

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie



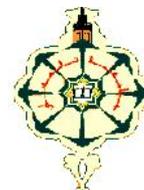
جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de
MASTER en

Réseaux Mobiles et Services de Télécommunication

Réalisé par

LARIBI Hidayet Fatima Zohra
AISSA MADAOUI Soumia

THEME

**Etude d'un système OCDMA avec les codes
Hadamard pour les signaux optiques incohérents**

Soutenu en Mai 2016 devant le Jury:

Mr O.SEDDIKI	Professeur à l'université de Tlemcen	Président
Mme H.DJELTI	Maitre de conférences à l'université de Tlemcen	Examineur
Mr A.R.BORSALI	Maitre de conférences à l'université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2015-2016



Remerciements

Nous adressons en premier lieu notre connaissance à notre dieu tout puissant , de nous avoir permis d'arriver là , car sans lui rien n'est possible.

Nous tenons à remercier notre encadreur monsieur BORSALI Ahmed Riad pour son temps, sa disponibilité, ses conseils, avoir critiqué notre humble travail et tout son aides

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont pris le soin de lire et évaluer notre mémoire: Dr. DJELTI Hamida et Professeur O.SEDDIKI.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

Merci



Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce mémoire :

A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur, à MA MERE...

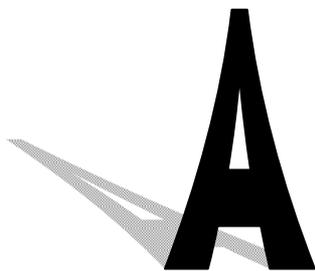
A MON PERE, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes Ces années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

A ma petite Sœur « CHAHLA »

A mon grand père HOUARI qui m'a encouragé d'achever mes études.

Que dieu les gardes et les protège

A ma binôme SOUMIA d'avoir eu Ce courage d'achever ce travail malgré tout ce qu'il a enduré.



Toute la famille OUAHRANI, LARIBI

Tous mes amis

Touts ceux qui m'aiment

HIDAYET F.Z





Dédicaces

Je dédie ce mémoire avec grand amour, sincérité et fierté :

A *mes chers parents, ma mère et mon père pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.*

A *mes chers frères « KheyrEddin », « Mohamed », « Amine ».*

A *ma sœur « Safaa » que je l'aime, tu es simplement adorable et je ne peux imaginer ma vie sans toi, tu es mon plus grand bonheur...*

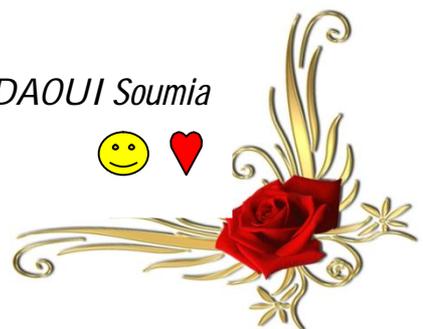
A *mon fiancé « Hichem » qui m'a beaucoup encourager.*

A *mes Beaux-parents et mes belles sœurs.*

A *ma meilleure amie « SEBAN Amel » et ma binôme « LARIBI Hidayet ».*

A *ma famille, tous les amis et toutes les personnes que j'aime.*

AISSA MADAOUI Soumia



Sommaire

Remerciements	
Liste des acronymes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation d'une liaison par Fibre Optique	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Description d'une liaison optique.....	2
I.3 Emetteurs optiques.....	3
I.3.1. Les LEDs (Light Emitting diodes).....	3
I.3.2. La diode Laser.....	4
I.3.3 Modulation.....	6
I.3.3.1 Modulation directe.....	6
I.3.3.2. Modulation externe.....	7
I.4 La Fibre optique.....	7
I.4.1 Structures et types de fibres.....	7
I.4.2 Principe de fonctionnement.....	8
I.4.3. Différents types de fibre optique.....	9
I.4.3.1. Fibre monomode.....	10
I.4.3.2. Fibre multimode.....	11
a. Fibre multimode à saut d'indice.....	11
b. Fibre multimode à gradient d'indice.....	11
I.4.4 L'atténuation.....	12
I.4.4.1 L'absorption.....	12
a. Absorption intrinsèque.....	12
b. Absorption extrinsèque.....	13
I.4.4.2. Diffusion.....	13
a. Diffusion intrinsèque.....	13
b. Diffusion extrinsèque.....	13
I.4.5. La dispersion.....	14

I.4.5.1 Dispersion intermodale.....	14
I.4.5.2 Dispersion chromatique.....	14
I.4.5.3 Dispersion du guide d'onde.....	15
I.4.6. Les avantages et inconvénients de la fibre optique.....	15
I.5. Le récepteur optique.....	15
I.5.1. Le photodétecteur.....	16
I.5.1.1 Principe de la photodétection.....	16
I.5.1.2 Les différents types des photodétecteurs.....	16
a. La photodiode PIN.....	16
b. La photodiode à avalanche.....	18
I.6 Les amplificateurs optiques.....	18
I.6.1. Les amplificateurs à effet Laser.....	19
I.6.1.1. Les amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA).....	19
I.6.1.2 Les amplificateurs à semi-conducteurs (SOA).....	20
I.6.2. Les amplification Raman.....	21
I.7 Les fibres de compensation(DCF).....	21
I.8 Conclusion.....	22

Chapitre II: Techniques de multiplexage et CDMA optique

II.1 Introduction.....	23
II.2. Multiplexage en fréquence (FDMA, Frequency Division Multiple Access).....	23
II.2.1 Multiplexage en longueur d'onde.....	24
II.2.1.1 Principe de WDM.....	24
II.2.1.2 Différents types de multiplexage en longueur d'onde.....	25
a. Coarse WDM (CWDM).....	25
b. Dense WDM (DWDM).....	26
c. Ultra Dense WDM (UDWDM).....	26
II.3. Multiplexage temporel (TDMA Time Division Multiple Access).....	26
II.3.1 Accès multiple à répartition de temps optique (OTDMA).....	27
II.3.2. Accès multiple à répartition de temps électrique (ETDMA).....	28
II.4. Les systèmes à accès multiple par répartition de code CDMA.....	28
II.4.1 Étalement de spectre.....	29
II.4.2 Étalement de spectre par séquence directe (DS-CDMA).....	30
II.4.3 Étalement de spectre avec saut de fréquence FH-SS.....	30

II.4.3 Étalement de spectre avec saut de temps TH-SS.....	31
II.5. Accès Multiple par Répartition de Code en Optique (OCDMA).....	32
II.5.1 Architecture d'OCDMA.....	32
II.5.2 Les différents types d'OCDMA.....	33
II.5.2.1 OCDMA Temporel.....	34
II.5.2.2 OCDMA spectral.....	35
a. OCDMA par encodage spectral de phase (SPE).....	35
b. OCDMA par encodage spectral d'amplitude (SAC).....	38
II.5.2.3 OCDMA par encodage spectral-temporel ((λ/t) ou FFH).....	39
II.5.2.4 OCDMA hybride et 2D.....	40
a. OCDMA+WDM.....	41
b. OCDMA 2D.....	41
II.5.3 Codes utilisés pour un système CDMA optique.....	41
II.5.3.1 Les codes unipolaires.....	42
a. Codes optiques orthogonaux (Optical Orthogonal Codes OOC).....	42
b. Séquences premières (Prime Sequences PS).....	44
c. Codes quadratiques congruents (Quadratic Congruent Codes QCC).....	45
d. Codes quadratiques congruents étendus (Extended Quadratic Congruence Code EQC).....	46
II.5.3.1 Les codes bipolaires.....	47
a. Codes de Gold.....	47
b. Codes de Gold Orthogonaux(OGC).....	49
c. Codes de Walch Hadamard (WH).....	49
II.6 Conclusion.....	51

Chapitre III: Résultats de simulation

III.1 Introduction.....	52
III.2 Présentation du logiciel Optisystem.....	52
III.2.1 Définition.....	52
III.2.2 Les avantages du logiciel.....	54
III.2.3 Les applications du logiciel.....	54
III.3 Présentation du système.....	54
III.3.1 Partie émission.....	56
III.3.1.1 Générateur binaire (PRBS).....	56
III.3.1.2. Générateur NRZ.....	57
III.3.1.3. La source optique.....	57
III.3.1.4. Le modulateur Mach-Zehnder.....	58

III.3.1.5. Encodeur.....	59
III.3.2 Canal de propagation.....	62
III.3.3. Partie réception.....	62
III.3.3.1. Décodeur.....	63
III.3.3.2 Filtre de Bessel passe bas.....	64
III.4. Qualité de transmission d'une liaison.....	64
III.4.1 Taux d'erreurs binaires.....	65
III.4.2. Facteur de qualité.....	65
III.4.3. Diagramme de l'œil.....	66
III.5. Résultat de simulation.....	67
III.5.1 Les principaux codes de chaque utilisateur.....	67
III.5.2. Etude comparatif entre le signal émis et reçu.....	68
III.5.3. Effet de variation de Débit binaire.....	70
III.5.4. Effet de variation de la distance de la fibre optique.....	72
III.5.5. Comparaison entre les utilisateurs.....	75
III.6 Conclusion.....	77
Conclusion générale.....	78

Liste des acronymes

Abréviation	Signification anglais	Traduction française
LED	Light Emitting Diode	Diode électroluminescentes
LD	Laser Diode	Diode laser
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium
SOA	Semi-conductor Optical Amplifier	Amplificateur optique à semi-conducteur
DCF	Dispersion Compensation Fiber	Fibre de compensation de dispersion
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Multiplexage en fréquence
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde
TDMA	Time Division Multiplexing Access	Multiplexage temporel
OTDMA	Optical Time Division Multiplexing Access	Multiplexage optique à répartition temporelle
ETDMA	Electronic Time Division Multiplexing Access	Multiplexage électronique à répartition temporelle
CDMA	Code Division Multiplexing Access	Accès Multiple par Répartition de Code
DS-CDMA	Direct sequency Spread Spectrum	Étalement de spectre par séquence directe
FH-SS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Étalement de spectre avec saut de fréquence
TH-SS	Time Hopping spread Spectrum	Étalement de spectre avec saut de temps
OCDMA	Optical Code Division Multiplexing Access	Accès Multiple par Répartition de Code en Optique
SPE-OCDMA	Spectral Phase Encoded Optical CDMA	OCDMA par encodage spectral de phase
SAC-OCDMA	Spectral Amplitude Coding Optical CDMA	OCDMA par encodage spectral d'amplitude
OOC	Optical Orthogonal Codes	Codes optiques orthogonaux
PS	Prime Sequences	Séquences premières
QCC	Quadratic Congruent Codes	Codes quadratiques congruents

EQC	Extended Quadratic Congruence	Codes quadratiques congruents étendus
GC	Gold codes	Codes de Gold
OGC	Orthogonal Gold Codes	Codes de Gold orthogonaux
WH	Walsh Hadamard Codes	Codes de Walsh-Hadamard

Liste des figures

Figure I.1	Synoptique générale d'un système de communication par fibre optique.....	2
Figure I.2	Le phénomène d'émission spontanée.....	4
Figure I.3.	Schéma simplifié d'une diode électroluminescente.....	4
Figure I.4.	Principe de fonctionnement d'un Laser.....	5
Figure. I.5.	Schéma des processus d'absorption (a) et de l'émission stimulée (b).....	5
Figure I.6.	Modulation directe.....	6
Figure I .7.	Modulation externe.....	7
Figure I.8.	Structure de la fibre optique.....	8
Figure I.9.	Ouverture numérique d'une fibre optique.....	9
Figure I.10	fibre monomode et multimode.....	10
Figure I.11.	Fibre optique monomode.....	10
Figure I.12.	Fibre optique multimode à saut d'indice.....	11
Figure I.13.	Fibre optique multimode à gradient d'indice.....	12
Figure I.14.	Atténuation spectrale d'une fibre optique.....	13
Figure I.15.	Coupe transversale d'une photodiode PIN.....	17
Figure I.16.	Photodiode à avalanche PDA.....	18
Figure I.17.	Les différents types d'amplificateurs optiques.....	19
Figure I.18.	Configuration d'un amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium.....	20
Figure I.19.	Structure de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs. L, d et w sont respectivement la longueur, l'épaisseur et la largeur de la zone active.....	20
Figure I .20	.Réduction de la réflectivité dans un SOA par (a) un traitement antireflet et (b) une inclination de la zone active.....	21
Figure II.1.	L'accès multiple à répartition en fréquence (FDMA).....	23
Figure II.2.	Multiplexage en longueur d'onde WDM.....	24
Figure II.3.	Principe d'une liaison WDM.....	25
Figure II.4.	La technique Coarse WDM pour un espacement de 20 nm.....	25
Figure II.5.	La technique Dense WDM pour un espacement de 0.8 nm.....	26
Figure II.6:	Accès multiple à répartition dans le temps.....	27
Figure II.7:	L'accès multiple par répartition de code CDMA.....	29

Figure II.8. La famille des étalements de spectre.....	32
Figure II.9: OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile.....	33
Figure II.10 codage spectral OCDMA.....	35
Figure II.11 : Présentation schématique du SPE-OCDMA.....	36
Figure II.12 : Représentation schématique du SAC-OCDMA, chaque couleur représente une case fréquentielle.....	38
Figure II.13 : Matrices en deux dimensions représentant des codes (λ/t) OCDMA.....	40
Figure II.14 : Représentation schématique d'un système (λ/t) OCDMA.....	40
Figure II.15 : OCDMA en 2D.....	41
Figure III.1. Les fenêtres dans OptiSystem.....	53
Figure III.2. Schéma d'une liaison optique pour 7 utilisateurs.....	55
Figure III.3. Schéma de la partie émission.....	56
Figure III.4. Format de NRZ.....	57
Figure III.5. Signaux de sorties temporel (a) et spectral (b) de source optique.....	58
Figure III.6. Modulateur Mach-Zehnder.....	58
Figure III.7 : Principe de l'encodage spectral SAC-OCDMA (a) pour usager désiré avec code i ; (b) pour un interférent avec le code j	60
Figure III.8. : Schéma de la partie réception.....	62
Figure III.9 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code $\#i$	63
Figure III.10. Fonctionnement du système de décodage de l'utilisateur i pour un signal émis avec le code i	64
Figure III.11. Correspondance entre facteur de qualité Q et le taux d'erreur binaire.....	66
Figure III.12. Diagrammes de l'œil.....	67
Figure III.13. Les codes obtenus après les encodeurs.....	68
Figure III.14. Le signal émis.....	69
Figure III.15. Le signal reçu.....	69
Figure III.16. Comparaison entre signal émis et signal reçu.....	69
Figure III.17. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 1.....	70

Figure III.18. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire(b) en fonction du débit pour l'utilisateur 2.....	70
Figure III.19. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 3.....	71
Figure III.20. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 4.....	71
Figure III.21. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 5.....	71
Figure III.22. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 6.....	72
Figure III.23. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 7.....	72
Figure III.24. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 1.....	73
Figure III.25. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 2.....	73
Figure III.26. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 3.....	73
Figure III.27. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 4.....	74
Figure III.28. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 5.....	74
Figure III.29. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 6.....	74
Figure III.30. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 7.....	75
Figure III.31. Les diagrammes de l'œil des sept utilisateurs.....	76

Liste des tableaux

Tableau II.1. Les caractéristiques des modes WDM	26
Tableau II.2. Famille de codes OOC ($\omega=4$).....	43
Tableau II.3. Famille de codes premiers $\{PS5()\}$	44
Tableau II.4. Famille de codes congruents $\{QC5()\}$	45
Tableau II.5. Famille de codes quadratiques congruents étendus $\{EQC5()\}$	46
Tableau II.6. Famille de codes de Gold $\{GC3()\}$	48
Tableau II.7. Famille de codes de Gold orthogonaux $\{OGC3()\}$	49
Tableau II.8. Famille de codes Walsh Hadamard $\{WH4()\}$	50
Tableau III.1. Les longueurs d'ondes pour les sept utilisateurs.....	61
Tableau III.2. Paramètre Caractéristique de la Photodiode PIN.....	64
Tableau III.3. Les valeurs des BERs et les facteurs de qualité Q.....	77

I.1 Introduction

Le besoin de l'être humain pour les communications n'a jamais cessé d'évoluer et ne pourrait être comblé. C'est pourquoi il faut toujours de nouvelles solutions pour les transmissions numériques. Ces transmissions ont évolué dans le temps mais ont gardé la même structure, Voire un émetteur, un support de transmission et un récepteur.

De nombreux tests ont été effectués, de nombreuses modèles ont été proposés mais la fibre optique est la référence de support de transmission du point de vue qualité et débit. [1]

La fibre optique, est devenue un des média les plus utilisés pour transporter tous types de données (audio, vidéo, Internet). Ce choix est dû aux efforts soutenus des chercheurs dans le domaine des télécommunications optiques.

Ce chapitre introduit le système de transmission optique, nous décrivons les éléments constituant les extrémités d'une liaison à savoir l'émetteur qui est composé d'une diode DEL, ou une diode laser et d'une modulation, un canal de propagation qui est la fibre optique, et enfin le récepteur, qui contient la photodiode PIN la photodiode à avalanche(PDA). Ensuite on va définir les amplificateurs optiques et les fibres de compensatrice de dispersion (DCF).

I.2 Description d'une liaison optique

Comme tous les systèmes de communications, les liaisons optiques se basent sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information: l'élément d'émission, le canal de communication et le récepteur (figure I.1). La particularité de ces systèmes provient des éléments utilisés pour effectuer le transport de l'information. [1]

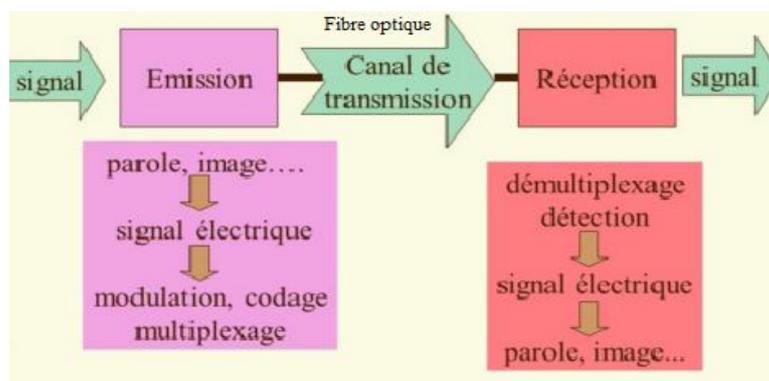


Figure I.1 Synoptique générale d'un système de communication par fibre optique

L'information primaire que l'on veut transmettre a distance est convertie en un signal électrique qui, modulée par un émetteur est convertie en un signal optique.

Le signal émis par la source est ensuite injecté dans la fibre ou il se propage avec une certaine atténuation et une certaine dispersion. Ces deux phénomènes se traduisent par une limitation de la longueur de la liaison au-delà de laquelle la qualité se détériore. Pour remédier à ces problèmes. Le signal va être amplifié par des amplificateurs optiques.

Le signal reçu est ensuite convertie en un signal électrique par l'intermédiaire d'une photodiode. [2]

Pour cela on va définir chaque partie de ce système, en commençant par la partie émission ainsi le support de transmission qui est la fibre optique, et on termine par les récepteurs optiques.

I.3 Emetteurs optiques

L'émetteur optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux optiques pour les véhiculer au cœur de la fibre. Les informations à transmettre dans un système de télécommunications optiques doivent être inscrites sur le support que constitue la lumière émise par une source de lumière qui peut être une diode électroluminescentes DEL (en anglais LED : Light Emitting Diode) qui fonctionne principalement dans le domaine visible, ou un laser qui est utilisé pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550nm. [2]

I.3.1. Les LEDs (Light Emitting diodes)

Une diode électroluminescente plus connue sous l'appellation DEL ou LED désigne un composant optoélectronique qui permet l'émission de lumière polychromatique. Ce dispositif émet de la lumière lorsqu'il est traversé par un courant électrique, un courant qui ne peut le parcourir que dans un seul sens.

Les LED font partie des dispositifs d'éclairage les plus performants du point de vue énergétique, car elles convertissent très peu d'électricité en chaleur et elle optimise l'énergie pour produire un maximum de lumière; elles n'émettent pas de radiation infrarouge et n'émettent pas de rayons ultraviolets qui endommagent les matériaux. [3]

Les LED émettent de la lumière incohérente par émission spontanée qui provoque l'injection des électrons à travers une jonction PN particulière polarisé en directe (figure I.2).

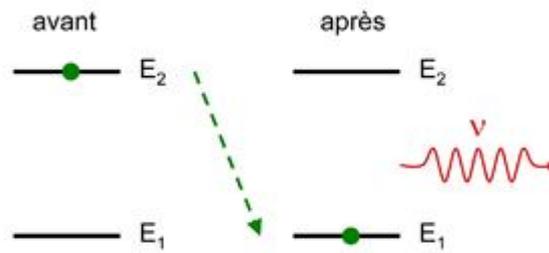


Figure I.2 Le phénomène d'émission spontanée

Le procédé repose sur l'émission spontanée d'un photon produit grâce à la recombinaison d'un électron et d'un trou dans un semi-conducteur. [3] Une diode électroluminescente est constituée d'une jonction p-n et d'une zone active au cœur de celle-ci. (Figure I.3) C'est là que vont avoir lieu les recombinaisons électrons-trous. [4]

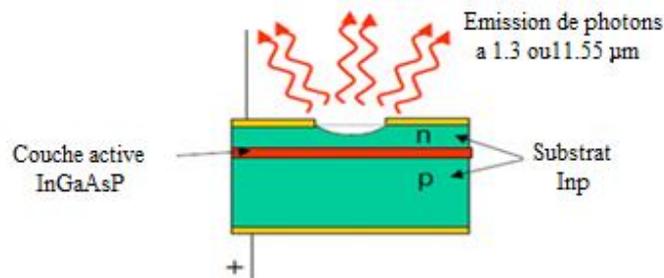


Figure I.3. Schéma simplifié d'une diode électroluminescente

I.3.2. La diode Laser

Un laser est un dispositif à semi-conducteur qui génère de la lumière monochromatique et cohérente acronyme de « Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation ».

Une source laser associe un amplificateur optique basé sur l'effet laser à une cavité optique (figure I.4), encore appelée résonateur, généralement constituée de deux miroirs, dont au moins l'un des deux est partiellement réfléchissant, c'est-à-dire qu'une partie de la lumière sort de la cavité et l'autre partie est réinjectée vers l'intérieur de la cavité laser.

Les caractéristiques géométriques de cet ensemble imposent que le rayonnement émis soit d'une grande pureté spectrale, c'est-à-dire temporellement cohérente. Le spectre du rayonnement contient en effet un ensemble discret de raies très fines, à des longueurs d'ondes

définies par la cavité et le milieu amplificateur. La finesse de ces raies est cependant limitée par la stabilité de la cavité et par l'émission spontanée au sein de l'amplificateur (bruit quantique). [5]

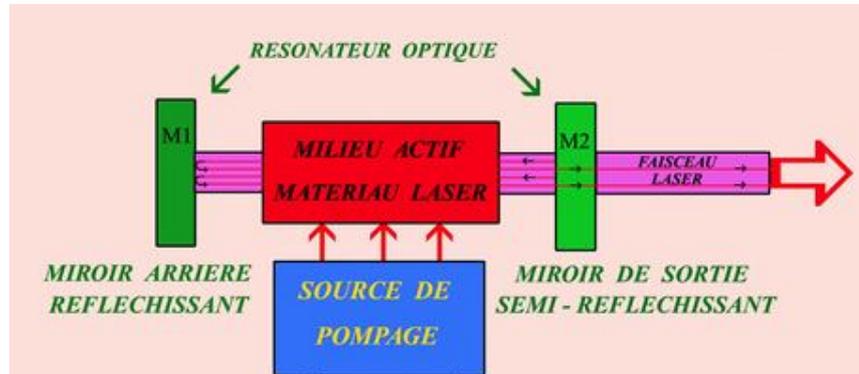


Figure I.4. Principe de fonctionnement d'un Laser

La diode laser se base sur trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière. Ces processus sont :

- L'émission spontanée
- L'absorption (figure I.5 a).
- L'émission stimulée (figure I.5 b).

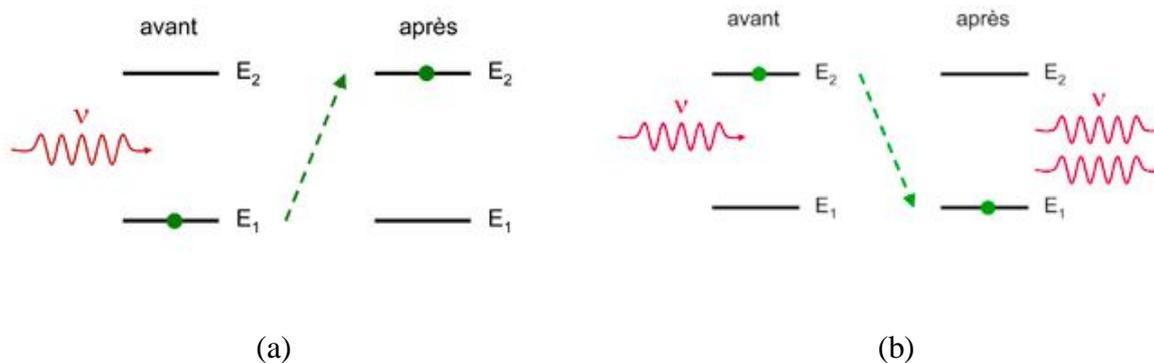


Figure. I.5. Schéma des processus d'absorption (a) et de l'émission stimulée (b)

Pour obtenir l'effet laser, il est nécessaire de privilégier l'émission stimulée au détriment des deux autres processus. Deux conditions doivent être réalisées pour favoriser cette émission stimulée et ainsi obtenir l'effet laser :

- Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique qui consiste à

promouvoir un maximum d'électrons dans la bande de conduction : C'est ce qu'on appelle une inversion de population.

- Il faut favoriser l'émission stimulée donc avoir suffisamment de photons incidents (excitateurs). Pour cela, on enferme le semi-conducteur dans une cavité résonante constituée par exemple par un résonateur du type Fabry-Perot, obligeant ainsi l'énergie lumineuse à s'accumuler. [5]

I.3.3 Modulation

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, qui est une fonction essentielle de tout système de transmission. [6] Pour réaliser la modulation d'émission, on a deux possibilités :

I.3.3.1 Modulation directe

C'est la propre source optique qui réalise la modulation en même que la transformation électrique-optique. La modulation du courant qui traverse un laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise. Il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. Un inconvénient de cette méthode est que lorsque l'on module en amplitude le courant d'injection d'un laser est accompagné d'une modulation de fréquence parasite ou chirp. Ces effets, conjugués à la dispersion chromatique de la fibre, provoquent un élargissement de l'impulsion d'autant plus importante que la longueur de la fibre est grande (voir figure I.6). [6]

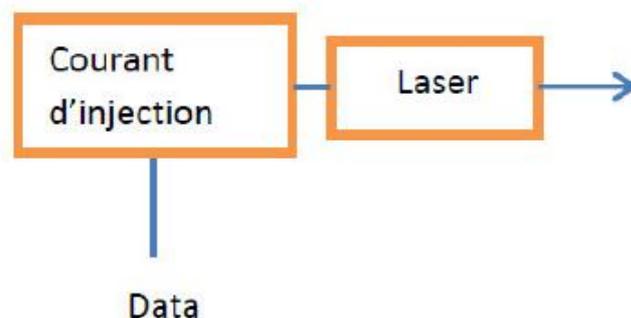


Figure I.6. Modulation directe

I.3.3.2. Modulation externe

L'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du laser n'est plus modulé. La modulation externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés (voir figure1.7). [6]

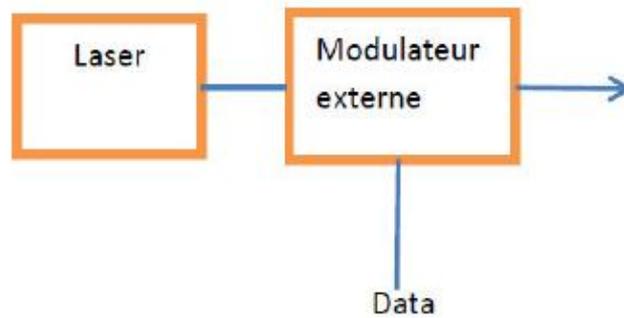


Figure I .7. Modulation externe

I.4 La Fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone et les données informatiques.

Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated).

La fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'information. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de la révolution des télécommunications. [7]

I.4.1 Structures et types de fibres

Une fibre optique est constituée de 3 éléments concentriques (figure I.8) :

- Le cœur: C'est dans cette zone, constituée de verre, que la lumière est guidée et se propage le long de la fibre.

- La gaine: Couche de verre qui entoure le cœur. La composition du verre utilisé est différente de celle du cœur. L'association de ces deux couches permet de confiner la lumière dans le cœur, par réflexion totale de la lumière à l'interface cœur-gaine.
- La couche de protection: c'est un revêtement de protection mécanique. [8]

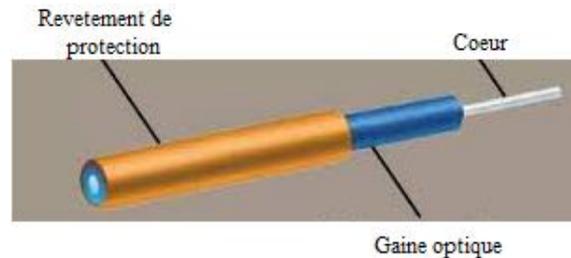


Figure I.8. Structure de la fibre optique

I.4.2 Principe de fonctionnement

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne). L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée. [7]

Fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres :

- Une différence d'indice normalisé, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c} \quad [I.1]$$

Où n_c est l'indice de réfraction du cœur, et n_g celui de la gaine.

- L'ouverture numérique de la fibre qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte, mesuré par rapport à l'axe de la fibre (figure I.9). L'ouverture numérique ON est égale à :

$$ON = \sin \theta_0 = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2}} \quad [I.2]$$

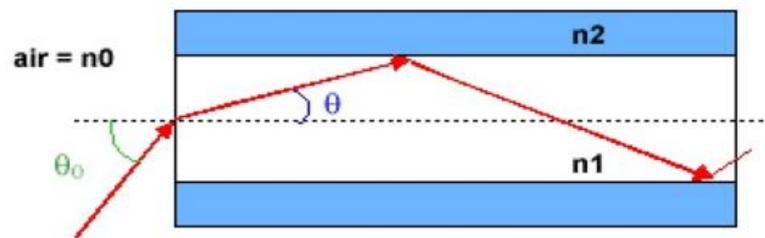


Figure I.9. Ouverture numérique d'une fibre optique

I.4.3. Différents types de fibre optique

Suivant les dimensions du cœur et les valeurs des indices n_1 et n_2 on peut classer les fibres en deux catégories : fibre monomode et fibre multimode.

Si on considère :

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad [I.3]$$

Où λ représente la longueur d'onde de la lumière utilisée.

- Pour $\alpha < 2.4$ la fibre ne comporte qu'un mode de propagation elle est appelée :
Fibre monomode (figure I.10).
- Pour $\alpha \gg 2.4$ la fibre est appelée multimode (figure I.10).

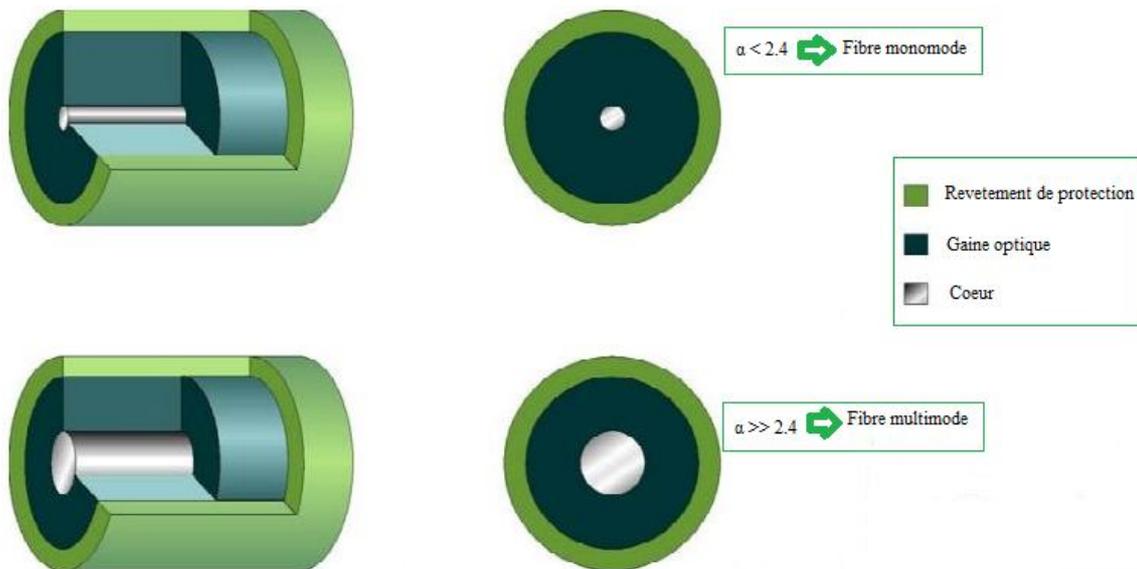


Figure I.10 fibre monomode et multimode

I.4.3.1. Fibre monomode

La fibre est dite « monomode » car, en raison de la très petite taille du cœur ($10\mu\text{m}$), il n'y a qu'un seul mode de propagation de la lumière (figure I.11). [9]

Les rayons lumineux suivent un seul chemin. Elle a le cœur si fin (de l'ordre de la longueur d'onde du signal transmis) que le chemin de propagation des différents modes est pratiquement direct. La dispersion du signal est quasiment nulle, le signal est donc très peu déformé. Ses performances sont d'environ 100 Gbits/km, l'indice de réfraction peut être constant ou décroissant. Le petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission. Du fait de ses débits très importants, mais de son coût élevé, cette fibre est utilisée essentiellement pour les sites à grande distance et très grande distance. Elle offre jusqu'à 50 fois plus la portée d'une fibre Multimode et la bande passante est également plus large. [10]

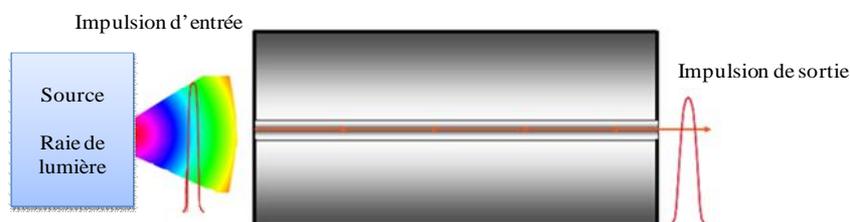


Figure I.11.Fibre optique monomode

I.4.3.2. Fibre multimode

Ce type de fibre est dit « multimode » car la lumière se propage suivant plusieurs « Modes », c'est à dire qu'elle peut suivre plusieurs trajets à l'intérieur du cœur. [9]

Elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances. La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5 μm pour le bas débit). [7]

Elles sont divisées en deux catégories : fibre multimode à saut d'indice, fibre multimode à gradient d'indice.

a. Fibre multimode à saut d'indice

C'est un guide d'onde dont le diamètre du cœur (quelques centaines de μm) est grand devant la longueur d'onde. L'indice de réfraction constant varie brusquement (saut) quand on passe du cœur à la gaine.

Le guidage de la lumière se fait suivant des lignes brisées (figure I.12). [8]

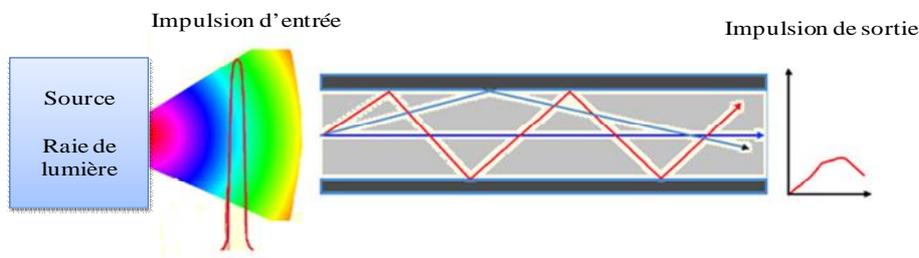


Figure I.12. Fibre optique multimode à saut d'indice

b. Fibre multimode à gradient d'indice

Le cœur possède un indice de réfraction qui décroît progressivement du centre à la périphérie suivant un profil parabolique. Le faisceau lumineux suit une trajectoire d'allure curviligne (figure I.13).

Le faisceau lumineux change de direction moins brusquement lors du rebond ce qui diminue les pertes. [8]

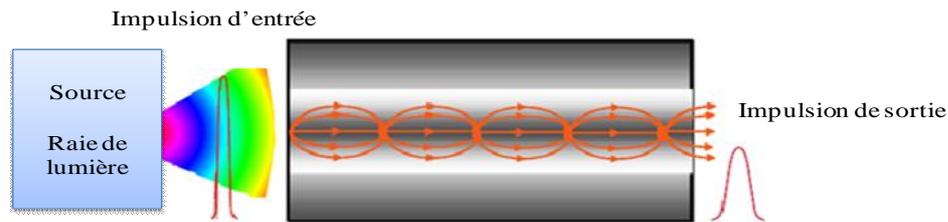


Figure I.13. Fibre optique multimode à gradient d'indice

I.4.4 L'atténuation

Le choix de la fibre optique utilisée est principalement imposé par la longueur d'onde du signal transmis. Ainsi, pour des signaux de longueur d'onde entre 800nm et 1300nm, on est contraint d'utiliser une fibre multimode, alors que pour des signaux de longueur d'onde de 1280 à 1640 nm, on peut utiliser une fibre monomode. L'atténuation dans une fibre optique est définie comme étant le rapport de la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimée en unité logarithmique par unité de longueur. [11]

$$A[dB] = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_s} \right) \quad [I.4]$$

$A[dB]$: L'atténuation en décibel.

P_e : La puissance lumineuse à l'entrée.

P_s : La puissance lumineuse à la sortie.

L'atténuation du signal à l'intérieur de la fibre peut être due spécialement à l'absorption et à la diffusion.

I.4.4.1. L'absorption

L'origine de l'absorption est dépendante du domaine spectral considéré, les longueurs d'ondes inférieures à 900nm et celui des longueurs d'ondes supérieures à 900nm. Les phénomènes d'absorption sont de deux types : l'absorption intrinsèque, absorption extrinsèque. [11]

a. Absorption intrinsèque

Pour les longueurs d'ondes courtes ; elle apparaît lorsque l'énergie des photons est suffisante pour stimuler des transitions d'électrons vers les niveaux plus élevés. Au-delà de 900nm, elle est due à l'interaction entre les photons et les vibrations moléculaires. [11]

b. Absorption extrinsèque

Aux courtes longueurs d'ondes, a pour cause la génération de transition d'électrons entre différents niveaux d'énergie dans les couches incomplètes d'ions des métaux de transition (Fe, Cu, Co, Mn.....) pour les longueurs d'ondes supérieures. Elle provient de la présence d'ions OH^- dans les matériaux. [11]

I.4.4.2. Diffusion

On distingue deux types de diffusion : diffusion intrinsèque et diffusion extrinsèque.

a. Diffusion intrinsèque

Qui a pour cause les vibrations de concentration et de densité des dopants utilisés, provoquant les vibrations de la constante diélectrique. [11]

b. Diffusion extrinsèque

Elle est provoquée par des défauts de structure : bulles, impureté, micro courbures...etc. L'allure typique de l'atténuation intrinsèque des fibres optiques, due aux phénomènes de diffusion et d'absorption, en fonction de la longueur d'onde est indiquée ci-dessous (figure I.14) :

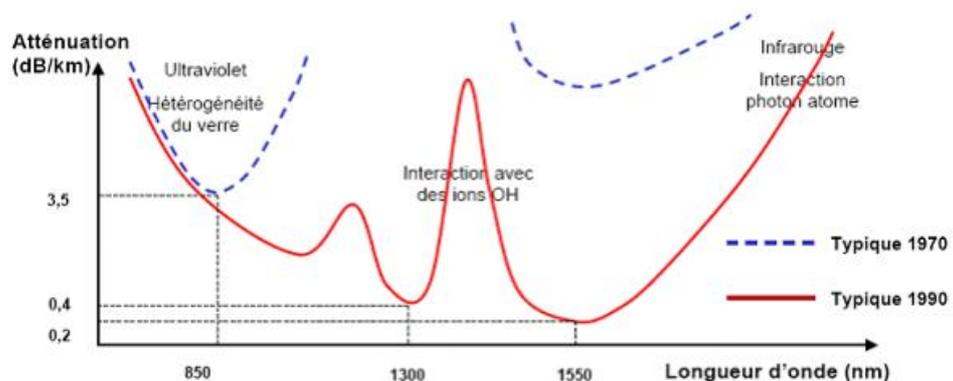


Figure I.14. Atténuation spectrale d'une fibre optique

Les systèmes de transmission tiennent compte de cette allure pour utiliser les fibres optiques dans des intervalles dits fenêtres optiques plus convenant quand aux effets de l'atténuation, la technologie des fibres et les dispositifs d'émission et de réception. Les sources et les photodétecteurs sont optimisés pour leur utilisation dans les fenêtres suivantes : [11]

- * Première fenêtre $800 < \lambda < 900$ nm
- * Deuxième fenêtre 1300 nm
- * Troisième fenêtre $1550 < 1600$ nm.

I.4.5. La dispersion

Quand on veut transmettre une impulsion sur une fibre optique, on produit l'impulsion avec un émetteur laser.

Cette impulsion n'est pas idéale, car elle présente une durée dans le temps. Dans une transmission idéale, on espère avoir à la sortie la même impulsion, mais cet impulsion une durée plus grande que la durée initiale. [12]

Il y a plusieurs causes pouvant expliquer ce phénomène :

- Dispersion intermodale.
- Dispersion chromatique.
- Dispersion de guide d'onde.

I.4.5.1 Dispersion intermodale

C'est le type de dispersion qui apparaît dans les fibres multimodes car il s'agit d'une dispersion liée au fait que les modes de la structure ne se propagent pas à la même vitesse. Le signal transmis est composé de différents modes de propagation, chaque mode a un chemin différent dans la fibre, et a un temps de propagation différent. Le signal à la sortie est composé par les signaux transmis sur les différents modes. [13]

Elle n'a aucun effet dans les fibres monomodes, car il y a qu'un seul mode de propagation.

I.4.5.2 Dispersion chromatique

Les sources laser non idéaux n'émettent pas sur une seule longueur d'onde. Elles émettent dans plusieurs longueurs d'onde près de la nominale. Il y a une dispersion initiale sur la fréquence optique.

Chaque fréquence optique a une vitesse différente sur la fibre optique car il s'agit d'un matériau où l'indice de réfraction dépend de la fréquence. Cette variation de la vitesse avec la fréquence va décomposer dans le temps le signal selon la fréquence. En augmentant la longueur temporelle de la sortie.

Ce type de dispersion apparaît dans le cas des fibres monomode et multimode. Elle est de l'ordre du ps/km. [12]

I.4.5.3 Dispersion du guide d'onde

Le fait que les ondes se propagent dans un guide et non dans un milieu illimité entraîne une dépendance de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde. Cette influence du guidage correspond à une nouvelle contribution à l'évolution spectrale des temps de groupe. [14]

Elle est due à la dépendance de la constante de propagation longitudinale avec la longueur d'onde. [12]

I.4.6. Les avantages et inconvénients de la fibre optique

Parmi les avantages de la fibre on cite :

- Transmission large bande, et débits binaires élevés.
- Affaiblissement minimisé : nombre de répéteurs très réduits et fortement espacés (jusqu'à 100 km).
- Immunité aux interférences externes (perturbations électromagnétiques).
- Faible sensibilité aux facteurs extérieurs (température, humidité...).
- Faible encombrement et faible poids.

Et d'autre part elle a aussi des inconvénients :

- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.
- Exigence micromécaniques importantes (connexion, alignement). [15]

I.5. Le récepteur optique

Un récepteur optique est le module de fin de chaîne d'un système de transmission par fibre optique.

Le rôle du récepteur est de convertir au mieux le signal optique en signal électrique. Ce module est donc composé de trois blocs fonctionnels :

Le bloc du 'premier étage' est composé du photodétecteur : Il est accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photocourant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.

Ensuite le bloc 'linéaire', composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.

Et le bloc 'récupération des données', correspondant au dernier étage du récepteur. A ce niveau on y trouve un circuit de décision et un autre de récupération de rythme, ce dernier est appelé circuit de synchronisation. [13]

I.5.1. Le photodétecteur

L'interface optique de réception, dans une liaison à fibre optique, est chargée de convertir le signal lumineux en signal électrique. Ce rôle est assuré par le photodétecteur, qui se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant. La première propriété requise est une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée. La deuxième est la rapidité : il doit être utilisé dans des systèmes fonctionnant à 10 Gbits/s voire même 40 Gbits/s. La troisième propriété demandée est un rapport signal sur bruit (S/B) maximum. Afin de satisfaire la plupart de ces conditions, le choix se porte sur les photodétecteurs à semi-conducteur qui présentent les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, bien que d'autres dispositifs soient plus sensibles. [13]

I.5.1.1 Principe de la photodétection

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur, constitué d'un matériau semi-conducteur. Absorbés, ils peuvent provoquer le passage d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction. Dans cette dernière, les électrons moins liés deviennent libres. Le photon a donc laissé place à une paire électron-trou. Une différence de potentiel est appliquée afin d'empêcher l'électron de retomber dans son état le plus stable. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photocourant. Le nombre de paires électron-trou est égal au nombre de photons absorbés. [16]

I.5.1.2 Les différents types des photodétecteurs

Nous présentons brièvement quelques types de photodétecteurs ainsi que les principales notions physiques à l'origine de leur fonctionnement : La photodiode PIN, et la photodiode à avalanche.

a. La photodiode PIN

La principale qualité d'une photodiode PIN est que la composante d'entraînement du photocourant domine sur la composante diffusive. La puissance optique incidente est absorbée à l'intérieur de la zone I.

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

Une photodiode PIN utilise généralement du matériau InGaAs pour la région I et du matériau InP pour les couches P et N (figure I.15). [16]

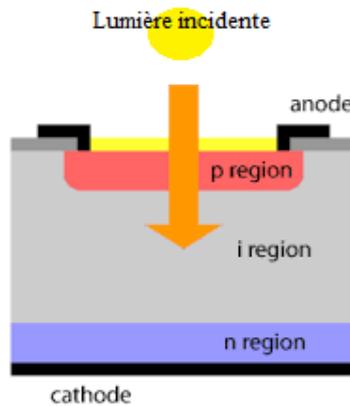


Figure I.15. Coupe transversale d'une photodiode PIN

Les paramètres importants, dépendant du matériau et de la structure, qui caractérisent une photodiode PIN sont la sensibilité, le courant d'obscurité et le temps de réponse.

Le photocourant I_{ph} est directement proportionnel à la puissance optique incidente P_{opt} selon la relation suivante :

$$I_{ph} = S \cdot P_{opt} + I_{obs} \quad [I.5]$$

S est la sensibilité de la photodiode est typiquement proche de 0.9 A/W, mais peut être plus faible suivant le photodétecteur et la longueur d'onde d'attaque λ . En effet, S s'exprime en fonction du rendement quantique.

$$S = \frac{\eta q}{h\nu} = \frac{\eta q \lambda}{hc} \quad [I.6]$$

I_{obs} est le courant d'obscurité qui circule dans la jonction en l'absence d'éclairement. Ce courant ne provient donc pas des photons transmis par la fibre. Il peut avoir des origines multiples : génération thermique dans la zone intrinsèque, courants de surface, courants de fuite ... Dans la plupart des applications ce courant est négligeable ($I_{obs} < 10$ nA). En ce qui concerne le temps de réponse, les meilleurs photodétecteurs actuels sont utilisables jusqu'à plus de 100 GHz. [16]

b. La photodiode à avalanche

Ce photodétecteur à gain interne est appelé photodiode à avalanche ou PDA, elle a la même structure que la photodiode PIN, à laquelle on applique une polarisation inverse proche (mais inférieure en valeur absolue) à la tension de claquage.

Le gain de multiplication par ionisation par impact, appelé aussi facteur de multiplication M , est le rapport entre le nombre moyen de porteurs secondaires créés par ionisation et le nombre de porteurs primaires provenant de la photodétection. La valeur du courant relatif au nombre de photons absorbés devient :

$$I_{PDA} = M(V) \cdot S(\lambda) \cdot P_{opt} \quad [I.7]$$

Le gain augmente avec la différence de potentiel appliquée, mais limite à une valeur maximale. Si le champ devient trop fort, il y a risque de claquage. Cette valeur limite de tension dépend du matériau et de la structure utilisée. [2]

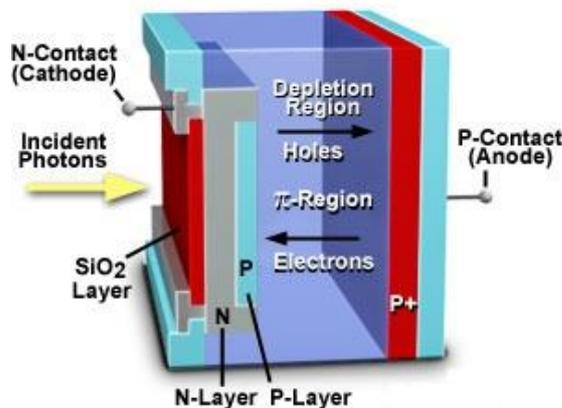


Figure I.16. Photodiode à avalanche PDA

I.6 Les amplificateurs optiques

L'amplificateur est insère dans un système de télécommunications optiques et fait partie des moyens de régénération d'un signal optique. Ce signal composé d'une porteuse modulée va être maltraité de diverses manières au cours de sa propagation. Il va subir des pertes qui vont atténuer son intensité.

Il va aussi subir différents types de dispersion qui va avoir pour effet de modifier la forme de la modulation et de décaler chaque impulsion. Pour corriger ces défauts générés au cours de la propagation, différents systèmes existent comme le système «3R» qui consiste à

réamplifier le signal pour corriger les pertes, le remettre en forme et le recalibrer temporellement. [17]

Dans ce qui suit on va présenter deux types d'amplificateurs : amplificateur à effet laser et les amplificateurs à effet Raman (figure I.17).

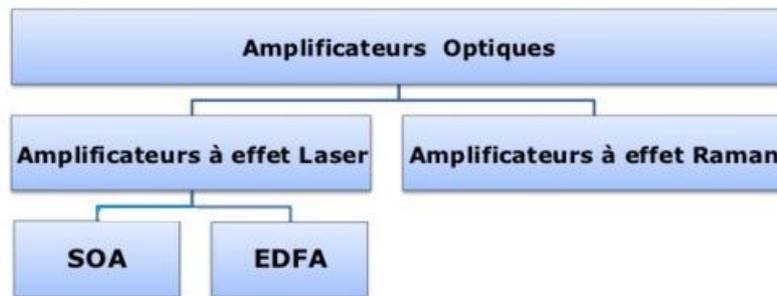


Figure I.17. Les différents types d'amplificateurs optiques

I.6.1. Les amplificateurs à effet Laser

L'amplificateur à effet Laser intègre en deux types d'amplificateurs optiques ; l'amplificateur optique à semi-conducteurs (SOA) et l'amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium (EDFA).

Ces deux types d'amplificateurs optiques fonctionnent sous le même principe physique : un faisceau lumineux incident est amplifié grâce à un apport extérieur d'énergie appelé pompage. [18]

I.6.1.1. Les amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA)

Un amplificateur à fibre dopée fonctionne à la manière d'un laser. Une portion de fibre optique est dopée et est pompée optiquement avec un laser afin de placer les ions de dopage dans un état excité. Lorsqu'un signal lumineux passe à travers ce morceau de fibre optique, il désexcite les ions par effet laser en produisant un photon en tout point identique au photon incident. Le signal lumineux a donc été doublé.

Par effet d'avalanche, l'amplification du signal se fait jusqu'à la sortie de la section dopée de la fibre optique. [19]

La figure 1.18 présente l'amplificateur optique à fibre dopée à l'Erbium (EDFA), qui consiste en un morceau de fibre optique monomode dopée, de longueur d'environ 10 à 20 m et d'un laser de pompe. La lumière provenant de la pompe excite les ions Er^{3+} au niveau

d'énergie supérieur, ce qui permet de réaliser l'inversion de population. Le multiplexeur optique sélectif en longueur d'onde effectue le couplage dans la fibre dopée à l'erbium du signal à transmettre et du signal de pompe; celui-ci doit présenter une perte d'insertion faible aux deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système. Les isolateurs optiques permettent d'éviter les oscillations et d'assurer la stabilité des caractéristiques de gain en bloquant tous les faisceaux lumineux susceptibles de revenir en aval. [18]

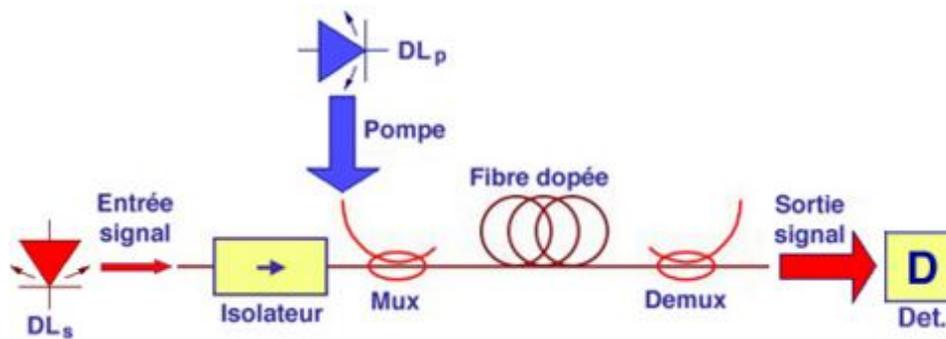


Figure I.18. Configuration d'un amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium

I.6.1.2 Les amplificateurs à semi-conducteurs (SOA)

Un SOA est un dispositif optoélectronique qui peut, dans des conditions d'exploitation Appropriées, amplifier un signal lumineux incident. Une structure de base d'un SOA est illustrée à la figure I-19. Son élément principal est la région active qui fournit le gain optique lorsque l'amplificateur est pompé électriquement. Le pompage est nécessaire pour atteindre l'inversion de population et par conséquent l'émission stimulée. Un guide d'onde intégré est utilisé pour confiner l'onde de signal à la région active.

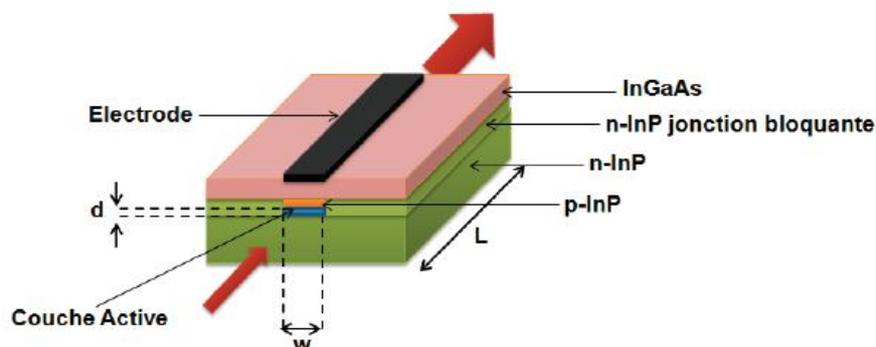


Figure I.19. Structure de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs.
L, d et w sont respectivement la longueur, l'épaisseur et la largeur de la zone active

Un SOA est un laser sans rétroaction. Pour ce faire, les facettes de l'amplificateur doivent être parfaites afin d'éviter les ondulations du gain. Des couches antireflets sont

utilisées permettant une réflectivité négligeable. En outre, une structure à facette inclinée dans laquelle la région active est inclinée par rapport à la perpendiculaire aux 10^{-5} peut être atteinte en utilisant ces techniques. La figure I.20 montre ces deux structures, qui sont généralement utilisées simultanément. [20]

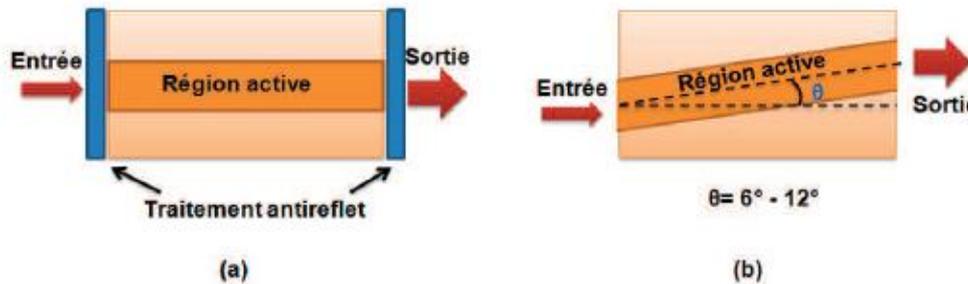


Figure I .20 .Réduction de la réflectivité dans un SOA par
(a) un traitement antireflet et (b) une inclinaison de la zone active

I.6.2. Les amplification Raman

L'effet Raman est un phénomène physique de diffusion moléculaire de la lumière, mis en évidence expérimentalement en 1928 par le physicien indien Chandrasekhara Venkata Raman, lauréat du prix Nobel en 1930.

Les atomes constituant de la matière sont en constante vibration. Quand une lumière est envoyée sur un objet, elle va lui fournir de l'énergie. Cette énergie va alors modifier la vibration des atomes.

Un amplificateur Raman doit plutôt être vu comme un système dans lequel la pompe permet de compenser les pertes dues à la fibre tout au long de la propagation. Il est beaucoup plus « doux » que l'amplification par EDFA et il a un gain plus modeste que les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium. [21]

I.7 Les fibres de compensation(DCF)

La dispersion chromatique peut être compensée par un dispositif créant des fonctions de transfert inverse de celle d'une fibre standard, comme les fibres à compensation de dispersion (DCF, Dispersion Compensative Fiber). Elle consiste alors à introduire un tronçon de longueur adapté de cette fibre dont la dispersion est de signe opposé par rapport à celle de la fibre de ligne, mais il n'est pas possible de ramener la dispersion chromatique cumulée à zéro périodiquement simultanément sur toute une bande de plusieurs nanomètres en ajoutant simplement une seule et même valeur négative. La DCF est caractérisée par sa simplicité de

mise en œuvre et sa bonne résistance aux éléments extérieurs, son avantage majeur est son caractère large bande, mais elle présente aussi des inconvénients comme les pertes linéiques non négligeables. [22]

I.8 Conclusion

Au cours de ce chapitre on a présenté la liaison par fibre optique; on a commencé par la partie émission notamment les diodes laser, Les diodes DEL et ensuite le support de transmission qui est la fibre optique avec une description détaillée. Dans la partie réception on a abordé les récepteurs optiques qui traitent le principe de photodétection avec les différents types de photodétecteurs comme PIN, PDA. A la fin, une brève description sur quelques amplificateurs optique comme EDFA, SOA et RAMAN.et on a terminé par les fibres de compensation DCF.

Dans le prochain chapitre nous allons étudiés les différents techniques de multiplexages en s'intéressant notamment à la CDMA optique.

Introduction Générale

L'intérêt majeur de l'utilisation de la fibre optique comme support de transmission est de transmettre l'information sous forme d'un signal lumineux sur de grandes distances et avec un débit très élevé. Le choix de ce support est désormais dans les réseaux de télécommunication.

En effet, la fibre optique offre un faible encombrement, une faible atténuation du signal, et surtout une grande bande passante. Cependant, le coût d'un redéploiement total du réseau d'accès en fibre optique serait très important. Afin de réduire ces coûts, il est possible de partager la ressource entre plusieurs utilisateurs, en utilisant plusieurs techniques d'accès multiple existant, comme la répartition en fréquence (FDMA), le multiplexage en longueur d'onde (WDM), la répartition dans le temps (TDMA), et l'accès multiple par répartition de code (CDMA), est une technique de multiplexage définie comme étalement de spectre. Cette dernière était initialement destinée aux applications militaires.

Mais dans notre travail on s'intéresse par la technique CDMA optique qui a pour ambition d'augmenter la capacité de multiplexage en augmentant le nombre d'utilisateurs au prix d'une dégradation supportable de la qualité de la liaison et ce en exploitant simultanément les intervalles de temps et la bande de fréquence.

Dans ce contexte, l'objectif du travail présenté dans ce mémoire est d'étudier l'encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA (SAC-OCDMA) en utilisant un code de Walsh-Hadamard pour sept utilisateurs, pour les signaux optiques incohérents.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Dans le premier chapitre nous décrivons le principe d'une liaison par la fibre optique. Nous verrons ensuite les principaux composants de l'émetteur et du récepteur. Nous évaluons aussi les caractéristiques de chaque composant, en illustrant les principes de fonctionnement du système global. Pour finir ce chapitre nous verrons les avantages et les inconvénients des fibres optiques.

Le deuxième chapitre traite plusieurs types de multiplexage, nous verrons le multiplexage temporel TDM, multiplexage fréquentiel FDM et multiplexage en code CDMA, en passant par OCDMA optique et leurs types et on termine par les différents codes utilisés.

Enfin, dans le troisième chapitre nous décrivons le logiciel OptiSystem, puis nous présentons notre système avec les différentes parties et les critères de qualité et on achève par les résultats de simulation.

II.1 Introduction

Le multiplexage désigne le partage d'un même support physique entre plusieurs flux. Le multiplexage est utilisé dans tous les types de réseaux (radio, cuivre, optique). En optique, il est intéressant de faire appel au multiplexage dans la mesure où la capacité de chaque fibre est très élevée, et peut donc être partagée sans que les capacités individuelles issues du partage ne soient diminuées de façon pénalisante (ce qui n'est pas le cas du cuivre).

La notion de multiplexage s'explique par le fait de vouloir toujours transmettre plus d'information sur une fibre optique. Le principe général est simple à comprendre : il consiste en fait à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission.

A l'aide de ce principe simple, de larges économies sont possibles grâce à la réduction des coûts d'installation et/ou d'exploitation. (Moins de câbles pour faire passer la même quantité d'information) [23].

Plusieurs types de multiplexage sont possibles, nous verrons dans ce chapitre : multiplexage temporel TDM, multiplexage fréquentiel FDM et multiplexage en code CDMA, en passant par OCDMA optique et leur types et on a terminé par les différents codes utilisés.

II.2. Multiplexage en fréquence (FDMA, Frequency Division Multiple Access)

C'est la technique la plus ancienne qui était la seule lorsque le téléphone était purement analogique. A chaque interlocuteur, ou chaque message, est alloué une bande de fréquence. En pratique le message est utilisé pour moduler (à l'origine en amplitude, parfois avec suppression de porteuse) une fréquence porteuse. Les différentes porteuses ainsi modulées sont juxtaposées et l'ensemble transmis sur le canal.

A la réception des filtres sélectifs isolent les différentes porteuses qui sont démodulées. Si les fréquences porteuses sont parfaitement connues ou restituées, il est possible d'effectuer une démodulation cohérente (figure II.1). [15]

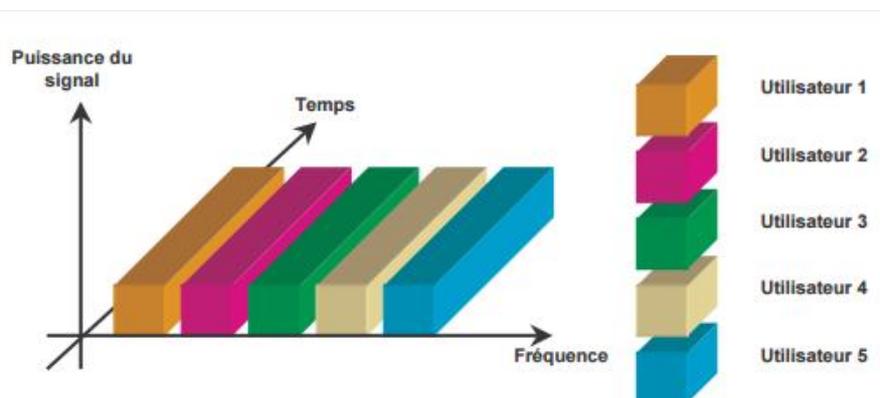


Figure II.1. L'accès multiple à répartition en fréquence (FDMA)

II.2.1 Multiplexage en longueur d'onde

Le multiplexage en longueur d'onde, souvent appelé WDM (*Wavelength Division Multiplexing* en anglais), est une technique utilisée en communication optique qui permet d'augmenter le débit sur une fibre optique en faisant circuler plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur une seule fibre, en le mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX)(figure II.2) et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur(DEMUX). [16]

La plupart des systèmes WDM fonctionnent sur fibre monomode câbles à fibres optiques. Certaines formes de WDM peuvent également être utilisées dans des câbles à fibre multi-mode (également connu sous le nom de câbles des locaux). [24]

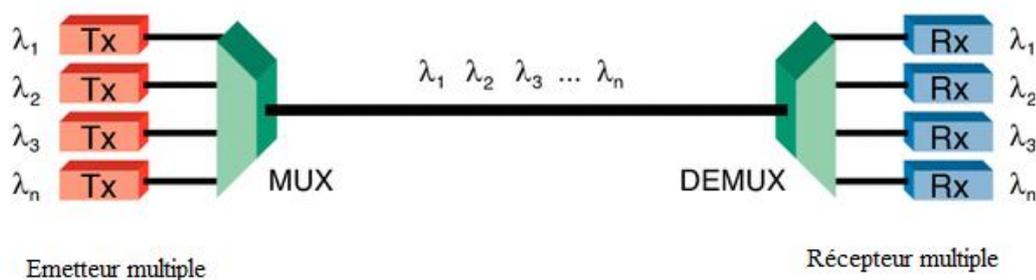


Figure II.2. Multiplexage en longueur d'onde WDM

II.2.1.1 Principe de WDM

Pour pouvoir multiplexer plusieurs sources optiques, il faut préalablement modifier leur longueur d'onde en utilisant des matériaux spécifiques : transceivers ou transpondeurs.

Chaque flux d'information est codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase, comme pour une transmission sur fibre optique standard (figure II.3).

Les équipements de démultiplexage sont généralement des équipements passifs, type réseaux de diffraction. Ils agissent comme des filtres en sélectionnant le signal dans une zone de longueur d'onde donnée. Le multiplexage en longueur d'onde sur une fibre utilise mieux la bande passante de la fibre, c'est une solution économique qui permet de maximiser la capacité de celle-ci. Les canaux peuvent être identifiés, soit par la fréquence de la porteuse optique f , soit par la longueur d'onde λ , les deux étant reliées par la relation simple :

$$\lambda = \frac{f}{c} \quad \text{[II.1]}$$

Avec : c la célérité de la lumière dans le vide. [16]

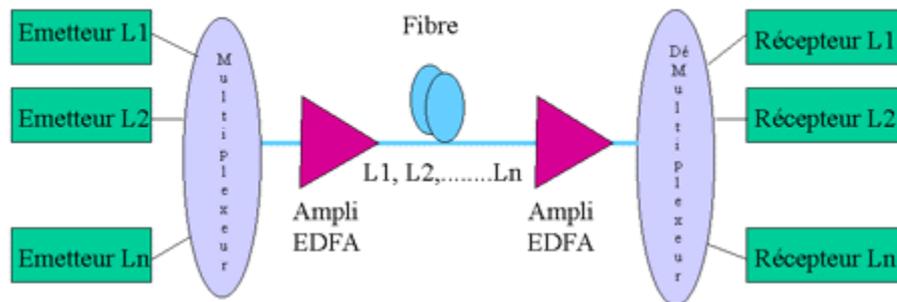


Figure II.3. Principe d'une liaison WDM

II.2.1.2 Différents types de multiplexage en longueur d'onde

Il existe plusieurs technologies WDM, elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploités dans une fibre :

- Coarse WDM (CWDM).
- Dense WDM (DWDM).
- Ultra Dense WDM (UDWDM)

a. Coarse WDM (CWDM)

Lorsque l'espacement entre les longueurs d'onde est de 20 nm (figure II.4), on parle de Coarse WDM (CWDM). L'avantage du CWDM est son coût. En effet, grâce à l'important espacement laissé à chaque canal, on n'est pas obligé de réguler en température le laser d'émission. Par contre, on est limité à 16 canaux, pas amplifiés (moins cher) donc sur 150 km au maximum. En CWDM, 8 longueurs d'ondes sont utilisables avec des optiques 10 Gbit/s. [16]

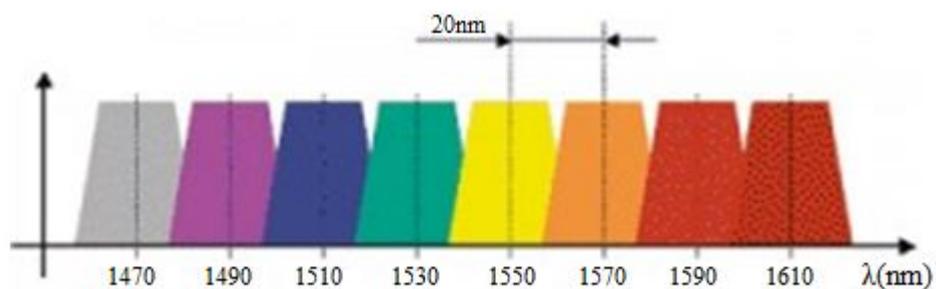


Figure II.4. La technique Coarse WDM pour un espacement de 20 nm

b. Dense WDM (DWDM)

Pour un espacement plus faible où il y a plus de longueurs d'onde simultanément en propagation (plus de 32 longueurs d'onde). Les systèmes DWDM commerciaux espacent les longueurs d'onde d'environ 0,8 nm (100 GHz), 0,4 nm (50 GHz) voire 0,1 nm (12,5 GHz). Il est ainsi possible de combiner 160 longueurs d'onde optiques et plus. Malgré des tentatives audacieuses, cette technologie reste la seule déployée sur les réseaux télécoms longue distance, et même métropolitains. [16]

La figure II.5 présente la technique DWDM pour un espacement de 0.8 nm sur la bande C (1550nm) qui transmet 128 canaux.

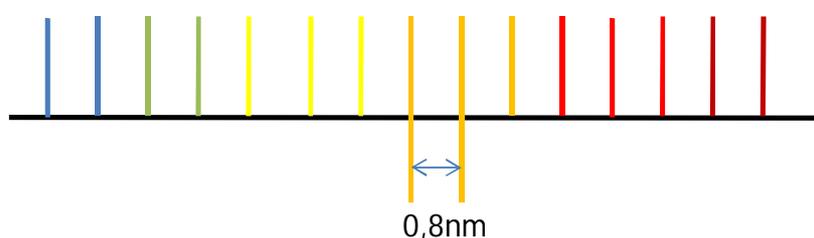


Figure II.5. La technique Dense WDM pour un espacement de 0.8 nm

c. Ultra Dense WDM (UDWDM)

Pour des intervalles encore plus petits, on parlera d'U-DWDM. Ainsi, des systèmes à 10 GHz (0,08 nm) permettent d'obtenir 400 canaux optiques.

Le tableau II.1 résume les différentes techniques CWDM, DWDM et U-DWDM.

	Coarse-WDM	Dense-WDM	Ultra-Dense-WDM
Nombre de longueur d'onde	Jusqu'à 16	8 à 128	>400
Espacement des canaux	20 nm à 25nm	0.4nm à 1.6nm	0.08nm
Fenêtre spectrale	1260nm- 1620nm	1500nm-1600nm	1500nm-1600nm
Débit par longueur d'onde	1.25-2.5 Gbit/s	10Gbit/s – 40Gbit/s	>40 Gbit/s

Tableau II.1. Les caractéristiques des modes WDM

II.3. Multiplexage temporel (TDMA Time Division Multiple Access)

Accès multiple à répartition dans le temps est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il s'agit de division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir

le temps disponible entre les différents utilisateurs (figure II.6). Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et en émettre sans interférer avec les autres abonnés. [17]

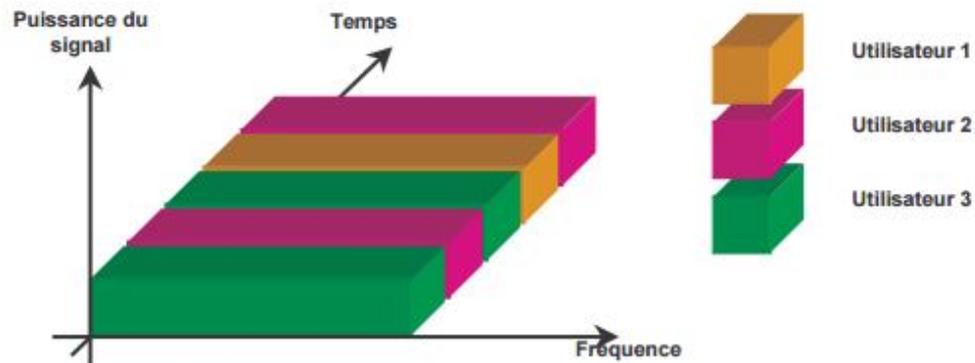


Figure II.6. Accès multiple à répartition dans le temps

Il existe deux accès multiples à répartition dans le temps : Optique OTDMA et Electrique ETDMA.

II.3.1 Accès multiple à répartition de temps optique (OTDMA)

La technique OTDMA consiste à multiplexer en temps des trains d'impulsions optiques de manière purement optique. Le système OTDMA est constitué à l'émission d'une source laser qui émet des impulsions optiques de durée T_c . Ces impulsions sont appliquées à l'entrée d'un modulateur optique, commandé par un signal électrique de durée T_b qui représente les données à transmettre d'un utilisateur. Le débit des données D est :

$$D = 1/T_b \ll 1/T_c \quad [\text{II.2}]$$

Pour un système à N utilisateurs, les trains optiques en sortie des modulateurs sont décalés en temps et multiplexés en un train optique unique de débit envoyé dans le milieu de transmission. [17]

II.3.2. Accès multiple à répartition de temps électrique (ETDMA)

Dans la technique ETDMA le multiplexage des données électriques à transmettre s'effectue à l'aide de dispositif électronique. Le signal de sortie du multiplexeur est appliqué à l'entrée d'un modulateur optique qui permet la transmission sur une fibre optique.

La différence avec la technique OTDMA réside dans le fait que le modulateur optique doit fonctionner non pas au débit des données D mais à celui R du signal en sortie du multiplexeur. Or, si les données ont un débit D et que le nombre d'utilisateurs est N , on aura :

$$R = N \times D \quad \text{[II.3]}$$

Plus le nombre d'utilisateurs N augmente et plus le débit R est élevé ce qui constitue la principale limitation de cette technique. Cette dernière est limitée par la difficulté de générer des impulsions de plus en plus courtes, de les transmettre (effets de la dispersion) et de récupérer le signal de synchronisation au niveau du démultiplexeur.

Les facteurs limitatifs de cette technique sont : la capacité de générer les porteuses optiques adéquates, la transmission des données correctes sur des distances acceptables, le débit requis pour chaque canal et le système de modulation utilisé. [17]

II.4. Les systèmes à accès multiple par répartition de code CDMA

Dans l'Accès Multiple par Répartition de Code (AMRC ou CDMA, Code Division Multiple Access) chaque communication effectuée possède son propre code, sa « clé ». Effectivement, le CDMA est une technique qui permet l'accès multiple à un réseau de communication en attribuant à chaque paire d'utilisateurs un canal spécifique qui est désigné par un code à utiliser (figure II.7).

Chaque paire a un code différent, construit de façon à minimiser l'interférence avec les autres canaux (codes). Chaque code peut être représenté par une séquence, soit dans le domaine du temps, soit dans le domaine des fréquences ou soit un mélange de ces deux dimensions. [18]

Les systèmes CDMA incluent un certain nombre de dispositifs qui ne sont pas forcément présents dans les autres systèmes de communication. Ces propriétés sont très importantes à préciser parce qu'elles permettent de différencier les systèmes. Elles jouent aussi un rôle important pour augmenter la capacité du système, améliorer la qualité de service et développer la performance du système du point de vue du débit/surface. [19]

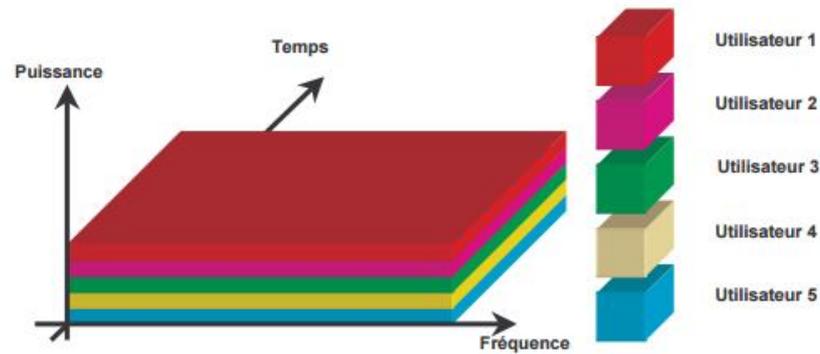


Figure II.7. L'accès multiple par répartition de code CDMA

CDMA est un système de codage qui utilise la technique d'étalement du spectre, la puissance d'un signal après codage est étalé sur toute la largeur de la bande de fréquence disponible, de ce fait deux caractéristiques importantes apparaissent :

- La puissance du signal étant étalée sur la bande spectrale disponible, le signal CDMA peut être confondu avec le bruit du canal et sera donc difficilement détectable par un utilisateur non concerné.
- Le signal CDMA (après codage) est plus résistant aux brouilleurs pouvant se présenter au cours de la transmission. Lors du décodage, la puissance de ce brouilleur est étalée sur la bande spectrale disponible alors que le signal utile est reconstitué. Toutefois, si le nombre de brouilleurs est important, la puissance générée par ces derniers sera plus importante et affectera la qualité de signal utile obtenu après décodage. [25]

II.4.1 Étalement de spectre

L'étalement de spectre (en anglais Spread Spectrum) est une technique par laquelle plusieurs utilisateurs peuvent être présents simultanément sur une même bande de fréquence.

Il est une technique qui permet de transmettre un signal d'information sur une largeur de bande plusieurs fois supérieure à la largeur de bande minimale que le signal demande.

Par la suite on va procéder aux différents types d'étalement de spectre :

- Étalement de spectre par séquence directe (DS-SS)
- Étalement de spectre avec saut de fréquence (FH-SS)
- Étalement de spectre avec saut de temps (TH-SS)

II.4.2 Étalement de spectre par séquence directe (DS-CDMA)

Dans cette technique l'étalement de spectre est considéré comme une forme de modulation, les données sont transformées de telle sorte que la largeur de spectre nécessaire après transformation soit plusieurs fois supérieure à celle des données d'origine. Cette transformation peut être effectuée de plusieurs manières.

Dans un système DS-CDMA, le signal d'information est directement modulé par une séquence. En réalité, cette séquence est un code qui possède des propriétés statistiques particulières. [19] c'est-à-dire chaque bit d'information est remplacé par une série de bits, cette série est extraite d'une séquence pseudo-aléatoire.

Imaginons un débit utile R de 10 kbit/s nécessitant une bande passante de 10 kHz. En remplaçant chaque bit par son code (disons 10 bits par code), on multiplie la bande passante nécessaire par 10, ce qui donne 100 kbit/s. Le fait de transmettre 10 fois plus vite élargit donc le spectre utilisé (100 kHz) dans un rapport de 10. Concrètement, on augmente la largeur spectrale de la transmission, mais le débit d'information utile est inchangé après décodage. [26]

II.4.3 Étalement de spectre avec saut de fréquence (FH-SS)

L'étalement de spectre avec saut de fréquence FH-SS (Frequency Hopping Spread Spectrum) est une technique d'étalement de spectre basée sur le saut de fréquence, dans laquelle la bande est divisée en canaux ayant chacune une largeur de bande fixe. Pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur une séquence de sauts précise qui sera effectuée sur ces sous-canaux.

Dans un système FH-SS, la fréquence porteuse « saute » littéralement d'une fréquence porteuse à une autre suivant une séquence unique connue exclusivement par l'émetteur et le récepteur concerné. Celle-ci est définie de manière optimale de façon à minimiser les probabilités de collision entre plusieurs transmissions simultanées. Si une station ne connaît pas la séquence de saut des canaux, elle ne peut récupérer les données, car elle ne reçoit qu'un bruit de fond. Cette technique était utilisée auparavant par les militaires pour sécuriser leurs transmissions.

L'un des avantages du FH-SS est qu'il permet, théoriquement, de faire fonctionner simultanément un nombre de réseaux égal au nombre de canaux dans une même zone, chaque réseau utilisant une des séquences prédéfinies. En pratique, pour des raisons de recouvrement de canaux, le nombre de réseaux et le nombre de canaux ne sont pas égaux sur une même cellule.

Un autre avantage du FH-SS est son immunité face aux interférences. Comme le système saute à chaque intervalle de temps d'un canal à un autre sur la totalité de la bande, si des interférences surviennent dans la bande, cela n'engendre pas d'importantes pertes de performances. Si un canal correspondant à une fréquence est perturbé, celui-ci est inutilisable temporairement. Aucune communication n'a lieu pour la station utilisant cette fréquence.

Cette interruption ne dure qu'un seul intervalle de temps, n'empêchant pas la communication de se poursuivre ensuite. Le principal inconvénient du FH-SS vient de son débit, limité à 2 Mbits/s. [19]

II.4.3 Étalement de spectre avec saut de temps TH-SS

Dans un système TH-SS (Time Hopping spread Spectrum) la transmission de données se fait par l'intermédiaire de sauts de temps, où le signal est transmis de manière discontinue sous forme de salves brèves. En fait, les durées des salves sont déterminées par le code d'étalement. Pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur un temps de saut précis. Nous considérons les signaux de saut de temps comme des signaux à large bande parce que le taux de transmission pendant les salves doit être considérablement élevé pour obtenir un taux de transmission global équivalent à celui d'une transmission continue.

Dans la famille des étalements de spectre, l'étalement de spectre avec saut de temps est le plus rarement utilisé dans les applications pratiques. [19]

Une comparaison entre les trois membres de la famille des étalements de spectre est présentée sur la figure II.8.

Le TH-CDMA nécessite la mise en place d'une synchronisation entre les différents émetteurs afin qu'ils ne se chevauchent pas sur les intervalles de temps. Il consiste à transmettre les chips qui composent une séquence de code donnée sur différents time slots, la transmission de la séquence ne se faisant pas de manière continue. Par contre dans FH-CDMA les chips des séquences de code, sont transmis sur des fréquences différentes, le choix des ces fréquences pouvant se faire de manière aléatoire et Dans le CDMA à séquence directe (DS-CDMA), les données associées à un utilisateur sont modulées en phase, en fréquence ou en amplitude. Le signal résultant est par la suite codé par une séquence de code puis superposé aux autres signaux traités de la même manière.

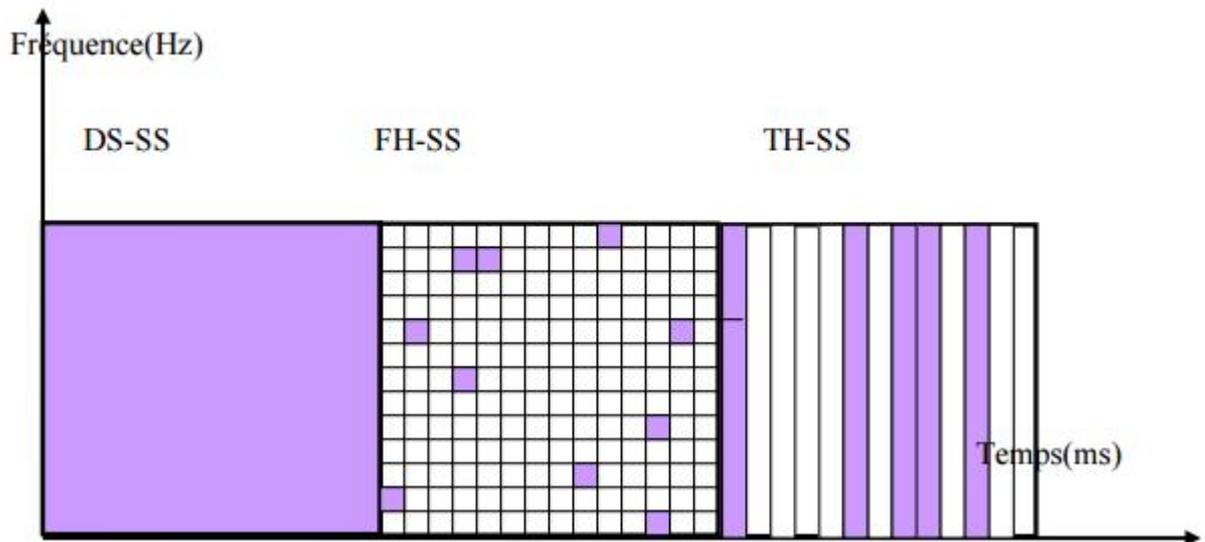


Figure II.8. La famille des étalements de spectre

II.5. Accès Multiple par Répartition de Code en Optique (OCDMA)

Le CDMA Optique est basé sur les mêmes concepts de base que le CDMA radiofréquence : à chaque utilisateur transmettant des données à travers le canal (fibre optique) est alloué une séquence signature ou code qui permet d'identifier le récepteur destinataire.

Parmi les avantages de cette technique, appliquée à l'optique, on peut citer :

- Un accès simultané et aléatoire au réseau sans nécessité de synchronisation.
- Une flexibilité pour le routage de l'information donc des protocoles simplifiés.
- Une sécurité inhérente au codage CDMA. [21]

II.5.1 Architecture d'OCDMA

La figure II.9, représente schématiquement un dispositif CDMA optique dans un réseau de type réseau en étoile. Une source de données, optique ou électronique activant la première source qui alimente un encodeur qui transforme chaque bit de donnée en séquence : c'est la conception de l'encodeur optique qui détermine de manière matérielle le code utilisé.

La séquence est couplée avec l'ensemble des autres séquences venant des autres utilisateurs du système dans un coupleur en étoile, via une fibre optique monomode. Côté récepteur, la totalité des signaux couplés est comparée au code correspondant à un émetteur donné (corrélacion) et une détection à seuil détermine si un bit « 1 » ou « 0 » est reconnu. [2]

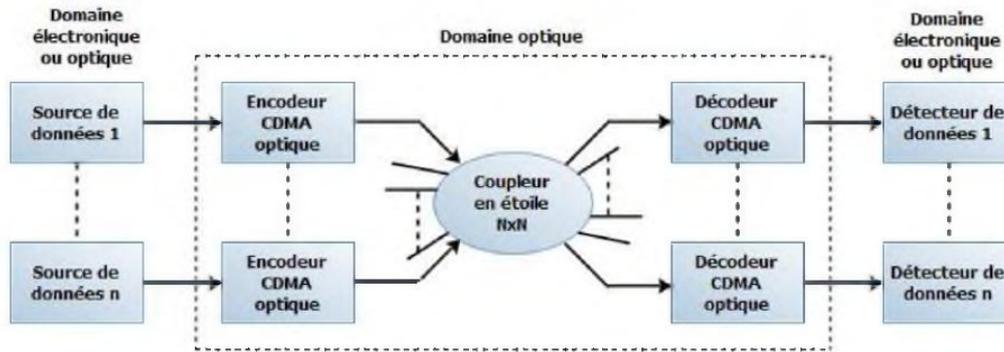


Figure II.9. OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile

II.5.2 Les différents types d'OCDMA

Que les réseaux soient « tout-optique » ou partiellement optiques, la manipulation des signaux peut s'envisager soit de manière cohérente, soit de manière incohérente.

Dans le cas d'un système OCDMA cohérent ($\tau_c \geq T_D$), le temps de cohérence du laser est supérieur au temps de détection T_D et au temps chip T_c . Le bruit de battement cohérent existe si le délai τ_i est inférieur au temps de cohérence du laser ($\tau_i < \tau_c$).

Les caractéristiques du signal optique mesuré sont l'amplitude et la phase. Il est donc nécessaire et coûteux de disposer d'un oscillateur local synchronisé à la fréquence optique en réception qui augmente le coût de mise en œuvre.

L'onde lumineuse pouvant être positive ou négative, l'étalement des données peut s'effectuer en utilisant des codes bipolaires comme en radiofréquence.

On utilise la source laser cohérente le principal avantage qu'elle ne présente pas de bruit d'intensité spontanée, elle peut générer des impulsions de courte durée de l'ordre de quelques picosecondes jusqu'à l'ordre du femtoseconde. Ce type de laser a été initialement utilisé pour l'OCDMA à étalement temporel (TS-OCDMA) et pour l'OCDMA fréquentiel FE-OCDMA.

Mais la plupart des études sur la technique CDMA Optique portent sur les systèmes incohérents, beaucoup plus simples et donc moins coûteux.

Dans un système OCDMA incohérent on a ($\tau_c \ll T_D$), le temps de cohérence de la source τ_c est alors considéré comme très faible devant le temps de détection T_D , et le bruit de battement incohérent existe si le délai τ_i est supérieur au temps de cohérence du laser ($\tau_i > \tau_c$).

Ils sont généralement basés sur un schéma de modulation appelé « IM-DD » et c'est l'intensité lumineuse, quantité positive, qui est la caractéristique mesurée du signal optique. Les codes bipolaires ne peuvent plus être utilisés. On utilise des codes unipolaires quasi-orthogonaux.

Utilisation de la source large bande dans les systèmes de télécommunications optiques grâce à sa simplicité et son bas coût. Les LEDs et les sources à émissions spontanée amplifiée (à base d'amplificateur de fibre optique dopé à l'erbium EDFA ou d'amplificateur à semi-conducteur SOA) sont des sources incohérentes présentant un temps de cohérence quasiment nul. Ces sources sont largement utilisées pour réaliser un codage fréquentiel (FE-OCDMA) et un code hybride (FFH-OCDMA). Elles présentent une grande largeur spectrale fournissant ainsi toutes les fréquences nécessaires à de tels codages. La seule limite de ce type de source est son bruit d'intensité.

Aussi il existe différentes possibilités d'application de la technique CDMA aux systèmes optiques incohérents :

- Les premières techniques sont basés sur l'étalement temporel des données, appelés systèmes OCDMA à Séquence Directe (DS-OCDMA).
- La deuxième technique la plus explorée est basée sur l'étalement dans le domaine des longueurs d'onde, dérivé de la technique du saut de fréquence pour le CDMA hertzien.
- Récemment, d'autres techniques hybrides (WDMA + CDMA) ou dites en 2 Dimensions (2D) sont envisagées sérieusement pour améliorer les performances et aboutir à une implantation réaliste dans le contexte des réseaux d'accès optiques.

Il s'agit dans ce cas de réaliser l'étalement des données à la fois en temps et en longueur d'onde. [27]

II.5.2.1 OCDMA Temporel (DS-OCDMA)

Dans ce cas le temps des données transmis va être divisé en un certain nombre de créneaux temporels « chip » en multipliant directement les données avec la séquence du code.

Les données codées de chaque utilisateur sont envoyées simultanément via une même fibre.

En réception, le signal reçu est multiplexé avec la séquence du code du destinataire, et le signal est des-étalé.

Tous les autres signaux qui n'ont pas la bonne séquence signature ou qui sont désynchronisés, sont perçus par le récepteur comme étant du bruit. [21]

II.5.2.2 OCDMA spectral

Dans la méthode d'encodage spectral (OCDMA spectral ou FE-OCDMA) chaque utilisateur émet une combinaison spécifique de longueurs d'onde appelée séquence de code, qui doit posséder des propriétés d'orthogonalités avec la séquence des autres utilisateurs.

La difficulté principale dans la réalisation du codage spectral réside dans le dispositif de filtrage (figure II.10).

Les composants spectraux de code peuvent être obtenus par filtrage à l'aide de fibres à réseaux de Bragg réfléchissant des longueurs d'onde différentes ou par des dispositifs appelés « Spatial Light Modulator » (SLM) qui permettent un codage plus flexible par l'utilisation de systèmes hybrides appelés MOEMS (Microelectro Optical Mechanical Systems). [21]

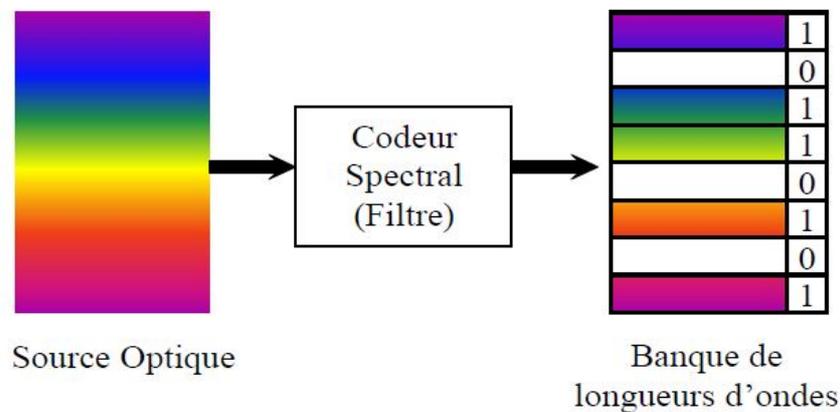


Figure II.10 codage spectral OCDMA

Il existe différents types d'OCDMA spectral :

- OCDMA par encodage spectral de phase
- OCDMA par encodage spectral d'amplitude

a. OCDMA par encodage spectral de phase (SPE)

Une seconde méthode utilise également les sources cohérentes à impulsions courtes en OCDMA. Il s'agit d'OCDMA par encodage spectral de phase (SPE). Les sources MLL émettent des impulsions de manière cyclique, le spectre optique correspondant est donc également périodique. Pour l'encodage SPE, les composantes spectrales sont encodées avec des phases particulières. Au décodeur correspondant, les phases appropriées sont appliquées et l'impulsion originale est recouverte U1 après décodeur U1 sur la figure II.11).

Pour un interférent sur le décodeur, les phases ne sont pas compensées et la combinaison des composantes fréquentielles avec phases pseudo-aléatoires donne un bruit étalé temporellement (U2 après décodeur U1 sur figure II.11).

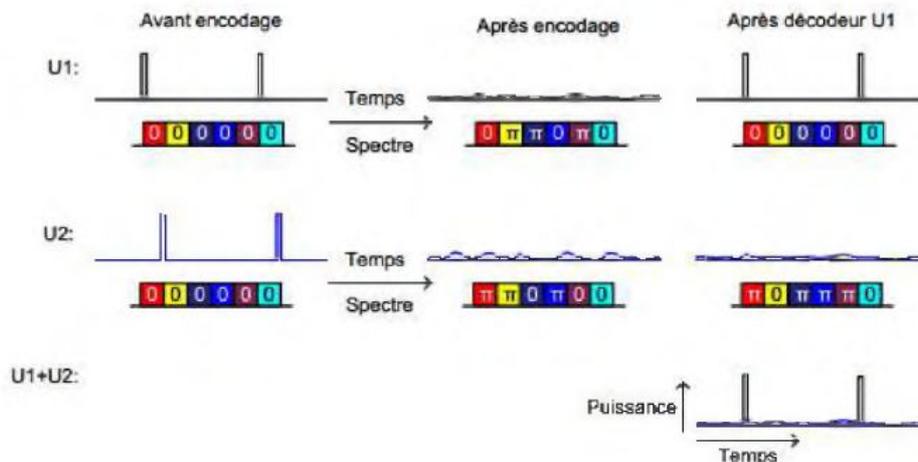


Figure II.11 : Présentation schématique du SPE-OCDMA

Différentes manières existent afin d'implémenter ce type d'encodage. Les composantes fréquentielles sont ensuite séparées spatialement par un réseau de diffraction, puis leurs phases sont encodées. En utilisant cette technique d'encodage, on parvient à transmettre quatre usagers 2,5 Gb/s, chacun avec un code comportant 31 cases fréquentielles. Tout comme en DS-OCDMA, un seuil optique non-linéaire peut être utilisé en SPE-OCDMA afin de tenter d'isoler l'impulsion d'auto corrélation, le composant optique hautement non-linéaire utilisé pour y arriver est fait de Lithium-Niobate, le signal est aussi étalé spatialement pour réaliser l'encodage et quatre usagers à 2.5 Gb/s sont transmis et recouverts adéquatement. La largeur de bande nécessaire est de 80GHz, pour une efficacité spectrale de 0.125 bit/s/Hz. Plutôt que d'utiliser un seuil optique non-linéaire, on utilise un fenêtrage temporel tout-optique préalablement appelé TOAD (Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer). Cette technique consiste en un élément optique non-linéaire, tel un amplificateur optique à Semi-conducteur (SOA), placé asymétriquement dans une courte boucle optique. Un train d'impulsions sert de signal de contrôle et permet d'isoler les signaux périodiques sur une mince fenêtre temporelle.

Cette technique est donc mise à profit afin d'effectuer une détection seulement sur le temps du chip correspondant à L'utilisateur décodé, rejettent ainsi toute l'énergie située hors de cette fenêtre.

Un système expérimental avec encodage par étalement spectral dans l'air libre est réalisé en utilisant un seuil optique non-linéaire, on parvient à transmettre quatre signaux provenant de 4 usagers à 1,25 Gb/s et deux usagers à 10 Gb/s avec des codes comportant 32 et 64 cases fréquentielles puis à multiplexer les signaux de huit encodeurs sur deux polarisations orthogonales. On multiplexe aussi ces signaux sur deux cases temporelles distinctes pour finalement revendiquer un système SPE-OCDMA à 32 usagers transmettant à 10 Gb/s chacun. Pour y arriver, on utilise un fenêtrage optique TOAD, un seuil optique non-linéaire, en plus d'un code correcteur d'erreurs. Le taux de transmission global résultant est de 296 Gb/s sur une bande optique de 12 nm pour une efficacité spectrale de 0.20bit/s/Hz.

Plutôt que d'utiliser un étalement spectral dans l'air libre, on utilise un encodeur intégré sur phosphate d'indium (InP) composé de deux AWGs et de modulateurs de phase.

L'impulsion optique entre par le premier AWG et est étalée spectralement sur 8 ports. Puis, des modulateurs de phase appliquent un changement de phase sur chacun de ces ports et les composantes spectrales sont recombinaées par un second AWG. Le seuil optique non-linéaire est effectué après le décodeur par un interféromètre de Mach-Zehnder différentiel à Conversion de longueurs d'onde qui comporte plusieurs SOAs dans les différentes branches du composant. Les encodeurs SPE-OCDMA présents comportent huit cases fréquentielles pour l'encodage, l'encodage SPE est fait dans le domaine temporel. Pour ce faire, les impulsions sont dispersées avec une valeur de -312,5 ps/nm. Les différentes composantes spectrales de l'impulsion sont donc étalées temporellement.

Un modulateur de phase haute vitesse encode ensuite la phase de ces différentes composantes spectrales à raison de 50ps par chip sur 800ps pour un total de 16 chips. Au décodeur, la dispersion est compensée et le décodeur est constitué d'AWGs avec espacement spectral de 20 GHz entre chaque canal pour compenser les phases. Le taux de transmission utilisée est de 1.25 Gb/s.

Une autre méthode utilise des encodeurs SPE sur circuits photoniques intégrés basés sur le principe de résonateurs en anneau. L'encodeur est composé d'un bus d'entrée en parallèle avec un bus de sortie. Des micro-anneaux relient les deux bus, tout en sélectionnant les longueurs d'onde. Des modulateurs de phase sont placés entre chaque sélecteur de longueur d'onde pour réaliser le code SPE. Après le décodeur, un fenêtrage optique TOAD est utilisé. Jusqu'à quatre usagers sont transmis à 2.5 Gb/s chacun sur une fenêtre optique de seulement 40 GHz pour une efficacité spectrale de 0.25 bit/s/Hz. Le même type d'encodeur est utilisé. Pour transmettre des usagers qui sont maintenant multiplexés en polarisation et dont le taux de transmission individuel est de 5 Gb/s. Six signaux d'usagers sont alors transmis

correctement dans une fenêtre de 80 GHz de bande optique pour une efficacité spectrale de 0.375 bit/s/Hz. [28]

b. OCDMA par encodage spectral d'amplitude (SAC)

Une autre manière de réaliser un système OCDMA est d'utiliser un encodage spectral d'amplitude (SAC), aussi appelé encodage en fréquence (FE). Avec cette méthode, chaque usager se voit assigner une partie du spectre optique comme code. Les usagers ont généralement un nombre fixe de longueurs d'onde en commun.

La combinaison d'un décodeur identique à l'encodeur et d'un décodeur complémentaire permet théoriquement d'obtenir des codes parfaitement orthogonaux par l'utilisation d'une détection équilibrée (figure II.12).

Afin de réaliser l'encodage spectral, des sources larges spectralement telles que les sources incohérentes ou les lasers multi-longueurs d'onde doivent être utilisées. La majorité des propositions SAC-OCDMA utilise des sources incohérentes puisque ces sources ont la particularité d'être intrinsèquement larges spectralement. Des sources MLL à Impulsions courtes pourraient aussi être utilisées, mais elles ne sont pas nécessaires ici puisque le format des données peut être non-retour-à-zéro et qu'elles impliquent une complexité et un coût plus élevés. [2]

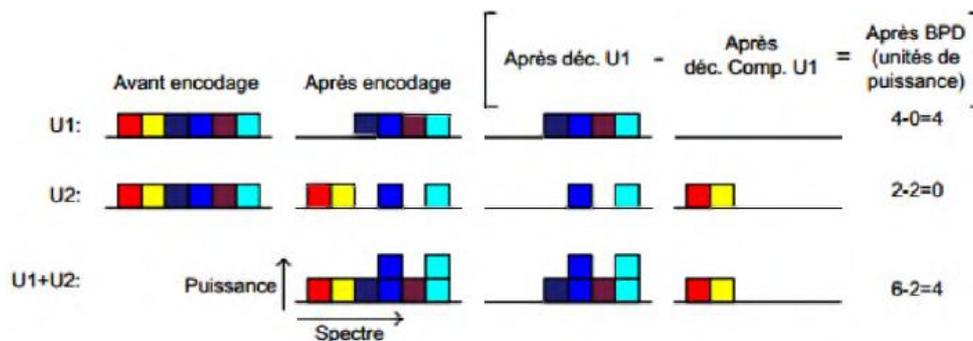


Figure II.12 : Représentation schématique du SAC-OCDMA, chaque couleur représente une case fréquentielle.

Différentes méthodes permettent de réaliser l'encodage spectral en amplitude, la première proposition pour réaliser l'encodage est de découper le spectre d'une source à large bande en proposant d'utiliser un réseau de diffraction dans l'air libre afin de séparer spatialement les composantes spectrales et ainsi bloquer les fréquences non désirées du code. Une autre méthode est l'utilisation des interféromètres de Mach-Zehnder et des cavités de Fabry-Pérot afin de découper le spectre de manière périodique. Les différentes périodicités

spectrales des encodeurs constituent alors les codes. Les sources optiques utilisées sont des diodes électroluminescentes dont la largeur spectrale à mi-hauteur est d'environ 60 nm.

Parmi les autres suggestions de systèmes SAC-OCDMA, on utilise l'encodage à partir de multiplexeurs et de démultiplexeurs en longueur d'onde, une autre manière de réaliser l'encodage SAC-OCDMA est d'utiliser les réseaux de Bragg comme codeurs et décodeurs, ces composants vont permettre d'assigner un unique code à chaque utilisateur.

Le bruit d'intensité intrinsèque aux sources incohérentes généralement utilisées en SAC-OCDMA constitue un problème majeur qui limite les taux de transmission ainsi que le nombre d'utilisateurs. [2]

II.5.2.3 OCDMA par encodage spectral-temporel (λ/t) ou FFH

Les systèmes OCDMA par encodage spectral et temporel (λ/t) ou FFH utilisent un codage à deux dimensions et permettent d'augmenter grandement la cardinalité des codes. Dans le processus d'encodage, une impulsion temporelle à large bande optique est divisée en chips temporellement distincts et chacun de longueur d'onde spécifique. On peut exprimer un code particulier en une matrice ayant comme dimension le temps et le spectre tel qu'illustré sur la figure II.13. Au récepteur le décodeur correspondant compense les délais entre les différentes longueurs d'onde, construisant ainsi un pic d'autocorrélation (U1 après le décodeur U1 dans la figure II.14). Les longueurs d'onde interférentes qui ne sont pas rejetées par le décodeur ont des délais distribués sur tout l'intervalle du bit (U2 après le décodeur U1 sur la figure II.13), créant ainsi du bruit MAI. Donc les codes FFH ne sont pas complètement orthogonaux, mais la diversité temporelle et fréquentielle permet de diminuer la corrélation croisée entre les usagers.

Tout comme le DS-OCDMA, afin de pouvoir exploiter la diversité temporelle, des impulsions plus courtes que la durée du bit doivent être utilisées, de façon à étaler le maximum d'énergie des interférents en dehors du pic d'autocréation.

Contrairement au SAC-OCDMA, le format retour-à-zéro (RZ) est utilisé plutôt que le format non-retour-à-zéro (NRZ). En théorie, la puissance MAI tombant hors de l'impulsion n'affecte pas la qualité du signal.

Parmi les premières propositions pour implémenter le système FFH dans la fibre optique est d'utiliser un synthétiseur de fréquence et un modulateur de phase. Également, l'utilisation de lasers accordables pouvant être syntonisés rapidement. Ces solutions

paraissent peu intéressantes puisqu'elles impliquent l'utilisation d'électronique rapide pour réaliser l'encodage.

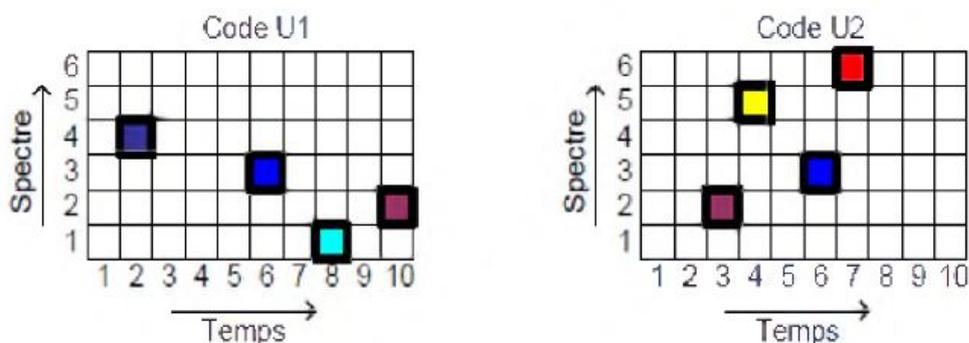


Figure II.13 : Matrices en deux dimensions représentant des codes (λ/t) OCDMA

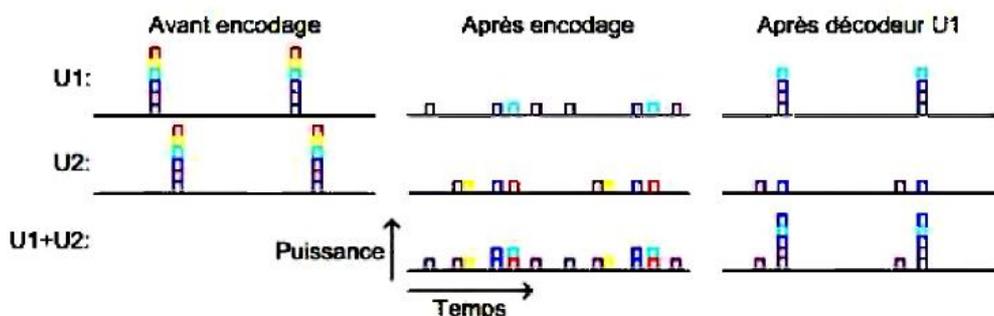


Figure II.14 : Représentation schématique d'un système (λ/t) OCDMA

Afin de réaliser l'encodage de manière passive et toute optique. Les encodeurs sont des FBGs écrits en série dans la fibre et qui réfléchissent chacun une longueur d'onde particulière. Lorsqu'une impulsion de grande largeur de bande entre dans l'encodeur, ses longueurs d'onde sont réfléchies avec différents délais, selon les positions des FBGs correspondants. [28]

II.5.2.4 OCDMA hybride et 2D

Pour essayer de réduire la longueur des codes sans diminuer la capacité c'est-à-dire le nombre d'utilisateurs on peut soit utiliser un schéma WDMA+CDMA temporel soit effectuer un codage par étalement à la fois temporel et en longueur d'onde (codage 2D).

a. OCDMA+WDM

Dans ce cas, chaque séquence signature en temporel est réutilisable et émise simultanément à différentes longueurs d'onde. La longueur du code et donc les contraintes sur la vitesse des circuits électriques ou optoélectroniques sont diminuées du fait de la réduction du nombre d'utilisateurs simultanés à chaque longueur d'onde.

Cette solution nécessite cependant un contrôle dans l'affectation des longueurs d'onde. [27]

b. OCDMA 2D

D'autres familles de codes appelés bidimensionnels (2D) ont été développées. Ces codes utilisent l'étalement des données dans deux domaines simultanément (temps et longueurs d'ondes), ce qui permet d'atténuer les contraintes sur les paramètres des codes.

Dans la version la plus simple, le code 2D consiste en une matrice $m \times n$ où m est lié au nombre de longueurs d'onde disponibles et n est lié à la longueur du code étalé temporellement.

Le temps bit est donc toujours subdivisé en n intervalles constitués de chips 0 ou 1. Le $i^{\text{ème}}$ chip 1 est transmis avec la $i^{\text{ème}}$ longueur d'onde et un chip 0 ne correspond à aucune transmission (figure II.15). [27]

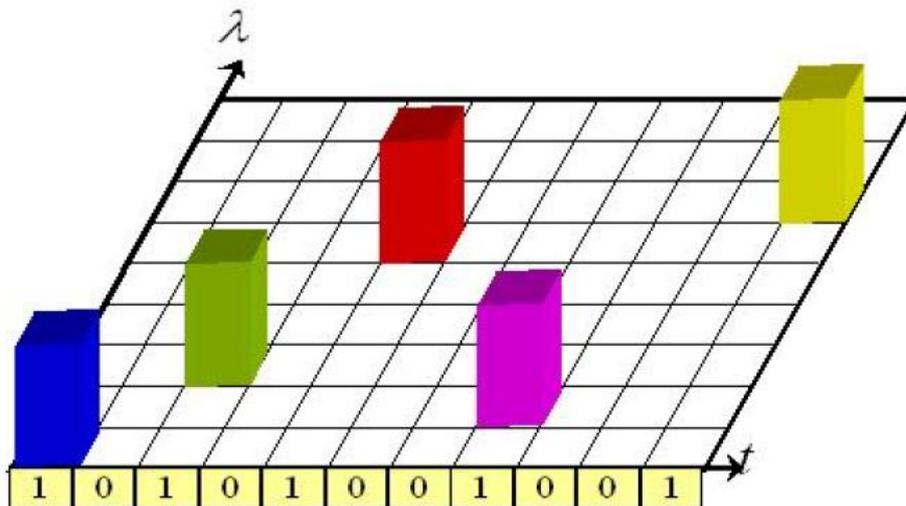


Figure II.15 : OCDMA en 2D

II.5.3 Codes utilisés pour un système CDMA optique

Dans les systèmes de communication optique utilisant la technique de partage OCDMA, les caractéristiques des codes sont un facteur déterminant pour la mise en œuvre du système.

Les familles des codes que nous recherchons pour le système doivent posséder les caractéristiques suivantes:

- Chaque séquence doit être facilement distinguable de toutes les autres séquences de la famille des codes (facteur d'inter-corrélation).
 - Une séquence doit être facilement distinguable d'une version décalée d'elle-même, et cela, pour toutes les séquences de la famille des codes (facteur d'auto-corrélation).
- [27]

Deux catégories de codes ont été étudiées, les codes unipolaires et les codes bipolaires.

II.5.3.1 Les codes unipolaires

Pour palier au problème de contrôle de phase, les séquences unipolaires peuvent être utilisées. Ce sont des séquences qui prennent des valeurs de l'ensemble $\{0, +1\}$, sans avoir une orthogonalité stricte entre codes (facteur d'auto et d'inter corrélation nul). Ces codes seront utilisés pour l'OCDMA temporel. [27]

Les codes qui ont fait l'objet de plus d'attention sont les Codes Optiques Orthogonaux (OOC), les Codes Premiers (PS), les Codes Quadratiques Congruents (QCC), et les Codes Quadratique Congruents Etendus.

a. Codes optiques orthogonaux (Optical Orthogonal Codes OOC)

Les familles de codes optiques orthogonaux sont les premiers codes unipolaires développés spécifiquement pour les systèmes OCDMA. Les codes OOC sont des familles de codes de longueurs L , de poids ω , de niveau d'autocorrélation λ_a et d'intercorrélacion λ_c définis par :

$$AC_n(l) = \begin{cases} \omega & \text{si } l = 0 \\ \leq \lambda_a & \text{si } 1 \leq l \leq L - 1 \end{cases} \quad \text{et} \quad CC_{n,m}(l) \leq \lambda_c \quad \text{si } 0 \leq l \leq L-1 \quad [\text{II.5}]$$

Où $AC_n(l)$: la valeur de la fonction d'autocorrélation discrète du code C_n pour un décalage chip l .

$CC_{n,m}(l)$: la valeur de la fonction d'intercorrélacion des codes C_n et C_m pour un décalage chip l .

λ_a et λ_c : les valeurs maximales des amplitudes des niveaux des lobes secondaires de la fonction d'autocorrélation et d'intercorrélacion. [29]

Une famille de codes OOC est dite optimale quand celle-ci contient le plus grand nombre de codes possible $\Phi(L, \omega, \lambda_a, \lambda_c)$ pour des longueurs L , poids ω , et niveaux de corrélation λ_a et λ_c donnés. La valeur de $\Phi(L, \omega, \lambda_a, \lambda_c)$ est déterminée par la limite de Johnson, pour $\lambda_a = \lambda_c = \lambda$:

$$\Phi(L, \omega, \lambda_a, \lambda_c) \leq \left\lfloor \frac{1}{\omega} \left\lfloor \frac{L-1}{\omega-1} \left\lfloor \frac{L-2}{\omega-2} \left[\dots \left\lfloor \frac{L-\lambda+1}{\omega-\lambda+1} \left\lfloor \frac{L-\lambda}{\omega-\lambda} \right\rfloor \dots \right] \right\rfloor \right\rfloor \right\rfloor \right\rfloor \quad [\text{II.6}]$$

Où $\lfloor x \rfloor$ est la partie entière de x .

Afin de maximiser cette limite, on montre que λ doit être minimal, i. e. égale à 1. On parle alors de codes OOC « strict » et on obtient :

$$\Phi(L, \omega, 1, 1) \leq \left\lfloor \frac{L-1}{\omega \cdot (\omega-1)} \right\rfloor \quad [\text{II.7}]$$

La construction des codes OOC $(N, L, \omega, 1, 1)$, est réalisée de manière à avoir des intervalles entre les chips de « 1 » de largeurs différentes. Le respect de cette condition permet de garantir un niveau λ_a des lobes secondaires de la fonction d'autocorrélation égale à 1.

Si cette condition est vérifiée entre les distances d'intervalle entre chips « 1 » de tous les codes de la famille ; alors les niveaux d'intercorrélation obtenus sont de 1. Les algorithmes de génération, très variés, sont hérités des codes correcteurs d'erreurs (ex : algorithmes gloutons). Le tableau suivant montre un exemple de famille de 4 codes OOC obtenue pour une longueur de code L , un poids ω , et des niveaux de corrélation $\lambda_a = \lambda_c = 1$. [29]

N	$C_n = \text{OOC}_{\omega=4}(\mathbf{n})$					
0	1100000000	0100000000	0001000000	0000000000	0000000000	00000000
1	1000100000	0000000000	01000001000	0000000000	0000000000	00000000
2	1001000000	0000000001	0000000010	0000000000	0000000000	00000000
3	1000001000	0000010000	0000000100	0000000000	0000000000	00000000

Tableau II.2. Famille de codes OOC ($\omega=4$)

b. Séquences premières (Prime Sequences PS)

Les codes premiers sont des séquences dont la construction est basée sur les nombres premiers. Pour tout nombre premier donné p , il existe un corps de Galois (GF : Galois Field) de p chips :

$$\text{GF}(p) = \{0, 1, \dots, p - 1\} \quad [\text{II.8}]$$

On définit une série de séquences $\{S_n\}$ dont chaque séquence est composée de p éléments :

$$S_n = \{S_n^{(0)}, S_n^{(1)}, \dots, S_n^{(j)}, \dots, S_n^{(p)}\} \quad [\text{II.9}]$$

Où chacun des éléments de S_n est déterminé par relation

$$S_n^{(j)} = n \cdot j \pmod{p} \quad [\text{II.10}]$$

Avec $n, j \in \text{GF}(p)$.

La construction de la famille de codes PS est réalisée à partir de la famille S_n en posant :

$$C_n^{(l)} = \begin{cases} 1 & \text{si } l = j \cdot p + S_n^{(j)} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{Où } J \in \{0, 1, \dots, p-1\}, l \in \{0, 1, \dots, L-1\} \quad [\text{II.11}]$$

Où $C_n^{(l)}$ est le $l^{\text{ième}}$ chip du $n^{\text{ième}}$ code de la famille de codes. On obtient ainsi la famille de codes PS, que l'on notera :

$$\{PS_p()\} = \{PS_p(0), PS_p(1), \dots, PS_p(n), \dots, PS_p(p-2)\} \quad [\text{II.12}]$$

Avec $PS_p(n-1)$ le $n^{\text{ième}}$ code de la famille (i.e. : $PS_p(n) = \{C_n^{(l)}\}_{l \in \{0, \dots, L-1\}}$)

Cette famille contient $N = (p-1)$ codes, de longueur $L = p^2$ et dont le poids ω est égale à p . Les valeurs maximales des niveaux des lobes secondaires de l'autocorrélation et de l'intécorrélacion sont respectivement $\lambda_a = (p-1)$ et $\lambda_c = 2$. Le tableau II.2 donne la famille de codes PS obtenue pour le nombre premier $p=5$. [30]

N	$C_n = PS_5(n)$				
0	10000	10000	10000	10000	10000
1	10000	01000	00100	00010	00001
2	10000	00100	00001	01000	00010
3	10000	00010	01000	00001	00100
4	10000	00001	00010	00100	01000

Tableau II.3. Famille de codes premiers $\{PS_5()\}$

c. Codes quadratiques congruents (Quadratic Congruent Codes QCC)

La génération des codes quadratiques congruents repose sur l'utilisation d'un opérateur de placement quadratique, cet opérateur est défini par :

$$q_n(i) = n \frac{i(i+1)}{2} \pmod{p} \quad [\text{II.14}]$$

Où p est un nombre premier.

La famille de codes est construite en fonction de l'opérateur quadratique et donnée par :

$$C_n^{(l)} \begin{cases} 1 & \text{si } l = q_n(i) + i \cdot q \text{ ou } n \in \{0, 1, \dots, p-1\}, l \in \{0, 1, \dots, L-1\}, i = \lfloor \frac{l}{p} \rfloor \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad [\text{II.15}]$$

Où $C_n^{(l)}$ est le $l^{\text{ième}}$ chip du $n^{\text{ième}}$ code de la famille des codes.

De cette génération résulte la famille de codes QC notée :

$$\{QC_p()\} = \{QC_p(0), QC_p(1), \dots, QC_p(n), \dots, QC_p(p-2)\} \quad [\text{II.16}]$$

Avec $QC_p(n-1)$ le $n^{\text{ième}}$ code de la famille (i.e : $QC_p(n) = \{C_n^{(l)}\}_{l \in \{0, \dots, L-1\}}$).

Cette Famille contient $N = (p-1)$ codes, de $L = p^2$, et de poids $\omega = p$. Les niveaux d'autocorrélation et d'intercorrélation (λ_a et λ_c) sont respectivement égaux à 2 et 4.

Le tableau II.3 donne les codes obtenus pour une famille de code QC générée avec le nombre premier p égal à 5. [31]

N	$C_n = QC_5(n)$				
0	10000	01000	00010	01000	10000
1	10000	00100	01000	00100	10000
2	10000	00010	00001	00010	10000
3	10000	00001	00100	00001	10000

Tableau II.3 : Famille de codes congruents $\{QC_5()\}$

d. Codes quadratiques congruents étendus (Extended Quadratic Congruence Code EQC)

La génération des codes quadratiques étendus congruents est également basée sur l'utilisation d'un opérateur de placement quadratique. Cet opérateur est le même que celui utilisé pour les codes QC, il est défini par :

$$q_n(i) = n \frac{i(i+1)}{2} \text{ mod } p \quad [\text{II.17}]$$

Où p est un nombre premier.

L'algorithme de génération de la famille de codes EQC est différent de celui des familles de codes QC. Il s'énonce en fonction de l'opérateur de la manière suivante :

$$C_n^{(l)} \begin{cases} 1 & \text{si } l = q_n(i) + i \cdot (2p - 1) \text{ ou } n \in \{0, 1, \dots, p - 1\}, l \in \{0, 1, \dots, L - 1\}, i = \left\lfloor \frac{l}{2p-1} \right\rfloor \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad [\text{II.18}]$$

Où $C_n^{(l)}$ est le $l^{\text{ième}}$ chip du $n^{\text{ième}}$ code de la famille de code.

La famille de codes EQC générée est notée :

$$\{EQC_p()\} = \{EQC_p(0), EQC_p(1), \dots, EQC_p(n), \dots, EQC_p(p-2)\} \quad [\text{II.19}]$$

Avec $EQC_p(n)$ le $n^{\text{ième}}$ code de la famille (i.e. : $EQC_p(n) = \{C_n^{(l)}\}_{l \in [0, \dots, L-1]}$).

Cette famille contient $N = (p-1)$ codes de longueur $L = p(2p-1)$, et de poids $\omega = p$. Les propriétés d'autocorrélation et d'intercorrélation sont respectivement $\lambda_a = 1$, et $\lambda_c = 2$.

Le tableau suivant illustre les codes de la famille de codes EQC obtenue pour le nombre premier $p = 5$. [29]

N	$C_n = EQC_5(n)$				
0	100000000	010000000	000100000	010000000	100000000
1	100000000	001000000	010000000	001000000	100000000
2	100000000	000100000	000010000	000100000	100000000
3	100000000	000010000	001000000	000010000	100000000

Tableau II.4 famille de codes quadratiques congruents étendus $\{EQC_5()\}$

II.5.3.1 Les codes bipolaires

Ce sont des séquences qui prennent des valeurs de l'ensemble $\{-1, +1\}$. Avec ces codes, on peut avoir de meilleurs caractéristiques d'auto et d'inter-corrélation, mais l'utilisation de ces codes dans les systèmes optiques, demande l'utilisation de dispositifs pour le contrôle de phase qui se manifeste d'une part par la complexité du système et d'autre part par l'augmentation du coût de la liaison. [21]

Dans cette catégorie de code, on distingue plusieurs familles : Codes de Gold, Codes de Gold Orthogonaux(OGC), Codes de Walsh Hadamard (WH). Ces codes sont principalement utilisés en OCDMA spectral.

a. Codes de Gold

Les familles de codes de Gold sont générées à partir de deux séquences de code à longueurs maximales (m-séquences) de degré m, dites préférées. Ces codes sont par définition des m-séquences de longueur $L = (2^m - 1)$ avec $m \neq 0 \pmod{4}$. La famille de N codes de Gold $\{GC_m()\}$ est définie par la relation suivante :

$$\{GC_m()\} = \{MS_i, MS_j, MS_i \oplus T^0 MS_j, MS_i \oplus T^1 MS_j, \dots, MS_i \oplus T^K MS_j\}_{k \in \{0, \dots, L-1\}} \quad [II.20]$$

Où MS_i et MS_j sont les m-séquences de degré m et T^K l'opérateur de permutation circulaire de K éléments, et \oplus l'opérateur d'addition modulo 2 (XOR : ou exclusif).

La famille de $N = L+2$ codes de Gold obtenu comprennent les deux m-séquences et les séquences de longueur L, générées par addition (mod 2) d'une des m-séquences avec les permutations circulaires de l'autre m-séquence. Les propriétés de corrélation des codes de la famille de Gold générée sont les mêmes que celles des séquences de codes à longueurs maximales préférées utilisées. Les valeurs prises par les niveaux des lobes secondaires de la fonction d'autocorrélation et la fonction d'intercorrélacion sont :

$$\begin{cases} \{-1, -[2^{\frac{m+2}{2}} + 1], 2^{\frac{m+2}{2}} - 1\} & \text{si } m \text{ est pair} \\ \{-1, -[2^{\frac{m+2}{2}} + 1], 2^{\frac{m+1}{2}} - 1\} & \text{si } m \text{ est impair} \end{cases} \quad [\text{II.21}]$$

On a donc comme niveaux maximal de ces lobes secondaires :

$$\lambda_a = \lambda_c = \begin{cases} 2^{\frac{m+2}{2}} + 1 & \text{si } m \text{ est pair} \\ 2^{\frac{m+1}{2}} + 1 & \text{si } m \text{ est impair} \end{cases} \quad [\text{II.22}]$$

Les familles de Gold sont donc, tout comme les familles m-séquences, des familles de codes quasi-orthogonales. Les codes de cette famille présentent des propriétés pseudo-aléatoires donnant aux niveaux des lobes secondaires de la fonction d'autocorrélation et aux niveaux des lobes de la fonction d'intercorrélration 3 valeurs distinctes pour une longueur de code donnée. [29]

Prenons l'exemple d'une famille de codes de Gold générée à partir de séquences préférées de degré $m=3$ et donc de longueur $L = 7$ telle que :

$$MS_i = [-1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1] \text{ et } MS_j = [-1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1]$$

Les codes de la famille de Gold obtenues sont exposés dans le tableau suivant :

N	$C_n = GC_3(n)$						
0	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1
1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1
2	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
3	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1
4	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
8	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1

Tableau II.5 : Famille de codes de Gold $\{GC_3()\}$

b. Codes de Gold Orthogonaux(OGC)

A la fin de chaque séquence de code d'une famille de Gold est ajouté un chip à « -1 ». La famille des N codes de Gold orthogonaux $\{OGC_m(\cdot)\}$ est donnée par la relation suivante :

$$\{OGC_m(\cdot)\} = \{(MS_i, -1), (MS_i \oplus T^0 MS_j, -1), (MS_i \oplus T^1 MS_j, -1), \dots, (MS_i \oplus T^k MS_j, -1)\} \quad [II.23]$$

Où MS_i et MS_j sont les codes à longueurs maximales préférée de degré m ($m \neq 0 \pmod{4}$), de longueurs $2^m - 1$.

Nous obtenons une famille de codes contenant $N=L$ codes, de longueurs $L=2^m$. Les propriétés λ_a et λ_c ne sont pas connus pour les décalages non nuls. Cependant, cette famille possède l'avantage d'avoir un pic l'intercorrélacion nul pour un décalage nul, ce qui la rend attractive dans le cas d'un système synchrone. [29]

En utilisant la famille de codes de Gold (Tableau II.6), on obtient les codes de Gold orthogonaux suivants :

n	$C_n = OGC_3(n)$								
0	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1
1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
2	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
3	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
4	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1
6	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1
7	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1

Tableau II.6 : Famille de codes de Gold orthogonaux $\{OGC_3(\cdot)\}$

c. Codes de Walch Hadamard (WH)

La génération des familles e code Walch Hadamard (WH) est basée sur l'utilisation de la matrice du même nom. Cette matrice carrée de taille $2^n \cdot 2^n$ satisfait la condition suivante :

$$WH_m \cdot WH_m^T = m \cdot I \quad [II.24]$$

Où m est un nombre du type 2^n , WH_m la matrice de Walsh Hadamard de dimension (m.m), WH_m^T la matrice transposée de celle-ci et « I » la matrice identité de dimension (m.m).

Le respect de la condition énoncée implique une orthogonalité parfaite entre les vecteurs colonnes ainsi qu'entre les vecteurs lignes.

Ces vecteurs, formant une même et unique base orthogonale, sont alors utilisés pour former la famille de code WH. Cependant cette orthogonalité observée correspond au cas d'une transmission synchrone et n'est pas conservée dans le cas d'une transmission asynchrone.

La matrice de Walsh Hadamard utilisée, qui est composée de « -1 » et « 1 », est obtenue par construction récursive de la manière suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} WH_1 = 1 \\ WH_m = \begin{bmatrix} WH_{m/2} & WH_{m/2} \\ WH_{m/2} & -WH_{m/2} \end{bmatrix} \end{array} \right. \quad [\text{II.25}]$$

Le $n^{\text{ième}}$ code de la famille est défini par la $n^{\text{ième}}$ vecteur colonne (ou ligne) de cette matrice. [29] [32]

La longueur des codes et le nombre N de codes contenus dans la famille WH générée sont tous deux égaux à $m=2^n$. Cette famille de codes possède une orthogonalité parfaite pour un décalage chip nul, c'est-à-dire en cas de synchronisation entre les utilisateurs. Toutefois, elle présente des niveaux de lobes secondaires d'autocorrélation et d'intercorrélacion non nuls dont les valeurs inférieures à m, dépendent particulièrement du (ou des) code(s) utilisé(s). Ce qui la rend moins intéressante pour les systèmes OCDMA asynchrones. Par exemple la matrice de Walsh Hadamard de dimension 4 donne les 4 codes de longueur 4 dans le tableau suivant :

N	$C_n = WH_4(n)$			
0	+1	+1	+1	+1
1	+1	-1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1
3	+1	-1	-1	+1

Tableau II.7 : Famille de codes Walsh Hadamard $\{WH_4()\}$

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue globale des différents types de multiplexage, on a commencé par le multiplexage fréquentiel FDMA, le multiplexage temporel TDMA et le multiplexage en code CDMA et nous avons aussi montré que la méthode d'accès CDMA se décline sous différentes formes, DS-CDMA, le TH-CDMA et le FH-CDMA.

On a parlé en détail de la technique OCDMA avec les différents types et les différents codes utilisés; les codes optiques unipolaires, regroupant les familles de codes optiques orthogonaux (OOC), les codes premiers (PC), codes quadratique congruent (QCC) et les code quadratique congruent étendus, ont à présenter aussi les codes bipolaires où on distingue les codes de Walsh- Hadamard (WH), les codes de Gold, et les codes gold orthogonaux (OGC).

Pour cela dans le chapitre suivant on faire une étude sur le système SAC-OCDMA et on va présenté les résultats de simulation obtenu.

III.1 Introduction

La division optique de codes de la technique d'accès multiple (OCDMA) devient plus attrayante en raison de ses plusieurs caractéristiques comme sa capacité à soutenir l'accès asynchrone, transmission sécurisée et rentable. Le principal inconvénient d'OCDMA est que sa performance et la capacité sont limitées par des interférences d'accès multiple (MAI).

Les chercheurs ont proposé l'amplitude spectrale de codage (SAC) de tous les types d'OCDMA en raison de sa capacité à retenir l'AMI lors de l'utilisation d'une technique de détection appropriée au niveau du récepteur avec phase de corrélation croisée des codes.

Les sources à large bande à faible coût tels que des diodes électroluminescentes (DEL) peuvent être utilisés pour le système SAC-OCDMA. Cependant, la performance du SAC-OCDMA est encore limitée par le bruit de l'intensité de la phase induite résultant de l'utilisation des sources de lumière à large bande.

Dans ce chapitre nous décrivons tout d'abord le logiciel OptiSystem, puis nous présentons notre système de transmission OCDMA avec chaque partie de la liaison en étudiant la qualité de transmission avec différents critères.

III.2 Présentation du logiciel Optisystem

III.2.1 Définition

OptiSystem, est un logiciel de conception, de tests et d'optimisation de n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un vaste spectre de réseaux optiques. Un niveau de système simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique, OptiSystem possède un environnement de simulation puissant et une définition vraiment hiérarchique de composants et système. Ses capacités peuvent être facilement élargies avec l'ajout de l'utilisateur de composants et d'interfaces continu à une gamme d'outils largement utilisés.

Une interface utilisateur graphique complète control la disposition de composants optiques, des modèles et graphiques de présentation. La bibliothèque des composants OptiSystem comprend des centaines de composants qui nous permettons de saisir les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de dispositifs réels. Les utilisateurs peuvent incorporer de nouveaux composants basés sur des sous-systèmes définis par l'utilisateur des bibliothèques. [5]

OptiSystem manipule des formats de message mélangés pour les signaux optiques et électriques dans les bibliothèques composantes.

Pour répondre aux besoins des chercheurs, ingénieurs télécoms optiques, des intégrateurs systèmes, des étudiants et une grande variété d'autres utilisateurs, OptiSystem satisfait à la demande d'évolution du marché de la photonique, c'est un outil puissant et facile à utiliser pour les systèmes optiques de conception.

C'est une application Xwindows, elle comprend essentiellement une fenêtre principale réparti en plusieurs parties :

- ✓ Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- ✓ Editeur du Layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- ✓ Projet en cours : visualisations des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours. [5]

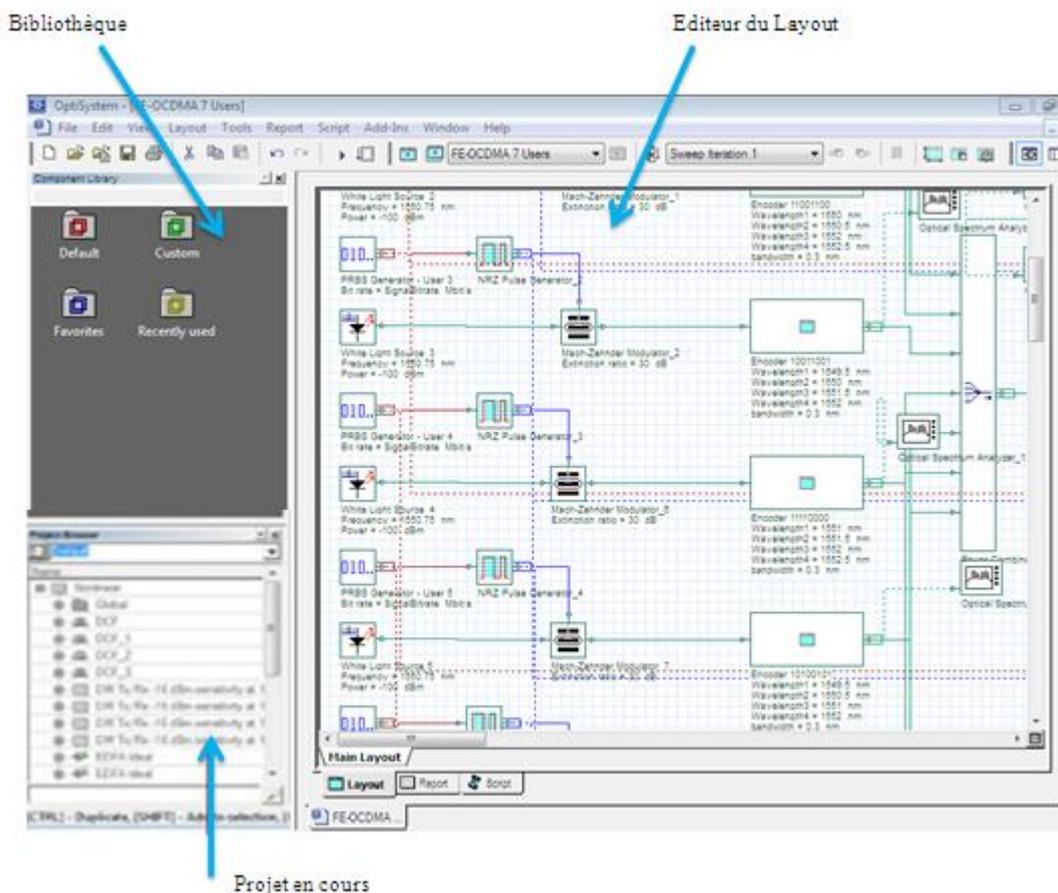


Figure III.1. Les fenêtres dans OptiSystem

OptiSystem est un logiciel très performant qui permet aussi de concevoir et de modéliser des composants optiques. Lors de la conception, il suffit de glisser le composant de la bibliothèque vers le Layout.

III.2.2 Les avantages du logiciel

- ✓ Fournir un aperçu de performance du système mondial de fibres optiques.
- ✓ Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- ✓ Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels
- ✓ Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système
- ✓ Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation [6]

III.2.3 Les applications du logiciel

OptiSystem permet l'automatisation de la conception de pratiquement n'importe quel type de lien optique dans la couche physique, et l'analyse d'un large éventail de réseaux optiques, de systèmes longue distance à MAN et LAN. [5]

Un large éventail d'applications d'OptiSystem comprend :

- ✓ La conception du système de communication optique du composant à niveau de système de la couche physique
 - ✓ La conception de réseaux TDM / WDM ou réseaux CATV (Câble Télévision)
 - ✓ Les réseaux optiques passifs (PON) basé FTTx
 - ✓ Systèmes espace libre optique (OSA)
 - ✓ Radio par rapport aux systèmes de fibres (ROF)
 - ✓ SONET / SDH conception d'anneau
 - ✓ L'émetteur, le canal, amplificateur, et la conception de récepteurs
 - ✓ Conception de carte de dispersion
 - ✓ Estimation du TEB et le système des sanctions avec différents modèles de récepteurs
- ✓ BER système amplifié et lien calcul du budget.

III.3 Présentation du système

Dans cette partie, nous présentons et décrivons les différents composants utilisés et leur caractéristiques (figure III.2) liée à un système SAC-OCDMA utilisant un code de Walsh-Hadamard pour sept utilisateurs, et nous présentons dans ce qui suit les différentes parties de la liaison optique.

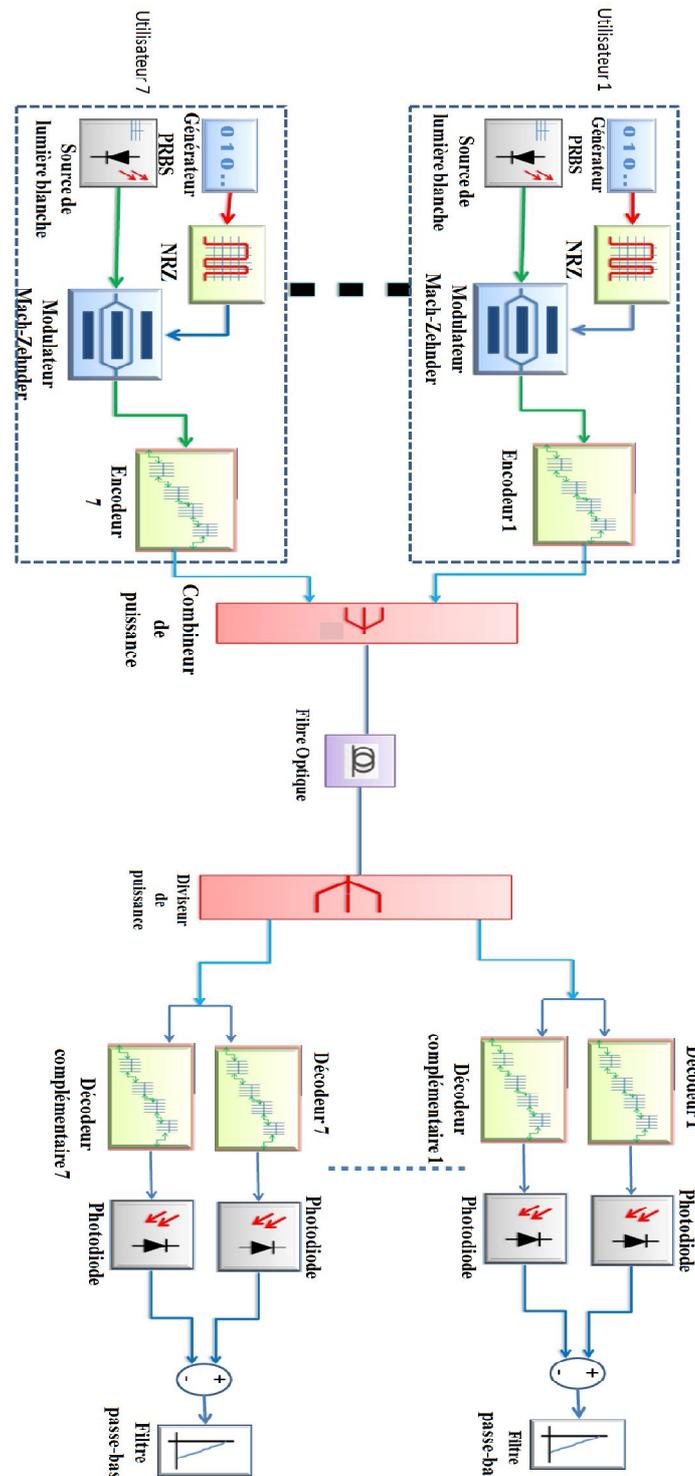


Figure III.2. Schéma d'une liaison optique pour 7 utilisateurs

III.3.1 Partie émission

La figure III.3 schématise les différents éléments de la partie émission, elle est constituée de sept utilisateurs. Chaque utilisateur est constitué d'une source de lumière blanche, d'un générateur binaire (PRBS), d'un générateur NRZ, d'un modulateur d'amplitude Mach-Zehnder et d'un encodeur (Walsh Hadamard).

Le signal généré par un générateur de séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) est codé en NRZ et le signal de sortie de la source de lumière blanche, sont les entrées du modulateur de Mach-Zehnder. La sortie du modulateur passe ensuite par un encodeur qui est constitué de 4 réseaux de Bragg avec quatre longueurs d'ondes différentes.

Les signaux obtenus à la sortie des encodeurs sont combinés à l'aide d'un combineur de puissance (7x1) dont la sortie est couplée avec la fibre optique.

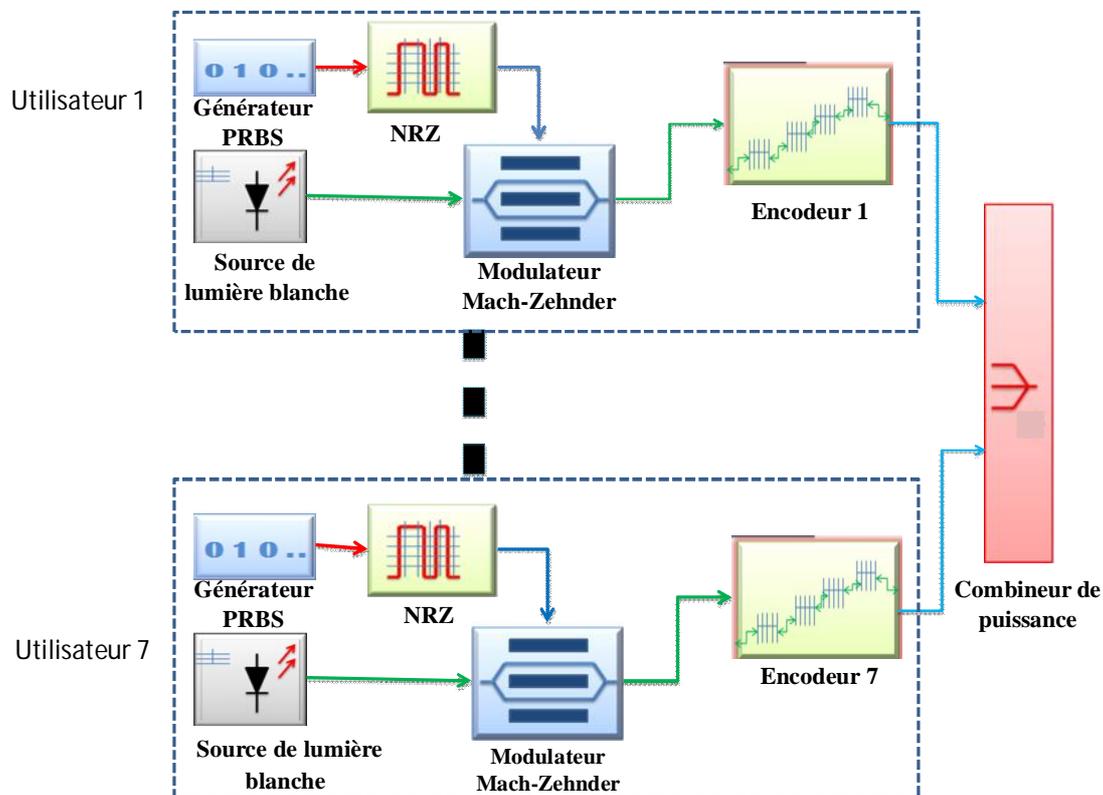


Figure III.3. Schéma de la partie émission

III.3.1.1 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, le débit utilisé est de 200 Mb/s.

III.3.1.2. Générateur NRZ

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.

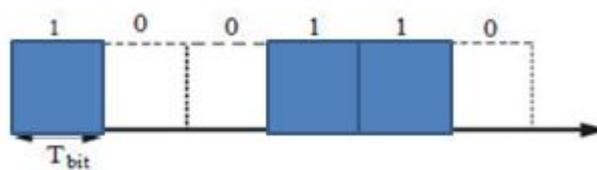


Figure III.4. Format de NRZ

Dans ce code en ligne NRZ, le bit « 1 » est représenté par un état significatif (tension positive), et le bit « 0 » par un autre état significatif (tension négative), il n'existe pas d'état intermédiaire. Le codage est à deux états, le signal se trouve dans un état haut lorsque des « 1 » logique sont transmis, et dans l'autre état lorsque des « 0 » logique sont transmis, ces deux états correspondent à deux niveaux de tension symétrique par rapport à zéro.

III.3.1.3. La source optique

La lumière blanche émise par une source est formée d'une infinité de radiations monochromatiques de couleurs différents. Chaque radiations de fréquences différents d'interférence, mais des radiations de fréquences différentes n'interfèrent pas entre elles.

Elle possède un spectre complet et continu c'est-à-dire qu'elle émet dans tous les longueurs d'ondes de spectre visible.

Ses paramètres utilisés dans notre simulation sont la puissance de -100dbm et la longueur d'onde de 1550,75nm.

Les deux figures suivantes présentent les signaux de sorties temporel (a) et spectral (b) de la source optique.

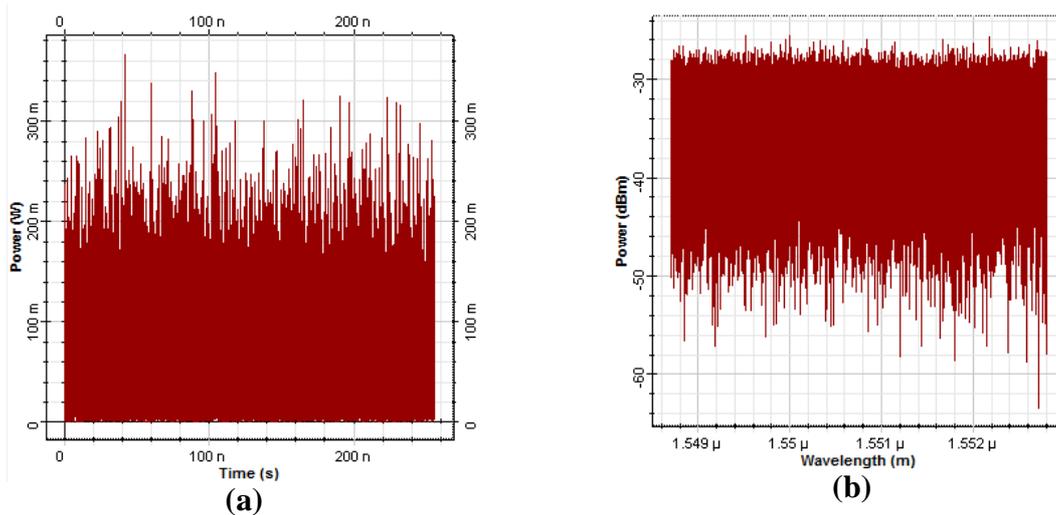


Figure III.5. Signaux de sorties temporel (a) et spectral (b) de source optique

III.3.1.4. Le modulateur Mach-Zehnder

Les effets électro-optiques sont la base de ces types de modulateurs, à savoir que l'indice de réfraction de certains matériaux peut être modifié par l'application d'un champ électrique, variant selon la modulation des données.

Ce phénomène est appelé effet Pockels si les effets électro-optiques sont linéaires, c'est-à-dire que la variation d'indice est proportionnelle au champ appliqué, et effet Kerr quand elle est proportionnelle au carré du champ. L'effet Pockels est prépondérant dans certains matériaux et permet des modulations de phase et d'amplitude de la lumière.

Afin d'obtenir des modulateurs d'amplitude indépendants de la polarisation en onde guidée, une solution consiste à travailler en propagation longitudinale. L'onde optique se propageant suivant cet axe voit un indice de réfraction égal à l'indice ordinaire du matériau et quelle que soit sa direction de polarisation dans le plan.

La technique utilisée pour moduler l'amplitude d'un faisceau consiste à lui faire traverser un interféromètre de Mach-Zehnder (Figure III.6) dans lequel il est possible de commander la différence de phase entre les deux bras. [33]

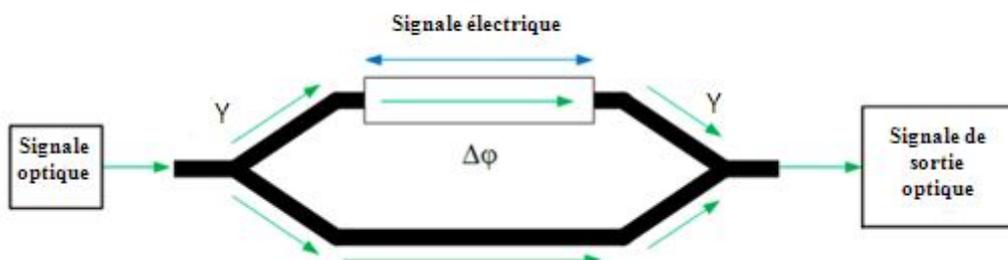


Figure III.6. Modulateur Mach-Zehnder

La lumière est couplée dans deux guides par un embranchement en Y. Les deux faisceaux se recombinaient ensuite dans un deuxième embranchement en Y. L'indice de réfraction du matériau électro-optique, placé sur l'un des bras de l'interféromètre, est modifié par l'application d'une tension, entraînant ainsi un déphasage entre les deux faisceaux.

Suivant leur différence de marche (phase relative), les deux faisceaux interfèrent de manière constructive (toute la puissance optique est disponible en sortie), ou destructive (aucune lumière n'est injectée dans le guide de sortie). Entre ces deux extrêmes, tous les états intermédiaires sont possibles et la modulation de la lumière reproduit celle de la tension appliquée. [33]

Le modulateur utilisé est caractérisé par un taux d'extinction égale à 30dB, et un facteur de symétrie vaut à « -1 ».

III.3.1.5. Encodeur

Une source large bande (incohérente) émet un spectre ayant une densité spectrale de puissance $F(\nu)$ que nous pouvons subdiviser en L cases fréquentielles (frequency bins). L désigne la longueur du code. C'est sur ces L tranches spectrales que nous allons réaliser l'encodage spectral par le biais d'un encodeur (ENC).

L'ENC assigne une signature spectrale unique à chaque usager en occupant w cases fréquentielles parmi les L disponibles. W désigne le poids du code. Puisque l'utilisation de la technique du SAC-OCDMA implique un partage d'un certain nombre de cases fréquentielles entre deux codes distincts, nous utiliserons le symbole Γ pour indiquer le nombre de cases communes. Γ désigne donc la corrélation croisée.

A la figure III.7. (a), le code spectral choisi est « 0010110 » pour l'ENC de l'usager #i. Nous désignerons l'usager #i comme l'usager désiré. Nous présentons aussi à la figure III.7 (b), le code de l'usager #j « 0101100 » qui correspond à la signature d'un interférent. Pour cette section nous garderons toujours la nomenclature suivante :

Vert \Rightarrow usager #i \Rightarrow usager désiré \Rightarrow « 0010110 »

Orange \Rightarrow usager #j \Rightarrow interférent \Rightarrow « 0101100 ».

Comme nous pouvons le voir sur ces figures III.7, nous avons choisi le cas particulier d'un code de longueur $L = 7$, de poids $w = 3$ et $\Gamma = 1$ pour illustrer le principe de fonctionnement. Évidemment, la valeur de L , w et de Γ varie selon la famille de code choisie, mais le principe d'encodage reste le même. [34]

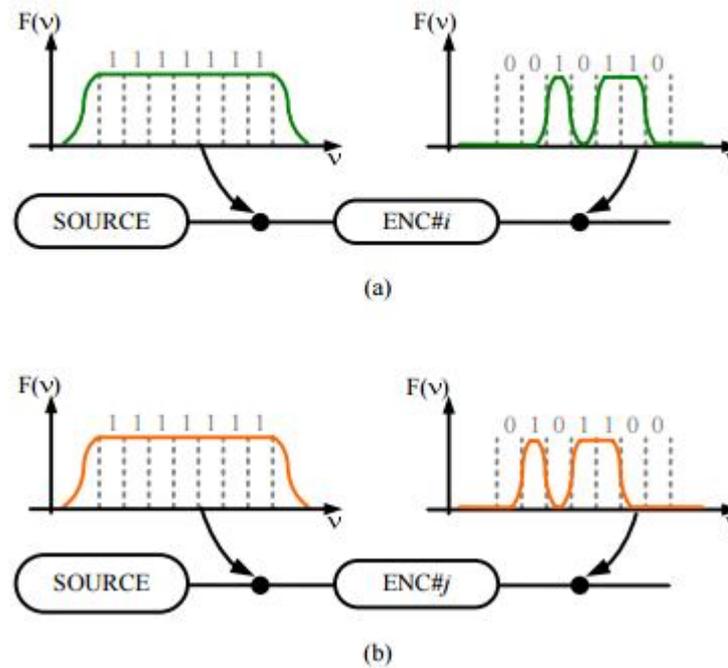


Figure III.7 : Principe de l'encodage spectral SAC-OCDMA (a) pour usager désiré avec code #i ;
 (b) pour un interférent avec le code #j

Pour cela on a utilisé le codage avec Walsh-Hadamard qui est constitué du vecteur de ligne d'une matrice de code Walsh disposés selon l'ordre de Hadamard. Les éléments de cette matrice de Walsh sont ± 1 , qui peut être produit rapidement à partir de la relation de récurrence suivante:

$$H(i + 1) = \begin{bmatrix} H(i) & H(i) \\ H(i) & -H(i) \end{bmatrix} \quad [\text{III.1}]$$

Pour 7 utilisateurs le réseau OCDMA, le mot de code utilisé est $H(3)$ qui est de la forme matricielle 8×8 (Walsh Matrix). La 1ère ligne du code est composée d'un groupe de "1" logique, mais cette dernière n'est pas utilisée, comme si le traitement de décodage, les données seront extraites par les FBG. Ce pourquoi $H(3)$ matrices ne peut fournir que 7 utilisateurs dans le réseau SAC-OCDMA.

$$H(3) = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{bmatrix}$$

La représentation bipolaire de ces séquences consiste à remplacer simplement les valeurs [-1, +1] par les valeurs [0,1] ce qui est représenté dans la matrice suivante :

$$H(3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Le tableau suivant représente les longueurs d'onde des réseaux de Bragg pour chaque utilisateur, en sachant qu'un « 0 » implique l'élimination sur le spectre de la longueur d'onde correspondante et un « 1 » implique la présence sur le spectre de la longueur d'onde correspondante.

Code 1	1	0	1	0	1	0	1	0
	-	1549.5nm	-	1550.5nm	-	1551.5nm	-	1552.5nm
Code 2	1	1	0	0	1	1	0	0
	-	-	1550nm	1550.5nm	-	-	1552nm	1552.5nm
Code 3	1	0	0	1	1	0	0	1
	-	1549.5nm	1550nm	-	-	1551.5nm	1552nm	-
Code 4	1	1	1	1	0	0	0	0
	-	-	-	-	1551nm	1551.5nm	1552nm	1552.5nm
Code 5	1	0	1	0	0	1	0	1
	-	1549.5nm	-	1550.5nm	1551nm	-	1552nm	-
Code 6	1	1	0	0	0	0	1	1
	-	-	1550nm	1550.5nm	1551nm	1551.5nm	-	-
Code 7	1	0	0	1	0	1	1	0
	-	1549.5nm	1550nm	-	1551nm	-	-	1552.5nm

Tableau III.1. Les longueurs d'ondes pour les sept utilisateurs

III.3.2 Canal de propagation

L'atténuation de la fibre optique monomode qui est le canal de propagation du système est de 0,2 dB/km et sa dispersion est de 16,75ps/nm.km. Quand à la longueur elle varie par la suite.

III.3.3. Partie réception

Dans cette session, la puissance optique a la sortie du canal de transmission est divisée en sept à l'aide d'un diviseur optique (1 x 7).

Le signal optique de chaque utilisateur est divisé en deux composantes à l'aide d'un diviseur optique (1 x 2). La composante du bras supérieur est filtrée à travers un décodeur direct qui est le même codeur utilisé au niveau de l'émetteur. La composante du bras inférieur est filtrée à travers son décodeur complémentaire.

La sortie de chaque ensemble de décodeur, sont détectés à l'aide de deux photodiodes connectées dans une structure équilibrée. Le signal résultant de ces deux détecteurs est filtré par un filtre passe-bas de Bessel. Ce dernier est utilisé pour rejeter le bruit et les interférences qui se situent en dehors des informations du spectre du signal (Figure III.8).

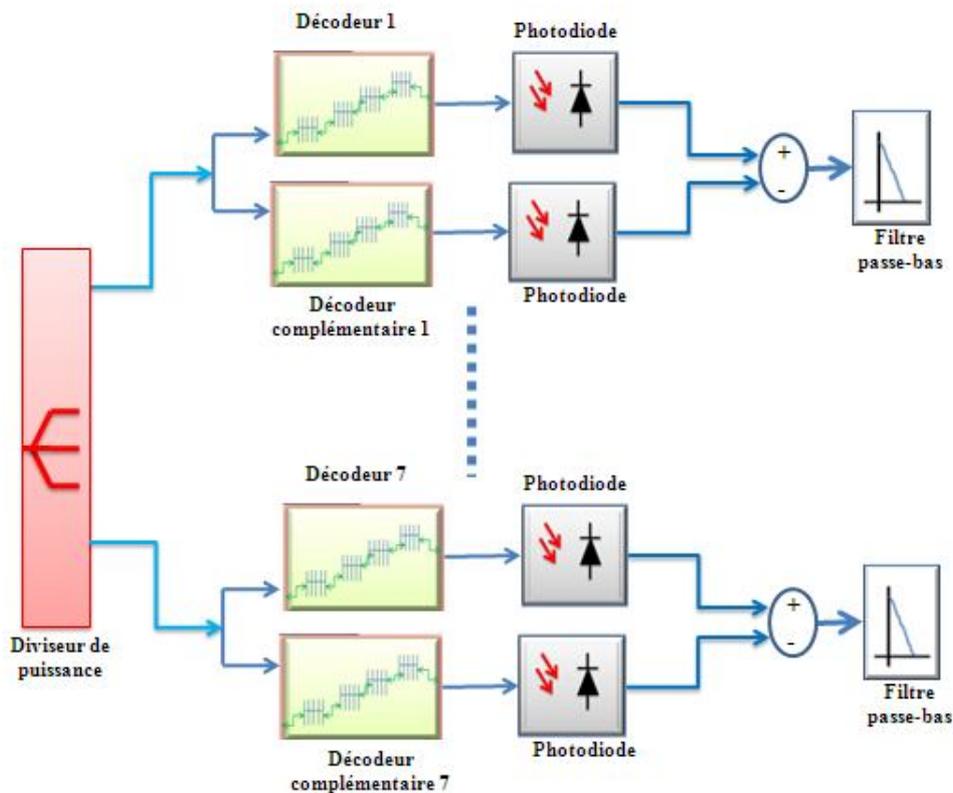


Figure III.8. : Schéma de la partie réception

III.3.3.1. Décodeur

Le but d'un système de décodage SAC-OCDMA pour l'utilisateur est double. Premièrement, il faut qu'il détecte les données qui lui sont destinées. Deuxièmes, il faut que le système de détection rejette les signaux des interférents ce qui implique qu'un signal électrique de moyenne nulle doit être produit lorsque seuls les interférents sont actifs et ce peu importe leur nombre.

Nous présentons à la figure III.9 la structure d'un décodeur pour un système SAC-OCDMA permettant de détecter le signal de l'utilisateur ayant le code #i. Cette structure est composée d'un coupleur 1 × 2 non sélectif en fréquence. Dans le bras supérieur, un décodeur (DEC #i) est inséré. DEC #i a une réponse spectrale identique à ENC #i. Dans l'autre bras, un décodeur complémentaire (CDEC #i) est inséré. Le composant CDEC #i a une réponse spectrale complémentaire à DEC #i. Cela signifie simplement que son code spectral sera le complément binaire de celui du DEC #i.

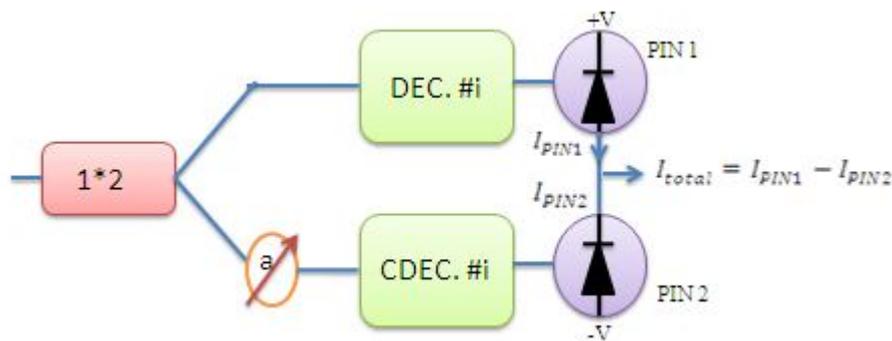


Figure III.9 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code #i

Soit le code l'utilisateur #i « 1101001 » (figure II.10). Un atténuateur α est également inséré pour ajuster la détection balancée avec précision. Une photodiode balancée (ou détection équilibrée) est utilisée. Cela permet de faire la soustraction des photocourants générés sur chacune des photodiodes tel que :

$$I_{total} = I_{PIN1} - I_{PIN2} \quad [III.2]$$

L'utilisation d'une photodiode balancée permet d'obtenir la soustraction des photocourants issus des deux photodiodes distinctes. [34]

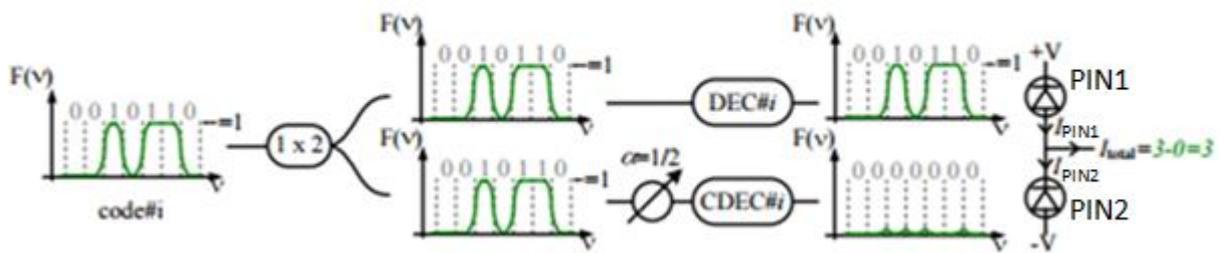


Figure III.10. Fonctionnement du système de décodage de l'utilisateur #i pour un signal émis avec le code #i

Il existe différentes techniques pour convertir un signal optique en signal électrique. Dans notre système SAC-OCDMA étudié on utilise un composant appelé photodiode PIN qui est disponible dans la bibliothèque d'OptiSystem.

Les paramètres caractéristiques de la photodiode sont présentés dans le tableau suivant

Paramètres	Valeur
Réceptivité	1 A/W
Courant d'obscurité	10 nA
Centre de fréquence	1550.75 nm
Taux d'échantillonnage	512e+009 Hz
Résistance de charge	50 Ohm
Température absolue	298 K

Tableau III.2. Paramètre Caractéristique de la Photodiode PIN

III.3.3.2 Filtre de Bessel passe bas

Le filtre de Bessel est un filtre polynômial « tout pôle » d'ordre supérieur dont la caractéristique principale est d'offrir un délai constant en bande passante. Concrètement, cela signifie que toutes les fréquences pures, en bande, le traversent en un temps rigoureusement égal. Le filtre de Bessel permet donc de minimiser la distorsion que subit un signal complexe lors d'une opération de filtrage. La fréquence de coupure de ce filtre est de 130Mhz.

III.4. Qualité de transmission d'une liaison

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

III.4.1 Taux d'erreurs binaires

La qualité de transmission numérique binaire est intrinsèquement simple à évaluer puisqu'il suffit de comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, et de compter les erreurs c'est-à-dire le nombre de fois d'un « 0 » est détecté pour un symbole « 1 » émis ou vice versa. On définit alors le taux d'erreurs binaires ou Bite Error Rate en anglais (BER) correspondant au nombre d'erreurs sur le nombre de bits transmis pendant la durée de la mesure.

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bit erroné}}{\text{Nombre de bit transmis}} \quad \text{[III.3]}$$

La mesure de qualité globale d'un système de canaux multiplexé en longueurs d'onde passe par la mesure du taux d'erreur de tous les canaux. Si un seul canal parmi plusieurs canaux présente des erreurs, le taux d'erreurs du système global est proche du taux d'erreurs du canal présentant des erreurs.

Le TEB habituellement accepté pour une transmission de bonne qualité est inférieur 10^{-9} à voir inférieur à 10^{-12} .

III.4.2. Facteur de qualité

Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission. Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré, le signal utile est représenté par les niveaux moyens μ_0 et μ_1 . Le bruit représente les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens, il est quantifié en combinant les écarts-types μ_0 et μ_1 . [6]

On définit donc le facteur Q à partir de relevé du diagramme de l'œil par :

$$Q = \frac{\mu_0 - \mu_1}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad \text{[III.4]}$$

Le facteur Q est usuellement exprimé en dB en utilisant la formule suivante :

$$Q_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(Q) \quad \text{[III.5]}$$

Le facteur de qualité est donc relié au taux d'erreur binaire (TEB) dans l'hypothèse où la distribution de puissance des symboles est gaussienne, par la relation suivante :

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

Où *erfc* est la fonction erreur complémentaire défini par:

$$Erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-y^2) . dy \quad [III.7]$$

La correspondance entre le facteur de qualité et le taux d'erreur binaire est montrée par la figure III .11

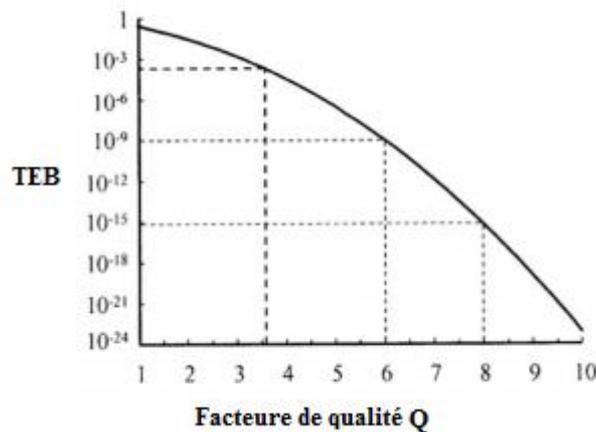


Figure III.11. Correspondance entre facteur de qualité Q et le taux d'erreur binaire

En générale en télécommunications optiques on considère qu'on à une bonne qualité de transmission pour un BER variant entre 10^{-9} et 10^{-12} , dans ce qui suit on va prendre comme référence un (BER = 10^{-9}) ce qui correspond à un facteur de qualité (Q = 6).

III.4.3. Diagramme de l'œil

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise.

Plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus le facteur de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le

diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé.

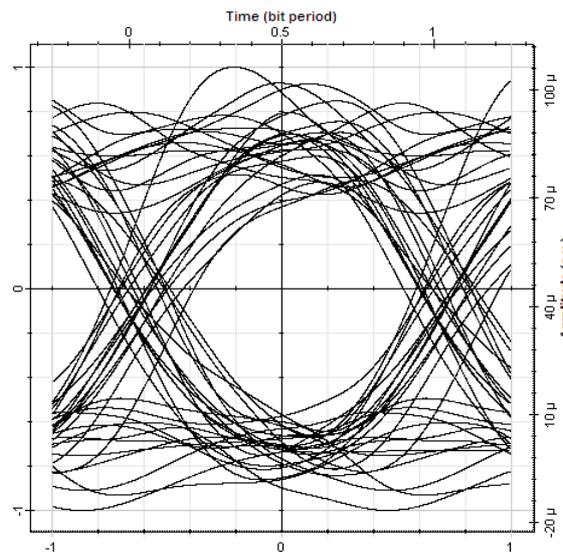


Figure III.12. Diagrammes de l'œil

III.5. Résultat de simulation

Le système SAC-OCDMA étudié dans notre simulation est basé sur une source de lumière incohérente optique.

Le codage est basé sur le passage d'une source lumineuse à large bande de données modulé à travers une série de plusieurs réseaux de Bragg de longueur d'onde avec une séquence de code spécifié afin d'accomplir le motif de codage.

Pour le décodage du signal à large bande codée qui est envoyée à la partie de réception du décodeur; le signal optique est divisé en deux branches d'un même diviseur de puissance. La partie supérieure est une série de FBG qui est correspondant au vecteur de code de l'encodeur, tandis que la partie inférieure est également une série de FBG qui est inversement suivi le vecteur de code de l'encodeur. Alors que dans la partie de détection, la soustraction entre les deux parties supérieure et inférieure du décodeur est mis en évidence et en le passant par le photodétecteur; comme il est connu que la détection de filtrage de correspondance.

III.5.1 Les principaux codes de chaque utilisateur

La figure III.12 illustre les différents codes implémentés associés aux amplitudes spectrales des sept utilisateurs, le signal rouge correspond à des réponses spectrales réelles, tandis que le signal en vert correspond à des réponses spectrales carrées. L'allure des spectres obtenus indique que chaque utilisateur possède sa propre signature spectrale.

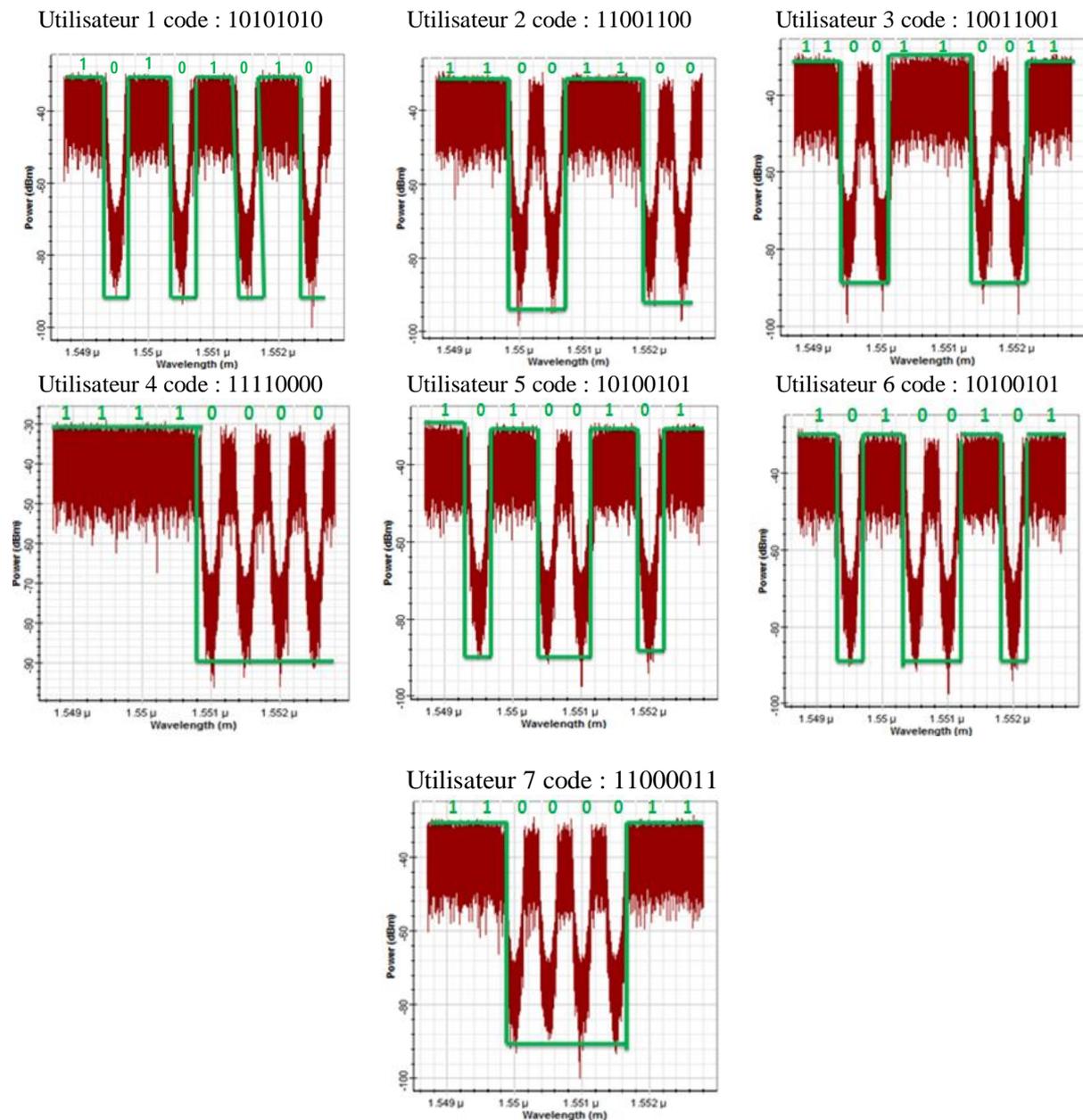


Figure III.13. Les codes obtenus après les encodeurs

III.5.2. Etude comparatif entre le signal émis et reçu

Dans ce qui suit nous allons comparer entre le signal émis (figure III.13), c'est le signal obtenu après codage NRZ et le signal reçu après filtrage de Bessel (figure III.14).

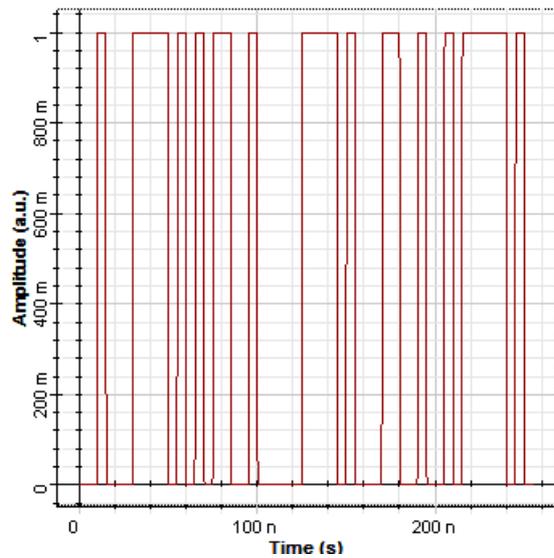


Figure III.14. Le signal émis

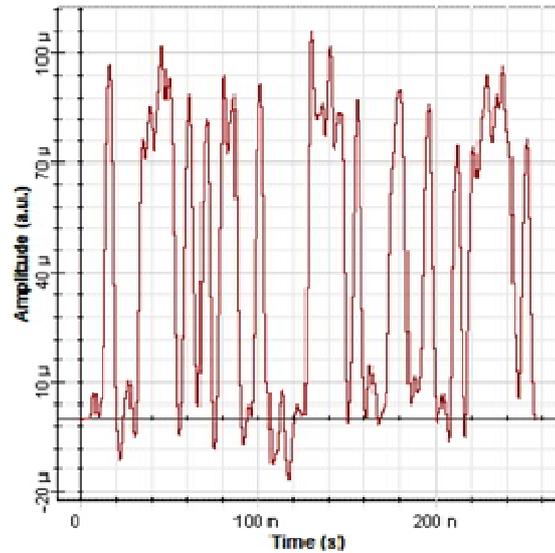


Figure III.15. Le signal reçu

Sur la figure III.16. Nous allons superposer les deux signaux pour mieux les comparer.

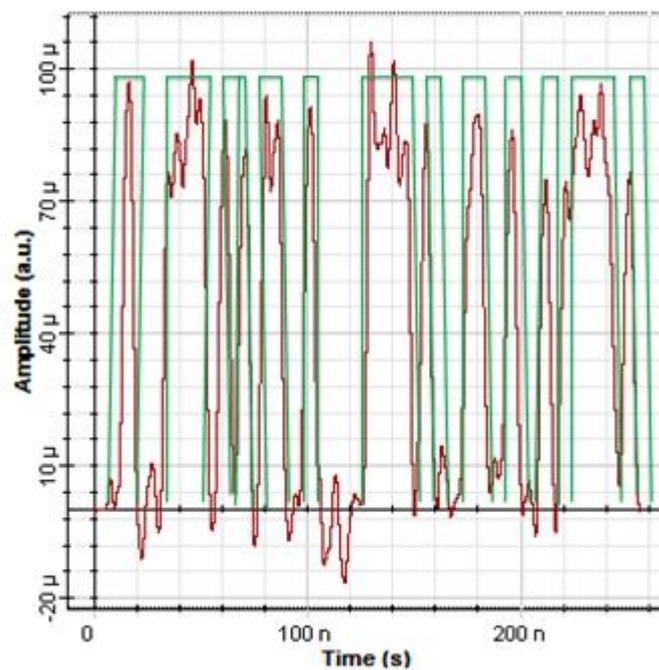


Figure III.16. Comparaison entre signal émis et signal reçu

Le signal en rouge correspond au signal reçu, tandis que le signal en vert correspond au signal émis, on constate qu'il y a une déformation de signal reçu à cause de l'effet de la dispersion. L'impact de la dispersion sur la propagation des impulsions tout au long de la liaison optique engendre des interférences inter symboles causées par l'élargissement de l'impulsion.

Ce phénomène dégrade la performance de la transmission car le récepteur ne distingue plus les symboles « 1 » et « 0 » en fin de liaison.

III.5.3. Effet de variation de Débit binaire

Les figures suivantes représentent la variation du facteur de qualité (Q) et du taux d'erreur binaire (TEB ou BER) en fonction de débit binaire pour les sept utilisateurs. Nous avons pris des valeurs de débits variant allant de 100 à 900 Mb/s.

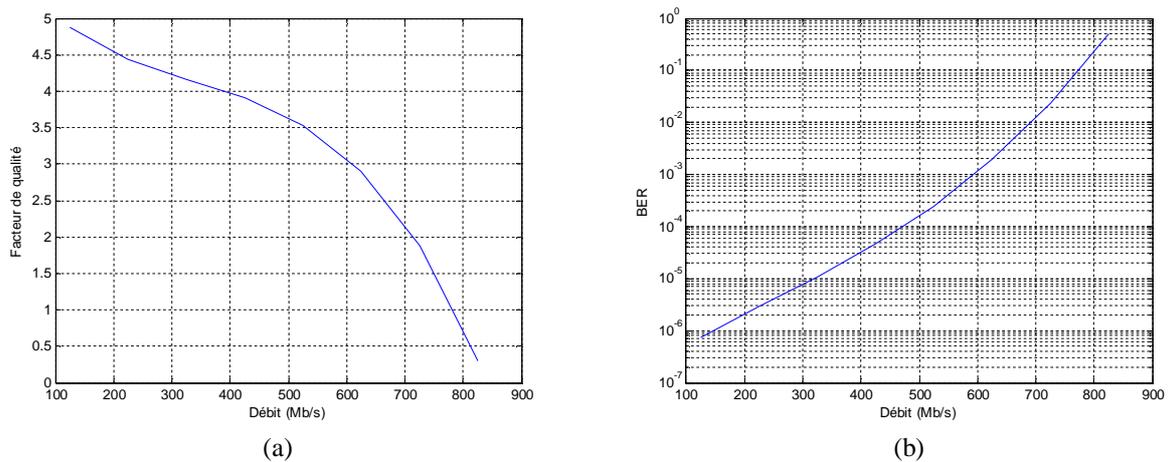


Figure III.17. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 1

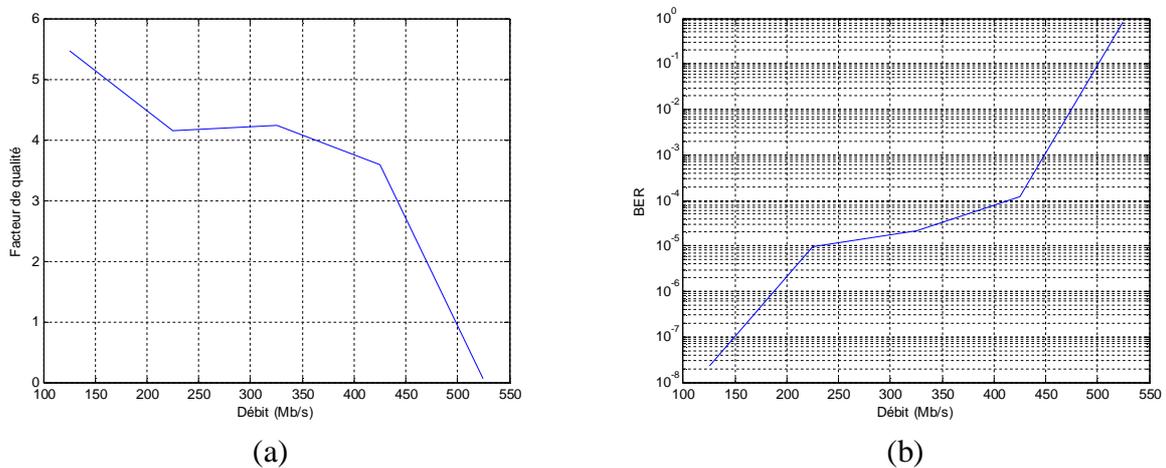


Figure III.18. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 2

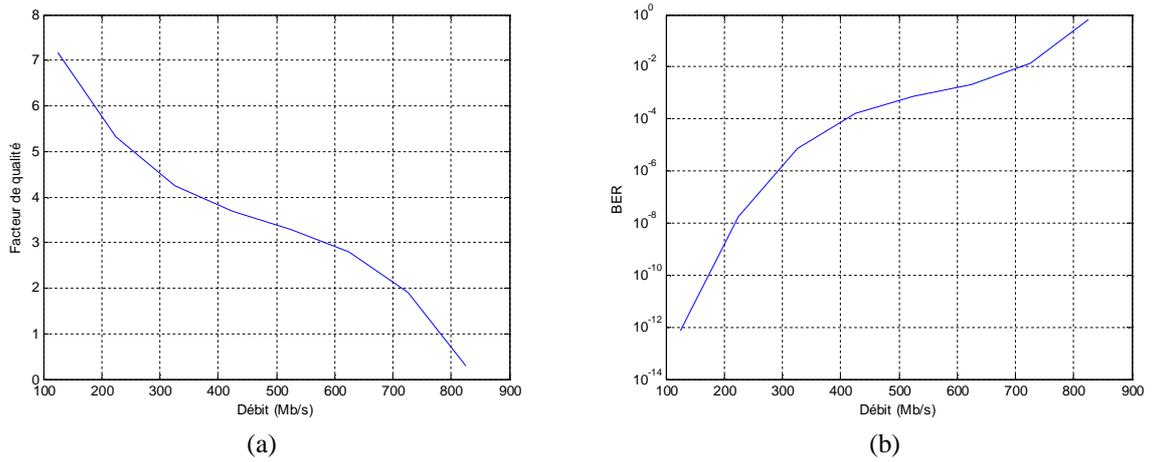


Figure III.19. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 3

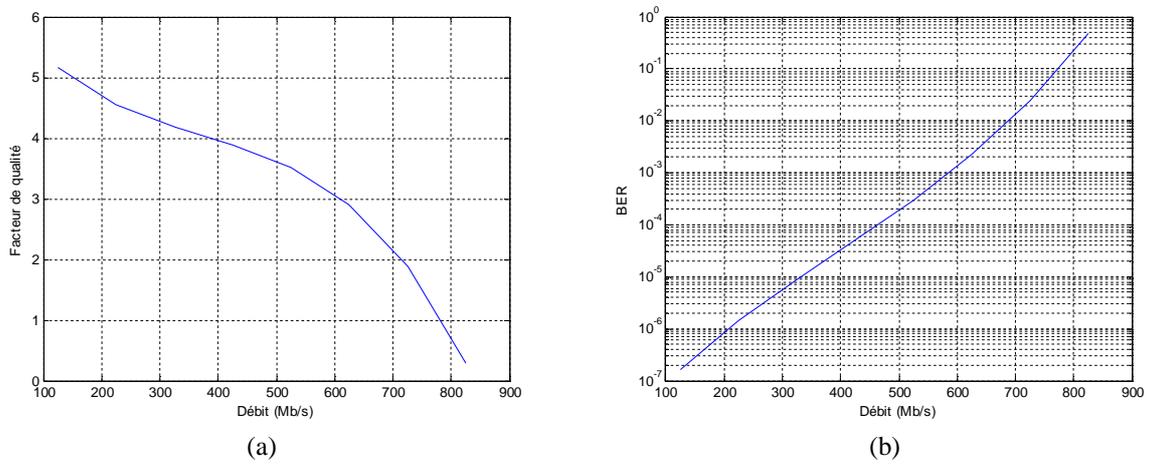


Figure III.20. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 4

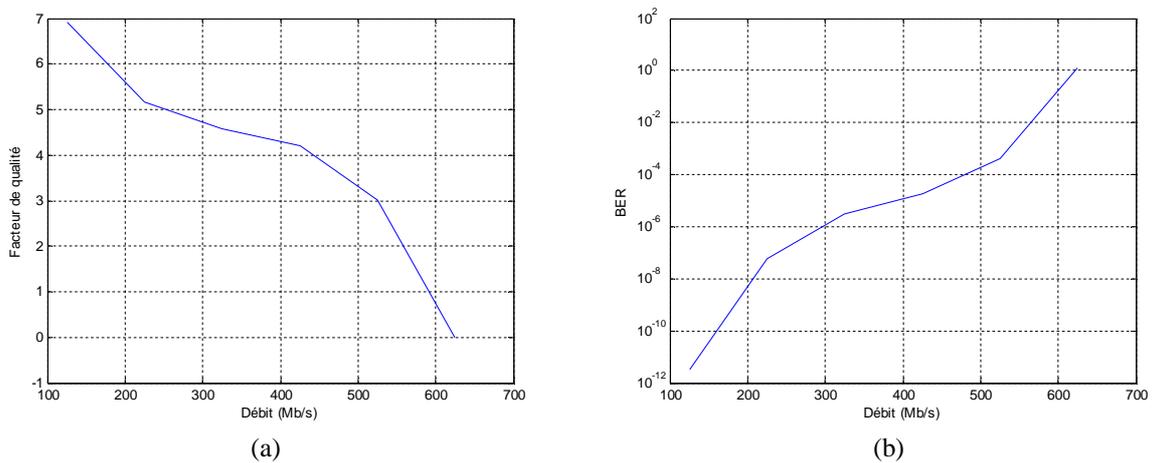


Figure III.21. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 5

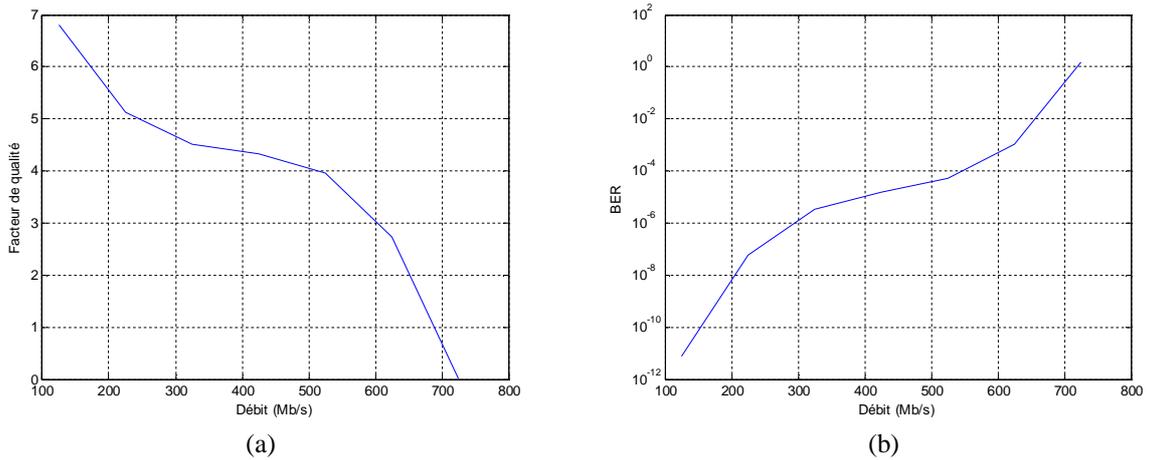


Figure III.22. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 6

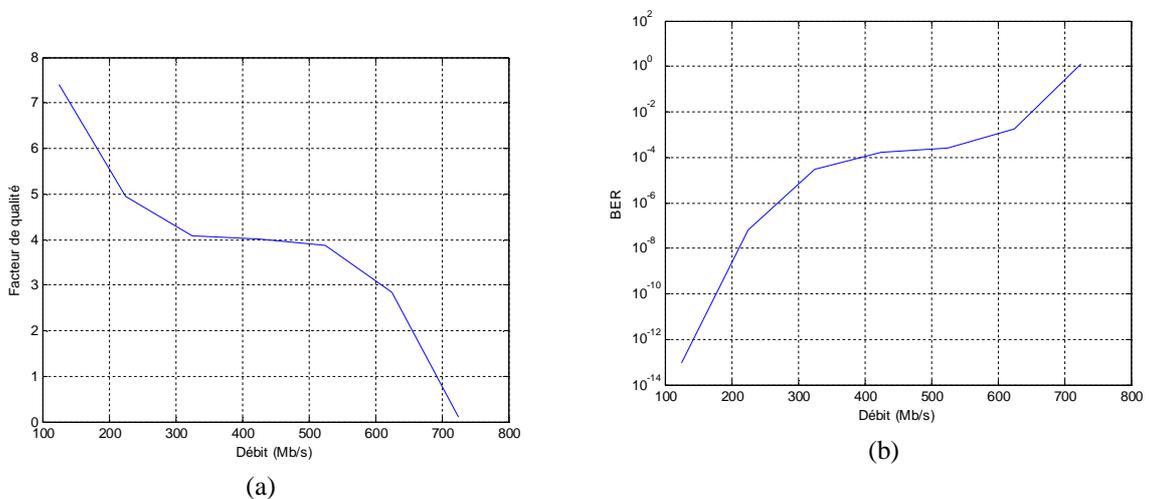


Figure III.23. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) en fonction du débit pour l'utilisateur 7

La même allure est observé pour toutes les courbes, à savoir une diminution du facteur de qualité et une augmentation du taux d'erreur binaire en fonction de la distance, ce qui est normal avec les effets indésirables de la fibre optique.

Il existe une différence en termes de performances pour les 7 utilisateurs. Pour les utilisateurs 1, 2 et 4 le TEB de 10^{-9} n'est pas atteint avec des valeurs minimales de 10^{-6} , 10^{-8} et 10^{-7} respectivement. Par contre pour les utilisateurs 3, 5, 6 et 7 le TEB est inférieur à 10^{-9} et un facteur de qualité supérieur à 6 pour un débit allant jusqu'à 200 Mb/s.

Dans ce qui suit on fixe le débit à 200 Mb/s et on fait varier la longueur de la fibre optique.

III.5.4. Effet de variation de la distance de la fibre optique

Dans cette partie, on va étudier l'effet de variation de la longueur de la fibre optique sur la qualité de la transmission. On a pris des longueurs variant allant de 5 à 90 Km.

Les figures ci-dessous représentent la variation du facteur de qualité (Q) et du taux d'erreur binaire (TEB) en fonction de la longueur de la fibre optique.

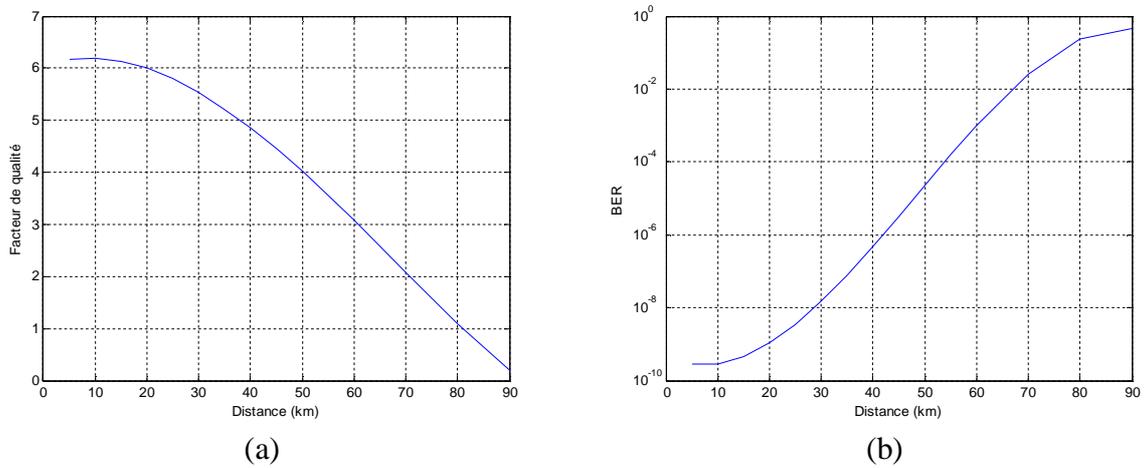


Figure III.24. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 1

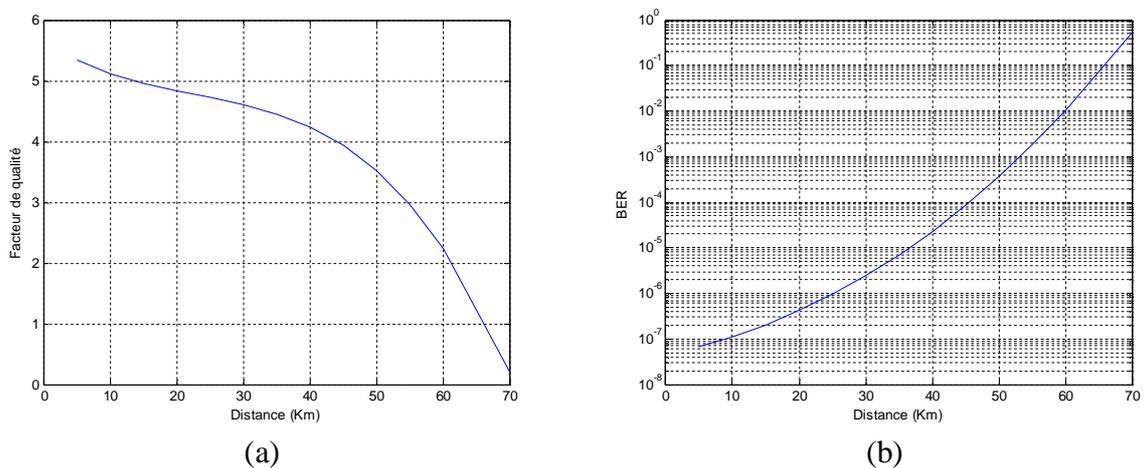


Figure III.25. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 2

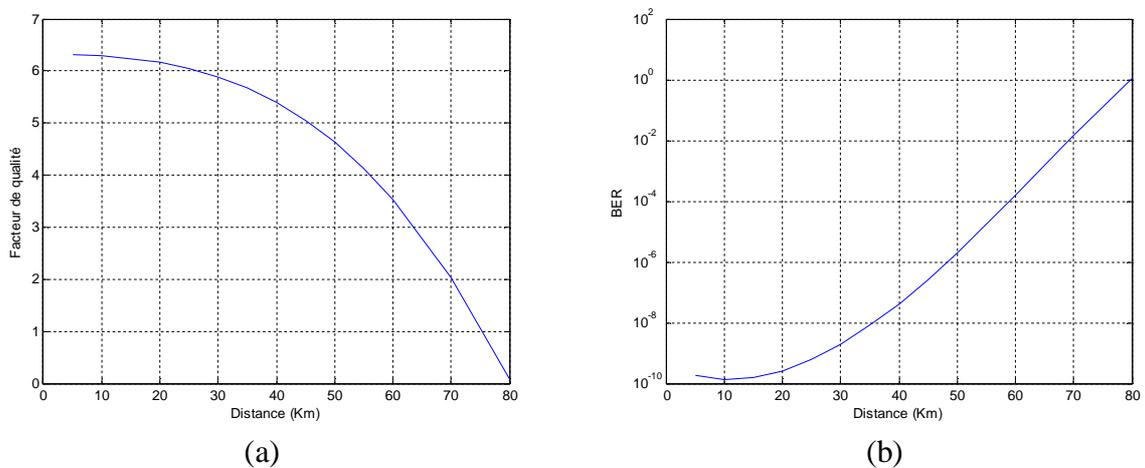


Figure III.26. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 3

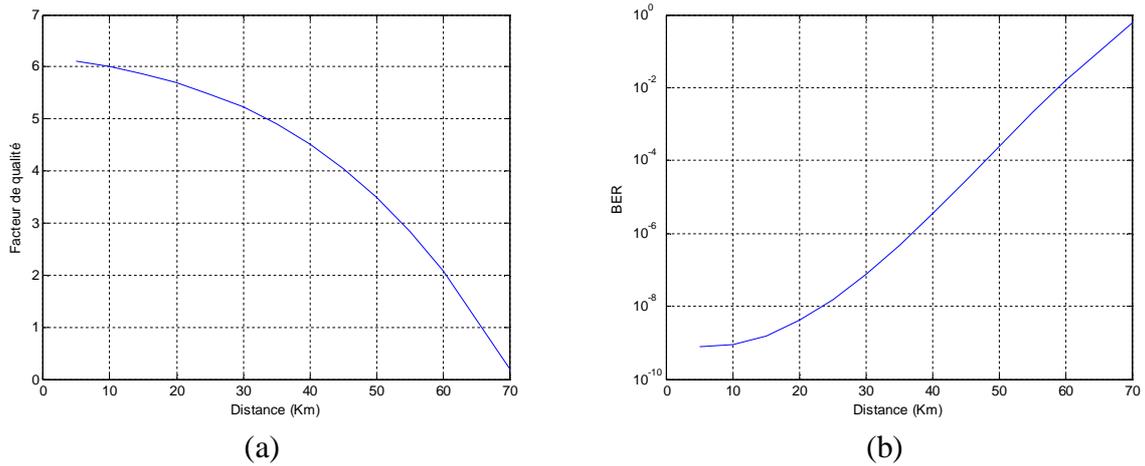


Figure III.27. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 4

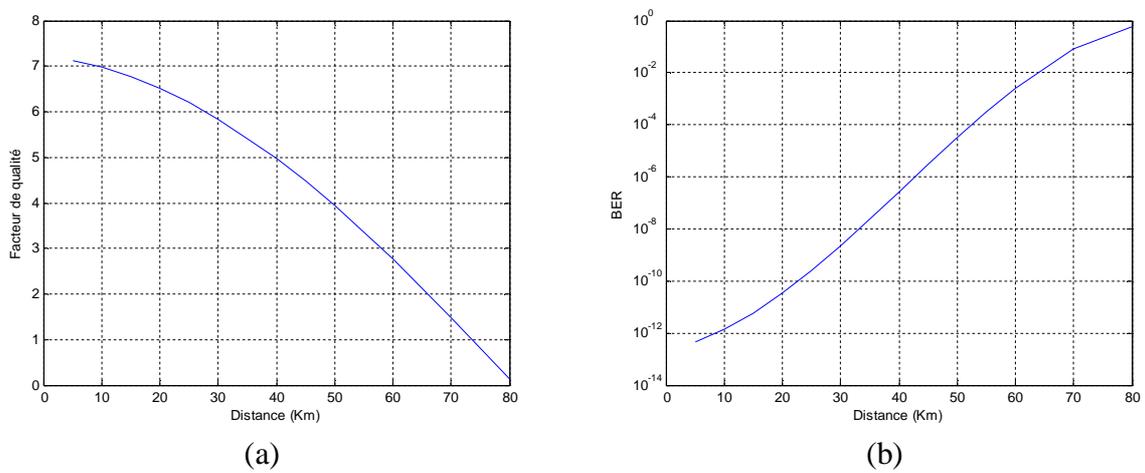


Figure III.28. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 5

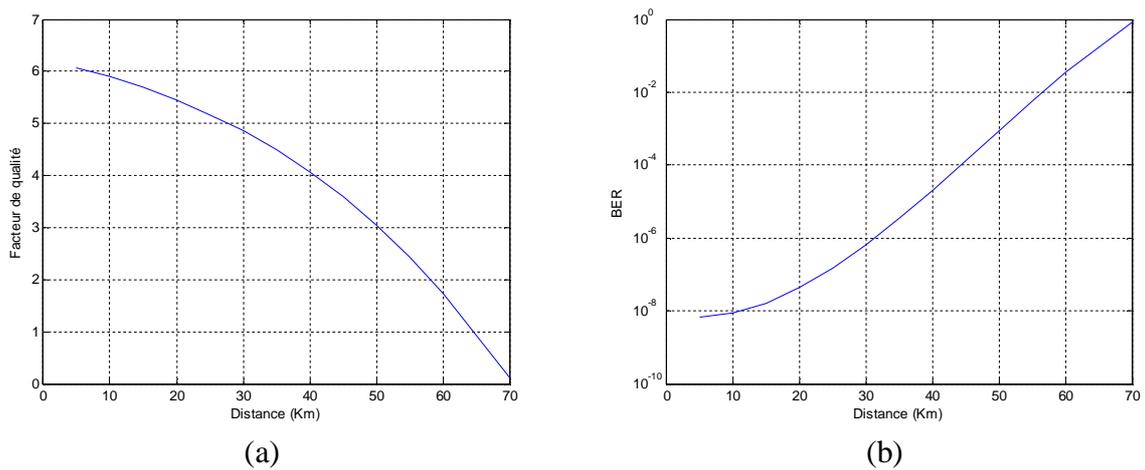


Figure III.29. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 6

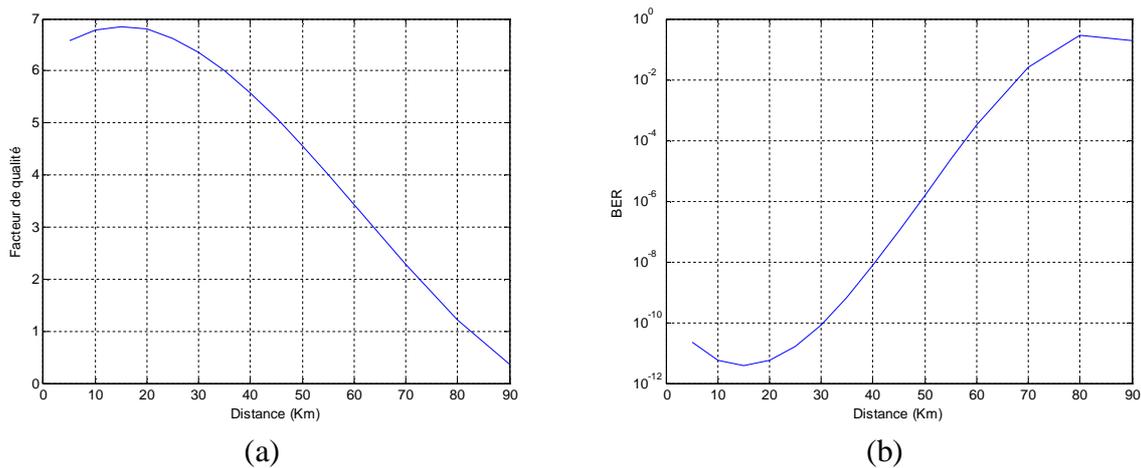


Figure III.30. Facteur de qualité (a) et taux d'erreur binaire (b) fonction de la distance de la fibre optique pour l'utilisateur 7

Pour les utilisateurs 2, 4, 5 et 6, on remarque une dégradation de la qualité de transmission quand la longueur de la fibre augmente avec un facteur de qualité décroissant et un TEB croissant. Si on se réfère à la limite des télécoms optiques, dans notre cas 10^{-9} pour le TEB et 6 pour le facteur de qualité on obtient des résultats proches de ces valeurs pour une distance de 10km.

Pour ce qui est utilisateur 1, 3 et 7 on note une légère amélioration de la qualité de transmission pour des distances entre 5 et 10km pour l'utilisateur 1 et entre 10 et 20km pour les utilisateurs 3 et 7. Ensuite l'allure des courbes est similaire à ceux d'avant avec une décroissance du facteur de qualité et une augmentation du taux d'erreur binaire. La même remarque peut être faite pour ces utilisateurs, à savoir que le TEB et 10^{-9} est obtenu aux alentours de 10km.

III.5.5. Comparaison entre les utilisateurs

Les diagrammes de l'œil obtenus des sept utilisateurs permettent d'avoir une idée visuelle de la qualité du signal, utilisons un débit 200Mbit/s et une distance de la fibre 10 Km.

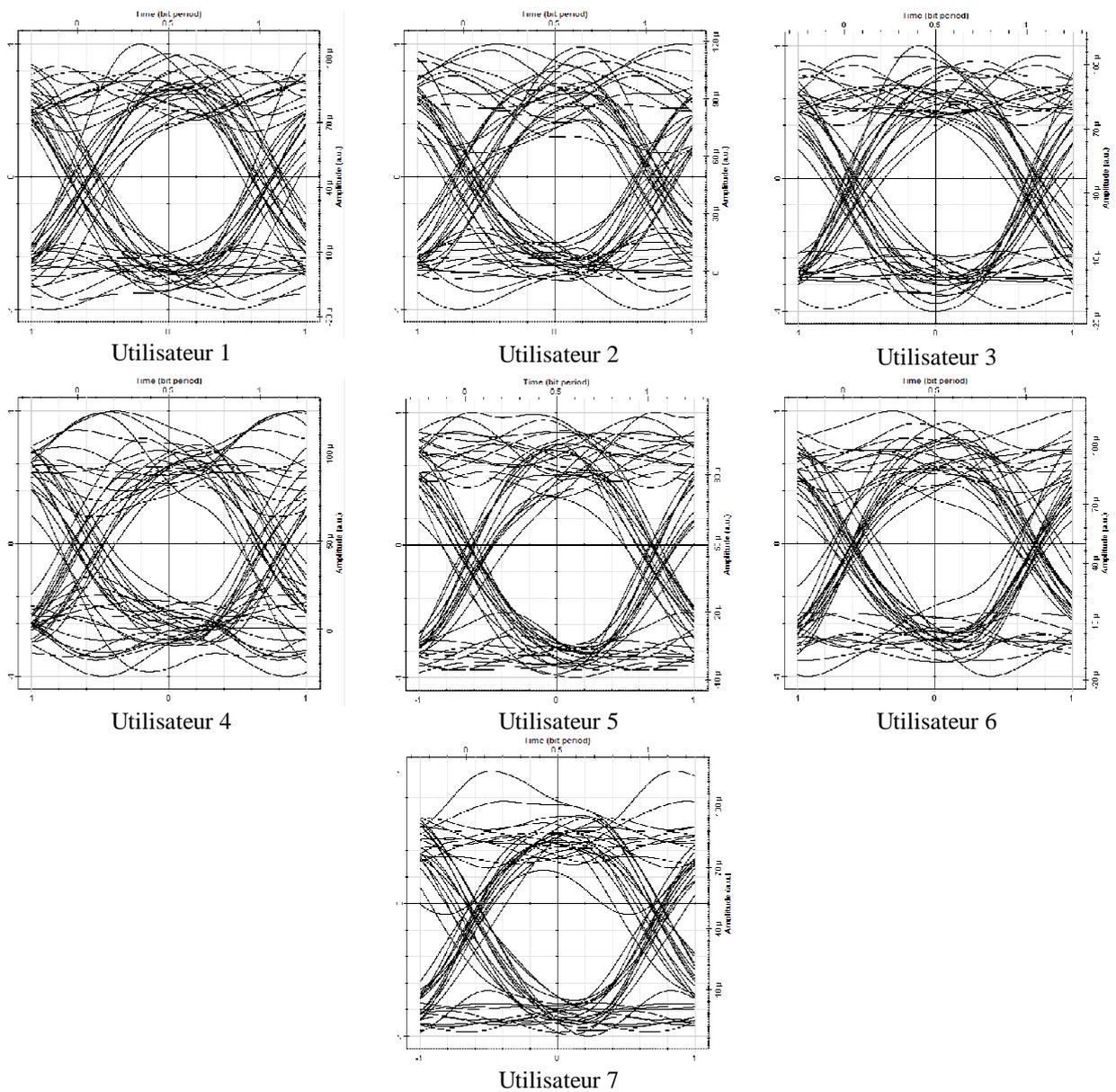


Figure III.31. Les diagrammes de l'œil des sept utilisateurs

On note que les diagrammes de l'œil sont assez ouverts, ce qui témoigne d'une bonne qualité de transmission.

Les valeurs des BERs et les facteurs de qualité Q des sept utilisateurs pour un débit de 200Mb/s et une distance de 10km sont regroupés dans le tableau suivant :

Utilisateurs (U)	BER	Q
U1	$4.028 \cdot 10^{-10}$	6.139
U2	$1.338 \cdot 10^{-7}$	5.131
U3	$1.938 \cdot 10^{-10}$	6.255
U4	$9.911 \cdot 10^{-10}$	5.997
U5	$6.047 \cdot 10^{-13}$	7.097
U6	$1.531 \cdot 10^{-8}$	5.533
U7	$6.778 \cdot 10^{-12}$	6.758

Tableau III.3. Les valeurs des BERs et les facteurs de qualité Q

Pour les sept utilisateurs on a un BER proche de 10^{-9} et un facteur de qualité qui n'est pas loin de 6 mis à part pour les utilisateurs 2 et 6 où on note une légère baisse du facteur de qualité.

III.6 Conclusion

Le travail réalisé dans ce chapitre nous a permis d'étudier un système SAC-OCDMA en utilisant un code de Walsh-Hadamard pour sept utilisateurs. On a d'abord entamé la présentation du système et les principaux critères pour juger de la qualité de transmission à savoir le facteur de qualité, le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil.

Ensuite, une discussion sur les résultats de la simulation est faite, en commençant par une comparaison entre le signal émis et le signal reçu, suivie de l'effet de variation du débit binaire et de la distance de la fibre optique sur la qualité de transmission.

Au final nous avons établi des paramètres optimaux de la liaison qui permettent d'avoir une qualité de transmission respectable à savoir 200Mb/s pour le débit et 10km pour la distance.

Conclusion générale

L'idée de base de ce mémoire est de comprendre et d'étudier un système OCDMA pour les signaux optiques incohérents en utilisant un encodage spectral d'amplitude (SAC). En intégrant les méthodes de codage optique comme les codes Walsh Hadamard pour un nombre d'abonnés fixé à sept dans notre étude.

Cette technique consiste à attribuer à chaque utilisateur une partie du spectre comme code avec un nombre fixe de longueur d'onde en commun. Pour réaliser un système SAC-OCDMA, il faut utiliser des sources à large bande afin de pouvoir effectuer l'encodage spectral.

Et pour atteindre notre but, on a commencé dans le premier chapitre par une étude d'une liaison par fibre optique et une description approfondi des composants présents dans ces liaisons

Dans le seconde chapitre on a cité les différents types de multiplexage tel que le multiplexage fréquentiel FDM, temporel TDM, en longueur d'onde WDM et en code CDMA puis on a détaillé CDMA Optique avec les différents types et codes.

Enfin, dans le troisième et dernier chapitre on a étudié un système OCDMA, on a en utilisant les codes Walsh Hadamard en variant le débit binaire et la distance de la fibre optique pour voire l'effet sur la liaison optique pour tout les utilisateurs.

Plusieurs perspectives peuvent être avancées à la fin du mémoire, pour explorer plus profondément la technique OCDMA, comme augmenter le nombre d'abonnés, atteindre des débits plus important sur de très longues distances. Ce qui exige beaucoup de recherche et d'expérimentation

Références bibliographiques

- [1] F. MEDJDOUB, « Optimisation par la simulation système d'une chaîne de transmission numérique par fibre optique haut débit », thèse de magister, Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, 2010.
- [2] C. BENZERDJEB, S. SELKA, « Encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA », thèse de magister, Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, 2013.
- [3] <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dico/d/maison-led-6968/>
- [4] R. HOUDRE, « Diode électroluminescente (LED) », Dispositifs Electronique et optique à Semiconducteurs , thèse de doctorat, Science et Génie des matériaux, 2007.
- [5] A. BOUZIDI TANI, « Effet de l'espacement inter-canal et du débit binaire sur une liaison WDM », thèse de magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013.
- [6] H. BILLAMI, R. BENDAHMANE, « Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s », thèse de magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013
- [7] P. LECOY, « Télécom sur Fibres Optiques », thèse de doctorat, Hermès-Lavoisier, Paris, 2007.
- [8] ZENNOURI, « Etude des supports de transmission la fibre optique », cours sur fibre optique, 2010
- [9] http://www.amphenolsocapex.com/wpcontent/themes/amphenol_socapex_theme/downloads/pdf/Comprendre_la_Fibre_Optique_DOC-000537-FRA-A
- [10] <http://www.filiere-3e.fr/2014/06/18/quelle-difference-fibre-optique-multimode-fibre-optique-monomode/>
- [11] O. SLIMI, « Microenrillage d'une fibre optique », these de magister, Université Ferhat Abbas – Setif UFAS (ALGERIE), 2011,
- [12] <http://html.rincondelvago.com/modelisation-des-transmissions-optiques-wdm.html>
- [13] S. Aïb, «Modélisation d'un photodétecteur dans une chaîne de par fibre optique Application Aux Composants Optohyperfréquences», Université Mentouri Constantine, 2007.
- [14] J. MAURY, «Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique», thèse de doctorat, Université de Limoges, 2003.

-
- [15] https://translate.google.dz/translate?hl=fr&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing&prev=search
- [16] H. BRAHIMI, « Etude en bruit de systèmes optiques hyperfréquences Modélisation, caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence », thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 2010.
- [17] B. VIALLET, « Conception d'un amplificateur optique à 1,3 μm : spectroscopie de couches minces de LaF3 dopé Nd³⁺ et développement de procédés technologiques innovants », thèse de doctorat, l'université Paul Sabatier de Toulouse, 2004.
- [18] A. BOYOGUENO BENDE, M. A. DUGUAY, P. FORTIER, « Étude sur l'amplification en ligne des systèmes de communication optique » Université Laval, Ste-Foy (Québec) Canada, 2010.
- [19] R. PASCHOTTA, « Erbium-doped fibre amplifier », thèse de doctorat, RP Photonics Consulting GmbH, 2015.
- [20] H. KHALEGHI, « Influence des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) sur la transmission cohérente de signaux optiques à format de modulation multi-porteuses (CO-OFDM) », thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, 2013.
- [21] A. MOUNIR, A. BENNANI, A. LOUKILI, « Amplificateurs optique SOA, EDFA, RAMAN », Université ESNA, 2010.
- [22] A. DELLAL et E. ESSAFI, « Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique », thèse de magister, Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, 2010.
- [23] http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/multiplexage.html
- [24] https://translate.google.dz/translate?hl=fr&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing&prev=search
- [25] M. LOURDIANE, « CDMA à séquence directe appliqué aux systèmes de communications optiques », thèse de doctorat, Telecom Paris Tech, 2005.
- [26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Code_Division_Multiple_Access
- [27] Y. ZOUINE, « contribution par la simulation system a l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », Université de LIMOGES, 2005.

- [28] S. AYOTTE, M. ROCHETTE, J. MAGNE, L. RUSCH et S. LAROCHELLE, "Experimental verification and capacity prediction of FE-OCDMA using superimposed FBG", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no. 2.
- [29] S. CORDETTE, « Continuum de fréquences optiques pour application OCDMA », thèse de doctorat, Ecole doctorale d'informatique, télécommunications et électronique de paris, 2010.
- [30] G. YANG, W.C. KWONG, "Prime codes with applications to CDMA optical and wireless networks", Norwood, Massachusetts: Artech House, 2002.
- [31] I. FSAIES, C. LEPERS, M. LOURDIANE, P. GALLION, V. BEUGIN, and P. GUIGNARD, « Source coherence impairments in a direct detection direct sequence optical code-division multiple-access system », *Applied Optics*, vol. 46, no. 4, pp. 456-462, 2007.
- [32] E. H. DINAN, B. JABBARI, "Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks," *IEEE Commun. Mag.*, p. 48–54, 1998.
- [33] J-L. VERNEUIL, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », Université de LIMOGES, 2003
- [34] J. PENON, « Réduction du bruit dans les systèmes SAC-OCDMA incohérent utilisant les réseaux de Bragg », thèse de doctorat (PhD), Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 2009.
- [35] O. C. JYE, "Optical division multiple access", these de doctorat, Faculty of Engineering and Science, University Abdul Rahman, page 52, 2011.

Résumé

Le travail réalisé au cours de ce mémoire s'inscrit dans le cadre des télécoms optiques ou la bande passante de la fibre est partagée entre sept usagers, en se basant sur la technique d'encodage de l'amplitude spectrale pour l'accès multiple par répartition de code en optique (SAC-OCDMA).

L'objectif de ce travail est de présenter un procédé d'encodage et de décodage dans un système SAC-OCDMA en implémentant des codes optiques spectraux unipolaire. Notre choix s'est porté sur une famille de code, les codes Walsh-Hadamard pour les signaux optiques incohérents.

Mots clés : CDMA optique, encodage de l'amplitude spectrale, codes de Walsh-Hadamard, signaux optiques incohérents.

Abstract

The work is done in this memory is part of optical communication or the bandwidth of the fiber is shared between seven users, based on the encoding technique of the spectral amplitude for multiple access code division optical (SAC- OCDMA).

The objective of this work is to present a method for encoding and decoding in a SAC- OCDMA system by implementing unipolar spectral optical codes. Our choice fell on a family code, the Walsh- Hadamard codes to incoherent optical signals.

Keywords: optical CDMA, spectral amplitude coding, Walsh-Hadamard codes, incoherent optical signals.

ملخص

تم انجاز هذه المذكرة في مجال الاتصالات عبر نطاق التردد البصري في الألياف لسبعة مستخدمين مع التركيز على تقنية ترميز السعة الطيفية عبر تقسيم الرموز.

و الهدف من هذا العمل هو تقديم طريقة لتشفير و فك التشفير للسعة الطيفية من خلال تنفيذ الرموز البصرية الطيفية ذات القطب الواحد. انحصر خيارنا لترميز "والش هادامارد" إلى الإشارات الضوئية غير المتماسكة.

كلمات مفتاحيه : الرموز البصرية, السعة الطيفية, رموز "والش هادامارد", الإشارات الضوئية غير المتماسكة.