

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : ELECTRONIQUE

Spécialité : Electronique des systèmes Embarqués

Par

Agoune Abdelouaheb

Difallah Billal

Intitulé

**Analyse de la Suppression du Bruit pour les Systèmes
SAC-OCDMA avec les Codes à Inter-Corrélation Fixe**

Soutenu le :

DEVANT LE JURY :

Président : Dr.L TALBI

Examineur : Mme F.DIFFELLAH

Encadreur : Latifa HACINI

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements

Nous remercions tout d'abord " Allah" le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la patience afin d'arriver à la finalité de ce parcours.

Nous tenons à remercier notre encadreur Dr. L.HACINI qui a bien fourni des efforts pour nous donné toutes les informations, nous avons profité de son savoir et ses précieux conseils. Nous tenons à remercier également les membres du jury qui ont fait l'honneur d'examiner ce travail et d'apporter leurs réflexions et suggestions scientifiques.

Nos remerciements vont aussi à nos familles et amis qui nous ont prodigué conseils et encouragements.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissance et de respect :
A mon père et ma mère qui m'ont donnée tous les
moyens disponibles.*

*A mes frère
A toute ma famille paternelle et maternelle.*

*A tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des
meilleurs moments et gardé de
très bon souvenirs.*

A mon binôme et sa famille.

Abdelouaheb

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissance et de respect :*

*A mon père et ma mère qui m'ont donnée tous les
moyens disponibles.*

A mon frère

A mes sœurs

*A toute ma famille en témoignage de mon
profond respect.*

*A tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des
meilleurs moments et gardé de
très bon souvenirs.*

A mon binôme et sa famille.

Bilal

Tables des matières

Remerciement	i
Dédicaces	ii
Tables des matières	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Les systèmes de communication optique	
1.1 INTRODUCTION	4
1.2 HISTORIQUE.....	4
1.3 CHAINE DE TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE	4
1.3.1 Source optique	5
1.3.1.1 Les diodes électroluminescentes	5
1.3.1.2 Les diodes lasers.....	6
1.3.2 Techniques de modulation.....	6
1.3.2.1 La modulation directe	6
1.3.2.2 La modulation externe	7
1.3.2.3 Comparaison entre les deux modulations	9
1.3.3 Format de modulation	9
1.3.3.1 Non-retour à zéro (NRZ)	10
1.3.3.2 Retour à zéro (RZ)	10
1.3.4 La fibre optique.....	11
1.3.4.1 Classification des fibres optiques	12
1.3.5 Récepteurs optiques	14
1.3.5.1 Les photo-détecteurs	14
1.3.5.2 Principe de fonctionnement de la photo-détection	14
1.3.5.3 Type de photodiodes	15
1.4 TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE DANS LES SYSTEMES DE COMMUNICATION OPTIQUE	16
1.4.1 Accès multiples dans les liaisons radiofréquences.....	16
1.4.1.1 Accès multiples par répartition dans le temps (TDMA)	17
1.4.1.2 Accès multiples par répartition dans la fréquence (FDMA).....	17

1.4.1.3 Accès multiple par répartition de codes (CDMA)	18
1.4.2 Multiplexage dans les liaisons optiques	18
1.4.2.1 La technique WDMA	19
1.4.2.2 La technique OTDMA.....	19
1.4.2.3 La technique OCDMA	20
1.5 CONCLUSION.....	24

Chapitre 2 : Codage en SAC-OCDMA

2.1 INTRODUCTION.....	26
2.2 SYSTEMES SAC-OCDMA	26
2.2.1 Encodage et décodage d'un signal SAC-OCDMA.....	26
2.2.1.1 Encodage.....	27
2.2.1.2 Décodage en SAC OCDMA	29
2.3 LES CODES EN SAC-OCDMA.....	31
2.3.1 Les paramètres utilisés dans les codes	32
2.3.2 Les différents codes disponibles	32
2.3.2.1 La construction du code ZCC (Zero Cross Correlation).....	33
2.3.2.2 Le Code MMS (Modified Multi-Service).....	34
2.3.2.3 Le Code double poids amélioré EDW (Enhanced Double Weight).....	35
2.3.2.4 Le code multi diagonale améliorée (EMD: Enhanced Multi Diagonal)	36
2.4 BRUIT EN SAC-OCDMA.....	38
2.4.1 Bruit thermique	38
2.4.2 Le bruit de grenaille (shot noise)	39
2.4.3 Bruit d'intensité induit par la phase PIIN	39
2.5 LE TAUX D'ERREURS BINAIRE (BER)	40
2.6 CONCLUSION.....	41

Chapitre 3 : Résultats et simulations

3.1 INTRODUCTION.....	43
3.2 CALCUL DU BER POUR LE CODE EMD	43
3.2.1 SNR pour la technique SPD	43
3.2.2 SNR pour la technique CSD.....	46
3.2.3 SNR pour la technique SDD.....	48
3.3 RESULTAT ET DESCUSION.....	49
3.4 SIMULATION	55

3.4.1 Présentation du logiciel de simulation utilisé	55
3.4.1.1 Le schéma bloc de simulation du système SAC-OCDMA.....	55
3.4.1.2 Génération du code EMD	58
3.4.2. Résultats de simulation	59
3.4.3 Interprétation des résultats	61
3.4 CONCLUSION	62
Conclusion Générale	63
Bibliographies	64

RESUME

Liste des figures

Figure 1.1 : Schéma de principe d'une liaison optique	5
Figure 1.2 : Spectre d'émission d'une DEL	6
Figure 1.3 : Spectre d'émission d'une DL	6
Figure 1.4 : Synoptique de la modulation directe	7
Figure 1.5 : Synoptique de la modulation externe	7
Figure 1.6 : Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder	8
Figure 1.7 : Formats de modulation	9
Figure 1.8 : Emetteur Non Retour à Zéro	10
Figure 1.9 : Signal NRZ	10
Figure 1.10 : Emetteur Retour à Zéro	10
Figure 1.11 : Signal RZ	11
Figure 1.12 : Schéma simplifié d'une fibre optique.....	11
Figure 1.13 : principe de guidage de la lumière par réflexion totale interne.....	12
Figure 1.14 : Fibre multimode à saut d'indice.....	13
Figure 1.15 : Fibre multimode à gradient d'indice	13
Figure 1.16 : Fibre monomode	14
Figure 1.17 : schéma d'un récepteur	14
Figure 1.18 : Structure d'une diode PIN	15
Figure 1.19 : Photodiode APD.....	16
Figure 1.20 : Illustration de la technique TDMA	17
Figure 1.21 : Illustration de la technique FDMA.....	17
Figure 1.22 : Principe d'étalement de spectre : a) DSP du signal d'entrée, b) DSP du signal étalé	18
Figure 1.23 : Technique d'accès multiple CDMA	18
Figure 1.24 : Système d'émission optique et de réception dans la technique WDMA.....	19
Figure 1.25 : Système d'émission et de réception dans la technique OTDMA.....	20
Figure 1.26 : Chaîne de transmission OCDMA.....	21
Figure 1.27 : Principe d'implémentation de l'étalement de spectre en DS-CDMA	22
Figure 1.28 : Codage spectral OCDMA.....	23
Figure 2.1 : Technique de codage en SAC-OCDMA	26
Figure 2.2 : Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude	27
Figure 2.3 : Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG.....	28

Figure 2.4 : Encodage SAC-OCDMA à base des réseaux de Bragg	28
Figure 2.5 : Encodage SAC-OCDMA pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et deux Multiplexeurs.....	28
Figure 2.6 : Récepteur complémentaire pour un signal SAC-OCDMA	29
Figure 2.7 : Méthode de détection spectrale directe	30
Figure 2.8 : Méthode de détection AND	30
Figure 2.9 : Schéma de la technique photodiode unique SPD.....	31
Figure 3.1 : Décodeur SPD avec filtres FBG	43
Figure 3.2 : Détecteur SDD avec filtres FBG.....	48
Figure 3.3 : SNR et BER des trois détecteurs en fonction du nombre d'utilisateurs	50
Figure 3.4 : BER en fonction du débit pour différents nombres d'utilisateurs à $P_{re} = -10$ dBm.....	51
Figure 3.5 : BER en fonction de P_{re} à un nombre différent d'utilisateurs.....	52
Figure 3.6 : puissances des sources de bruit dans les systèmes (a) SPD et (b) SDD à Gbit/s de Données.....	53
Figure 3.7 : puissance de courant incident pour les trois détecteurs.....	54
Figure 3.8 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs à différentes valeurs de R	55
Figure 3.9 : Schéma de simulation d'un système SAC-OCDMA	56
Figure 3.10 : Partie émission d'un utilisateur dans le système SAC-OCDMA	57
Figure 3.11 : Insertion des longueurs d'onde dans le WDM Mux	57
Figure 3.12 : Le module de détection pour un seul utilisateur	58
Figure 3.13 : Diagrammes de l'œil et le BER à 1 Gbits pour différent longueur de la fibre. (a) 20Km, (b) 50Km.....	59
Figure 3.14 : Diagrammes de l'œil et le BER à 622 Mbits pour différent longueur de la fibre. (a) 20Km, (b) 50Km.....	60
Figure 3.15 : BER en fonction des longueurs de la fibre à 622Mbit pour les deux détecteur SPD et SDD.....	60
Figure 3.16 : BER du détecteur SPD en fonction des longueurs de la fibre pour 622Mbits/s et 1Gbits/s	61

Liste des tableaux

Tableau 3.1: Paramètres utilisés avec description et spécifications	49
Tableau 3.2 : Longueurs d'ondes utilisées pour le code EMD	59

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières décennies, la grande quantité d'informations véhiculées à travers le monde a donné naissance à un besoin croissant en débit de transmission dans les systèmes de télécommunications. De nombreux services et applications multimédias se sont développés, et nécessitent aujourd'hui d'importantes capacités de transmission. Un besoin d'autant plus important que les informations échangées (données, voix IP, vidéo, ...) ont souvent besoin d'être transmises simultanément via une technique de multiplexage. Il existe plusieurs moyens de transmission, dont le plus important est la fibre optique caractérisée par ses meilleurs propriétés (haute vitesse, faibles pertes, large bande) justifiant l'important développement des systèmes de transmission optiques durant les dernières années.

Dans les systèmes de communication actuelle, l'utilisation de la technique OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une solution très intéressante, elle permet de réaliser des réseaux d'accès avec un grand nombre d'utilisateurs avec un débit très élevé. Le type de codage considéré dans ce mémoire est le codage spectral d'amplitude (SAC : Spectral Amplitude Coding). Les systèmes SAC-OCDMA souffrent, en plus des interférences d'accès multiple (MAI : Multiple Access Interference), par la présence de sources de bruit générées pendant le processus de conversion optique-électrique (O/E) à la photodiode de réception (PD), et le bruit d'intensité induit de phase (PIIN: Phase induced intensity noise) généré par des limitations dans le schéma de codage qui mène au mélange des IAM. Ces bruits ont pour conséquence d'augmenter les erreurs avec une dégradation des performances du système.

L'objectif de notre travail est d'étudier et d'évaluer l'influence des différents types de bruit sur les performances d'un système SAC-OCDMA. Pour cela, nous avons fait une comparaison entre trois méthodes de détection utilisant le code EMD, où nous avons tracé plusieurs courbes en fonction des équations (BER, et puissances des différents bruits) de chaque méthode de détection pour différents paramètres.

Ce manuscrit est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une étude générale sur la liaison de transmission par fibre optique, en donnant les définitions des différents types de sources optiques, les techniques de modulations, la classification des fibres optiques, les différents types de récepteurs optiques, ainsi que les différentes techniques de multiplexages.

Le deuxième chapitre décrit le principe de fonctionnement de la technique SAC-OCDMA, les techniques d'encodage et de décodage spectrale de l'amplitude, ainsi que les différents codes

et les différents détecteurs utilisés pour restituer le signal désiré. Il présente également les différents bruits qui limitent les performances du système, en plus de la méthode de calcul du BER.

Le dernier chapitre est considéré comme le noyau de notre projet, il présente les résultats obtenus sous Matlab pour le système SAC-OCDMA, avec plusieurs méthodes de détection (SPD, SDD et CSD), utilisant le code EMD. Les performances sont comparées en traçant le BER et les puissances des bruits pour différents valeurs de paramètres. En plus, une simulation a été mise en œuvre à l'aide du logiciel Optisystem version 7.0, qui nous a permis de faire une étude en termes du taux d'erreur binaire (BER), et le diagramme de l'œil, afin d'évaluer les performances dans un environnement proche de la réalité.

Nous terminons par une conclusion générale résumant l'ensemble du projet et offrant des perspectives d'amélioration de ce travail.

CHAPITRE 01

Les systèmes de communication optique

1.1 INTRODUCTION

L'invention de la fibre optique a bouleversée le mode opératoire des transmissions en télécommunication. L'un des principaux critères de cette réussite tient à la grande bande passante de la fibre, et surtout dans les très faibles pertes qu'elle présente.

Actuellement, pour accroître la capacité totale d'information transmise dans les supports physiques, les systèmes de communications optiques mettent en œuvre des techniques d'accès multiple, dont le principe repose sur le multiplexage de plusieurs canaux de transmission de données sur le même support physique qui est ici la fibre optique [1].

Dans ce chapitre, nous présentons la chaîne de transmission optique, en étudiant la partie émission qui concerne la source et la modulation, puis nous passons vers le support de transmission qui est la fibre optique. Nous présentons par la suite les composants de la partie réception et nous terminons par une présentation des différentes techniques d'accès multiple employées, tout en donnant leurs propriétés et caractéristiques, ainsi que leurs avantages et inconvénients qui limitent leurs mises en œuvre.

1.2 HISTORIQUE

Graham Bell avait envisagé dès 1880 un système de transmission des sons par rayons lumineux. Pour concrétiser une telle idée, une source de lumière cohérente et un conducteur adapté devaient être conçus.

Plus d'un siècle fut nécessaire, le premier laser fonctionnant à température ambiante étant construit par les Bell Labs en 1970. La même année, l'invention de la diode électroluminescente (Light Emitting Diode, LED) par C. A. Burrus offrait une autre solution pour produire une source de lumière utilisable en télécommunications.

À la même époque, le géant du verre américain Corning Glass Works voyait ses efforts récompensés en réalisant une fibre optique composée en son cœur de silice dopée puis de silice extrêmement pure. L'atténuation limitée à 20 dB/km ouvrait la voie aux transmissions optiques. À la fin des années 1970, elle atteignit même 0,2 dB/km. AT&T en 1977 et le CNET en 1980 utilisaient la nouvelle technologie pour du trafic commercial. L'évolution s'accélère avec une nouvelle génération de fibres dites « monomodes » mise en œuvre pour la première fois en France sur la liaison Lannion-Perros en 1983 [2].

1.3 CHAÎNE DE TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE

Les liaisons optiques se basent sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information (figure 1.1) [3]:

- Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif permettant de convertir un signal complexe électrique en un signal optique.
- La fibre optique, qui constitue le canal de transmission, transporte une porteuse optique modulée par un signal contenant l'information à véhiculer.
- Le récepteur du signal inclut un photo-détecteur qui opère une conversion du signal optique en un signal électrique qui peut ensuite être traité par des systèmes électroniques plus conventionnels.

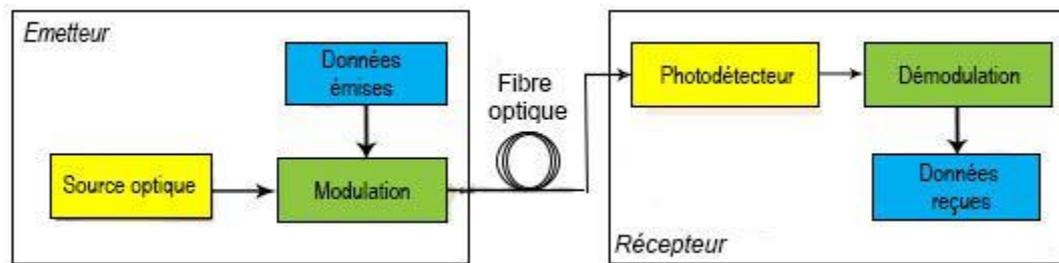


Figure 1.1 : Schéma de principe d'une liaison optique

1.3.1 Source optique

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions par rapport à celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont couramment utilisées : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes lasers [4].

1.3.1.1 Les diodes électroluminescentes

Sont des composantes basées sur la transmission spontanée, capables d'émettre la lumière lorsqu'elles sont soumises à un courant électrique, ces diodes sont généralement utilisées pour les applications bas débit. Ce sont des sources incohérentes et polychromatiques, elles présentent un spectre d'émission assez large comme le montre la figure 1.2 et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes.

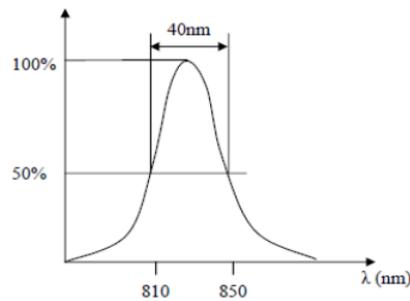


Figure 1.2: Spectre d'émission d'une DEL.

1.3.1.2 Les diodes lasers

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Laser), sont basées sur la transmission stimulée, elles sont les mieux adaptées pour les télécommunications optiques car elles produisent une puissance optique beaucoup plus importante que les LEDs ainsi qu'elles permettent d'avoir une meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [5]. Les diodes laser sont des sources cohérentes et monochromatiques, elles sont utilisées dans les systèmes de transmission à très grande distance, et elles sont caractérisées par une faible largeur spectrale comme le montre la figure suivante.

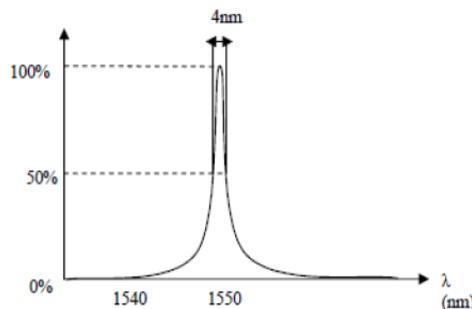


Figure 1.3 : Spectre d'émission d'une DL.

1.3.2 Techniques de 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. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Il existe principalement 2 techniques : la modulation directe et la modulation externe [6].

1.3.2.1 La modulation directe

Un des principaux avantages de l'utilisation des lasers à semi-conducteur pour les systèmes de télécommunications par fibres optiques réside dans le fait qu'il est possible de les moduler facilement : la modulation du courant qui les traverse entraîne directement la modulation en

intensité de la lumière émise. Cette technique est appelée modulation directe. Ainsi, il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser.

Cette solution de modulation directe requiert assez peu de composants. En dehors de la source optique, le laser, seuls un générateur de courant et un driver sont nécessaires (Figure 1.4). Le premier va émettre à un débit donné une séquence de données, expression de l'information à transmettre. Le rôle du driver est de commander la source optique au niveau des puissances émises en fixant les valeurs du courant d'alimentation [6].

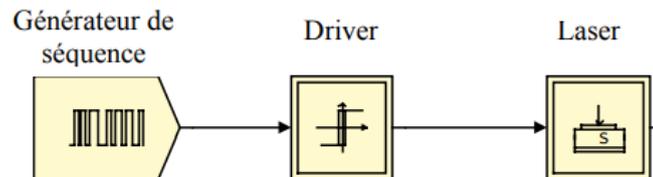


Figure 1.4 : Synoptique de la modulation directe

1.3.2.2 La modulation externe

La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser (figure 1.5). La modulation est effectuée sur une onde pure et constante et par un composant indispensable : le modulateur externe. Celui-ci est commandé par une tension externe $v(t)$, modulée et représentative de l'information à transmettre. Cette tension appliquée au modulateur a pour effet de modifier le facteur de transmission en intensité en sortie. En traversant le modulateur, le signal optique continu émis par le laser, subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon $v(t)$. Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les niveaux de $v(t)$ et choisir les modifications du facteur de transmission [6].

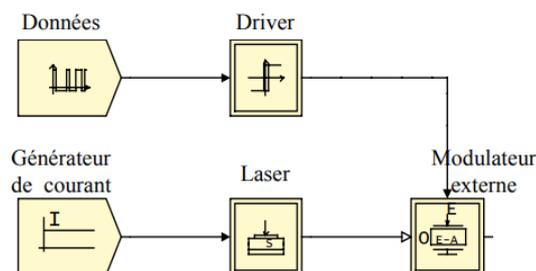


Figure 1.5: Synoptique de la modulation externe.

Plusieurs types de modulateurs sont disponibles, on cite en particulier un type de modulateur d'amplitude utilisé dans les systèmes de transmission à haut débit : le modulateur « *Mach-Zehnder* », et le modulateur électro-absorbant.

- **Modulateur Mach-Zehnder (MZM)**

La technique utilisée pour moduler l'amplitude d'un faisceau consiste à lui faire traverser un interféromètre de *Mach-Zehnder* dans lequel il est possible de commander la différence de phase entre les deux bras comme le montre la figure suivante.

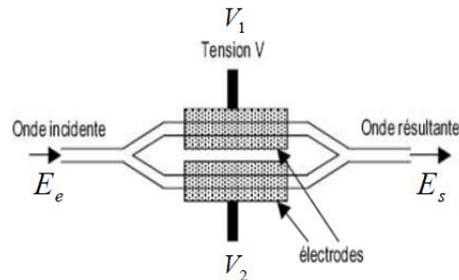


Figure 1.6: Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder

Avec :

E_e est le champ électrique du signal optique d'entrée,

E_s est le champ électrique du signal de sortie,

V_1 et V_2 sont les tensions de commande des cellules électro-optiques.

La lumière est couplée dans deux guides par un embranchement en Y. Les deux faisceaux se recombinent ensuite dans un deuxième embranchement en Y. Au moyen d'une ou de deux cellules électro-optiques, placée sur l'un des bras de l'interféromètre, un déphasage relatif entre les deux signaux est appliqué. Ce déphasage est converti en variation d'intensité du signal optique par l'interférence entre les signaux déphasés issus des deux bras. Les modulateurs de *Mach-Zehnder* commercialisés sont en très grande majorité réalisés sur des substrats *LiNbO3* qui permettent de réaliser des guides à très faibles pertes ($< 0,2 \text{ dB/cm}$) [8].

- **Modulateur électro-absorbant**

Le principe de fonctionnement des modulateurs à électro-absorption repose sur les modifications du spectre d'absorption d'un semi-conducteur soumis à un champ électrique [4]. Une augmentation de ce champ translate le bord d'absorption vers les grandes longueurs d'onde et de ce fait, augmente l'absorption de la lumière traversant le semi-conducteur. Les performances dépendent du matériau utilisé. Les dispositifs dont le guide est formé de puits quantiques permettent d'obtenir une efficacité d'électro-absorption par unité de longueur plus importante et une bande passante plus élevée mais ils demandent une tension de commande plus forte et sont plus sensibles à la polarisation de la lumière que les dispositifs dont le guide est formés de matériaux massifs.

1.3.2.3 Comparaison entre les deux modulations

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques Gbits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité correcte [7].

La modulation externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés. Le bruit, n'est pas inexistant dans les modulateurs externes mais leurs valeurs sont nettement plus faibles que dans les lasers. Les limites de capacité de transmission sont donc repoussées vers des fréquences plus importantes.

1.3.3 Format de modulation

Les formats de modulation optiques de base peuvent être classés, comme le montre la figure 1.7, comme suit [9] :

- La modulation par déplacement d'amplitude (ASK), où l'information est intégrée dans l'amplitude de l'impulsion sinusoïdale.
- La modulation par déplacement de phase (PSK), dans laquelle l'information est intégrée dans la phase.
- La modulation par déplacement de fréquence (FSK), où l'information est intégrée dans la fréquence.

La modulation Tout-Ou-Rien (OOK : On-Off- Keying) est un cas particulier de la modulation ASK, où le « 1 » est représenté par la présence de l'impulsion tandis que le « 0 » par l'absence d'une impulsion.

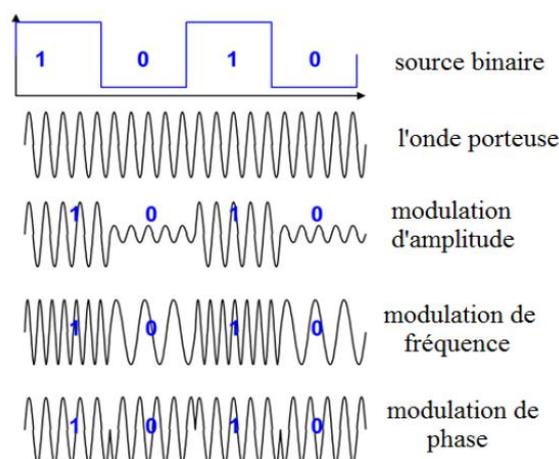


Figure 1.7 : Formats de modulation

Les deux types de formats de modulation optique, les plus populaires, en modulation d'intensité sont les suivants: Non-Retour à Zéro-Tout Ou Rien (NRZ-OOK) et Retour à Zéro- Tout Ou Rien (RZ-OOK).

1.3.3.1 Non-retour à zéro (NRZ)

NRZ est considéré comme le format de modulation le plus simple. Le schéma de principe d'un émetteur NRZ est représenté par la figure 1.8, dans lequel les données du signal d'entrée sont modulées dans le laser optique avec un modulateur d'intensité externe. Le modulateur d'intensité peut être soit un Mach-Zehnder, soit un modulateur à électro-absorption, qui convertit le signal électrique en signal optique au même débit. La sortie de l'émetteur NRZ est indiquée en Figure 1.9 [9].

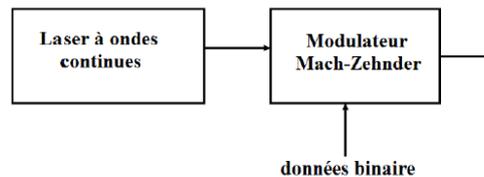


Figure 1.8 : Emetteur Non Retour à Zéro

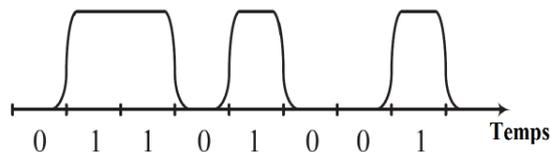


Figure 1.9 : Signal NRZ

1.3.3.2 Retour à zéro (RZ)

La Figure ci-dessous montre le schéma synoptique de l'émetteur RZ qui est fondamentalement un émetteur NRZ avec un modulateur externe supplémentaire piloté par une horloge électrique. Le signal optique RZ est généré par deux MZM en cascade, le premier MZM module la source de lumière optique avec des données pour générer un signal optique NRZ; tandis que le second MZM sert à moduler le signal optique NRZ avec un découpeur d'impulsions pour générer le signal optique RZ [9].

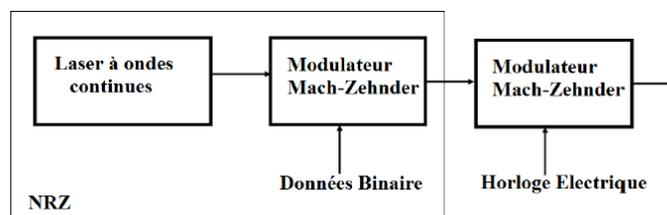


Figure 1.10 : Emetteur Retour à Zéro

La bande passante de la modulation RZ est supérieure à celle de la modulation NRZ correspondante au même débit de données du fait qu'à chaque période T de bit "1", l'amplitude du signal atteint l'amplitude spécifiée pour le bit "1" et descend à zéro. La figure suivante montre le signal RZ de la sortie du modulateur.

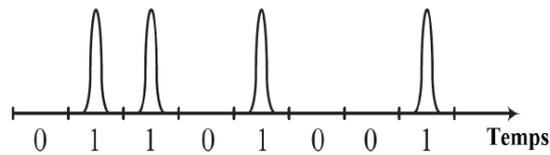


Figure 1.11: Signal RZ

1.3.4. La fibre optique

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

Une fibre optique est un guide d'ondes. Son principe consiste à confiner une onde lumineuse (appartenant généralement au proche infra-rouge) à l'intérieur d'une zone : un cœur cylindrique de Silice entouré par une gaine optique, tous les deux entourés d'une gaine de protection comme le montre la figure 1.12. Les fibres optiques sont principalement constituées de silice, dopée au moyen de différents composés chimiques pour contrôler notamment le profil d'indice variant avec le rayon [13].

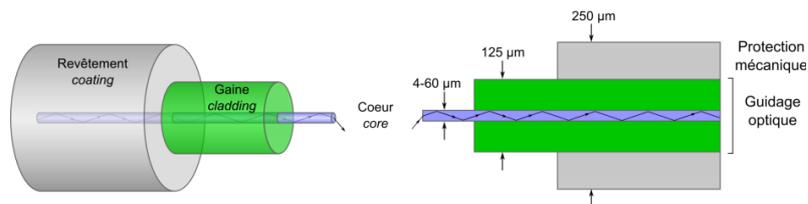


Figure 1.12 : Schéma simplifié d'une fibre optique.

- **Le cœur** : Composé en silice (SiO_2), il est en verre pure et c'est la couche la plus importante en terme de transmission optique qui permet de guidé les informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de perte et est caractérisé par son indice $n_{\text{cœur}}$.
- **La gaine optique** : Il s'agit d'une couche de verre qui entoure le cœur et fonctionne comme un miroir. Elle permet d'éviter que le signal optique sorte du cœur, et est caractérisé par son indice n_{gaine} . L'indice de réfraction n_{gaine} est plus inférieur à celui du cœur $n_{\text{cœur}}$ (différence de quelque nm).
- **La protection** : Il s'agit généralement d'une gaine en PVC qui protège le cœur et la gaine optique, et ainsi protéger le signal des différentes perturbations externes. Elle peut également contenir des matériaux de renforcement et un gainage destiné à la protection mécanique et aussi à la flexibilité ainsi que la facilité de la manipulation [10].

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 (Figure 1.13). Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre sans perte, en empruntant un parcours en zigzag [4].

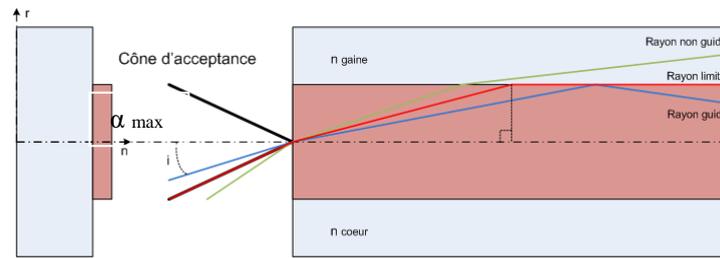


Figure 1.13 principe de guidage de la lumière par réflexion totale interne

L'ouverture numérique de la fibre ON représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre, α_{max} , pour que la lumière puisse être guidée sans pertes ; cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre. Elle peut être donnée par [4]:

$$ON = \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (1.1)$$

1.3.4.1 Classification des fibres optiques

Le type de fibre est caractérisé par la fréquence normalisée V qui est un paramètre essentiel du guide diélectrique, elle détermine le nombre de mode pouvant se propager dans la fibre, elle s'écrit en fonction de l'ouverture numérique comme suit [10].

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot ON \quad (1.2)$$

Où : λ représente la longueur d'onde du rayon du cœur de la fibre optique.

a représente le rayon du cœur

Chaque angle d'incidence correspond à un mode, qui sera guidé ou non, selon les propriétés optiques et géométriques de la fibre. Il existe plusieurs types de fibres optiques qui diffèrent les unes des autres par leur géométrie et leurs propriétés optiques. Parmi celles-ci nous retrouvons les fibres monomodes et les fibres multimodes, à saut ou à gradient d'indice [11].

a) *Fibres multimodes (MMF : Multi Mode Fibre)*

Dans ces fibres, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de leurs cœurs. On distingue deux types :

- **Fibres multimodes à saut d'indice**

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN. Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie" comme le montre la figure suivante [12].

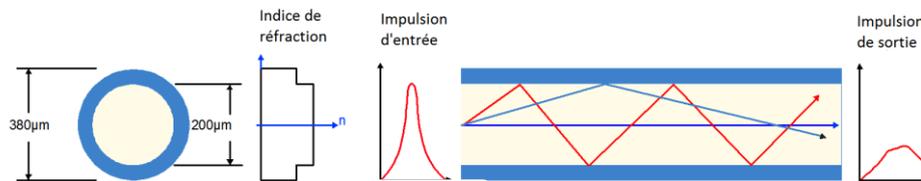


Figure 1.14 : Fibre multimode à saut d'indice.

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir par la différence des impulsions d'entrée et de sortie. L'inconvénient de ce type de fibre résulte de l'écart important des temps de parcours des différents rayons lumineux et donc d'un élargissement conséquent de l'impulsion de départ. Leur capacité de transmission est réduite, du fait de cette dispersion.

- **Fibres multimodes à gradient d'indice :**

A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine. Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé. Ces différentes couches de silice influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique comme le montre la figure suivante [12].

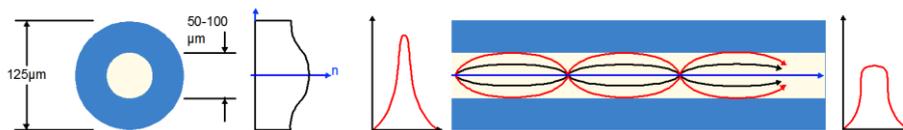


Figure 1.15 : Fibre multimode à gradient d'indice.

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

b) Fibres monomode (SMF : single Mode Fiber)

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux. Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite comme le montre la figure suivante [12].

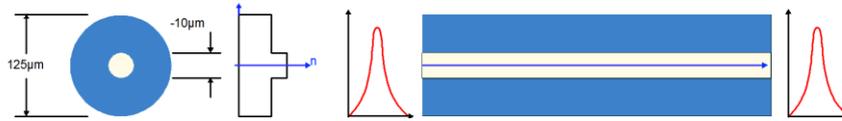


Figure 1.16 : Fibre monomode.

La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu. L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui en fait sa force.

1.3.5 Récepteurs optiques

Le rôle du récepteur (figure 1.17) est de récupérer la séquence binaire sous forme électrique. Il est équipé notamment d'un détecteur constitué d'une ou plusieurs photodiodes permettant la conversion du signal optique en signal électrique. Les photodiodes peuvent être précédées d'un démodulateur servant à récupérer l'information binaire lorsqu'elle est stockée dans la phase du signal optique. Après détection, le signal électrique alimente une bascule de décision, qui génère un signal binaire « 1 » si le signal électrique détecté est supérieur à une certaine valeur appelée seuil de décision, et « 0 » s'il y est inférieur [13].



Figure 1.17: schéma d'un récepteur.

1.3.5.1 Les photo-détecteurs

Le photo-détecteur réalise la conversion du signal lumineux en un signal électrique. Il se comporte comme un compteur de photons et génère un courant proportionnel à la puissance lumineuse. Sa sensibilité, définie en A/W doit être élevée aux longueurs d'onde sélectionnées et son apport en bruit minimal [3].

1.3.5.2 Principe de fonctionnement de la photo-détection

La photodiode est un composant à base de matériaux semi-conducteurs. Dans son principe, la lumière, et donc les photons qu'elle reçoit, est absorbée en favorisant des transitions des électrons de la bande de valence du semi-conducteur vers sa bande de conduction. Ces porteurs photo-crées (paires électrons-trous) sont égaux au nombre de photons absorbés ; ils sont plus ou moins libres de se déplacer dans la structure sous l'effet d'une polarisation, assurant ainsi le passage d'un courant électrique. Seuls les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de bande interdite du semi-conducteur sont absorbés en créant ces paires électrons-trous.

Un photo-détecteur est caractérisé par [3] :

- son coefficient d'absorption α : il dépend du matériau utilisé et caractérise la pénétration de la lumière à l'intérieur du semi-conducteur. Il est mesuré en cm^{-1} .
- son rendement quantique η : il représente le rapport du nombre de paires de porteurs photo-crées au nombre de photons incidents. Sa valeur est en général inférieure à 1 et augmente avec l'épaisseur de la zone absorbante.

1.3.5.3 Type de photodiodes

Parmi les photo-détecteurs à semi-conducteurs les plus utilisés, on trouve les photodiodes PIN et APD.

a) Les photodiodes PIN

De manière à effectuer une photo-détection efficace, en évitant les recombinaisons des paires électrons-trous, il faut que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles hors présence de lumière; ceci peut se trouver dans la zone de charge d'espace d'une jonction PN. Cette dernière doit être très large pour assurer un bon rendement quantique. La structure de la photodiode PIN est donnée par la figure 1.18, dans laquelle une région intrinsèque est matérialisée entre les régions P et N. La majorité des photons est alors absorbée dans la zone intrinsèque, lorsque la photodiode est polarisée en inverse. La zone traversée par la lumière P ou N doit avoir une faible épaisseur, et possède à sa surface une couche antireflet qui permet d'améliorer le rendement quantique externe en protégeant le matériau.

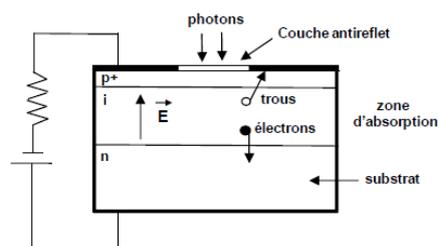


Figure 1.18 : Structure d'une diode PIN

En l'absence de lumière, il existe un courant faible d'obscurité I_{obs} circulant dans la jonction qui a des origines multiples : génération thermique dans la zone isolante, courants de fuite, courants de surface. Ce courant varie avec la tension de polarisation et la température.

Ainsi, le courant total I_{tot} circulant dans la photodiode est donc [3]:

$$I_{tot} = I_{ph} + I_{obs} \quad (1.3)$$

Le photo-courant I_{ph} étant proportionnel à la puissance optique P_{opt} , on a :

$$I_{tot} = S P_{opt} + I_{obs} \quad (1.4)$$

L'autre particularité de la photodiode est son temps de réponse qui en général doit être très petit.

b) Photodiode APD (Avalanche Photo Diode)

Les photodiodes APD (photodétecteur à gain interne) (figure 1.19) sont des composants semi-conducteurs d'une structure PIN. En faisant croître le champ électrique dans la jonction PIN, l'énergie des porteurs s'élève, jusqu'au point d'ioniser un atome en cas d'impact avec celui-ci. Des ionisations en chaîne se produisent alors et les porteurs se multiplient. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir de très peu de photons incidents.

Le gain augmente avec la différence de potentiel appliquée, mais il est limité 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 utilisés.

Tout comme pour les photodiodes PIN, il existe plusieurs structures possibles. Voici à titre d'exemple le cas d'une structure dans le Silicium. Elle résulte d'un compromis entre une zone d'absorption large, et une jonction très abrupte pour obtenir un très fort champ électrique [6].

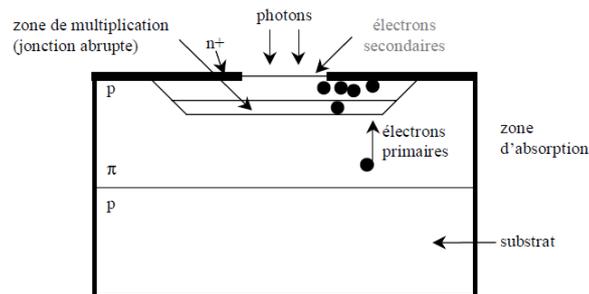


Figure 1.19 : Photodiode APD.

1.4 TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE DANS LES SYSTEMES DE COMMUNICATION OPTIQUE

Des techniques de multiplexage ont été développées pour les systèmes d'émission et de réception permettant chacune de transmettre N signaux de débits D sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal de débit $N \times D$ [3].

Avant de présenter les techniques d'accès en optique, nous donnons une brève description de ceux utilisés en radiofréquence.

1.4.1 Accés multiples dans les liaisons radiofréquences

Nous présentons ici les techniques les plus connues, à savoir TDMA, FDMA et CDMA.

1.4.1.1 Accès multiples par répartition dans le temps (TDMA)

Le multiplexage dans le temps TDMA est une méthode utilisée pour partager la même bande de fréquence entre les différents abonnés à tour de rôle comme l'illustre la figure (1.20). Cette technique consiste à allouer, séquentiellement et périodiquement, différents intervalles de temps aux différents utilisateurs de telle manière qu'une période de temps de durée T sera divisée en N intervalles réguliers appelés time slots. Dans ce cas, les émetteurs et les récepteurs doivent être parfaitement synchronisés et que chaque abonné respecte son temps qui lui est alloué pour la transmission afin de pouvoir reconstituer correctement les informations désirées et par conséquent lutter contre les interférences d'accès multiples (MAI) [14].

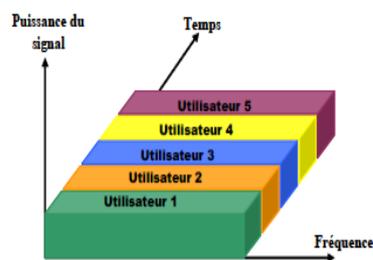


Figure 1.20 : Illustration de la technique TDMA

1.4.1.2 Accès multiples par répartition dans la fréquence (FDMA)

Le multiplexage de fréquences FDMA, ancien qu'il soit, est une technique qui repose sur le partage de la bande passante du canal entre différents utilisateurs, limitant ainsi toutes interférences entre canaux. De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une partie du spectre, de largeur suffisante, différente de l'autre comme est montré sur la figure (1.21) En revanche, la largeur de cette bande allouée à la transmission de chaque usager est inversement proportionnelle au nombre de ces derniers. L'implémentation de cette technique est facile puisqu'en réception, les données issues des différents utilisateurs sont récupérées par filtrage sélectif accordé [14].

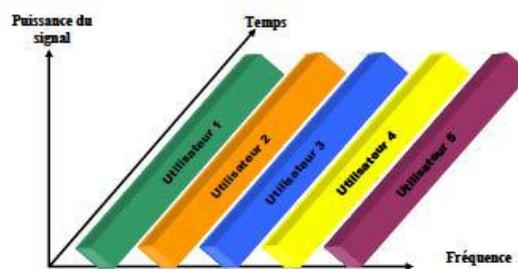


Figure 1.21 : Illustration de la technique FDMA

1.4.1.3 Accès multiple par répartition de codes (CDMA)

Le multiplexage de codes CDMA, appelé aussi technique d'étalement de spectre, fut utilisée en première fois dans les applications militaires du fait du haut niveau de sécurité offert en étalant le spectre du signal sur une bande plus large que nécessaire de telle sorte qu'il aura l'apparence d'un bruit comme le montre la figure suivante [14].

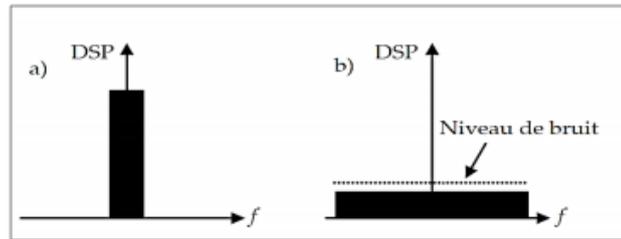


Figure 1.22 - Principe d'étalement de spectre : a) DSP du signal d'entrée, b) DSP du signal étalé.

Dans cette technique, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles temporels (Figure 1.23). Il s'agit, dans ce cas, d'affecter à chaque utilisateur un code particulier permettant de différencier ses données de celles des autres utilisateurs, cela permet de transmettre des informations en évitant d'interférer avec les messages provenant d'autres utilisateurs. Les séquences de codes utilisées dans les systèmes CDMA sont composées d'une série d'impulsions nommées *chips* afin d'être distinguées des *bits* qui composent une séquence de données [9].

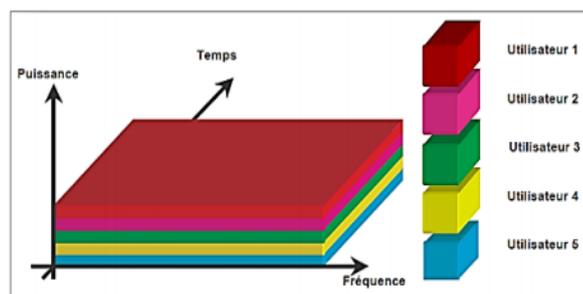


Figure 1.23 : Technique d'accès multiple CDMA.

1.4.2 Multiplexage dans les liaisons optiques

La fibre optique ayant une largeur de bande importante permet d'effectuer les opérations d'accès multiples, ce qui favorise la communication entre plusieurs utilisateurs simultanément. Les techniques de multiplexage appliquées aux systèmes optiques sont : le WDMA, l'OTDMA et l'OCDMA.

1.4.2.1 La technique WDMA

Cette technique développée dans les années quatre-vingts est basée sur le multiplexage en longueur d'onde. Le WDMA (Wavelength Division Multiple Access) constitue en optique, l'équivalent des systèmes de multiplexage par répartition de fréquence ou FDMA dans le domaine radiofréquence.

Dans cette technique, le multiplexage se fait en longueur d'onde, chaque utilisateur sélectionnant une longueur d'onde différente. Les signaux optiques émis par les sources sont appliqués à l'entrée des modulateurs optiques qui permettent de les moduler par les données. En sortie des modulateurs les signaux sont multiplexés et transmis simultanément dans la même fibre optique. A la réception, les signaux reçus sont démultiplexés pour être envoyés à chaque destinataire comme cela est représenté sur la figure suivante [3] :

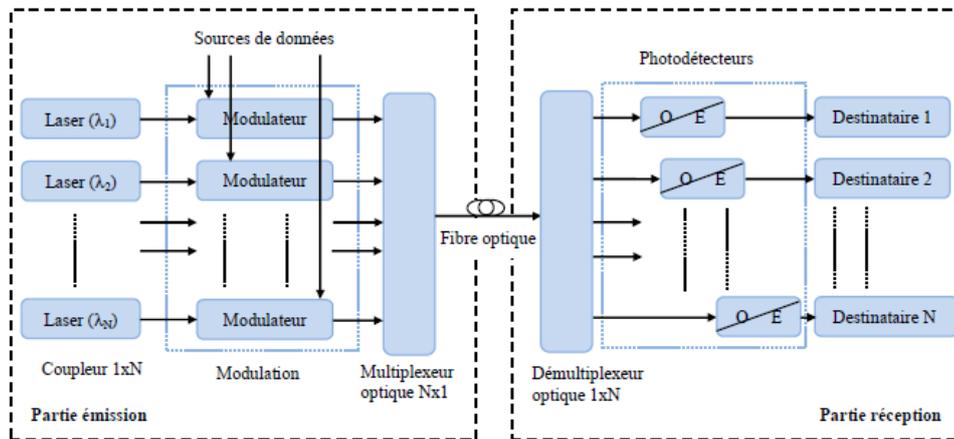


Figure 1.24 : Système d'émission optique et de réception dans la technique WDMA

1.4.2.2 La technique OTDMA

Cette technique, basée sur un multiplexage temporel, est utilisée pour les systèmes électroniques dont les débits de transmission sont limités aux environs de 10 Gb/s à cause des composants électroniques (figure 1.25).

Un laser pulsé est utilisé pour produire un train régulier d'impulsions optiques étroites à un taux de répétition correspondant à la vitesse de transmission des signaux de données (électriques). Le train d'impulsions optique est divisé en plusieurs chemins distincts, chacun d'eux étant modulé individuellement par un canal de données électrique, retardé par une fraction de retard optique, et combiné pour former un seul flux de données optiques multiplexé. Au récepteur, le flux de données optique est démultiplexé, puis détecté pour récupérer les informations. Certains moyens de récupération de l'horloge à la vitesse du bit sont nécessaires pour conduire et synchroniser tous les démultiplexeurs [15].

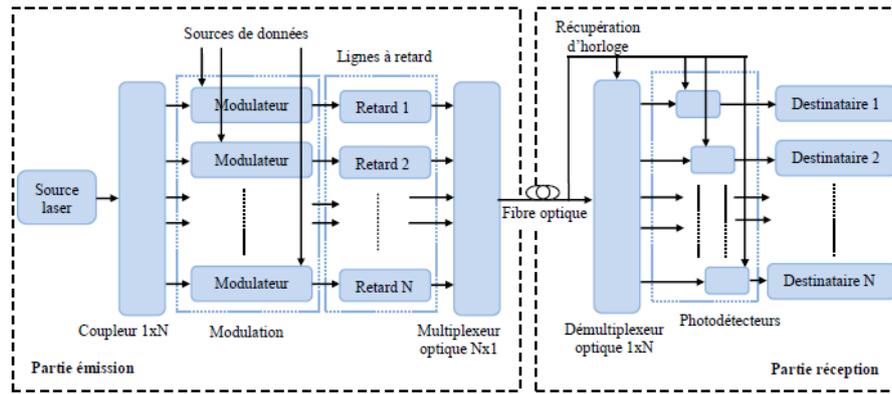


Figure 1.25: Système d'émission et de réception dans la technique OTDMA

1.4.2.3 La technique OCDMA

Le CDMA optique (Optical Code Division Multiple Access : OCDMA) est basé sur les concepts de base du CDMA radiofréquence. Les différents abonnés partagent le même canal optique et chacun dans le réseau a sa propre séquence d'étalement. L'implémentation de l'OCDMA est totalement différente du CDMA radio. Cette différence est due principalement à la différence entre les deux milieux de propagation. Les effets qui perturbent le canal optique (dispersion chromatique et effets non-linéaires) sont différents de ceux du canal radio (atténuation). Dans les systèmes OCDMA les canaux des différents utilisateurs ne sont pas différenciés par leur longueur d'onde ou par leur créneau temporel, mais par un code (temporel ou spectral) distinct. Le choix de ce code implique l'utilisation d'un récepteur approprié afin de distinguer l'information des différents utilisateurs. Cette technique permet à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur la même fibre optique [16].

a) L'architecture d'OCDMA

La figure 1.26, représente schématiquement un dispositif CDMA optique dans un réseau en étoile. Une source de données, optique ou électronique active une source optique, alimente un encodeur optique qui transforme chaque bit de donnée en séquence optique : 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 abonnés du système dans un coupleur en étoile, puis transmet via une fibre optique.

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 [17].

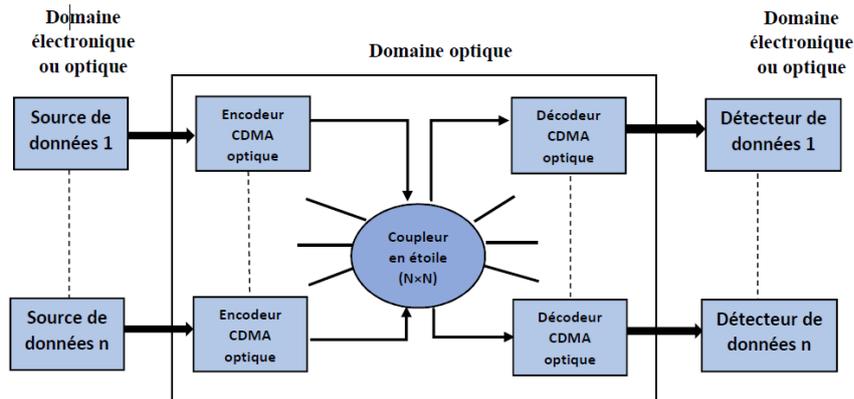


Figure 1.26 : Chaîne de transmission OCDMA

b) Les différentes approches de l'OCDMA

La manipulation des signaux peut s'envisager soit de manière cohérente ou bien d'une manière incohérente.

➤ L'OCDMA cohérent

Dans ce type, l'amplitude et la phase sont les caractéristiques du signal utilisé pour coder les informations à transmettre. Il est possible d'utiliser des codes bipolaires (comportant des 1 et -1), la bipolarité rend les différents codes strictement orthogonaux de la même manière que pour le CDMA hertzien. La construction des séquences orthogonales a été faite grâce à des familles de codes bien connues tel que le code de Gold, Walsh, ...

Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rend le système plus complexe et donc une infrastructure plus coûteuse à mettre en œuvre [18].

➤ L'OCDMA incohérent

Dans ce cas les informations codées à transmettre utilisent la puissance du signal transmis. De cette manière, on ne détecte que la puissance (quantité positive). Le canal est donc unipolaire et les codes seront composés de 0 et de 1. La plupart des études portant sur le CDMA Optique envisagent ce type de codage car le système est plus simple à mettre en œuvre et, est dit "bas-coût". La contrepartie est que les séquences de code utilisées ne peuvent pas être strictement orthogonales. Ceci n'implique que les données émises par les différents utilisateurs du système interfèrent les unes avec les autres. Cette interférence appelée Interférence d'Accès Multiple (IAM), est une des principales limitations des performances [19].

c) Les avantages du CDMA optique

Les systèmes de communication optique offrent plusieurs avantages dont on peut citer [18]:

- Large couverture.

- Diversité en fréquence.
- Efficacité spectrale bit/Hz.
- Gestion du plan de fréquence.
- Immunité par rapport au brouilleur.
- Diversité en fréquence.
- Efficacité de la concentration du trafic.
- Souplesse de modification sur les débits transmis.
- Capacité théorique plus grande.

d) Les catégories d'OCDMA

En OCDMA, le code peut être implémenté de différentes manières :

➤ *OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA)*

L'étalement des données repose sur le remplacement de chaque bit d'information par une séquence de N bits (appelés « chips » pour les distinguer des bits de données). C'est cette séquence de code qui détermine la clé de codage. Une série de N chips remplace le bit de valeur « 1 », alors que la valeur « 0 » est remplacée par la séquence complémentaire. Ce principe de fonctionnement est illustré dans la figure (1.27). Dans ce cas, nous sommes en face d'un codage direct qui ne fait pas intervenir d'autres paramètres tels que la fréquence ou le temps [20].

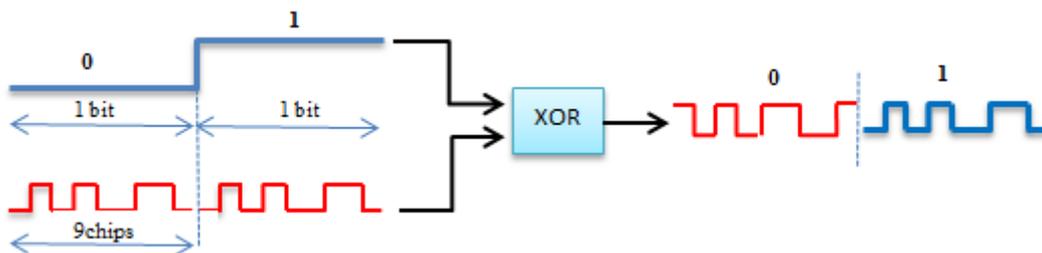


Figure 1.27 : Principe d'implémentation de l'étalement de spectre en DS-SS

➤ *L'OCDMA spectral*

Dans une méthode d'encodage spectral, un utilisateur émet un ensemble de plusieurs longueurs d'onde obtenues par exemple par une batterie de filtres placés en sortie d'une source optique large-bande (figure 1.28). En réception il faut disposer d'un filtre identique [21]. Chaque utilisateur a son propre code, défini par une combinaison spécifique des composantes spectrales et qui doit être orthogonale aux autres utilisateurs.

La difficulté principale dans la réalisation du codage spectral réside dans le dispositif de filtrage.

Les composants spectrales du code peuvent être obtenues par filtrage à l'aide de fibres à réseaux de Bragg réfléchissant des longueurs d'onde différents ou par des dispositifs appelés (Spatial Light Modulator) (SLM) qui permettent un codage plus flexible par l'utilisation de systèmes hybrides appelés MOMENS (Microelectro Optical Mechanical Systems).

Les limitations de la technique OCDMA en longueur d'onde résident en différents points [21]:

- Le poids des codes utilisés correspond au nombre de filtre mis en œuvre.
- Ce poids ne peut pas être unitaire sinon on se retrouve dans le cas WDM.
- L'utilisation d'un nombre important de raies implique un large domaine spectral, de ce fait les performances seront dégradées à cause de la présence de la dispersion et l'amplification.

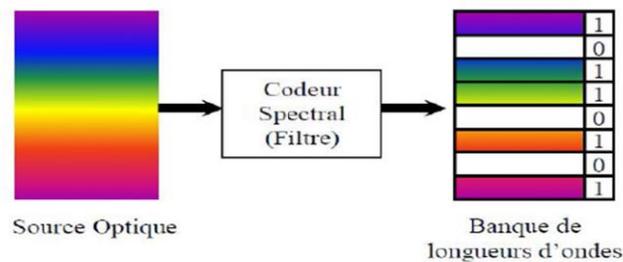


Figure 1.28 : Codage spectral OCDMA.

Il existe deux types d'encodage dans le domaine spectral :

- ***OCDMA par encodage spectral d'amplitude (SAC-OCDMA : Spectral Amplitude Coding OCDMA) :***

Une autre manière de réaliser un système OCDMA est d'utiliser un encodage spectral d'amplitude (SAC), aussi appelé encodage en fréquence (FE). Cette méthode consiste à attribuer à chaque utilisateur une partie du spectre optique comme code. Afin de réaliser l'encodage spectral, des sources larges spectralement telles des sources incohérentes ou des lasers multi longueurs d'onde doivent être utilisées. La majorité des propositions SAC-OCDMA utilise des sources incohérentes qui ont l'avantage d'avoir une large bande [22]. Cette technique fait l'objectif de notre travail.

- ***OCDMA par encodage spectral de phase (SPE-OCDMA : Spectral Phase Encoding OCDMA) :***

Une seconde méthode utilise également les sources cohérentes à impulsions courtes en OCDMA. Il s'agit de l'OCDMA par encodage spectral de phase (SPE). Cette technique consiste à effectuer une modulation de phase dans le domaine spectral des données. Dans ce type d'encodage le code est bipolaire et unidimensionnel.

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. 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 [18].

Chaque technique est différente par rapport à l'autre en termes de propriétés de corrélation, de famille de codes utilisés, de capacité de multiplexage, de difficulté d'implémentation et du niveau de sécurité qu'elle offre.

1.5 CONCLUSION

Le but de notre travail est d'étudier un système de communication optique (SAC-OCDMA), il était indispensable de présenter une synthèse des systèmes de transmission par fibre optique. Nous avons donné une description détaillée des différents dispositifs utilisés en émission et en réception optique ainsi que le support de transmission utilisé qui est la fibre optique. Enfin, nous avons présenté les différentes méthodes d'accès multiple appliqués aux systèmes de communications optiques en particulier l'OCDMA.

CHAPITRE 02

Codage en SAC-OCDMA

2.1 INTRODUCTION

Les systèmes d'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA) ont joué un rôle important dans la communication optique en raison de leurs avantages, notamment la prise en charge de l'accès asynchrone aux réseaux, l'affectation dynamique de la bande passante et la transmission sécurisée. Le codage spectral d'amplitude (SAC) est l'une de nombreuses techniques développées pour les systèmes OCDMA qui ont fait l'objet d'une grande attention en raison de la réduction des interférences d'accès multiple (IAM), de la simplicité et de son faible coût de réalisation.

Dans ce chapitre, nous parlerons dans un premier temps de la technique SAC-OCDMA, ses différents types d'encodage et décodage ainsi que les différents bruits présents dans ce système. Nous présentons également quelques codes utilisés en particulier le code EMD sur lequel notre étude est basée.

2.2 SYSTEMES SAC-OCDMA

Le SAC-OCDMA est une technique qui effectue son encodage sur la dimension spectrale, où chaque utilisateur possède son propre code spectral qui constitue sa signature unique. Sachant bien que les systèmes fonctionnant à base du SAC-OCDMA partagent la même bande optique, c'est-à-dire que deux signatures spectrales distinctes ont des fréquences en commun ce qui implique la non orthogonalité des différents codes attribuer aux utilisateurs. Comme l'illustre la figure 2.1, chaque code d'utilisateur est attribué d'une combinaison de longueur d'onde bien spécifique [18]. Après transmission dans le canal, le décodage est effectué qui consiste en l'extraction du signal parmi tous les signaux en utilisant la signature spectrale comme discriminateur.

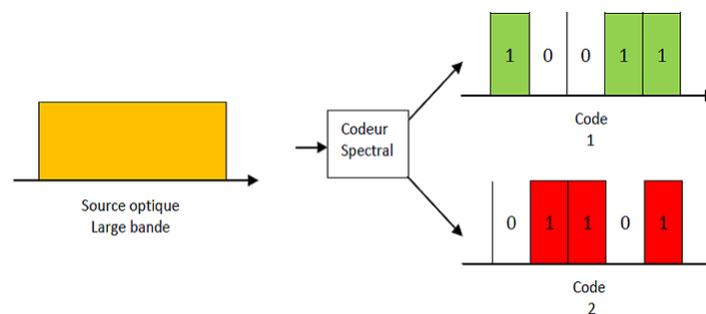


Figure 2.1 : Technique de codage en SAC-OCDMA.

2.2.1 Encodage et décodage d'un signal SAC-OCDMA

Dans cette section, nous allons voir comment l'on procède pour effectuer l'encodage d'un canal avec la technique SAC-OCDMA. Ce processus d'encodage assigne une empreinte ou une

signature spectrale unique aux données de l'utilisateur. Il faut savoir que dans les systèmes fonctionnant sur le principe du SAC-OCDMA, l'utilisation de la bande optique est partagée. Les différentes signatures spectrales ne sont donc pas orthogonales entre elles, c'est-à-dire que deux signatures spectrales distinctes ont des fréquences en commun. Il en découle une chose fondamentale : il est impossible d'extraire les données contenues dans un canal par un simple filtrage optique en SAC-OCDMA, contrairement aux systèmes WDM. Le but du décodage consiste en l'extraction du signal parmi tous les signaux en utilisant la signature spectrale comme discriminateur [23].

2.2.1.1 Encodage

Les technologies utilisées pour l'encodage sont :

- **Encodage avec masque d'amplitude**

Cette technique est basée sur la séparation angulaire des différentes composantes fréquentielles à l'aide d'un réseau de diffraction. Ce réseau est placé au point focal d'une lentille afin de rejeter le point image à l'infini. Un masque d'amplitude est inséré dans un plan orthogonal à l'axe de propagation et permet de supprimer les composantes spectrales non voulues. Une autre lentille associée au deuxième réseau de diffraction recombine les composantes spectrales restantes comme le montre la figure suivante :

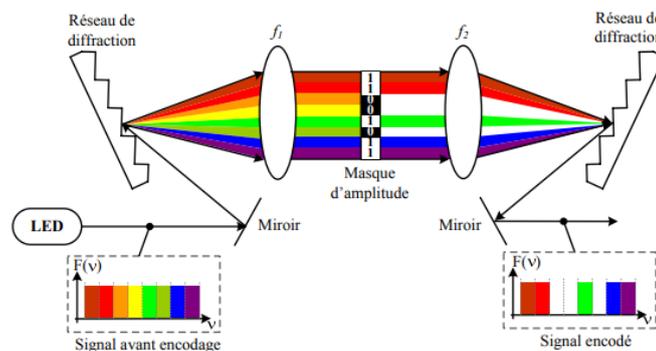


Figure 2.2 : Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude

- **Encodage avec AWG (Arrayed Waveguide Grating ou réseau sélectif planaire)**

Le principe de cette technique est l'utilisation d'une cascade de deux AWGs $1 \times N$ comme le montre la figure 2.3. A la sortie de chaque branche du premier AWG, nous retrouvons une tranche spectrale déterminée. En branchant uniquement certaines fibres aux N entrées du deuxième AWG, c'est ainsi qu'on obtient un code spectral [24].

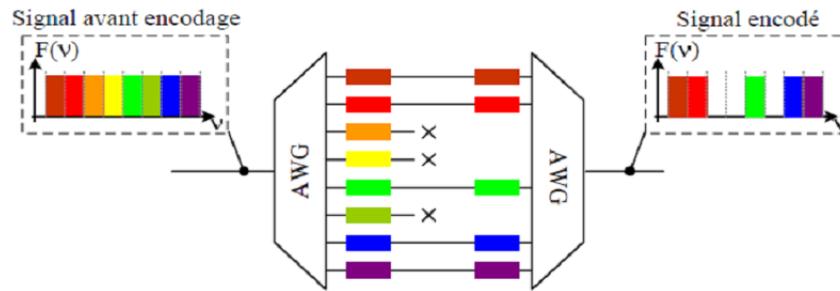


Figure 2.3 : Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG.

- **Encodage avec réseaux de Bragg**

Le principe des réseaux de Bragg consiste en une variation périodique de l'indice de réfraction (du cœur de la fibre dans notre cas) afin d'obtenir un composant sélectif spectralement. Chacun des réseaux de Bragg permet de supprimer une bande de fréquences qui n'est pas contenue dans le code SAC-OCDMA comme le montre la figure suivante :

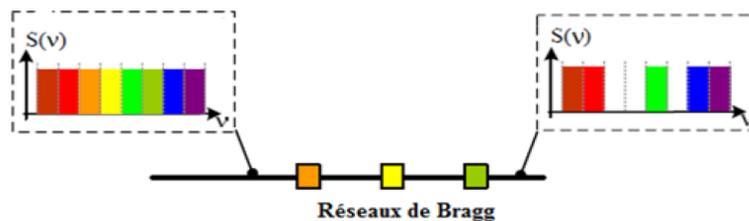


Figure 2.4: Encodage SAC-OCDMA à base des réseaux de Bragg.

- **Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques**

C'est la technique la plus utilisée à ce jour, son principe étant assez simple. Le spectre large bande de la LED est divisée en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale à l'aide d'un démultiplexeur. A partir des sorties de ce dernier, chaque utilisateur pourra rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale à l'aide d'un multiplexeur comme l'illustre la figure 2.5 (Le nombre d'entrées du multiplexeur est égal au nombre de longueurs d'onde qui constituent la signature spectrale) [24].

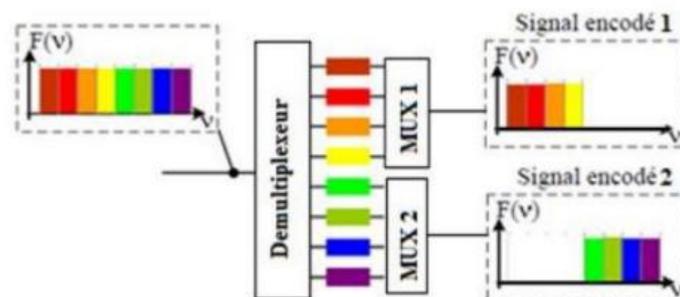


Figure 2.5 : Encodage SAC-OCDMA pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et deux multiplexeurs.

2.2.1.2 Décodage en SAC OCDMA

A la réception les données de tous les utilisateurs seront réunies il faut donc utiliser le code de chaque utilisateur pour restituer la donnée qui lui est propre, pour cela il existe quatre principales méthodes :

- **Détection par la méthode complémentaire**

La figure 2.6 représente la structure d'un décodeur pour un système SAC-OCDMA permettant de détecter le signal de l'utilisateur i . Cette structure est composée d'un coupleur 1×2 . Dans le bras supérieur, un décodeur DC_i est inséré dont la réponse spectrale est identique au i^{eme} code utilisé à l'émission. Dans l'autre bras, un décodeur complémentaire CDC_i est inséré dont la réponse spectrale est complémentaire au décodeur i . Cela signifie simplement que son code spectral sera le complément binaire de celui du décodeur i .

L'utilisation d'une photodiode balancée permet d'obtenir la soustraction des photo-courants issus des deux photodiodes distinctes. Un atténuateur de paramètre α est également inséré pour ajuster la détection balancée avec précision. Il est calculé comme le montre l'équation suivante :

$$\alpha = \lambda c / (w - \lambda c) \quad (2.1)$$

Avec :

- w : le poids du code (nombre de 1 qu'il contient).
- λc : la corrélation croisée (nombre de 1 commun entre les codes).

De cette manière, les effets MAI dues aux autres utilisateurs seront étouffés au niveau du détecteur tout en favorisant l'utilisateur désiré.

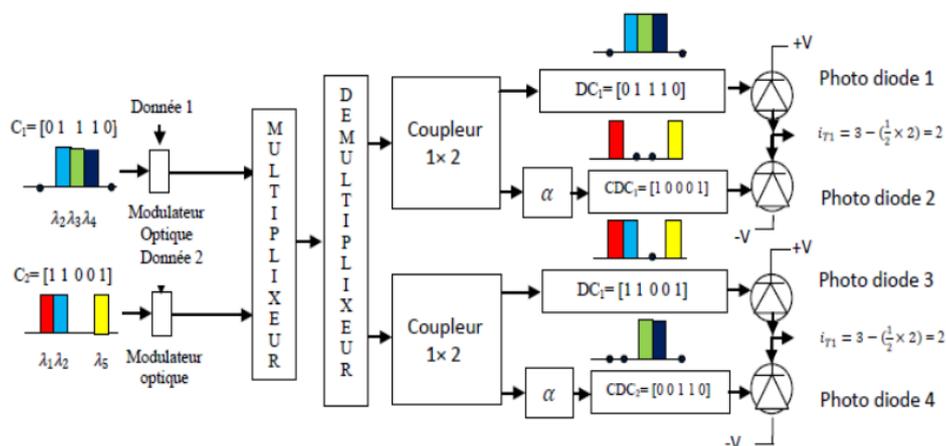


Figure 2.6 : Récepteur complémentaire pour un signal SAC-OCDMA

• **Détection spectrale directe**

La détection spectrale directe représente la technique la plus simple et la moins coûteuse à mettre en œuvre. C’est une technique similaire à la première technique, mais avec une seule branche de décodeur et de détecteur est nécessaire [20]. La figure 2.7 présente la structure et le principe du décodage d’un décodeur direct permettant de détecter le signal de l’usager ayant le code i .

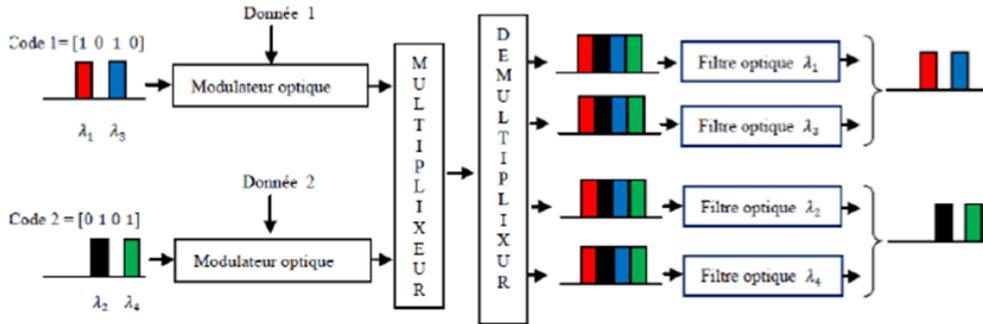


Figure 2.7 : Méthode de détection spectrale directe

• **Détection AND**

Dans cette méthode, le signal reçu passe à travers un coupleur 1×2 . Dans le bras supérieur, on trouve un décodeur DC_i dont la réponse spectrale est identique à celui du code C_i utilisé à l’émission. Dans le deuxième bras, un décodeurs AND est inséré comme il est illustré à la figure 2.8, dont le code est le résultat de l’intersection des différents codes [18]. Les chips en commun peuvent être représentés mathématiquement par une opération AND entre le code de l’utilisateur actif et les codes des interférents. L’utilisation d’une photodiode balancée permet d’obtenir la soustraction des photo-courants issue des deux photodiodes distinctes. Cette méthode a été proposée pour les codes RD (Random Diagonal).

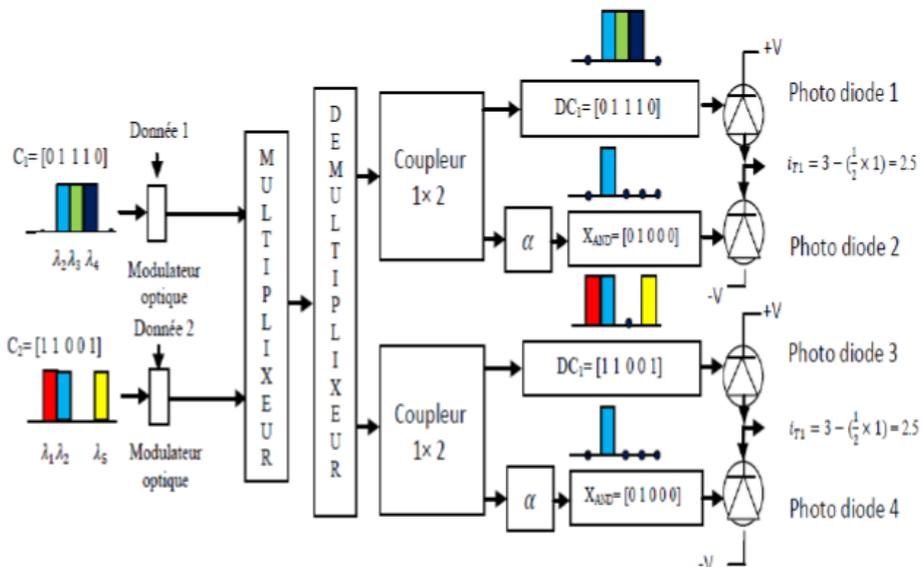


Figure 2.8 : Méthode de détection AND.

- **Détection par la photodiode unique (Single Photo Diode detection :SPD)**

Dans cette détection figure (2.9), le signal optique reçu est décodé par un décodeur dont la réponse spectrale est identique au codeur visé par les données. Le reste du signal issu du décodeur est ensuite transféré vers un deuxième décodeur (s-décodeur) pour éliminer les signaux avec des signatures non correspondantes (interférents). Le s-décodeur contient uniquement le spectre de fréquence des différents interférents. On retrouve à sa sortie soit une unité de puissance nulle pour les utilisateurs actifs ou bien une unité de puissance de corrélation croisée pour les interférents [20].

Suite à la soustraction optique, la sortie est soit une unité de puissance du poids de code pour un utilisateur actif ou une unité de puissance nulle dans le cas d'interférents. Ceci démontre la suppression des signaux d'interférence dans le domaine optique préalablement à la conversion des signaux vers le domaine électrique. Il en découle que le système SPD est capable d'atténuer aussi bien le PIIN que le MAI dans le domaine optique.

Si d'un point de vue théorique, les deux signaux d'interférence au niveau du soustracteur optique sont supposés être égaux et s'annulent les uns les autres, d'un point de vue pratique, les deux signaux d'interférence divergent légèrement au niveau du soustracteur optique. Ainsi, une petite quantité de puissance optique parvient à la photodiode. De ce fait, l'utilisation d'une seule photodiode est rendue possible grâce à la suppression des signaux d'interférence dans le domaine optique. En outre, cela réduit également la quantité de conversion optique-électrique ainsi que les bruits de grenaille générés au niveau du récepteur. L'autre avantage avec cette technique est qu'elle peut être mise en œuvre avec les codes de corrélation croisée fixe.

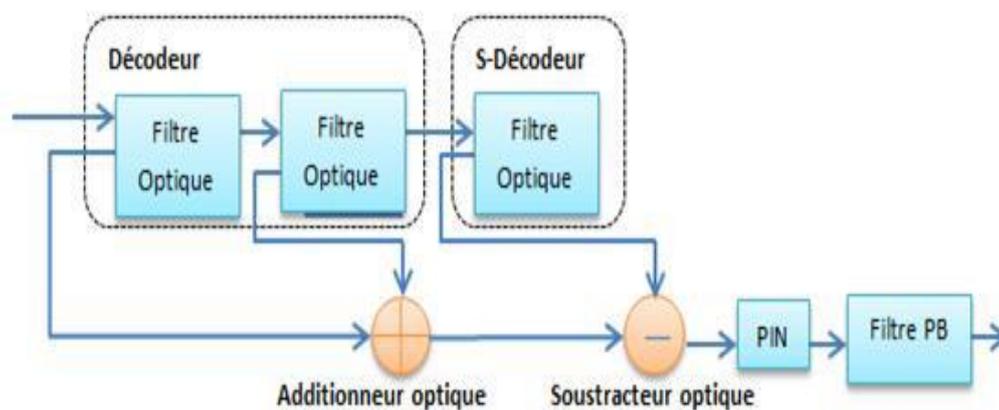


Figure 2.9 : Schéma de la technique photodiode unique SPD

2.3 LES CODES EN SAC-OCDMA

Les propriétés de construction du code étant l'un des problèmes les plus importants ayant une incidence sur les performances des systèmes SAC-OCDMA.

2.3.1 Les paramètres utilisés dans les codes

Nous ferons souvent référence à une famille de codes en la désignant par son nom et l'ensemble (L, w, λ_c) ou de manière plus précise (L, w, λ_c, N) .

- **La longueur (L)**

La longueur du code est notée L . Il s'agit du nombre de «1» et de «0» dans le code. Nous ne considérons que les familles de codes ayant une longueur constante.

- **Le poids (w)**

Le poids du code, noté w , est le nombre de «1» contenu dans ce code.

- **La corrélation croisée (λ_c)**

La corrélation croisée désignée par λ_c , est la somme du résultat d'une opération logique AND entre deux codes différents pris parmi une famille de codes. De façon plus explicite, on peut dire que c'est le nombre de «1» en commun à la même position entre deux codes différents. Une définition plus mathématique serait ainsi faite en posant $x_{i,j}$ la valeur du $j^{\text{ème}}$ bit dans le $i^{\text{ème}}$ code. $x_{i,j}$ vaut soit 1 ou 0. Le résultat de la corrélation croisée entre le $i^{\text{ème}}$ et $k^{\text{ème}}$ code sera calculé de la façon suivante :

$$\lambda_{c,i,k} = \sum_{j=1}^L x_{i,j} \cdot x_{k,j} \quad i \neq k \quad (2.2)$$

- **La cardinalité (N)**

La cardinalité N est le nombre maximum d'utilisateurs qu'un code peut supporter [23].

2.3.2 Les différents codes disponibles

Plusieurs codes de signature différents avec des propriétés variées ont été proposés pour les systèmes SAC-OCDMA. La propriété la plus importante qu'un code devrait avoir pour être utilisé dans ces systèmes est d'avoir une valeur fixe de corrélation croisée. Cette propriété du code permet d'éliminer les interférences d'accès multiples MAI en utilisant des schémas de détection équilibrés. La dispersion des vitesses de groupe dans la fibre optique dégrade les performances du système. Outre l'élargissement de l'impulsion et la réduction de la puissance de crête, la dispersion induit un effet de décalage temporel, qui résulte de la différence de vitesse de groupe des différentes composantes de longueur d'onde, dans les systèmes SAC-OCDMA. C'est pourquoi la recherche de jeux de codes plus performants en présence de dispersion dans ces systèmes fait l'objet d'une attention considérable [25].

Divers codes ont été signalés pour les systèmes SAC-OCDMA. Nous citons par exemple les codes suivants (OOC, Hadamard, MQC, MFH, KS, MS, DSC et RD) qui ont une corrélation croisée $\lambda_c=1$. En outre, le code DW (Double Weight) est introduit pour le poids $w = 2$ seulement.

Son extension ultérieure en termes de poids pairs et impairs est connue respectivement sous les noms de code MDW (Modified Double Weight) et de code EDW (Enhanced Double Weight). Toutes ces constructions ont une valeur de corrélation croisée ($\lambda_c \leq 1$). La valeur de la corrélation croisée est de $\lambda_c = 1$ pour la matrice de base et de $\lambda_c = 0$ pour les autres matrices de base. Plusieurs autres codes ont été créés, dans la suite, nous présentons les méthodes de constructions de quelques uns en particulier le code EMD [26].

2.3.2.1 La construction du code ZCC (Zero Cross Correlation)

Le code ZCC [27] est conçu comme une matrice $N \times L$ où N c'est le nombre de lignes qui représente le nombre d'utilisateur et L c'est le nombre de colonnes qui représente la longueur du code. Cette matrice a des coefficients binaires c'est-à-dire 0 et 1.

En code optique ZCC, le code de base est conçu pour le poids $w=1$:

$$Z(w=1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Dans ce cas on a deux utilisateurs et la longueur minimale du code est également deux.

Afin d'augmenter le poids une transformation de code est nécessaire, elle est présentée sous cette forme [27]:

$$Z(w=i) = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Où

A : représente la réplication de la matrice du code précédent où le poids égale à $w-1$.

B : est une matrice de taille $(w \times 2w)$ qui est une combinaison d'une matrice des «1» en diagonale de taille $(w \times w)$ avec une matrice des «0» de taille $(w \times 1)$ en alternance entre eux.

C : représente la matrice de «0» de taille $(1 \times w (w-1))$.

D : représente la réplication de la matrice $(1 \times [0 \ 1])$ w fois.

Avec : w est le poids du code et i est un nombre entier $\{1, 2, 3, \dots\}$

Le nombre d'utilisateurs et la longueur minimale du code sont calculés respectivement avec la manière suivante :

$$N_B = w + 1 \quad (2.5)$$

$$L_B = w(w + 1) \quad (2.6)$$

Le nombre d'utilisateur peut être augmenté sans modifier le poids par la technique du mappage qui est présenté comme suit :

$$Z_m = \begin{bmatrix} Z_{m-1} & 0 \\ 0 & Z_{m-1} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Les relations entre le degré de mapping m , le nombre mappé d'utilisateurs N et la longueur mappée de code L sont données par:

$$N = 2^m(N_B) \quad (2.8)$$

$$L = 2^m(L_B) \quad (2.9)$$

Exemple : après avoir transformer le code de $w=1$ en $w=2$ en utilisant la formule de transformation du code, on obtient la matrice suivante :

$$Z_{(w=2)} = \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \text{A} \rightarrow & \leftarrow \text{B} \end{array} \\ \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \right] \\ \begin{array}{cc} \leftarrow \text{C} & \leftarrow \text{D} \end{array} \end{array}$$

Dans ce cas on a trois utilisateurs et la longueur minimale du code est six.

Pour augmenter le nombre d'utilisateur en maintenant $w=2$, la matrice du mappage est la suivante :

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{(w=2)} & 0 \\ 0 & Z_{(w=2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3.2.2 Le Code MMS (Modified Multi-Service)

Ce code est une version modifiée du code MS [28]. Pour ce code, le nombre d'utilisateur N_B et la longueur du code L_B obtenus par la matrice de base sont donnée par

$$N_B = 2 \times w \quad (2.10)$$

$$L_B = N_B \times w \quad (2.11)$$

La construction du code consiste à générer deux matrices Y_1 et Y_2 qui ont une dimension $w \times 2w$ et $\lambda c = 1$, puis la technique de diffusion est utilisée pour réduire λc à zéro. La construction du code MS modifié est la suivante [28]:

Etape1:

Générer la matrice de base Y_1 , du code MMS obtenue en suivant les étapes suivantes

Pour $w=3$ par exemple, on obtient la matrice suivante :

$$Y_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Etape 2:

Créer la matrice Y_2 en prenant le complément des bits de la matrice Y_1 on obtient donc la matrice suivante :

$$Y_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Etape 3:

Utilisez une technique de diffusion de code pour réduire la valeur de corrélation de 1 à 0. Pour cela, générer deux matrices zéro $w \times 2w^2$ (3×18), puis organiser les lignes de Y_1 sur la diagonale de la première matrice zéro. De même, arrangez les lignes de Y_2 sur la diagonale de la deuxième matrice zéro. Enfin, la matrice de base est générée.

$$C_B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Une technique de mapping a été utilisée afin de prendre en charge un grand nombre d'abonnés N avec une valeur fixe du poids w . En répétant la matrice de code de base m fois sur la diagonale d'une matrice de zéros. La matrice finale du code peut être exprimée comme suit :

$$C_B(m) = \begin{bmatrix} C_B(m) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_B(m) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_B(m) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Avec

$$m = N/N_B \quad (2.13)$$

$$L = m \times L_B \quad (2.14)$$

Où m est le degré de mapping, N le nombre totale d'utilisateurs dans le système et L est la longueur totale du code dans le système.

2.3.2.3 Le Code double poids amélioré EDW (Enhanced Double Weight)

Le code EDW est une version améliorée du code DW. Son poids de code peut être tout nombre impair supérieur à 1. La construction du code EDW avec un poids égale à trois peut être décrite comme suit [29]:

Étape 1:

Le code EDW se compose d'une matrice $N \times L$ dont le nombre de lignes N et le nombre de colonnes L représentent le nombre d'utilisateur et la longueur minimale du code, respectivement. La matrice de base H_0 du code EDW est donnée par une matrice 3×6 suivante :

$$H_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Étape 2:

A partir de la matrice de base H_0 , un grand nombre d'utilisateurs N peut être obtenu en faisant appel à la technique de mapping comme suit :

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & H_0 \\ H_0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Un code EDW avec un poids de 3 et pour toute longueur de code L donnée, peut être lié au nombre d'utilisateurs N par la relation suivante :

$$L = 2K + \frac{4}{3} \left[\sin \frac{K\pi}{3} \right]^2 + \left[\sin \frac{(K+1)\pi}{3} \right]^2 + \frac{4}{3} \left[\sin \frac{(K+2)\pi}{3} \right]^2 \quad (2.17)$$

2.3.2.4 Le code multi diagonale améliorée (EMD: Enhanced Multi Diagonal)

Le code EMD est conçu par la combinaison de deux matrices comme suit [30]:

$$EMD = [D_n | C_n]_{N \times L} \quad (2.18)$$

Où D_n et C_n représentent respectivement la matrice de données et la matrice de code dans le code EMD. L'utilisation de deux matrices fournit la propriété λ_c nécessaire entre deux codes consécutifs. De plus, elle réduit la complexité matérielle du système en utilisant des techniques de détection simples pour extraire les signaux optiques souhaités. Trois paramètres de base (L , w , λ_c) sont utilisés pour constituer le code EMD, où L est la longueur, w est le poids et λ_c est la propriété d'inter-corrélation entre les codes consécutifs. Les propriétés des deux matrices (de données et de code) sont décrits, dans ce qui suit, pour la génération de la matrice de code EMD.

a) Matrice de données

La matrice de données D_n est conçu avec une matrice diagonale $N \times L$, où les N lignes indiquent le nombre de codes (utilisateurs) et les L colonnes représentent la longueur de D_n . De plus, la matrice D_n est conçu de façon à ce que:

- La corrélation entre chaque deux lignes est égale à 0.
- Le poids de D_n est égal à $w = 1$.
- La longueur de D_n est égale au nombre d'utilisateurs.

Ainsi, la forme de base de D_n en utilisant les propriétés mentionné ci-dessus peut être écrite comme suit:

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Le nombre de lignes dans D_n peut être augmenté par une simple technique de mappage diagonale tout en conservant les propriétés susmentionnées. Ainsi, pour 4 abonnés, D_n peut être écrite comme suit :

$$D_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

b) Matrice de code

C_n est une matrice $N \times J$ où les N lignes représentent le nombre d'utilisateurs et les J colonnes représentent la longueur de la matrice. Les propriétés suivantes sont observées pour la conception de C_n , de sorte que le code EMD peut prendre en charge un grand nombre d'utilisateurs à des taux de données élevés:

- La corrélation entre les lignes adjacentes est toujours égale à 1.
- Le poids de C_n est égal à 2.
- La longueur de C_n est $J = [N(w - 2) + 1]$.

Ainsi, la forme de base de C_n en utilisant les propriétés mentionnées ci-dessus peut être écrite comme suit:

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Il faut observer que les lignes adjacentes, seulement, de C_n maintiennent une combinaison de chips de 1, 2, 1. En outre, le nombre de lignes peut être augmenté par un simple mapping diagonal. Par conséquent, C_n pour 4 utilisateurs peut être écrite comme suit :

$$C_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

En utilisant les propriétés susmentionnées et l'équation. (2.18) le code EMD pour quatre abonnés peut être écrit comme suit:

$$EMD_4 = \left[\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]_{4 \times 9} \quad (2.23)$$

c) Propriétés du code EMD

Le code EMD présente les propriétés suivantes [30]:

- Le code EMD peut être construit pour $w \geq 3$
- La longueur du code est égale $L = N + [N(w - 2) + 1]$
- $\lambda_c = 1$ entre les codes adjacents seulement de la matrice EMD
- Les propriétés d'auto et d'inter-corrélation, si $C_N(i)$ représente le $i^{\text{ème}}$ élément du $N^{\text{ème}}$ code EMD, peuvent être écrites comme suit :

$$\sum_{i=1}^L C_N(i)C_l(i) = \begin{cases} w, \text{ pour } N = l \\ 1, \text{ pour } N \neq l \\ 0, \text{ pour } N \neq l \text{ autrement} \end{cases} \quad l = \begin{cases} N + 1 \text{ si } N < l \\ N - 1 \text{ si } N > l \end{cases} \quad (2.24)$$

2.4 BRUIT EN SAC-OCDMA

Dans cette section, nous présentons les bruits observés lors de la détection d'un signal dans les systèmes utilisant des sources incohérentes à savoir [20]:

- le bruit thermique.
- le bruit de grenaille.
- le bruit d'intensité.

2.4.1 Bruit thermique

Ce bruit est dû à l'agitation thermique des porteurs de charges dans la jonction de la photodiode. Il suit une statistique gaussienne où il introduit une variance σ_{th}^2 sur la tension à la sortie du photo-détecteur [20]. L'expression de sa variance s'écrit sous la forme suivante:

$$\sigma_{th}^2 = 4K_B T_n B / R_l \quad (2.25)$$

Avec :

K_B : la constante de Boltzmann en $[J.k^{-1}]$.

T_n : la température en $[^{\circ}K]$.

B : la bande passante du récepteur en $[Hz]$.

R_l : la résistance de charge du système de photo-détection en $[\Omega]$.

2.4.2 Le bruit de grenaille (shot noise)

C'est un bruit lié au signal qui résulte de la nature corpusculaire du photo-courant et du caractère aléatoire de la création des paires électron-trou. Ce bruit proportionnel à la puissance optique reçue par la photodiode est inévitable. L'expression de sa variance s'écrit sous la forme suivante:

$$\sigma_{sh}^2 = 2 \cdot e \cdot B \cdot I \quad (2.26)$$

Avec :

e : la charge d'électron = $1.6 \cdot 10^{-19}$

I : le courant du N^{ieme} utilisateur à la réception.

B : bande passante électrique équivalente au bruit du récepteur

2.4.3 Bruit d'intensité induit par la phase PIIN

Ce bruit est dû à la nature quadratique de la détection. Or, le signal émis par une source large bande est la somme d'une infinité de champs électriques dont l'amplitude et la phase sont aléatoires. Son effet est proportionnel à la puissance du photo-courant généré et sa variance s'écrit sous la forme suivante [20]:

$$\sigma_{PIIN}^2 = I^2 \cdot B \cdot \tau_c \quad (2.27)$$

Avec τ_c est le temps de cohérence de source.

Dans les systèmes SAC-OCDMA, le PIIN est fortement lié à l'IAM dû au recouvrement spectral des différents utilisateurs. Le bruit de phase des champs au niveau du photo-détecteur surgit en raison du mélange de deux champs de lumières non-corrélés, d'intensité négligeable qui ont la même polarisation, le même spectre et la même intensité.

Pour supprimer le PIIN, la valeur de l'inter-corrélation devrait être maintenue petite le plus possible ou égal à zéro.

2.5 LE TAUX D'ERREURS BINAIRE (BER)

Comme nous transmettons des données numériques, c'est-à-dire une succession de «0» et de «1», le critère le plus intuitif quant à la caractérisation de la qualité du signal transmis est le taux d'erreurs binaire, ou BER (Bit Error Ratio). Du fait de la présence du bruit et des effets du canal de transmission, le signal se déforme et il peut arriver qu'un «1» soit détecté au lieu d'un «0» si le signal à détecter dépasse le seuil de décision, ou réciproquement. Le BER, par définition, est le rapport du nombre d'erreurs de transmission, c'est-à-dire du nombre de fois où un «1» a été détecté à la place d'un «0» ou vice-versa, sur le nombre total de bits transmis [13].

$$BER = \frac{\text{nombre d'erreurs détectées}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (2.28)$$

Pour faciliter l'analyse des performances des systèmes SAC-OCDMA, l'approche gaussienne est généralement utilisée dans le calcul du BER. Dans ce cas d'analyse, il est supposé que toutes les sources de bruit sont approximativement gaussiennes avec une moyenne égale au photo-courant moyen [31].

La source de lumière est non polarisée, son spectre est plat dans la largeur de bande $\left[\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}, \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2} \right]$, Ou ν_0 est la fréquence centrale et $\Delta\nu$ est la bande de la source en Hertz. On suppose que :

- Les différents utilisateurs ont la même puissance à la réception.
- Les trains de bits de chaque utilisateur sont synchronisés.

Le taux d'erreur binaire en utilisant l'approximation Gaussienne peut être déterminé par

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{SNR}{8} \right) \quad (2.29)$$

Ainsi, le SNR total résultant du processus de conversion, à la sortie de la photodiode de réception, peut être écrit sous forme de la densité spectrale de puissance (DSP) (I^2) divisée par la somme de la variance provenant de différentes sources de bruit $\sigma^2 = \sigma_{sh}^2 + \sigma_{PIN}^2 + \sigma_{th}^2$. Par conséquent, le SNR total peut être écrit comme suit:

$$SNR = \frac{I^2}{\sigma_{sh}^2 + \sigma_{PIN}^2 + \sigma_{th}^2} \quad (2.30)$$

Où $\sigma_{sh}^2 = 2eBI$, $\sigma_{PIN}^2 = I^2 B \tau_c$, et $\sigma_{th}^2 = \frac{4K_B T_n B}{R_L}$, respectivement.

Le courant incident (I) et le temps de cohérence de la source (τ_c) en équation (2.30) sont donnés par :

$$I = R \int_0^{\infty} S(\nu) d\nu \quad (2.31)$$

et

$$\tau_c = \frac{\int_0^{\infty} S(\nu)^2 d\nu}{[\int_0^{\infty} S(\nu) d\nu]^2} \quad (2.32)$$

$S(\nu)$ et $R = \frac{\eta e}{h\nu_c}$ en équation (2.31) et (2.32) représentent respectivement, la DSP dans la bande latérale unique de la source optique, et la sensibilité/réactivité de la Photodiode.

Avec :

η : efficacité quantique

e : la charge d'électron,

h : constante de Planck,

ν_c : la fréquence centrale.

La DSP d'une source optique au niveau du décodeur peut être écrite comme suit:

$$S(\nu) = \frac{P_{re}}{\Delta\nu} \sum_{p=1}^p d_p \sum_{n=1}^L C_i(n) rect(n) \quad (2.33)$$

Avec : $rect(n)$ est donné par :

$$rect(n) = U\left[\nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L}(-L + 2i - 2)\right] - U\left[\nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L}(-L + 2i)\right] \quad (2.33)$$

Où $U(\nu)$ est la fonction d'échelon unitaire.

P_{re} : la puissance reçue.

$\Delta\nu$: Bande passante de la source optique.

d_p : représente les données binaires envoyées par un abonné individuel pendant une période de bit unique.

$C_i(n)$: représentent le $n^{ième}$ élément du code EMD du $i^{ième}$ utilisateur.

2.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de fonctionnement des systèmes de communication OCDMA à codage spectral d'amplitude. Nous avons détaillé l'opération d'encodage en émission et de décodage en réception. Nous avons présenté ensuite les méthodes de construction de quelques codes adaptés au système SAC-OCDMA en particulier le code EMD dont notre étude est basée. Nous avons présenté également les différents bruits qui existent dans les systèmes optiques et en particulier dans les systèmes SAC-OCDMA. A la fin du chapitre, nous avons donné la méthode de calcul du SNR et BER.

CHAPITRE 03

Résultats et simulations

3.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'évolution des performances du système SAC-OCDMA en utilisant le code (EMD) avec les trois techniques de détection présentés dans le chapitre 2. Nous prenons en considération trois critères pour juger et estimer les performances de ce système à savoir, le taux d'erreur binaire (BER), le rapport signal sur bruit (SNR) et le diagramme de l'œil du signal.

Ce travail, a été réalisé à l'aide de deux logiciels Matlab et Optisystem. Le premier utilisé pour tracer les courbes théoriques du BER en fonction de plusieurs paramètres (nombre d'utilisateurs, débit ...), et le deuxième pour simuler le fonctionnement de la chaîne complète du système. Nous présentons dans ce qui suit la méthode de calcul du BER et SNR pour les techniques SPD, CSD et SDD, respectivement.

3.2 CALCUL DU BER POUR LE CODE EMD

Utilisant les équations données à la fin du chapitre précédent pour une analyse du système SAC-OCDMA par approximation gaussienne, et en considérant l'utilisation du code EMD il est supposé que:

- Le code EMD n'est pas circulaire, c'est-à-dire que le premier et le dernier code n'ont pas $\lambda_c=1$
- Les sources large bande sont idéalement non-polarisées avec un spectre lisse sur toute la bande passante.
- Largeur spectrale identique reçue par chaque photodiode de réception.
- P_{re} est identique pour chaque photodiode.

3.2.1 SNR pour la technique SPD

La figure suivante représente le fonctionnement de base du décodeur SPD, où le spectre prévu est récupéré à partir du signal reçu via une disposition spéciale de filtres.

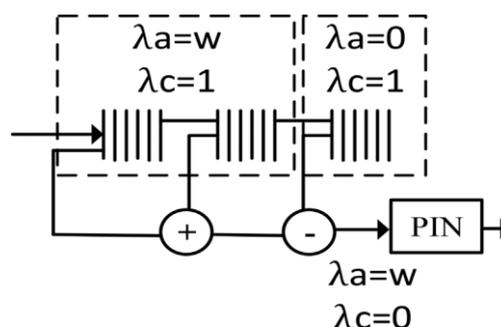


Figure 3.1 : Décodeur SPD avec filtres FBG.

Si $C_i(n)$, $C_j(n)$ et $C_k(n)$ représentent respectivement le $n^{\text{ième}}$ élément des codes EMD X , Y et Z , alors le fonctionnement de base du décodeur SPD peut être exprimé mathématiquement comme suit [31]:

$$\begin{aligned}\lambda_c(XY) &= \sum_{n=1}^L C_i(n) C_j(n) \\ \lambda_c \bar{X}(YZ) &= \sum_{n=1}^L \overline{C_i(n)} [C_j(n) \cdot C_k(n)] \\ \lambda_c(XY) - \lambda_c \bar{X}(YZ) &= \sum_{n=1}^L C_i(n) C_j(n) - \sum_{n=1}^L \overline{C_i(n)} [C_j(n) \cdot C_k(n)]\end{aligned}$$

Maintenant, les propriétés de corrélation à l'extrémité du décodeur et du décodeur S avec un signal codé EMD peuvent être écrites comme suit :

$$\sum_{n=1}^L C_i(n) C_j(n) = \begin{cases} w, & \text{pour } i = j \\ 1, & \text{pour } i \neq j \text{ codes adjacents} \\ 0, & \text{pour } i \neq j \text{ Autrement} \end{cases} \quad (3.1)$$

Et

$$\sum_{n=1}^L \overline{C_i(n)} [C_j(n) \cdot C_k(n)] = \begin{cases} 0, & \text{pour } i = j \\ 1, & \text{pour } i \neq j \text{ codes adjacents} \\ 0, & \text{pour } i \neq j \text{ Autrement} \end{cases} \quad (3.2)$$

L'équation (3.1) représente les puissances à l'extrémité du décodeur avec la même réponse spectrale que celle du codeur. Et l'équation (3.2) montre les puissances pour le spectre de sortie au niveau du décodeur S qui est utilisé pour annuler les signaux dont les signatures ne correspondent pas. Par conséquent, le spectre résultant de la soustraction entre le décodeur et le décodeur S peut être donné comme suit :

$$\{\sum_{n=1}^L C_i(n) C_j(n) - \sum_{n=1}^L \overline{C_i(n)} [C_j(n) \cdot C_k(n)]\} = \begin{cases} w, & \text{pour } i = j \\ 0, & \text{pour } i \neq j \end{cases} \quad (3.3)$$

Afin de trouver le SNR requis, il est souhaitable de déterminer le courant total I incident sur la photodiode PD pendant une période de bit. Cela peut être obtenu en utilisant les équations (2.33) et (2.31) du chapitre précédent, ce qui conduit à :

$$\int_0^\infty S(v) dv = \int_0^\infty \frac{P_{re}}{\Delta v} \sum_{i=1}^N d_i \{\sum_{n=1}^L C_i(n) C_j(n) - \sum_{n=1}^L \overline{C_i(n)} [C_j(n) \cdot C_k(n)]\} \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} dv \quad (3.4)$$

Si $\sum_{i=1}^N d_i$ représente les données binaires envoyées par un utilisateur individuel pendant une période de bit. Et si tous les bits sont à 1, alors l'équation (3.4) peut être simplifiée en utilisant les propriétés de corrélation des équations (3.1) et (3.2) et prendre la forme suivante :

$$\int_0^\infty S(v) dv = \frac{P_{re}}{L} (w + N_b - 1) - \frac{P_{re}}{L} (N_b - 1) = \frac{P_{re}}{L} w \quad (3.5)$$

N_b représente le nombre de base des utilisateurs du code.

Maintenant, lorsque la technique SPD est utilisée pour récupérer le spectre codé EMD via l'équation (2.31), le courant total incident I sur la photodiode PIN pour un seul utilisateur, devient

$$I = R \frac{P_{re}}{L} w \quad (3.6)$$

Par conséquent, la puissance totale du bruit de grenaille, après la conversion optique-électrique requise, peut être donnée comme suit:

$$\langle i_{shot}^2 \rangle = 2eBR \frac{P_{re}}{L} w \quad (3.7)$$

La puissance totale du bruit PIIN peut être déterminée en utilisant les équations (2.31) et (2.32).

$$\langle i_{PIIN}^2 \rangle = R^2 B \left[\int_0^\infty S(v) dv \right]^2 \frac{\int_0^\infty S(v)^2 dv}{\left[\int_0^\infty S(v) dv \right]^2} \quad (3.8)$$

$$\langle i_{PIIN}^2 \rangle = R^2 B \int_0^\infty S(v)^2 dv \quad (3.9)$$

$\int_0^\infty S(v)^2 dv = \int_0^\infty S_d(v)^2 dv - \int_0^\infty S_{sd}(v)^2 dv$ où $S_d(v)^2 dv$ représente la sortie du décodeur et $S_{sd}(v)^2 dv$ est la sortie du décodeur S . Pour raison de simplicité, les intégrales de $S_d(v)^2 dv$ et $S_{sd}(v)^2 dv$ sont calculées séparément

$$\int_0^\infty S_d(v)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \sum_{n=1}^L \{C_j(n) [\sum_{k=1}^N d_k C_k(n)] [\sum_{m=1}^N d_m C_m(n)]\} \quad (3.10)$$

Et

$$\int_0^\infty S_{sd}(v)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \sum_{n=1}^L \{C_j(n) [\sum_{k=1}^N d_k [C_j(n) C_k(n)]] [\sum_{m=1}^N d_m C_m(n)]\} \quad (3.11)$$

Grâce aux propriétés λ_a et λ_c du code EMD, et tenant compte que $\sum_{k=1}^N C_k(n) = \frac{Nw}{L}$, les équations (3.10) et (3.11) peuvent être simplifiés et prennent les formes suivantes :

$$\int_0^\infty S_d(v)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{N\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) (w + N_b - 1) \quad (3.12)$$

Et

$$\int_0^\infty S_{sd}(v)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) (N_b - 1) \quad (3.13)$$

Maintenant, la valeur totale de l'intégrale de $S(v)^2 dv$ devient :

$$\int_0^\infty S(v)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) (w) \quad (3.14)$$

Par conséquent, la puissance totale du bruit PIIN peut s'écrire comme suit :

$$\langle i_{PIIN}^2 \rangle = R^2 B \frac{P_{re}^2 w}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) \quad (3.15)$$

Enfin, sachant que la probabilité d'envoyer un bit «1» à tout instant par chaque utilisateur est $1/2$, le SNR total généré à la photodiode PIN dans le décodeur SPD, peut être écrit comme suit :

$$SNR_{SPD} = \frac{[RP_{re}w/L]^2}{eBR \frac{P_{re}w}{L} + \frac{BR^2 P_{re}^2 Nw^2}{2L^2 \Delta v} + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (3.16)$$

3.2.2 SNR pour la technique CSD

Les propriétés d'auto-corrélation et d'inter-corrélation de la technique CSD peuvent être données comme suit :

$$\sum_{n=1}^L C_i(n)C_j(n) = \begin{cases} w, & \text{pour } i = j \\ 1, & \text{pour } i \neq j \quad j = \begin{cases} i + 1 & \text{Si } i < j \\ i - 1 & \text{Si } i > j \end{cases} \\ 0, & \text{pour } i \neq j \quad \text{autrement} \end{cases} \quad (3.17)$$

Et

$$\sum_{n=1}^L C_i(n)[\bar{C}_i(n).C_j(n)] = \begin{cases} 0, & \text{pour } i = j \\ w - 1, & \text{pour } i \neq j \quad j = \begin{cases} N + 1 & \text{Si } N < l \\ N - 1 & \text{Si } N > l \end{cases} \\ 0, & \text{pour } i \neq j \quad \text{autrem ent} \end{cases} \quad (3.18)$$

Les IAM peuvent être supprimé en multipliant l'équation (3.18) avec un coefficient C de sorte que l'inter-corrélation totale à la sortie du détecteur CSD à $i \neq j$ donne un zéro.

La valeur du coefficient C est égale à:

$$C = \frac{1}{w-1} \quad (3.19)$$

Par conséquent, la sortie du détecteur CSD devienne:

$$\sum_{n=1}^L C_i(n)C_j(n) - C \sum_{n=1}^L C_i(n)[\bar{C}_i(n).C_j(n)] = \begin{cases} w, & \forall i = j \\ 0, & \forall i \neq j \end{cases} \quad (3.20)$$

Au cours d'une période de bit, la puissance totale du courant incident aux photodiodes PIN1 et PIN2 est donnée par l'équation suivante:

$$\int_0^\infty G_1(v)dv = \int_0^\infty \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{i=1}^N d_i \sum_{n=1}^L C_i(n)C_j(n) \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} dv \quad (3.21)$$

De même $\int_0^\infty G_2(v)dv$ peut être écrite comme suit :

$$\int_0^\infty G_2(v)dv = \int_0^\infty C \frac{P_{re}}{\Delta v} \sum_{i=1}^N d_i \sum_{n=1}^L C_i(n)[\bar{C}_j(n).C_k(n)] \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} dv \quad (3.22)$$

Si, N_b représente le nombre de base des utilisateurs, alors les équations (3.21) et (3.22) peuvent être simplifiés en utilisant les équations (3.17) et (3.18) et prendre les formes suivantes :

$$\int_0^{\infty} G_1(v) dv = \frac{P_{re}}{L} (w + N_b - 1) \quad (3.23)$$

Et

$$\int_0^{\infty} G_2(v) dv = \frac{P_{re}}{L} (N_b - 1) \quad (3.24)$$

Étant donné que la différence de courant I des photodiodes PIN1 et PIN2 à la réception donne le signal désiré, alors, le courant total peut être écrit comme suit.

$$I = R \left[\int_0^{\infty} G_1(V) - \int_0^{\infty} G_2(V) \right] = R \frac{P_{re}}{L} w \quad (3.25)$$

La puissance du bruit de grenaille est donnée par :

$$\langle i_{shot}^2 \rangle = 2eBR \left[\int_0^{\infty} G_1(V) dv + \int_0^{\infty} G_2(V) dv \right] = 2eBR \frac{P_{re}}{N} [w + 2(N_b - 1)] \quad (3.26)$$

La puissance du bruit PIIIN est donnée par :

$$\langle i_{PIIN}^2 \rangle = R^2 B \left[\int_0^{\infty} G_1(V)^2 dv + \int_0^{\infty} G_2(V)^2 dv \right] \quad (3.27)$$

Où

$$\int_0^{\infty} G_1(V)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \sum_{n=1}^L [C_l(n) \sum_{K=1}^N d_K C_K(n) \sum_{m=1}^K d_m C_m(n)] \quad (3.28)$$

Et

$$\int_0^{\infty} G_2(V)^2 dv = C^2 \frac{P_{re}^2}{N\Delta v} \sum_{n=1}^L \left\{ \left[\overline{C_K(n) C_l(n)} \right] \left[\sum_{K=1}^L d_K C_K(n) \right] \left[\sum_{m=1}^L d_m C_m(n) \right] \right\} \quad (3.29)$$

En utilisant les équations (3.27), (3.28), (3.29), (3.17) et (3.18), les équations ci-dessus peuvent être simplifiées et prendre les formes suivantes :

$$\int_0^{\infty} G_1(V)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) [w + (N_b - 1)] \quad (3.30)$$

Et

$$\int_0^{\infty} G_2(V)^2 dv = \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) \left(\frac{N_b - 1}{w - 1} \right) \quad (3.31)$$

Par conséquent, la puissance du bruit PIIN est donné par :

$$\langle i_{PIIN}^2 \rangle = R^2 B \frac{P_{re}^2}{L\Delta v} \left(\frac{Nw}{L} \right) \left[(w + N_b - 1) + \left(\frac{L_b}{w-1} \right) \right] \quad (3.32)$$

Maintenant, sachant que la probabilité d'envoyer un bit «1» à tout instant par chaque utilisateur est 1/2, le SNR total pour la technique CSD, peut être écrit comme suit :

$$SNR_{CSD} = \frac{[RP_{re}w/L]^2}{eBR \frac{P_{re}[w+2(N_b-1)]}{L} + \frac{BR^2 P_{re}^2 Nw[(w+N_b-1)+(\frac{N_b}{w-1})]}{2L^2 \Delta v} + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (3.33)$$

3.2.3 SNR pour la technique SDD

L'analyse conventionnelle de la technique SDD utilise l'hypothèse que les informations entières peuvent être récupérées à partir d'un seul chip sans chevauchement. Cependant, cela nécessite que la valeur du seuil soit très faible, ce qui entraîne des erreurs dans les systèmes à haute capacité. Par conséquent, cette analyse repose sur le fait que SDD, comme le montre le décodeur de la figure 3.2, récupère le chip D_n non chevauchant du code EMD avec $\lambda_c = 0$ qui donne une unité de puissance totale de $w = 1$ dans le spectre reçu.

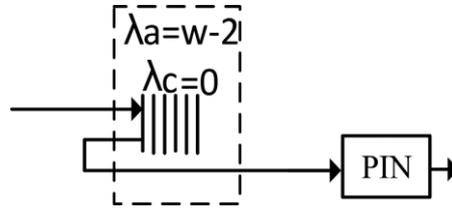


Figure 3.2 : Détecteur SDD avec filtres FBG.

Maintenant, la PSD totale peut être déterminée comme suit :

$$\int_0^\infty S(v)dv = \int_0^\infty \frac{P_{re}}{\Delta v} \sum_{i=1}^N d_i \sum_{n=1}^L C_i(n)C_j(n) \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} dv \quad (3.34)$$

Après simplification nous trouvons les formes suivantes :

$$\int_0^\infty S(v)dv = \frac{P_{re}}{\Delta v} \sum_{i=1}^N d_i \sum_{n=1}^L C_i(n)C_j(n) \frac{\Delta v}{L} \quad (3.35)$$

Et

$$\int_0^\infty S(v)dv = \frac{P_{re}w}{L} + \frac{P_{re}}{L} \sum_{i=1, i \neq j}^N d_i \quad (3.36)$$

Comme la technique SDD ne récupère que le chip D_n non chevauché, par conséquent, $\lambda_c = 0$ au niveau du récepteur, donc l'équation (3.36) devient

$$\int_0^\infty S(v)dv = \frac{P_{re}w}{L} \quad (3.37)$$

Où $w = 1$ dans l'équation (3.37) en raison de la récupération du chip non superposée uniquement. Ainsi, la valeur du courant I pour un seul utilisateur pendant un intervalle d'un seul bit devient

$$I = R \frac{P_{re}}{L} \quad (3.38)$$

Par conséquent, la puissance totale du bruit de grenaille, $2eBI$, devient

$$\langle i_{shot}^2 \rangle = 2eBR \frac{P_{re}}{L} \quad (3.39)$$

Étant donné que les chips avec $\lambda_c = 0$ sont reçues au niveau du décodeur, la valeur de $\langle i_{PIIN}^2 \rangle$ est fixé à zéro. Il est évident du fait qu'aucun chevauchement n'est présent entre les chips D_n du code EMD, et donc pas d'IAM; par conséquent, aucun PIIN n'est généré à l'extrémité de réception. De plus, puisque seul le chip D_n non chevauchant est reçue, la valeur de w est fixée à 1.

Enfin, sachant que la probabilité que chaque utilisateur envoie le bit «1» à tout instant est 1/2, le SNR total résultant du processus de conversion, à la sortie de la photodiode du décodeur SDD, peut être écrit comme suit :

$$SNR_{SDD} = \frac{[RP_{re}/L]^2}{eBRP_{re}/L + 4K_bT_nB/R_L} \quad (3.40)$$

3.3 RESULTATS ET DISCUSSION

Cette section analyse les performances des trois schémas de détection (SPD, CSD et SDD) pour la suppression de bruits dans le système SAC-OCDMA basé sur le code EMD. Les formalismes mathématiques donnés dans la section précédente sont maintenant appliqués à savoir les équations du SNR (3.16), (3.33) et (3.40), tout en utilisant les paramètres du système donnés par le tableau suivant :

Paramètres	Description	Valeurs
e	Charge électrique	1.602×10^{-19}
K_B	Constante de Boltzmann	1.38×10^{-23}
T_n	Température absolue	300K
R_L	Résistance à la charge du récepteur	1030 Ω
η	Efficacité quantique	0,6
H	Constante de Plank	6.6260×10^{-34}
$\Delta\nu$	Bande passante de la source optique	3.75×10^{12}
λ	Longueur d'onde optique	1550 nm
P_{re}	Puissance reçue	-10dBm

Tableau 3.1: Paramètres utilisés avec description et spécifications.

La figure 3.3 représente les performances du système en termes de SNR et BER pour différent nombres d'utilisateurs communicants à un débit de 1 Gbps et avec une puissance $P_{re} = -10$ dBm. Nous pouvons observer que le BER et le SNR sont liés l'un à l'autre, et le BER augmente pour les trois techniques SPD, CSD et SDD à mesure que davantage d'utilisateurs accèdent au système simultanément. Ce comportement est dû à l'augmentation des interférences d'accès multiple (IAM), qui s'accroît avec l'augmentation des interférences entre les utilisateurs adjacents.

La figure 3.3 montre également que le décodeur SPD basé sur le code EMD produit une meilleure qualité du signal en termes de BER et SNR par rapport aux autres techniques (CSD et SDD). Cela peut être expliqué par le fait que la technique SPD récupère tout le spectre codé avec w unités de puissance.

De plus, la structure efficace à deux matrices du code EMD réduit considérablement les interférences entre utilisateurs adjacents. Donc, le système SAC-OCDMA basé sur le détecteur SPD et utilisant le code EMD est capable d'annuler la contribution des IAM et de prendre en charge plus d'utilisateurs à 1 Gbps de données par rapport à la détection CSD et SDD.

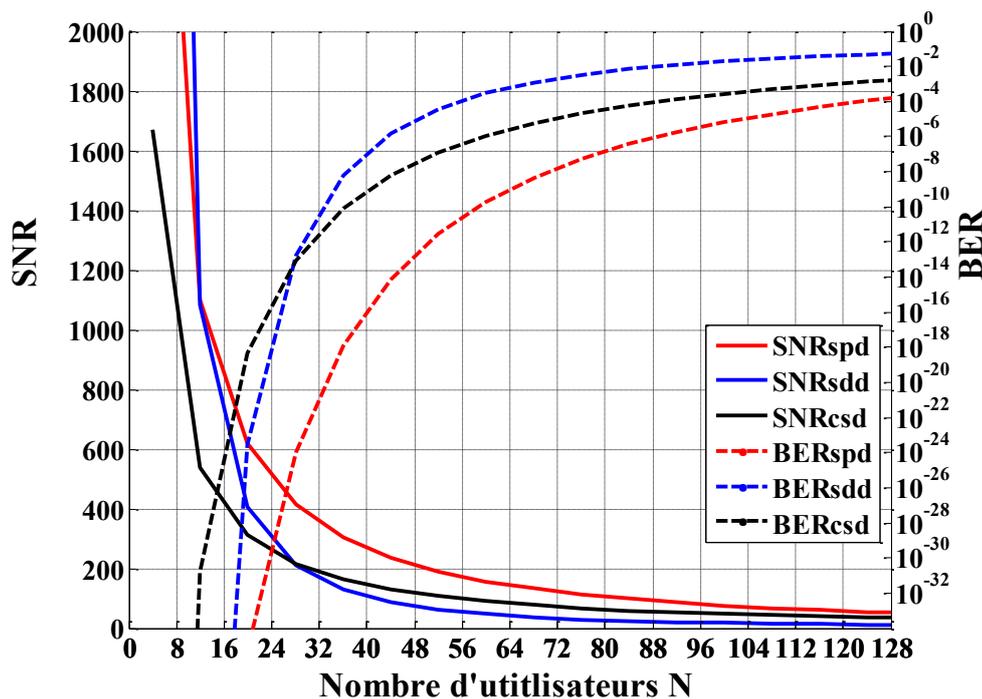


Figure 3.3 : SNR et BER des trois détecteurs en fonction du nombre d'utilisateurs.

La figure 3.4 montre le comportement des décodeurs (SDD, CSD et SPD) en fonction du débit de transmission de données et cela dans la présence de 64 puis 128 utilisateurs. Les graphes présentent une augmentation du BER à mesure que davantage de données sont reçues par la photodiode. Cela peut être expliqué au fait que l'augmentation du débit de données diminue la largeur d'impulsion, ce qui rend le système plus vulnérable à la distorsion. La figure 3.4, illustre également que le décodeur SPD surpasse les deux autres systèmes (SDD et CSD) pour un BER acceptable de 10^{-9} . Puisque, le schéma SPD récupère tout le spectre avec un maximum λ_a et un minimum λ_c , il est donc capable de faire face à la diminution de la largeur d'impulsion et aux sources de bruit associées plus efficacement par rapport aux deux autres techniques de détection. De plus, il est observé que le système SPD basé sur le code EMD est capable de prendre en charge par exemple 64 utilisateurs communiquant simultanément à 1 Gbps de données et une

puissance $P_{re} = -10\text{dBm}$ avec un BER de $6,69745 \times 10^{-10}$, qui est relativement mieux en comparaison avec les deux autres systèmes.

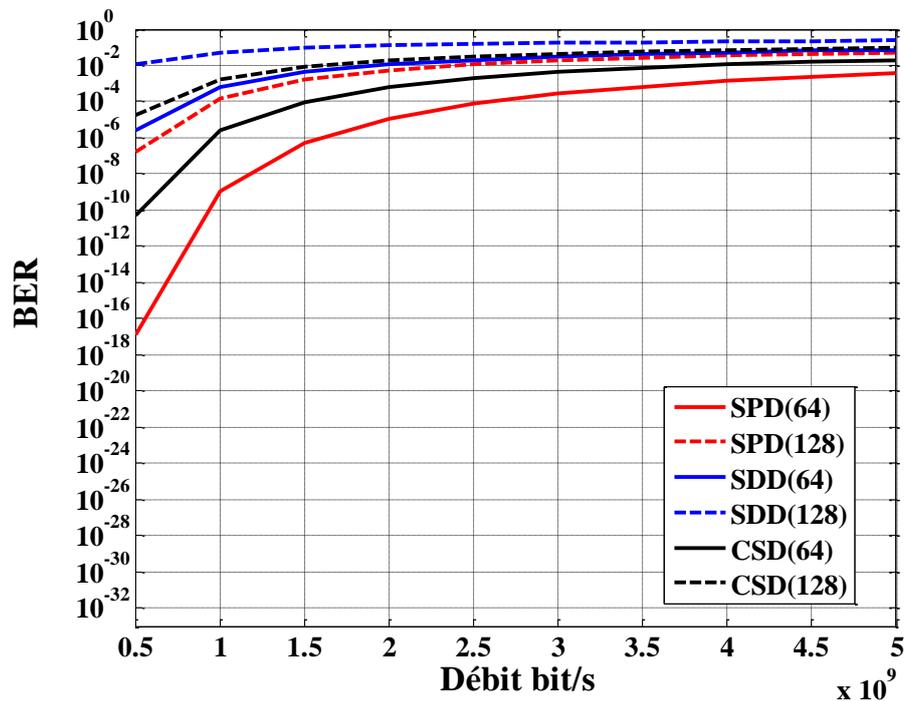


Figure 3.4 : BER en fonction du débit pour différents nombres d'utilisateurs à $P_{re} = -10\text{ dBm}$.

Pour une étude approfondie de la suppression du bruit dans les trois détecteurs, une analyse est effectuée à différentes valeurs de puissances reçues dans la présence de 64 et 128 utilisateurs communicants à 1 Gbps de données. La figure 3.5 montre une diminution du BER avec l'augmentation des valeurs de P_{re} et vice versa. Il est observé que le détecteur SPD offre de meilleures performances en termes de BER par rapport aux autres détecteurs (SDD et CSD). En plus, la technique SDD démontre une diminution plus brusque du BER avec l'augmentation des puissances P_{re} . Cela est évident du fait que la technique SDD récupère le chip spectral avec $w-2$ unités de puissance, ce qui est relativement faible par rapport au détecteur SPD avec w unités de puissance. Par conséquent, la contribution des bruits dans le signal reçu augmente considérablement par rapport à I^2 , ce qui fait augmenter considérablement le BER à de faibles valeurs de P_{re} pour le détecteur SDD.

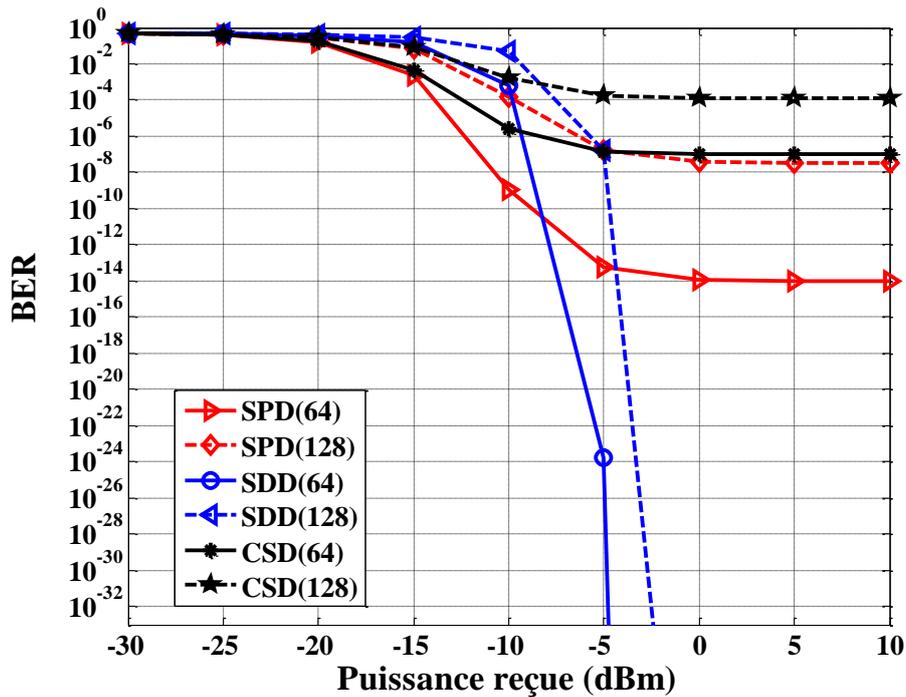
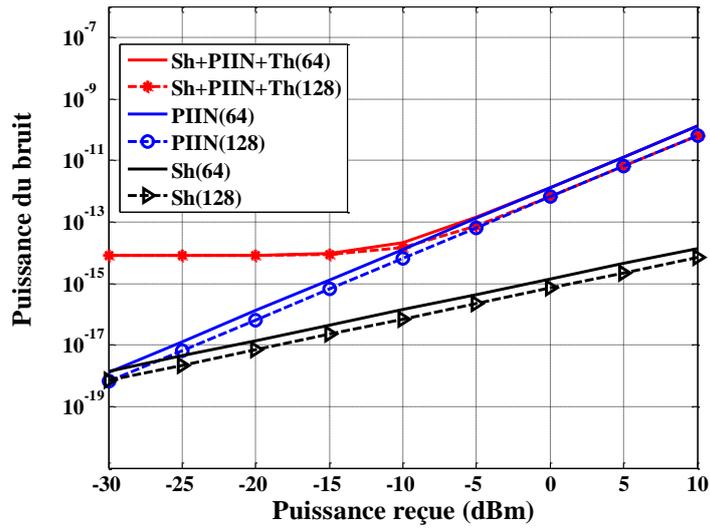


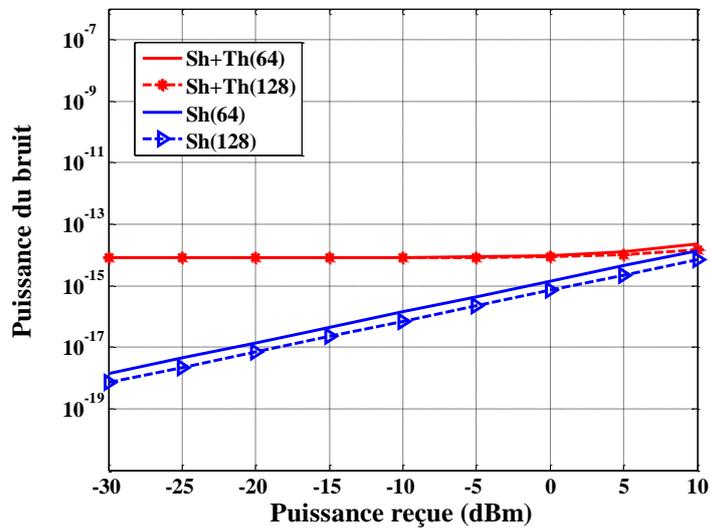
Figure 3.5 : BER en fonction de P_{re} à un nombre différent d'utilisateurs.

Les figures 3.6 et 3.7 expliquent davantage l'importance de P_{re} sur la suppression des bruits (PIIN, grenaille et thermique).

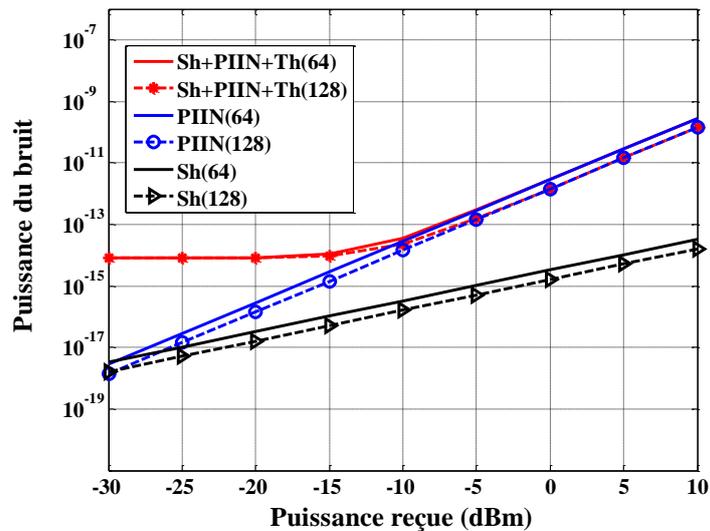
Les figures 3.6 (a) et (b) montrent que le bruit PIIN augmente proportionnellement dans un système SAC-OCDMA basé sur le détecteur SPD et CSD avec l'augmentation de la valeur de P_{re} . Le bruit thermique ($4K_B T_n B / R_L$) est indépendant du P_{re} et reste constant tout au long de l'analyse, les figures 3.6 (a) (b) et (c) montrent que le bruit thermique avec la valeur de $7,57282 \times 10^{-15}$ devient la source importante du bruit pour des puissances effectives reçues ($P_{re} \leq -10\text{dBm}$) pour SPD, ($P_{re} \leq 5\text{dBm}$) pour SDD et ($P_{re} \leq -10\text{dBm}$) pour CSD. Donc, le bruit thermique domine le bruit de grenaille et le bruit PIIN à de faibles valeurs de puissance reçue.



(a)



(b)



(c)

Figure 3.6 : puissances des sources de bruit dans les systèmes (a)SPD et (b)SDD (c) CSD à 1 Gbit/s de données.

La figure 3.7 représente le courant reçu par la photodiode du récepteur en fonction de la puissance P_{re} . On peut observer que les détecteurs SPD et CSD surpassent le détecteur SDD. Cela peut être attribué au fait que ces détecteurs récupèrent tout le spectre codé avec $w=3$, ce qui donne un courant plus élevé que celui de la technique SDD. Par conséquent, le SNR pour Les détecteur SPD et CSD est relativement plus élevé malgré la contribution de toutes les sources de bruit par rapport aux détecteurs SDD.

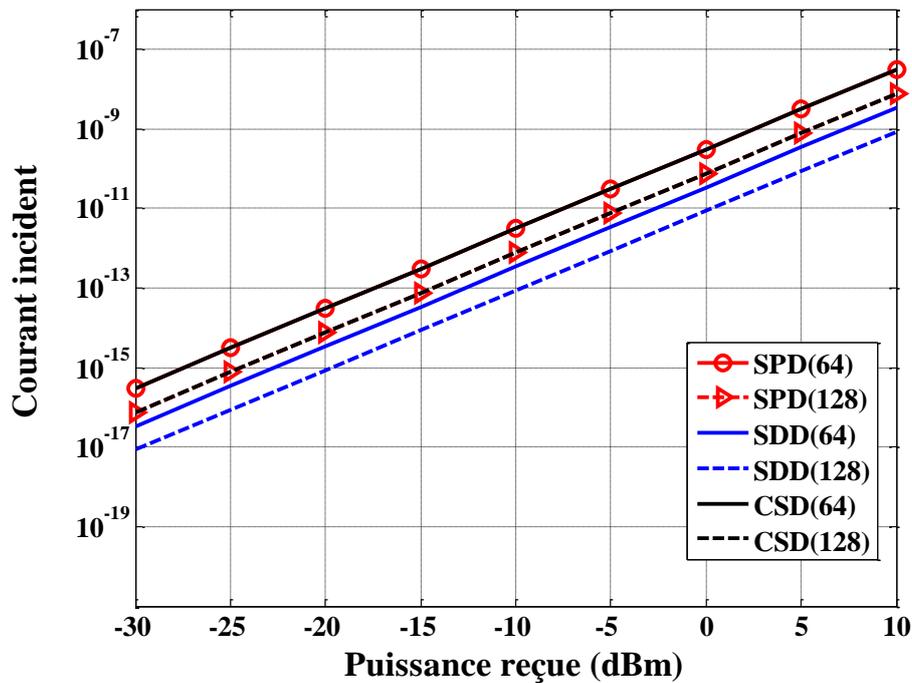


Figure 3.7 : puissance de courant incident pour les trois détecteurs.

La figure 3.8 montre l'effet de la réactivité R sur le BER. L'analyse est effectuée en variant R en prenant différentes valeurs de η dans les trois équations de SNR (3.16), (3.33) et (3.40). Le BER est observé pour différents nombre d'utilisateurs communiquant à 1 Gbit/s de données avec une puissance $P_{re}=-10$ dBm. Les courbes de la figure 3.8 montrent que les performances des trois détecteurs, pour un BER acceptable de 10^{-9} , augmentent avec la réactivité de la photodiode réceptrice. Cela peut être attribué au fait que l'augmentation de R réduit le seuil d'énergie minimale nécessaire à une communication efficace, ce qui conduit à de faibles valeurs de BER [31]. On peut observer également, que les trois systèmes sont en mesure d'offrir des performances efficaces à des valeurs supérieures de R . Cependant, le système SAC-OCDMA basé sur SPD offre de meilleures performances par rapport aux deux autres.

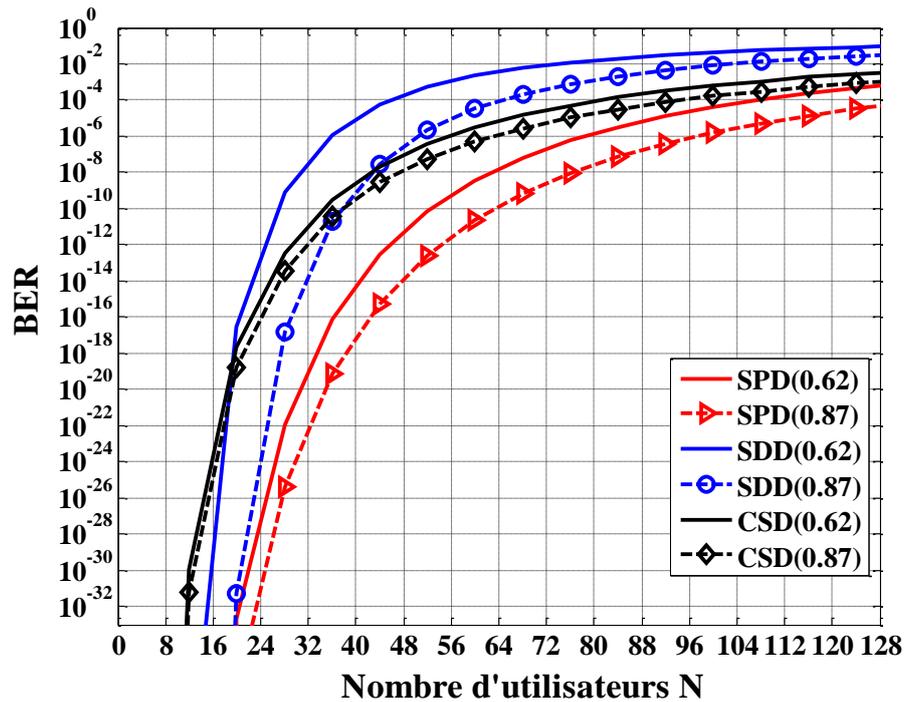


Figure 3.8 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs à différentes valeurs de R .

3.4. SIMULATION

Selon les résultats obtenus, le détecteur SPD donne de meilleures performances, donc, la partie simulation sera basé surtout sur ce détecteur.

3.4.1 Présentation du logiciel de simulation utilisé

OptiSystem est un logiciel de simulation de système de communication optique pour la conception, le test et l'optimisation de n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un large éventail de réseaux optiques. Un simulateur de système basé sur la modélisation réaliste de systèmes de communication à fibre optique, Optisystem possède un puissant environnement de simulation et une définition véritablement hiérarchique des composants et des systèmes [9]. Optiystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale.

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- ✓ Construire le schéma bloc.
- ✓ Analyser le schéma.

3.4.1.1 Le schéma bloc de simulation du système SAC-OCDMA

La figure suivante représente le schéma de simulation d'un système SAC-OCDMA à trois utilisateurs que nous avons utilisé.

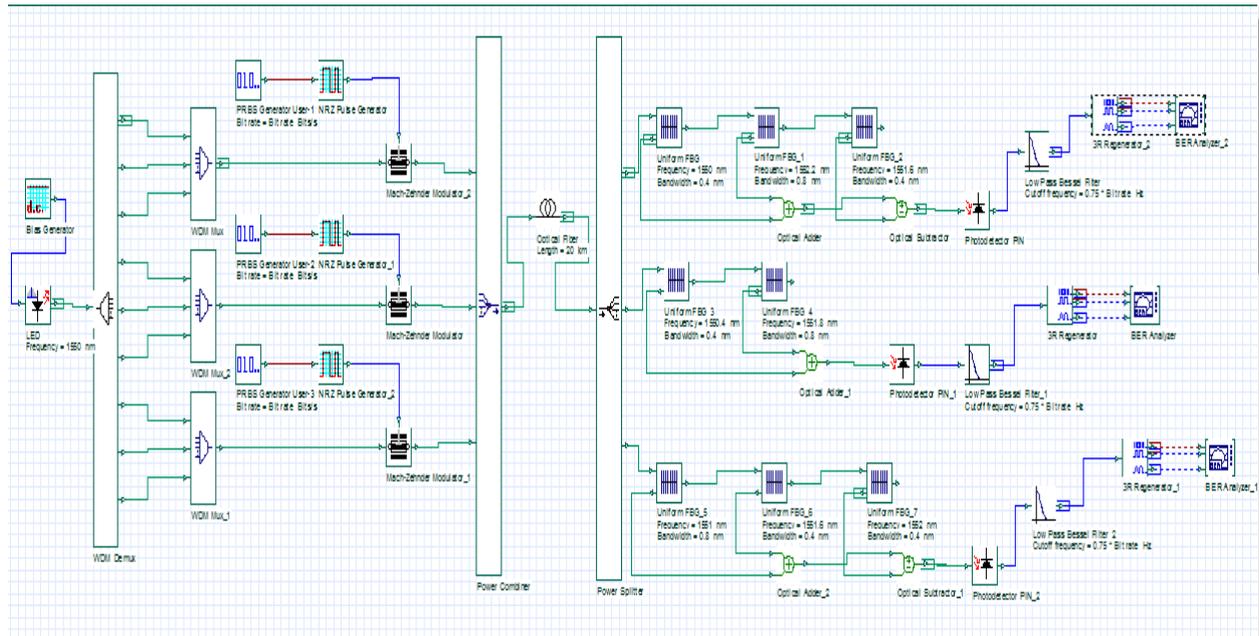


Figure 3.9 : Schéma de simulation d'un système SAC-OCDMA.

- **Paramètres utilisés**

Pour la simulation nous avons utilisé les paramètres et les valeurs de composants suivants :

- Région d'exploitation de la longueur d'onde : [1548 nm – 1552]
- Longueur d'onde centrale de la diode laser : 1550 nm.
- Débit binaire du signal : 1 Gbits/s.
- Format du signal : Non-retour à zéro (NRZ).
- Taux d'extinction du modulateur optique : 30 dB.
- Fibre optique : (longueur d'onde de référence 1550 nm et dispersion 16.75ps/nm/Km, atténuation 0.25 dB/Km).
- Fréquence de coupure du filtre : $0.75 \times \text{débit binaire}$.

- **Description du schéma**

On utilise une source lumineuse blanche (light-emitting diode) dont on fixe sa longueur d'onde moyenne à 1550 nm dans le menu principale du composant.

Le schéma de la figure 3.10 représente la partie émission pour un seul utilisateur. Cette partie a pour objectif d'inscrire l'information électrique sur un signal lumineux.

Le signal généré par un générateur de séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) est codé par un code non-retour à zéro (NRZ). Par la suite, cette séquence de l'utilisateur est modulé optiquement par un signal optique à l'aide d'un modulateur de type Mach-Zehnder.

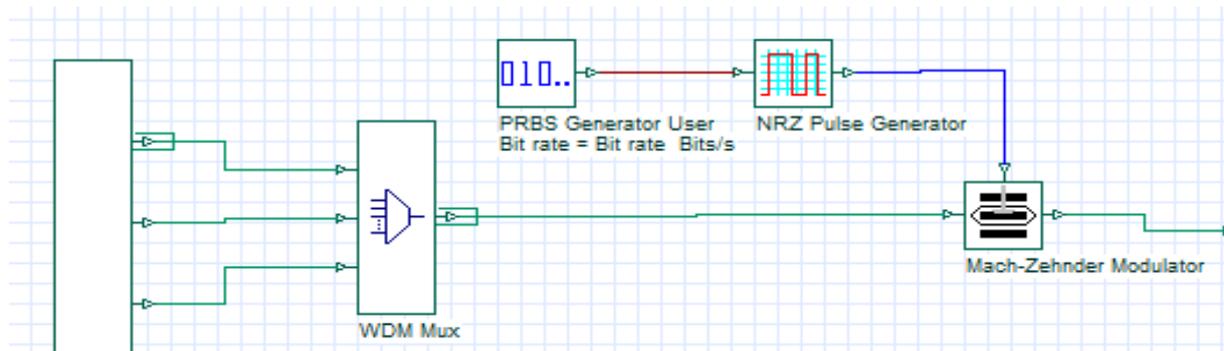


Figure 3.10: Partie émission d'un utilisateur dans le système SAC-OCDMA.

Dans un système SAC-OCDMA, le spectre optique est partagé pour affecter un code différent à chaque utilisateur. La source incohérente apparaît comme un bon candidat puisqu'elle est intrinsèquement large bande, c'est une caractéristique nécessaire pour le SAC-OCDMA. Un démultiplexeur est utilisé pour partager le signal optique en plusieurs longueurs d'onde, le nombre des longueurs d'onde égal à la longueur du code utilisé. Dans le menu WDM Demux on a inséré le nombre de longueur d'onde ainsi que toutes les longueurs d'ondes utilisées.

Pour le codage SAC-OCDMA, on a utilisé un multiplieur. Dans le menu WDM Mux on a inséré le nombre de longueur d'onde voulu (il est égale à $w = 3$), et la largeur de bande moyenne ($\text{Bandwith} = \Delta\nu = 0,4 \text{ nm}$). Le menu WDM Mux est présenté dans la figure 3.11, où les longueurs d'ondes du code sont introduites.

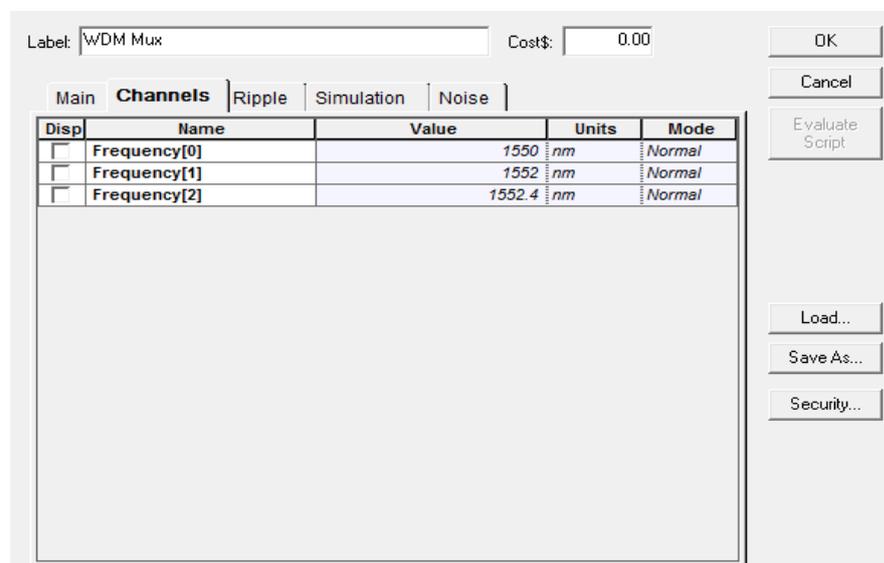


Figure 3.11: Insertion des longueurs d'onde dans le WDM Mux.

Tous les signaux des différents utilisateurs sont générés de la même méthode. Ensuite le *POWER COMBINER* combine les trois signaux optiques des trois utilisateurs et est envois dans la fibre optique.

A la réception on trouve un module qui a pour objectif de convertir l'information portée par la modulation du signal lumineux en impulsion électriques, et de détecter le signal désiré du signal total reçu.

La figure suivante représente le module de réception du système simulé pour un seul utilisateur en utilisant un détecteur SPD.

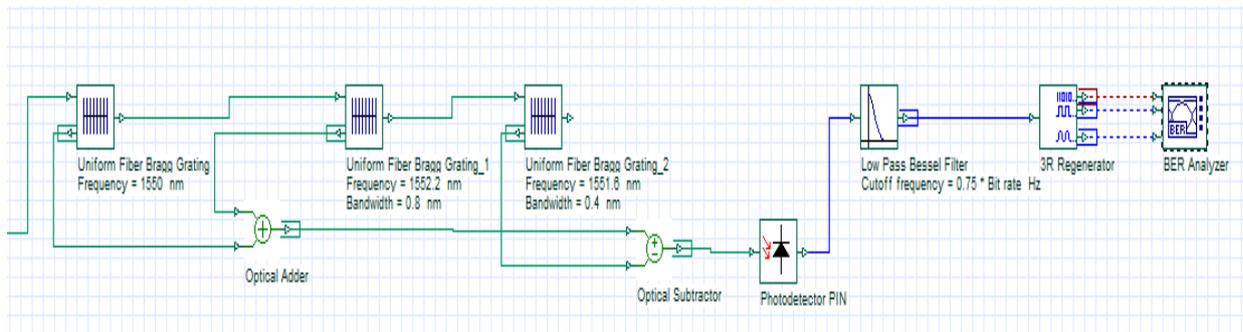


Figure 3.12: Le module de détection pour un seul utilisateur.

Le signal reçu est envoyé à un diviseur de puissance. Ensuite, pour chaque utilisateur on utilise trois fibre de bragg uniforme (FBG : Fiber Bragg Grating) montés selon la technique SPD, comme le montre la figure 3.12. La première correspond à la première longueur d'onde et le deuxième correspond à la deuxième et la troisième longueur d'onde adjacente, et la dernière est utilisée pour éliminer la longueur d'onde interférente entre les deux autres utilisateurs, par un soustracteur. Le signal ainsi produit pour chaque utilisateur est envoyé à un détecteurs optique PIN pour détecter et convertir le signal optique en signal électrique. Le détecteur crée à la sortie un courant d'intensité proportionnelle à la densité du signal optique reçu.

Enfin, pour supprimer le bruit sur le signal détecté, le signal est envoyé à un filtre passe-bas. Le signal passe finalement par l'analyseur de diagramme de l'œil pour prendre le diagramme de l'œil à l'extrémité du récepteur et donner également la valeur minimale du BER. Il est à noter que la valeur 10^{-9} du BER est une exigence fondamentale pour la plus part des systèmes de communication.

3.4.1.2 Génération du code EMD

Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre précédent, il existe plusieurs codes qui se différencient par la méthode de génération et surtout par leurs propriétés de corrélation croisée. Dans notre travail nous avons considéré trois utilisateurs utilisant le code EMD de poids $w=3$ dont la matrice de code est donnée par :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Les longueurs d’ondes correspondantes utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
Longueur d’onde (nm)	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6	1552	1552.4
Utilisateur1	1	0	0	0	0	1	1
Utilisateur2	0	1	0	0	1	1	0
Utilisateur3	0	0	1	1	1	0	0

Tableau 3.2 : Longueurs d’ondes utilisées pour le code EMD.

3.4.2. Résultats de simulation

La figure suivant représente le diagramme de l’œil de l’utilisateur 1 pour le code EMD pris pour une fibre monomode de longueur 20 Km et 50 Km à un débit binaire de 1 Gbit.

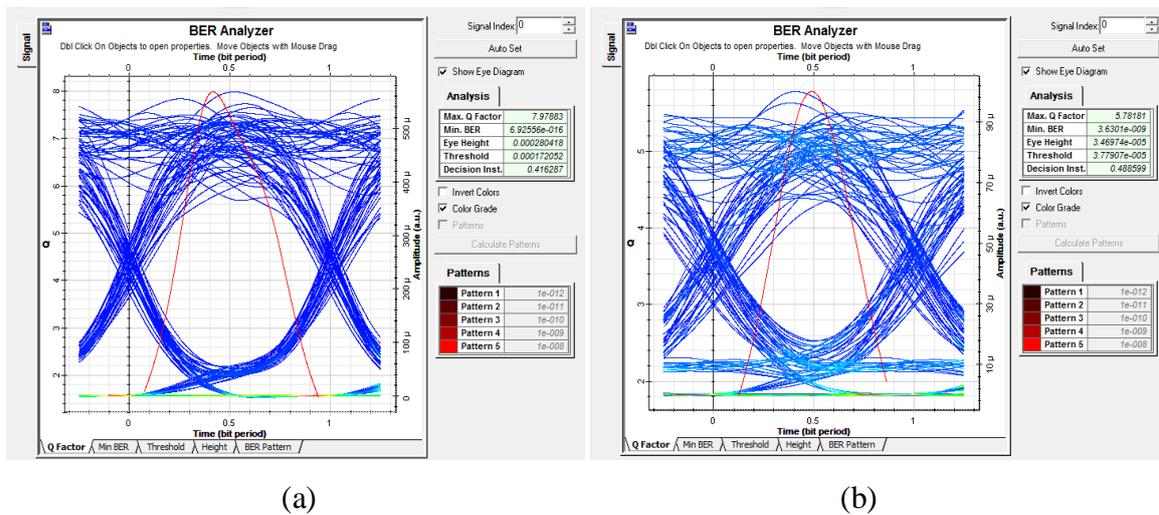


Figure 3.13: Diagrammes de l’œil et le BER à 1 Gbits pour différent longueur de la fibre.

(a) 20Km, (b) 50Km.

La figure suivant représente le diagramme de l’œil de l’utilisateur 1 pour le code EMD pris pour une fibre monomode de longueur 20 Km et 50 Km à un débit binaire de 622 Mbit.

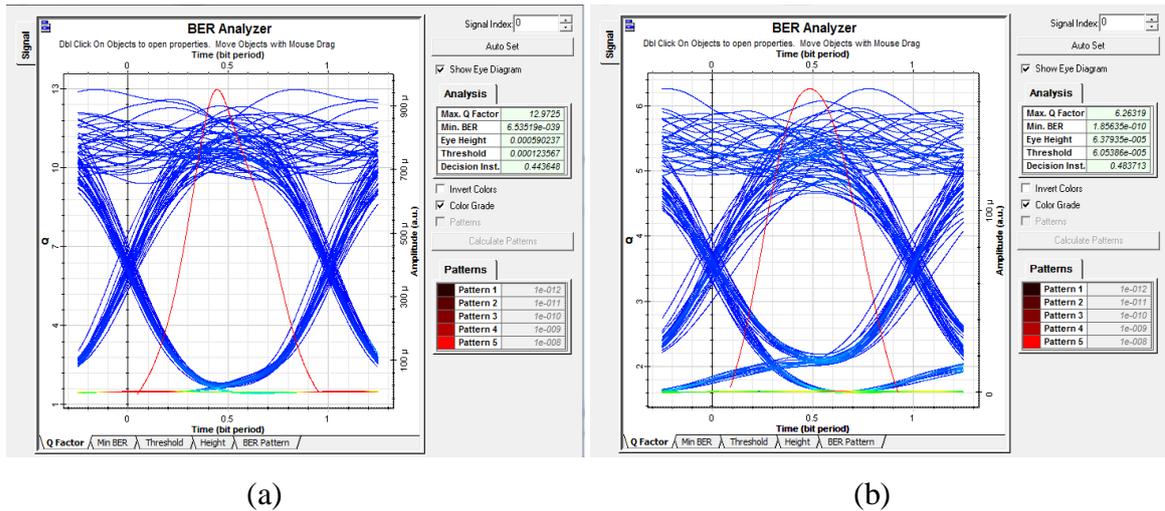


Figure 3.14: Diagrammes de l'œil et le BER à 622 Mbits pour différent longueur de la fibre.
(a) 20Km, (b) 50Km.

Nous avons fait une comparaison entre les deux techniques de détection SPD et SDD en traçant le BER à un débit de 622 Mbits/s pour différentes longueurs de fibre.

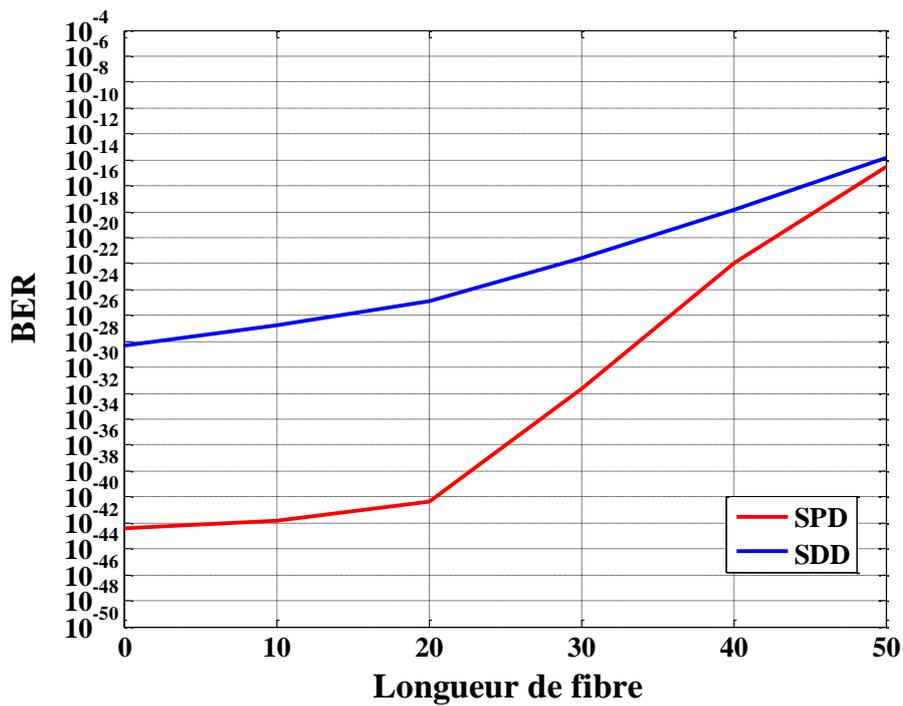


Figure 3.15 : BER en fonction des longueurs de la fibre à 622Mbit pour les deux détecteur SPD et SDD

La figure suivante représente le BER du système SAC-OCDMA utilisant la technique de détection SPD à un débit de 622 Mbits/s et 1Gbits/s pour différentes longueurs de la fibre optique.

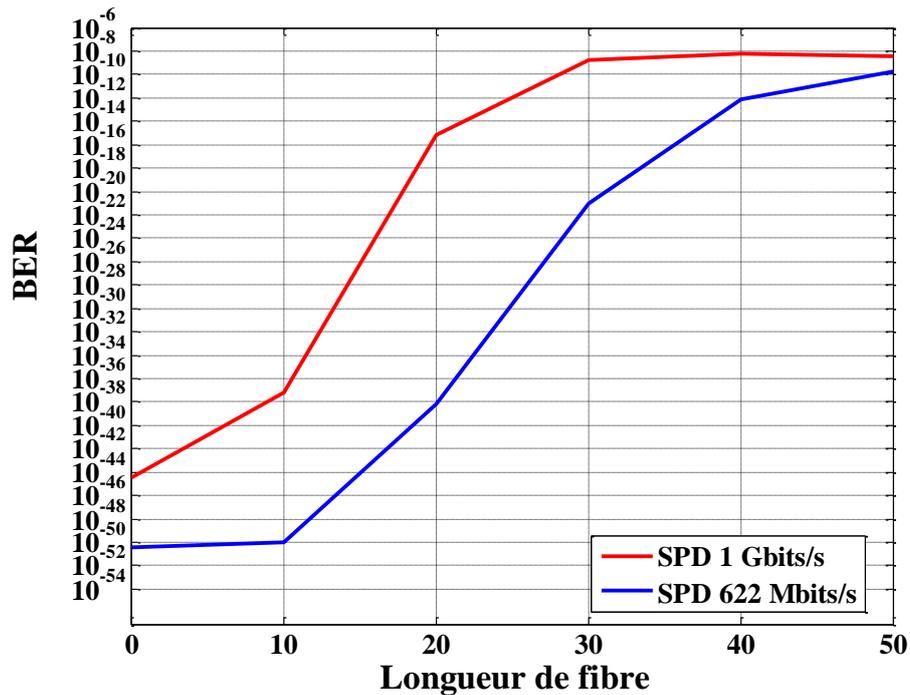


Figure 3.16 : BER du détecteur SPD en fonction des longueurs de la fibre pour 622Mbits/s et 1Gbits/s

3.4.3 Interprétation des résultats

D'après les diagrammes de l'œil présentés pour les différentes distances (figures 3.13 et 3.14). On peut observer que le système SAC-OCDMA utilisant le code EMD présente des diagrammes à grande ouverture de l'œil (plus l'œil est ouvert, plus il est facile de différencier entre les 1 et les 0 dans le signal). Cette ouverture montre que le système présente une bonne immunité au bruit et donc une meilleure qualité du signal reçu. On remarque également que l'augmentation de la longueur de la fibre optique (distance entre émetteur et récepteur) et l'augmentation de débit, influe sur la qualité de transmission, cela est observé par une diminution de l'ouverture de l'œil du diagramme avec une augmentation du BER.

Les figures 3.15 et 3.16 montrent une tendance à la hausse du BER avec l'augmentation de la longueur de la fibre optique. Cela peut être attribué à l'atténuation et à la dispersion à travers la fibre optique qui augmente avec l'augmentation de la longueur de la fibre.

De la figure 3.15, nous observons une grande différence dans les performances entre la technique SPD et SDD, la technique SPD donne une bonne qualité du signal reçu. Cependant, à un débit de 1 Gbits/s et pour des longueurs allant jusqu'à 50 km, le système SAC-OCDMA basé sur le code EMD et la technique SPD est capable de fournir des performances nominales avec un BER acceptable de 10^{-9} .

En plus, d'après la figure 3.16 nous remarquons qu'il existe une relation directe entre le débit et le BER, de sorte que plus le débit est grand, plus la valeur de BER est élevé.

3.5. CONCLUSION

Dans le but de minimiser l'effet des différents types de bruit, nous avons évalué dans ce chapitre, les performances de trois différentes techniques de détection à savoir SPD, CSD et SDD utilisés généralement dans les systèmes SAC-OCDMA.

Il ressort de l'analyse d'approximation gaussienne que la technique SPD récupère l'ensemble du spectre codé. Donc, augmente la valeur du courant incident et dégrade l'effet des sources de bruit. En plus, les résultats obtenus montrent que l'analyse des trois systèmes SAC-OCDMA basés sur le code EMD avec les décodeurs SPD, CSD et SDD montre que la technique SPD est capable de fournir de meilleures performances en termes de BER et SNR pour différents paramètres utilisés.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Notre étude s'est apportée sur la technique de multiplexage OCDMA plus exactement pour son encodage SAC-OCDMA en raison de sa capacité à résister aux interférences d'accès multiples grâce à la propriété de ses codes et ses techniques de détection. Puisque le bruit est l'obstacle le plus important affectant les performances du système de transmission optique, ce mémoire avait comme objectif d'étudier la capacité de suppression de bruits des différents détecteurs (SPD, SDD et CSD) utilisés par un système SAC-OCDMA basé sur le code EMD.

Dans ce contexte, nous avons comparé le taux d'erreur binaire (BER) et les puissances des différents bruits produits par chaque détecteur. En utilisant le logiciel Matlab, plusieurs courbes ont été tracées en fonction des équations de chaque méthode de détection et pour différents paramètres de performance. L'un des résultats le plus important que nous ayons atteint est que la technique SPD offre un rendement efficace en atténuant la contribution des sources de bruit par rapport aux autres techniques (SDD et CSD).

A la suite de cette étude, et pour étudier l'effet de la longueur de la fibre sur la qualité de transmission, une évaluation des performances du système SAC-OCDMA basé sur le code EMD et le détecteur SPD a été réalisée à l'aide du logiciel Optisystem version 7.0. Cette simulation a montré que l'augmentation de la longueur de la fibre optique et le débit influe sur la qualité de transmission.

Enfin, ce travail nous a permis de vérifier les connaissances acquises au cours de notre formation, et grâce à un travail continu nous avons pu atteindre notre objectif et répondre au cahier des charges. Nous espérons que notre travail soit la base de toute une série d'améliorations que nous n'avons pas la possibilité de faire en raison de contraintes de temps. Nous proposons, par exemple, d'étendre notre étude pour les codes à deux et trois dimensions.

Bibliographies

- [1] Graini.L, « Applications des similaritons dans les systèmes de télécommunications par fibre optique à très haut débit », Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba 2017.
- [2] <https://www.cite-telecoms.com/blog/histoire/200-ans-de-telecoms/le-re-des-convergences/fibres-optiques-haut-debit/>
- [3] Victor Girondin, « Étude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe », Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2016.
- [4] Nassima Boudrioua « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine – Metz 2007.
- [5] Deradera.A, Ouhab.K , «Etude d'un système de transmission basé sur la technique SAC-OCDMA », Mémoire de Master en Réseaux et Télécommunications, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2019.
- [6] Verneuil.J, «Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s», Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2003.
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Modulation-externe-Comparaison-entre-les-deux-modulations-La-modulation-directe_fig8_305181019
- [8] Badaoui.H, «Analyse numérique de l'implémentation des formats de modulation en phase dans les futurs systèmes de transmission sur fibre optique», Thèse de Magister en Systèmes et Réseaux de Télécommunication, Université Abou Bakr Belkaid,Tlemcen, 2008.
- [9] Bouarfa. A, «Formats de modulation et codes adaptés aux communications numériques optiques à très haut débit», Thèse de Doctorat en Signaux et Systèmes de Communications, Université Djilali Liabès, Sidi bel-abbés, 2018.
- [10] M.Kaddeche. «*Cours communication optique*», Université Djillali Bounaama Khemis Miliana, 2015.
- [11] Anne Boucon. «Instabilité modulationnelle et génération de super continuum en régime d'Excitation quasi-continue dans les fibres optiques hautement non linéaires et microstructurées», thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 2008.
- [12] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/types.html

- [13] Mathieu Lefrançois, « étude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 gbit/s », thèse de Doctorat, Université Paris Sud, Paris XI, 2007.
- [14] DRIZ. S, « Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », thèse de doctorat, Université Djilali Liabès de Sidi- Bel-Abbes, 2018.
- [15] Wei Huang, Mohamed H. M. Nizam, Ivan Andonovic, and Moshe Tur, « Coherent Optical CDMA (OCDMA) Systems Used for High-Capacity Optical Fiber Networks-System Description, OTDMA Comparison, and OCDMA/WDMA Networking», OSA. journal of lightwive technology, vol. 18, no. 6, june 2000.
- [16] Ch. Kandouci, « Contribution à l'étude des codes optiques 2D : Application au CDMA optique», Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi- Bel-Abbes, 2017.
- [17] Benzerdjeb.C, Selka.S. «Encodage de l'amplitude spectral pour OCDMA». Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [18] Chirifi. A « Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi Porteuses Dans La Transmission D'information », Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis, Moustaghanem, 2017.
- [19] Mikaël Morelle, « Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA (OCDMA)-Application aux transmissions multimédia », Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2008.
- [20] Djellab Hanane, «Evaluation des performances de la technique CDMA dans la transmission optique», Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2018.
- [21] Naufal.S, «Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique », Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2005.
- [22] S. Ayotte, « Systèmes optiques à accès multiple par répartition de codes : étude des performances et de l'impact du bruit d'intensité », Thèse de doctorat, Université Laval QUÉBEC, 2007.
- [23] Penon. J, « Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de Bragg », Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, 2009.
- [24] Garadi.A, « Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : Application au système SAC-OCDMA», Thèse de Doctorat, Université Djilali Liabès de Sidi-Bel-Abbès, 2015.
- [25] M.R.Salehi, E.Abiri, M.Dezfouli, K. Kazemi , «Performance of different code families in SAC-OCDMA systems impaired by GVD», IEEE Conference and Exhibition (GCC), 2011, Dubai, United Arab Emirates.

- [26] S.Kumawat, M. Ravi Kumar, «A new code construction algorithm based on Double Weight Codes for SAC-OCDMA systems», 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix) Manipal University Jaipur, Malaviya National Institute of Technology Jaipur & IRISWORLD, 2017.
- [27] Kumari.M, Himali. S, «Performance analysis of zero cross-correlation code in spectral amplitude coding-OCDMA». International Conference en communication, Computing & Systems (ICCCS-2014).
- [28] Mostafa, S., Abd El-Naser A. M., Fathi E. Abd El-Samie, & Ahmed, N. Z. Rashed. «Eradication of Multiple Access Interference Using a Modified Multi-service Code for SAC–OCDMA». *Wireless Pers Commun*, Vol. 83, pp.855-872, 2015.
- [29] Ihssan Sh. H, Feras N. Hasoon, Sahbudin Shaari, «Optical CDMA system parameters limitations for AND subtraction detection scheme under enhanced double weight (EDW) code based on simulation experiment». *Optica Applicata*, vol. 40, No.3, pp.669-676, 2010.
- [30] Waqas, A. Imtiaz , Ilyas, M., & Khan, H, «Performance optimization of spectral amplitude coding OCDMA system using new enhanced multi diagonal code». *Infrared Physics & Technology*, Vol. 79, pp.36-44, 2016.
- [31] Waqas A. I., Ahmed, H. Y., Zeghid, M., & Sharief, Y, «Analysis of noise suppression for OCDMA systems with fixed inphase cross-correlation codes and single O/E converter». *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, Vol.183, pp.677-690, 2019.

Résumé

Les performances des systèmes SAC-OCDMA sont principalement dégradées par la présence des bruits générés. Ce travail consiste à une étude comparative de trois techniques de détection (SPD, CSD et SDD) en fonction de la capacité de suppression de bruits durant le décodage du code EMD. Les résultats obtenus montrent que la technique SPD donne de meilleurs performance pour un BER acceptable de 10^{-9} en comparaison avec les techniques CSD et SDD.

Mots clés : SAC-OCDMA, BER, SNR, EMD.

Abstract

The performance of SAC-OCDMA systems is mainly degraded by the presence of generated noise. This work consists of a comparative study of three detection techniques (SPD, CSD and SDD) based on noise suppression capability during the decoding of EMD code. The results show that the SPD technique provides better performance for an acceptable BER of 10^{-9} compared to CSD and SDD.

Key words: SAC-OCDMA, BER, SNR, EMD.

ملخص

يتدهور أداء أنظمة SAC-OCDMA بشكل أساسي بسبب وجود ضوضاء متولدة. يتكون هذا العمل من دراسة مقارنة لثلاث تقنيات كشف (SPD ، CSD و SDD) كدالة لقدرة إزالة الضوضاء أثناء فك شفرة EMD. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تقنية SPD تعطي أداء أفضل لمعدل BER مقبول من 10^{-9} مقارنة بتقنيات CSD و SDD.

الكلمات المفتاحية : EMD, SNR, BER, SAC-OCDMA.