

الجامعة المغربية الديمقراطية الشعوبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الدكتور الطاهر مولاي سعيدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Projet de Fin de Cycle présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER

En : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Par : - BAHLOULI Cheimaa  
- MAMOUNE Hafidha

Sujet

### Etude des effets des composants optoélectroniques dans un système à accès multiple

Soutenue publiquement en ...., devant le jury composé de :

Mr. IDRISSE khodja fatima zohra

Univ. Saida

Président

Mr. SEDDOUKI Mohamed

Univ. Saida

Examinateur

Mr. CHERIFI Abdelhamid

Univ. Saida

Rapporteur

Mr. RAHMANI Mohamed

Univ. Saida

Co-Rapporteur

## **Remerciement**

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donnée la santé et la volonté d'entamer ce mémoire*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr CHERIFI Abdelhamid, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent à Mr RAHMANI Mohamed pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

## Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour tous les efforts et ressources qu'ils ont déployées pour me voir réussir mes études.*

*A toute ma famille*

*Et A nos sœurs et nos frères*

*Et A toutes mes amies*

*A tous les gens qui me connaissent*

*Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent*

*Pas devant les obstacles de la vie.*



## Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents (Basadat et Aisha) qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études, notamment mon père et à mes sœurs (Hafssa, Souad, Afaf, Ahlam Hayat) et en guise de remerciement, voici l'expression de ma profonde gratitude pour tous les efforts et moyens qu'ils ont mis en œuvre pour m'aider à réussir mes études. À toute ma famille et à tous mes amis. A tous ceux qui me connaissent et je le connais, et à tous ceux qui aiment les bonnes actions et n'ont pas honte des obstacles de la vie.*



## Tables Des Matières

|  |           |
|--|-----------|
| Remerciement.....  | II        |
| Dédicaces .....  | III       |
| Tables Des Matières .....  | V         |
| Liste Des Tableaux.....  | IX        |
| Liste Des Figures.....   | X         |
| Liste Des Abréviations .....                                       | XIII      |
| Abstract .....   | XV        |
| Résumé .....   | XVI       |
| الملخص .....   | XVII      |
| Introduction Générale.....   | 18        |
| <b>CHAPITRE I: Technique D'accès Multiple OCDMA.....</b>           | <b>21</b> |
| 1. Introduction .....  | 21        |
| 2. Communication optiques.....                                     | 22        |
| 2.1. Communication par la fibre optique .....                      | 22        |
| 2.2. Communication optique en espace libre.....                    | 23        |
| 3. Communication à accès multiple .....                            | 23        |
| 3.1 Accès multiple par répartition en longueur d'onde (AMRLO)..... | 24        |
| 3.2. Accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) .....     | 25        |
| 3.3. Accès multiple par répartition en fréquence (AMRF).....       | 26        |
| 3.4. Accès multiple par répartition en code (CDMA) .....           | 26        |
| 4. Accès multiple par répartition de code optique (OCDMA) .....    | 27        |
| 4.1 Principe du système OCDMA .....                                | 27        |
| 4.2. Avantages des systèmes OCDMA.....                             | 28        |
| 4.3. Inconvénients des systèmes OCDMA .....                        | 29        |
| 5. Catégories de systèmes OCDMA.....                               | 29        |
| 5.1. OCDMA cohérent.....   | 29        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.2. OCDMA incohérent .....  | 30        |
| 6. Approches cohérentes de codage des systèmes OCDMA.....          | 31        |
| 6.1. Codage de phase spectrale (SPC-OCDMA).....                    | 31        |
| 6.2. Codage de phase temporelle (TPC-OCDMA).....                   | 31        |
| 7. Approches incohérentes de codage des systèmes OCDMA.....        | 32        |
| 7.1. Étalement temporel.....                                       | 32        |
| 7.2. Encodage d'amplitude spectrale.....                           | 33        |
| 8. Procédures de codage dans le codage d'amplitude spectrale.....  | 34        |
| 8.1. Réseaux de guides d'ondes en réseau (AWGs).....               | 34        |
| 8.2. Masque d'amplitude spectrale .....                            | 35        |
| 8.3. Codage à l'aide d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur..... | 36        |
| 8.4. Encodage spectral à l'aide de réseaux de Bragg (FBGs) .....   | 37        |
| 9. Technique de détection spectrale directe.....                   | 38        |
| 10. Mode de transmission dans OCDMA .....                          | 39        |
| 10.1. Système OCDMA synchrone .....                                | 39        |
| 10.2. Système OCDMA asynchrone.....                                | 40        |
| 11. Bruits dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents .....           | 40        |
| 11.1. Bruit thermique.....   | 41        |
| 11.2. Bruit de grenade .....                                       | 42        |
| 11.3. Bruit d'intensité induit par la phase .....                  | 42        |
| 11.4. L'interférence d'accès multiple .....                        | 42        |
| 12. Modulation optique .....                                       | 43        |
| 12.1. Modulation directe.....                                      | 43        |
| 12.2. Modulation externe.....                                      | 43        |
| 13. Conclusion.....  | 44        |
| <b>CHAPITRE II: Les Composants Optoélectroniques .....</b>         | <b>45</b> |
| 1. Introduction .....  | 45        |

|   |    |
|---|----|
| 2. Les semi-conducteurs .....                     | 45 |
| 2.1. Différents types de semi-conducteurs.....    | 46 |
| 2.1.1. Semi-conducteur intrinsèque .....          | 46 |
| 2.1.2. Semi-conducteurs extrinsèque .....         | 46 |
| 3. Gap direct et indirect .....                   | 46 |
| 3.1. Gap direct .....                             | 46 |
| 3.2. Gap indirect .....                           | 46 |
| 4. Jonction PN .....                              | 47 |
| 4.1. Formation de la jonction PN.....             | 47 |
| 4.2. Polarisation de la jonction en direct .....  | 48 |
| 4.3. Polarisation de la jonction en inverse ..... | 48 |
| 5. Absorption et émission d'un photon .....       | 49 |
| 5.1. Absorption .....                             | 49 |
| 5.2. Emission spontanée .....                     | 49 |
| 5.3. Emission stimulée.....                       | 49 |
| 6. Les composants d'émission des photons.....     | 50 |
| 6.1. Diode électroluminescente – LED.....         | 50 |
| 6.1.1. Définition .....                           | 50 |
| 6.1.2. Principe de fonctionnement .....           | 51 |
| 6.1.3. Utilisation des LEDs .....                 | 52 |
| 6.2. Diode LASER.....                             | 53 |
| 6.2.1. Définition .....                           | 53 |
| 6.2.2. Principe de fonctionnement .....           | 54 |
| 6.2.3. Caractéristique de la lumière LASER .....  | 54 |
| 6.2.4. Les applications de LASER .....            | 55 |
| 7. Composants de détection de photons .....       | 55 |
| 8. Photo détecteur.....                           | 55 |

|  |           |
|--|-----------|
| 8.1. La photodiode PIN.....  | 56        |
| 8.1.1. Avantages de la photodiode PIN.....   | 56        |
| 8.2. La photodiode APD .....   | 56        |
| 9. Comparaison entre les photodiodes PIN et APD .....                                    | 57        |
| 10. Conclusion.....  | 58        |
| <b>CHAPITRE III: L'effet Des Composants PIN et APD sur Le Système Proposé .....</b>      | <b>59</b> |
| 1. Introduction .....  | 59        |
| 2. Code D'inter Corrélation Nulle À Poids Variable (VWZCC) .....                         | 61        |
| 2.1. Construction du code 1D-VWZCC .....   | 61        |
| 2.2. Propriété du code .....   | 63        |
| 3. L'architecture du système SAC-OCDMA-VWZCC .....                                       | 64        |
| 4. Présentation Mathématique .....   | 65        |
| 4.1. Calcul du SNR .....   | 66        |
| 4.2. Calcul du BER .....   | 67        |
| 4.3. Calcul du facteur de qualité (Q) .....  | 68        |
| 4.4. Calcul SNR pour le photo-détecteur APD.....   | 68        |
| 4.5. Calcul BER pour le photo-détecteur APD.....   | 68        |
| 5. Résultats de simulation à l'aide du logiciel MATLAB .....                             | 69        |
| 5.1. L'effet du photo-détecteur PIN sur les performances du système 1D-VWZCC/OCDMA ..... | 69        |
| 5.2. L'effet du photo-détecteur APD sur les performances du système 1D-VWZCC/OCDMA.....  | 74        |
| 5.3. Simulation du réseau 1D-VWZCC-OCDMA.....  | 78        |
| 6. Conclusion.....   | 84        |
| Conclusion Générale .....  | 85        |
| Références .....   | 87        |

## Liste Des Tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau I.1</b> Exemple de détection spectrale directe.....                          | 39 |
| <b>Tableau II.1</b> Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et APD .....   | 57 |
| <b>Tableau III.1</b> Code 1D-VWZCC lorsque K=5 et W=2 .....                             | 63 |
| <b>Tableau III.2</b> Les valeurs des paramètres utilisés dans le calcul numérique ..... | 69 |
| <b>Tableau III.3</b> Paramètres du réseau OCDMA-VWZCC et leurs valeurs .....            | 79 |
| <b>Tableau III.4</b> Configuration des <i>FGBs</i> .....                                | 79 |

## Liste Des Figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I.1</b> Système de communication par fibre optique .....                                 | 22 |
| <b>Figure I.2</b> Système de communication optique en espace libre .....                           | 23 |
| <b>Figure I.3</b> Techniques d'accès multiples .....   | 24 |
| <b>Figure I.4</b> Réseau d'accès WDMA .....  | 25 |
| <b>Figure I.5</b> T Réseau d'accès TDMA .....  | 25 |
| <b>Figure I.6</b> Technique d'accès FDMA .....   | 26 |
| <b>Figure I.7</b> Technique d'accès OCDMA .....  | 27 |
| <b>Figure I.8</b> Architecture OCDMA .....   | 28 |
| <b>Figure I.9</b> Processus de codage bipolaire .....  | 29 |
| <b>Figure I.10</b> Processus de codage unipolaire .....  | 30 |
| <b>Figure I.11</b> Diagramme de codage de phase spectrale pour les systèmes OCDMA cohérents .....  | 31 |
| <b>Figure I.12</b> Diagramme de codage de phase temporelle pour les systèmes OCDMA cohérents ..... | 32 |
| <b>Figure I.13</b> Principe de codage incohérent par étalement temporel .....                      | 33 |
| <b>Figure I.14</b> Concept de codage d'amplitude spectrale .....                                   | 33 |
| <b>Figure I.15</b> Principe de fonctionnement d'AWG .....  | 34 |
| <b>Figure I.16</b> Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur AWGs .....                                 | 35 |
| <b>Figure I.17</b> Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur de masque d'amplitude spectrale.....       | 36 |
| <b>Figure I.18</b> Encodage SAC-OCDMA à l'aide du multiplexeur et du démultiplexeur .....          | 36 |
| <b>Figure I.19</b> Schéma fonctionnel du codage/décodage à l'aide des réseaux de Bragg (FBGs) ..   | 37 |
| <b>Figure I.20</b> Principe de base de la détection spectrale directe .....                        | 38 |
| <b>Figure I.21</b> Schéma typique d'un système OCDMA synchrone .....                               | 39 |
| <b>Figure I.22</b> Architecture de système OCDMA asynchrone typique .....                          | 40 |
| <b>Figure I.23</b> Bruits affectant le système OCDMA.....  | 41 |
| <b>Figure I.24</b> Modulation directe .....  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I.25</b> Modulation externe.....   | 43 |
| <b>Figure II.1</b> Structure de bande des trois catégories de matériaux .....  | 45 |
| <b>Figure II.2</b> (a) semi-conducteur à gap direct, (b) semi-conducteur à gap indirect.....   | 47 |
| <b>Figure II.3</b> Principe de la création d'une jonction PN .....   | 47 |
| <b>Figure II.4</b> Jonction PN polarisée en direct .....   | 48 |
| <b>Figure II.5</b> Jonction PN polarisée en inverse .....  | 49 |
| <b>Figure II.6</b> Interaction rayonnement - semi-conducteur .....   | 50 |
| <b>Figure II.7</b> Schéma simplifié d'une LED.....   | 51 |
| <b>Figure II.8</b> Structure d'une jonction LED .....  | 51 |
| <b>Figure II.9</b> Principe de fonctionnement d'une LED .....  | 52 |
| <b>Figure II.10</b> La diode LASER.....  | 53 |
| <b>Figure II.11</b> Schéma d'un système LASER .....  | 54 |
| <b>Figure II.12</b> Un récepteur optique (photo détecteur) .....   | 56 |
| <b>Figure II.13</b> Photo diode PIN .....  | 56 |
| <b>Figure III.1</b> L'architecture du système proposé .....  | 64 |
| <b>Figure III.2</b> Représentation de la bande passante optique $\Delta\nu$ .....  | 66 |
| <b>Figure III.3</b> BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs.....   | 70 |
| <b>Figure III.4</b> SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs.....   | 71 |
| <b>Figure III.5</b> Performances du BER par rapport au débit binaire.....  | 71 |
| <b>Figure III.6</b> Performances BER par rapport à la puissance effective de la source .....   | 72 |
| <b>Figure III.7</b> Bruit de photo-courant par rapport à la puissance reçue .....  | 73 |
| <b>Figure III.8</b> Bruit PIIN par rapport à la puissance reçue .....  | 74 |
| <b>Figure III.9</b> BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant des photo-détecteurs APD et PIN.....                        | 75 |
| <b>Figure III.10</b> SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant des photo-détecteurs APD et PIN.....                       | 76 |
| <b>Figure III.11</b> Performance du BER par rapport à la puissance effective pour le système 1D-VWZCC-OCDMA pour photo-détecteur PIN et APD avec variation de gain ..... | 77 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III.12</b> Performances du BER en fonction du débit de données pour le système 1D-VWZCC-OCDMA pour photo-détecteurs PIN et APD avec variation de gain..... | 78 |
| <b>Figure III.13</b> Réseau SAC-OCDMA –VWZCC pour 4 utilisateurs .....   | 80 |
| <b>Figure III.14</b> Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur PIN pour 4 utilisateurs.....                                    | 81 |
| <b>Figure III.15</b> Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur APD (G=5) pour 4 utilisateurs .....                             | 82 |
| <b>Figure III.16</b> Résultats du diagramme de l'œil du premier utilisateur utilisant le photo-détecteur PIN .....   | 83 |
| <b>Figure III.17</b> Résultats du diagramme oculaire du premier utilisateur utilisant le photo-détecteur APD avec G=5 .....  | 83 |

## Liste Des Abréviations

|                |   |
|----------------|---|
| <b>A-OCDMA</b> | Asynchronous-OCDMA                                      |
| <b>ASE</b>     | Amplified Spontaneous Emission                          |
| <b>AWG</b>     | Arrayed-Waveguide Grating                               |
| <b>BER</b>     | Bit Error Rate  |
| <b>DEU</b>     | Diagonal Eigenvalue Unity                               |
| <b>DSP</b>     | Power Spectral Density                                  |
| <b>FBG</b>     | Fiber Bragg Grating                                     |
| <b>FCC</b>     | Flexible Cross Correlation                              |
| <b>FDMA</b>    | Frequency Division Multiple Access                      |
| <b>FRS</b>     | Fixed Right Shifting                                    |
| <b>FSO</b>     | Free Space Optics                                       |
| <b>FTTH</b>    | Fiber To The Home                                       |
| <b>IP</b>      | Internet Protocol                                       |
| <b>IPTV</b>    | Internet Protocol Television                            |
| <b>LAN</b>     | Local Area Network                                      |
| <b>LASER</b>   | Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation |
| <b>LED</b>     | Light Emitting Diode                                    |
| <b>LOS</b>     | Line-Of-Sight   |
| <b>MAN</b>     | Metropolitan Area Network                               |
| <b>MAI</b>     | Multiple Access Interference                            |
| <b>MIMO</b>    | Multiple-Input, Multiple-Output                         |
| <b>MUI</b>     | Multi User Interference                                 |
| <b>MS</b>      | Multi-Service   |
| <b>MZM</b>     | Mach-Zehnder Modulator                                  |
| <b>N-ZCC</b>   | Non –Zero Cross Correlation                             |
| <b>OCDMA</b>   | Optical Code Division Multiple Access                   |
| <b>OOK</b>     | On Off Keying   |
| <b>PD</b>      | Photo-Detector  |
| <b>PN</b>      | Positive Negative                                       |

|                |  |
|----------------|--|
| <b>PIIN</b>    | Phase Induced Intensity Noise          |
| <b>PIN</b>     | Positive Intrinsic Negative            |
| <b>PON</b>     | Passive Optical Network                |
| <b>PRBS</b>    | Pseudo-Random Bit Sequence             |
| <b>Q</b>       | Quality Factor                         |
| <b>QoS</b>     | Quality of Service                     |
| <b>SAC</b>     | Spectral Amplitude Coding              |
| <b>SDD</b>     | Spectral Direct Detection              |
| <b>SNR</b>     | Signal-to-Noise Ratio                  |
| <b>S-OCDMA</b> | Synchronous-OCDMA                      |
| <b>SPC</b>     | Spectral Phase Coding                  |
| <b>SPD</b>     | Single Photodiode Detection            |
| <b>TDMA</b>    | Time Division Multiple Access          |
| <b>TPC</b>     | Temporal Phase Coding                  |
| <b>TSE</b>     | Temporal Spreading Encoding            |
| <b>VWZCC</b>   | Variable Weight Zero Cross Correlation |
| <b>WAN</b>     | Wide Area Network                      |
| <b>WDMA</b>    | Wavelength Division Multiple Access    |
| <b>WOC</b>     | Wireless Optical Communication         |
| <b>ZCC</b>     | Zero Cross Correlation                 |
| <b>1D</b>      | One Dimensional                        |
| <b>2D</b>      | Two-Dimensional                        |
| <b>3D</b>      | Three-Dimensional                      |
| <b>4D</b>      | Four Dimensions                        |

## Abstract

Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) systems suffer from some constraints, which in turn limit their performances such as phase-induced intensity noise (PIIN) that is increasingly proportional to bit error rate (BER). Spectral amplitude coding (SAC) OCDMA scheme can reduce multiple access interference (MAI) requiring a good choice of spectral signature and suitable detection technique. Based on this assumption, many 1D codes have been developed in different domains (wavelength, time, and space). The development of the proposed code is based on spectral spreading where the effect of MAI can be completely suppressed and the PIIN is ignored and offers a developed code a good cross-correlation property. In addition, the effect of the type of optoelectronic components such as photodetectors on the receiver was carried out by comparing the APD and PIN photodiodes with the use of these codes, where the performance of the APD photodiode was found to be better than that of the PIN photodiode.

The mathematical and simulation analysis have also been investigated. The mathematical analysis is presented in terms of SNR and BER by taking into consideration different noises at the receiver and using simulation software such as MATLAB for numerical calculation and Optisystem for validation. The theoretical findings show that our system 1D-VWZCC exhibits a better performance than the Diagonal Eigenvalue Unity (1D-DEU), Flexible Cross Correlation (1D-FCC), Multi-service (1D-MS), and Fixed Right Shift (1D-FRS), in terms of cardinality, bit rate, and consumed power. It was found that the new proposed 1D-VWZCC code achieves a high cardinality and scalability whereby it attains 220 users at the standard BER ( $10^{-9}$ ) when using an avalanche photodiode (APD) compared to a positive-intrinsic-negative (PIN) diode. In addition, the decoder of the 1D-VWZCC system is characterized by simplicity, due to the direct detection technique used at the receiver. This study established that a spectral 1D-VWZCC code can successfully improve the system performance, where the simulation findings validate that our code can be used and exploited in the optical CDMA network mainly when using an APD diode.

**Keywords:** OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, VWZCC, APD, PIN

## Résumé

Les systèmes d'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA) souffrent de certaines contraintes, qui à leur tour limitent leurs performances, telles que le bruit d'intensité induit par phase (PIIN) qui est de plus en plus proportionnel au taux d'erreur binaires (BER). Le schéma OCDMA de codage d'amplitude spectrale (SAC) peut réduire les interférences à accès multiple (MAI) nécessitant un bon choix de signature spectrale et une technique de détection appropriée. Partant de cette hypothèse, de nombreux codes 1D ont été développés dans différents domaines (longueur d'onde, temps et espace). Le développement du code proposé est basé sur l'étalement spectral où l'effet du MAI peut être complètement supprimé et le PIIN est ignoré et offre au code développé une bonne propriété d'inter corrélation. De plus, L'effet du type de composants optoélectroniques tels que les photo-détecteurs sur le récepteur a été réalisé en comparant les photodiodes APD et PIN avec l'utilisation de ces codes, où les performances de la photodiode APD se sont révélées meilleures que celles de la photodiode PIN.

L'analyse mathématique et par simulation a également été étudiée. L'analyse mathématique est présentée en termes de SNR et BER en prenant en compte différents bruits au niveau du récepteur et en utilisant des logiciels de simulation tels que MATLAB pour le calcul numérique et Optisystem pour la validation. Les résultats théoriques montrent que notre système 1D-VWZCC présente de meilleures performances que Diagonal Eigenvalue Unity (1D-DEU), Flexible Cross Correlation (1D-FCC), Multi-service (1D-MS), et Fixed Right Shift (1D-FRS), en termes de cardinalité, de débit binaire et de puissance consommée. Il a été constaté que le nouveau code 1D-VWZCC proposé atteint une cardinalité et une évolutivité élevées, ce qui lui permet d'atteindre 220 utilisateurs au BER standard ( $10^{-9}$ ) lors de l'utilisation d'une photodiode à avalanche (APD) par rapport à une diode positive-intrinsic-negative (PIN). De plus, le décodeur du système 1D-VWZCC se caractérise par sa simplicité, due à la technique de détection directe utilisée au niveau du récepteur. Cette étude a établi qu'un code spectral 1D-VWZCC peut améliorer avec succès les performances du système, les résultats de la simulation confirmant que notre code peut être utilisé et exploité dans le réseau optique CDMA principalement lors de l'utilisation d'une diode APD.

**Mots clés :** OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, VWZCC, APD, PIN

## الملخص

تعاني أنظمة الوصول المتعدد بتقسيم الكود البصري (OCDMA) من بعض القيود، والتي بدورها تحد من أدائها مثل الضوضاء الناتجة عن الطور (PIIN) والتي تتناسب بشكل متزايد مع معدل خطأ البت (BER). يمكن لنظام OCDMA لتشغيل السعة الطيفية (SAC) أن يقلل من تداخل الوصول المتعدد (MAI) الذي يتطلب اختياراً جيداً للتوفيق الطيفي وتقنية الكشف المناسبة. بناءً على هذا الافتراض، تم تطوير العديد من الرموز أحادية الأبعاد في مجالات مختلفة (الطول الموجي، الزمان، المكان). يعتمد تطوير الكود المقترن على الانشار الطيفي حيث يمكن قمع تأثير MAI بالكامل ويتم تجاهل PIIN ويوفر للكود المطور خاصية ارتباط متقطع جيدة. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تأثير نوع المكونات الإلكترونية الضوئية مثل الكاشفات الضوئية على جهاز الاستقبال من خلال مقارنة الثنائيات الضوئية APD و PIN مع استخدام هذه الرموز، حيث وجد أن أداء الثنائي الضوئي APD أفضل من أداء الثنائي الضوئي PIN.

تم أيضاً دراسة التحليل الرياضي والمحاكاة . يتم تقديم التحليل الرياضي من حيث نسبة الإشارة إلى الضوضاء SNR و BER من خلال مراعاة الضوضاء المختلفة عند جهاز الاستقبال واستخدام برامج المحاكاة مثل MATLAB للحساب العددي و Optisystem للتحقق من الصحة . تظهر النتائج النظرية أن نظامنا 1D-VWZCC يُظهر أداءً أفضل من وحدة القيمة الذاتية القطرية (1D-DEU)، والارتباط المتقطع المرن (1D-FCC)، والخدمات المتعددة (1D-MS)، والتحول الأيمن الثابت (1D-FRS) من حيث العلاقة الأساسية ومعدل البت والطاقة المستهلكة . لقد وجد أن كود الجديد 1D-VWZCC المقترن يحقق درجة عالية من الأصالة وقابلية التوسيع حيث يصل إلى 220 مستخدماً عند BER القياسي  $10^{-9}$  عند استخدام الصمام الثنائي الضوئي الانهياري (APD) مقارنة بالصمام الثنائي الإيجابي-الجوهري-السلبي . بالإضافة إلى ذلك، يتميز جهاز فك التشفير الخاص بنظام 1D-VWZCC ببساطة، وذلك بسبب تقنية الكشف المباشر المستخدمة في جهاز الاستقبال . أثبتت هذه الدراسة أن الكود الطيفي 1D-VWZCC يمكنه تحسين أداء النظام بنجاح، حيث تؤكد نتائج المحاكاة أنه يمكن استخدام الكود الخاص بنا واستغلاله في شبكة CDMA الضوئية بشكل رئيسي عند استخدام الصمام الثنائي APD .

**الكلمات الدالة:** OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, VWZCC, APD, PIN

## **Introduction Générale**

Le réseau optique est un type récent de système de communication, où les informations sont transportées en utilisant une onde optique comme support et la fibre optique comme support de transmission. De nombreuses récompenses peuvent être offertes par les systèmes de communication optique, telles qu'une longue distance de transmission, économies d'énergie et la transmission d'une quantité massive d'informations en même temps, où un grand nombre d'utilisateurs peuvent recevoir les informations requises en même temps avec une vitesse de communication rapide en utilisant diverses techniques d'accès multiples.

À mesure que la transmission de données augmente et que le trafic devient plus lourd, le besoin d'une technologie de transmission à haut débit augmente avec l'objectif d'une transmission à grande vitesse et à haute capacité. Ces exigences sont satisfaites à l'aide de nombreux schémas d'accès multiples différents, tels que l'OCDMA, l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), et l'accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA) pour le multiplexage et le démultiplexage du flux d'informations.

En TDMA, tous les utilisateurs du système partagent toute la bande passante, mais transmettent les signaux dans une séquence chronologique, sans interférence entre deux utilisateurs, à savoir l'orthogonalité. Cependant, TDMA nécessite une synchronisation pour maintenir une référence temporelle commune. Un autre défi auquel est confrontée la technique TDMA est qu'elle est sujette à une distorsion par trajets multiples, appelée non-linéarités, où il est difficile de transmettre le signal à large bande, ce qui nécessite une égalisation pour réduire les interférences entre symboles. À mesure que la technologie évolue, le WDMA semble être la meilleure solution. En WDMA, le spectre disponible est divisé en canaux physiques de bande passante égale. Chaque canal physique est alloué par abonné, ce qui permet de mieux utiliser la bande passante de la fibre optique. L'un des avantages du WDMA par rapport au TDMA est qu'il utilise généralement des débits binaires de puissance optique inférieurs dans chaque canal, tout en atteignant une capacité réseau plus élevée. Cependant, l'un des défis du WDMA est la limitation des longueurs d'onde lorsque le nombre d'utilisateurs devient important. Par conséquent, malheureusement, il est évident que ces deux techniques d'accès multiple présentent des inconvénients importants dans les systèmes locaux nécessitant un grand nombre d'utilisateurs. De plus, la capacité de transmission maximale pour TDMA et WDMA dépend respectivement du nombre total d'intervalles de temps et de canaux de longueur d'onde.

L'OCDMA est actuellement la technique d'accès multiple la plus connue. Depuis l'introduction du CDMA optique (OCDMA), il a attiré les chercheurs en raison de sa capacité à améliorer les performances du système et la sécurité des informations, à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la flexibilité de la bande passante. OCDMA est une technique de multiplexage qui utilise une approche différente du TDM et du WDM où le principe de la technique OCDMA est de permettre à de nombreux abonnés de partager le réseau optique simultanément et de manière asynchrone en attribuant un code distinctif à chaque utilisateur. Au niveau de l'émetteur, le flux binaire d'informations de chaque client est codé optiquement selon une séquence de codes attribuée unique à chaque client, puis transmis via la fibre optique ou le système optique sans fil de manière asynchrone. Au niveau du récepteur, connaissant la séquence de codes de chaque client, un décodeur optique est conçu pour décoder le signal optique transmis souhaité et le convertir en données électroniques pour récupérer le signal d'origine. Divers paramètres, notamment le débit de données, le nombre d'utilisateurs simultanés, la puissance d'émission, la puissance du récepteur et le type de codes, déterminent les performances des réseaux OCDMA. Cependant, les types de codes et le débit des données transmises sont des paramètres cruciaux, car ils déterminent le nombre d'abonnés pouvant accéder simultanément au réseau optique.

En communication optique, le récepteur détecte la puissance de la lumière entrante via des photo-détecteurs. Grâce aux effets photoélectriques, le photo-détecteur convertit l'énergie de l'impulsion lumineuse en courant électrique. Généralement, quatre types de photodiodes sont utilisés : PIN, PN, métal-semi-conducteur-métal (MSM) et photodiode à avalanche (APD). Un photo-détecteur PIN est une diode avec un semi-conducteur inné large et délicatement dopé, situé entre un semi-conducteur de type p et une zone de semi-conducteur de type n, ce qui implique qu'il possède une couche supplémentaire de matériau inné entre les couches de type p et de type n qui donne quelques caractéristiques utiles. Cette couche caractéristique supplémentaire améliore les performances en augmentant le volume dans lequel le changement de lumière se produit. Une photodiode à avalanche (APD) est un dispositif électronique à semi-conducteur caractérisé par une sensibilité élevée qui utilise l'effet photoélectrique pour échanger des signaux optiques en signaux électriques. Grâce à la multiplication des avalanches, les APD peuvent être des photo-détecteurs donnant une première phase de gain implicite. Les deux principaux avantages de l'utilisation de l'APD sont un gain interne inhibé et une grande réactivité avec un faible niveau de bruit. De plus, l'APD peut être utilisé pour des applications longues distance et étendues.

Ce travail se concentre sur l'étude de l'effet des composants optoélectroniques (photo-détecteurs) sur un nouveau système OCDMA en utilisant un nouveau code d'inter corrélation nulle à poids variable (VWZCC) pour améliorer les performances et la cardinalité des réseaux OCDMA. Une séquence d'étalement 1D est proposée pour le système OCDMA en utilisant le schéma spectral. En particulier, l'algorithme 1D-VWZCC offre non seulement des performances comparables à celles d'autres systèmes existants, mais il montre également qu'un nombre accru d'utilisateurs simultanés peut être généré. Cette mémoire se compose de trois chapitres. Le contenu des chapitres est résumé comme suit :

- I. Le chapitre I passe en revue la littérature sur les systèmes de communication OCDMA, les progrès des systèmes OCDMA et leur classification. Il décrit la technique OCDMA. Il décrit également l'architecture de l'émetteur-récepteur de haut niveau, avec une discussion des différentes techniques de modulation et méthodes d'étalement, ainsi que des différents types de familles de codes d'étalement. Il explique les méthodes utilisées pour concevoir et analyser les codes OCDMA incohérents.
- II. Le chapitre II présente un aperçu des photo-détecteurs, y compris des détails sur la structure des photodiodes PIN et APD, les principes de leur fonctionnement, citant certaines de leurs applications et leurs caractéristiques.
- III. Le chapitre III présente et explique la construction d'une nouvelle séquence de codes 1D-VWZCC, la conception du codeur et du décodeur, l'analyse mathématique pour la dérivation du SNR et du BER en tenant compte du bruit du récepteur, les performances du système, et discute des aspects théoriques et des résultats de simulation où le système a été modélisé à l'aide du logiciel Optisystem.

Enfin, le travail se termine par une conclusion qui résume les pensées, objectifs et engagements les plus fondamentaux. Certaines recommandations sont également données pour la portée future.

## CHAPITRE I: Technique D'accès Multiple OCDMA

### 1. Introduction

La forte demande de trafic Internet a augmenté de façon exponentielle avec la croissance rapide des données de cloud computation, la voix et des vidéoconférences sur smartphone, des contenus en streaming de l'IPTV [1], et des applications de partage de vidéos telles que YouTube et la télévision 3D. Au cours des années précédentes, les réseaux de communication dépendaient de la transmission via des câbles en cuivre, mais ces câbles ne pouvaient pas suivre les développements technologiques actuels en raison de plusieurs points négatifs fournis par ces câbles tels que la faible vitesse de transmission, l'atténuation élevée, la diaphonie et la transmission à courte distance. Actuellement, les systèmes de communication utilisant ces supports de transmission ne sont plus en mesure de suivre l'évolution des technologies de communication du fait de l'incapacité à répondre aux besoins antérieurs [2].

La technologie de transmission basée sur la communication par fibre optique prend une part importante dans de nombreux domaines grâce à plusieurs avantages tels qu'une large bande passante, une transmission à très haut débit, une faible atténuation, une transmission longue distance et, en plus, un prix bas [3]. Parmi les réseaux qui utilisent la fibre optique comme support de transmission et la lumière comme support pour transporter des informations d'un point à un autre, le réseau local (LAN: local area network), un réseau optique passif (PON; passive optical network), et la fibre jusqu'au domicile FTTH (Fibre to the home),...etc [4].

Récemment, les techniques de multiplexage sont devenues l'une des technologies incontournables dans le domaine des réseaux optiques en raison de l'efficacité qu'elles procurent en termes de capacité de multiplexage et de débit de données transmis afin d'optimiser les ressources du réseau et de fournir un accès au médium tout en supportant de grandes capacités dont , accès multiple par répartition dans le temps (TDMA : time division multiple access), accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA : Wavelength division multiple access) et accès multiple par répartition en code optique (OCDMA : optical code division multiple access) [5].

Ce chapitre donne une brève explication de tout ce qui appartient à la communication optique, y compris les techniques d'accès multiples telles que TDMA, WDMA, FDMA et OCDMA, en

plus, les principes d'étalement en OCDMA, suivis des techniques de codage et de décodage, les classifications OCDMA, et les bruits qui affectent ces systèmes,...etc.

## 2. Communication optiques

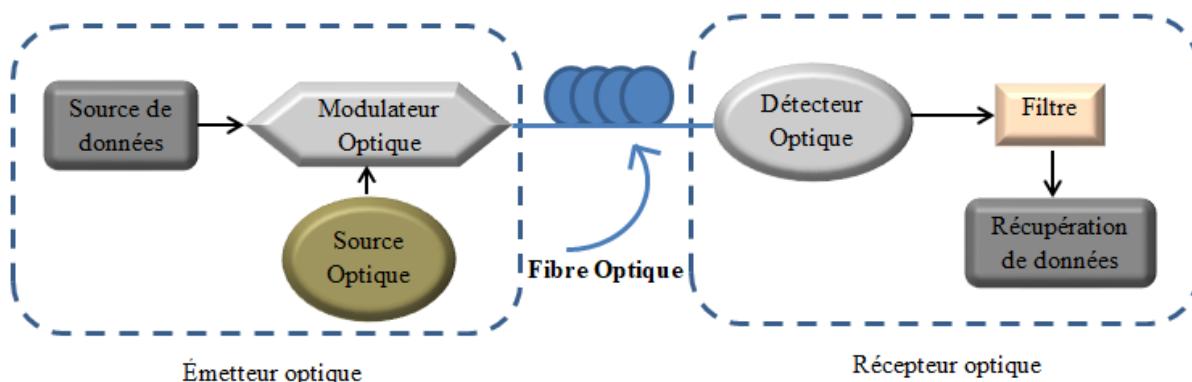
La communication optique se présente comme une approche largement utilisée dans différents domaines tels que la télécommunication point à point, la transmission militaire, les domaines médicaux,... etc. De plus, elle se divise en deux catégories: la communication optique filaire via la fibre optique et communication optique en espace libre et chacun a des caractéristiques [6].

### 2.1. Communication par la fibre optique

La fibre optique est un canal physique qui permet de guider la lumière d'un point à un autre sur une très longue distance, c'est un support essentiel dans la chaîne de communication afin d'assurer l'échange de données optiques entre l'émetteur et le récepteur. En tant que support de transmission dans un système de communication, les fibres optiques peuvent être utilisées partout où des câbles en cuivre sont utilisés en raison de leur large bande passante, faible atténuation, longue distance de transmission et de leur vitesse de transmission [7].

Un système de communication par fibre optique typique est illustré à la Figure I.1. Il comprend trois blocs principaux :

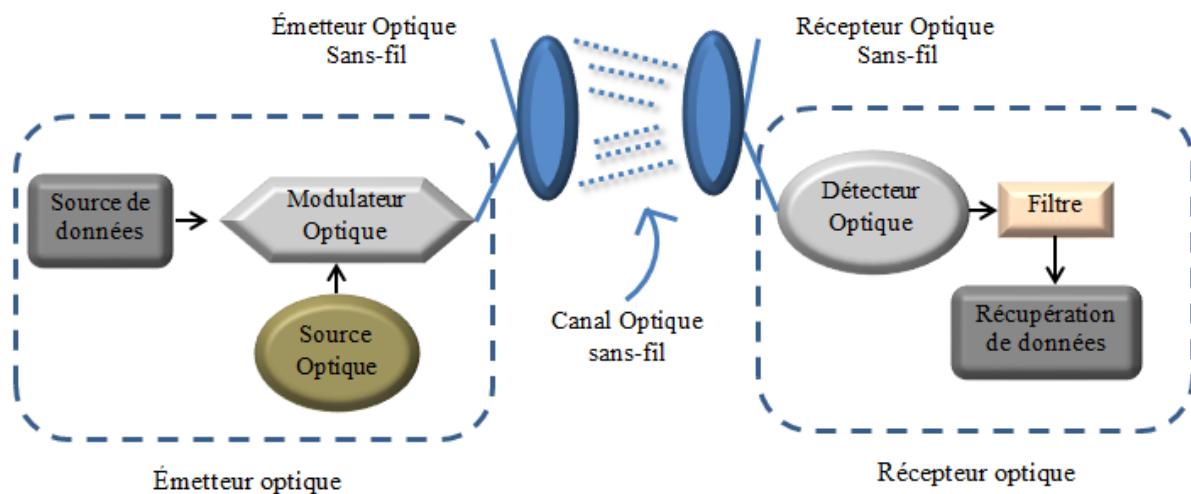
- Un émetteur optique se compose d'une source de données électriques, d'une source lumineuse et de son modulateur.
- Un canal de transmission représenté par un câble à fibre optique.
- Un récepteur optique qui se compose d'un photo-détecteur suivi d'un amplificateur et d'un démodulateur.



**Figure I.1** Système de communication par fibre optique [8]

## 2.2. Communication optique en espace libre

La communication optique sans fil (WOC : Wireless Optical Communication or free space optics (FSO) ) peut être installée dans des zones où la communication filaire (fibre optique) est difficile à mettre en œuvre du fait des obstacles rencontrés entre source et destinataire (montagnes, zones hautes, isolées par grande surface), il est considéré la prochaine frontière de la communication à large bande en raison de ses caractéristiques attrayantes telles que la bande passante extrêmement élevée, la facilité de déploiement, l'allocation de bande passante gratuite et la faible puissance [9].



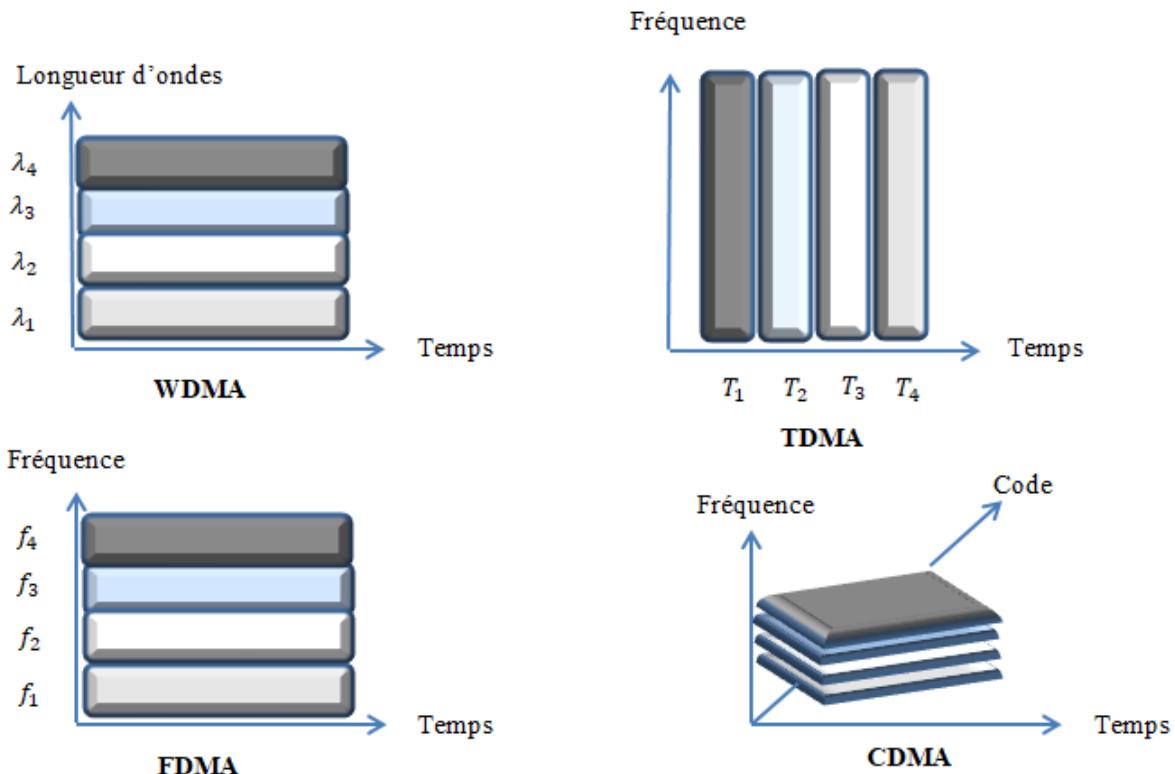
**Figure I.2** Système de communication optique en espace libre [8]

La Figure I.2 montre le schéma d'une communication optique en espace libre via une liaison directe. La mise en œuvre de la liaison FSO nécessite l'utilisation de la technique de ligne de mire (LOS : line of sight) utilisant une source optique de type LED (Light Emitting Diode) ou LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

## 3. Communication à accès multiple

Afin d'exploiter pleinement la bande passante du canal tout en prenant en charge une grande capacité de multiplexage, la communication à accès multiple s'est avérée être une technologie stimulante ces dernières années pour la communication moderne afin d'augmenter le débit total du système et de permettre à plusieurs utilisateurs de partager leurs informations dans le même canal. Dans ce contexte, il existe quatre types de base de réseaux à accès multiple (Figure I.3) [10]:

- Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA)
- Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)
- Accès multiple par répartition en fréquence (FDMA)
- Accès multiple par répartition en code (CDMA)



**Figure I.3** Techniques d'accès multiples [8]

### 3.1 Accès multiple par répartition en longueur d'onde (AMRLO)

L'accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA : wavelength division multiple access) est une technologie optique qui permet de coupler simultanément plusieurs longueurs d'onde (chaque canal occupe une bande passante optique étroite égale à 100 GHz) dans le même canal optique où chaque utilisateur se voit attribuer une longueur d'onde spécifique à partir d'un ensemble de longueurs d'onde disponibles (Figure I.4). De plus, c'est une technique qui autorise facilement d'augmenter la bande passante à 1 Tb/s. Son inconvénient majeur est la nécessité d'un contrôle strict de l'espacement des longueurs d'onde optiques et de la bande passante du filtre pour s'adapter aux utilisateurs individuels sur des canaux optiques attribués de manière unique [11].

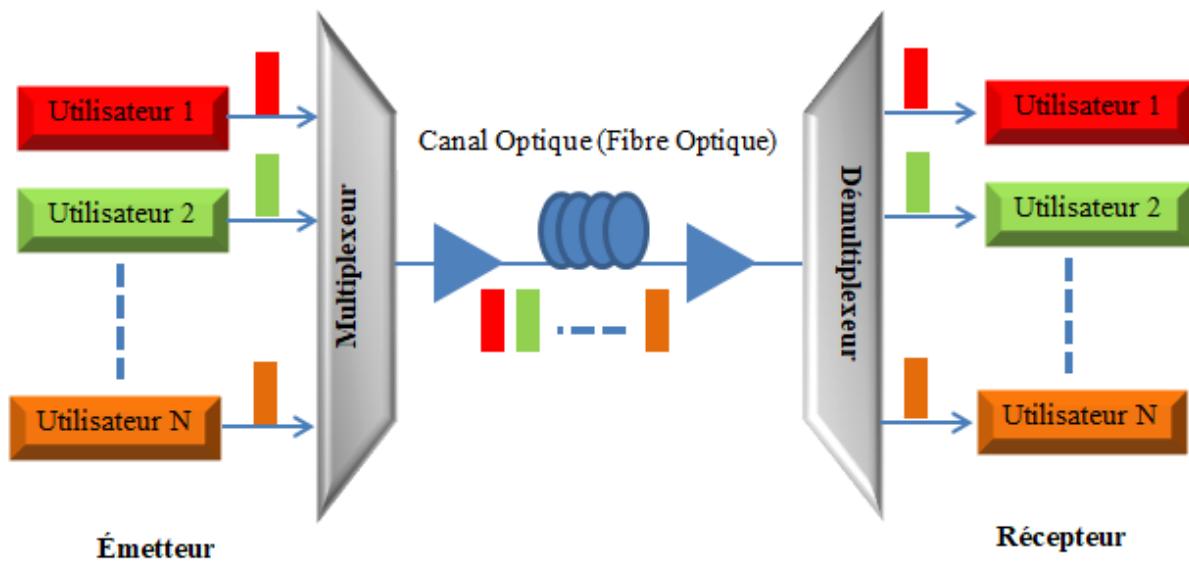


Figure I.4 Réseau d'accès WDMA [8]

### 3.2. Accès multiple par répartition dans le temps (AMRT)

Dans la technique d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA : Time Division Multiple Access), le nombre maximum d'utilisateurs est déterminé par la largeur de tranche de temps optique minimale qui peut être prise en charge dans une période de temps fixe, qui est liée à la période du débit de données d'utilisateur maximum. Brièvement, la bande passante du système est divisée en trames de durée égale, et chaque trame est divisée en le même nombre de créneaux temporels où tous les créneaux temporels ont la même durée, ces créneaux temporels sont alloués à chaque émetteur afin de partager ses données dans un canal de transmission (Figure I.5) [12].

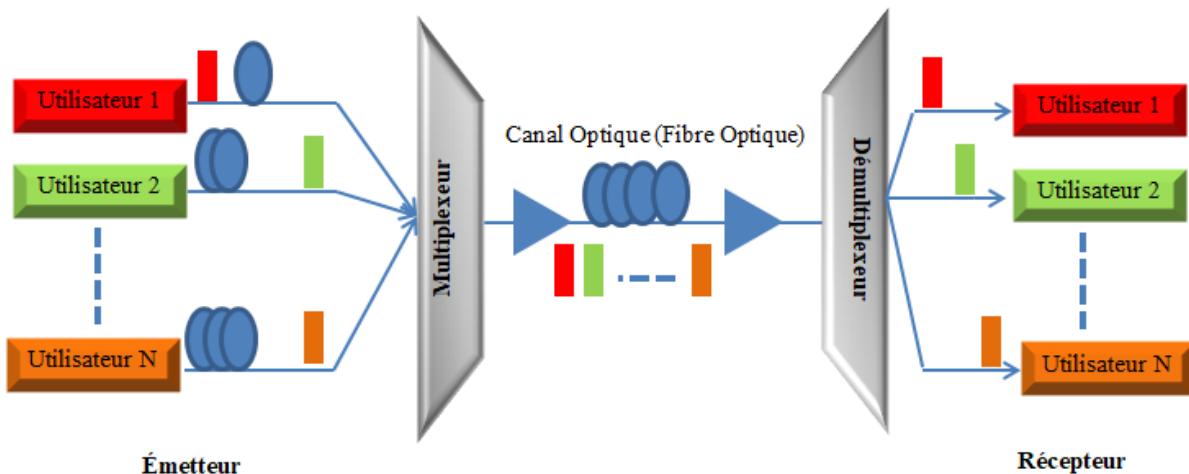


Figure I.5 Réseau d'accès TDMA [8]

### 3.3. Accès multiple par répartition en fréquence (AMRF)

Dans un accès multiple par répartition en fréquence (FDMA : frequency-division multiple access), la bande passante du système est divisée en sous-bandes en fonction du nombre d'utilisateurs disponibles où chaque utilisateur doit envoyer ses informations simultanément dans la sous-bande qui lui est attribuée via un canal câblé ou sans fil (Figure I.6) en utilisant une onde porteuse. La technique de multiplexage (FDMA) est une technique limitée et incapable de gérer un plus grand nombre d'utilisateurs lorsque la capacité de multiplexage augmente (nombre d'utilisateurs), ce qui conduit à une saturation de la bande passante disponible [13].

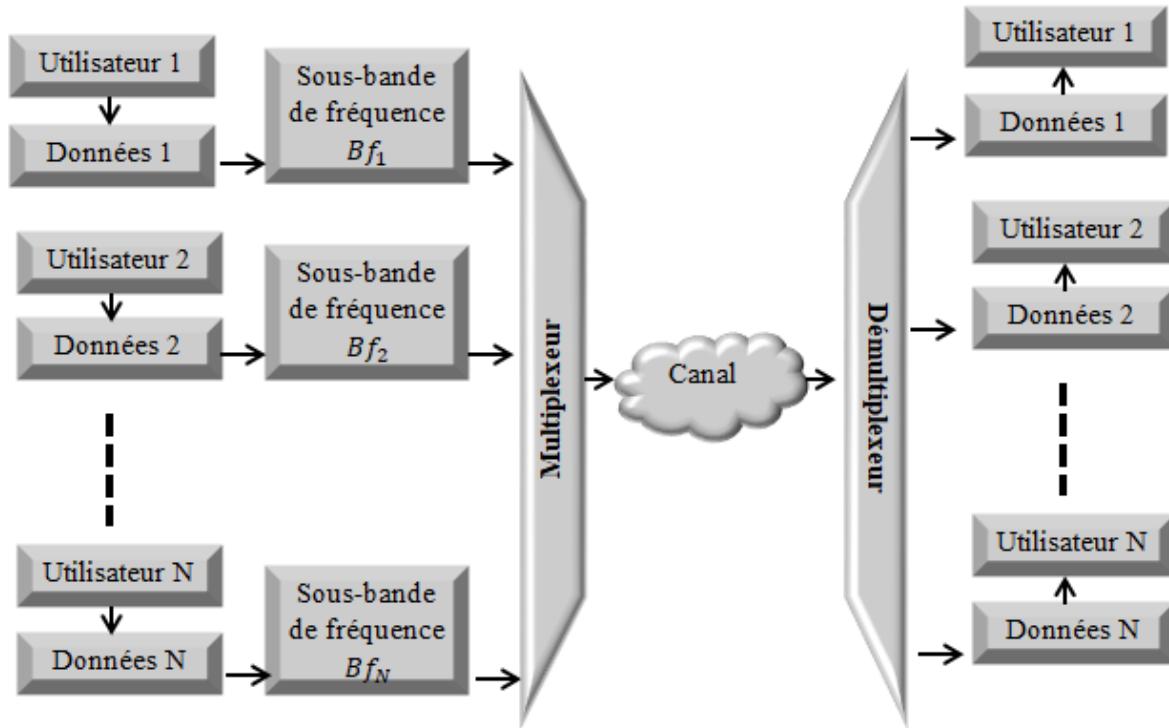
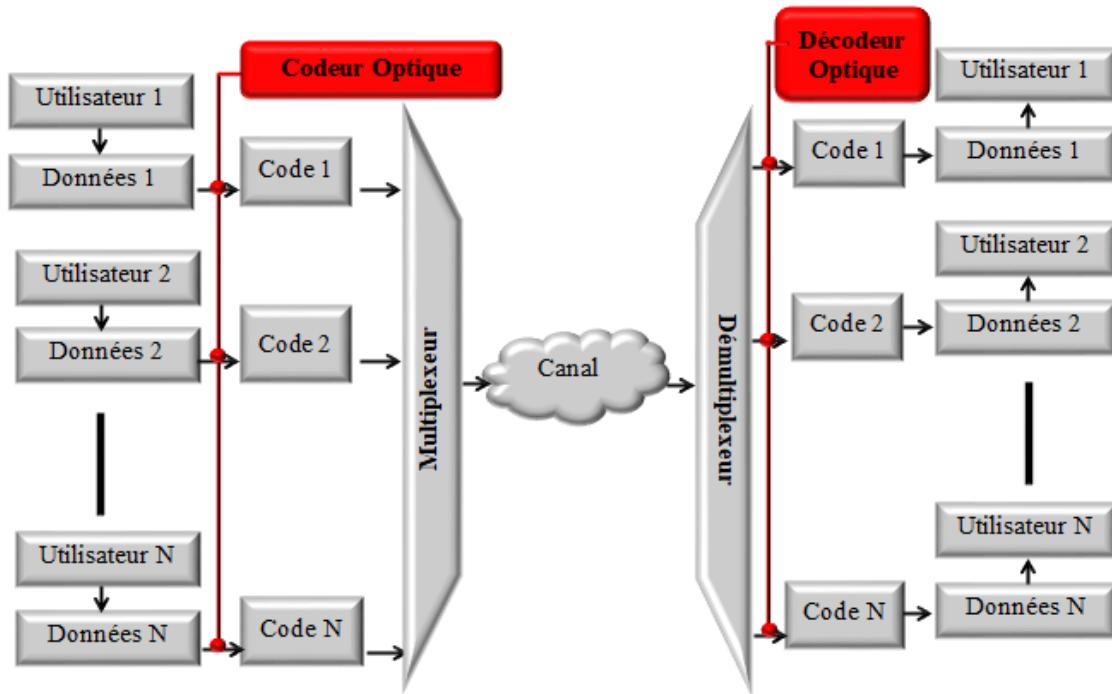


Figure I.6 Technique d'accès FDMA [8]

### 3.4. Accès multiple par répartition en code (CDMA)

L'accès multiple par répartition en code (CDMA) est une technique qui remplace les techniques de multiplexage précédentes (TDMA, FDMA, WDMA) en raison de différents avantages qui résolvent les problèmes rencontrés dans ces techniques en attribuant à chaque utilisateur un code unique. Dans le domaine optique, l'OCDMA est une technologie suivant le même principe que le CDMA, elle permet de mettre en œuvre une transmission multiplexée et un accès multiple via un codage optique qui supporte plusieurs transmissions simultanées de

manière synchrone et asynchrone dans le même intervalle de temps et la même bande passante de fréquence (Figure I.7) [14].



**Figure I.7** Technique d'accès OCDMA [8]

#### 4. Accès multiple par répartition de code optique (OCDMA)

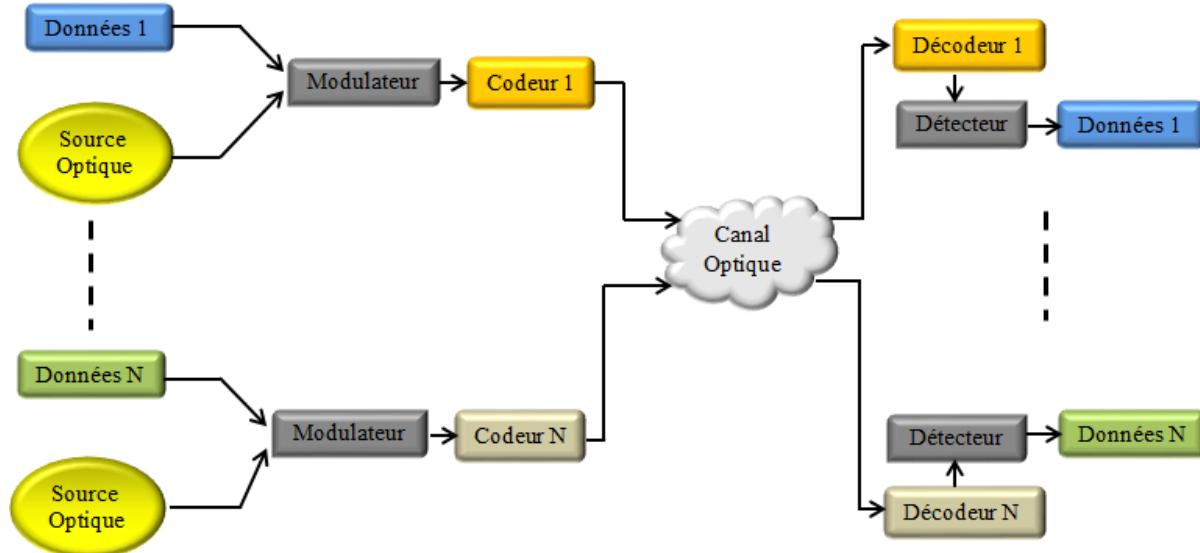
##### 4.1 Principe du système OCDMA

La technique de multiplexage OCDMA est devenue une technologie potentielle pour la diffusion de données point à point/point à multi-points, il est possible de mettre en œuvre un réseau optique pur en raison de leurs caractéristiques énormément et de profiter de la prédominance de la CDMA radio fréquence [15].

L'OCDMA est une famille de multiplexage de plusieurs signaux optiques où chaque signal désigné par un code utilisant des composants optiques passifs simples et peu coûteux afin que le multiplexage, le routage et la communication entre l'émetteur et le récepteur puissent être mis en œuvre de manière flexible et sécurisée [16]. La Figure I.8 présente l'architecture principale de la technologie OCDMA, qui est composée de trois blocs essentiels :

- ✓ Partie émetteur qui contient principalement un codeur optique et un modulateur pour transformer les données électriques en impulsions optiques.

- ✓ Un canal optique pour assurer l'interconnexion entre la source et la destination (fibre optique, FSO).
- ✓ Partie réceptrice qui contient principalement un détecteur d'impulsions optiques et un démodulateur pour la transformation de ces impulsions dans le domaine électrique.



**Figure I.8** Architecture OCDMA [8]

#### 4.2. Avantages des systèmes OCDMA

Les différents avantages offerts par la technologie OCDMA en ont fait l'une des technologies les plus prometteuses dans le domaine des communications optiques, nous citons [17]:

- Transmission de données à haute vitesse.
- Les utilisateurs peuvent se connecter au réseau OCDMA de manière synchrone/asynchrone, et le réseau devient doté d'une capacité flexible.
- OCDMA peut faire une bonne exploitation de la bande passante de la fibre optique.
- L'échange de données dans le réseau est sécurisé et le trafic devient transparent.
- OCDMA peut prendre en charge un débit de transmission variable et fournir une qualité de service (QoS) différentielle en fonction de la demande.
- Grâce à la simplicité de l'architecture, OCDMA peut être facilement mis à niveau et étendu ainsi qu'à la facilité de gestion des utilisateurs.
- OCDMA prend en charge un grand nombre d'abonnés.
- Facilité de localisation, de protection et de récupération des défaillances du réseau.
- Le réseau OCDMA se compose de moins de dispositifs spectroscopiques caractérisés par la simplicité.

- Les réseaux OCDMA supportent diverses applications multimédias (vidéo, trafic IP, ...etc).

### 4.3. Inconvénients des systèmes OCDMA

- Le processus de codage est lié par le nombre d'utilisateurs disponibles où la longueur du code augmente à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente.
- La grande longueur de code permet une consommation d'énergie élevée
- La difficulté de détection au niveau du récepteur en raison de la grande longueur du code et des intersections résultantes dans les codes.
- Les réseaux OCDMA souffrent d'interférences d'accès multiples en raison des chevauchements introduits entre les puces de code optique.
- Besoin de dispositifs d'encodage très sélectifs qui peuvent être très coûteux.

## 5. Catégories de systèmes OCDMA

Au cours des 20 dernières années, la technique de multiplexage de code optique a été divisée en deux catégories selon la nature de la source optique utilisée et les méthodes de codage [17]:

### 5.1. OCDMA cohérent

Le système OCDMA cohérent est basé sur le processus de codage de phase des signaux optiques, où la phase de la lumière est détectée aux bornes de réception, en outre, comme montre la Figure I.9, le codage cohérent est effectué à l'aide de bits bipolaires (-1, +1) pour coder les phases des signaux optiques, ce qui conduit à la création d'un signal optique de forme d'amplitude variable entre (-1) et (+1). Ainsi, la forme d'addition des signaux cohérents est la superposition des amplitudes des signaux lumineux [17].

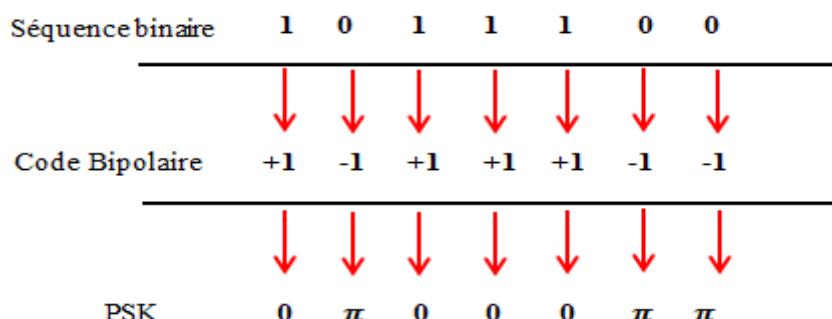


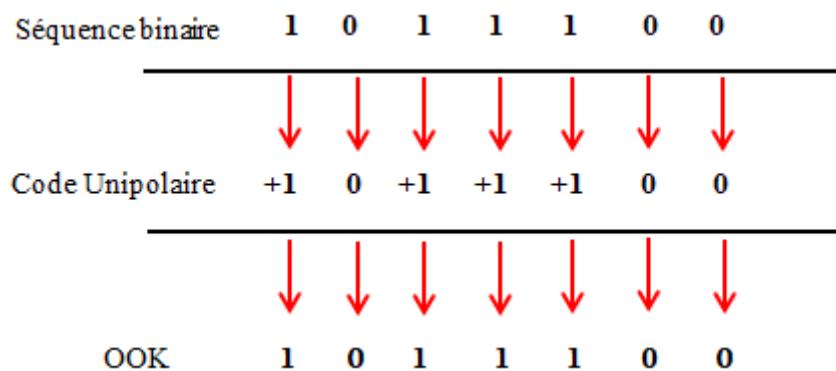
Figure I.9 Processus de codage bipolaire [8]

Par conséquent, l'OCDMA cohérent peut créer des codes optiques strictement orthogonaux qui éliminent complètement les interférences entre les utilisateurs et améliorent les performances des systèmes OCDMA. Ce type de système utilise la modulation PSK (phase shift keying).

## 5.2. OCDMA incohérent

Selon la Figure I.10 Les systèmes OCDMA incohérents sont basés sur le fonctionnement de la présence/absence d'un signal lumineux de la source optique (modulation OOK). Dans ce cas, le schéma de codage effectué est unipolaire et est représenté par des flux binaires ((0), (+1)). De plus, le signal d'addition résultant est la superposition des amplitudes des signaux lumineux. De plus, ce type de système utilise une source optique large bande incohérente telle que l'émission spontanée amplifiée (ASE), diode électroluminescente (LED),..., etc. Les codes produits dans ce type d'OCDMA sont unipolaires ce qui conduit à l'apparition d'interférences d'accès multiples qui dégradent les performances du système CDMA optique [18].

Par conséquent, l'élimination de ce type de bruit est principalement liée à la méthode de codage, de sorte que l'absence/apparition de ce bruit en OCDMA incohérent est déterminée par la position des (+1) verticalement [19].

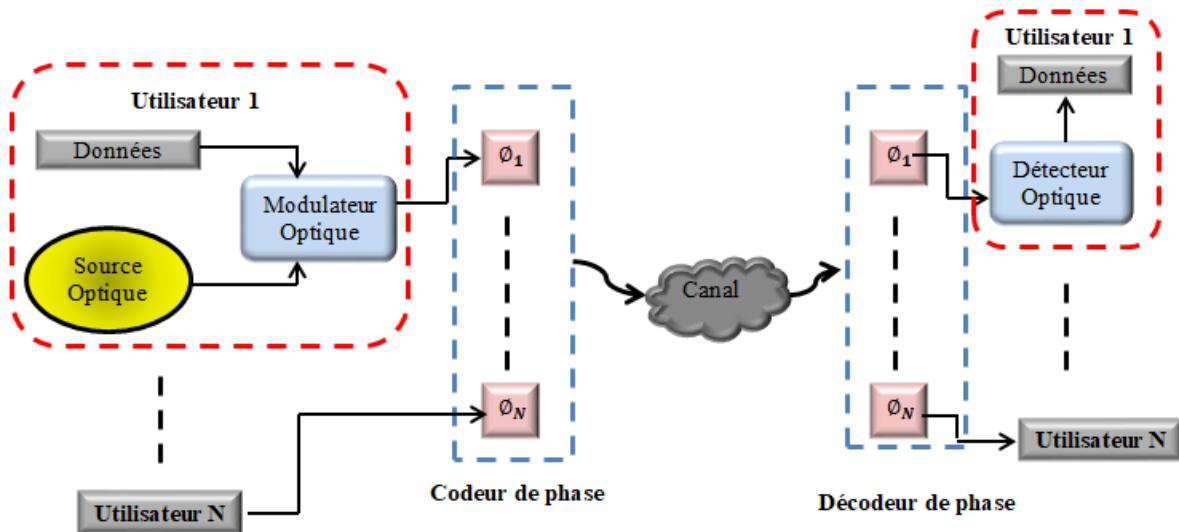


**Figure I.10** Processus de codage unipolaire [8]

## 6. Approches cohérentes de codage des systèmes OCDMA

Les systèmes de codage cohérents peuvent être classés en deux types selon la méthode de codage de phase :

### 6.1. Codage de phase spectrale (SPC-OCDMA)



**Figure I.11** Diagramme de codage de phase spectrale pour les systèmes OCDMA cohérents

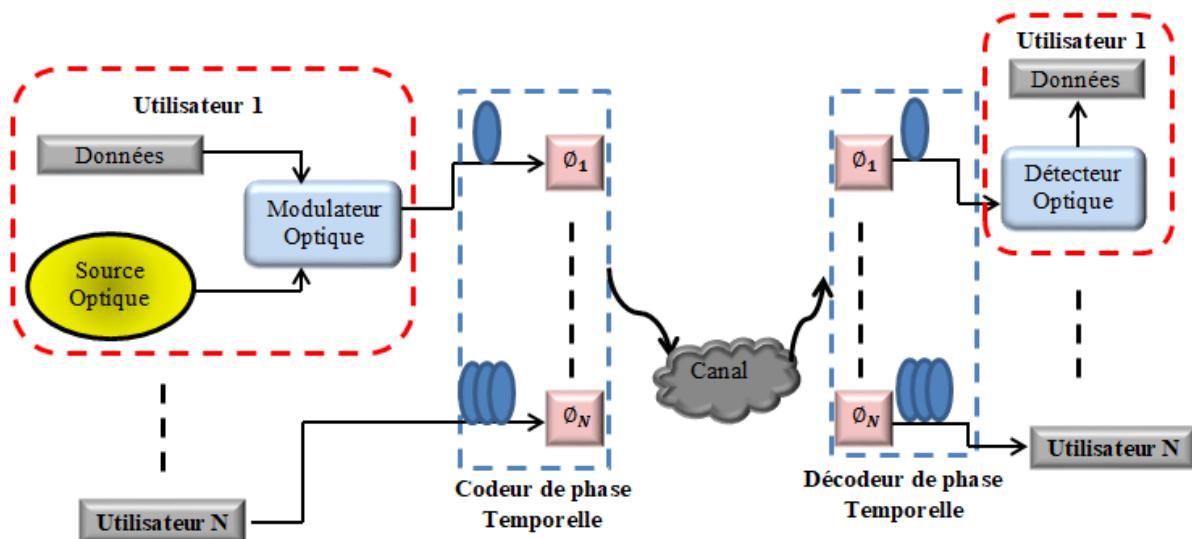
[8]

Les données binaires de chaque utilisateur (-1,+1) sont modulées par des impulsions ultracourtes dans le domaine temporel où ces impulsions sont générées par une source optique large bande cohérente dans le domaine fréquentiel. Ensuite, les impulsions optiques modulées sont multipliées par le code correspondant à un déphasage de 0 ou  $\pi$ . Ainsi, les signaux optiques sont multiplexés et envoyés via un canal optique au récepteur. Au niveau du récepteur, le signal reçu est décodé par un décodeur de phase utilisant le même principe que l'émetteur, ce signal de sortie est détecté et démodulé en même temps par un photo-détecteur, puis un filtre est appliqué pour éliminer les signaux parasites comme le montre la figure suivante (Figure I.11).

### 6.2. Codage de phase temporelle (TPC-OCDMA)

Dans cette approche, il est possible de coder les données bipolaires (-1,+1) dans une phase temporelle dont le principe de base est illustré à la Figure I.12. Une impulsion optique ultracourte est divisée en plusieurs impulsions qui sont modulées par le flux de données de

chaque utilisateur, puis ces impulsions sont reliées par un codeur de phase où chaque impulsion optique est retardée pour obtenir le déphasage requis en termes de séquence de code attribuée par chaque utilisateur , puis les impulsions codées en phase dans le temps sont multiplexées à l'aide d'un combinateur et envoyées au récepteur via le canal. Au niveau du récepteur, le signal optique composite est divisé en versions identiques et est relié par un décodeur de phase où chaque version est rattachée par une ligne à retard selon le codage de phase utilisé dans l'émetteur. Après décodage, les impulsions optiques sont détectées et converties dans un domaine électrique à l'aide d'un photo-détecteur puis un filtre est appliqué pour récupérer les données [17].



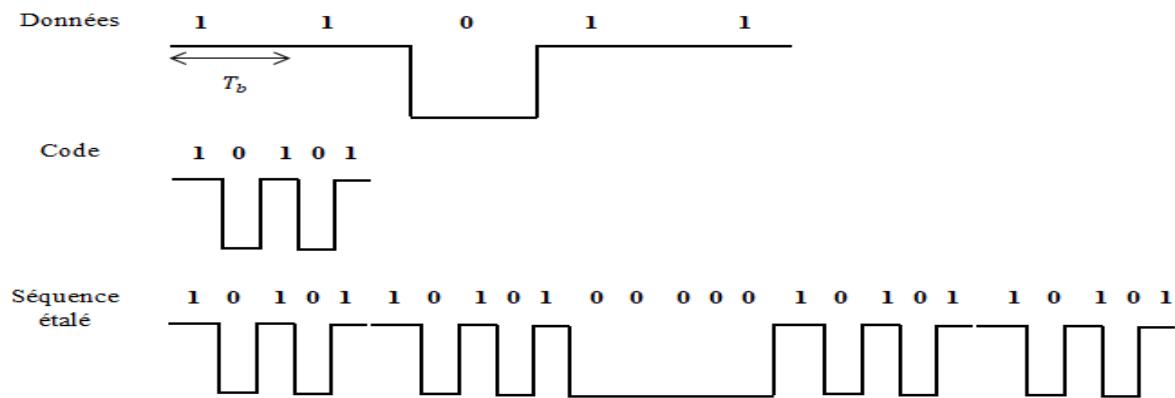
**Figure I.12** Diagramme de codage de phase temporelle pour les systèmes OCDMA cohérents

[8]

## 7. Approches incohérentes de codage des systèmes OCDMA

### 7.1. Étalement temporel

Le codage incohérent par étalement temporel, également appelé codage à séquence directe ou codage temporel (TSE : Temporal Spreading Encoding) [17], consiste à affecter à chaque bit unipolaire de durée  $T_b$  une impulsion optique générée à partir d'une source incohérente, ce qui conduit à la formation d'un code unipolaire unique comprenant plusieurs impulsions optiques (Figure I.13).

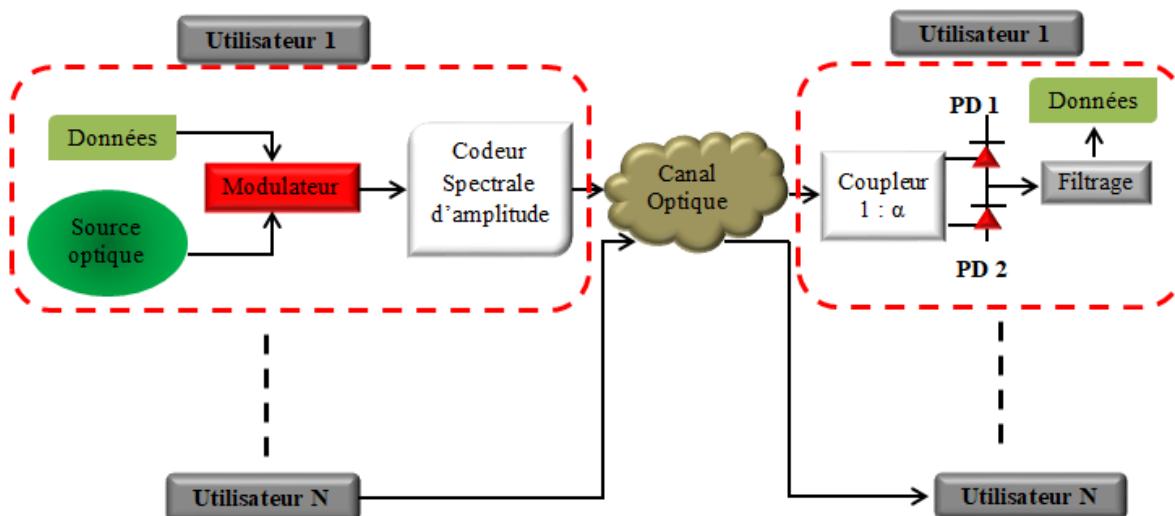


**Figure I.13** Principe de codage incohérent par étalage temporel [8]

## 7.2. Encodage d'amplitude spectrale

Le codage d'amplitude spectrale est l'une des techniques de codage qui préservent les performances des systèmes OCDMA incohérents, c'est le même concept de base du codage étalé dans le temps. La différence entre eux est que ce codage consiste à découper les composantes fréquentielles en fragments spectraux et à les coder, tandis que le codage étalé dans le temps consiste à découper les composantes temporelles en intervalles de temps et à les coder [20].

SAC-OCDMA permet à chaque utilisateur d'attribuer un code spectral différent des autres selon la séquence de code unipolaire à suivre, comme le montre la Figure I.14, qui introduit le concept de base du codage spectral d'amplitude.



**Figure I.14** Concept de codage d'amplitude spectrale [8]

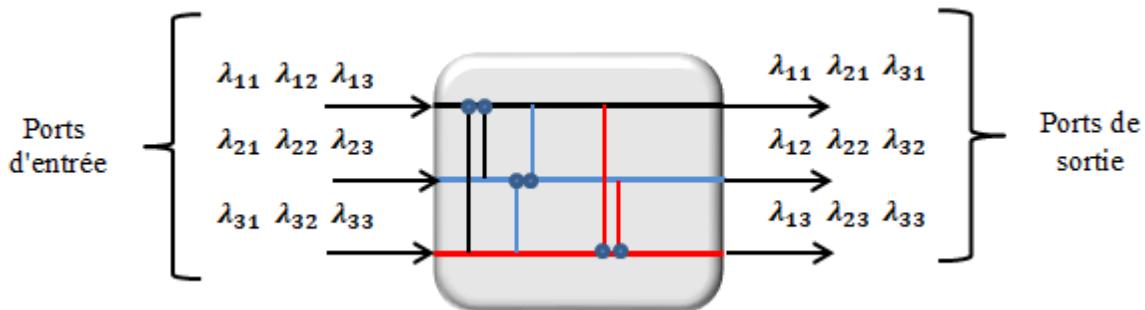
Le coupleur « 1:  $\alpha$  » permet de rendre l'interférence multi-utilisateur (MUI) reçue par  $PD_1$  égale à la MUI reçue par  $PD_2$ , de sorte que la différence entre eux est égale à zéro, ce qui signifie que l'effet de l'interférence multi-accès est complètement annulé. Par conséquent, le facteur  $\alpha$  s'exprime par [8]:

$$\alpha = \frac{\lambda_C}{w - \lambda_C} \quad (\text{I.1})$$

## 8. Procédures de codage dans le codage d'amplitude spectrale

### 8.1. Réseaux de guides d'ondes en réseau (AWGs)

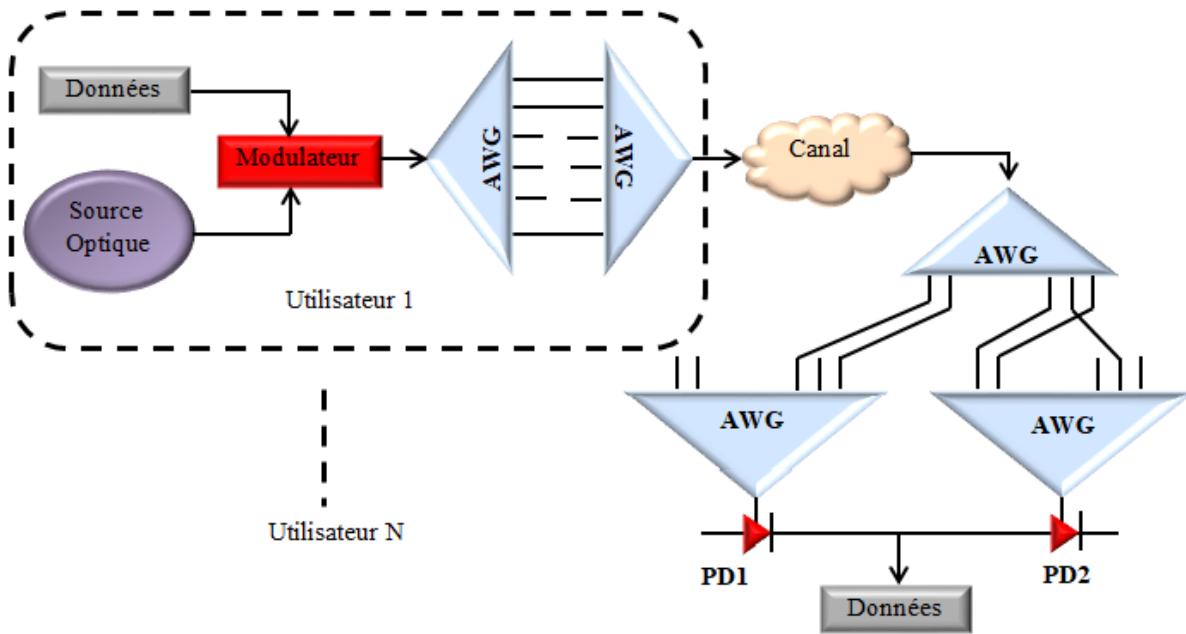
Comme le montre la Figure I.15, la technologie des guides d'ondes planaires est utilisée pour construire des réseaux AWG où ils peuvent effectuer les opérations suivantes : Premièrement, prend en charge une entrée avec plusieurs longueurs d'onde et plusieurs sorties. Deuxièmement, AWG est un réseau "1:N:1" (permet de multiplexer plusieurs longueurs d'onde qui arrivent de plusieurs portes et se combinent dans un seul port). Troisièmement, AWG peut gérer l'échange bidirectionnel [21].



**Figure I.15** Principe de fonctionnement d'AWG [8]

Le principe du codage AWGs (Arrayed Waveguide Gratings) est illustré à la Figure I.16. Tout d'abord, les données de chaque utilisateur sont modulées par une source optique à large bande, puis ces impulsions à large bande sont séparées à l'aide d'un séparateur AWG pour se diviser en plusieurs puces spectrales. Deuxièmement, selon la séquence de code utilisée pour chaque abonné, les impulsions souhaitées sont connectées par le deuxième AWG, tandis que les autres impulsions sont bloquées, après cela, les données codées sont multiplexées et envoyées via un canal optique. Au niveau du récepteur, le signal optique codé est connecté au premier AWG pour séparer les impulsions et se connecte au deuxième AWG, tandis que les

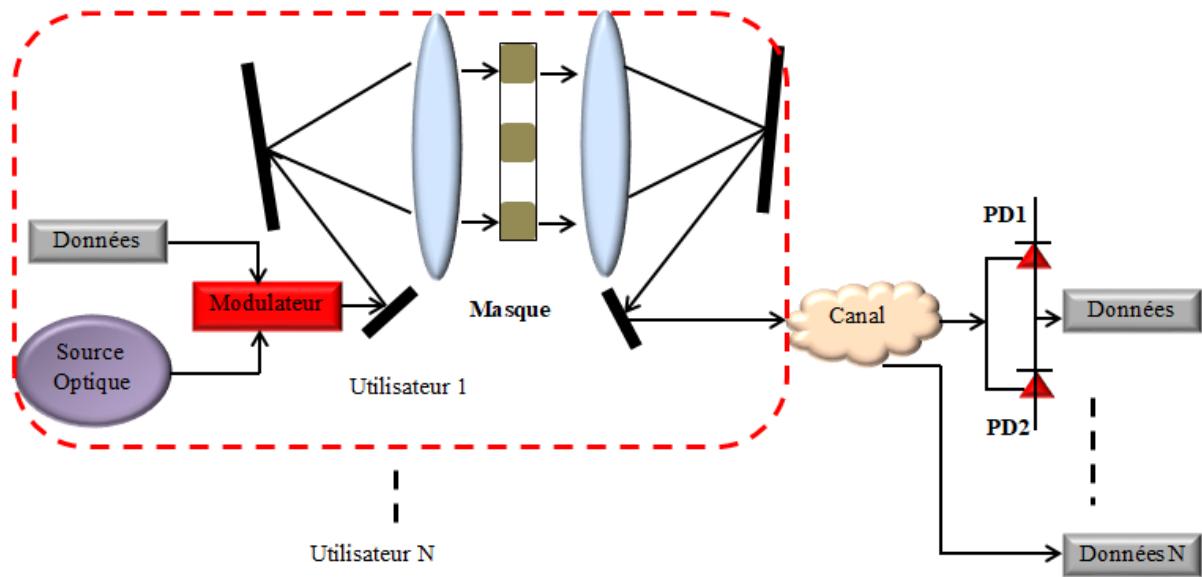
impulsions restantes sont connectées par le troisième AWG selon la signature désignée à chaque utilisateur. Après décodage, toutes les impulsions sont détectées et converties dans le domaine électrique à l'aide d'un ou plusieurs photo-déTECTeurs (PD), enfin un filtre passe-bas est appliqué pour récupérer les données souhaitées et éliminer les signaux indésirables.



**Figure I.16** Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur AWGs [8]

## 8.2. Masque d'amplitude spectrale

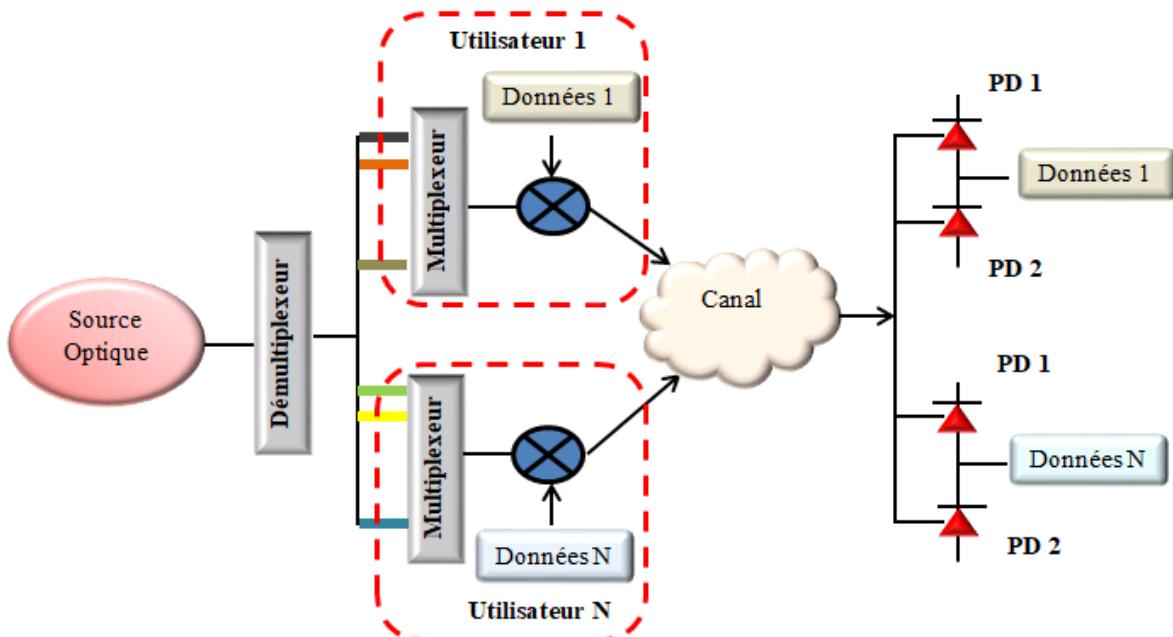
La Figure I.17 montre le principe de codage SAC-OCDMA incohérent utilisant masque d'amplitude spectrale, le principe de codage est le suivant : les données unipolaires de chaque abonné sont modulées et converties à l'aide d'une source optique large bande par exemple (LED, SLED,...), après, les impulsions modulées sont pénétrées vers le premier réseau de diffraction uniforme et la lentille afin de décomposer spatialement les composantes spectrales puis le signal optique dispersé modulé est codé spectralement en amplitude grâce à un masque d'amplitude spectrale selon la signature de code attribuée à chaque utilisateur. Après codage, les signaux sont combinés par une deuxième lentille et un réseau de diffraction uniforme et se propagent au récepteur via le canal optique. Au niveau du récepteur, le signal optique multiplexé est détecté par un détECTeur optique (photo-déTECTeur) et converti dans le domaine électrique puis applique un filtre pour récupérer les données de l'utilisateur.



**Figure I.17** Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur de masque d'amplitude spectrale [8]

### 8.3. Codage à l'aide d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur

Le concept de codage SAC-OCDMA basé sur un multiplexeur et un démultiplexeur est illustré à la Figure I.18. Les données de chaque utilisateur sont modulées par une source optique, puis divisées en plusieurs impulsions optiques égales à l'aide d'un démultiplexeur pour donner de nombreuses longueurs d'onde en sortie.

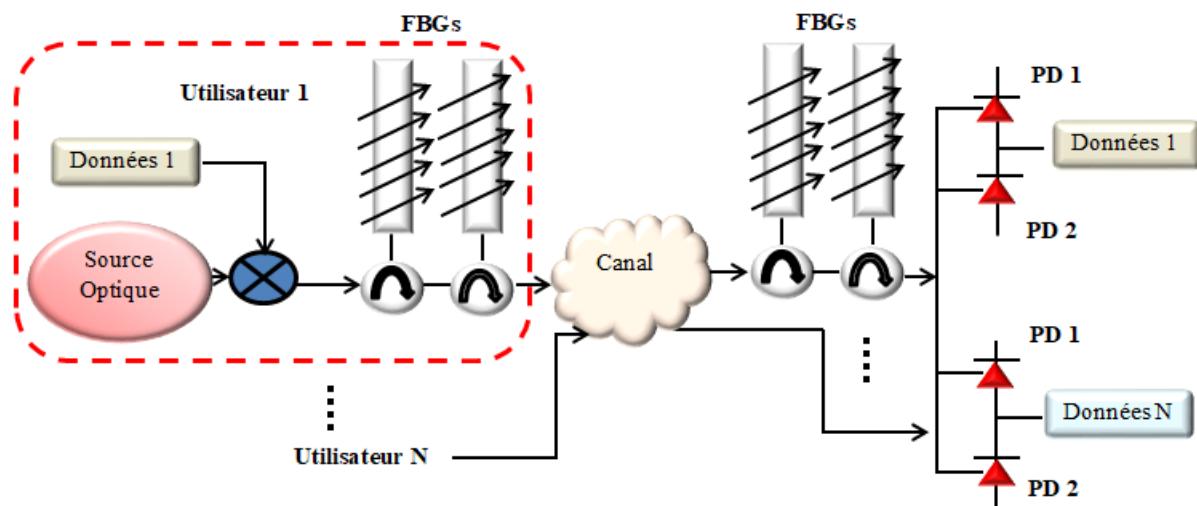


**Figure I.18** Encodage SAC-OCDMA à l'aide du multiplexeur et du démultiplexeur [8]

De plus, chaque groupe de longueurs d'onde est combiné à l'aide d'un multiplexeur spectral pour construire un code spectral selon la séquence de code binaire attribuée à chaque utilisateur où le nombre d'entrées du multiplexeur dépend du nombre de longueurs d'onde sélectionnées pour chaque abonné. Après codage, les signaux optiques sont combinés et propagés à travers le canal optique jusqu'au récepteur. Au niveau du récepteur, le signal optique est divisé en plusieurs impulsions à l'aide d'un démultiplexeur, et chaque impulsion est divisée en différentes longueurs d'onde à l'aide d'un séparateur spectral, puis un détecteur optique détecte les impulsions et les convertit dans le domaine électrique. Enfin, un filtre est utilisé pour récupérer les données des utilisateurs.

#### 8.4. Encodage spectral à l'aide de réseaux de Bragg (FBGs)

Les réseaux de Bragg à fibre (FGBs) sont devenus une technique de codage très approchée par plusieurs chercheurs en raison de leurs divers avantages tels que la facilité de mise en œuvre, la faible atténuation et le faible coût. Le dispositif spectral (FBG) est considéré comme un filtre de longueur d'onde qui permet la sélection des longueurs d'onde souhaitées afin de mettre en œuvre le codage d'amplitude spectrale.



**Figure I.19** Schéma fonctionnel du codage/décodage à l'aide des réseaux de Bragg (FBGs)

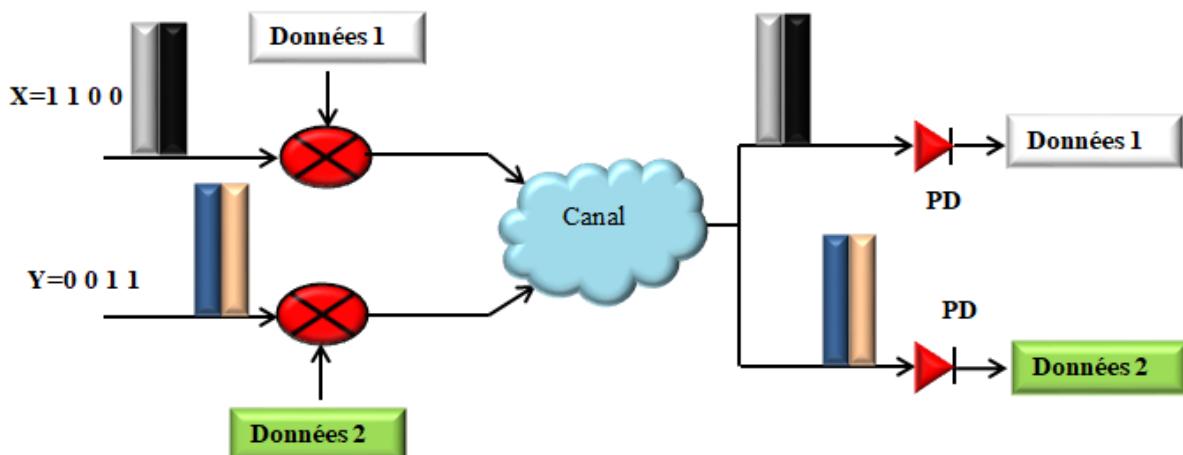
[8]

Une illustration de la technique de codage/décodage utilisant les réseaux de Bragg est présentée sur la Figure I.19. Une fois que les données de chaque abonné ont été modulées avec la source optique à large bande, les impulsions modulées sont connectées au réseau de codeurs FBGs. Dans un premier temps, ces impulsions sont codées avec le premier FBG selon

un mot de code binaire attribué à chaque utilisateur tandis que les autres longueurs d'onde indésirables sont réfléchies. Deuxièmement, en raison du retard aller-retour des différentes composantes spectrales causé par le premier FBG, un deuxième FBG est appliqué pour compenser ces retards, après codage spectral, les impulsions sont combinées et envoyées via le canal au récepteur. Au niveau du récepteur, le décodage s'effectue en reconfigurant le réseau de Bragg de la même manière que l'émetteur selon le code utilisé précédemment, après cela, les impulsions décodées sont détectées et converties dans le domaine électrique à l'aide d'un photo-détecteur (PD). Enfin, un filtre est utilisé pour récupérer des informations utiles pour chaque abonné avec précision tant que l'impulsion originale codée spectralement conserve son énergie la plus élevée.

## 9. Technique de détection spectrale directe

La technique de détection spectrale directe (SDD) est utilisée surtout dans les codes qui n'interfèrent pas entre eux, ce qui indique que l'effet de MAI produit par le bruit PIIN est totalement absent. La technique SDD réduit la complexité du système au niveau du récepteur par rapport aux techniques précédentes en utilisant un seul photo-détecteur (SPD) pour détecter les données souhaitées pour chaque utilisateur. De plus, cette technique est plus efficace ce qui conduit à de meilleures performances du système en termes de SNR et BER.



**Figure I.20** Principe de base de la détection spectrale directe [8]

L'impulsion reçue par le récepteur est divisée en différentes versions et chaque version est décodée à l'aide de la même signature attribuée à chaque utilisateur au niveau de l'émetteur, puis l'impulsion décodée est détectée directement spectralement via un seul photo-détecteur

(PD) comme montre La Figure I.20. La technique de détection directe est exprimée comme suit [8]:

$$SDD_{XY}(K) = \sum_{i=0}^{L-1} X_i Y_{i+k} = 0 \quad (\text{I.2})$$

Le **Tableau I.1** montre une application numérique de la technique de détection spectrale directe

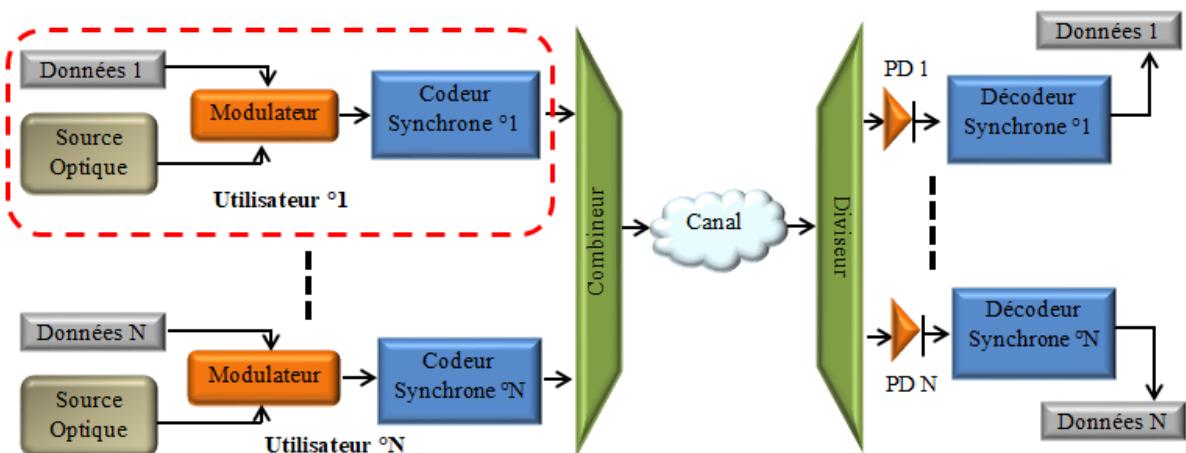
|                           | $\lambda_1$ | $\lambda_2$ | $\lambda_3$ | $\lambda_4$ |     |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| <b>séquence de code X</b> | 1           | 1           | 0           | 0           |     |
| <b>séquence de code Y</b> | 0           | 0           | 1           | 1           |     |
| <b>X.Y</b>                | 0           | 0           | 0           | 0           | = 0 |
| <b>SDD<sub>XY</sub></b>   |             |             |             | 0           |     |

**Tableau I.1** Exemple de détection spectrale directe

## 10. Mode de transmission dans OCDMA

### 10.1. Système OCDMA synchrone

Dans les systèmes OCDMA synchrones (S-OCDMA), les utilisateurs envoient leurs informations avec une coordination spécifique entre eux pendant le temps de transmission avec une précision de synchronisation bien définie qui conduit à la nécessité d'utiliser des dispositifs de synchronisation (Figure I.21) [22].

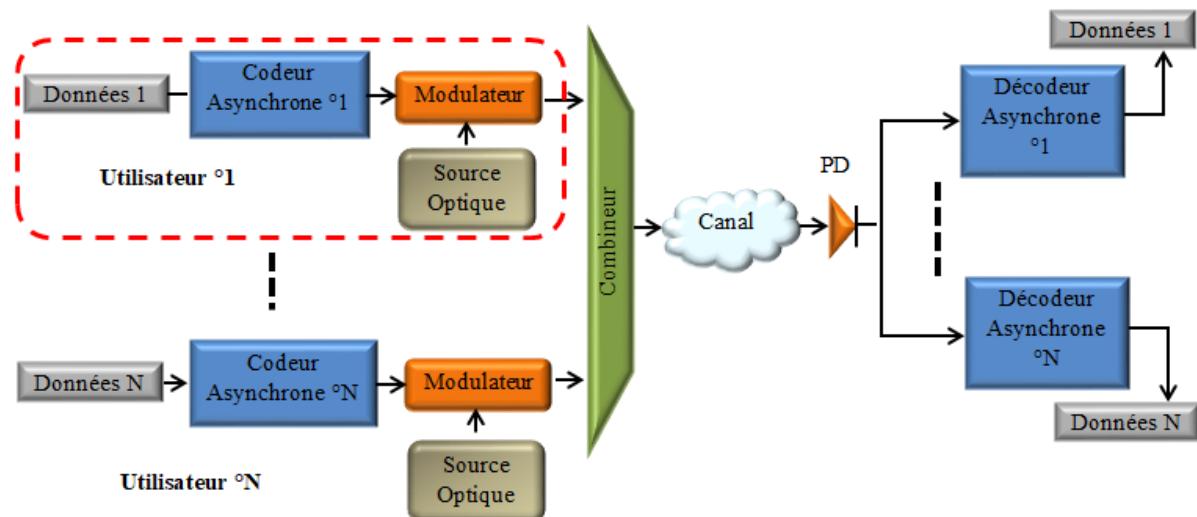


**Figure I.21** Schéma typique d'un système OCDMA synchrone [8]

Par conséquent, la complexité du système devient très complexe et coûteuse. De plus, comme le récepteur n'examine la sortie du corrélateur qu'à un instant de l'intervalle chip, cela induit des compromis entre l'effet de MAI, l'intervalle de codage et la longueur de code. Malgré cela, ces systèmes imposent divers avantages tels que : les utilisateurs accèdent simultanément au réseau, une plus grande capacité en termes de nombre d'utilisateurs disponibles, les systèmes S-OCDMA sont largement utilisables dans différents réseaux tels que les réseaux optiques passifs (PON), la fibre jusqu'au domicile (FTTH), ...,etc.

## 10.2. Système OCDMA asynchrone

Les systèmes OCDMA asynchrones permettent à chaque utilisateur de transmettre ses informations au récepteur à tout moment sans avoir besoin d'une coordination préalable des autres utilisateurs, cela signifie s'affranchir des dispositifs de synchronisation, ce qui rend le système facile à mettre en œuvre (Figure I.22). De plus, les systèmes A-OCDMA souffrent d'une faible capacité de multiplexage en termes de nombre d'utilisateurs disponibles, cependant, cela ne l'empêche pas de trouver des solutions pour augmenter leur capacité en implémentant des codes avec des extensions 2D et 3D [22].

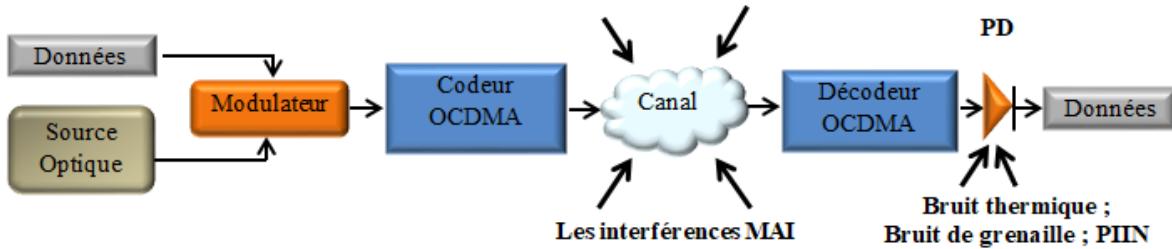


**Figure I.22** Architecture de système OCDMA asynchrone typique [8]

## 11. Bruits dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents

Comme la plupart des systèmes, les systèmes OCDMA sont affectés par divers bruits qui peuvent créer des erreurs au niveau du récepteur qui introduisent une dégradation des

performances. En outre, le terme "bruit" est utilisé pour décrire tout signal indésirable qui tend à perturber la transmission et rend difficile l'évaluation de la qualité de transmission. Pour cela, Dans SAC-OCDMA, il existe quatre types de bruits, comme illustré à la Figure I.23.



**Figure I.23** Bruits affectant le système OCDMA [8]

### 11.1. Bruit thermique

Le bruit thermique (thermal noise) est aussi appelé "bruit de Nyquist", c'est un bruit additif dû à l'agitation thermique des charges électriques dans les éléments conducteurs comme les résistances [8]. Il a une distribution gaussienne lorsqu'il est considéré à grande échelle. De plus, étant donné le grand nombre de collisions par unité de temps de ces électrons le long du chemin aléatoire ainsi qu'à chaque température au-dessus du zéro absolu (0 Kelvin), ses itinéraires individuels ne sont pas prévisibles de manière déterministe. La densité spectrale de ce bruit est donnée par [8]:

$$DSP(f) = \frac{2K_b T_n}{R_L} \quad (I.3)$$

Par conséquent, la variance du bruit thermique est déduite de l'équation I.3 comme suit [8]:

$$\langle \sigma_{Th}^2 \rangle = 2 \int_0^B DSP(f) df = \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (I.4)$$

Où  $K_b$  : la constante de Boltzmann (J/s) ;  $T_n$  : la température en kelvin (K) ;  $B$ : la bande passante électrique (Hz) ;  $R_L$  : la résistance de charge ( $\Omega$ )

## 11.2. Bruit de grenaille

Le bruit de grenaille (shot noise) est aussi appelé "bruit quantique", il provient des fluctuations quantiques aléatoires de la lumière produites par le processus de détection au niveau du photo-détecteur (PD). Le bruit de grenaille peut être donné par [8]:

$$\langle \sigma_{Sh} \rangle = 2eBI \quad (\text{I.5})$$

Où " $e$  (C)" indique la charge électronique et " $I$  (A)" indique le photo-courant moyen à la sortie du photo-détecteur.

## 11.3. Bruit d'intensité induit par la phase

Ce bruit apparaît en sortie du photo-détecteur lors de la combinaison de plusieurs signaux optiques et surtout dans le cas où les codes spectraux interfèrent entre eux, c'est le principal facteur affectant les performances du système SAC-OCDMA notamment la réduction de la SNR et l'augmentation du BER. Au niveau du photo-détecteur (PD), ce bruit est complètement annulé avec succès si les codes d'inter-corrélation nuls sont utilisés ou en utilisant d'autres méthodes de détection qui ont été discutées précédemment. Cependant, ces dernières solutions ne permettent pas d'annuler totalement ce bruit car il ne s'agit pas d'un bruit additif. La variance du bruit PIIN s'exprime comme suit [8]:

$$\langle \sigma_{PIIN} \rangle = BI^2\tau_c \quad (\text{I.6})$$

Où  $\tau_c$  désigne le temps de cohérence de la source

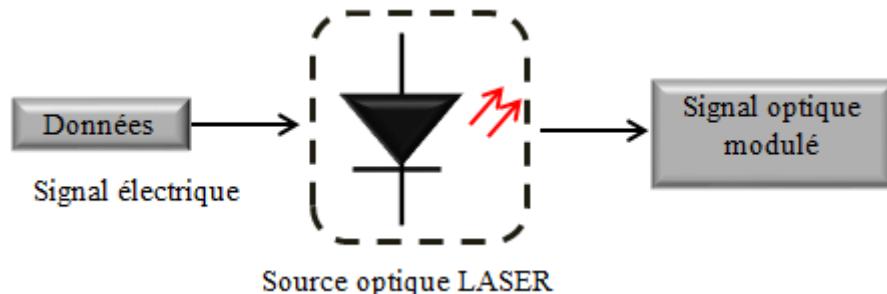
## 11.4. L'interférence d'accès multiple

L'interférence d'accès multiple (MAI) se produit lorsque des utilisateurs simultanés partagent leurs informations dans le même spectre optique, ce qui devrait corrompre les données appartenant à chaque utilisateur au niveau du récepteur lors de la propagation à travers le canal, générant ainsi du bruit PIIN [8].

## 12. Modulation optique

L'objectif principal de la modulation est d'adapter le spectre du signal optique au canal physique en faisant varier une ou plusieurs propriétés du signal, notamment l'amplitude, la phase et la fréquence. Il existe deux catégories [23]:

### 12.1. Modulation directe

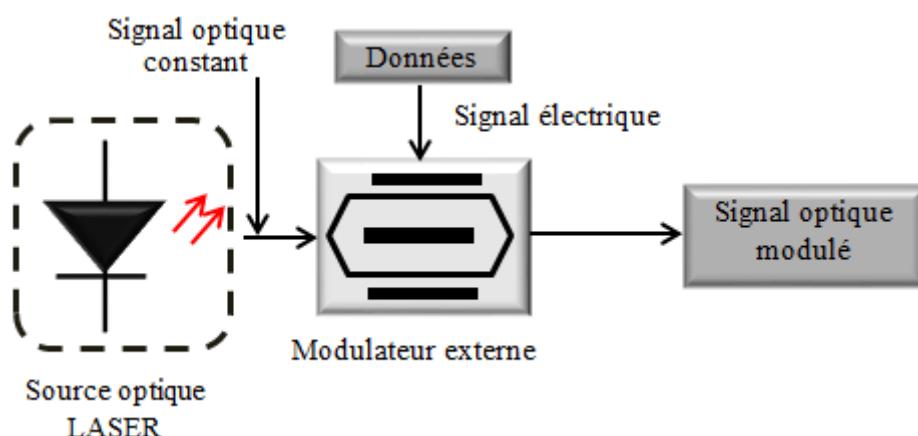


**Figure I.24** Modulation directe [8]

En modulation directe, le signal électrique injecté à l'entrée du modulateur est modulé directement par modulation d'intensité lumineuse, où l'amplitude du signal optique modulé sortant du modulateur suit la variation du signal injecté comme le montre la Figure I.24.

### 12.2. Modulation externe

Dans ce cas de modulation, le signal électrique que l'on souhaite moduler est modulé par un signal optique constant fourni par la source optique à l'aide d'un modulateur externe. Le schéma de principe de la modulation externe est illustré à la Figure I.25.



**Figure I.25** Modulation externe [8]

### **13. Conclusion**

Dans ce chapitre, un aperçu des technologies d'accès multiples est décrit, en particulier, OCDMA est une technologie très populaire auprès de nombreux chercheurs en raison des nombreux avantages qu'elle offre, tels que sa flexibilité dans l'ajout d'autres utilisateurs, et la simplicité de sa mise en œuvre sans oublier sa grande capacité de multiplexage.

Dans cet aperçu, diverses connaissances ont été détaillées notamment les types de codage, les catégories OCDMA, les différentes techniques de codage, les approches de codage SAC-OCDMA suivies de techniques de détection, les bruits qui affectent les signaux OCDMA en particulier le codage spectral, puis un brève explication des principes de base de la modulation optique numérique à la fin de ce chapitre.

## CHAPITRE II: Les Composants Optoélectroniques

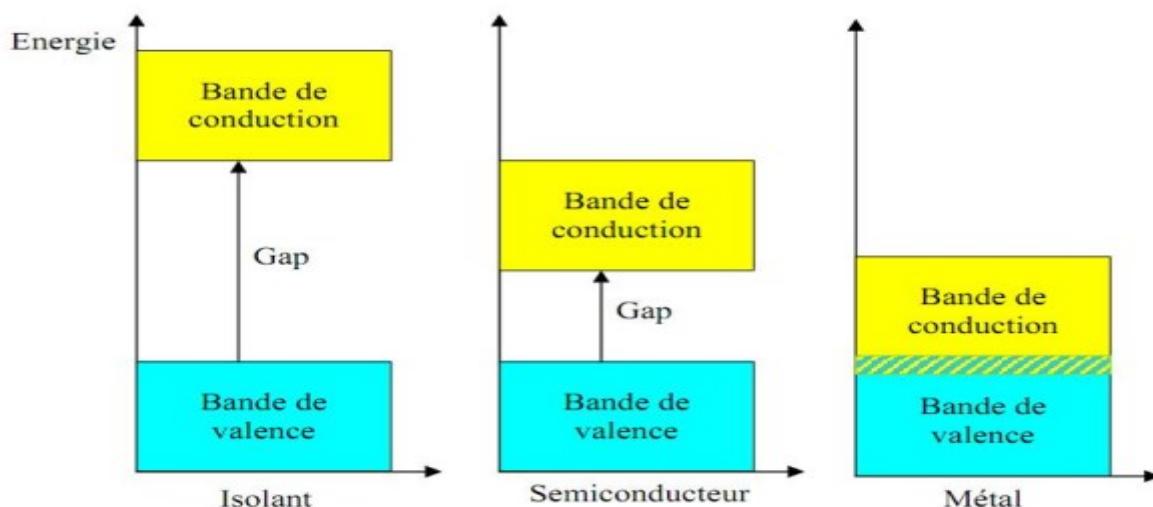
### 1. Introduction

L'optoélectronique est à la fois une branche de l'électronique et de la photonique. Elle concerne l'étude des composants électroniques qui émettent ou interagissent avec la lumière. La technologie de l'information et de communication est en évolution rapide grâce à l'industrie des semi-conducteurs et le domaine optoélectronique, qui touche les phénomènes optiques en relation avec les porteurs de charges généralement dans les semi-conducteurs et qui exploite essentiellement les phénomènes d'électroluminescence dans les semi-conducteurs pour les photoémetteurs et les phénomènes, en quelque sorte, inverses pour les photorécepteurs [24].

Ce chapitre vise à décrire certains composants d'émission et de réception de photons. Ces composants sont largement utilisés dans les communications optiques.

### 2. Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs, du point de vue des propriétés électriques il existe des matériaux : les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs, c'est la structure des bandes électroniques d'un matériau qui est responsable de son appartenance à l'une de ces trois catégories (Figure II.1), pour un conducteur, il y a continuité des bandes de valences et bandes de conductions (sans bande interdite) [25].



**Figure II.1** Structure de bande des trois catégories de matériaux [25]

A l'inverse il existe une bande interdite entre les bandes de conduction et les bandes de valence pour les isolants et les semi-conducteurs. Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité, intermédiaire entre celles des isolants et des conducteurs, varie sur plusieurs ordres de grandeur sous l'effet de : la température, l'éclairement, la présence d'impuretés (dopage). Beaucoup de semi-conducteur, comme le germanium (Ge), le silicium (Si), l'arséniure gallium (GaAs) sont utilisés en électronique. Mais le rôle du silicium est de loi prédominant [25].

En termes d'énergie, la différence entre la bande de valence et la bande de conduction est appelée un écart énergétique (Gap).

## 2.1. Différents types de semi-conducteurs

### 2.1.1. Semi-conducteur intrinsèque

On dit un semi-conducteur intrinsèque si le nombre d'électrons « n », dans la bande de conduction est égal au nombre de trous « p » dans la bande de valence,  $n=p$  [25].

### 2.1.2. Semi-conducteurs extrinsèque

On obtient un semi-conducteur extrinsèque ou dopé lorsqu'on peut modifier de façon considérable la concentration de porteurs de charge d'un semi-conducteur intrinsèque en lui ajoutant des faibles quantités d'atomes astucieusement choisis et que l'on appelle impuretés. Ces dernières ont une valence différente de celle des atomes dans le semi-conducteur à l'état pur [25].

## 3. Gap direct et indirect

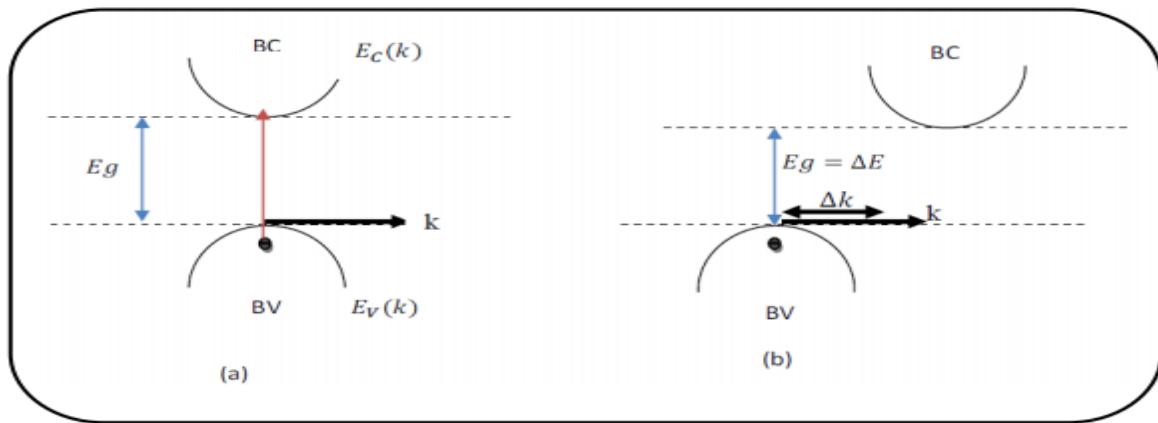
### 3.1. Gap direct

Un semi-conducteur est à gap direct si le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande conduction peuvent correspondre au même vecteur d'onde  $k$  voir (Figure II.2.a).

### 3.2. Gap indirect

Un semi-conducteur est à gap indirect si le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction ne correspondent pas au même vecteur d'onde  $k$  voir la (Figure II.2.b). La distinction entre les semi-conducteurs à gap direct et indirect est très importante

notamment dans les processus radiatifs. Les processus d'absorption ou d'émission sont considérablement plus importants dans les semi-conducteurs à gap direct que dans les semi-conducteurs à gap indirect.

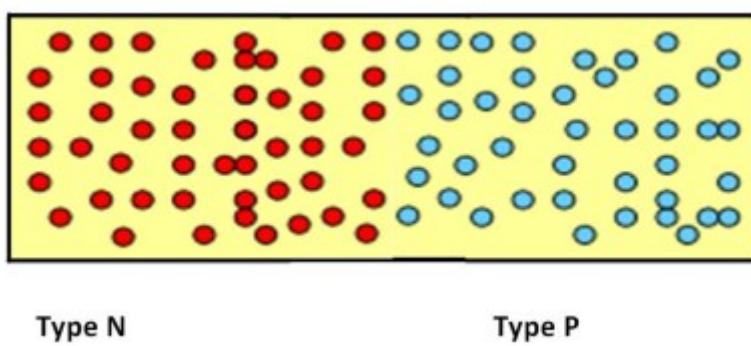


**Figure II.2** (a) semi-conducteur à gap direct, (b) semi-conducteur à gap indirect [24]

#### 4. Jonction PN

##### 4.1. Formation de la jonction PN

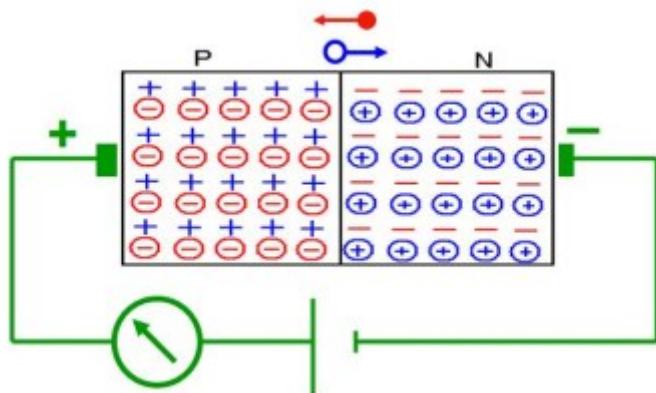
La diode à jonction PN est un composant électronique extrêmement utile et répandu, principalement parce qu'il peut redresser une tension. Une jonction PN est l'accrolement d'une région dopée *P* et d'une région dopée *N* comme le montre sur la figure. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition [25].



**Figure II.3** Principe de la création d'une jonction PN [25]

#### 4.2. Polarisation de la jonction en direct

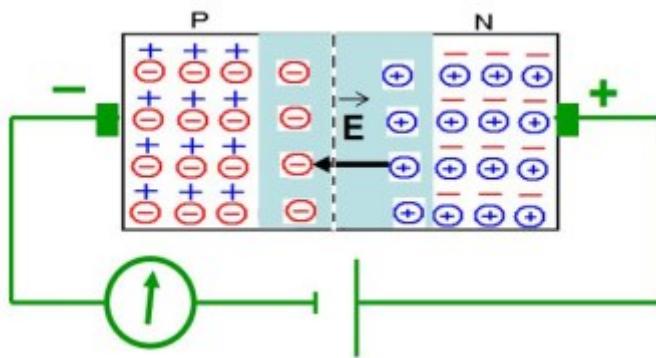
Si on polarise la jonction sous une tension  $V_{direct}$ , elle réduit la hauteur de barrière qui devient  $(V_d - V_{direct})$  entraînant une diminution de l'épaisseur de la Z.C.E (Zone de Charge d'Espace). De nombreux électrons de la région N et de trous de la région P peuvent alors franchir cette barrière de potentiel, et se présentant alors dans un “milieu hostile” (P pour électrons et N pour les trous), ils sont recombinés. Cette recombinaison consomme près de la Z.C.E des trous dans la région P (des électrons dans la région N). Pour rétablir l'équilibre, les trous de la région neutre P se mettent en mouvement vers la zone où se produit la recombinaison (déficit en trous). Les électrons de la région neutre N sont soumis à un phénomène analogue [25].



**Figure II.4** Jonction PN polarisée en direct [25]

#### 4.3. Polarisation de la jonction en inverse

Si on polarise la jonction en sens inverse la hauteur de barrière de potentiel entre les régions P et N est renforcée par la tension extérieure appliquée et devient  $V_d + V_{inverse}$ . Le champ électrique dans la zone de charge d'espace augmente ainsi que son étendue. Les porteurs majoritaires des régions N et P n'ont pas l'énergie nécessaire pour sauter cette barrière de potentiel. La jonction est alors traversée par le très faible courant de saturation  $I_S$ . Ce courant issu du phénomène d'ionisation thermique du silicium, dépend uniquement de la température.



**Figure II.5** Jonction PN polarisée en inverse [25]

## 5. Absorption et émission d'un photon

L'interaction du rayonnement avec les électrons d'un semi-conducteur se manifeste selon trois processus (Figure II.6) [25].

### 5.1. Absorption

Lorsque le photon absorbé provoque un saut d'électron d'un état occupé de la bande de valence vers un état vide de la bande conduction, on dit qu'il y a absorption.

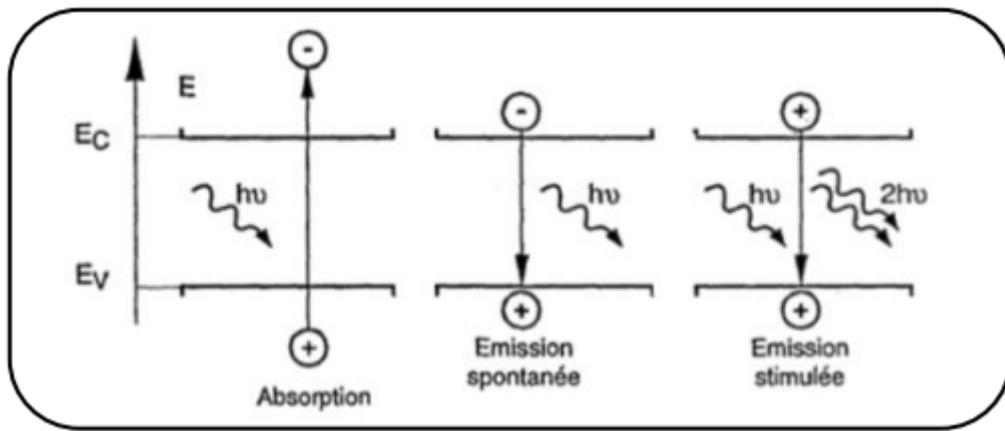
### 5.2. Emission spontanée

Lorsqu'un électron de la bande de conduction retombe spontanément sur un état vide de la bande de valence, il y'a émission spontanée. Radiative d'une paire électron-trou.

### 5.3. Emission stimulée

Le photon absorbé induit la transition d'un électron de la bande de conduction vers un, état vide de bande de valence avec émission d'un photon cela induit à la recombinaison radiative d'une paire électron-trou.

Le photon émis a même phase et même direction que le photon incident ; l'émission est dite stimulée.



**Figure II.6** Interaction rayonnement - semi-conducteur [25]

## 6. Les composants d'émission des photons

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 (LED) et les diodes lasers [25].

### 6.1. Diode électroluminescente – LED

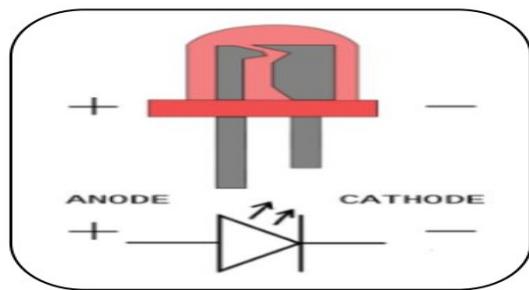
#### 6.1.1. Définition

Une Diode électroluminescente LED (light-emitting diode) est un dispositif issu de la technologie des semi-conducteurs, qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique la traverse. La diode produit une lumière quasi monochrome. La longueur d'onde donnée dépend du semi-conducteur utilisé [25].

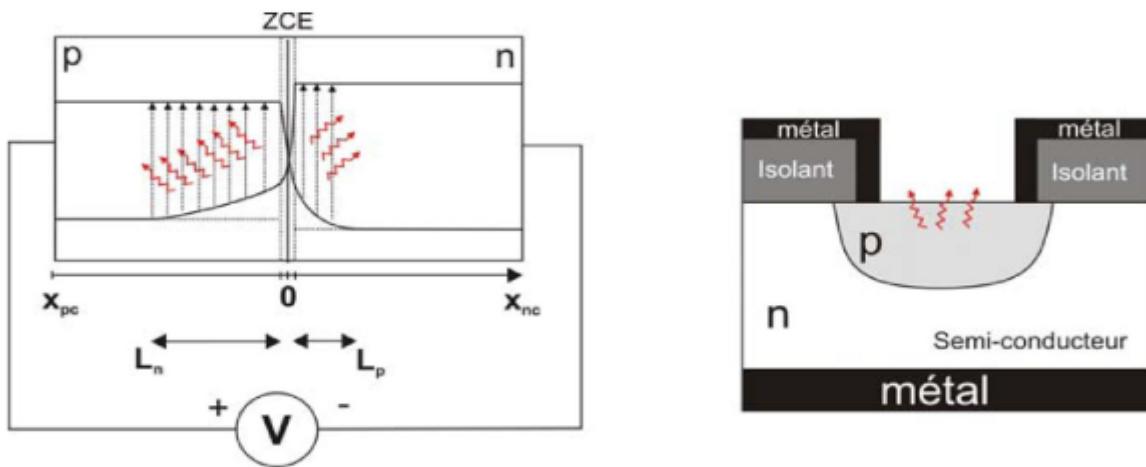
Les LEDs consomment très peu d'énergie, elles ont une durée de vie importante par rapport aux sources de lumière ordinaires.

### 6.1.2. Principe de fonctionnement

Une LED (light emitting diode) est encore une fois constituée par une jonction PN polarisée en direct. En effet nous avons vu au chapitre I que sous polarisation positive, la barrière de potentiel s'abaisse. Par conséquent, le courant de diffusion des porteurs majoritaires de chaque côté de la barrière vers la zone opposée augmente. Cette augmentation du courant de diffusion déséquilibre le système et aboutit à une croissance de la population des porteurs minoritaire dans chaque zone, donc la probabilité de recombinaison radiative n'est plus négligeable et des photons sont produites par la jonction, ces recombinations peuvent être radiatives ou non. Ce qui nous intéresse dans le cas de la LED c'est de favoriser les recombinations radiatives. Des semi-conducteurs à gap direct sont généralement utilisés pour fabriquer des LED [24].

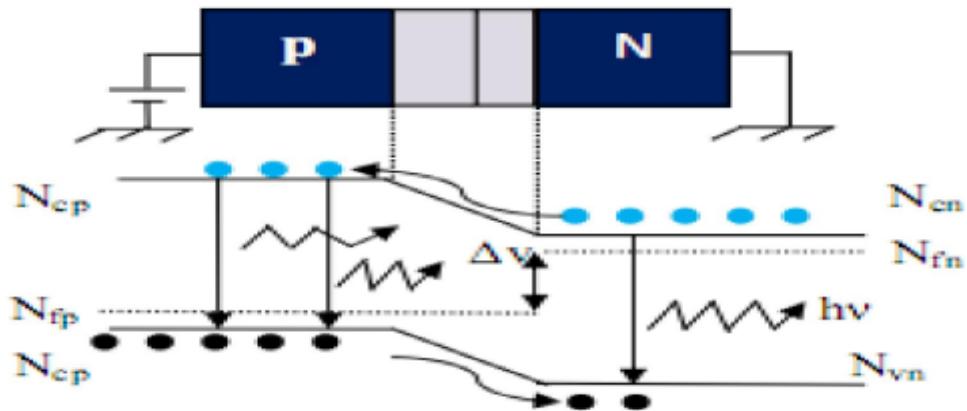


**Figure II.7** Schéma simplifié d'une LED [25]



**Figure II.8** Structure d'une jonction LED [25]

Dans le cas d'une LED, la jonction PN est fortement polarisée ce qui signifie que la Zone de Charge d'Espace (ZCE) est très fine. De plus, la jonction PN est telle que les porteurs minoritaires ne diffusent pas jusqu'au contact, ils se recombinent en totalité avant.



**Figure II.9** Principe de fonctionnement d'une LED [25]

Enfin, les électrons étant plus mobiles que les trous, la pénétration des électrons dans la zone « n » est plus importante que la pénétration des trous dans la zone « p » (figure) et le courant d'électrons est nettement plus important que le courant de trou.

L'émission d'une LED est dite spontanée, c'est-à-dire que ce type d'émission met en jeu uniquement la recombinaison d'un électron et d'un trou. Il existe plusieurs types de Jonctions LED telles que: les LEDs à homojonction, les LED à hétérojonction et les LEDs à puits quantique.

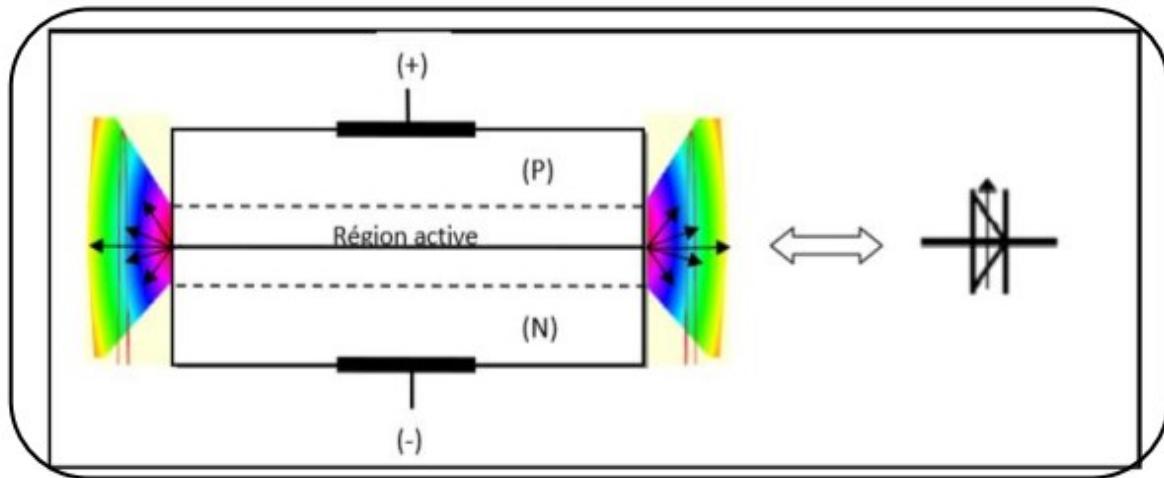
### 6.1.3. Utilisation des LEDs

- Visualisation d'information
- Transmission d'informations
- Eclairage
- Véhicules
- Téléviseurs et téléphones mobiles
- Confort et décoration
- En biologie

## 6.2. Diode LASER

### 6.2.1. Définition

Le mot LASER est un acronyme: L (Lumière) A (Amplificateur) S (Stimulation) E (Emission) R (Radiation): c'est à dire Amplification de Lumière par Emission Stimulée de Rayonnement [25].



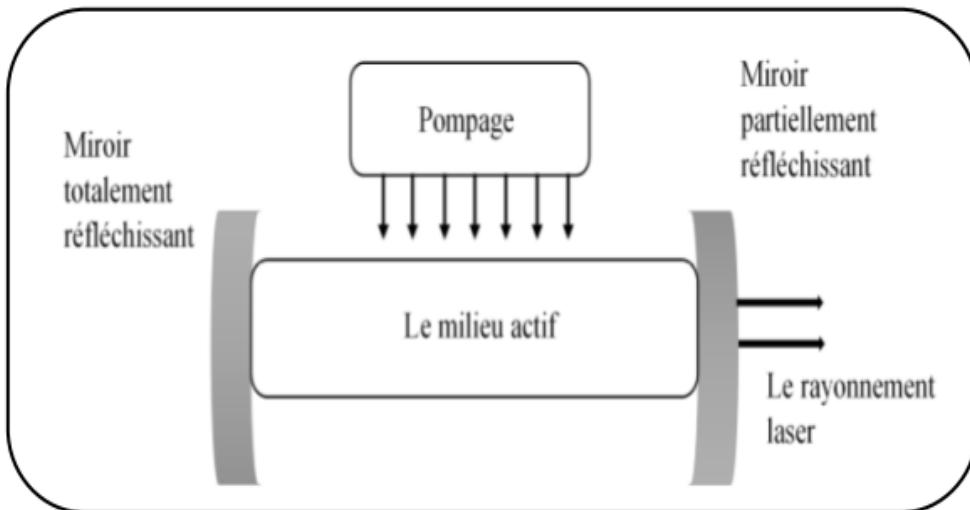
**Figure II.10** La diode LASER [24]

Une diode laser est un dispositif optoélectronique qui produit un faisceau de lumière cohérent créé par les phénomènes d'émission stimulée et de recombinaison radiative des porteurs de charge dans la zone active dans laquelle l'inversion de population est créée par injection de courant : la lumière confinée au sein de la zone active est amplifiée.

La structure du laser est celle d'une diode électroluminescente, mais dont les régions de types n et p sont dégénérées. La région de type p est très dopée pour qu'à l'équilibre, le niveau de Fermi soit dans la bande de valence. La région de type n est très dopée pour que la densité d'électrons injectés dans la région de type p sous l'action de la tension de polarisation, soit telle que le pseudo-niveau de Fermi des électrons  $E_{Fc}$  soit dans la bande de conduction. Une diode laser est constituée typiquement de trois couches, qui forment un guide d'onde. Les deux couches externes de type AlG<sub>a</sub>A<sub>s</sub>, appelées couches Barrières, assurent un confinement électronique et optique à la verticale de la couche active où l'effet LASER se produit [25].

### 6.2.2. Principe de fonctionnement

Le principe consiste à exciter les électrons d'atomes avec une source externe. Ces électrons vont à leur retour en orbite stable émettre un faisceau de lumière cohérente monochrome ce dernier appeler faisceau laser, le laser compose de trois éléments fondamentaux qui sont le milieu actif, le système de pompage et la cavité résonnante. Un system laser peut être schématisé de la façon suivante :



**Figure II.11** Schéma d'un système LASER [25]

### 6.2.3. Caractéristique de la lumière LASER

Les caractéristiques d'un faisceau laser sont [25]:

- **D'une seule couleur** : On dit qu'elle est monochromatique, contrairement à la lumière émise par le soleil ou par une ampoule à incandescence qui est poly chromatique (constituée de plusieurs longueurs d'onde), il existe de nombreux types de lasers de couleurs différentes.
- **Unidirectionnelle** : Toutes les ondes lumineuses se déplacent dans la même direction et forment un faisceau de lumière étroit, non divergent Cependant, il peut y avoir une divergence de 1 degré d'arc provoquée par la diffraction lorsque le faisceau se propage dans un milieu, ainsi, le diamètre du faisceau peut augmenter jusqu'à 1mm par mètre parcouru.
- **Cohérent** : Le faisceau laser est ordonné dans le temps et dans l'espace. Ainsi, chaque photon qui la compose oscille en même temps de la même manière. La directivité de la lumière laser est d'ailleurs une conséquence de sa cohérence.

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

#### 6.2.4. Les applications de LASER

- Applications de soudage
- Applications médicales
- Métrologie
- Stockage de données

### 7. Composants de détection de photons

Le but du récepteur est de restituer de façon fidèle l'information, il doit extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu.

Dans notre étude nous allons parler des photos détecteurs, les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique qui sont les photodiodes PIN (positive-intrinsic-negative) ou APD (Avalanche photo diode) [25].

### 8. Photo détecteur

La photo détecteur est un semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse il permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique [25].

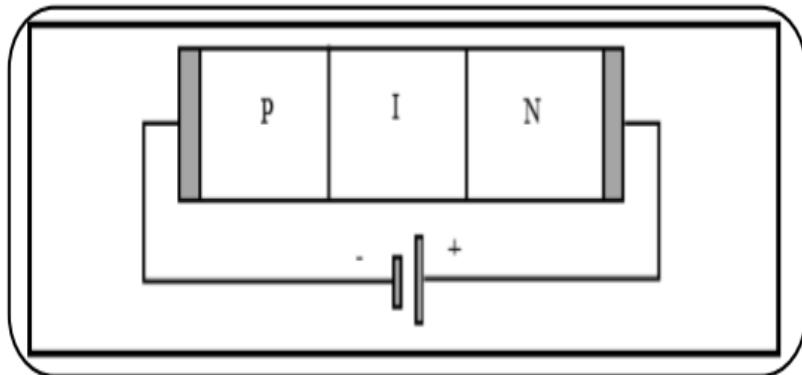
Les photodiodes peuvent être classées en deux catégories : celles qui n'ont aucun gain interne PN et PIN, et celles qui ont un gain interne APD.



**Figure II.12** Un récepteur optique (photo détecteur) [24]

## 8.1. La photodiode PIN

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante.



**Figure II.13** Photo diode PIN [24]

### 8.1.1. Avantages de la photodiode PIN

- Large bande passante.
- Haute efficacité quantique.
- Vitesse de réponse élevée.

## 8.2. La photodiode APD

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal à bruit [26].

Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiodes, comme les photodiodes à gain interne de type avalanche [25].

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie [25].

Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisés grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte [24].

### 9. Comparaison entre les photodiodes PIN et APD

Une comparaison entre leurs performances est présentée dans le Tableau ci-dessous:

| Caractéristiques           | Types de photodiode |              | Photodiode |
|----------------------------|---------------------|--------------|------------|
|                            | PIN                 | APD          |            |
| Tension de commande (V)    | Faible              | Elevé        |            |
| Fréquence de coupure (GHz) | >60                 | Quelques     |            |
| Rendement quantique (%)    | Faible              | Elevé        |            |
| Bande passante (GHz)       | Large               | Faible       |            |
| Longueur d'onde (nm)       | 1300 et 1550        | 1300 et 1550 |            |

**Tableau II.1** Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et APD [34]

## **10. Conclusion**

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté des généralités sur les semi-conducteurs qui se comportent en fonction de la population d'électrons et de trous dans chacune des bandes de conduction et de valence. Nous avons également étudié les composants optoélectroniques d'un émetteur et d'un récepteur, leurs caractéristiques et leurs applications.

**CHAPITRE III: L'effet Des Composants PIN et APD sur Le Système Proposé****1. Introduction**

La principale caractéristique qui distingue l'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA) des autres techniques d'accès multiple est l'utilisation de codes orthogonaux pour permettre à plusieurs utilisateurs d'autoriser la même plage spectrale qui se chevauche sans interférer les uns avec les autres [27]. Dans le système OCDMA, en raison du chevauchement des spectres de différents utilisateurs, le bruit d'intensité induit par phase (PIIN) est étroitement lié à l'interférence d'accès multiple (MAI). Le MAI peut être supprimé par un système de détection d'équilibre, mais le PIIN provenant de l'émission spontanée d'une source à large bande demeure intégralement. Pour cette raison, les chercheurs veillent à développer un mot de code dans lequel l'effet du MAI et du PIIN sur la puissance totale reçue est réduit [28].

Les avantages des systèmes OCDMA sont que la minimisation de l'inter corrélation réduit une valeur moindre. Cependant, les avantages des codes sans inter corrélation sont moins de bruit, ce qui réduit la complexité matérielle. De nombreuses recherches sont apparues dans la littérature pour étudier et analyser les performances des codes d'inter corrélation nulle [29].

Dans [30], les auteurs ont développé une nouvelle structure de code pour le système SAC-OCDMA avec inter corrélation nulle. Ils ont montré que le code d'inter corrélation nulle élimine le PIIN et améliore considérablement les performances du système. Le code proposé présente l'avantage de la flexibilité dans le choix du nombre d'utilisateurs et des poids.

Mohanad et al [31] ont proposé une nouvelle technique pour construire des codes d'inter corrélation nulle (ZCC). Pour surmonter les difficultés de sélection du poids du code tel qu'un poids W supérieur à un, le poids est toujours fixé au nombre maximum d'utilisateurs (c'est-à-dire la taille du code) que les auteurs ont construit un mot de code efficace.

Cherifi et al. [32] ont suggéré un code d'inter corrélation nul pour réduire l'impact de la déficience du système et du MAI dans le système d'accès multiple par répartition en code optique à codage d'amplitude spectrale. Ils ont montré que le système établi préserve non seulement la capacité de suppression du MAI, mais améliore également les performances en matière de taux d'erreur sur les bits par rapport aux codes conventionnels.

Récemment, K.S. Nisar [33] a construit un code d'inter corrélation nulle en utilisant un type de matrices de blocs de colonnes d'identité anti-diagonales. Le code d'inter corrélation nulle nouvellement construit a montré que le code a une longueur de code acceptable et ajuste plus d'utilisateurs que les autres codes OCDMA.

En communication optique, la puissance de la lumière entrante est détectée par le récepteur via des photo-détecteurs. En raison des effets photoélectriques, le photo-détecteur convertit l'énergie de l'impulsion lumineuse en courant électrique. Généralement, quatre types de photodiodes sont utilisés comme photodiode PIN, PN, métal-semi-conducteur-métal (MSM) et à avalanche (APD) [34]. Dans cette étude, seuls les photo-détecteurs PIN et APD sont utilisés en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent plus sensibles que les autres photodiodes. Un photo-détecteur PIN est une diode avec un semi-conducteur inné large et délicatement dopé situé entre un semi-conducteur de type p et une zone de semi-conducteur de type n, ce qui implique qu'il possède une couche supplémentaire de matériau inné entre les couches de type « p » et de type « n » cela lui donne quelques caractéristiques utiles. Cette couche caractéristique supplémentaire améliore les performances en augmentant le volume dans lequel le changement de lumière se produit.

Une photodiode à avalanche (APD) est un dispositif électronique à semi-conducteur caractérisé par une sensibilité élevée qui utilise l'effet photoélectrique pour échanger des signaux optiques en signaux électriques. Grâce à la multiplication des avalanches, les APD peuvent être des photo-détecteurs donnant une première phase de gain implicite. Les deux principaux avantages de l'utilisation de l'APD sont un gain interne inhibé et une grande réactivité avec un faible niveau de bruit. De plus, l'APD peut être utilisé pour des applications longue distance et sur de vastes zones [26].

Dans ce travail, une analyse des performances du système SAC-OCDMA utilisant un code d'inter corrélation nulle à poids variable (VWZCC : variable weight zero cross-correlation) est présentée en termes de divers critères. Deuxièmement, une étude comparative entre la photodiode APD et PIN est introduite dans le système 1D-OCDMA. La comparaison a été réalisée à l'aide du code 1D-VWZCC. Où les performances du système 1D-VWZCC sont analysées à l'aide de photodiodes APD et PIN théoriquement basées sur le nombre d'utilisateurs simultanés, la puissance reçue effective ( $P_{sr}$ ) et le taux de transmission des données. Les résultats de la simulation comprennent également l'évaluation du système sur la base d'un diagramme de l'œil à l'aide du logiciel Optisystem.

## 2. Code D'inter Corrélation Nulle À Poids Variable (VWZCC)

### 2.1. Construction du code 1D-VWZCC

Trois paramètres pour construire ce code sont le nombre d'utilisateurs ( $K$ ), le poids ( $W$ ), la longueur de code ( $L$ ), et l'inter-corrélation ( $\lambda_c$ ). Pour cela, la construction s'effectue en quatre étapes [28]:

#### Étape 1:

Tout d'abord, nous créons un vecteur  $V_c$  en fonction du poids et du nombre d'utilisateurs ( $W, K$ ), où le nombre de zéros est  $K - W$ .

$$V_c = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} W \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} K - W \quad (\text{III.1})$$

#### Étape 2:

En utilisant la propriété de décalage, une opération de décalage vertical à un seul bit est effectuée sur le vecteur  $V_c$  où le nombre d'opérations de décalage est égal à  $N_d = K - 1$

Par exemple,  $K = 3, W = 2$ , le nombre de décalages est égal à 2, donc on obtient trois vecteurs  $V_c$ .

$$V_{c1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, V_{c2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, V_{c3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

#### Étape 3:

Une nouvelle matrice [ $P$ ] peut être conçue à partir de  $V_{ci}$  donné comme :

$$P = [V_{ci}] = [V_{c1} \quad V_{c2} \quad \dots \quad \dots \quad V_{ck}] \quad (\text{III.3})$$

Où  $i = 1, \dots, K$

$$P = [V_{ci} \dots] = [V_{c1} \quad V_{c2} \quad V_{c3}] = \left[ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right]$$

Nous remarquons qu'il y a des chevauchements entre "uns (1s)", pour cela, une nouvelle méthode de sommation horizontale "H" est utilisée pour éliminer ces interférences. Il est donné comme suit :

$$H = \sum_{i=1}^C C_i \quad (\text{III.4})$$

$C_i$  est un bit binaire (0 ou 1) et  $C$  est la longueur du code.

Pour la matrice précédente  $[P]$  :

$$H_1 = \sum_{i=1}^3 C_i = 1 + 0 + 1 = 2, H_2 = \sum_{i=1}^3 C_i = 1 + 1 + 0 = 2, H_3 = \sum_{i=1}^3 C_i = 0 + 1 + 1 = 2$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{\substack{\rightarrow H_1 \\ \rightarrow H_2 \\ \rightarrow H_3}}$$

La valeur de  $H$  est égale à 2 pour tous les codes, et c'est la même valeur de poids  $W$ , donc on peut écrire  $H$  comme  $W$  :

$$P = \begin{bmatrix} \dots & H & \dots \\ \dots & H & \dots \\ \dots & H & \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & W & \dots \\ \dots & W & \dots \\ \dots & W & \dots \end{bmatrix}$$

Les positions des  $H$  dans  $[P]$  sont en diagonale et le reste est rempli de zéros. Par la suite, le résultat de  $[P]$  est divisé par la valeur de  $H$  afin d'obtenir la matrice identité de taille  $K \times K$  notée  $P_I$ :

$$P_I = \left[ \frac{P}{H} \right] = \left[ \frac{\begin{matrix} H & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 \\ 0 & 0 & H \end{matrix}}{H} \right] = \left[ \frac{H/H & 0 & 0}{0 & H/H & 0} \right] = \left[ \frac{1}{0} \quad \frac{0}{0} \quad \frac{0}{0} \right] \quad (\text{III.5})$$

$$P_I = \left[ \frac{P}{H} \right] = \left[ \frac{\begin{matrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{matrix}}{3} \right] = \left[ \frac{3/3 & 0 & 0}{0 & 3/3 & 0} \right] = \left[ \frac{1}{0} \quad \frac{0}{1} \quad \frac{0}{0} \right]_{K \times K}$$

#### Étape 4:

Auparavant, la matrice  $P_I$  a un poids égal à « 1 » pour chaque code, alors que le poids doit être égal à « 2 ». Pour cela, les sous-colonnes  $A_i$  de la matrice  $P_I$  sont régénérées plusieurs fois en fonction du poids demandé.

$$P_I = [A_i] = [A_1 \quad A_2 \quad \dots \quad \dots \quad A_k] \quad (\text{III.6})$$

$$P_I = \begin{bmatrix} [1] & [0] & [0] \\ [0] & [1] & [0] \\ [0] & [0] & [1] \end{bmatrix}_{K \times K} \quad (\text{III.7})$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, A_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Par conséquent, les sous-matrices notées  $X_i$  sont exprimées comme :

$$X_i = [(W)times[A_i]] \quad (\text{III.8})$$

Où  $i = 1, \dots, K$

$$X_1 = (W)times[A_1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, X_2 = (W)times[A_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, X_3 = (W)times[A_3] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Au dernier instant, un code unidimensionnel d'inter corrélation nulle à poids variable (VWZCC) est généré en fusionnant les sous-matrices résultantes  $X_i$ . Un exemple de 1D-VWZCC est présenté dans le Tableau III.1, pour  $K = 5$  et  $W = 2$ .

$$1D - VWZCC = [X_i] = [X_1 \dots \dots \dots X_K] \quad (\text{III.9})$$

$$1D - VWZCC = [X_i] = [(W)times[A_i]] = [(W)times[A_1] \dots \dots \dots (W)times[A_K]]$$

| mots de code spectraux  | 1D-VWZCC              |
|-------------------------|-----------------------|
| <b>Code<sub>1</sub></b> | [1 1 0 0 0 0 0 0 0 0] |
| <b>Code<sub>2</sub></b> | [0 0 1 1 0 0 0 0 0 0] |
| <b>Code<sub>3</sub></b> | [0 0 0 0 1 1 0 0 0 0] |
| <b>Code<sub>4</sub></b> | [0 0 0 0 0 0 1 1 0 0] |
| <b>Code<sub>5</sub></b> | [0 0 0 0 0 0 0 0 1 1] |

Tableau III.1 Code 1D-VWZCC lorsque  $K=5$  et  $W=2$

## 2.2. Propriété du code

La sélection correcte d'un code peut être déterminée en satisfaisant les deux conditions suivantes :

- a. L'autocorrélation ( $\lambda_a$ ) d'un code spectral doit être égale au poids du code (nombre de bits du "1" qui a construit le code) et de préférence rendu le plus grand possible.
- b. L'inter-corrélation ( $\lambda_c$ ) entre deux codes différents doit être très faible ou égale à zéro. Cette valeur d'inter corrélation garantit que chaque signature spectrale peut être

facilement distinguée de toute autre signature. De plus, cette fonctionnalité élimine totalement l'effet du bruit PIIN, ce qui conduit à la suppression des interférences d'accès multiples lors de la transmission de plusieurs utilisateurs.

Pour que ces deux critères puissent être traduits sous forme d'expression mathématique, la propriété du code 1D-VWZCC proposé peut donc être donnée comme suit :

$$\sum_{i=1}^L C_m(i)C_n(i) = \begin{cases} \lambda_a = W & Si \\ \lambda_c = 0 & autre \end{cases} \quad (III.10)$$

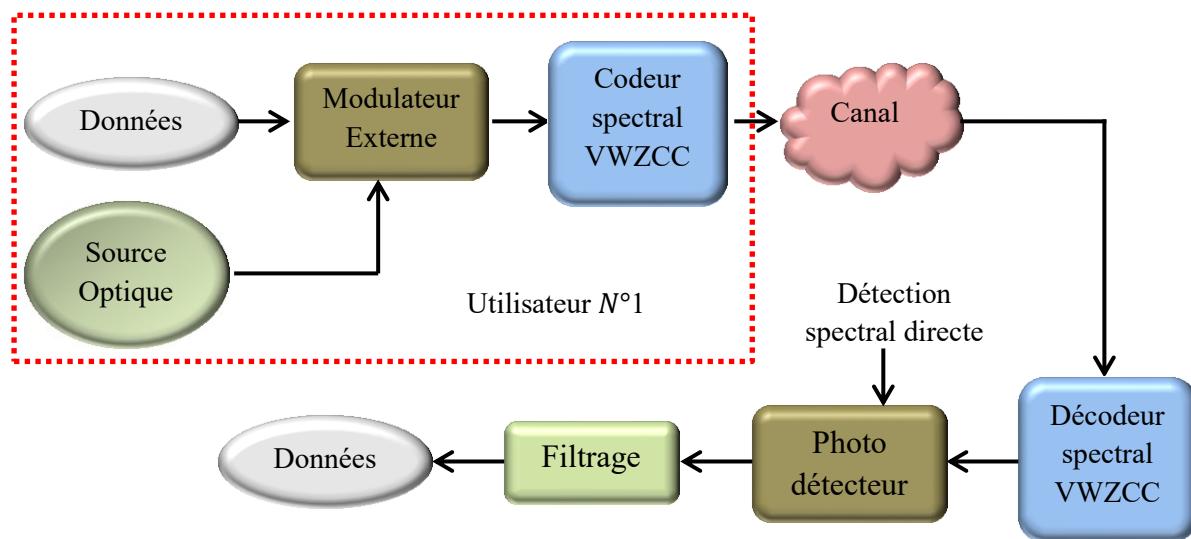
$C_m(i)$  indique au  $i^{\text{ème}}$  élément de la séquence de code VWZCC .  $C_m$  et  $C_n$  sont deux codes différents.  $L$  est la longueur du code spectral. La longueur de ce code est déterminée en fonction de la valeur du nombre d'utilisateurs  $K$ , du poids  $W$  et de la valeur de l'inter corrélation  $\lambda_c$ , il peut être défini comme suit :

$$L = K \times W - \lambda_c(K - 1) \quad (III.11)$$

Donc, l'équation (III.11) devient :

$$L = K \times W \quad (III.12)$$

### 3. L'architecture du système SAC-OCDMA-VWZCC



**Figure III.1** L'architecture du système proposé

La Figure III.1 décrit l'infrastructure de système incohérent OCDMA-VWZCC proposée pour un seul utilisateur. Les données produites par l'utilisateur sont d'abord modulées par une source optique à l'aide d'un modulateur externe, puis la sortie du modulateur est connectée à

un encodeur qui se configure à partir du code suggéré et implémente un codage spectral unidimensionnel (1D). Après cela, les impulsions codées sont envoyées via le canal optique au récepteur. Au niveau du récepteur, les signaux optiques reçus sont décodés à l'aide du même code utilisé ci-dessus, puis les signaux résultants sont détectés directement par une seule photo détecteur (PD) et convertis dans le domaine électrique en même temps. Enfin, les signaux électriques obtenus sont filtrés afin de conserver les données de l'utilisateur.

#### 4. Présentation Mathématique

Le système SAC-OCDMA proposé a été évalué à l'aide du facteur de taux d'erreur binaire (BER) et du rapport signal sur bruit (SNR) au niveau du signal reçu. Grâce à la technique de détection spectrale directe (DSD) employée dans ce système, notre système est affecté par deux types de bruits, le bruit thermique  $\langle I_{th}^2 \rangle$  et le bruit de grenaille  $\langle I_{Sh}^2 \rangle$  tandis que le bruit PIIN est totalement négligé en raison de la propriété (ZCC) du code VWZCC suggéré. Dans ce contexte, l'expression de (SNR) peut s'écrire comme suit [35]:

$$SNR_{1D-VWZCC} = \frac{\langle I_{1D-VWZCC}^2 \rangle}{\langle \sigma_{1D-VWZCC}^2 \rangle} \quad (\text{III.13})$$

Où  $I_{VWZCC}^2$  est le courant reçu et  $\sigma_{VWZCC}^2$  est la variance moyenne du bruit total à la sortie du photo-détecteur (PD). Par conséquent, le bruit total peut être exprimé comme suit [36]:

$$\langle \sigma_{1D-VWZCC}^2 \rangle = \langle I_{th}^2 \rangle + \langle I_{Sh}^2 \rangle \quad (\text{III.14})$$

Afin de simplifier l'analyse mathématique de notre système nous supposons ci-dessous [37]:

- 1) Tous les dispositifs spectraux de puissance ont des largeurs spectrales similaires.
- 2) Les utilisateurs au niveau du récepteur ont une puissance égale.
- 3) La source optique de chaque utilisateur est non polarisée et non variable pendant l'intervalle  $[\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}, \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}]$ , où  $\nu_0$  indique la fréquence centrale, et  $\Delta\nu$  est la bande passante optique de la source lumineuse.
- 4) Synchronisation des flux binaires de chaque émetteur.

#### 4.1. Calcul du SNR

Selon les quatre hypothèses ci-dessus, la densité spectrale de puissance (DSP) au niveau du récepteur peut s'écrire comme suit [38]:

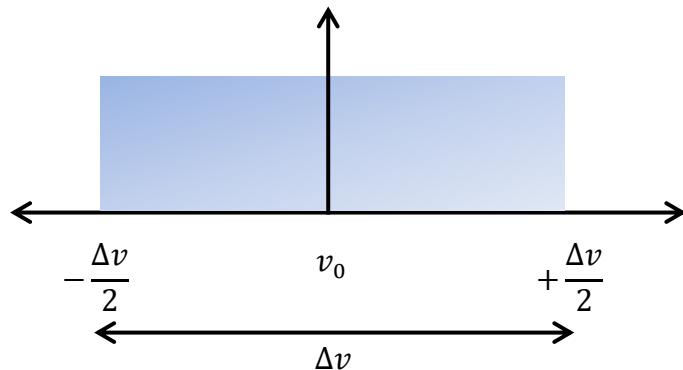
$$r(v) = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{k=1}^K d_k \sum_{i=1}^C C_m(i) C_n(i) \text{rect}(v, i) dv \quad (\text{III.15})$$

Où  $P_{sr}$  fait référence à la puissance effective de la source et  $L$  est la longueur du code VWZCC. De plus,  $\text{rect}(v, i)$  est une fonction échelon unitaire illustrée à la Figure III.2 et exprimée par [36]:

$$\begin{aligned} \text{rect}(v, i) dv &= \left\{ u \left[ v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i) \right] - \left[ v - v_0 - u \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i + 2) \right] \right\} \\ &= \left[ \frac{\Delta v}{L} \right] \end{aligned} \quad (\text{III.16})$$

Où

$$u(v) = \begin{cases} 1 & [0, +\infty[ \\ 0 & ]-\infty, 0[ \end{cases}$$



**Figure III.2** Représentation de la bande passante optique  $\Delta v$

$d_k$  est le flux binaire du  $K^{th}$  utilisateur (0 ou 1) il est donné par l'équation suivante où  $W$  est le poids du code.

$$\sum_{k=1}^K d_k = d_1 + d_2 + \cdots d_k = \frac{K \times W}{L} \quad (\text{III.17})$$

Selon les équations (III.10), (III.12), (III.16) et (III.17), on peut déduire la DSP en fonction de la puissance effective et des paramètres du code :

$$r(v) = \frac{P_{sr} W}{L} \quad (\text{III.18})$$

Par conséquent, le résultat de la photo courant  $I_{VWZCC}$  en sortie de la photo détecteur peut être donné par [39]:

$$I_{1D-VWZCC} = \Re \int_0^\infty r(v) dv \quad (\text{III.19})$$

En remplaçant chaque terme par son équation, on obtient :

$$I_{1D-VWZCC} = \Re \left( \frac{P_{sr}W}{L} \right) = \frac{\Re P_{sr}W}{L} \quad (\text{III.20})$$

$\Re$  est la réponse de la photo détecteur (PD) elle est donnée par [28]:

$$\Re = \frac{\eta \cdot e}{h \cdot v_0} \quad (\text{III.21})$$

Où  $\eta$  fait référence au rendement quantique,  $h$  est la constante de Planck

De plus, le bruit thermique et le bruit de grenaille sont exprimés par les équations ci-dessous [40]:

$$I_{th}^2 = \frac{4K_b T_n B_r}{R_l} \quad (\text{III.22})$$

$$I_{Sh}^2 = 2eB_r I_{1D-VWZCC} \quad (\text{III.23})$$

Par conséquent, l'expression du bruit total qui affecte le système devient :

$$\langle \sigma_{1D-VWZCC}^2 \rangle = \frac{4K_b T_n B_r}{R_l} + 2eB_r \frac{\Re P_{sr}W}{L} \quad (\text{III.24})$$

À partir des dérivations mathématiques obtenues ci-dessus, la formule du rapport signal sur bruit (SNR) de notre système est donnée par l'équation suivante, où la probabilité de transmission de (0 et 1) est équiprobable :

$$SNR_{1D-VWZCC} = \frac{I_{1D-VWZCC}^2}{\langle \sigma_{1D-VWZCC}^2 \rangle} = \frac{\left[ \frac{\Re P_{sr}W}{L} \right]^2}{\frac{4K_b T_n B_r}{R_l} + eB_r \frac{\Re P_{sr}W}{L}} \quad (\text{III.25})$$

#### 4.2. Calcul du BER

L'expression de (BER) peut être déduite de l'expression de (SNR) en utilisant l'approximation gaussienne, ainsi, le (BER) peut s'écrire [41]:

$$BER_{1D-VWZCC} = \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{SNR_{1D-VWZCC}}{8}} \quad (\text{III.26})$$

$$BER_{1D-VWZCC} = \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{1}{8} \times \left[ \frac{\left[ \frac{\Re P_{sr}W}{L} \right]^2}{\frac{4K_b T_n B_r}{R_l} + eB_r \frac{\Re P_{sr}W}{L}} \right]} \quad (\text{III.27})$$

Avec

$erfc(x)$  est une fonction d'erreur complémentaire donnée par :

$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2} dy \quad (\text{III.28})$$

#### 4.3. Calcul du facteur de qualité (Q)

Le facteur de qualité (Q) se déduit de l'expression de (BER), il s'écrit [42]:

$$Q_{1D-VWZCC} = 20 \log_{10} \left[ \frac{\sqrt{2}}{\operatorname{erfc}(2 \times \text{BER}_{1D-VWZCC})} \right] \quad (\text{III.29})$$

#### 4.4. Calcul SNR pour le photo-détecteur APD

En raison du gain inhérent de la photodiode APD, elle peut être considérée comme plus sensible que la photodiode PIN où le gain est le facteur d'amplification du signal au niveau du récepteur qui provoque l'augmentation du SNR du système. Par conséquent, les performances du système OCDMA peuvent être améliorées en utilisant la photodiode APD plutôt que la photodiode PIN. Basé sur la photodiode APD, le SNR du système 1D-VWZCC-OCDMA peut s'écrire comme suit [43]:

$$\text{SNR}_{1D-VWZCC/APD} = \frac{I^2_{1D-VWZCC}}{\langle \sigma_{1D-VWZCC}^2 \rangle} = \frac{\left[ \frac{\Re P_{Sr} G W}{L} \right]^2}{\frac{4 K_b T_n B_r}{R_l} + e B_r \frac{\Re P_{Sr} G^2 F_e W}{L}} \quad (\text{III.30})$$

#### 4.5. Calcul BER pour le photo-détecteur APD

L'expression de (BER) peut être déduite de l'expression de (SNR) en utilisant l'approximation gaussienne, ainsi, le (BER) peut s'écrire [43]:

$$\text{BER}_{1D-VWZCC/APD} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\text{SNR}_{1D-VWZCC/APD}}{8}} \quad (\text{III.31})$$

$$\text{BER}_{1D-VWZCC/APD} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{8} \times \left[ \frac{\left[ \frac{\Re P_{Sr} G W}{L} \right]^2}{\frac{4 K_b T_n B_r}{R_l} + e B_r \frac{\Re P_{Sr} G^2 F_e W}{L}} \right]} \quad (\text{III.32})$$

Où  $G$  est le gain interne, comme mentionné, et  $F_e$  représente les facteurs de bruit excédentaire de la photodiode APD.  $F_e$  est également appelé bruit supplémentaire et il est produit lors de l'amplification des avalanches. La relation entre  $G$  et  $F_e$  peut être exprimée comme indiqué dans l'équation (III.33), où  $K_{eff}$  est le rapport effectif de l'ensemble des coefficients d'ionisation [43].

$$F_e = K_{eff} G + (1 - K_{eff})(2 - \frac{1}{G}) \quad (\text{III.33})$$

Pour évaluer notre système proposé basé sur un code d'inter corrélation nulle à poids variable, trois paramètres principaux sont analysés : le taux d'erreur binaire (BER), le rapport signal sur bruit (SNR) et le facteur de qualité (Q) tout en prenant en compte le bruit thermique et bruit

de grenaille lors de la simulation où le bruit PIIN est totalement négligé grâce à la propriété ZCC du code VWZCC. Deuxièmement, nous étudions principalement l'impact des dispositifs optoélectroniques tels que les photo-détecteurs comme les diodes PIN et APD sur les performances des systèmes CDMA optiques en termes d'utilisateurs actifs, puissance de la source et de débit de données. À cet égard, notre système est comparé à divers systèmes précédemment simulés et rapportés tels que les codes Diagonal Eigenvalue Unity (DEU), Flexible Cross Correlation (FCC), Multi-service (MS) et Fixed Right Shift (FRS) dans [44],[45],[46],[47]. Pour cela, le Tableau III.2 présente les paramètres utilisés dans la simulation numérique.

| Paramètres                        | Symbole       | Valeur                     |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------|
| Réactivité du photo-détecteur     | $\mathcal{R}$ | 0.75                       |
| Débit de données                  | $R_b$         | 1Gbps                      |
| Bande passante électrique         | $B_r$         | $0.5 \times R_b$ GHz       |
| Résistance de charge du récepteur | $R_l$         | $1030\Omega$               |
| Longueur d'onde de fonctionnement | $\lambda_0$   | 1550 nm                    |
| Largeur spectrale de la lumière   | $\Delta v$    | 3.75 THz (30 nm)           |
| Puissance effective de la source  | $P_{sr}$      | -10 dBm                    |
| Température de bruit du récepteur | $T_n$         | 300 K                      |
| Charge électronique               | E             | $1.6 \times 10^{-19}$ c    |
| Constante de Boltzmann            | $K_b$         | $1.38 \times 10^{-23}$ J/K |
| Vitesse de la lumière             | c             | $3 \times 10^8$ m/s        |
| Gain moyen d'APD                  | G             | 1,3,5                      |
| Rapport d'ionisation efficace APD | $K_{eff}$     | 0.5                        |

**Table III.2** Les valeurs des paramètres utilisés dans le calcul numérique [34]

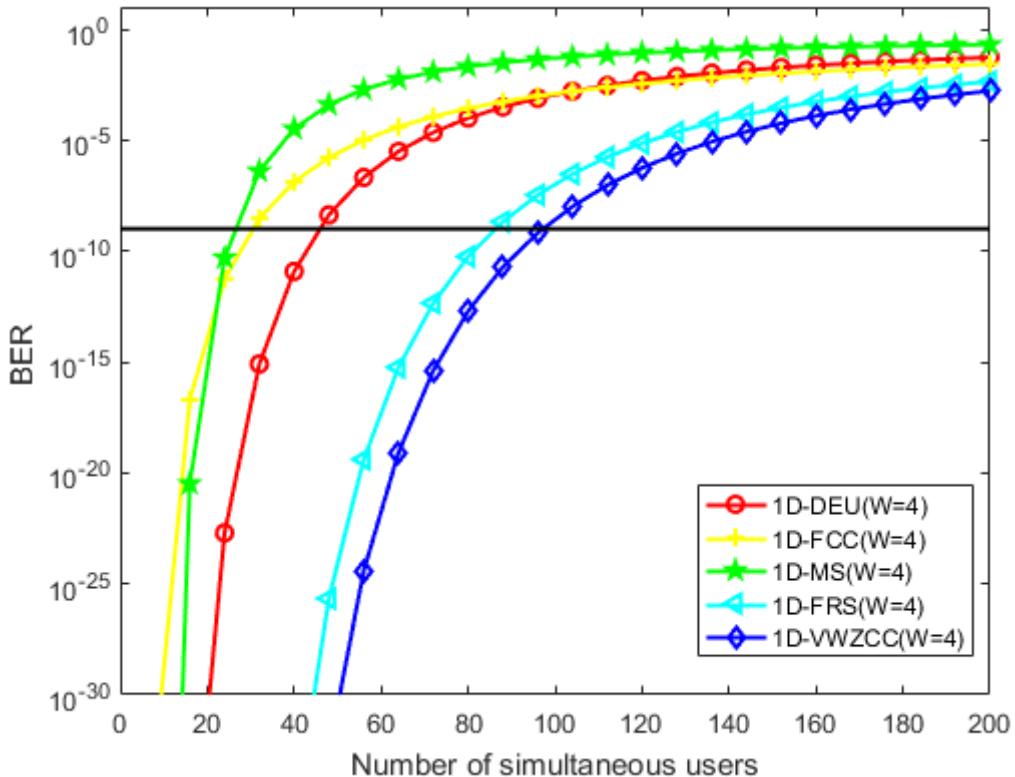
## 5. Résultats de simulation à l'aide du logiciel MATLAB

### 5.1. L'effet du photo-détecteur PIN sur les performances du système 1D-VWZCC/OCDMA

Lorsque la puissance effective de la source et le débit binaire sont respectivement de -10 dBm et 1 Gb/s et que tous les codes ont le même poids, la Figure III.3 représente le BER en fonction du nombre d'abonnés. Notre code 1D-VWZCC atteint 100 utilisateurs simultanés avec un BER admissible =  $10^{-9}$ , alors que les codes 1D-DEU, 1D-FCC, 1D-MS et 1D-FRS peuvent atteindre 46, 36, 30 et 83 utilisateurs, respectivement. Ainsi, la cardinalité augmente respectivement de 2.17 fois entre DEU et VWZCC, 2.77 fois entre FCC et VWZCC, 3.33 fois entre MS et VWZCC et de 1.2 fois entre FRS et VWZCC. La fonctionnalité ZCC de

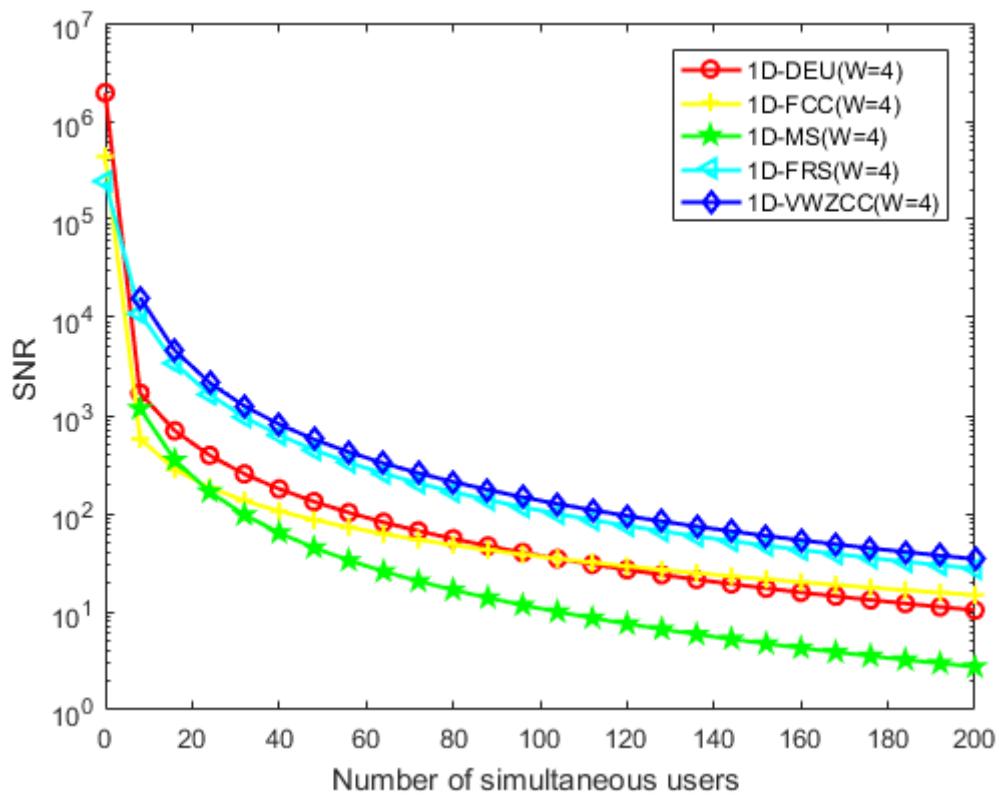
notre code explique cette efficacité, qui supprime les interférences d'accès multiples (MAI) et rend le système plus adapté à un grand nombre d'utilisateurs. En conséquence, la cardinalité de l'amélioration mesurée à l'aide de l'équation III.34 s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned}
 C_{VWZCC/DEU} & \frac{100 - 46}{46} \times 100 = 117.39 \% \\
 C_{VWZCC/FCC} & \frac{100 - 36}{36} \times 100 = 177.77 \% \\
 C_{VWZCC/MS} & \frac{100 - 30}{30} \times 100 = 233.33 \% \\
 C_{VWZCC/FRS} & \frac{100 - 83}{83} \times 100 = 20.48 \% \tag{III.34}
 \end{aligned}$$

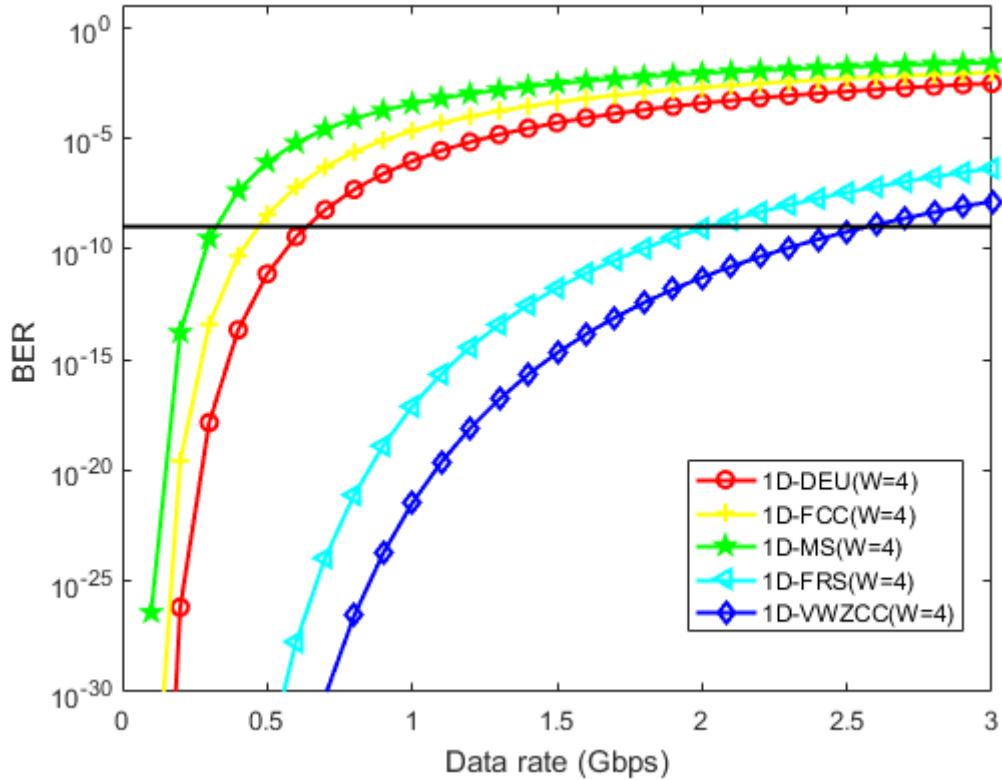


**Figure III.3** BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs

La Figure III.4 représente l'efficacité du SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs lorsque le débit de données est de 1 Gb/s et que le  $P_{sr}$  est de -10 dBm. Il est évident que le SNR est inversement proportionnel au nombre d'utilisateurs simultanés ; à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, le SNR diminue. La valeur SNR de notre code 1D-VWZCC est de 620 pour un nombre d'utilisateurs similaire équivalent à 100 utilisateurs. De plus, le SNR pour les systèmes 1D-DEU, 1D-FCC, 1D-MS et 1D-FRS peut atteindre 97, 96,44 et 422, respectivement. En conséquence, l'énorme différence de SNR est justifiée par l'attribut ZCC de notre code 1D-VWZCC et par une puissance de bruit plus faible au niveau du récepteur par rapport à la puissance du signal.

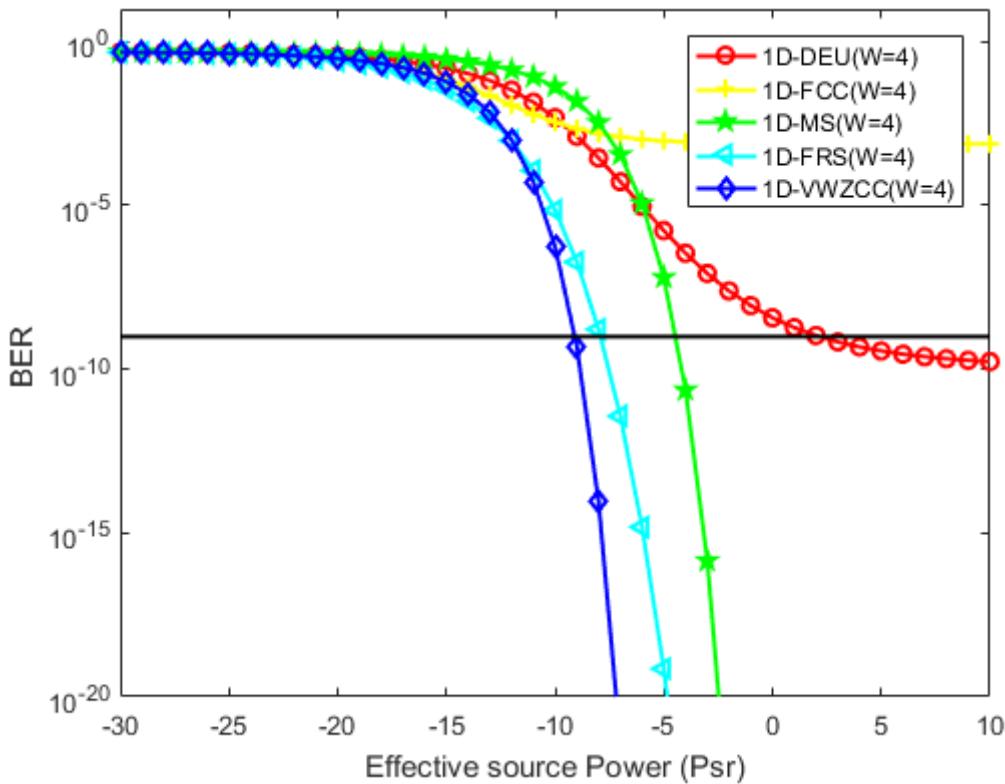


**Figure III.4.** SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs



**Figure III.5** Performances du BER par rapport au débit binaire

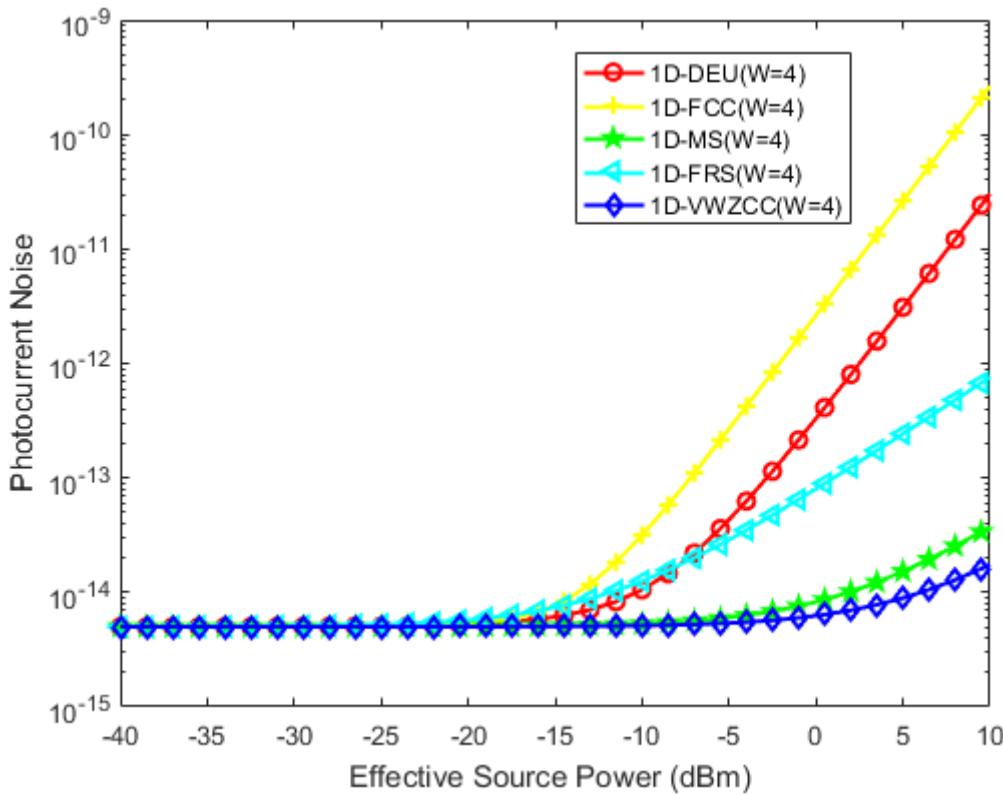
La Figure III.5 représente l'efficacité du BER en fonction du taux de donnée à une puissance d'émetteur de -10 dBm et 60 utilisateurs actifs. Comme observé, notre code 1D-VWZCC a une valeur BER inférieure à celle des autres codes ; il peut prendre en charge un excellent débit de données de 2,7 Gbit/s à une valeur BER suffisante, tandis que les autres codes DEU, FCC, MS et FRS peuvent prendre en charge des débits de données limités à 0.54 Gbit/s, 0.5 Gbit/s, 0.39 Gbit/s et 2 Gbit/s, respectivement. Malgré le taux de transmission élevé, notre système atteint de meilleurs niveaux d'efficacité grâce à une longueur réduite et à la facilité de construction et augmente les performances du système compte tenu des exigences des systèmes de communication optique.



**Figure III.6** Performances BER par rapport à la puissance effective de la source

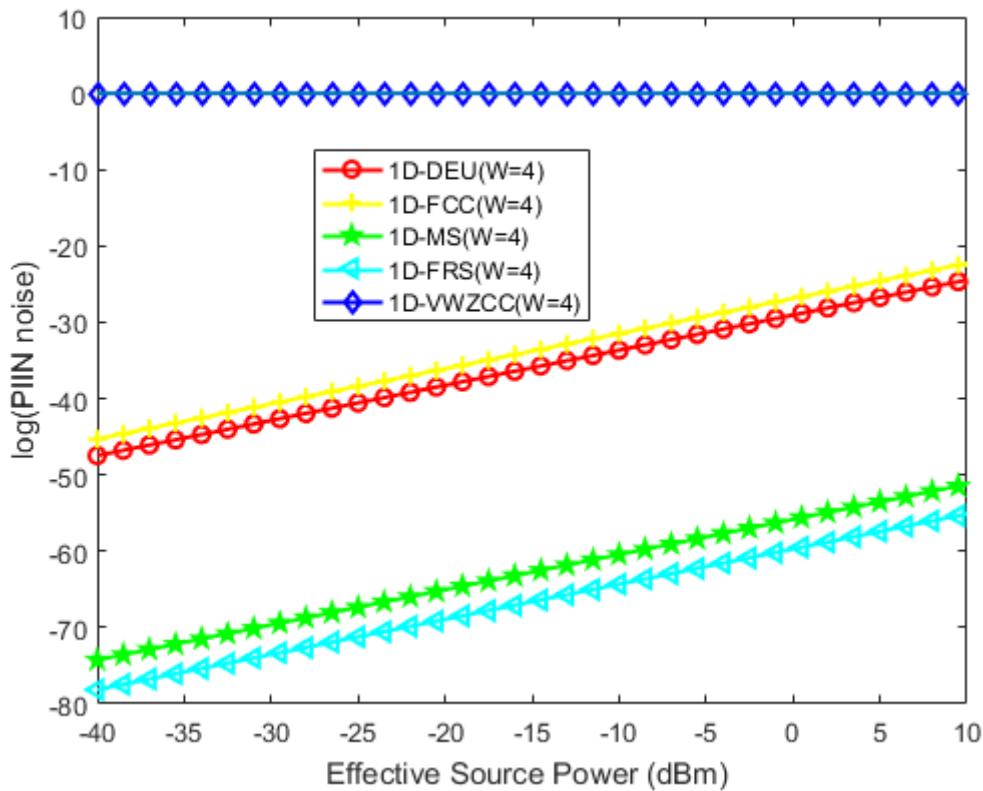
La Figure III.6 représente la variation du BER en fonction de la puissance effective de la source  $P_{sr}$  lorsque le débit de données et le nombre d'utilisateurs simultanés sont réglés respectivement à 1 Gb/s et 120. Le système proposé 1D-VWZCC-OCDMA consomme une puissance inférieure de -10 dBm, alors que les codes avec d'inter corrélations non nulles comme les codes 1D-FSR, 1D-MS et 1D-DEU consomment une puissance d'environ -7,6 dBm., -4,88 dBm et 3,6 dBm respectivement. En revanche, le code 1D-FCC est saturé à BER égal à  $10^{-5}$ . Notre code peut économiser -2,4 dBm, -5,12 dBm et -6,4 dBm par rapport aux codes 1D-FRS, 1D-MS et 1D-DEU respectivement en termes de puissance consommée. En

conséquence, le code proposé consomme peu d'énergie, ce qui est interprété par une longueur de code courte et une détection simple qui nécessite un seul photo-détecteur (SPD) au niveau du récepteur grâce à la propriété ZCC.



**Figure III.7** Bruit de photo-courant par rapport à la puissance reçue

La Figure III.7 montre l'influence de la puissance reçue sur le bruit du photo-courant lorsque le débit binaire est réglé à 1 Gb/s et que le nombre d'abonnés disponibles est fixé à 120. Le courant de bruit augmente évidemment proportionnellement à la puissance reçue. Nous pouvons voir que lorsque  $P_{sr}$  est inférieur à  $-20 \text{ dBm}$ , tous les codes ont presque le même photocourant de bruit. Parallèlement, lorsque  $P_{sr}$  dépasse  $-20 \text{ dBm}$ , on détecte clairement une augmentation significative du photo-courant de bruit, notamment pour les codes 1D-DEU, 1D-FCC, 1D-MS et 1D-FRS, du fait de l'influence importante du bruit PIIN notamment, ainsi que du bruit de grenaille au niveau du récepteur. De plus, malgré la puissance élevée, nous observons une légère augmentation du photo-courant de bruit dans notre code 1D-VWZCC en raison d'une très faible valeur d'inter corrélation entre les utilisateurs ( $ZCC=0$ ), ce qui supprime avec succès tous les effets de bruit PIIN et rend le système beaucoup plus puissant, moins sensible au bruit thermique et au bruit de grenaille.

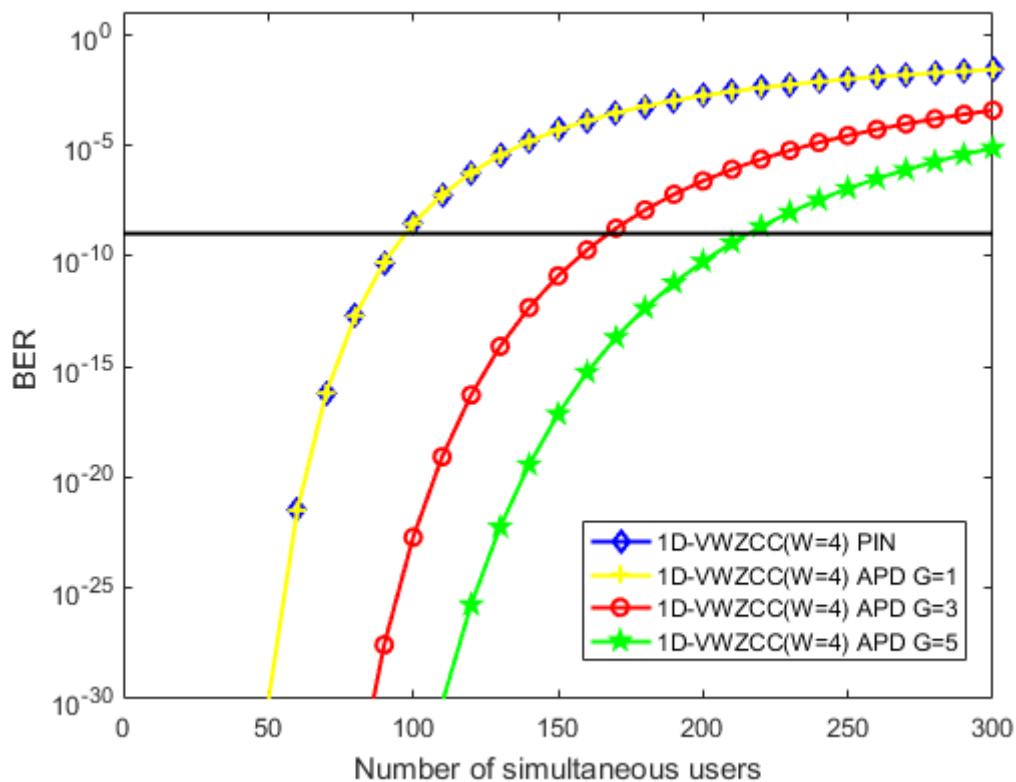


**Figure III.8** Bruit PIIN par rapport à la puissance reçue

Grâce au chevauchement des longueurs d'onde de différents utilisateurs, PIIN est étroitement associé à MAI. La Figure III.8 affiche la courbe PIIN en fonction de la puissance reçue pour les codes VWZCC, DEU, FCC, MS et FRS concernant les paramètres suivants :  $W = 4$ ,  $K = 120$  et le débit binaire d'entrée est de 1 Gb/s. La courbe indique qu'à mesure que la puissance reçue augmente, le bruit PIIN augmente linéairement pour tous les codes sauf notre code, qui reste constant à zéro. La valeur du bruit PIIN varie en fonction du code utilisé en raison des degrés d'interférence entre les utilisateurs et de la valeur de corrélation comme indiqué dans les codes DEU, FCC, MS et FRS. Le code VWZCC, en revanche, supprime absolument le bruit PIIN grâce à la fonction ZCC, qui ignore toute interférence MAI.

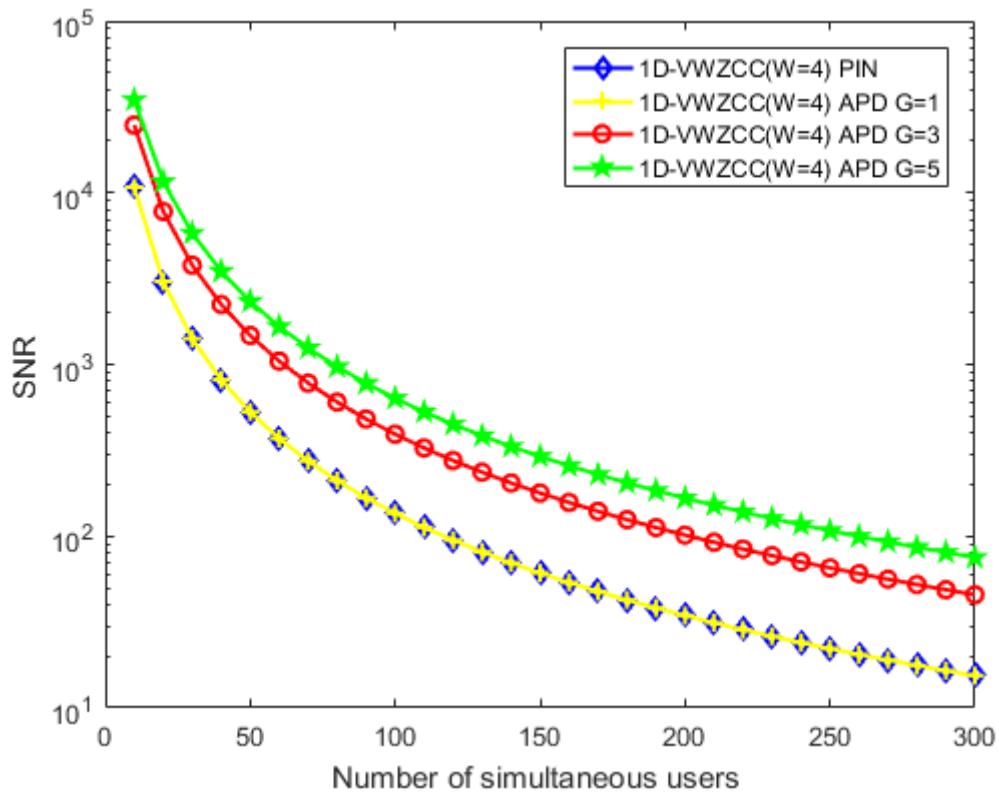
## 5.2. L'effet du photo-détecteur APD sur les performances du système 1D-VWZCC/OCDMA

Les résultats suivants se concentrent sur l'évaluation des performances du système du code proposé utilisant PIN par rapport à la photodiode APD avec différentes valeurs de gain.



**Figure III.9** BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant des photo-détecteurs APD et PIN

La Figure III.9 représente le BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant les photodiodes PIN et APD. Les performances sont étudiées lorsque la puissance effective  $P_{sr} = -10 \text{ dBm}$  et que le débit de données est fixé à 1 Gbps. Le gain APD (G) varie également entre 1, 3 et 5. On peut observer qu'à poids de code identique, la photodiode APD offre une meilleure capacité par rapport à la diode PIN. Selon le gain APD égal à G=1,3 et 5, le nombre d'utilisateurs simultanés est respectivement de 100, 170 et 220, alors que, pour le même système utilisant un photo-détecteur PIN, le code ne peut accueillir que 100 utilisateurs simultanés à un niveau acceptable de BER ( $10^{-9}$ ). On voit bien que la cardinalité est améliorée par un incrément de 0% du nombre d'utilisateurs actifs pour G=1, 70% pour G=3 et 120% pour G=5. En résumé, de meilleures performances peuvent être obtenues en utilisant un APD par rapport à une diode PIN.

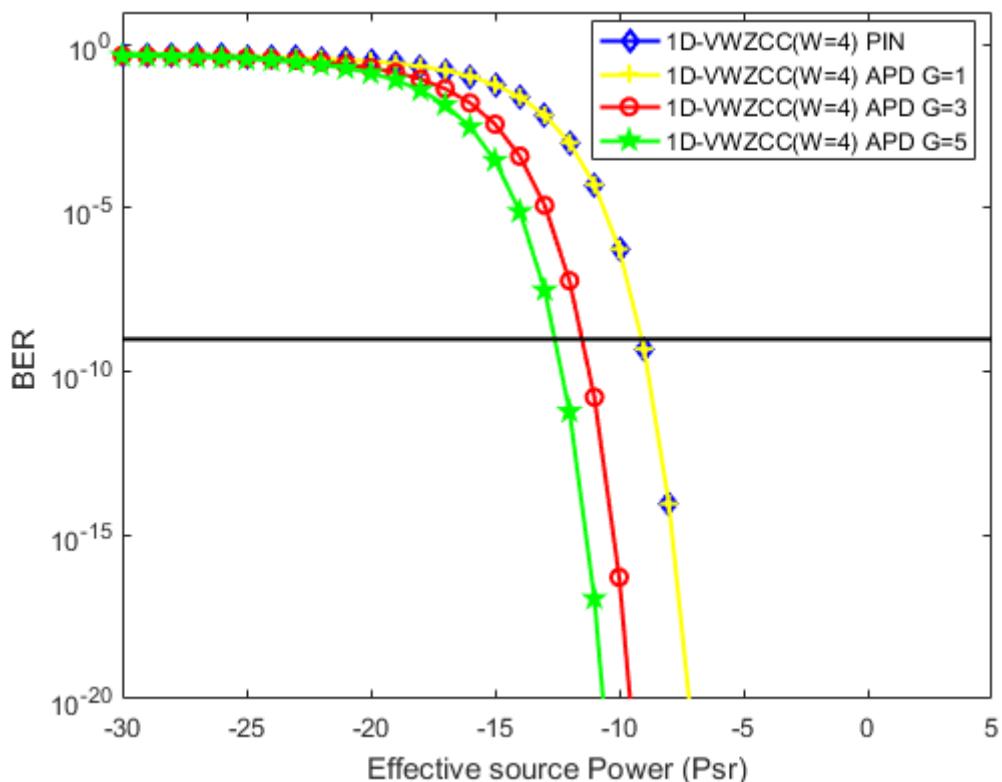


**Figure III.10** SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant des photo-détecteurs APD et PIN

Figure III.10 représente le SNR par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 1D-VWZCC-OCDMA utilisant les photodiodes PIN et APD. Les performances sont étudiées lorsque la puissance effective  $P_{sr} = -10 \text{ dBm}$  et que le débit de données est fixé à 1 Gbps. On peut observer que, pour les mêmes systèmes, la photodiode APD offre un meilleur SNR par rapport à la diode PIN. Selon le gain APD égal à  $G=1$ ,  $G=3$  et  $G=5$ , le SNR obtenu est respectivement de 83, 256 et 466, tandis que, pour le même système utilisant un photodétecteur PIN, le système peut atteindre 83 lorsque le nombre d'utilisateurs est fixé à 150 utilisateurs. La photodiode à gain interne (APD) de type avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie ce qui augmente le SNR.

Pour une étude plus approfondie de l'effet du type de photodiode sur les performances de notre système 1D-VWZCC-OCDMA avec le même poids de code, la Figure III.11 présente les performances du BER du 1D-VWZCC-OCDMA en termes de puissance effective lorsque le débit de données est de 1 Gbps et le nombre d'utilisateurs est fixé à 120. La puissance effective varie de  $-30 \text{ dBm}$  à  $-5 \text{ dBm}$ . Les graphiques montrent qu'en utilisant l'APD, le

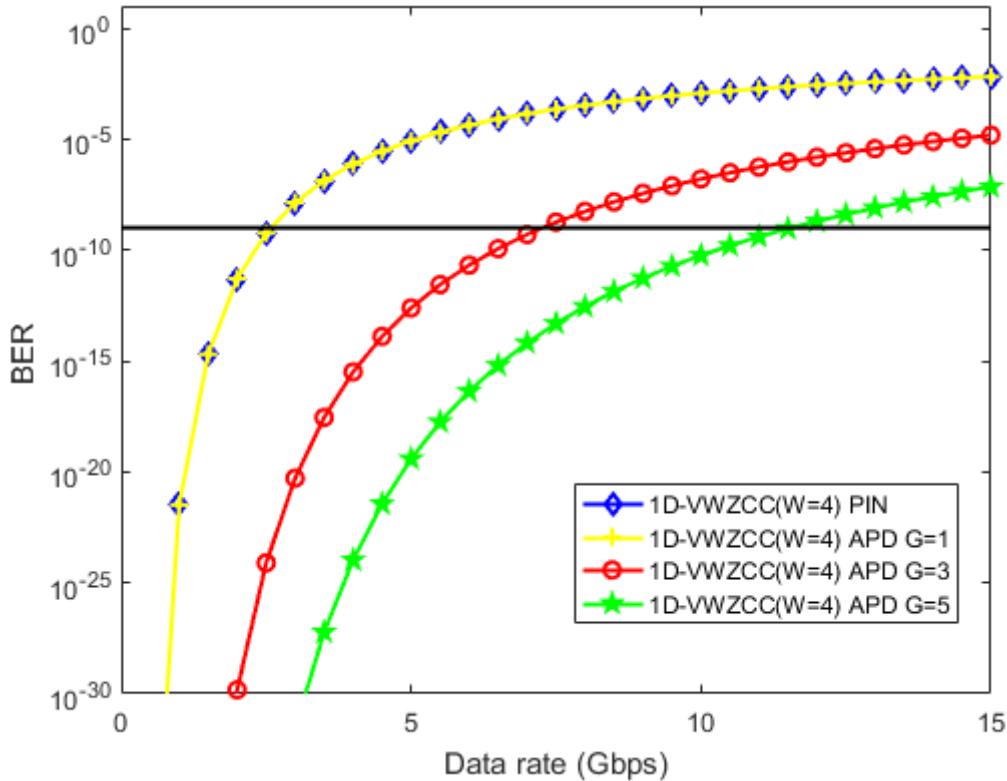
Le système 1D-VWZCC-OCDMA peut atteindre une puissance effective de  $-13,56 \text{ dBm}$  pour  $G=5$  et de  $-12,1 \text{ dBm}$  pour  $G=3$ , tandis que la puissance effective est de  $-8,77 \text{ dBm}$  en utilisant la photodiode PIN, la différence peut atteindre  $-4,79 \text{ dBm}$ . Ainsi, il est évident que les performances du système 1D-VWZCC-OCDMA peuvent être améliorées en utilisant l'APD par rapport à la photodiode PIN. Cette découverte confirme que le système APD est capable d'offrir une faible puissance effective, ce qui indique que la sensibilité du récepteur peut être améliorée en utilisant une faible puissance.



**Figure III.11** Performance du BER par rapport à la puissance effective pour le système 1D-VWZCC-OCDMA pour photo-détecteur PIN et APD avec variation de gain

La Figure III.12 examine l'impact des diodes PIN et APD sur les performances du système 1D-VWZCC-OCDMA en utilisant différents gains APD par rapport au débit de données. L'enquête est effectuée lorsque la puissance effective est  $P_{sr} = -10 \text{ dBm}$  et que le nombre d'utilisateurs simultanés est fixé à 60. Différents gains pour APD sont impliqués  $G=1$ ,  $G=3$  et  $G=5$ . Les courbes montrent que les augmentations du gain APD ont conduit à une augmentation du débit binaire du système 1D-VWZCC-OCDMA pour le photo-détecteur APD. À BER admissible ( $10^{-9}$ ), les débits de données optimaux de l'APD pour  $G = 1$ ,  $G = 3$  et  $G = 5$  sont respectivement de 2,7 Gbps, 7,74 Gbps et 12,22 Gbps, alors que notre système

peut prendre en charge 2,7 Gbps lors de l'utilisation d'un photo-détecteur PIN. Par conséquent, la photodiode APD est mieux adaptée aux débits élevés et offre d'excellentes performances que la photodiode PIN.



**Figure III.12** Performances du BER en fonction du débit de données pour le système 1D-VWZCC-OCDMA pour photo-détecteurs PIN et APD avec variation de gain

### 5.3. Simulation du réseau 1D-VWZCC-OCDMA

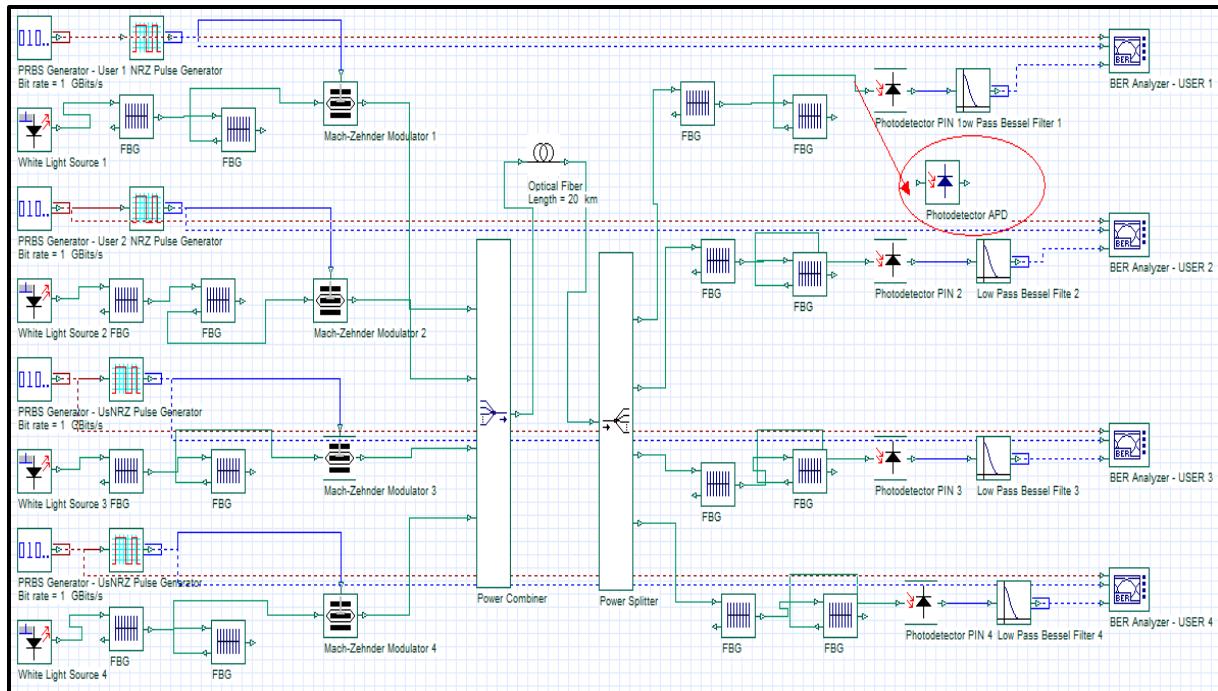
Afin de confirmer la validité des résultats obtenus dans la première partie de la simulation, le système unidimensionnel VWZCC-OCDMA est implémenté à l'aide du logiciel Optisystem V.07 pour quatre utilisateurs, où le débit de données et la puissance effective de chaque utilisateur sont fixés, respectivement à 1 Gb/s et -115 dBm. De plus, l'effet de bruit thermique du système est fixé à  $1.8^{-23} \text{ W/Hz}$  et la bande passante de chaque FBG est de 0,3 nm. De plus, les Tableaux III.3 et III.4 montrent respectivement les paramètres utilisés dans la simulation et les signatures 1D-VWZCC implémentées dans notre système. De plus, la Figure III.13 présente la structure de l'émetteur-récepteur 1D-VWZCC-OCDMA qui contient une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS), un codeur NRZ, une source de lumière blanche optique, un modulateur Mach-Zehnder et un réseau de Bragg à fibre (FBG) pour le côté émetteur. À l'inverse, le côté récepteur contient un réseau de Bragg à fibre (FBG), un photo-détecteur (PIN/APD) et un filtre Bessel passe-bas.

| Paramètres                       | Valeur                     |
|----------------------------------|----------------------------|
| Débit de données                 | 1 Gbps                     |
| Puissance effective de la source | -115 dBm                   |
| Longueur d'onde centrale         | 1551.75 nm                 |
| Bandé passante (FBG)             | 0.3 nm                     |
| -Taux d'extinction MZM           | 30 dB                      |
| Réactivité (PD)                  | 1 A/w                      |
| Courant sombre                   | 10 nA                      |
| Bruit thermique                  | $1.8 \times 10^{-23}$ W/Hz |
| Fréquence de coupure             | $R_b \times 0.65$ GHz      |
| Nombre d'utilisateurs            | 04                         |
| Poids du code                    | 2                          |
| Gain APD                         | 5                          |
| Rapport d'ionisation             | 0.9                        |
| Longueur de la fibre optique     | 20 Km                      |
| Atténuation                      | 0.2 dB/Km                  |
| Dispersion                       | 16.75 ps/nm/Km             |

Tableau III.3 Paramètres du réseau OCDMA-VWZCC et leurs valeurs [34]

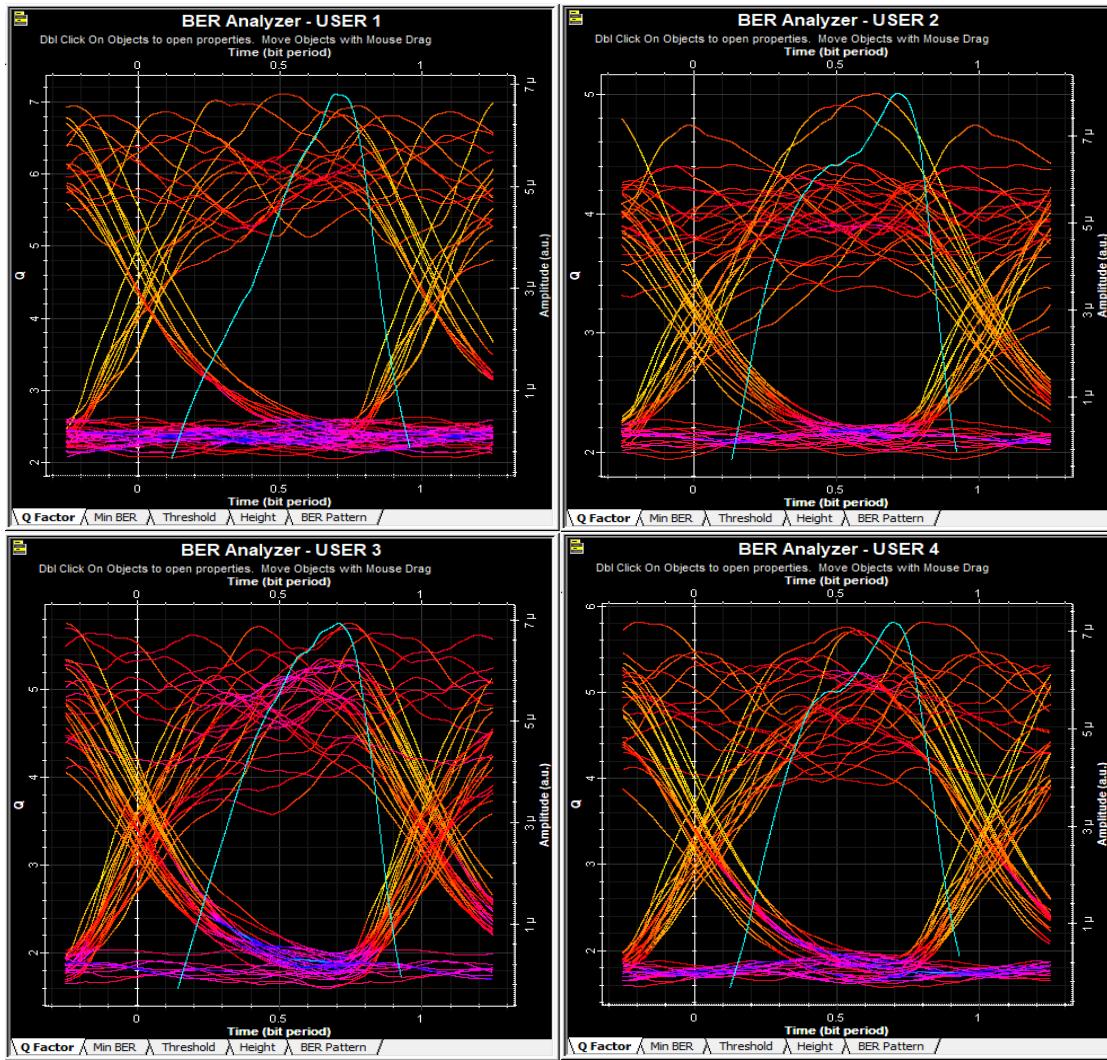
|  |          | $L = K \times W = 8$ avec $K = 4$ et $W = 2$<br>$\Delta\nu = [1550 - 1553.5]nm ; \Delta\nu_i = 0.3nm$ |          |          |          |          |          |          |        |
|--|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| <i>longueurs d'onde <math>\lambda_i</math>(nm)</i> |          | 1550  | 1550.5   | 1551     | 1551.5   | 1552     | 1552.5   | 1553     | 1553.5 |
| <i>Utilisateur 1</i>                               | <b>1</b> | <b>1</b>  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0      |
|  | —        | —   | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —      |
| <i>Utilisateur 2</i>                               | 0        | 0   | <b>1</b> | <b>1</b> | 0        | 0        | 0        | 0        | 0      |
|  | —        | —   | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —      |
| <i>Utilisateur 3</i>                               | 0        | 0   | 0        | 0        | <b>1</b> | <b>1</b> | 0        | 0        | 0      |
|  | —        | —   | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —      |
| <i>Utilisateur 4</i>                               | 0        | 0   | 0        | 0        | 0        | 0        | <b>1</b> | <b>1</b> | —      |
|  | —        | —   | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —      |

Tableau III.4 Configuration des *FGBs*



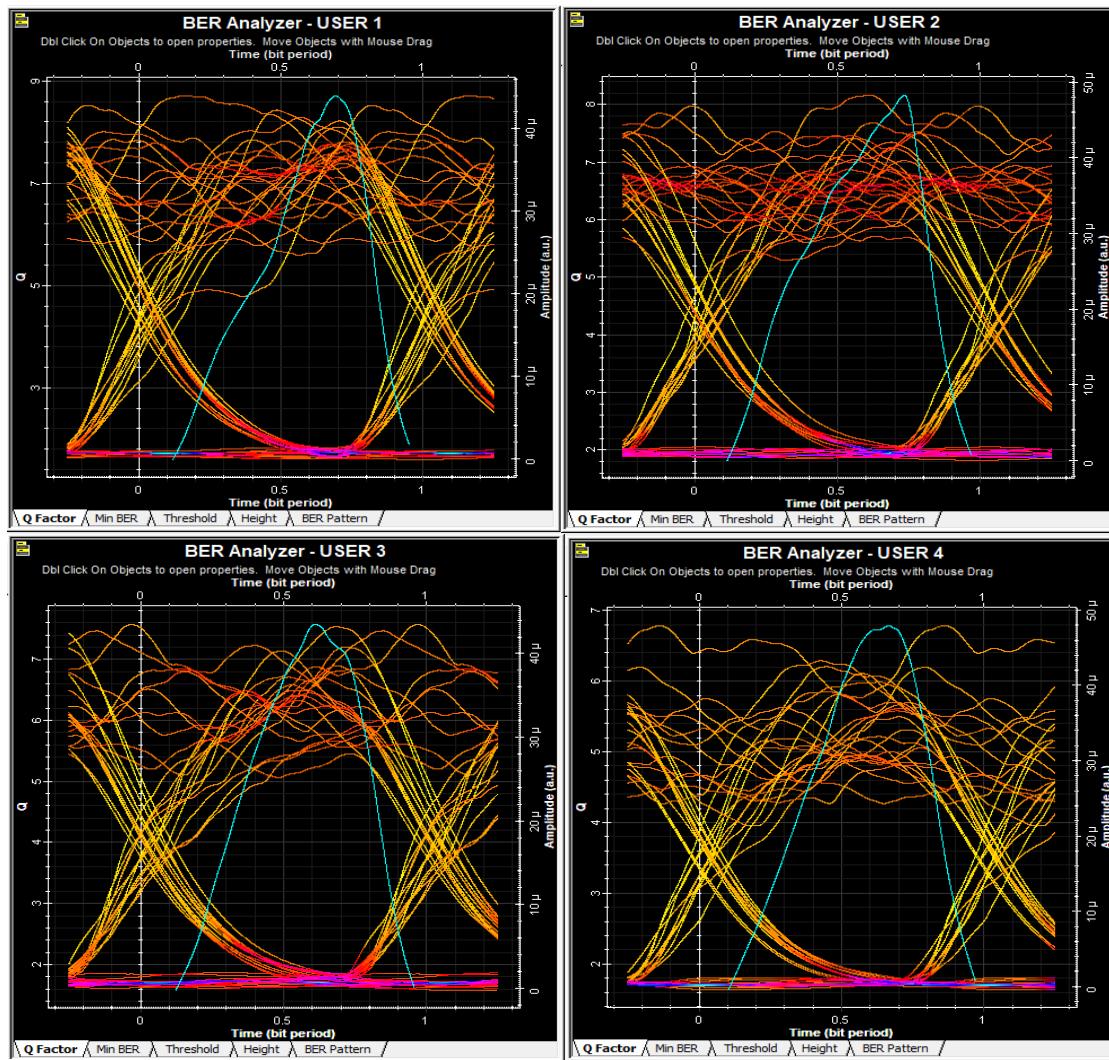
**Figure III.13 Réseau SAC-OCDMA –VWZCC pour 4 utilisateurs**

Au niveau de l'émetteur, les données de chaque utilisateur sont modulées avec une source optique grâce au modulateur optique MZM, puis les impulsions optiques sont envoyées au codeur spectral (FBG) où chaque utilisateur est codé par un code spécifique selon le code VWZCC, après cela, les impulsions codées sont multiplexées par un multiplexeur optique et envoyées via un canal optique. Au niveau du récepteur, le signal multiplexé est divisé en versions identiques ("K" versions) à l'aide d'un démultiplexeur, puis chaque version est envoyée à un décodeur optique pour décoder les impulsions optiques selon le code VWZCC, ensuite, la sortie du décodeur est envoyée à le photo-détecteur (PIN ou APD) pour la conversion optique/électrique, et un filtre passe-bas est effectué pour récupérer les données.



**Figure III.14** Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur PIN pour 4 utilisateurs

Les performances du système sont étudiées à l'aide du logiciel Optisystem conformément à l'analyse BER et Q-factor en utilisant des photo-détecteurs PIN et APD. En conséquence, les Figures III.14 et III.15 mettent en évidence les diagrammes de l'œil du réseau 1D-VWZCC-OCDMA proposé pour quatre utilisateurs. Notre système atteint un BER moyen de  $2.88 \times 10^{-11}$  avec un facteur de qualité de 6.91 lors de l'utilisation du photo-détecteur PIN. Lors de l'utilisation du photo-détecteur APD, le BER moyen correspond à  $1.77 \times 10^{-15}$  avec un facteur de qualité de 7.8. Par conséquent, ces résultats ont démontré que le système proposé atteint de meilleures performances dues à l'absence d'effet MAI grâce à la propriété ZCC qui caractérise notre code VWZCC.



**Figure III.15** Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur APD ( $G=5$ ) pour 4 utilisateurs

Pour renforcer ces résultats, les Figures III.16 et III.17 montrent le diagramme de l'œil de chaque utilisateur lors de l'utilisation de diodes PIN et APD. La valeur du BER lors de l'utilisation de l'APD est meilleure que celle de la diode PIN et est respectivement égale à  $3.73 \times 10^{-13}$ ,  $1.12 \times 10^{-18}$  ( $10^{-9}$ ), avec un facteur de qualité Q atteignant 7,13 et 8,70 ( $Q = 6$ ). En résumé, la photodiode APD présente de meilleures performances par rapport à la photodiode PIN. De plus, les performances du système sont améliorées en augmentant le gain APD et cette amélioration est due au gain inhérent de l'APD.

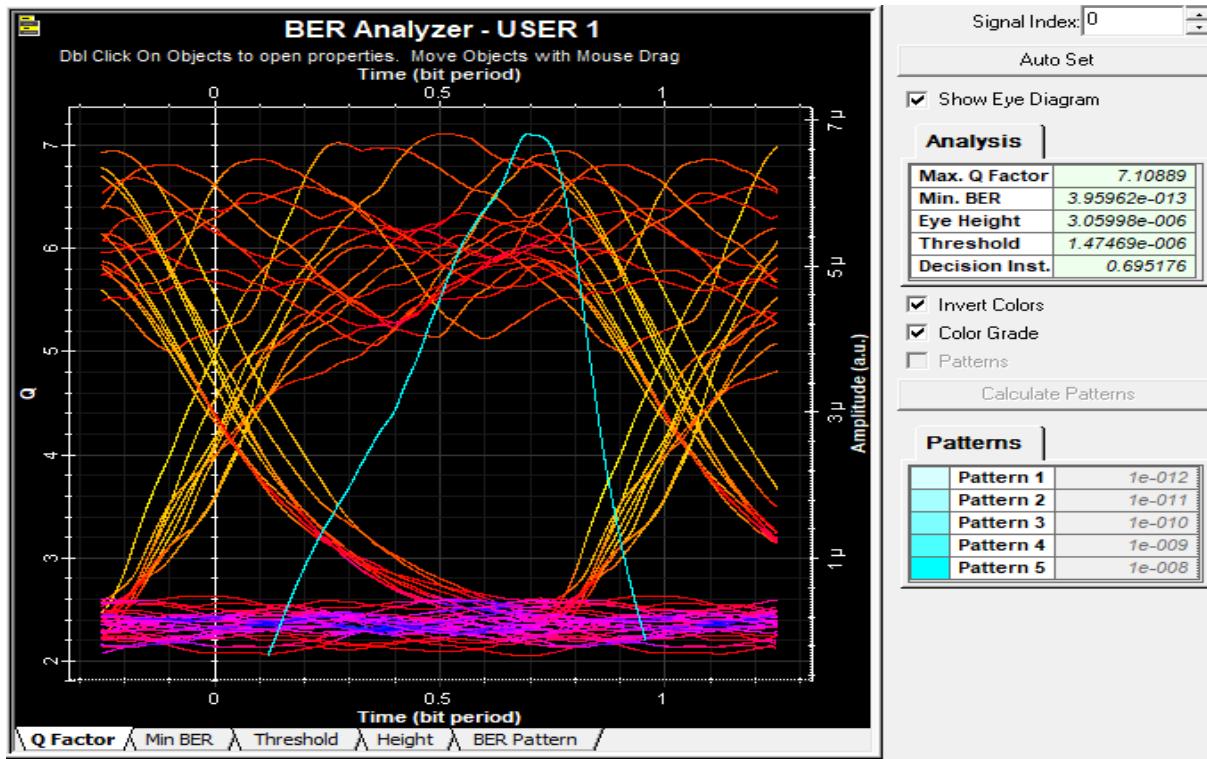


Figure III.16 Résultats du diagramme de l'œil du premier utilisateur utilisant le photodétecteur PIN

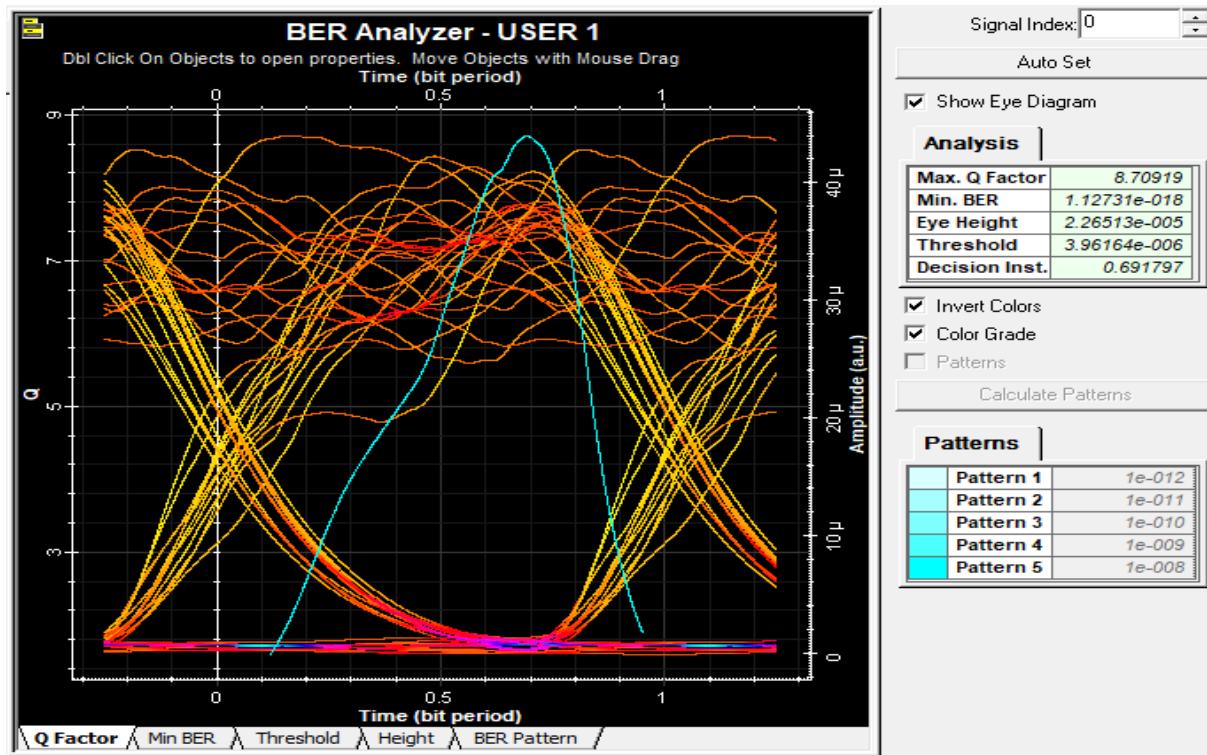


Figure III.17 Résultats du diagramme oculaire du premier utilisateur utilisant le photodétecteur APD avec G=5

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, les résultats théoriques et de simulation du système 1D-VWZCC-OCDMA proposé ont été analysés et discutés. Le code 1D-VWZCC a été développé en étalant les impulsions optiques dans le domaine spectral pour augmenter la capacité de transmission et la bande passante des réseaux. Le code suggéré offre plus d'avantages par rapport aux autres séquences unidimensionnelles. Ainsi, le code VWZCC apporte la solution aux limitations du bruit PIIN et de l'effet MAI, et réduit les deux principaux types de bruit au niveau du récepteur, notamment le bruit de grenaille et le bruit thermique. Par conséquent, avec une bonne conception du code VWZCC avec une bonne propriété d'inter corrélation ( $ZCC=0$ ), l'effet du MAI est complètement éliminé et l'impact du bruit peut être réduit. Pour cette raison, les performances du système peuvent être améliorées. Notre système offre la capacité d'accueillir simultanément un grand nombre d'utilisateurs actifs au sein d'un support partagé. Cependant, pour analyser les performances du code 1D-VWZCC en termes de cardinalité, le taux de transmission des données et la puissance effective doivent être prises en compte.

Les analyses théoriques ont été réalisées en fonction de différents paramètres et en considérant différents types de bruits. Le code 1D-VWZCC a obtenu de meilleures performances par rapport aux codes 1D-DEU, 1D-FCC, 1D-MS et 1D-FRS. Selon les résultats, les performances du système sont améliorées en termes de cardinalité grâce au code 1D-VWZCC. À BER  $10^{-9}$ , 1D-VWZCC peut prendre en charge 100 utilisateurs, alors que 1D-DEU peut prendre en charge 46 utilisateurs, 1D-FCC peut prendre en charge 36 utilisateurs, 1D-MS peut prendre en charge 30 utilisateurs et 1D-FRS ne peut prendre en charge que 83 utilisateurs, avec taux de transmission de données de 1 Gbit/s. Cette découverte indique la capacité de 1D-VWZCC à supprimer efficacement MAI et PIIN, grâce à la propriété ZCC. De plus, le code atteint de bonnes performances en termes de puissance effective reçue ( $P_{sr}$ ) où il peut obtenir -10 dBm. Cette découverte montre également l'effet du type de photo-détecteurs au niveau du récepteur. La comparaison a été effectuée entre les photodiodes APD et PIN, où la photodiode APD s'est avérée plus performante que la photodiode PIN. Pour l'analyse de simulation, quatre utilisateurs actifs ont été utilisés. L'effet des photodiodes APD et PIN sur le récepteur a été exploré et discuté. Lors de l'utilisation de la diode APD, le système présente un BER optimal et un facteur Q plus élevé que la diode PIN. Enfin, les résultats de simulation ont validé les résultats théoriques.

## **Conclusion Générale**

Cette section présente les conclusions de ce travail et les travaux futurs possibles. Le but de cette étude était de surmonter les limitations qui provoquent la dégradation des performances du système OCDMA. Ces limitations sont dues à l'interférence entre les mots de code simultanés. En raison de la nécessité de s'adaptant à un grand nombre d'utilisateurs, la séquence de codes 1D OCDMA a été développée pour satisfaire le réseau optique. Cependant, dans cette enquête, un nouveau code spectral unidimensionnel a été proposé, appelé 1D-VWZCC. Comme le montre le chapitre III, la construction de ce code est basée sur le processus d'étalement où la dérivation mathématique a été présentée. En plus des interférences élevées du signal qui limitent la cardinalité et le nombre d'utilisateurs simultanés pouvant être pris en charge, le réseau OCDMA souffre intrinsèquement de MAI et PIIN, qui représentent les principaux facteurs conduisant à une dégradation des performances dans la séquence de codes OCDMA. Ainsi, le principal résultat de cette étude est de pouvoir supprimer l'influence du MAI, ainsi que l'effet des deux principaux types de bruit au niveau du récepteur : le bruit de tir et le bruit thermique au niveau du récepteur.

Les analyses théoriques ont été réalisées en fonction de différents paramètres et en considérant différents types de bruits. Le code 1D-VWZCC a obtenu de meilleures performances par rapport aux codes 1D-DEU, 1D-FCC, 1D-MS et 1D-FRS. Selon les résultats, les performances du système sont améliorées en termes de cardinalité grâce au code 1D-VWZCC. À BER  $10^{-9}$ , 1D-VWZCC peut prendre en charge 100 utilisateurs, alors que 1D-DEU peut prendre en charge 46 utilisateurs, 1D-FCC peut prendre en charge 36 utilisateurs, 1D-MS peut prendre en charge 30 utilisateurs et 1D-FRS ne peut prendre en charge que 83 utilisateurs, avec taux de transmission de données de 1 Gbit/s. Cette découverte indique la capacité de 1D-VWZCC à supprimer efficacement MAI et PIIN, grâce à la propriété ZCC. De plus, le code atteint de bonnes performances en termes de puissance effective reçue ( $P_{sr}$ ) où il peut obtenir -10 dBm. Cette découverte montre également l'effet du type de photo-détecteurs au niveau du récepteur.

La simulation a été réalisée à l'aide du logiciel optique commercial Optiwave V.07. Cette partie de l'étude avait pour but de valider les résultats théoriques. L'analyse de simulation a été réalisée avec quatre utilisateurs et testée sous différents paramètres, notamment le débit de transmission des données, la puissance effective reçue, la distance de transmission et les différents types de photo-détecteurs. Une comparaison des performances a été réalisée entre

deux types de photo-détecteurs, la photodiode APD et PIN. Cependant, les résultats montrent que la photodiode APD offre de meilleures performances et améliore la sensibilité du récepteur avec une valeur BER très faible et un facteur de qualité élevé.

L'orientation future peut être résumée comme suit :

1. Le codage 1D-VWZCC nécessite une implémentation pratique dans un système OCDMA incohérent.
2. Le système 1D-VWZCC peut être étudié dans le système hybride OFDM/OCDMA. Le travail peut être étendu au codage bidimensionnel et tridimensionnel.
3. La recherche peut être effectuée dans le système d'optique en espace libre (FSO) et peut être étudiée à l'aide de techniques à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) et à accès multiple non orthothonal (NOMA).

## Références

- [1] T. L. Singal, *Optical Fiber Communications: Principles and Applications*. Cambridge University Press, 2017. [Online]. Available: [https://books.google.dz/books?id=\\_JheDwAAQBAJ](https://books.google.dz/books?id=_JheDwAAQBAJ)
- [2] M. Vaezi, Z. Ding, and H. V. Poor, *Multiple access techniques for 5G wireless networks and beyond*, vol. 159. Springer, 2019.
- [3] G. Huerta-Cuellar and R. Imani, *Optical Fiber Applications*. IntechOpen, 2020. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=9mD9DwAAQBAJ>
- [4] T. Pfeiffer, P. Dom, S. Bidkar, F. Fredricx, K. Christodoulopoulos, and R. Bonk, ‘PON going beyond FTTH [Invited Tutorial]’, *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 14, no. 1, p. A31, Jan. 2022, doi: 10.1364/JOCN.439241.
- [5] R. M. Rao and S. A. Dianat, *Basics of Code Division Multiple Access (CDMA)*. in SPIE tutorial texts. SPIE Press, 2005. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=H2OwaXe-wZ8C>
- [6] H. Willebrand and B. S. Ghuman, *Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today’s Networks*. in Sams Other Series. Sams, 2002. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=iSk7r67xyboC>
- [7] S. Kumar and M. J. Deen, *Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications*. Wiley, 2014. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=yxvnAgAAQBAJ>
- [8] M. RAHMANI, ‘Etude Comparative des Performances du Système de Transmission Multi-Accès Dans Les Réseaux Optiques’, TAHRI mohamed, Bechar, Algeria, 18 janvier.
- [9] A. K. Majumdar, *Advanced Free Space Optics (FSO): A Systems Approach*. in Springer Series in Optical Sciences. Springer New York, 2014. [Online]. Available: [https://books.google.dz/books?id=b7h\\_BAAAQBAJ](https://books.google.dz/books?id=b7h_BAAAQBAJ)
- [10] K.-I. Kitayama, *Optical code division multiple access: a practical perspective*. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [11] I. B. Djordjevic, ‘Spread Spectrum, CDMA, and Ultra-Wideband Communications’, in *Advanced Optical and Wireless Communications Systems*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 647–712. doi: 10.1007/978-3-030-98491-5\_10.
- [12] S. Mohammady, *Multiplexing*. IntechOpen, 2019. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=kJj8DwAAQBAJ>
- [13] I. B. Djordjevic, *Advanced Optical and Wireless Communications Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-63151-6.
- [14] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-Carrier Spread Spectrum & Related Topics*. Springer US, 2012. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=CAXTBwAAQBAJ>
- [15] S. A. Abd El-Mottaleb *et al.*, ‘Performance evaluation of a 160-Gbit/s OCDMA-FSO system via Laguerre-Gaussian beams under weather conditions’, *Alex. Eng. J.*, vol. 63, pp. 661–674, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.11.033.
- [16] M. Singh *et al.*, ‘A high-speed integrated OFDM/DPS-OCDMA-based FSO transmission system: Impact of atmospheric conditions’, *Alex. Eng. J.*, vol. 77, pp. 15–29, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.06.077.
- [17] H. Ghafouri-Shiraz and M. M. Karbassian, *Optical CDMA Networks: Principles, Analysis and Applications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. doi: 10.1002/9781119941330.
- [18] D. C. Wyld, M. Wozniak, N. Chaki, N. Meghanathan, and D. Nagamalai, *Trends in Network and Communications: International Conferences, NeCOM 2011, WeST 2011, and WiMON 2011, Chennai, India, July 15-17, 2011, Proceedings*. in Communications in Computer and Information Science. Springer, 2011. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=P0dsAUUIO8C>
- [19] M. Alayed, A. Cherifi, A. Ferhat Hamida, and H. Mrabet, ‘A fair comparison of SAC-OCDMA system configurations based on two dimensional cyclic shift code and spectral direct

- detection', *Telecommun. Syst.*, vol. 79, no. 2, pp. 193–212, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11235-021-00840-8.
- [20] E. Biglieri and L. Györfi, *Multiple Access Channels: Theory and Practice*. in NATO Security Through Science Series. IOS Press, 2007. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=-AtBugbm0X4C>
- [21] J. Cao, *Arrayed Waveguide Gratings (AWG) and Optical Amplifier Subsystems for Their Applications in Advanced Optical Networks*. University of California, Davis, 2007. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=LhQTNULnBYwC>
- [22] H. Mrabet, A. Cherifi, T. Raddo, I. Dayoub, and S. Haxha, ‘A Comparative Study of Asynchronous and Synchronous OCDMA Systems’, *IEEE Syst. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 3642–3653, Sep. 2021, doi: 10.1109/JSYST.2020.2991678.
- [23] L. N. Binh, *Optical Modulation: Advanced Techniques and Applications in Transmission Systems and Networks*. in Optics and Photonics. CRC Press, 2019. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=EERQzAEACAAJ>
- [24] E. GHABANI Abdellah and M. MOULAY Omar, ‘ETUDE DE LA STABILITE DU LASER’, Mémoire, Ghardaïa, Ghardaïa, 2019.
- [25] R. HADIDANE and A. SILEM, ‘LES PRINCIPES DE BASE DES COMPOSANTS OPTOELECTRONIQUES’, Mémoire, Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, algerie, 2015.
- [26] M. S. Anuar, S. A. AlJunid, A. R. Arief, M. N. Junita, and N. M. Saad, ‘PIN versus Avalanche photodiode gain optimization in zero cross correlation optical code division multiple access system’, *Optik*, vol. 124, no. 4, pp. 371–375, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.ijleo.2011.12.003.
- [27] M. Rahmani, G. N. Sabri, A. Cherifi, A. S. Karar, and H. Mrabet, ‘Massive capacity of novel three-dimensional OCDMA-FSO system for next generation of high-data wireless networks’, *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 35, no. 1, p. e4871, Jan. 2024, doi: 10.1002/ett.4871.
- [28] M. Rahmani, A. Cherifi, G. N. Sabri, B. S. Bouazza, and A. Karar, ‘Contribution of OFDM modulation to improve the performance of non-coherent OCDMA system based on a new variable weight zero cross correlation code’, *Opt. Quantum Electron.*, vol. 54, no. 9, p. 576, Sep. 2022, doi: 10.1007/s11082-022-03949-5.
- [29] M. Singh, M. H. Aly, and S. A. A. El-Mottaleb, ‘Performance analysis of  $6 \times 10$  Gbps PDM-SAC-OCDMA-based FSO transmission using EDW codes with SPD detection’, *Optik*, vol. 264, p. 169415, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.ijleo.2022.169415.
- [30] S. Panda, ‘Effect of SHIFTZCC codes for optical CDMA system’, *World Sci. News*, vol. 2, no. 67, pp. 365–389, 2017.
- [31] M. Alayedi, A. Cherifi, A. F. Hamida, M. Rahmani, Y. Attalah, and B. S. Bouazza, ‘Design improvement to reduce noise effect in CDMA multiple access optical systems based on new (2-D) code using spectral/spatial half-matrix technique’, *J. Opt. Commun.*, vol. 0, no. 0, p. 000010151520200069, Sep. 2020, doi: 10.1515/joc-2020-0069.
- [32] A. Cherifi, B. Yagoubi, B. Bouazza, and A. Dahman, ‘New Method for the Construction of Optical Zero Cross Correlation Code Using Block Matrices in OCDMA-OFDM Systemn Code Using Blocks Matrices in OCDMA-OFDM System’, *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng. JTEC*, vol. 8, no. 1, pp. 33–39, 2016.
- [33] K. S. Nisar, ‘Construction of zero cross correlation code using a type of anti-diagonal-identity-column block matrices’, *Optik*, vol. 125, no. 21, pp. 6586–6588, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.ijleo.2014.07.068.
- [34] R. Matem, S. A. Aljunid, M. N. Junita, C. B. M. Rashidi, and I. S. Ahmed, ‘Photodetector effects on the performance of 2D Spectral/Spatial code in OCDMA system’, *Optik*, vol. 178, pp. 1051–1061, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.ijleo.2018.10.068.
- [35] M. Rahmani, A. Cherifi, A. S. Karar, G. Naima Sabri, and B. S. Bouazza, ‘Contribution of New Three-Dimensional Code Based on the VWZCC Code Extension in Eliminating Multiple Access Interference in Optical CDMA Networks’, *Photonics*, vol. 9, no. 5, p. 310, May 2022, doi: 10.3390/photonics9050310.
- [36] M. Rahmani, A. Cherifi, G. N. Sabri, M. I. Al-Rayif, I. Dayoub, and B. S. Bouazza, ‘A novel 260 Gb/s 2D-OCDMA-FSO multiplexing system’s performance evaluation for upcoming

- generations of high-speed wireless optical networks', *Opt. Quantum Electron.*, vol. 56, no. 3, p. 449, Mar. 2024, doi: 10.1007/s11082-023-05947-7.
- [37] M. Najjar, N. Jellali, M. Ferchichi, and H. Rezig, 'Spectral/spatial optical CDMA code based on Diagonal Eigenvalue Unity', *Opt. Fiber Technol.*, vol. 38, pp. 61–69, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.yofte.2017.08.003.
- [38] M. Rahmani, A. Cherifi, G. Naima Sabri, M. I. Al-Rayif, I. Dayoub, and B. S. Bouazza, 'Performance investigation of 1.5 Tb/s optical hybrid 2D-OCDMA/OFDM system using direct spectral detection based on successive weight encoding algorithm', *Opt. Laser Technol.*, vol. 174, p. 110666, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.optlastec.2024.110666.
- [39] M. Najjar, N. Jellali, and M. Ferchichi, 'Two-dimensional multi-service code for spectral/spatial optical CDMA system', *Opt. Quantum Electron.*, vol. 49, no. 12, p. 397, Dec. 2017, doi: 10.1007/s11082-017-1234-x.
- [40] M. Rahmani, A. Cherifi, A. S. Karar, G. Naima Sabri, and B. S. Bouazza, 'Contribution of New Three-Dimensional Code Based on the VWZCC Code Extension in Eliminating Multiple Access Interference in Optical CDMA Networks', *Photonics*, vol. 9, no. 5, p. 310, May 2022, doi: 10.3390/photonics9050310.
- [41] A. Cherifi, N. Jellali, M. Najjar, S. A. Aljunid, and B. S. Bouazza, 'Development of a novel two-dimensional-SWZCC – Code for spectral/spatial optical CDMA system', *Opt. Laser Technol.*, vol. 109, pp. 233–240, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.optlastec.2018.07.078.
- [42] K. Meftah, A. Cherifi, A. Dahani, M. Alayedi, and H. Mrabet, 'A performance investigation of SAC-OCDMA system based on a spectral efficient 2D cyclic shift code for next generation passive optical network', *Opt. Quantum Electron.*, vol. 53, no. 10, p. 569, Oct. 2021, doi: 10.1007/s11082-021-03073-w.
- [43] R. MATEM, 'Development of New Two Dimensional ZCC/MD Spectral/Spatial Code for OCDMA System', thesis, malassis perlis, Malaysia, 2019.
- [44] H. Y. Ahmed and K. S. Nisar, 'Diagonal Eigenvalue Unity (DEU) code for spectral amplitude coding-optical code division multiple access', *Opt. Fiber Technol.*, vol. 19, no. 4, pp. 335–347, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.yofte.2013.04.001.
- [45] C. B. M. Rashidi, S. A. Aljunid, F. Ghani, H. A. Fadhil, M. S. Anuar, and A. R. Arief, 'Cardinality enrichment of flexible cross correlation (FCC) code for SAC-OCDMA system by alleviation interference scheme (AIS)', *Optik*, vol. 125, no. 17, pp. 4889–4894, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.ijleo.2014.04.035.
- [46] M. H. Kakae, S. Seyedzadeh, H. Adnan Fadhil, S. Barirah Ahmad Anas, and M. Mokhtar, 'Development of Multi-Service (MS) for SAC-OCDMA systems', *Opt. Laser Technol.*, vol. 60, pp. 49–55, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.optlastec.2014.01.002.
- [47] H. Yousif, K. S., M. Zeghid, and S. A., 'Numerical Method for Constructing Fixed Right Shift (FRS) Code for SAC-OCDMA Systems', *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 8, no. 1, 2017, doi: 10.14569/IJACSA.2017.080131.