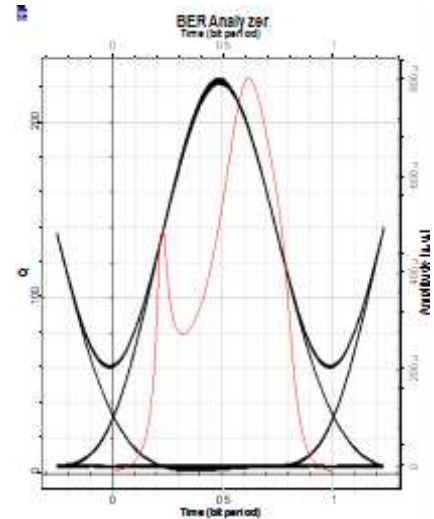
(c)suite binaire après modulateur MZM (2)



(d)le spectre optique (2)



(e) suite binaire au niveau de la réception



(f) le diagramme de l'œil

Figure III-8: représente la suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format RZ 50%.

Le figure (b) représente le spectre après modulateur MZM (1) et (d) après modulateur MZM (2) et (f) le diagramme de l'œil .le spectre optique après le modulateur MZM (2) en dégrader et le diagramme l'œil représentent la mauvaise qualité pour le perte d'information.

III.2.5.RZ 67%

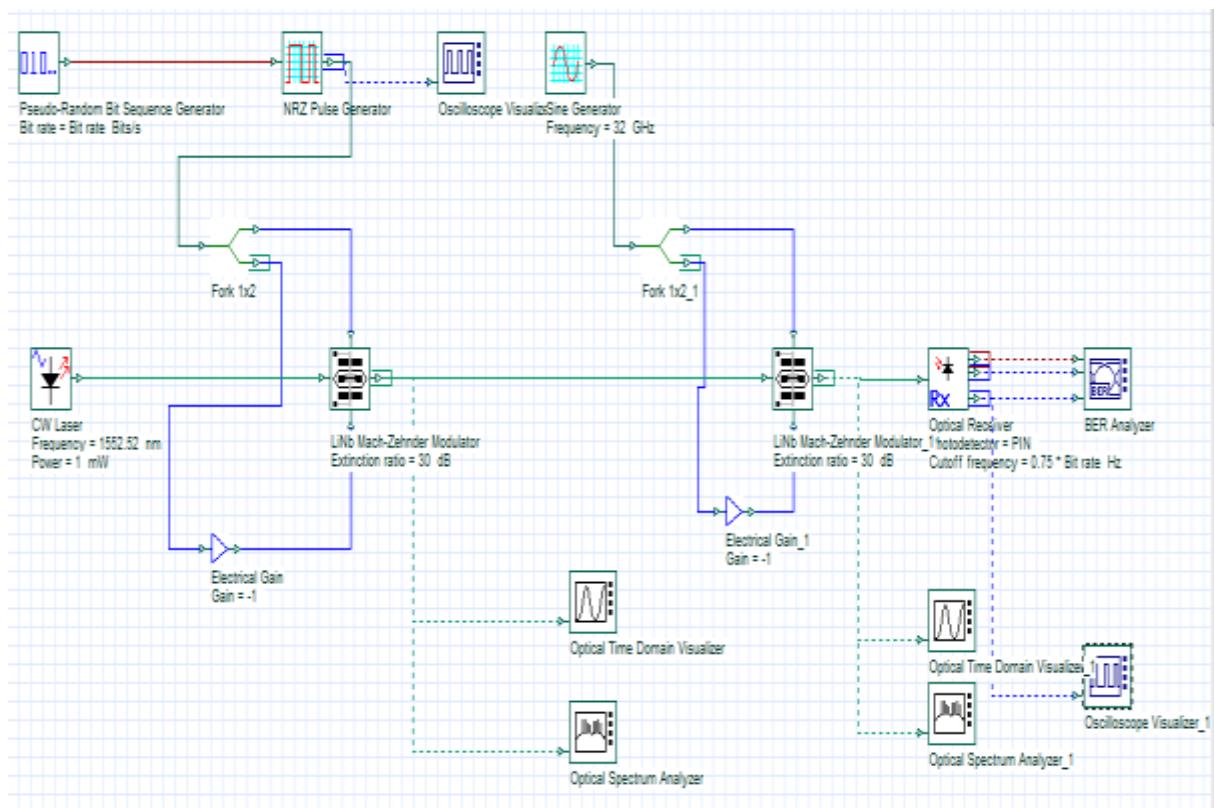
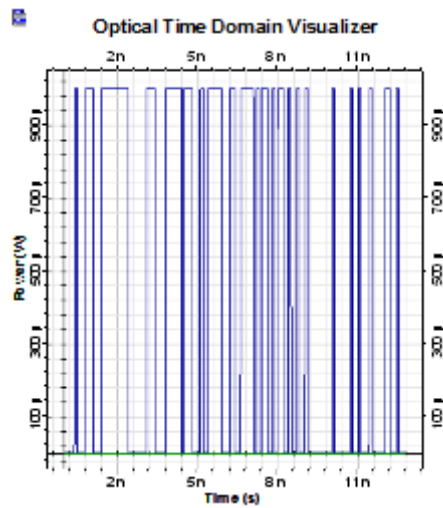
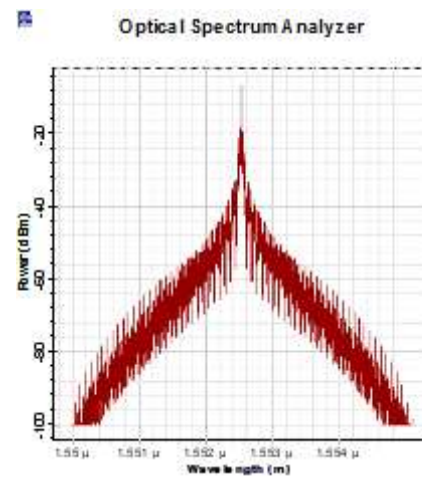


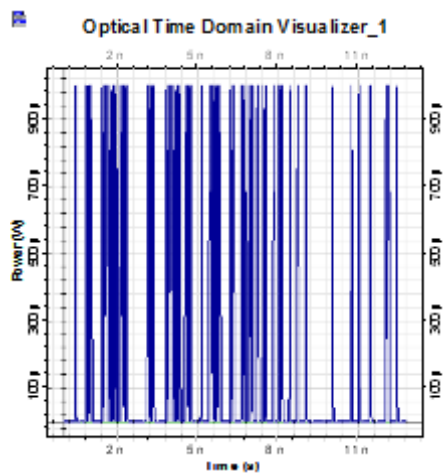
Figure III-9: schéma bloqe de simulation pour RZ 67%



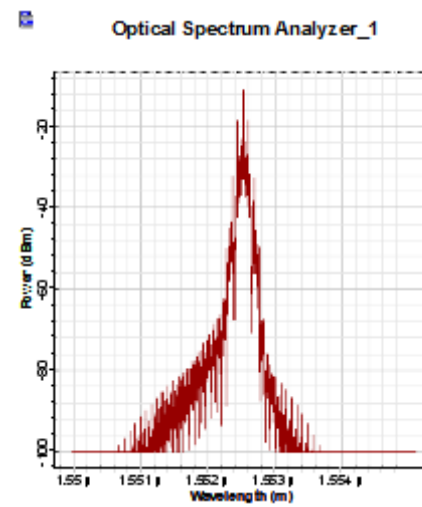
(a) suite binaire après le modulateur MZM (1)



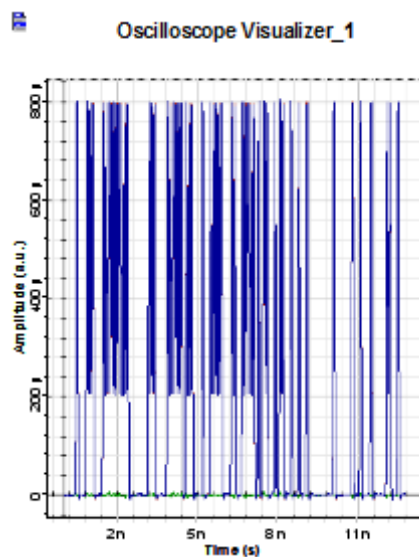
(b) le spectre optique (1)



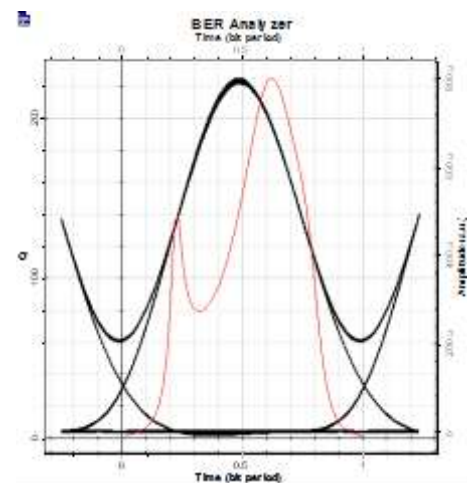
(c) suite binaire après le modulateur MZM (2)



(d) le spectre optique (2)



(e) suite binaire au niveau de la réception



(f) le diagramme de l'œil

Figure III-10: représente la Suite binaire, diagramme de l'œil et spectre du format RZ 67%

Le figure (b) représente le spectre après modulateur MZM (1) et (d) après modulateur MZM (2) et (f) le diagramme de l'œil. Le spectre optique après le modulateur MZM (2) en dégrader et le diagramme l'œil représentent la mauvaise qualité Mauvaise qualité due à contenir séquence binaire composée de 0 supérieur à 1.

III.2.6.RZ à bande latérale résiduelle (VSB)

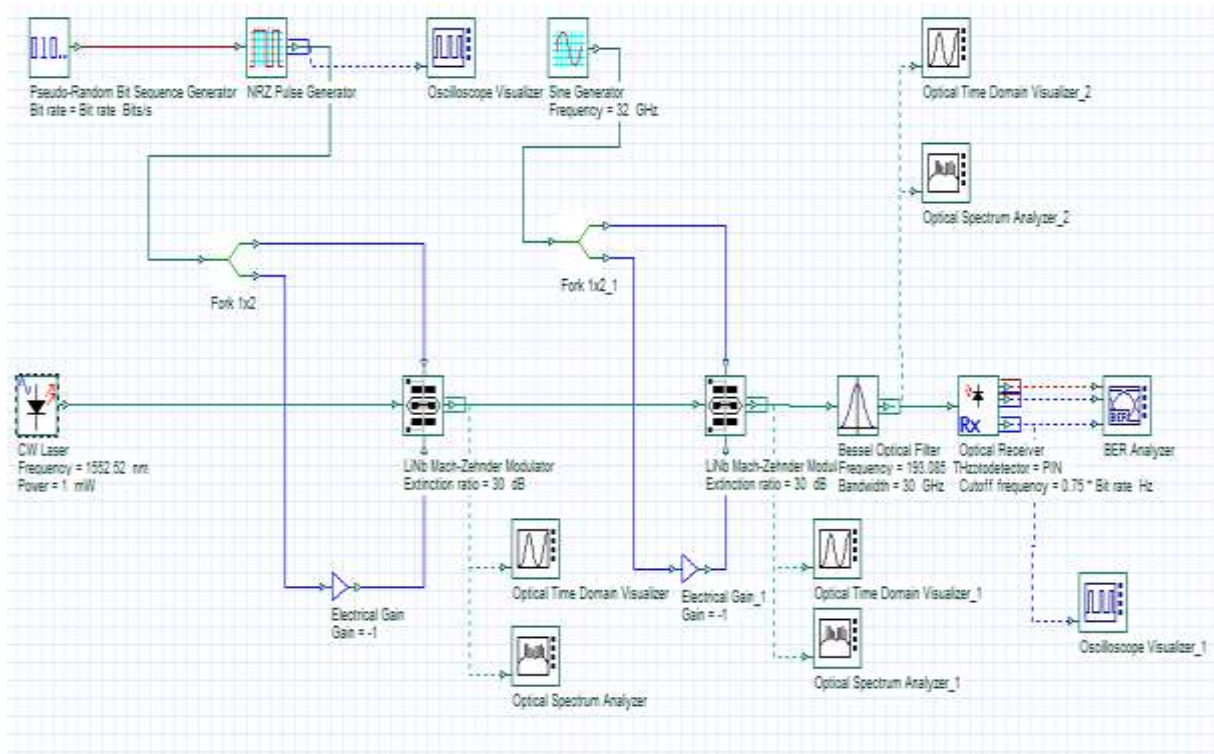
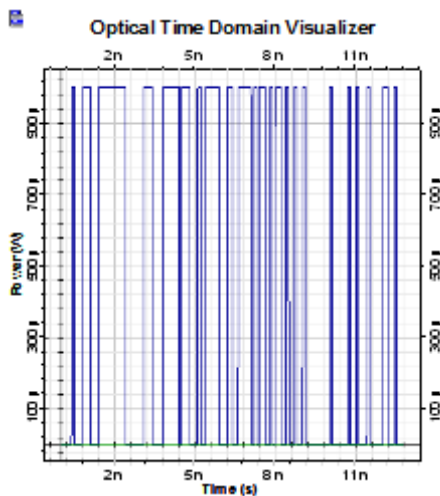
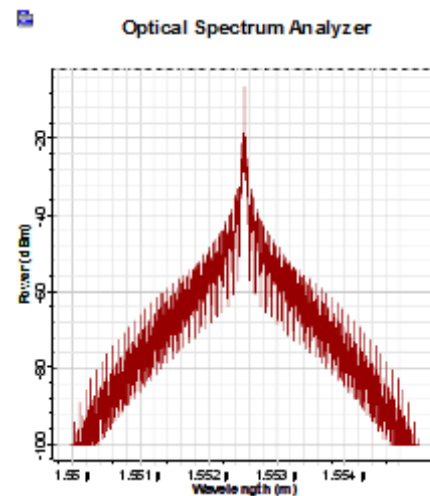


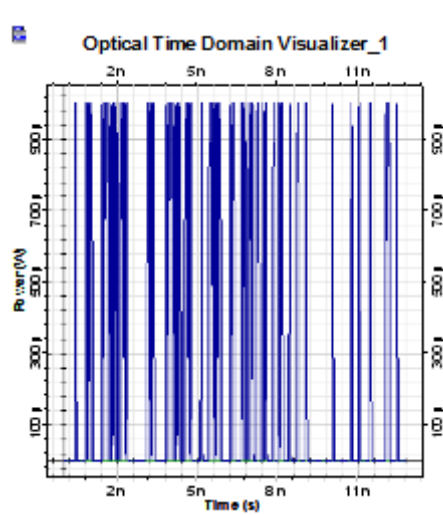
Figure III-11: schéma bloqué de simulation pour VSB RZ



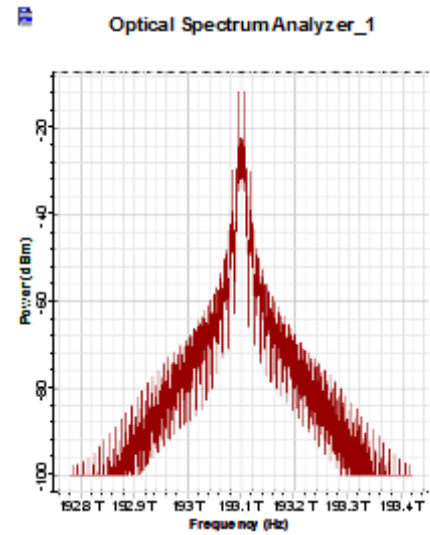
(a) Suite binaire après le modulateur MZM (1)



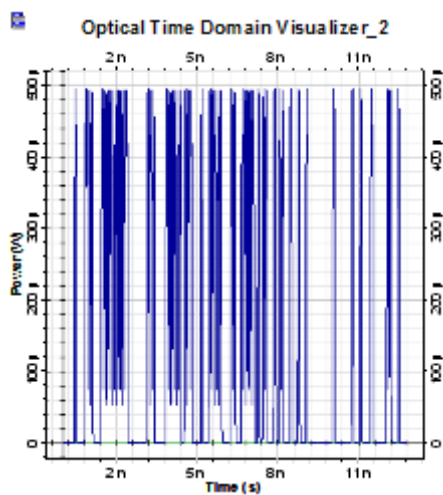
(b) le spectre optique (1)



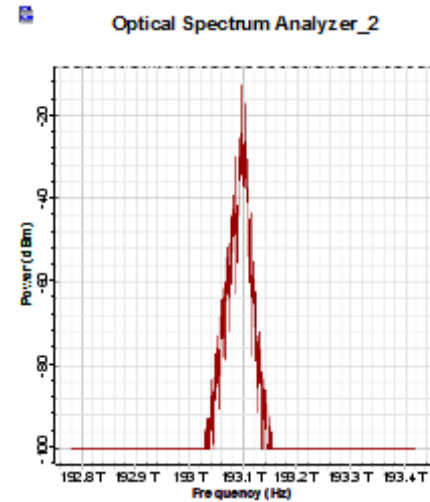
(c) Suite binaire après le modulateur MZM



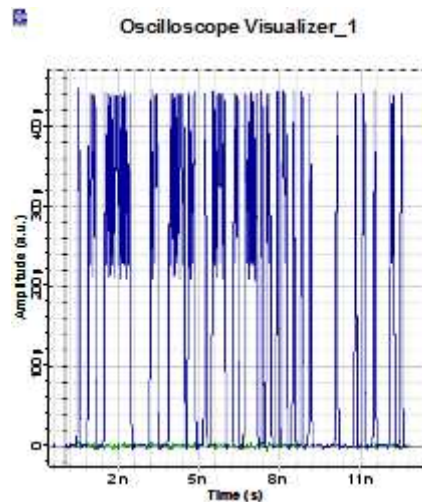
(d) le spectre optique (2)



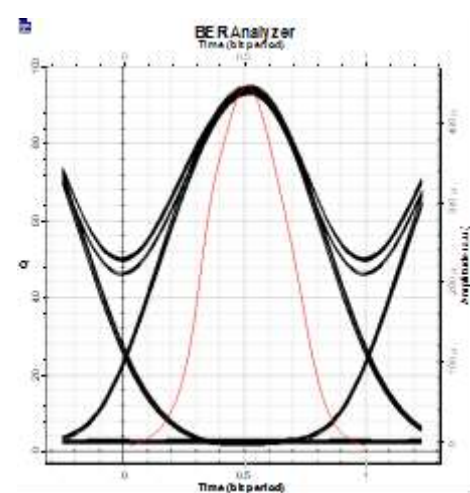
(e) Suite binaire après le filtre



(f) le spectre optique (3)



(g) Suite binaire au niveau de la réception



(h) le diagramme de l'œil

Figure III-12: représente la Suite binaire, le diagramme de l'œil et spectre du format VSB RZ.

Le figure (b) représente le spectre après modulateur MZM (1) ;(d) après modulateur MZM (2) ;(f) après le filtre et (h) le diagramme de l'œil. On remarque en dégradation le spectre pour le perte d'information .

Les systèmes RZ ont une plus grande pénalité de fermeture des yeux par rapport aux systèmes NRZ pour les puissances de canal faibles et modérées. Pour des puissances de canal plus élevées, les diagrammes d'œil montrés ci-dessus montrent des fluctuations légèrement petites indiquant une légère différence entre RZ 50% ,RZ 67%, et VSB RZ. Notez que ce dernier est meilleur que les autres.

III.3. Résultats de simulation

Tableau III-1: le résultat de simulation des différents formats de modulation NRZ et RZ

Parameters	Chirp NRZ	Alternative de chirp NRZ	VSB NRZ	RZ 50%	RZ 67%	VSB RZ
Facteur de Q	237.124	280.258	92.4653	224.975	236.439	95.2087
BER	0	0	0	0	0	0

Nous notons un changement dans la valeur de Facteur de Q où la plus grande valeur est Alternative de chirp NRZ et la valeur la plus basse VSB NRZ, et le taux d'erreur est fixe, nous déduisons qu'il n'y a pas d'erreur.

Nous avons choisi aussi les formats VSB NRZ et VSB RZ pour simuler une transmission à 40 Gbit/s sur fibre optique.

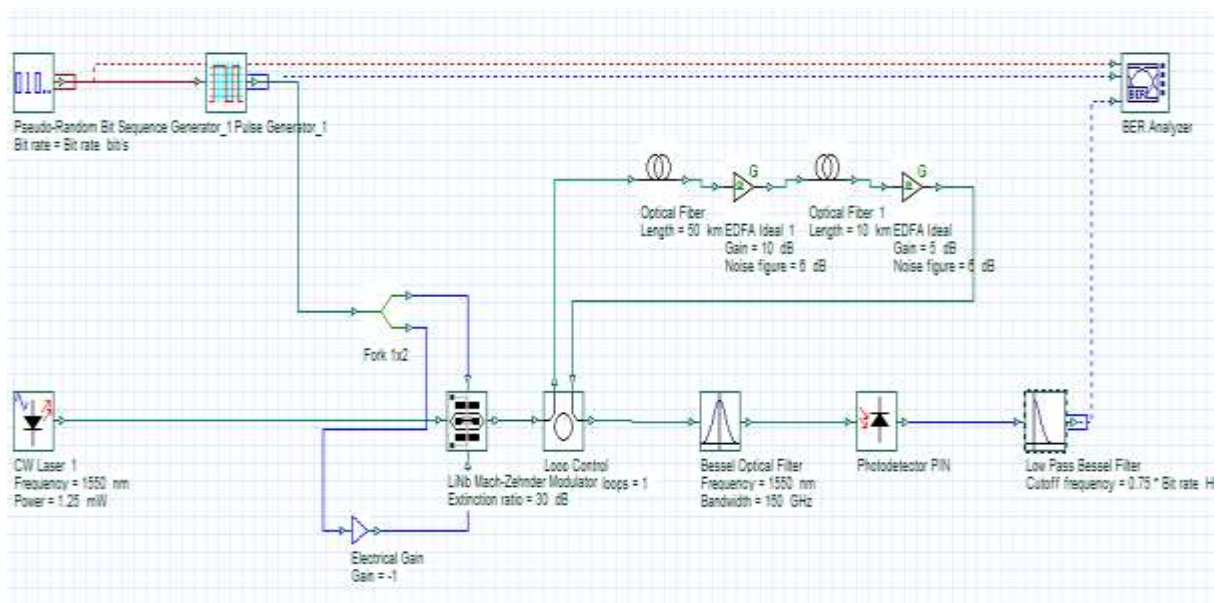


Figure III-13: schéma bloqe de simulation pour VSB NRZ 40 Gbits

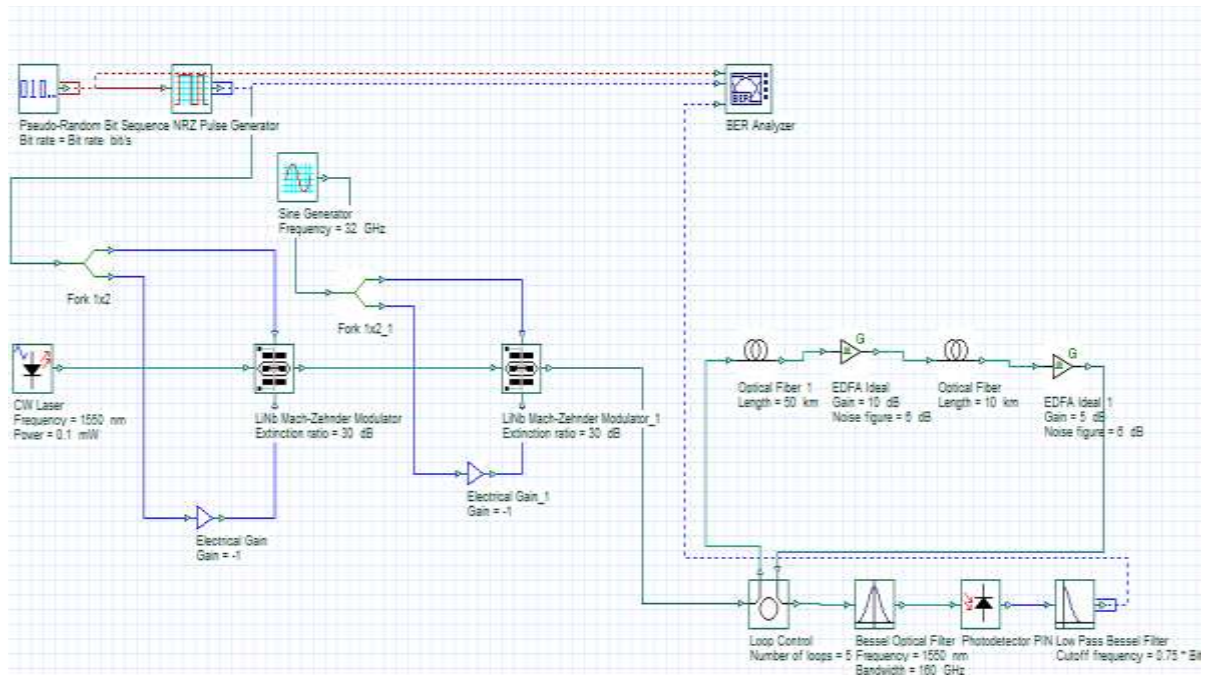


Figure III-14: schéma bloqué de simulation pour VSB RZ 40 Gbits

III.4. Description du system simulé

Nous avons une fibre monomode d'une longueur à 50 km avec une atténuation linéique de 0.2 dB/km et d'une dispersion chromatique de 16 ps/nm/km. Les pertes totales sont de 10 dB. Afin de compenser cette perte amplificateur optique (EDFA à gain de 10 dB) a été installée. La dispersion chromatique est compensée en utilisant une fibre compensatrice d'une longueur égale à 10 km avec une atténuation linéique de 0.5 dB/km et d'une dispersion chromatique (négative) de - 80 ps/nm/km. Nous utilisons un autre amplificateur optique (EDFA à gain de 5 dB) pour de compenser la perte dans la fibre compensatrice.

Les paramètres de la ligne de transmission à 40 Gbits/s sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-2: paramètres de modélisation de la ligne de transmission à 40 Gbits/s

Longueur de la fibre de transmission	50 km
Atténuation de la fibre de transmission	0,2 dB / km
Dispersion chromatique de la fibre de transmission	16 ps/nm/km
Gain de l'EDFA de la fibre	10 dB
Facteur de bruit de l'EDFA	6 dB
Gain de l'EDFA de la fibre compensation	5 dB
Longueur de la fibre de compensation	10 km
Atténuation de la fibre de compensation	0.5 dB/km
Dispersion chromatique de la fibre compensatrice	-80 ps/nm/km

III.5. Résultats des simulations

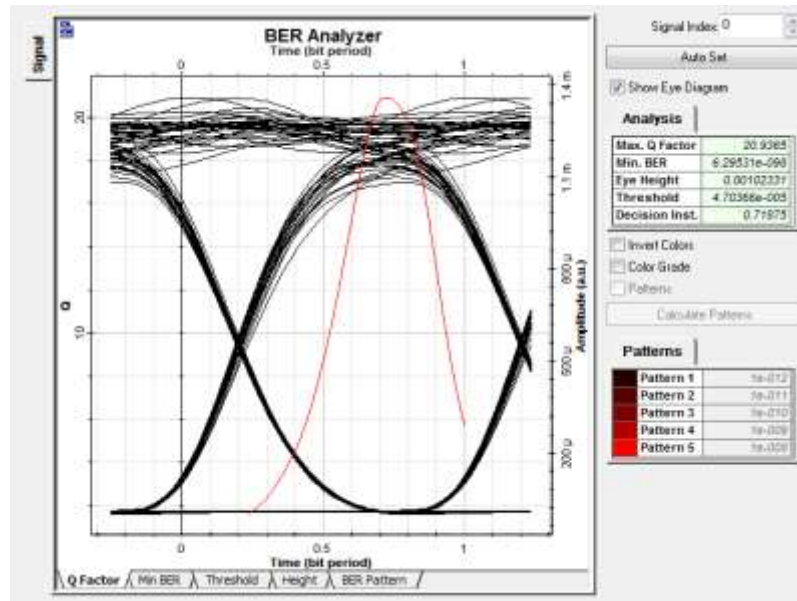


Figure III-15: Diagramme d'œil le canal VSB NRZ 40Gbit/s

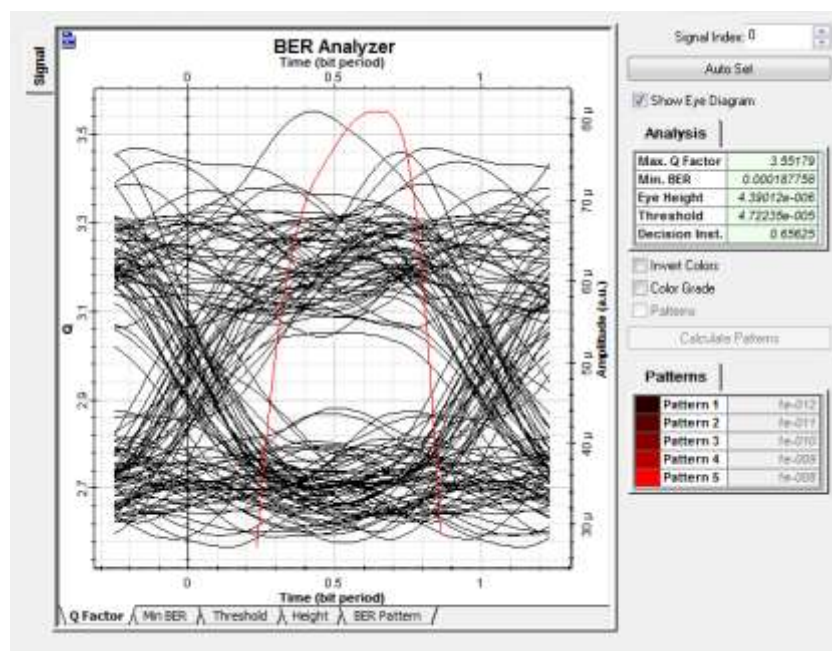


Figure III-16: Diagramme d'œil le canal VSB RZ 40Gbit/s

Les figures III.15 et III.16 représentent les diagrammes de l'œil ci-dessus représentés montrent des fluctuations assez réduites indiquant ainsi une super différence entre le signal VSB NRZ 40 Gbit/s et le signal VSB RZ 40 Gbit/s, ce qui confirme l'excellente qualité de transmission dans canal VSB NRZ.

III.6. Conclusion

Dans la partie théorique, nous avons mentionné que les NRZ sont meilleurs que RZ et que cela a été prouvé dans la partie de simulations numériques, le format NRZ est meilleur par rapport au format RZ.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce projet de fin de cycle porte sur l'étude des formats de modulation optiques. L'étude a été motivée par le fait que dans les futurs réseaux optiques, différentes configurations de modulation peuvent être sélectives en fonction de caractéristiques telles que la taille et le débit binaire parmi d'autres. Ainsi, il serait souhaitable d'avoir un lien transparent entre les réseaux pour les futurs systèmes de communication.

La première partie a été consacrée aux concepts de base liés aux systèmes de transmission optiques. Nous avons décrit les différentes parties des systèmes de transmission optiques que sont la modulation de signaux générés par des lasers, la propagation dans la fibre optique et la réception. Nous avons aussi décrit les différents effets linéaires limitant la propagation dans la fibre optique. Suivant le type de modulation utilisée à l'émission (externe et directe), les détections directes, peuvent être employées pour la réception des signaux optiques.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié deux formats de modulation différents NRZ (chirp et à bande latérale résiduelle) et RZ(RZ 50% , CSRZ 67 % , VSB RZ) qui conviennent pour un système de communication optique de 40 Gbps. Nous effectuons cela en deux parties, des principes théoriques puis des expériences par simulation. Dans la partie simulation, nous avons analysé les formats de modulation NRZ et RZ pour obtenir le facteur Q en fonction de la distance, nous pouvons dire que le format de modulation NRZ est meilleur pour les applications longue distance comparé à RZ.

En général, le choix entre les deux formats de modulation dépend principalement de plusieurs facteurs: niveau de puissance, distance de liaison et effets non linéaires. Comme un travail supplémentaire, nous suggérons aux étudiants à venir d'étudier les effets du débit de transmission différent de 40 Gbps. Bien qu'il soit à noter qu'il peut être appliqué et utilisé dans d'autres modes de transmission, tels que l'utilisation du multiplexage ou de la technique OFDM ou de technologie Radio sur Fibre optique où chacune de ces techniques peut faire l'objet de nouvelles recherches dans ce domaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] M. Abdelkader, « communication optique » , cours de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued , 2017/2018
- [2] Pierre Lecoy , «communication sur fibers optiques » , lavoisier Paris ,2015
- [3] M. le françois, « 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 de Paris-Sud, décembre 2007.
- [4] J. laurent, « Communication optiques a très haut débit », présenté au Conservatoire Nationale des Arts et Métiers, Centre de Paris, Département STIC, Spécialité Electronique, 2004
- [5] W. Daum, J. Krauser, P. E. Zamzow et O. Ziemann. « Optical Short Range Transmission Systems », Springer, deuxième édition, 2008.
- [6] M. N lagreb et R. bouzaher. «Les Formats de Modulation dans la Transmission Solitonique en Télécoms Optiques». Mémoires de fin d'études. Spécialité Télécommunication, S.L, 2007
- [7] Mathieu LEFRANÇOIS. «étude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 gbit/s», diplôme de doctorat de l'université paris-sud . Présentée le 6 décembre 2007.
- [8] 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.
- [9] T. Miya, Y. Terunuma, T. Osaka, T. Miyoshita, « Ultimate low-loss single-mode fiber at 1.55 μ m », Electronics Letters, Vol 15, No. 4, pp. 106-108, 1979.
- [10] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique ». Edition Dunod, 1996.
- [11]Carlos Eduardo PEREZ VALENZUELA.«formats de modulation pour les telecommunications optiques». docteur de l'enst bretagne. l'ecole nationale superieure des telecommunications de bretagne . le 13 Mars 2006
- [12] G. P. Agrawal, «Fibre-optic communication system» , 3nd Ed, 2002.
- [13] FRANCOIS P.L, BAYON J.F et ALARD F, «Characterization procedure of fiber packaging relative to microbends», Electronics Letters, 1985, Vol. 21, pp. 471-472
- [14] G. Mahlke et P. Gössing, «Câbles à fibres optiques»,S.L, 1989.
- [15] 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.

- [16] 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.
- [17] G.P.AGRAWAL, « Fiber-Optic Communication Systems», Institute of optics University of Rochester New York, April 2010.
- [18] T.N. NGUYEN, «Etude de composants optiques à base de fibres optiques non linéaire » Thèse de Doctorat de l'université de Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologie Laboratoire Foton, Octobre 2008.
- [19] Y. Bing, K. Ohsono, Y. Kurosawa, T. Kumagai, and M. Tachikura, «Low-loss holey fiber», Hitachi Cable Review, 2005.
- [20] D. Dahan and G. Eisenstein, «Numerical comparison between distributed and discrete amplification in a point-to-point 40-Gb/s 40-WDM-based transmission system with three different data formats», J. Light wave Technol, 2002.
- [21] 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 .
- [22] Jérémie PRADES « Conception d'un modulateur électro-optique Mach Zehnder 100 Gbits/s NRZ sur silicium » Thèse de doctorat Université de Bordeaux.
- [23] B. Wedding, « New method for optical transmission beyond dispersion limit», Electron. Lettre, vol. 28, pp. 1298–1300, 1992.
- [24] B. Wedding, B. Franz, and B. Junginger, «B10-Gb/s optical transmission up to 253 km via standard single-mode fiber using the method of dispersion-supported transmission» J. Lightw. Technol., vol. 12, pp. 1720–1727, Oct. 1994.
- [25] R. Gitlin, J. F. Hayes, and S. B. Weinstein, « Data Communications Principles. New York: Plenum», 1992.
- [26] J. Winzer and Renè-Jean Essiambre, «Advanced Modulation Formats for High- Capacity Optical Transport Networks», Journal of Light wave Technology, vol. 24, 2006.
- [27] A.H. Gnauck and P.J. Winzer, «Optical Phase-Shift-Keyed Transmission», Journal of Light wave Technology, vol. 23, 2005.
- [28] Dirk Van Den Borne, «Robust optical transmission systems», Technische Universiteit Eindhoven, 2008.
- [29] FOURCADIER, J. F. «Le générateur pseudo-aléatoire». Consulté le 01 Juin 2012.
- [30] KHEMIRI, S. « Génération d'impulsions optiques brèves à 40 GHz». Rap. de Proj. De fin d'étude. Ing. Télécom.
- [31] LEVASSEUR, J. Filtres passe-bas. 2006

Résumé

L'évolution de la transmission des données par fibre optique s'est accélérée depuis l'apparition de la technique de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM), qui permet d'atteindre des débits binaires de quelques Tbit/s transportés sur une seule et unique fibre. Comme tout système de communications, une liaison à fibre optiques est constituée d'un émetteur, une fibre (canal) et d'un récepteur. L'optimisation de la qualité de transmission est réalisée via un bon choix des composantes dans chaque parties de la liaison. Dans ce cadre, on s'intéresse à l'étude et l'analyse de l'influence du format de données, avant l'émission, sur les performances de la liaison. Ce projet porte, particulièrement, sur l'étude de l'impact de quelques variantes du format NRZ (Non chirpé, chirpé et à bande latérale résiduelle) et RZ (50%, CSRZ 67 %, VSB) sur une liaison point à point fonctionnant à une débit de 40 Gb/s.

Mots clés

Systèmes à fibres optiques, Format NRZ et RZ, Communications haut débit, Techniques de Modulation, Facteur de qualité Q, Taux d'erreur binaire.

Abstract

The evolution of optical fiber data transmission has accelerated since the advent of the wavelength division multiplexing (WDM) technique, which permits achieving bit rates of some Tbit/s transported on a single and unique fiber. Optical access networks of next generation are intended to provide multiple services simultaneously over the common network. In the future, access networks capable of interconnecting more users with a symmetrical bandwidth of up to 10 Gbps per client will be required. Like any communication system, an optical fiber link consists of an emitter, a fiber (channel) and a receiver. The optimisation of the transmission quality is achieved via a good choice of components in each part of the link. In this context, we are interested in the study and analysis of the influence of the data format, before the emission, on the performance of the link. This project focuses, in particular, on the study of the impact of some variants of the NRZ format (chirped and with residual lateral band) and RZ (RZ 50%, CSRZ 67%, VSB RZ) on a point-to-point link operating at a rate of 40 Gb/s.

Key words

optical fiber systems, NRZ format, modulation techniques, Q quality factor, bit error rate

ملخص

شهدت الاتصالات بالألياف البصرية تقدماً متعاضداً منذ استعمال تقنية دمج الاشارات في حزمة واحدة و ذلك باستخدام عدة أطوال أمواج، مما سمح ببلوغ سرعات تدفق للبيانات تتاهز التيرابيت/ثانية عبر ليف بصري واحد. ككل نظام اتصالات، فان نظام نقل البيانات عبر الألياف البصرية يتكون من مرسل، قناة و مستقبل. الاختيار الأمثل لهذه المكونات يسمح بتحسين الأداء ككل. في هذا الإطار، تهدف الدراسة المقدمة في هذه المذكرة الى دراسة شكل و بنية البيانات، قبل الإرسال، و تأثيرهما على أداء النظام. نركز بالخصوص على دراسة عدة خيارات لنظامي الترميز RZ و NRZ و تأثيرهما على وصلة اتصال ذات التدفق 40 جيجا بيت/ثانية.

كلمات مفتاحية: أنظمة الاتصالات عبر الألياف البصرية، نظامي RZ و NRZ، اتصالات ذات التدفق العالي، تقنيات التضمين، معامل الجودة Q، نسبة خطأ البيانات.