

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة سعيدة – د. الطاهر

مولاي – Université Saïda – Dr Tahar Moulay

– Faculté de Technologie



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **Diplôme** de **MASTER** En Electronique

Spécialité : Instrumentation

Par : SOUAR OTHMANE ISLAME

KANDOUCI MOHAMED ISSAM

**ANALYSE ET EVALUATION DES PERFORMANCES DES DISPOSITIF
OPTOELECTRONIQUES DANS LES SYSTEMES DE COMMUNICATION OPTIQUES**

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

Mr. ARBOUCHE Omar	Univ. Saïda	President
Mr. SEDDOUKI Bouamama Reda	Univ. Saïda	Examineur
Mr. CHERIFI Abdelhamid	Univ. Saïda	Rapporteur

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Nous exprimons notre gratitude envers Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé et la détermination nécessaires à la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, il est important de souligner que ce travail n'aurait pas été aussi enrichissant et n'aurait pas vu le jour sans le soutien et l'encadrement de M. CHERIFI Abdelhamid. Nous le remercions sincèrement pour la qualité exceptionnelle de son accompagnement, ainsi que pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité tout au long de notre préparation. Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont toujours été présents pour moi et m'ont toujours appuyé au cours 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 moyens qu'ils ont déployés pour me voir mener à bien mes études.

ISLA

ISSAM

ME

Dédicace

Nous dédions 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.

Table des matières

Remerciement	I
Dedicace.....	II
Table des Matieres.....	III
Liste des tableaux.....	V
liste des figures.....	VI
Liste des Abreviations.....	VII
Resume.....	IX
ملخص.....	X
Abstract.....	XI

Introduction Générale 1

CHAPITRE I : Technique D'accès Multiple OCDMA

1. Introduction:.....	3
2. Communication optiques.....	3
2.1. Communication par la fibre optique.....	4
3.Communication à accès multiple.....	5
3.1 Accès multiple par répartition en longueur d'onde (AMRLO).....	6
3.2. Accès multiple par répartition dans le temps (AMRT).....	7
4.Avantages des systèmes OCDMA.....	8
5.OCDMA incoherent.....	10
6.Approches cohérentes de codage des systèmes OCDMA.....	10
6.1. Codage de phase spectrale (SPC-OCDMA).....	11
6.2.Codage de phase temporelle (TPC-OCDMA).....	11
6.3.Approches incohérentes de codage des systèmes OCDMA.....	12
6.3.1.Étalement temporel.....	12
6.3.2. Encodage d'amplitude spectrale.....	13
6.3.3.Procédures de codage dans le codage d'amplitude spectrale Réseaux de guides d'ondes en réseau (AWGs).....	14
7. Masque d'amplitude spectrale.....	15
7.1. Codage à l'aide d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur.....	16
7.2.Encodage spectral à l'aide de réseaux de Bragg (FBGs).....	17
8.Technique de détection spectrale directe.....	18
9.Mode de transmission dans OCDMA.....	20
9.1.Système OCDMA synchrone.....	20
9.2.Système OCDMA asynchrone.....	20
10.Bruits dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents.....	21
10.1.Bruit thermique.....	21
10.2.Bruit de grenaille.....	22
10.3.Bruit d'intensité induit par la phase.....	22
11.L'interférence d'accès multiple.....	23
12.Modulation optique.....	23
13.Modulation externe.....	23
14.Conclusion.....	25

CHAPITRE II : Les Composants Optoélectroniques

1.Introduction :	27
------------------------	----

2. Le semi-conducteur :	28
3. Différents types de semi-conducteurs :	28
3.1. Semi-conducteur intrinsèque :	28
3.2. Semi-conducteurs extrinsèques :	29
3.2.1. Semi-conducteurs de type N :	29
3.2.2. Semi-conducteurs de type P :	29
4. Gap direct et indirect :	29
4.1. Gap direct :	29
4.2. Gap indirect :	30
5. Jonction PN :	30
6. Polarisation de la jonction en direct :	31
6.1. Polarisation de la jonction en inverse :	32
7. Absorption et émission d'un photon :	33
7.1. Absorption d'un photon :	33
7.2. Émission d'un photon :	33
7.3. Émission spontanée :	33
7.4. Émission stimulée :	34
8. Les composants d'émission des photons :	34
8.1. Diode électroluminescente – LED :	35
8.1.1. Principe de fonctionnement :	35
8.1.2. Utilisation des LEDs :	36
8.2. Diode LASER :	37
8.2.1. Définition :	37
8.2.2. Principe de fonctionnement :	37
8.2.3. Caractéristique de la lumière LASER :	38
8.2.4. Les applications de LASER :	39
9. Composants de détection de photons :	39
9.1. Photo détecteur :	39
9.2. La photodiode PIN :	40
9.2.1. Avantages de la photodiode PIN :	40
10. La photodiode APD :	40
11. Comparaison entre les photodiodes PIN et APD :	41
12. Conclusion :	42
CHAPITRE III: L'effet Des Composants PIN et APD sur Le Système Proposé	
1. Introduction.....	44
2. New 2D-SWZCC Code construction.....	46
2.1. Description du système :	51
2.2. Étude de la performance du système 2D-SWZCC.....	52
2.3. Résultats numériques 2D-SWZCC.....	55
5. L'effet du photodétecteur APD sur les performances du système 1D-SWZCC/OCDMA.....	55
6. Analyse de la simulation SAC OCDMA- 2D-SWZCC logiciel Optisystem.....	59
6.1. Les Résultats des calculs de SNR est BER pour photodétecteur PIN est APD utilisant optisystem :	62
6.3. Le calculé de SNR de photo détecteur (APD) :	63
7. Conclusion.....	64
Conclusion Générale.....	65
Références Bibliographiques.....	68

Liste des tableaux

Tableau 1: montre une application numérique de la technique de détection spectrale directe.....	19
Tableau 2: 1D-SWZCC pour 9 utilisateurs.....	49
Tableau 3: La corrélation du nouveau code 2D-SWZCC.....	50
Tableau 4: Code 2D-SWZCC pour $K_1=K_2=3$	50

Liste des figures

Figure I.1: Système de communication par fibre optique.....	4
Figure I.2: Système de communication optique en espace libre.....	5
Figure I.3: Réseau d'accès WD.....	7
Figure I.4: Réseau d'accès TDMA.....	7
Figure I.5: Architecture OCDMA.....	8
Figure I.6: Processus de codage bipolaire.....	9
Figure I.7: Processus de codage unipolaire.....	10
Figure I.8: Diagramme de codage de phase spectrale pour les systèmes OCDMA cohérents.....	11
Figure I.9: Diagramme de codage de phase temporelle pour les systèmes OCDMA cohérents.....	12
Figure I.10: Principe de codage incohérent par étalement temporel.....	13
Figure I.11: Concept de codage d'amplitude spectrale.....	13
Figure I.12: Figure I.13 Principe de fonctionnement d'AWG.....	14
Figure I.13: Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur AWGs.....	15
Figure I.14: Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur de masque d'amplitude spectrale.....	16
Figure I.15: Encodage SAC-OCDMA à l'aide du multiplexeur et du multiplexeuse.....	17
Figure I.16: Schéma fonctionnel du codage/décodage à l'aide des réseaux de Bragg (FBGs).....	18
Figure I.17: Principe de base de la détection spectrale directe.....	19
Figure I.18: Schéma typique d'un système OCDMA synchron.....	20
Figure I.19: Architecture de système OCDMA asynchrone typique.....	21
Figure I.20: Bruits affectant le système OCDMA.....	21
Figure I.21: Modulation directe.....	23
Figure I.22: Modulation externe.....	24
Figure I.23: Structure de bande des trois catégories de matériaux.....	28
Figure II.1: semi-conducteur à gap direct.....	30
Figure II.2: semi-conducteurs à gap indirect.....	30
Figure II.3: Principe de la création d'une jonction PN.....	31
Figure II.4: Jonction PN polarisée en direct.....	32
Figure II.5: Jonction PN polarisée en inverse.....	33
Figure II.6: Interaction rayonnement - semi-conducteur.....	34
Figure II.7: Structure d'une jonction LED.....	35
Figure II.8: Schéma simplifié d'une LED.....	35
Figure II.9: principe de fonctionnement d'une LED.....	36
Figure II.10: La diode LASER.....	37
Figure II.11: Schéma d'un système LASER.....	37
Figure II.12: Un récepteur optique (photo détecteur).....	39
Figure II.13: Photo diode PIN.....	40
Figure II.14: Photo diode APD.....	41
Figure III.1: Schéma bloc de l'émetteur/récepteur SWZCC spectral/spatial 2D.....	51
Figure III.2: BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 2D-SWZCC- OCDMA utilisant des photodétecteurs APD et PIN.....	57
Figure III.3: Performance du BER par rapport à la puissance effective pour le système 2D- SWZCC-OCDMA pour photodétecteur PIN et APD avec variation de gain.....	58
Figure III.4: Performances du BER en fonction du débit de données pour le système 2D- SWZCC-OCDMA pour photo-détecteurs PIN et APD avec variation de gain.....	59
Figure III.5: Système 2D-SWZCC – OCDMA avec N utilisateurs.....	60
Figure III.6: Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur APD pour 3 utilisateurs.....	61
Figure III.7: BER de photodétecteurs (APD et PIN) obtenues par logiciel optisystem en fonction de longueur de la fibre optique.....	63

Liste Des Abréviations

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

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

Abstract:

This Master's memoir focuses on the study of multiple-access optical communication systems, with a particular focus on OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) technology and the optoelectronic components that enable its efficient operation.

The first part of the thesis explores in-depth the multiple-access technologies used in modern optical networks, including TDMA, WDMA, and FDMA, particularly OCDMA. OCDMA allows multiple users to share a single optical channel by assigning unique optical codes, ensuring simultaneous, secure, and resilient communication. Two categories of OCDMA systems are analyzed:

Coherent systems, which offer high performance but are complex to implement.

Non-coherent systems, which are simpler but susceptible to interference such as MAI and PIIN noise.

The second part of the thesis focuses on the fundamental optoelectronic components of optical communication systems. The following are studied:

Semiconductors (intrinsic, extrinsic, front-gap/indirect), Light emitters such as LEDs and laser diodes,

Photodetectors such as PINs and APDs, with a detailed comparison of their properties (sensitivity, noise, response speed, cost).

Finally, the last section proposes a new two-dimensional spectral coding code called 2D-SWZCC, designed for incoherent SAC-OCDMA systems. This code reduces interference, simplifies the system architecture, and improves overall performance. Simulations conducted using OptiSystem have confirmed its effectiveness in terms of bit error rate (BER), signal-to-noise ratio (SNR), and user capacity.

Hence, this work paves the way for future research to improve optical communications for next-generation networks. Validation by Optisystem simulation confirms the robustness and application potential of this code in modern optical networks.

Keywords : OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, SWZCC, APD, PIN

Résumé :

Ce mémoire de Master est consacré à l'étude des systèmes de communication optique multi- accès, avec un accent particulier sur la technique OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) et les composants optoélectroniques qui les rendent fonctionnels. Dans une première partie, le travail explore en profondeur les techniques d'accès multiple utilisées dans les réseaux optiques modernes, notamment TDMA, WDMA, FDMA et surtout OCDMA. Cette dernière permet à plusieurs utilisateurs de partager un même canal optique grâce à l'attribution de codes optiques uniques, assurant une communication simultanée, sécurisée et flexible. Deux catégories d'OCDMA sont analysées :

- Les systèmes cohérents, offrant des performances élevées mais complexes à mettre en œuvre.
- Les systèmes incohérents, plus simples, mais affectés par des interférences comme le bruit MAI et le bruit PIIN.

La deuxième partie du mémoire est dédiée aux composants optoélectroniques indispensables aux systèmes de communication optique. Sont étudiés :

- Les semi-conducteurs (intrinsèques, extrinsèques, à gap direct/indirect),
- Les émetteurs de lumière comme les LEDs et diodes LASER,
- Les photodétecteurs comme les PIN et APD, avec une comparaison détaillée de leurs caractéristiques (sensibilité, bruit, vitesse de réponse, coût).

Enfin, la dernière partie propose un nouveau code de codage spectral bidimensionnel appelé 2D- SWZCC, destiné aux systèmes SAC-OCDMA incohérents. Ce code permet de réduire les interférences, simplifier la structure du système et améliorer les performances globales. Des simulations réalisées sous OptiSystem confirment son efficacité en termes de taux d'erreur binaire (BER), rapport signal/bruit (SNR) et capacité d'utilisateurs. Ainsi, ce travail ouvre la voie à de futures recherches sur l'amélioration des communications optiques pour les réseaux de nouvelle génération.

Mots clés : OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, SWZCC, APD, PIN.

المخلص:

هذه المذكرة للتخرج تدرس أنظمة الاتصالات الضوئية متعددة الوصول، مع التركيز على تقنية الوصول المتعدد بتقسيم الشفرة البصرية (OCDMA) والمكونات الإلكترونية الضوئية المرتبطة بها. ينقسم العمل إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

أولاً، يتم تحليل تقنيات الوصول المتعدد في الشبكات الضوئية مثل TDMA و WDMA و FDMA و OCDMA، مع التركيز على الأخيرة التي تتيح مشاركة قناة ضوئية واحدة بين عدة مستخدمين باستخدام رموز ضوئية فريدة. يتم دراسة نوعي OCDMA: المتماثل (عالٍ الأداء لكنه معقد) وغير المتماثل (أبسط لكنه يعاني من مشاكل التداخل).

ثانياً، يتم استعراض المكونات الإلكترونية الضوئية الأساسية بما في ذلك أشباه الموصلات، وباعثات الضوء (مثل LED والليزر)، والكواشف الضوئية (مثل PIN و APD)، مع مقارنة خصائصها المختلفة.

ثالثاً، يتم تقديم رمز ترميز جديد ثنائي الأبعاد يسمى 2D-SWZCC مصمم لأنظمة SAC-OCDMA غير المتماثلة، حيث أظهرت النتائج المحاكاة قدرته على تقليل التداخل وتبسيط النظام مع تحسين الأداء العام من حيث معدل الخطأ البتي ونسبة الإشارة إلى الضوضاء وسعة المستخدمين.

يختتم العمل بالتأكيد على أهمية هذه النتائج في تمهيد الطريق لبحوث مستقبلية لتحسين اتصالات الجيل الجديد من الشبكات الضوئية.

الكلمات المفتاحية: OCDMA, PIIN, BER, SAC, MAI, SWZCC, APD, PIN.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'évolution exponentielle de la demande en trafic Internet, alimentée par l'essor du cloud computing, des conférences vocales et vidéo, du contenu en streaming et des applications de partage de vidéos, a mis en évidence les limites des infrastructures de communication traditionnelles basées sur les câbles en cuivre. Ces derniers souffrent de vitesses de transmission lentes, d'une atténuation importante, de diaphonie et de courtes distances de transmission, ne permettant plus de répondre aux exigences des technologies actuelles. Dans ce contexte, la communication par fibre optique s'est imposée comme une solution incontournable, offrant une bande passante large, un débit élevé, une faible atténuation et une grande distance de transmission à un coût compétitif. Pour exploiter pleinement les capacités de la fibre optique et gérer une capacité de multiplexage élevée, les technologies d'accès multiple sont devenues essentielles dans les réseaux optiques modernes. Parmi celles-ci, l'Accès Multiple par Répartition en Longueur d'Onde (WDMA), l'Accès Multiple par Répartition dans le Temps (TDMA) et l'Accès Multiple par Répartition en Fréquence (FDMA) ont joué un rôle significatif. Cependant, l'Accès Multiple par Répartition en Code Optique (OCDMA) se distingue comme une technique particulièrement prometteuse. L'OCDMA permet à plusieurs utilisateurs de partager le même canal optique simultanément en attribuant un code unique à chacun, facilitant ainsi une transmission multiplexée et un accès multiple sécurisé et flexible. Ses avantages, tels que l'accès utilisateur aléatoire, la prise en charge de services multiples, la haute sécurité de transmission, la simplicité de gestion et la compatibilité avec d'autres techniques d'accès multiple, en font une solution d'avenir pour les réseaux optiques.

CHAPITRE I :

Technique D'accès

Multiple OCDMA

1. Introduction:

Avec la croissance rapide des données de cloud computing, des conférences vocales et vidéo sur smartphone, du contenu en streaming IPTV [1] et des applications de partage de vidéos telles que YouTube et la télévision 3D, la demande de trafic Internet augmente de façon exponentielle. Au cours des dernières années, les réseaux de communication reposaient principalement sur des câbles en cuivre pour la transmission, mais les câbles en cuivre présentent des inconvénients tels qu'une vitesse de transmission lente, une atténuation importante, une diaphonie et une courte distance de transmission, et ne peuvent plus suivre le développement de la technologie actuelle[2].

Actuellement, les systèmes de communication utilisant ces supports de transmission ne parviennent pas à suivre le développement des technologies de communication car ils ne peuvent pas répondre aux besoins antérieurs. La technologie de transmission basée sur la communication par fibre optique joue un rôle important dans de nombreux domaines en raison de ses avantages tels qu'une large bande passante, un débit de transmission élevé, une faible atténuation, une longue distance de transmission et un prix bas[3].

Dans le réseau qui utilise la fibre optique comme moyen de transmission et transmet des informations d'un point à un autre par la lumière, il existe des réseaux locaux (LAN), des réseaux optiques passifs (PON), la fibre jusqu'au domicile (FTTH), etc[4].

Ces dernières années, les technologies de multiplexage sont devenues l'une des technologies indispensables dans le domaine des réseaux optiques car elles fournissent un support efficace en termes de capacité de multiplexage et de débit de données de transmission, optimisant ainsi les ressources du réseau, fournissant un accès au support et prenant en charge une grande capacité en même temps, y compris l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), l'accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA) et l'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA). Ce chapitre propose une explication succincte de tous les aspects liés à la communication optique, y compris les techniques d'accès multiples comme le TDMA, le WDMA, le FDMA et l'OCDMA. En outre, il aborde les principes de l'étalement en OCDMA, les techniques de codage et de décodage, les différentes classifications d'OCDMA ainsi que les divers bruits qui peuvent perturber ces systèmes, entre autres sujets[5].

2. Communication optiques

Communication optique La communication optique constitue une méthode largement employée dans divers secteurs comme les télécommunications point à point, les transmissions militaires, les applications médicales, parmi d'autres. Elle se répartit en deux grandes catégories : la communication optique filaire utilisant la fibre optique, et la communication optique en espace libre, chaque type possédant ses propres caractéristiques[6].

2.1. Communication par la fibre optique

La fibre optique est un canal physique indispensable pour acheminer la lumière d'un point à un autre sur de très longues distances. Ce support joue un rôle clé dans la chaîne de communication, garantissant l'échange de données optiques entre l'émetteur et le récepteur. En tant que moyen de transmission dans un système de communication, les fibres optiques peuvent remplacer les câbles en cuivre grâce à leur large bande passante, leur faible atténuation, leur capacité à transmettre sur de longues distances et leur vitesse de transmission[7].

Un système de communication par fibre optique typique, illustré à la Figure I.1, se compose de trois éléments principaux : un émetteur optique, qui intègre une source de données électriques, une source lumineuse et son modulateur; un canal de transmission, représenté par un câble en fibre optique; et un récepteur optique comprenant un photodétecteur, suivi d'un amplificateur et d'un démodulateur.

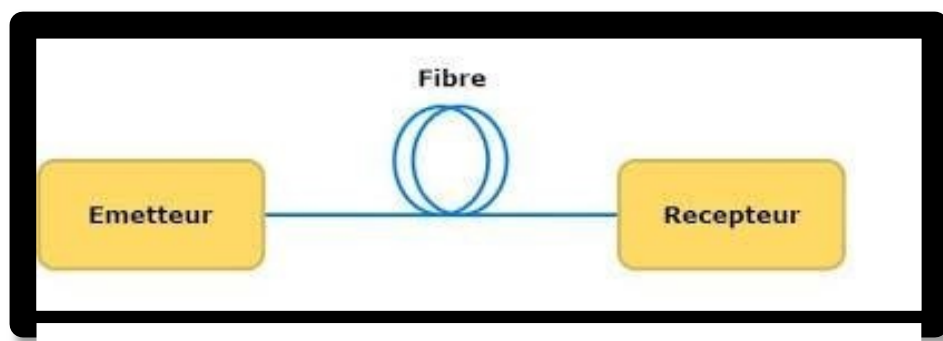


Figure I.1: Système de communication par fibre optique [8]

La communication optique sans fil :

également connue sous le nom de FSO (Free Space Optics), peut être mise en place

dans des régions où la mise en œuvre de connexions filaires, comme la fibre optique, est difficile en raison des obstacles présents entre l'émetteur et le récepteur, tels que les montagnes ou les zones éloignées et vastes.

Elle est considérée comme la prochaine avancée majeure dans le domaine de la communication à large bande grâce à ses caractéristiques attrayantes :

une bande passante extrêmement élevée, une grande facilité de déploiement, une allocation de bande passante gratuite et une faible consommation d'énergie[9].

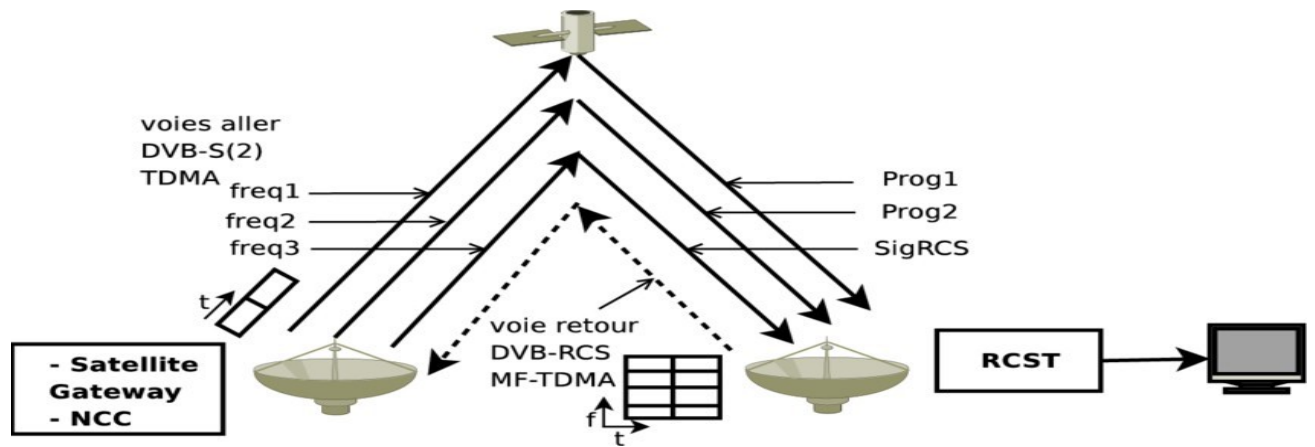


Figure I.2: Système de communication optique en espace libre[8]

La Figure I.2 illustre le schéma d'une communication optique en espace libre à travers une liaison directe. Pour mettre en place la liaison FSO, il est nécessaire d'employer la technique de ligne de vue (LOS : line of sight) en utilisant une source optique de type LED (diode électroluminescente) ou LASER (Amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement).

3.Communication à accès multiple

Pour utiliser pleinement la bande passante du canal tout en gérant une capacité élevée de multiplexage, la communication à accès multiple s'est imposée ces dernières années comme une technologie essentielle pour la communication moderne. Elle vise à maximiser le débit total du système et à permettre à plusieurs utilisateurs de transmettre leurs données simultanément sur le même canal. Dans ce cadre, on distingue quatre types fondamentaux de réseaux à accès multiple (Figure 1.3) [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)

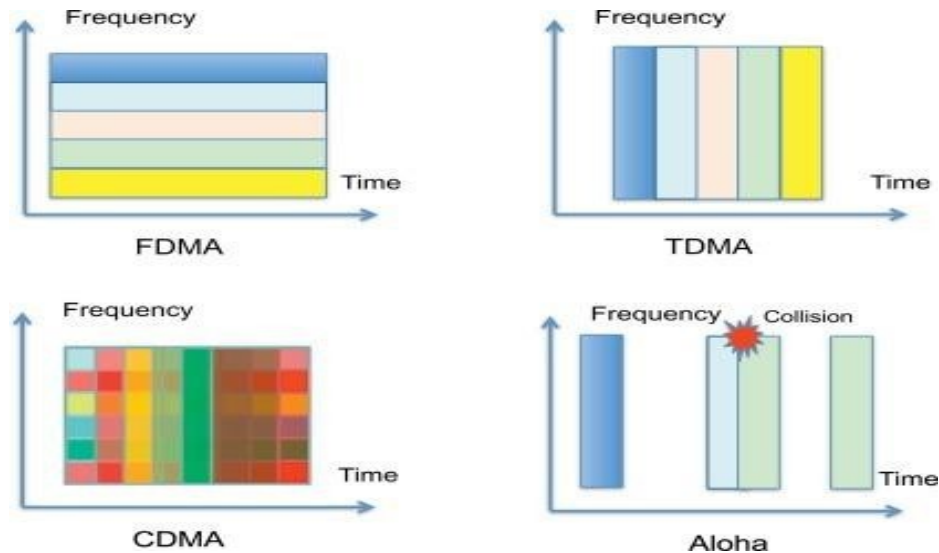


Figure I.3: Techniques d'accès multiples[8]

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

L'accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA) est une technologie optique permettant de combiner simultanément plusieurs longueurs d'onde dans un même canal optique, chaque canal occupant une bande passante optique étroite de 100 GHz. Chaque utilisateur reçoit une longueur d'onde spécifique à partir d'un ensemble prédéfini de longueurs d'onde disponibles. De plus, cette méthode permet aisément d'augmenter la bande passante jusqu'à 1 Tb/s. Cependant, son principal inconvénient réside dans la nécessité d'un contrôle rigoureux de l'espacement des longueurs d'onde et de la bande passante des filtres pour s'adapter aux utilisateurs sur des canaux optiques distinctement attribué[11].

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

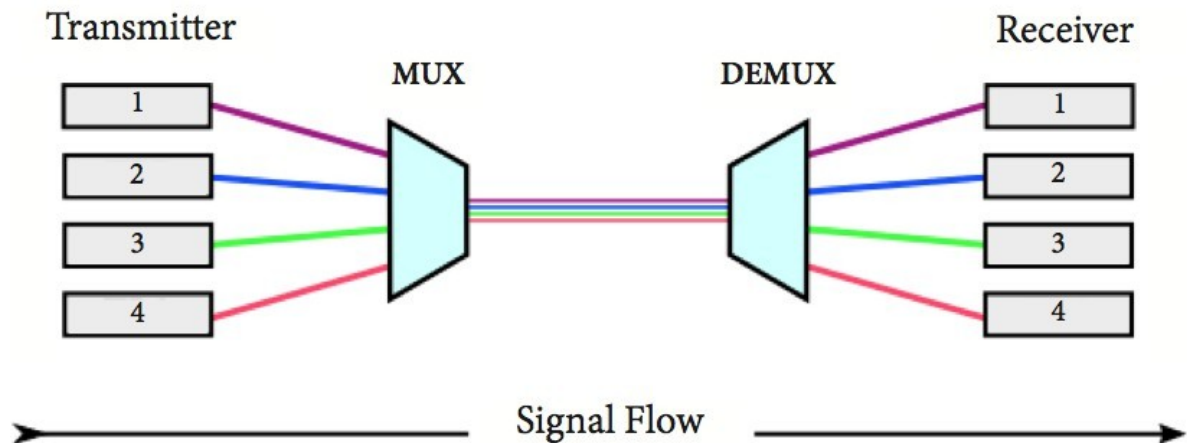


Figure I.4: Réseau d'accès WD[8]

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

Dans la technique TDMA (accès multiple par répartition dans le temps), le nombre d'utilisateurs possibles est déterminé par la largeur minimale des créneaux temporels pouvant être soutenue dans un intervalle de temps donné, qui dépend du débit de données maximal par utilisateur.

En d'autres termes, la bande passante du système est subdivisée en trames de durée identique, chacune divisée en un certain nombre de créneaux temporels de longueur égale. Ces créneaux sont attribués à chaque émetteur pour permettre le partage de ses données dans un canal de transmission[12].

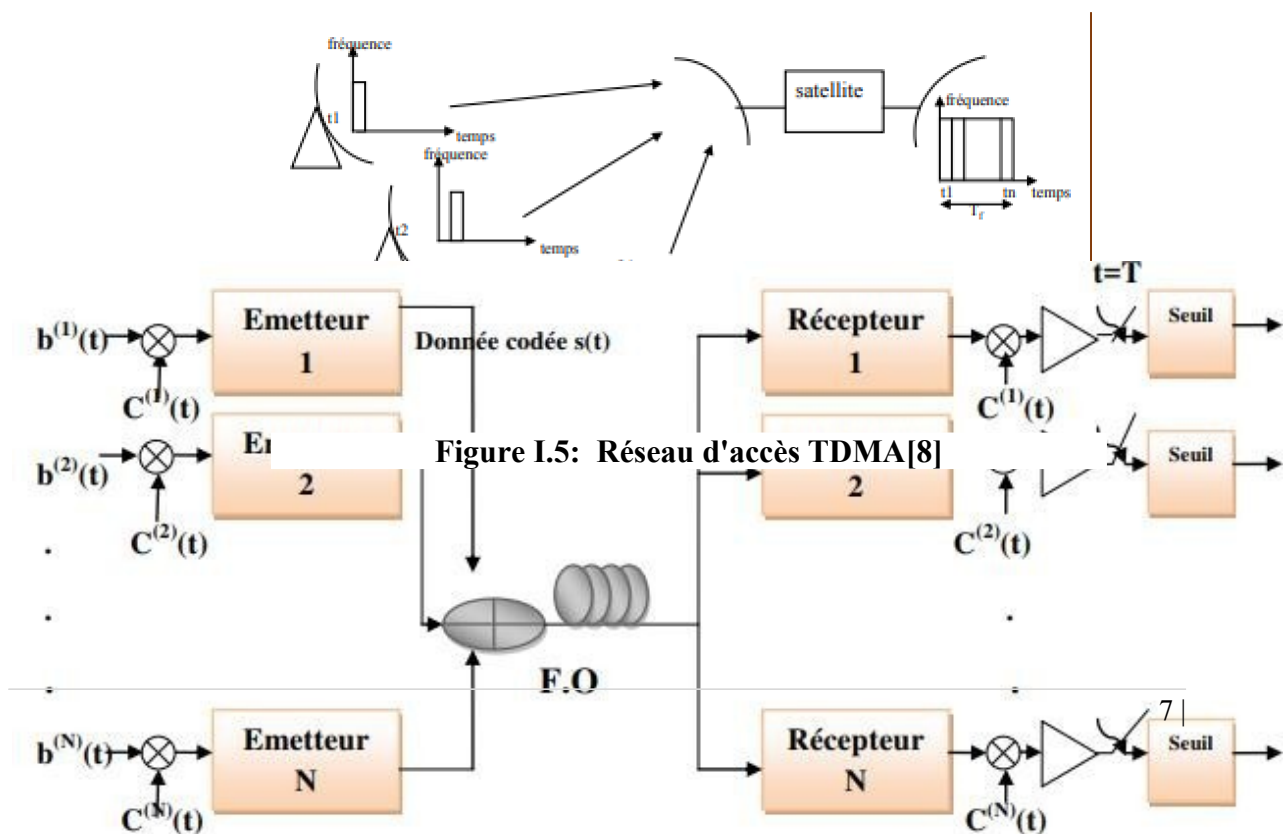


Figure I.5: Réseau d'accès TDMA[8]

Figure I.6: Architecture OCDMA[8]

4.Avantages des systèmes OCDMA

Les divers avantages de la technologie OCDMA en font l'une des solutions les plus prometteuses dans le domaine des communications optiques.

Parmi ces avantages, on trouve :

- Une transmission de données à haute vitesse.
 - La possibilité pour les utilisateurs de se connecter au réseau OCDMA de manière synchrone ou asynchrone, ce qui confère au réseau une grande flexibilité.
 - Une utilisation optimale de la bande passante de la fibre optique. - Un échange de données sécurisé et un trafic transparent.
 - Le support d'un débit de transmission variable ainsi qu'une qualité de service (QoS) différenciée selon les besoins.
 - Grâce à la simplicité de son architecture, le réseau OCDMA peut être facilement mis à jour et étendu, en plus d'offrir une gestion simplifiée des utilisateurs.
- Une compatibilité avec un grand nombre d'abonnés.
- Une capacité accrue de localisation, de protection et de récupération des incidents réseau.
- Une composition du réseau par moins de dispositifs spectroscopiques, ce qui renforce sa simplicité.

Les réseaux OCDMA permettent également le support de diverses applications multimédias telles que la vidéo ou le trafic IP.

Cependant, les systèmes OCDMA présentent aussi des inconvénients :

- Le processus de codage est dépendant du nombre d'utilisateurs et la longueur du code augmente avec celui-ci.
- Une consommation d'énergie élevée due à la grande longueur du code.
- Des difficultés de détection au niveau du récepteur provoquées par les intersections dans les codes longs.
- Des interférences multiples d'accès engendrées par les chevauchements entre les puces des codes optiques.

- La nécessité de dispositifs d'encodage très sélectifs qui sont souvent coûteux. Au cours des 20 dernières années, la technique de multiplexage de code optique s'est divisée en deux catégories selon la nature de la source optique et les méthodes de codage :

Le système OCDMA cohérent repose sur le codage de phase des signaux optiques, avec une détection de phase à l'arrivée.

Comme elle est illustrée dans la Figure I.9, cette méthode utilise des bits bipolaires

$(-1, +1)$ pour coder les phases, générant ainsi un signal optique dont l'amplitude varie de (-1) à $(+1)$.

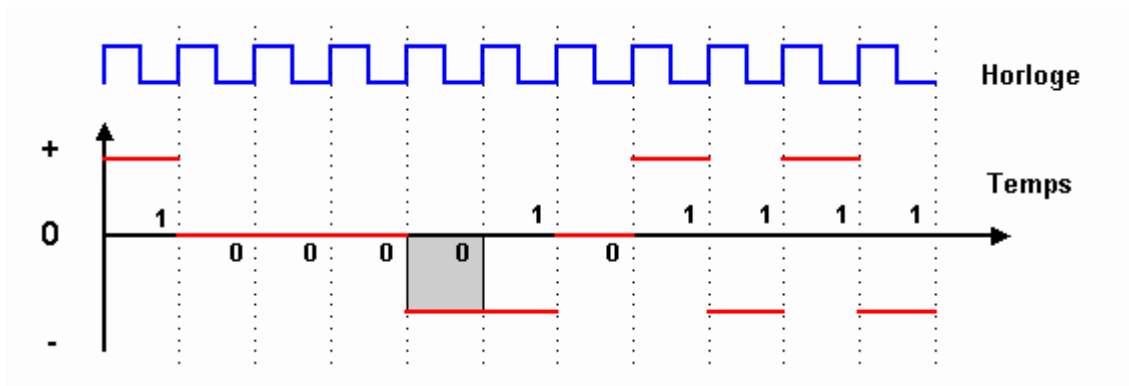


Figure I.7: Processus de codage bipolaire[8]

L'addition des signaux cohérents représente une superposition des amplitudes des signaux lumineux.

Ainsi, l'OCDMA cohérent est capable de générer des codes optiques strictement orthogonaux, éliminant totalement les interférences entre les utilisateurs et perfectionnant les performances des systèmes OCDMA. Ce système recourt à la modulation PSK (Phase Shift Keying).

5.OCDMA incoherent

Les systèmes OCDMA incohérents, illustrés dans la Figure I.10, fonctionnent sur le principe de la présence ou de l'absence d'un signal lumineux provenant de la source optique, utilisant la modulation OOK. Le codage dans ce contexte est unipolaire, représenté par des flux binaires (0, +1).

Le signal d'addition résultant est donc une superposition des amplitudes des signaux lumineux. Ces systèmes emploient une source optique large bande incohérente, telle que l'émission spontanée amplifiée (ASE) ou les diodes électroluminescentes (LED).

Les codes produits étant unipolaires, cela induit des interférences d'accès multiples qui diminuent les performances du système CDMA optique[14].

Par conséquent, la réduction de ce type de bruit dépend principalement de la méthode de codage, et l'apparition ou l'absence de ce bruit en OCDMA incohérent est influencée par la position verticale des (+1) .

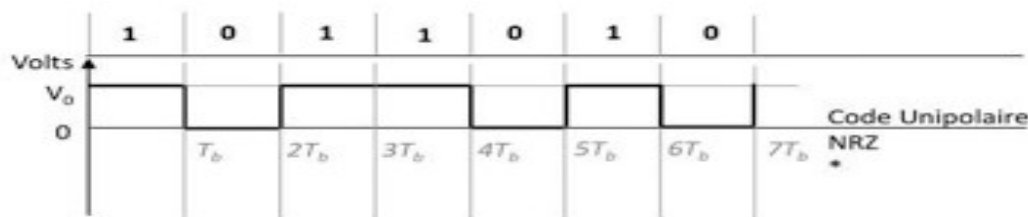


Figure I.8: Processus de codage unipolaire

6.Approches cohérentes de codage des systèmes OCDMA

Les systèmes de codage cohérents peuvent être catégorisés en deux types, basés sur la méthode de codage de phase utilisée [18]:

6.1. Codage de phase spectrale (SPC-OCDMA)

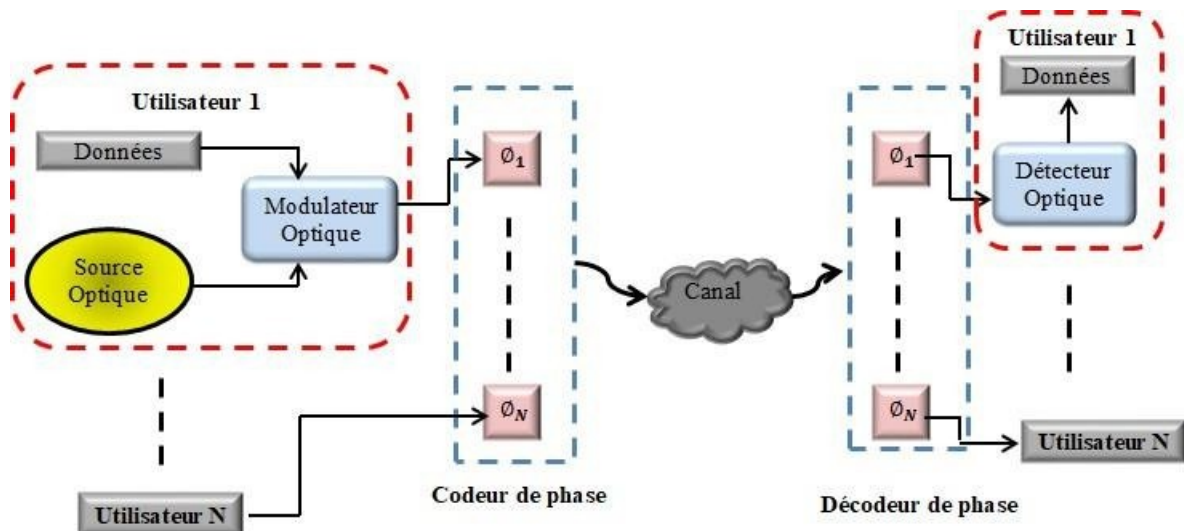


Figure I.9: Diagramme de codage de phase spectrale pour les systèmes OCDMA cohérents

Les données binaires de chaque utilisateur, représentées par $(-1, +1)$, sont modulées par des impulsions ultracourtes dans le domaine temporel, ces impulsions étant générées grâce à une source optique à large bande cohérente dans le domaine fréquentiel. Les impulsions optiques ainsi modulées sont ensuite multipliées par un code qui induit un déphasage de 0 ou $[15]$. Les signaux optiques sont alors multiplexés et transmis via un canal optique vers le récepteur. À l'arrivée, le signal reçu est décodé par un décodeur de phase fonctionnant selon le même principe que l'émetteur; ce signal de sortie est simultanément détecté et démodulé par un photodétecteur, suivi par l'application d'un filtre pour éliminer les interférences indésirables, comme illustré par la figure suivante (Figure 11).

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

Dans cette méthode, les données bipolaires $(-1, +1)$ sont encodées dans une phase temporelle, comme l'illustre la Figure I.12. Une impulsion optique ultracourte est divisée en plusieurs impulsions modulées par le flux de données de chaque utilisateur. Ces impulsions passent ensuite par un codeur de phase où chacune est retardée pour atteindre le déphasage nécessaire, conformément à la séquence de code attribuée à chaque utilisateur. Les impulsions ainsi codées sont multiplexées grâce à un combinateur et transmises au récepteur via le canal [16]. Au niveau du récepteur, le signal optique composite est divisé en plusieurs copies identiques et passe par un décodeur de phase où chaque copie est synchronisée avec une ligne à retard, suivant le même schéma de codage que celui utilisé à l'émetteur. Après le décodage, les impulsions optiques sont détectées et converties en signal électrique par un photodétecteur, puis un filtre est appliqué pour récupérer les données [17].

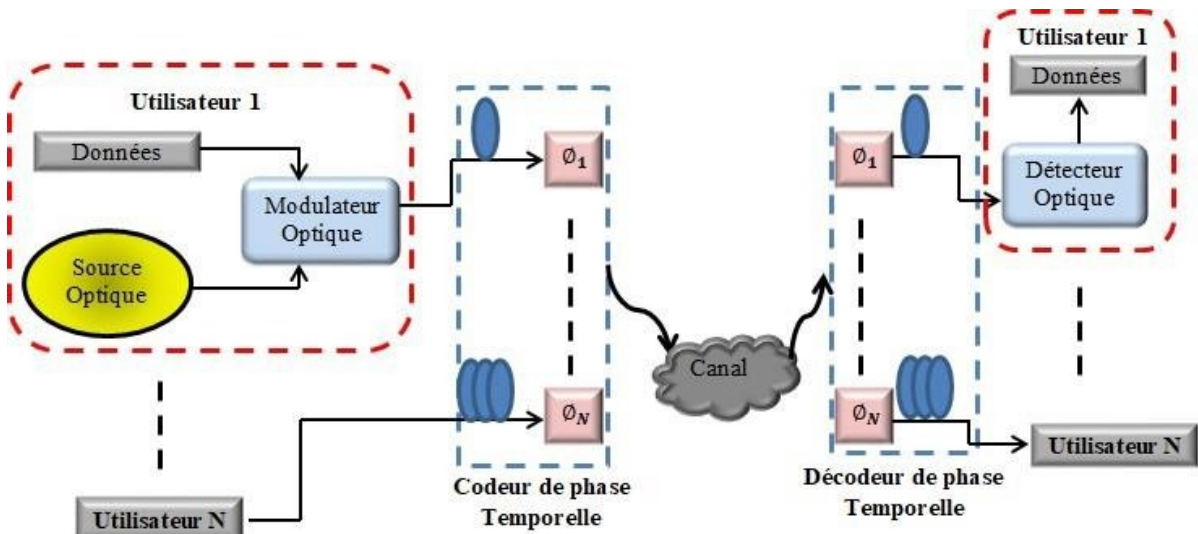


Figure I.10: Diagramme de codage de phase temporelle pour les systèmes OCDMA cohérents

6.3.Approches incohérentes de codage des systèmes OCDMA

6.3.1.Étalement temporel

Le codage incohérent par étalement temporel, souvent désigné sous les termes de codage à séquence directe ou codage temporel (TSE :

Temporal Spreading Encoding), consiste à attribuer à chaque bit unipolaire d'une durée de Δt une impulsion optique issue d'une source incohérente.

Cela entraîne la création d'un code unipolaire distinct formé de plusieurs impulsions optiques.

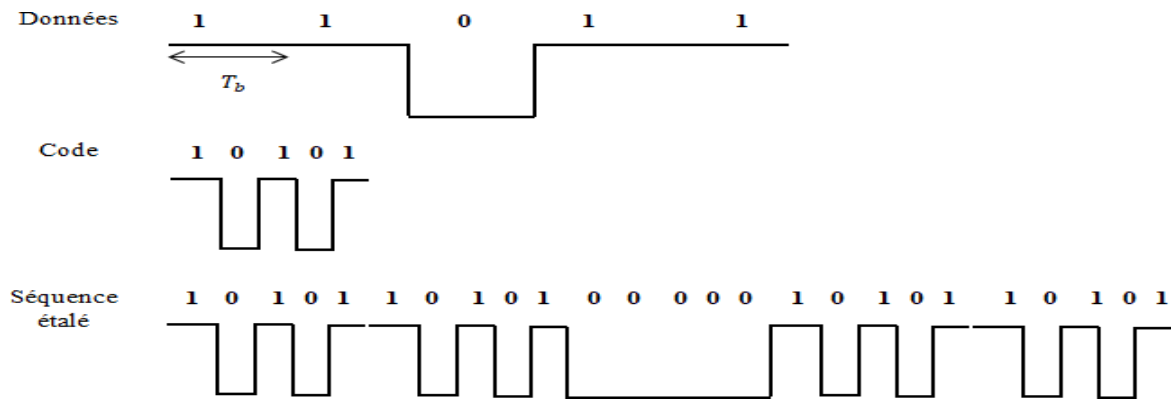


Figure I.11: Principe de codage incohérent par étalement temporel

6.3.2. Encodage d'amplitude spectrale

Le codage d'amplitude spectrale est une technique qui maintient les performances des systèmes OCDMA incohérents, similaire au concept de codage étalé dans le temps.

La principale différence réside dans le fait que le codage d'amplitude spectrale divise les composantes fréquentielles en fragments spectraux pour les coder, tandis que le codage étalé dans le temps segmente les composantes temporelles en intervalles pour les coder. La technique SAC-OCDMA permet à chaque utilisateur d'avoir un code spectral distinct basé sur une séquence de code unipolaire spécifique, comme illustré par la Figure 12, qui présente le principe fondamental du codage spectral d'amplitude[19].

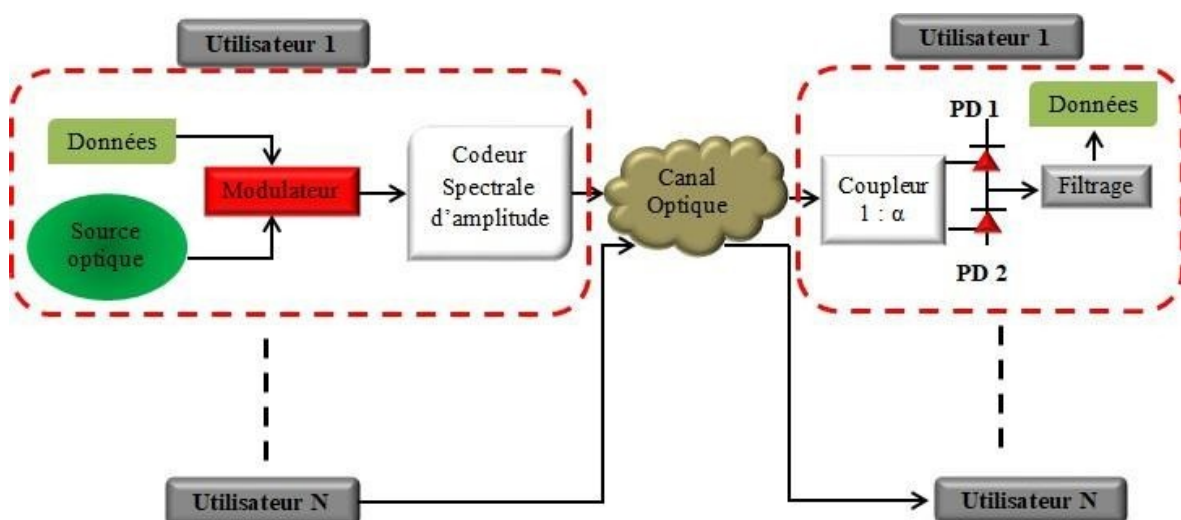


Figure I.12: Concept de codage d'amplitude spectrale

Le coupleur « 1: 1 » est conçu pour équilibrer l'interférence multi-utilisateur (MUI) reçue par 1 et celle reçue par 2, assurant ainsi que leur différence est nulle et éliminant totalement l'effet de l'interférence multi-accès. En conséquence, le facteur α se détermine selon l'expression présentée dans[19] .

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{W - \lambda_c}$$

6.3.3.Procédures de codage dans le codage d'amplitude spectrale Réseaux de guides d'ondes en réseau (AWGs)

Comme illustré par la Figure I.15, la technologie des guides d'ondes planaires est employée pour développer des réseaux AWG capables d'exécuter plusieurs fonctions :

tout d'abord, elle permet de gérer une entrée avec plusieurs longueurs d'onde et de générer plusieurs sorties. Ensuite, le réseau AWG prend la forme d'un réseau "1:N:1", ce qui permet de multiplexer plusieurs longueurs d'onde provenant de différentes portes pour les combiner en un seul port. Enfin, l'AWG est capable de prendre en charge l'échange bidirectionnel .

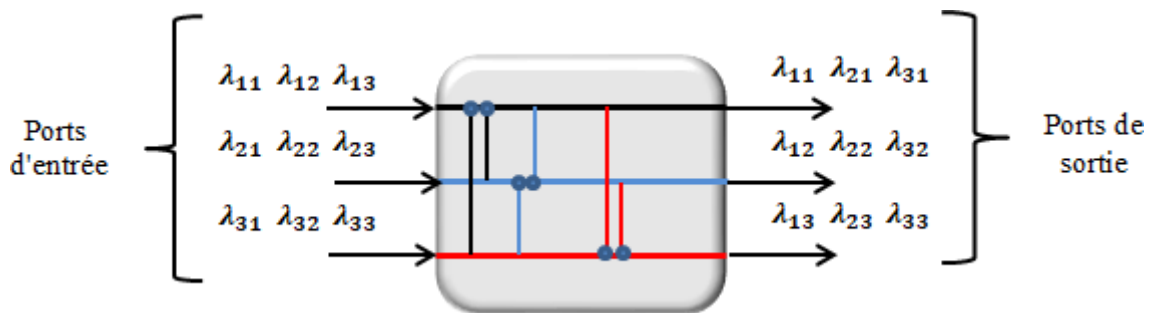


Figure I.13: Figure I.13 Principe de fonctionnement d'AWG

Le principe du codage par réseaux de guides d'ondes (AWGs) 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 bandes spectrales. Ensuite, en fonction de la séquence de code utilisée pour chaque abonné, les impulsions souhaitées sont acheminées par le deuxième AWG, tandis que les autres sont bloquées. Les données ainsi codées sont ensuite multiplexées et transmises via un canal optique. Au niveau du récepteur, le signal optique codé est traité par le premier AWG pour séparer les impulsions, puis se connecte au deuxième AWG, tandis que les impulsions restantes

sont traitées par un troisième AWG selon la signature spécifique attribuée à chaque utilisateur. Après décodage, toutes les impulsions sont détectées et converties en signal électrique à l'aide d'un ou plusieurs photodétecteurs, et enfin, un filtre passe-bas est appliqué pour extraire les données souhaitées et éliminer les interférences indésirables[17].

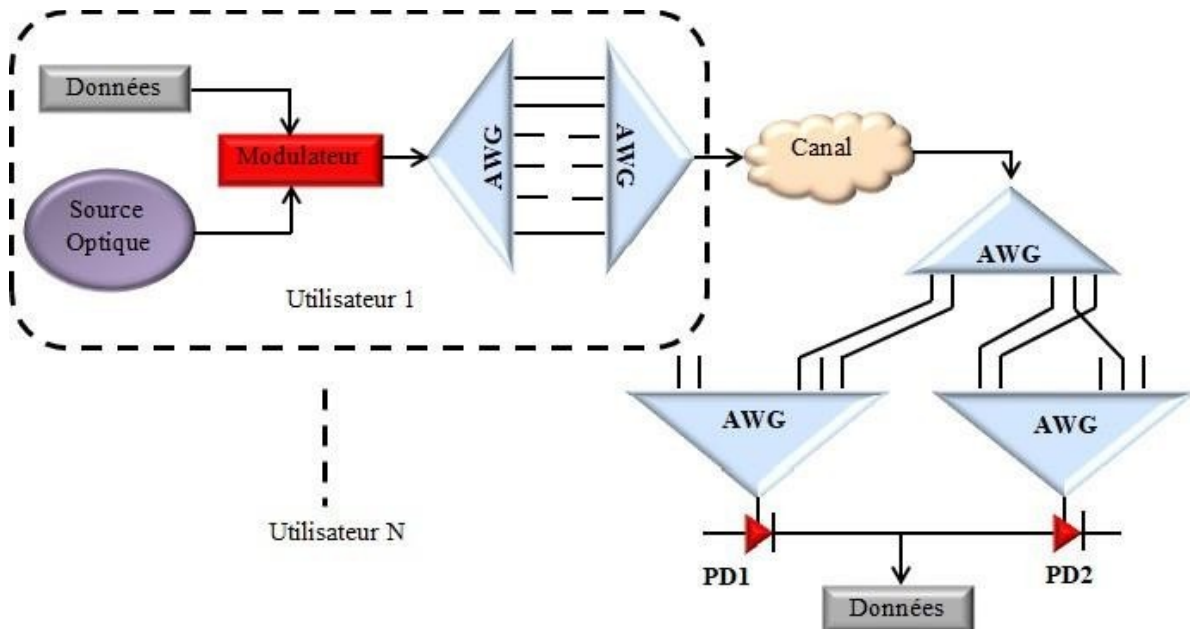


Figure I.14: Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur AWGs

7. Masque d'amplitude spectrale

La Figure I.17 illustre le principe du codage SAC-OCDMA incohérent utilisant un masque d'amplitude spectrale. Voici comment fonctionne ce procédé :

les données unipolaires de chaque utilisateur sont d'abord modulées et transformées à l'aide d'une source optique à large bande, comme une LED ou une SLED. Ensuite, les impulsions modulées passent à travers un premier réseau de diffraction uniforme, accompagnées d'une lentille qui décompose spatialement les composantes spectrales. Le signal optique modulé ainsi dispersé est alors codé spectralement en amplitude grâce à un masque d'amplitude spectrale, selon la signature de code assignée à chaque utilisateur. Après le codage, les signaux sont combinés par une seconde lentille et un autre réseau de diffraction uniforme, puis acheminés vers le récepteur par le canal optique[17].

Au niveau du récepteur, le signal optique multiplexé est détecté par un photo-détecteur, converti dans le domaine électrique, puis un filtre est appliqué pour récupérer les données propres à l'utilisateur.

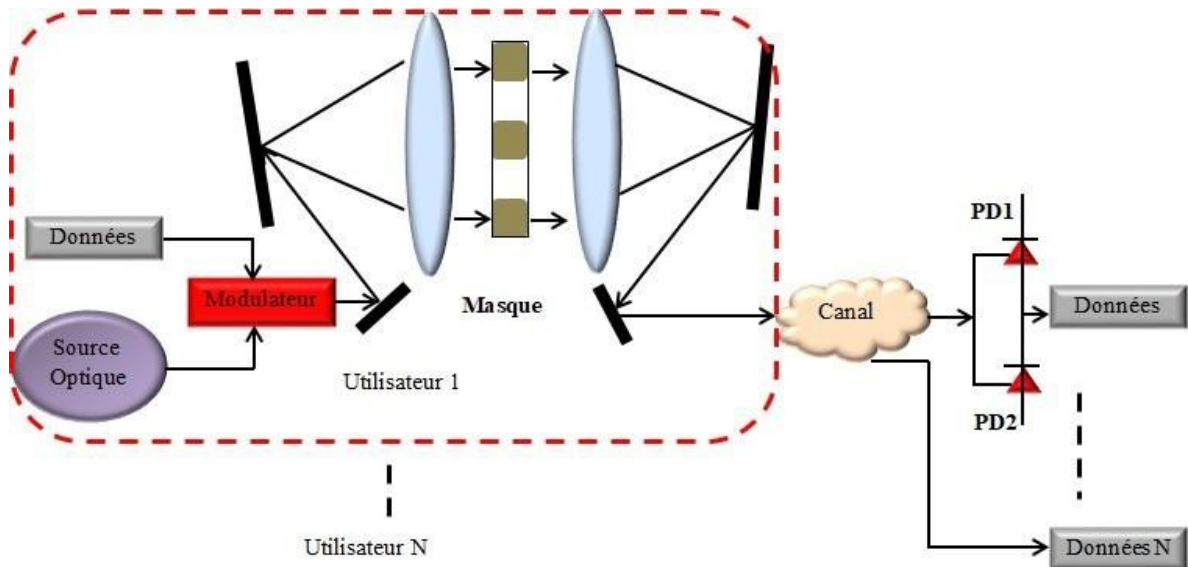


Figure I.15: Codage SAC-OCDMA utilisant le codeur de masque d'amplitude spectrale

7.1. Codage à l'aide d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur

Le concept de codage SAC-OCDMA reposant 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 scindées en plusieurs impulsions optiques de même amplitude grâce à un démultiplexeur, générant ainsi de nombreuses longueurs d'onde en sortie[20].

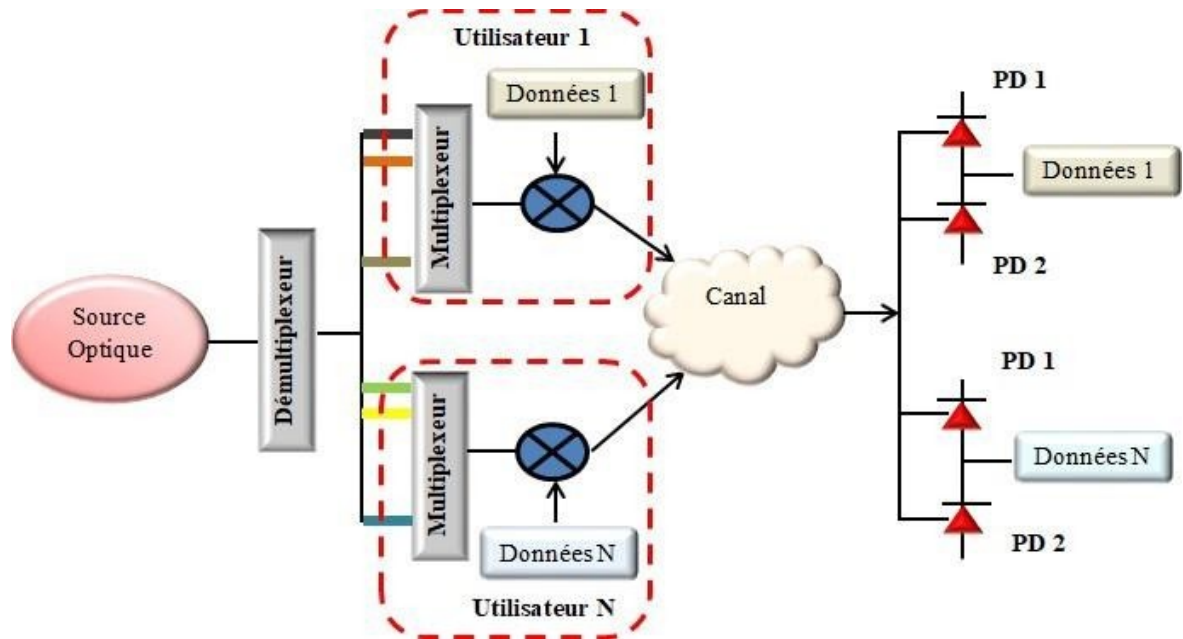


Figure I.16: Encodage SAC-OCDMA à l'aide du multiplexeur et du multiplexeuse

En outre, chaque groupe de longueurs d'onde est assemblé via un multiplexeur spectral afin de créer un code spectral suivant la séquence binaire attribuée à chaque utilisateur. Le nombre d'entrées du multiplexeur est déterminé par le nombre de longueurs d'onde choisies pour chaque abonné. Une fois le codage effectué, les signaux optiques sont fusionnés et acheminés à travers le canal optique jusqu'au récepteur. Au niveau du récepteur, le signal optique est fractionné en plusieurs impulsions grâce à un démultiplexeur, chaque impulsion étant ensuite séparée en différentes longueurs d'onde par un séparateur spectral. Un détecteur optique identifie ces impulsions et les convertit en signaux électriques. Enfin, un filtre est utilisé pour restituer les données des utilisateurs[21].

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

Les réseaux de Bragg en fibre (FGB) sont devenus une technique de codage prisée par de nombreux chercheurs grâce à leurs multiples avantages, tels que la facilité d'implémentation, la faible atténuation et le coût modéré.

Un dispositif spectral (FBG) fonctionne comme un filtre de longueur d'onde permettant de sélectionner les longueurs d'onde souhaitées pour mettre en œuvre le codage d'amplitude spectrale.

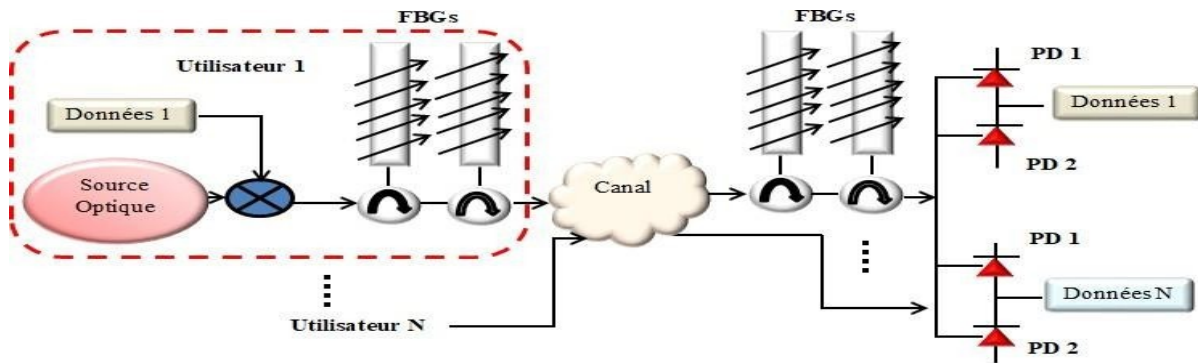


Figure I.17: Schéma fonctionnel du codage/décodage à l'aide des réseaux de Bragg (FBGs)

1. Une illustration de la technique de codage/décodage utilisant les réseaux de Bragg est donnée à la Figure I.19.

Après avoir modulé les données de chaque utilisateur avec une source optique à large bande, les impulsions modulées sont dirigées vers le réseau de codeurs FBG. Premièrement, ces impulsions sont codées par le premier FBG selon un mot de code binaire spécifié pour chaque utilisateur, les longueurs d'onde non souhaitées étant réfléchies. Ensuite, en raison du délai aller-retour des différentes composantes spectrales généré par le premier FBG, un second FBG est utilisé pour compenser ces retards. Une fois le codage spectral effectué, les impulsions sont combinées et transmises au récepteur via le canal. Au niveau du récepteur, le décodage se fait en reconfigurant le réseau de Bragg de manière identique à l'émetteur selon le code initialement utilisé.

Les impulsions décodées sont ensuite converties en signaux électriques à l'aide d'un photodétecteur (PD) [23].

Enfin, un filtre récupère avec précision les informations utiles pour chaque utilisateur tant que l'impulsion originale codée spectralement préserve son énergie maximale..

8. Technique de détection spectrale directe

La technique de détection spectrale directe (SDD) est particulièrement utile avec des codes qui ne se chevauchent pas, éliminant ainsi l'effet de MAI induit par le bruit PIIN.

Cette méthode simplifie la complexité du système côté récepteur en se contentant d'un seul photodétecteur (SPD) pour détecter les données pertinentes pour chaque utilisateur. En plus de cette simplification, la technique optimise les performances du système en termes de rapport signal-bruit (SNR) et de taux d'erreur binaire (BER).

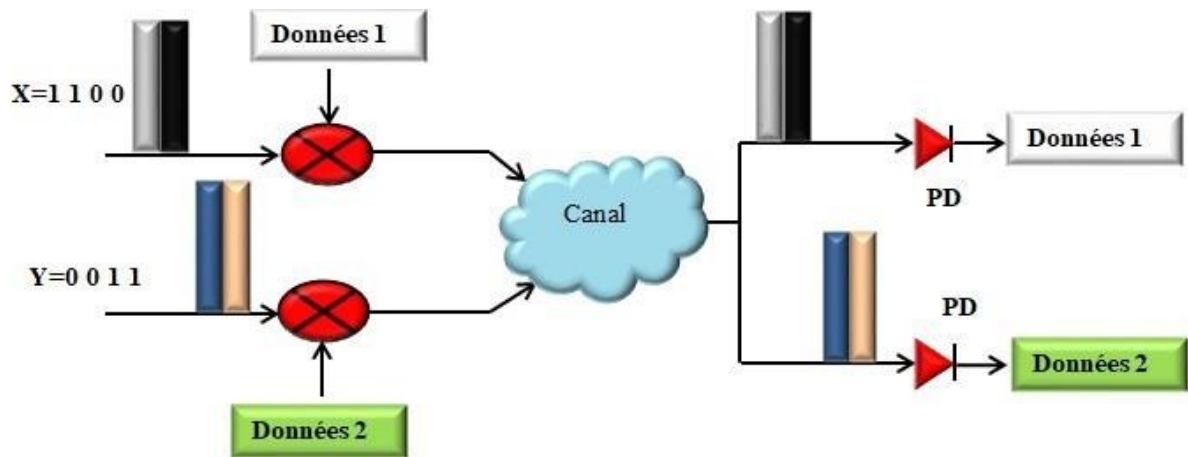


Figure I.18: Principe de base de la détection spectrale directe

L'impulsion reçue par le récepteur est divisée en plusieurs versions, chaque version étant décodée avec la signature correspondant à chaque utilisateur attribué par l'émetteur. Ensuite, l'impulsion décodée est détectée directement de manière spectrale par un unique photodétecteur (PD), comme illustré par la Figure I.20.

La technique de détection directe se formule ainsi :

$$SDDx(K) = \sum_{i=0}^{L-1} X_i Y_i + k = 0$$

Tableau 1: montre une application numérique de la technique de détection spectrale directe

	Λ	Λ	Λ	Λ	
	1	2	3	4	
séquence de code X	1	1	0	0	
séquence de code Y	0	0	1	1	
X.Y	0	0	0	0	=
SDD x y	0				0

9.Mode de transmission dans OCDMA

9.1.Système OCDMA synchrone

Dans les systèmes OCDMA synchrones (S-OCDMA), les utilisateurs transmettent leurs informations avec une coordination rigoureuse pendant la période de transmission, nécessitant des dispositifs de synchronisation précis (Figure .21). Toutefois, ceci augmente considérablement la complexité et le coût du système.

Alors que le récepteur ne scrute la sortie du corrélateur qu'à un moment précis du cycle, cela entraîne des compromis entre l'effet MAI, l'intervalle et la longueur du code.

Malgré ces défis, ces systèmes offrent des avantages tels que l'accès simultané des utilisateurs au réseau et une capacité accrue en termes d'utilisateurs simultanés.

Ils trouvent ainsi leur application dans divers réseaux comme les réseaux optiques passifs (PON) et la fibre jusqu'au domicile (FTTH).

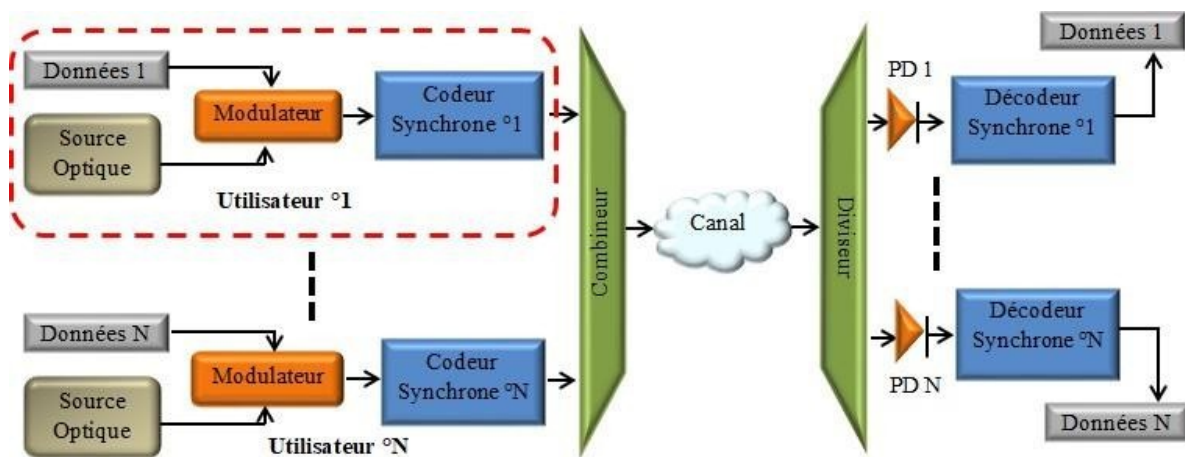


Figure I.19: Schéma typique d'un système OCDMA synchron

9.2. Système OCDMA asynchrone

Les systèmes OCDMA asynchrones permettent à chaque utilisateur de transmettre à tout moment sans coordination préalable, éliminant ainsi le besoin d'appareils de synchronisation, ce qui simplifie leur mise en œuvre (Figure I.22).

Bien que ces systèmes souffrent d'une capacité de multiplexage limitée quant au nombre d'utilisateurs, des solutions existent pour augmenter leur capacité en appliquant des codes avec des extensions 2D et 3D.

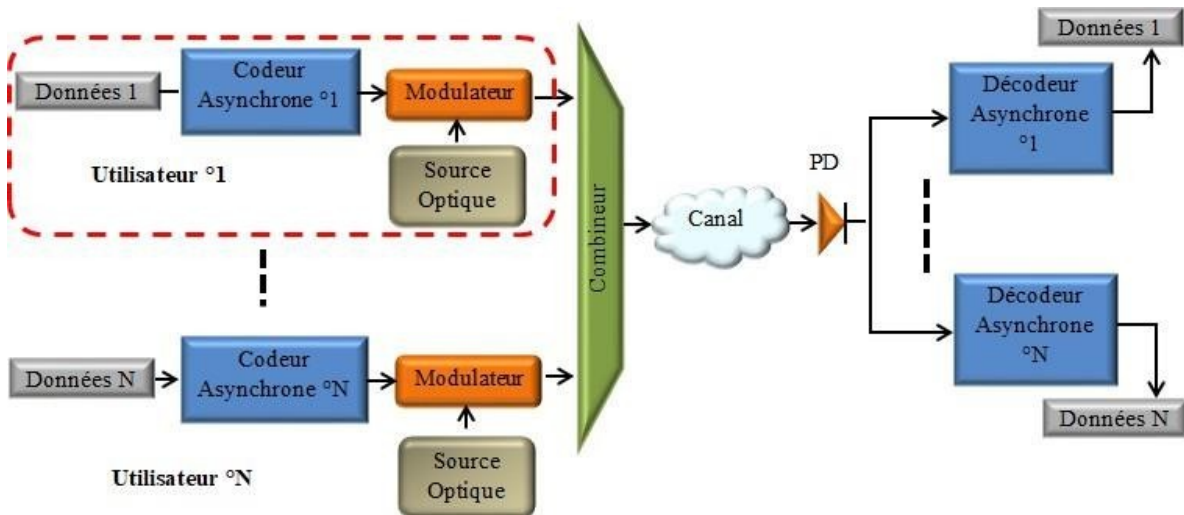


Figure I.20: Architecture de système OCDMA asynchrone typique

10. Bruits dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents

Les systèmes OCDMA, tout comme la plupart des autres systèmes, subissent l'impact de divers bruits, capables de provoquer des erreurs au niveau du récepteur et ainsi dégrader les performances.

Le terme "bruit" se réfère ici à tout signal indésirable perturbant la transmission, rendant complexe l'évaluation de sa qualité. Dans les systèmes SAC-OCDMA, on identifie quatre types de bruits, illustrés à la Figure I.23.

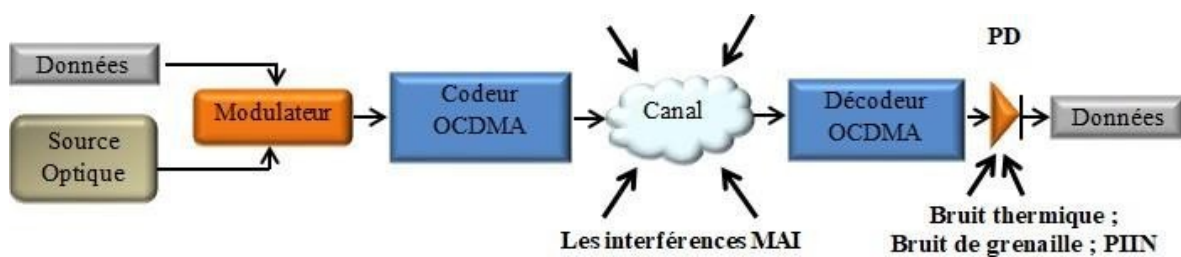


Figure I.21: Bruits affectant le système OCDMA

10.1. Bruit thermique

Le bruit thermique, également connu sous le nom de "bruit de Nyquist", est un bruit additif résultant de l'agitation thermique des charges électriques au sein des éléments conducteurs tel que les résistances. Sa distribution est gaussienne quand on l'observe à grande échelle.

Étant donné le nombre élevé de collisions par unité de temps des électrons, le long de leur parcours aléatoire et à toute température au-dessus du zéro absolu (0 Kelvin), leurs trajectoires individuelles restent imprévisibles de manière déterministe. La densité spectrale de ce bruit se calcule grâce à l'équation suivante :

$$DSP(f) = \frac{2kbTn}{RL}$$

La variance du bruit thermique est alors déduite de l'équation DSP comme suit :

$$\langle \sigma \rangle = 4KbTnB / RL$$

$$\langle \sigma_{Th} \rangle = 2 \int_0^B DSP(f) = \frac{4KbTnB}{RL}$$

Où Kb est la constante de Boltzmann ;

Tn la température en kelvin ; B la bande passante

électrique ; RL la résistance de charge

10.2. Bruit de grenaille

Le bruit de grenaille, ou "bruit quantique", découle des fluctuations quantiques aléatoires de la lumière lors du processus de détection au niveau du photo-détecteur. Le calcul se fait via l'équation :

$$\langle \sigma_{Sh} \rangle = 2eBI$$

Où e représente la charge électronique et I le photo-courant moyen à la sortie du photo-détecteur.

10.3. Bruit d'intensité induit par la phase

Ce bruit survient à la sortie du photo-détecteur lors de la combinaison de plusieurs signaux optiques, particulièrement lorsque des codes spectraux interfèrent entre eux. Il s'agit du facteur principal qui influe sur la performance du système SAC-OCDMA en réduisant le rapport signal sur bruit et augmentant le taux d'erreurs binaires. Au niveau du photo- détecteur, ce bruit peut être atténué avec succès si des codes d'inter-corrélation nuls sont utilisés, ou grâce à d'autres méthodes de détection précédemment évoquées. Toutefois, il ne peut être totalement éliminé car il ne s'agit pas d'un bruit additif. La variance du bruit PIIN est donnée par :

$$\langle \sigma_{PIIN} \rangle = BI^2 \tau c$$

Avec τ_c désignant le temps de cohérence de la source.

11.L'interférence d'accès multiple

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

12.Modulation optique

La modulation vise principalement à adapter le spectre du signal optique au canal physique, en modifiant une ou plusieurs propriétés du signal telles que l'amplitude, la phase et la fréquence. Deux catégories existent :

Modulation directe

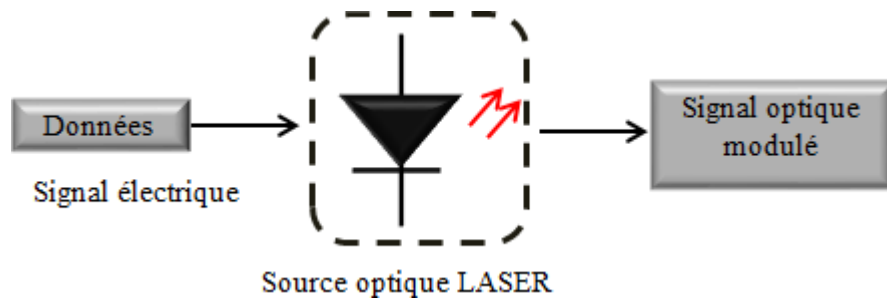


Figure I.22: Modulation directe

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.

13.Modulation externe

ans ce type de modulation, le signal électrique à moduler est modulé par un signal optique constant provenant de la source optique par l'intermédiaire d'un modulateur externe.

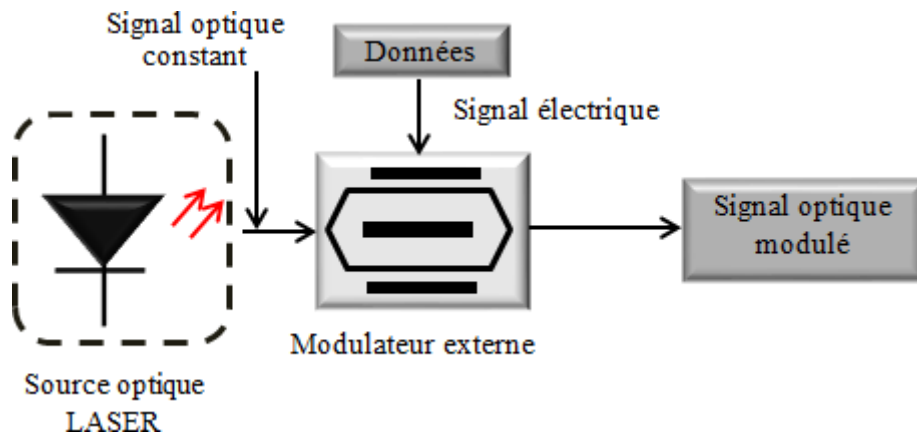


Figure I.23: Modulation externe

14.Conclusion

Ce chapitre offre un aperçu des technologies d'accès multiple, notamment l'OCDMA, qui reste très plébiscitée parmi les chercheurs pour ses multiples atouts tels que sa flexibilité dans l'ajout d'utilisateurs et sa simplicité d'implémentation sans oublier sa capacité élevée de multiplexage.

On y détaille divers savoirs incluant les types de codage, les catégories OCDMA, les multiples techniques de codage SAC-OCDMA accompagnées des méthodes de détection, ainsi que les bruits influençant particulièrement les signaux OCDMA à travers le codage spectral, et une brève explication des principes fondamentaux de la modulation optique numérique en fin de chapitre.

CHAPITRE II :

Les Composants

Optoélectroniques

1.Introduction :

L'optoélectronique représente une intersection entre l'électronique et la photonique. Elle se concentre sur l'étude des composants électroniques capables d'émettre ou d'interagir avec la lumière. La technologie de l'information et de la communication connaît une évolution rapide, en grande partie grâce à l'industrie des semi-conducteurs et au domaine de l'optoélectronique. Ce dernier s'intéresse aux phénomènes optiques liés aux porteurs de charges, généralement présents dans les semi-conducteurs, et exploite principalement les phénomènes d'électroluminescence pour les dispositifs photoémetteurs, ainsi que des phénomènes inverses pour les photorécepteurs.

Ce chapitre a pour objectif de présenter certains composants utilisés pour l'émission et la réception de photons, qui sont largement employés dans les communications optiques[24].

2. Le semi-conducteur :

Le semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants[25].

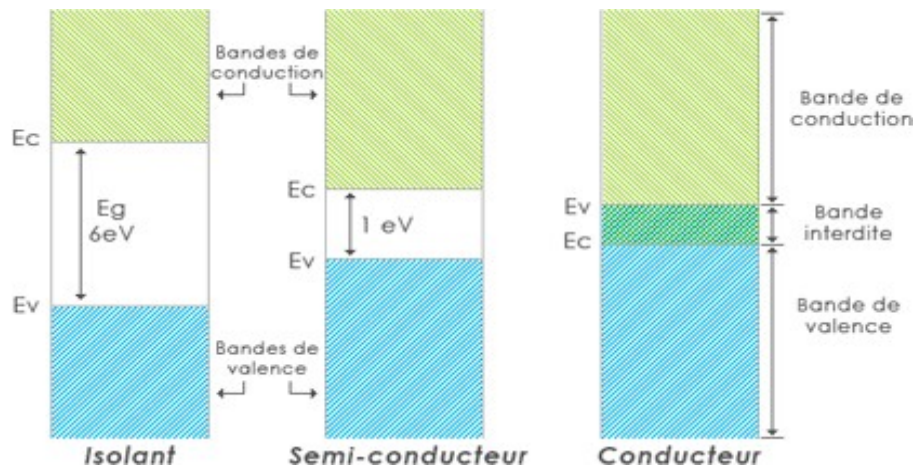


Figure II.1: Structure de bande des trois catégories de matériaux

En revanche, pour les isolants et les semi-conducteurs, une bande interdite sépare les bandes de conduction des bandes de valence. Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité, intermédiaire entre celles des isolants et des conducteurs, varie. Plusieurs facteurs influencent les ordres de grandeur : la température, l'éclairement et la présence d'impuretés (dopage). Une multitude de semi-conducteurs, tels que le germanium (Ge), le silicium (Si) et l'arséniure de gallium (GaAs), sont employés dans le domaine de l'électronique. Cependant, le rôle du silicium est de loin dominant.

Dans le domaine de l'énergie, la différence entre la bande de valence et la bande de conduction est généralement référée en tant que gap énergétique.

3. Différents types de semi-conducteurs :

3.1. Semi-conducteur intrinsèque :

Un semi-conducteur intrinsèque est un matériau semi-conducteur dont le comportement électrique ne dépend que de sa structure, et non de l'adjonction d'impuretés comme dans le cas du dopage[25].

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

3.2.Semi-conducteurs extrinsèques :

On modifie la conductivité des semi-conducteurs intrinsèques en y ajoutant intentionnellement de petites quantités d'impuretés, un processus appelé dopage. Il existe deux types de semi-conducteurs extrinsèques :

3.2.1.Semi-conducteurs de type N :

ils sont obtenus en dopant un semi-conducteur intrinsèque avec des impuretés pentavalentes (qui ont cinq électrons de valence), comme le phosphore (P) ou l'arsenic (As). Ces impuretés "donnent" des électrons supplémentaires, augmentant ainsi le nombre de porteurs de charge négatifs (électrons). Les électrons sont les porteurs de charge majoritaires, et les trous sont les porteurs minoritaires.

3.2.2.Semi-conducteurs de type P :

Ils sont obtenus en dopant un semi-conducteur intrinsèque avec des impuretés trivalentes (qui ont trois électrons de valence), comme le bore (B) ou le gallium (Ga). Ces impuretés "acceptent" des électrons, créant des "trous" (l'absence d'électrons) qui se comportent comme des porteurs de charge positifs. Les trous sont les porteurs de charge majoritaires, et les électrons sont les porteurs minoritaires.

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.

4.Gap direct et indirect :

4.1.Gap direct :

Un semi-conducteur à gap direct est caractérisé par le fait que le maximum de sa bande de valence et le minimum de sa bande de conduction se situent au même vecteur d'onde k .

Dans un semi-conducteur à gap direct, la transition énergétique entre la bande de valence et la bande de conduction se produit sans changement de vecteur d'onde k .

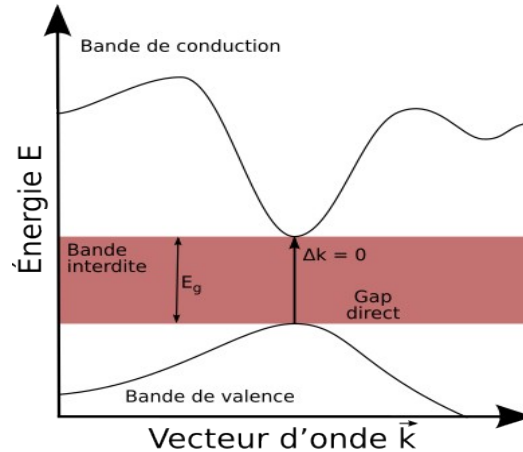


Figure II.2: semi-conducteur à gap direct[24]

4.2. Gap indirect :

Un semi-conducteur est dit à gap indirect lorsque l'énergie maximale des électrons dans la bande de valence et l'énergie minimale des électrons dans la bande de conduction se situent à des valeurs différentes du vecteur d'onde k . Cette distinction est cruciale, car les transitions radiatives (absorption et émission de lumière) sont beaucoup plus efficaces dans les semi-conducteurs à gap direct.

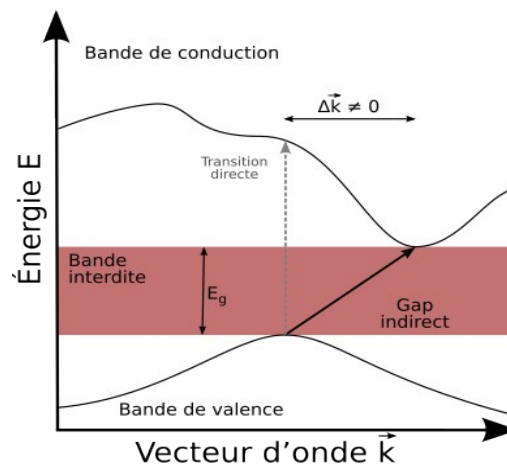


Figure II.3: semi-conducteurs à gap indirect[24]

5. Jonction PN :

En accolant un semi-conducteur dopé P avec un dopé N, on crée une jonction PN. Quelques électrons de la zone N migrent dans la zone P pour se combiner avec les trous. Quand l'électron quitte son atome, celui-ci s'ionise positivement. Quand l'électron se combine avec un trou, l'atome porteur du trou devient un ion négatif. Il se produit alors une couche de transition

d'épaisseur

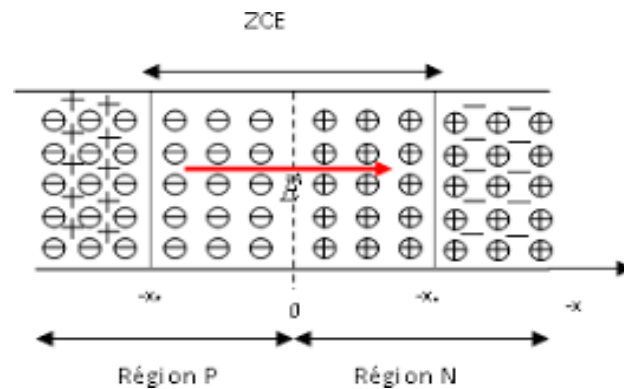


Figure II.4: Principe de la création d'une jonction PN[24]

6. Polarisation de la jonction en direct :

La polarisation directe d'une jonction PN se produit lorsque le potentiel positif est appliqué au côté P (anode) et le potentiel négatif est appliqué au côté N (cathode). Cette configuration réduit la largeur de la zone de déplétion et abaisse la barrière de potentiel, permettant ainsi au courant de circuler à travers la jonction.

Si on polarise la jonction sous une tension, elle réduit la hauteur de barrière qui devient entraînant une diminution de l'épaisseur Z.C.E. (la zone C. E. charge). 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 recombinaison. 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[24].

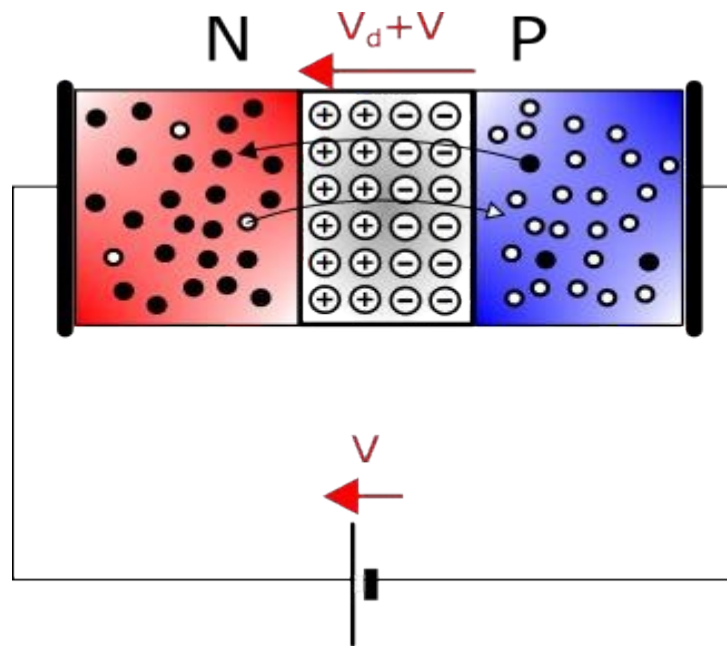


Figure II.5: Jonction PN polarisée en direct

6.1. Polarisation de la jonction en inverse :

La jonction PN polarisée en inverse produit lorsque la borne négative d'une source de tension externe est connectée à la région P (anode) et la borne positive est connectée à la région N (cathode) de la diode PN.

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. 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. Ce courant Issu du phénomène d'ionisation thermique du silicium, dépend uniquement de la température.

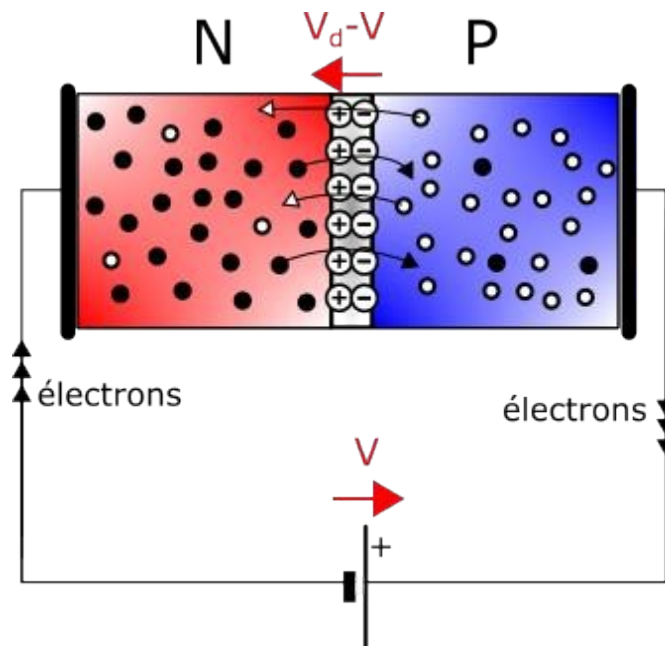


Figure II.6: Jonction PN polarisée en inverse[25]

7. Absorption et émission d'un photon :

L'absorption et l'émission d'un photon sont deux processus fondamentaux dans l'interaction entre la lumière et la matière, régis par les principes de la mécanique quantique. Ils sont au cœur de nombreux phénomènes naturels et applications technologiques, notamment la spectroscopie.

L'interaction du rayonnement avec les électrons d'un semi-conducteur se manifeste selon trois Processus :

7.1. Absorption d'un photon :

L'absorption d'un photon se produit lorsqu'un atome, une molécule ou un ion interagit avec un photon dont l'énergie ($E = h\nu = hc/\lambda$) correspond exactement à la différence d'énergie entre deux de ses niveaux d'énergie ($E_2 - E_1$)

7.2. Émission d'un photon :

L'émission d'un photon se produit lorsqu'un atome, une molécule ou un ion qui se trouve dans un état excité d'énergie (E_2) transite vers un état d'énergie inférieur (E_1) en libérant l'énergie excédentaire sous forme d'un photon. Il existe deux types d'émission : spontanée et stimulée.

7.3. Emission spontanée :

Un atome ou une molécule dans un état excité (E_2) retombe spontanément vers un état d'énergie inférieur (E_1) après un certain temps (durée de vie de l'état excité). Ce processus est

aléatoire et l'émission du photon se fait dans une direction aléatoire, avec une phase aléatoire.

L'énergie du photon émis est égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux :

$$h\nu = E_2 - E_1 = \Delta E$$

7.4.Émission stimulée :

Un atome ou une molécule dans un état excité (E_2) peut être stimulé à émettre un photon lorsqu'un photon incident d'énergie exactement égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux ($E_2 - E_1$) interagit avec lui.

L'énergie du photon émis est également donnée par :

$$h\nu = E_2 - E_1 = \Delta E$$

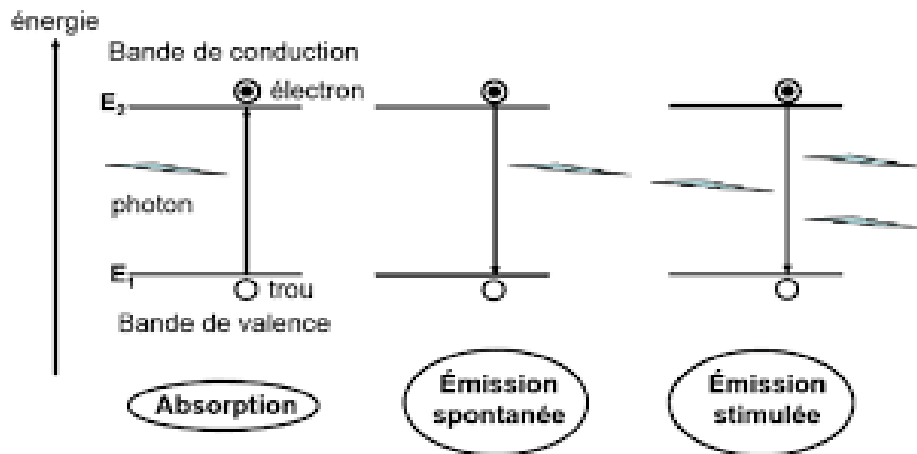


Figure II.7: Interaction rayonnement - semi-conducteur[25]

8.Les composants d'émission des photons :

Le développement des télécommunications par fibre optique a naturellement conduit au choix des émetteurs à semi-conducteur comme sources lumineuses. Leurs petites dimensions, idéales pour le cœur des fibres, la possibilité de moduler directement leur lumière par le courant, leur spectre optique relativement étroit et leur faible consommation énergétique sont les principaux facteurs de cette préférence. Dans ce contexte, les diodes électroluminescentes (LED) et les diodes lasers sont les deux types de sources lumineuses les plus couramment employés.

8.1.Diode électroluminescente – LED :

Une LED est un type de diode semi-conductrice qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique la traverse. Contrairement aux ampoules à incandescence traditionnelles qui chauffent

un filament pour produire de la lumière, les LED convertissent l'énergie électrique directement en lumière, ce qui les rend beaucoup plus efficaces.

8.1.1.Principe de fonctionnement :

Lorsqu'on met deux types de semi-conducteurs de types différents (type P et type N), on obtient une structure dite : jonction PN, Il s'agit essentiellement d'une jonction PN polarisée en direct, les porteurs injectés par les contacts (+ et – du générateur) vont diffuser : les électrons vont vers la région (P) et les trous vers la région (N), et on a une recombinaison d'une paire (électron-trou) avec émission de photons d'énergie $h\nu$ (recombinaison essentiellement radiative) .

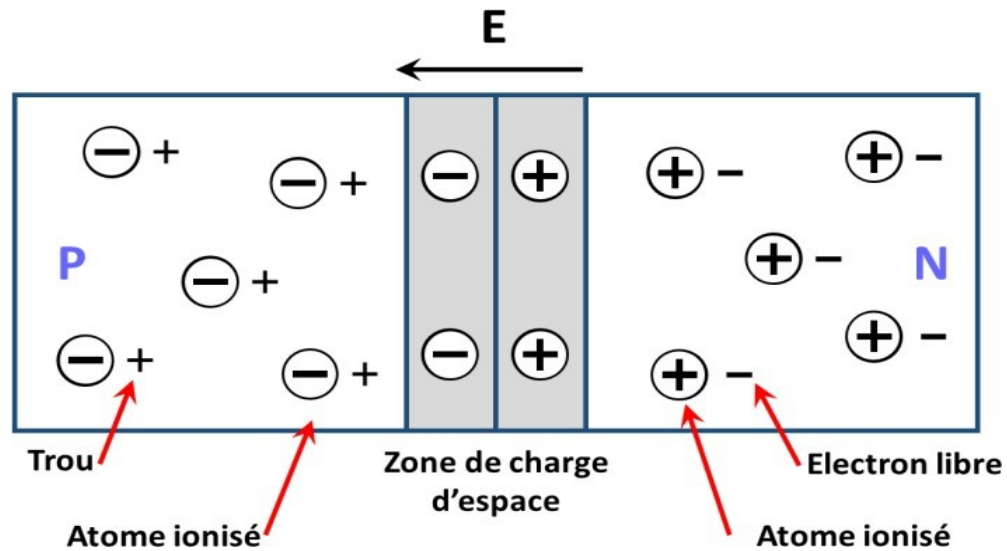


Figure II.8: Structure d'une jonction LED[25]

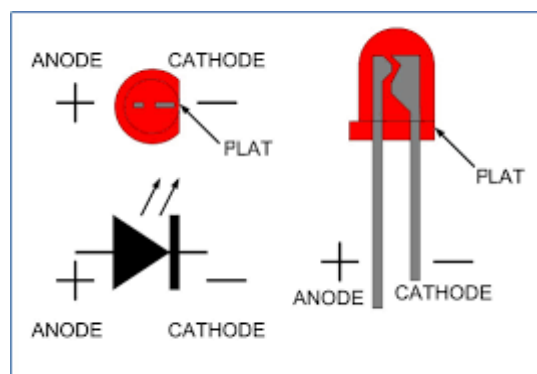


Figure II.9: Schéma simplifié d'une LED[25]

Lorsque une tension V est appliquée telle que la diode soit polarisée en direct, les porteurs circulent à l'intérieur de la jonction et se recombinent dans les trois régions : P, N et la ZCE

(Zone de charge d'espace), et comme la mobilité des électrons est supérieure à celle des trous, donc les électrons arrivent rapidement dans la région P et les trous qui sont plus longs arrivent plus tard dans la région N. on aura une zone des électrons dans la région P la région émettrice de la lumière est représentée par la région P.

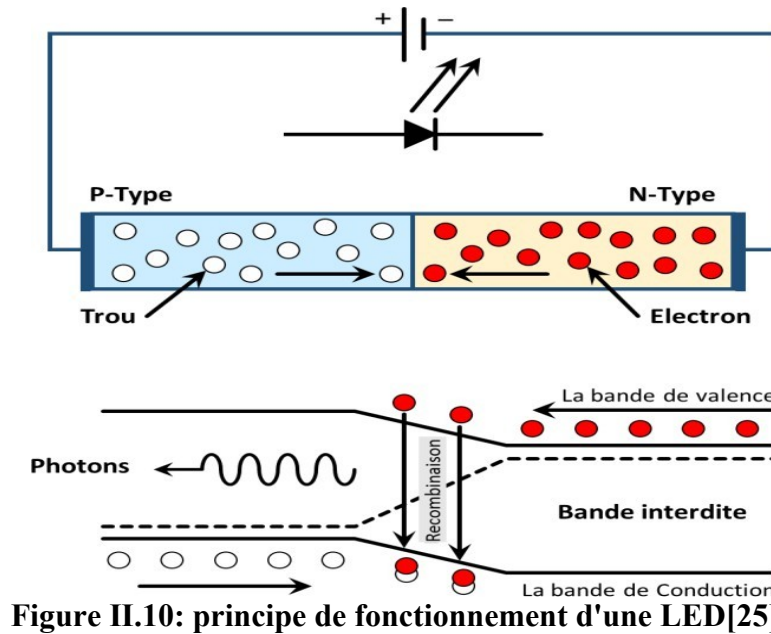


Figure II.10: principe de fonctionnement d'une LED[25]

La plus grande mobilité des électrons par rapport aux trous entraîne une pénétration plus profonde des électrons dans la zone "n" que celle des trous dans la zone "p" (figure), résultant en un courant d'électrons nettement supérieur au courant de trous. L'émission spontanée d'une LED, due à la simple recombinaison électron-trou, se manifeste dans divers types de jonctions : homojonction, hétérojonction et puits quantique.

8.1.2.Utilisation des LEDs :

- Éclairage automobile
- Panneaux de signalisation
- Communication de données
- Capteurs
- Applications médicales
- Affichages et signalisation

8.2.Diode LASER :

8.2.1.Définition :

La diode LASER, ou diode laser, est un dispositif semi-conducteur similaire à une diode électroluminescente (LED) dans lequel une diode pompée directement avec un courant électrique peut créer des conditions de lasing au niveau de sa jonction. LASER est un acronyme pour "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement).

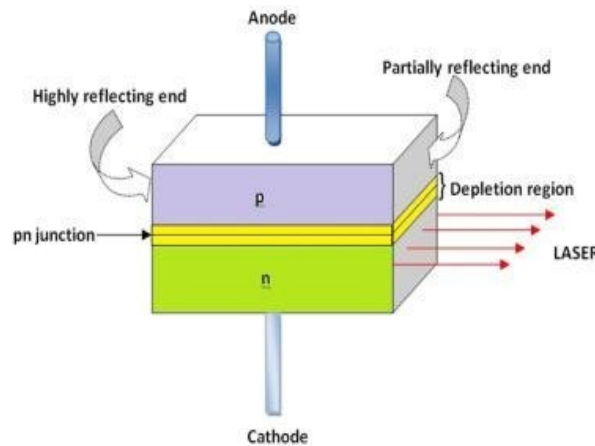


Figure II.11: La diode LASER[24]

Le cœur de la diode laser est une jonction p-n, similaire à une diode électroluminescente (LED). Cependant, contrairement à une LED qui émet de la lumière dans toutes les directions, la diode laser émet un faisceau de lumière cohérente dans une seule direction

8.2.2.Principe de fonctionnement :

Une diode laser fonctionne en passant un courant électrique à travers un matériau semi-conducteur, généralement de l'arséniure de gallium (GaAs). Ce processus provoque la recombinaison d'électrons et de trous, ce qui libère de l'énergie sous forme de photons par émission spontanée. Ces photons peuvent alors interagir avec d'autres électrons excités, les stimulant à émettre davantage de photons de même longueur d'onde et en phase (émission stimulée) [25].

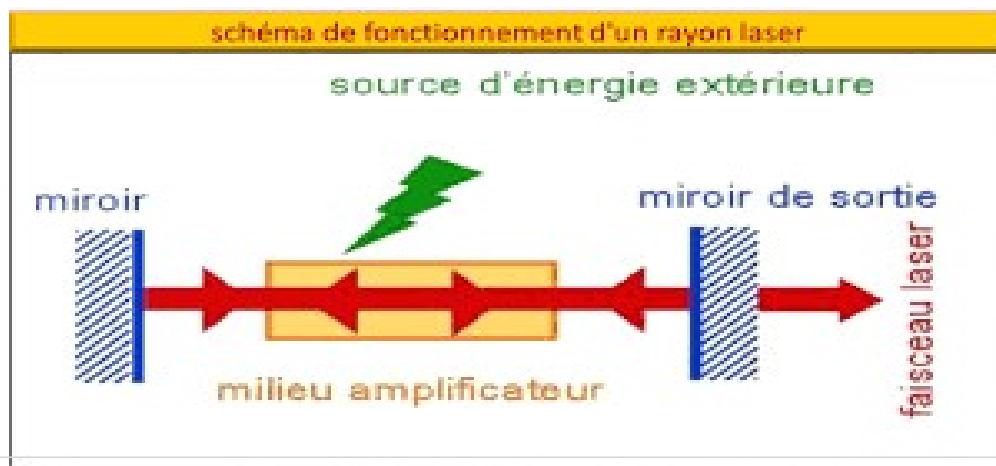


Figure II.12: Schéma d'un système LASER[25]

Le matériau semi-conducteur est conçu avec des surfaces réfléchissantes à ses extrémités, formant une cavité optique. Les photons émis sont réfléchis à plusieurs reprises à l'intérieur de cette cavité, amplifiant la lumière par émission stimulée à chaque passage. Une partie de la lumière est intentionnellement laissée s'échapper à travers l'une des surfaces partiellement réfléchissantes, formant ainsi un faisceau laser cohérent et concentré.

8.2.3. Caractéristique de la lumière LASER :

Les caractéristiques d'un faisceau laser sont :

- Mono chromaticité élevée : Contrairement à la lumière blanche du soleil ou d'une ampoule, qui est composée de nombreuses longueurs d'onde (et donc de couleurs), la lumière laser est constituée d'une gamme de longueurs d'onde extrêmement étroite. On dit qu'elle est quasi-monochromatique, ce qui signifie qu'elle a une seule couleur très pure.
- Cohérence spatiale et temporelle : Les ondes lumineuses émises par un laser sont en phase les unes avec les autres, à la fois dans l'espace (cohérence spatiale) et dans le temps (cohérence temporelle).
- Directionnalité élevée : Un faisceau laser se propage sur de longues distances avec une divergence très faible. Contrairement à une lampe de poche dont le faisceau s'étale rapidement, un faisceau laser peut rester concentré sur une petite surface même à grande distance.
- Brillance élevée : La combinaison de la monochromaticité, de la cohérence et de la directionnalité permet de concentrer une grande quantité d'énergie lumineuse dans un petit espace. Cela se traduit par une brillance (puissance par unité de surface et par unité d'angle solide) extrêmement élevée, bien supérieure à celle des sources lumineuses classiques. C'est cette brillance qui permet aux lasers de graver des matériaux durs ou de réaliser des chirurgies précises[25].

8.2.4. Les applications de LASER :

- Les imprimantes
- Codes barre dans les superettes
- Les lecteurs DVD
- Diode laser pour la médecine (en chirurgie, en esthétique)

- Pilotage des avions
- Applications de soudage

9.Composants de détection de photons :

Le récepteur a pour but de restituer fidèlement l'information en extrayant, par des moyens fiables, les données transmises à partir du signal optique reçu. Notre étude se concentrera sur les photodétecteurs, notamment les photodiodes PIN (positive-intrinsic-negative) et APD (Avalanche photo diode), qui sont les plus couramment utilisées dans les systèmes de transmission par fibre optique[25].

9.1.Photo détecteur :

La photo détectrice est un semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse il permet d'extraire l'information contenue dans un rayonnement optique pour la rendre sous forme de signal électrique.

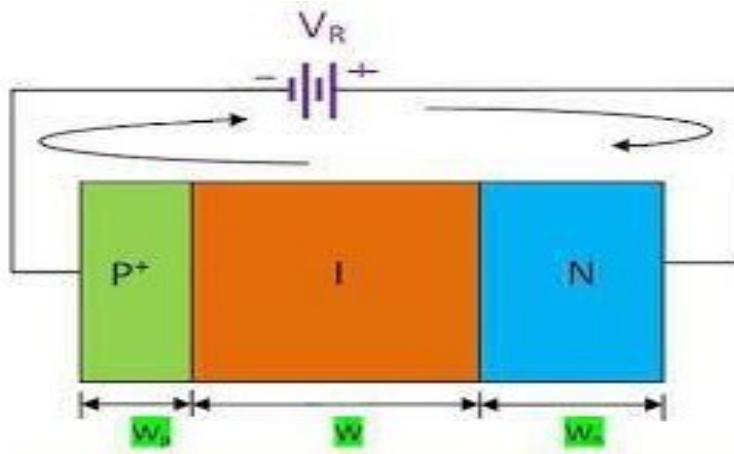


Figure II.13: Un récepteur optique (photo détecteur) [24]

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.

9.2.La photodiode PIN :

Une photodiode est un composant opto-électronique qui convertit la lumière en courant électrique, La structure d'une photodiode est une jonction PN simple constituée de deux couches, à savoir des semi- conducteurs de type P et de type N, tandis que la photodiode PIN est constituée de trois couches, à savoir le type P, le type N et une couche d'addition appelée semi-conducteur intrinsèque, placée entre le semi-conducteur de type P et le semi-conducteur de type .



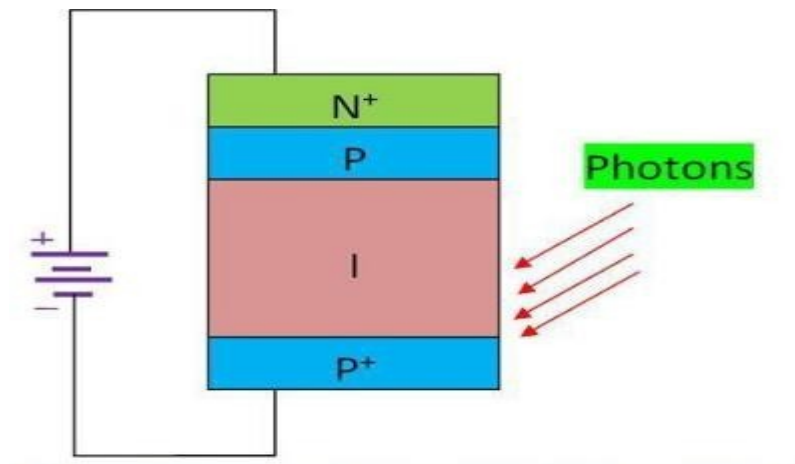
9.2.1. Avantages de la photodiode PIN :

- présentent un faible bruit.
- Le faible courant d'obscurité des diodes PIN signifie que le courant électrique qui les traverse est très faible lorsqu'aucun photon n'y pénètre.
- Une tension de polarisation très faible et une tension de polarisation inverse très élevée.
- Vitesse de réponse élevée.
- Présentent de grandes zones d'appauvrissement et une faible capacité de jonction.
- Large bande passante..

Figure II.14: Photo diode PIN[24]

10.La photodiode APD :

Une photodiode à avalanche (APD) est un type de photodiode très sensible, généralement constituée de diodes semi-conductrices qui convertissent la lumière en électricité par effet photovoltaïque. Les APD utilisent des matériaux et une structure optimisée pour fonctionner avec une tension de polarisation inverse élevée, proche de la tension de claquage inverse, de sorte que les porteurs de charge générés par l'effet photovoltaïque sont multipliés par un claquage par avalanche ; elles permettent ainsi de détecter des quantités relativement faibles de lumière[26].



11. Comparaison entre les photodiodes PIN et APD :

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

Tableau II.1 Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et APD [24] :

Caractéristique	Photodiode PIN	Photodiode à Avalanche (APD)
Structure	Simple	Complexe
Gain interne	Aucun	Élevé (multiplication par avalanche)
Sensibilité	Modérée	Très élevée
Bruit	Faible	Plus élevé
Vitesse de réponse	Généralement rapide	Généralement rapide (peut varier)
Tension de fonctionnement	Faible à modérée	Élevée
Complexité/Coût	Faible/Moins cher	Élevé/Plus cher
Linéarité	Bonne	Peut être non linéaire
Stabilité en température	Bonne	Sensible au gain

Applications	Détection générale, communication courte distance	Communication longue distance, LIDAR, détection faible lumière
--------------	---	---

12.Conclusion :

Au cours de ce deuxième chapitre, nous avons exploré les semi-conducteurs en présentant les bases de leur fonctionnement, qui est intrinsèquement lié à la distribution des électrons et des trous dans leurs bandes de conduction et de valence. Par la suite, nous avons examiné les composants optoélectroniques, qu'il s'agisse d'émetteurs ou de récepteurs, en détaillant leurs caractéristiques et leurs applications pratiques.

CHAPITRE III:

L'effet Des Composants PIN et APD sur Le Système Proposé

1.Introduction

Les réseaux optiques qui garantissent un bon accès à un grand nombre d'utilisateurs et de bonnes performances des services sont devenus l'objectif principal de chaque opérateur. Le développement de telles réseaux repose principalement sur l'exploitation maximale de la bande passante de la fibre optique en utilisant différentes techniques d'accès. La technologie OCDMA semble être une solution potentiellement intéressante pour l'accès futur aux réseaux optiques [1]. Cette technique se caractérise par : l'accès aléatoire des utilisateurs, le transport de données multiservices, une sécurité élevée dans le transport, une méthode de gestion simple, un réseau flexible et une bonne compatibilité avec les technologies d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) et par répartition en longueur d'onde (WDM). Elle permet le transfert des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence et en même temps en attribuant une séquence symbolique à chaque utilisateur [30].

Les systèmes OCDMA se divisent en deux catégories principales [31] : Tout d'abord, les systèmes OCDMA cohérents où l'information de phase du porteur de lumière optique est très importante pour le processus de dispersion. Ces systèmes utilisent des codes bipolaires composés de -1 et 1 qui sont complètement orthogonaux. Cette orthogonalité améliore les performances du système et réduit l'interférence multi-utilisateur (MAI). Cependant, cette catégorie de codage utilise de nombreux composants qui rendent le système plus complexe et augmentent le coût de l'infrastructure installée [32]. Deuxièmement, les systèmes OCDMA non cohérents dans lesquels les opérations de codage et de décodage reposent sur la modulation d'intensité et la détection directe [35]. Ce type de système suscite en réalité l'intérêt de nombreux chercheurs en raison de sa simplicité et de son faible coût de mise en œuvre. Cependant, les séquences de codes utilisées dans de tels systèmes ne peuvent pas être complètement orthogonales. Cela signifie que les données émises par les différents utilisateurs du système se chevauchent, ce qui limite par conséquent les performances du système [37].

Le codage dans le système OCDMA se divise principalement en trois types [38] : le codage temporel, spatial et de répartition de fréquence. Le codage temporel, comme la technique TDMA, implique l'attribution d'une période de temps spécifique à chacun des utilisateurs partageant le même canal. Cette technique de codage nécessite une synchronisation entre les différents utilisateurs. Le codage spatial utilise des fibres et des commutateurs en étoile pour la transmission, où les données optiques sont distribuées

spatialement à chaque utilisateur sur les fibres. Dans cette technique, la complexité du système augmente avec le nombre d'utilisateurs, ce qui la rend complètement impraticable, tout comme la technique TDMA [39]. Le codage spectral a été largement proposé comme une bonne solution pour réduire l'effet MAI en utilisant la détection équilibrée, qui offre un avantage significatif par rapport au codage temporel [40].

Pour surmonter le défaut du système OCDMA unidimensionnel, une approche multidimensionnelle a été développée en combinant le temps, la longueur d'onde, l'espace et la polarisation, où de nombreuses recherches ont été menées dans les approches spectro-temporelle, spectro-spatiale, spatio-temporelle, spectro-temporelle-spatiale et spectro-temporelle-polaire [41, 41, 42, 43,44]. Les approches spectro-temporelles et spatio-temporelles sont les schémas les plus couramment utilisés dans les systèmes OCDMA bidimensionnels. Dans ce contexte, plusieurs codes ont été proposés : Dans [45], un code de différence idéal en deux dimensions a été développé pour éliminer le bruit résultant de la densité due à la phase (PIIN). Les effets du MAI sont réduits en utilisant la propriété d'annulation, puis la performance du système est améliorée en utilisant la méthode d'atténuation [46]. Dans [47], [48], le code hybride flexible pour l'interférence croisée modifiée à double poids en deux dimensions est également proposé pour le système OCDMA en longueur d'onde/temps afin d'améliorer les performances du système. Dans [49], le code à double poids amélioré étendu en deux dimensions est étudié pour atténuer le bruit résultant de la densité causée par la phase [50]. Dans [51], le décalage périodique dynamique bidimensionnel est étudié dans un système OCDMA spectral/spatial. Dans [52], un code à gouttes multiples bidimensionnel a été proposé pour éliminer complètement l'interférence croisée grâce à sa propriété de corrélation croisée nulle, et pour réduire la complexité du système qui est étroitement liée à l'amélioration des performances du système, laquelle dépend nécessairement de la longueur du code spatial. Dans cet article, un nouveau code appelé Two Dimensional- Single Weight Zéro Cross Corrélation a été développé, qui se caractérise par une corrélation croisée nulle et une grande capacité, à être mis en œuvre dans des systèmes OCDMA non cohérents basés sur le codage de capacité spectrale. Cette re0m21c

Cvypbnherche a été proposée pour surmonter les limites des systèmes SAC-OCDMA causées par les effets MAI ainsi que par la longueur du code qui augmente linéairement avec le nombre d'utilisateurs. Ainsi, le code développé réduit la complexité du système bidimensionnel en raison de l'absence de corrélation croisée.

Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord les résultats numériques de la construction du code 2D-SWZCC proposé, et il apparaît que la conception proposée améliore la capacité du système. Ensuite, nous présentons en détail les résultats de la simulation utilisant les logiciels Matlab et Optisystem pour montrer que le code proposé produit un taux d'erreur binaire (TEB) faible avec une haute capacité et une puissance d'émission inférieure par rapport aux codes mentionnés précédemment.

Dans ce chapitre, nous démontrons que le code proposé 2DSWZCC avec le composante opto electronique "APD" (photo-détecteurs a avalanche) fournit de l'énergie de manière efficace " économe en énergie "et augmente considérablement la cardinalité par rapport aux code 2DSWZCC avec le composante opto electronique PIN photodiode ; cela est dû au gain d'avalanche utilisé dans l'APD, qui permet la détection de flux lumineux très faibles à des vitesses élevées.

2.New 2D-SWZCC Code construction

Le 2D-SWZCC proposé est généré à partir du nouveau code 1D-SWZCC. Chaque séquence de code est représentée par une matrice $M \times N$, où M et N sont les longueurs du code pour les composants spectrales et spatiaux. 1D-SWZCC est construit selon les étapes suivantes :

Étape 1 : Créer une matrice identité I_L . Par exemple, $L=3$, la matrice prend la forme :

$$I_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Étape 2

En utilisant la propriété de décalage entre les lignes d'une unité, le nombre de rotations requises pour I_L est $L-1$. Le résultat de la rotation est affiché par $I_{(L^2, L)}$. Par exemple, le nombre d'utilisateurs passe de L à L^2 , et la corrélation croisée devient également égale à 1.

(2)

$$I_{L^2,L} = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \\ 010 \\ 001 \\ 100 \\ 001 \\ 100 \\ 010 \end{bmatrix}$$

Il est clair que $I_{(L^2,L)}$ peut être divisé en $L=3$ sous-matrices a_k ($k=1, 2, \dots, L$) :

$$A1 = \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix}$$

$$a_1 = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix}, a_2 = \begin{bmatrix} 010 \\ 001 \\ 100 \end{bmatrix}, a_3 = \begin{bmatrix} 001 \\ 100 \\ 010 \end{bmatrix}$$

Dans la matrice $I_{(L^2,L)}$ la corrélation entre les séquences de code est un. Pour éliminer les interférences et augmenter le nombre d'utilisateurs, chaque matrice a_k est utilisée pour construire la matrice Z_k (L^2,L), la nouvelle matrice Z_k est $L^2 \times L$ donnée par :

$$Z_k(i + (j-1) \times 3, j) = a_k(i, j) \quad (3).$$

Les autres éléments de Z_k non définis dans l'équation 3 sont remplis de zéros.

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Z_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, Z_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Pour cela, la nouvelle matrice ZCC est $L^2 \times L^2$, les éléments de la matrice ZCC sont disposés comme suit :

$$ZCC = [Z_1 \ Z_2 \ Z_3]$$

$$I = \begin{bmatrix} 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \\ 000000000 \end{bmatrix} \rightarrow I = ZCC = \begin{bmatrix} 100000000 \\ 000000100 \\ 000100000 \\ 000010000 \\ 010000000 \\ 000000010 \\ 000000001 \\ 000001000 \\ 000001000 \\ 001000000 \end{bmatrix} \quad (4)$$

De la même manière, le reste des sous-matrices I_k est généré pour le reste de a_k . À la fin, le code SWZCC est généré en rassemblant les sous-matrices I_k dans la matrice

I_k dans une matrice I_{L^2, L^2}

Un exemple de 1D-SWZCC est présenté dans le Tableau 1, lorsque $L=3$.

Un exemple de 1D-SWZCC est présenté dans le Tableau 1, lorsque L=3.

Tableau 2: 1D-SWZCC pour 9 utilisateurs

1	0	0	0	0	0	0	0	0
0								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1								
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0								
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0								
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1								
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0								
0	0	0	0	0	0	1	0	0
0								
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0								

Le 2D-SWZCC est généré en utilisant deux séquences de codes de 1D-SWZCC notées X et Y, pour les composants spectral et spatial, respectivement. Les longueurs des codes de X et Y sont : M=K1 et N=K2. Où K1 et K2 sont les cardinalités de X et Y, respectivement. L'équation de génération de code 2D-SWZCC est définie comme [54], [52], [53] :

$$A_{gh} = Y_h^T X_g \quad (5)$$

Où g=0,1, 2,....., K₁-1 et h=0,1, 2,....., K₂-1

X_g = [X₀, X₁..., X_(M-1)] Et Y_h = [Y₀, Y₁..., Y_(N-1)] : deux séquences de code de 1D- SWZCC.

La taille et la longueur du code 2D-SWZCC sont égales à K₁*K₂. La corrélation croisée de A^d et A_(g,h) peut être exprimée Comme :

$$R^{(d)}(g,h) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_{i,j}^{(d)} a_{i+g|j+h} = \begin{cases} w_1 w_2 = 1 & \text{wheng=0} \cap h=0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

Où $a_{i,j}$ et $a_{g,h}$ représentent respectivement les éléments de la matrice $a_{(i+g)(j+h)}$ et $A_{g,h}$.

Le code SW-ZCC 2D / corrélation croisée est dérivé de quatre matrices caractéristiques de A^d , où $d \in \{0,1,2,3\}$ [55], cette matrice est donnée sous la forme suivante

$$A^{(0)} = Y^T X, A^{(1)} = Y^T \bar{X}, A^{(2)} = \bar{Y}^T X, A^{(3)} = \bar{Y}^T \bar{X}$$

Tableau 3: La corrélation du nouveau code 2D-SWZCC

$X_{(g,h)}$	$R^{(0)}_{(g,h)}$	$R^{(1)}_{(g,h)}$	$R^{(2)}_{(g,h)}$	$R^{(3)}_{(g,h)}$
$g=0 \cap h=0$	$w_1 w_2$	0	0	0
$g=0 \cap h \neq 0$	0	$w_1 w_2$	0	0
$g \neq 0 \cap h=0$	0	0	$w_1 w_2$	0
$g \neq 0 \cap h \neq 0$	0	0	0	$w_1 w_2$

Un exemple de code 2D-SWZCC, lorsque $K1=K2=3$, est présenté dans le Tableau III.2.

Tableau 4: Code 2D-SWZCC pour $K1=K2=3$

$$X_0 = [1000] X_1 = [0010] X_2 = [0001]$$

$Y_0^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0010 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0001 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0000 \end{bmatrix}$
$Y_1^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 1000 \\ 0000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0010 \\ 0000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0001 \\ 0000 \end{bmatrix}$

$Y_2^T =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 1000 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0010 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0001 \end{bmatrix}$
-----------	--	--	--	--

2.1.Description du système :

K_1 et K_2 présentent des paires d'émetteur/récepteur, chacun utilisant un mot A_{gh} de code 2D- SWZCC avec un connecteur en étoile N. La structure de l'émetteur est illustrée dans la figure 1 et contient une source de lumière incohérente, un modulateur électro-optique (EOM) qui convertit les données binaires des signaux électriques en impulsions optiques en utilisant un schéma de commutation marche/arrêt, un séparateur optique pour le codage spatial, et deux ensembles de réseaux de Bragg en fibre (FBG1 et FBG2) contenant le même nombre de réseaux avec une distribution opposée, utilisés pour le codage spectral et la compensation des retards de retour, respectivement. Tout d'abord, les bits de données entrants sont modulés par le modulateur électro-optique où les impulsions électroniques sont converties en signaux optiques qui seront livrés à FBG1 pour être codés spectralement selon la séquence de code X_g . Les composants spectraux possèdent des longueurs d'onde associées à «1» dans la séquence de code, où certains sont réfléchis tandis que d'autres sont filtrés. Les composants spectraux réfléchis sont ensuite livrés à FBG2 pour fournir une compensation de retard.

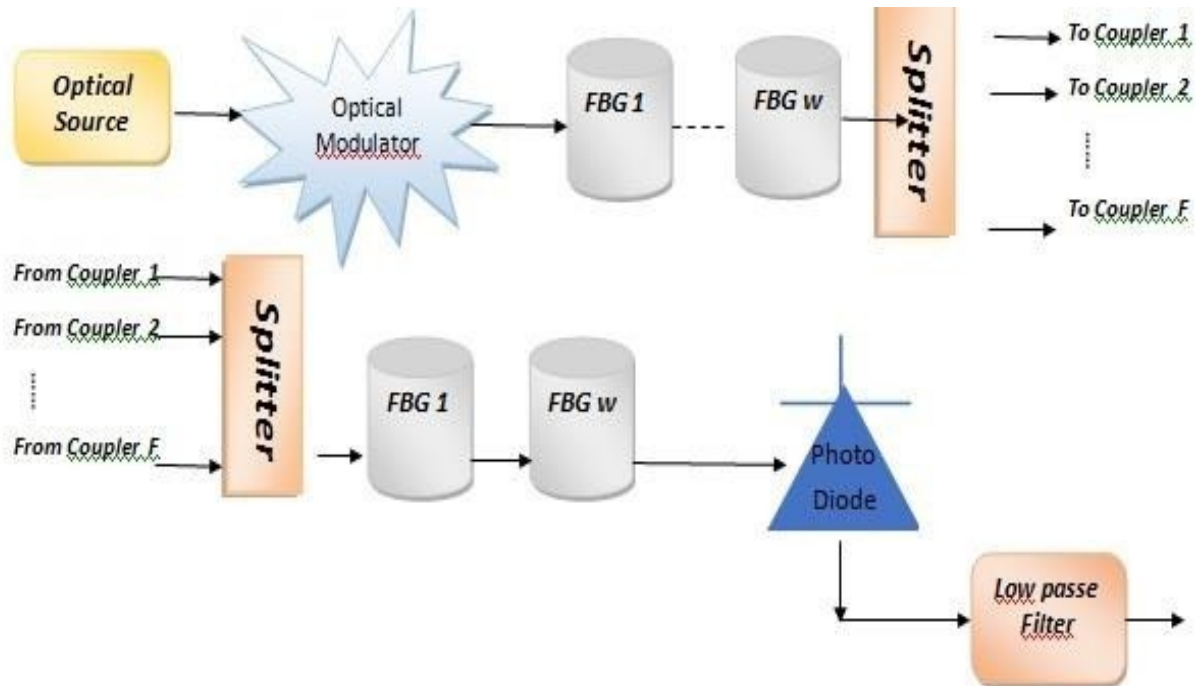


Figure III.1: Schéma bloc de l'émetteur/récepteur SWZCC spectral/spatial 2D[54]

Ensuite, les impulsions lumineuses atteignent le séparateur de faisceau ; elles sont divisées en K_2 parties égales pour être envoyées aux connecteurs stellaires selon la séquence de code Y_h . À ce stade, le signal lumineux est entièrement codé en deux dimensions. La partie inférieure de la figure 1 montre la structure du récepteur, où le signal reçu passe à travers un séparateur optique pour le déchiffrement spatial, et deux ensembles de réseaux de fibres optiques (FBG1 et FBG2) respectivement pour le déchiffrement spectral et la compensation de retard. Le signal résultant est détecté par un photodétecteur PIN qui convertit le signal optique en signal électrique, et enfin, un filtre passe-bas est utilisé à la longueur d'onde souhaitée pour récupérer les informations.

2.2. Étude de la performance du système 2D-SWZCC

Pour simplifier l'analyse du système 2D-SWZCC, nous utilisons les hypothèses suivantes. Le spectre de la source lumineuse à large bande est plat sur $[v_0 - \Delta v/2, v_0 + \Delta v/2]$, où v_0 est la fréquence centrale et Δv est la largeur de bande optique. La source lumineuse n'est pas parfaitement polarisée et chaque composant de la puissance spectrale a la même largeur spectrale.

Chaque utilisateur au niveau futur a presque la même puissance ; et chaque flux de bits est synchronisé avec chaque utilisateur. L'expression du rapport signal sur bruit est écrite comme suit [59] :

$$SNR = \frac{I^2}{\langle i_{noise}^2 \rangle} \quad (7)$$

2D-SWZCC se caractérise par des propriétés de liaison croisée nulle. Par conséquent, l'interférence entre les spectres des différents utilisateurs est ignorée. Pour analyser les performances du code proposé, nous prenons en compte trois types de bruit : le bruit de lancement, le bruit PIIN et le bruit thermique. Par exemple, le bruit du courant lumineux est exprimé comme suit [57]:

$$\langle i_{noise}^2 \rangle = \langle i_{PIIN}^2 \rangle + \langle i_{shot}^2 \rangle + \langle i_{thermal}^2 \rangle \quad (8)$$

Pour calculer le SNR, la densité spectrale de puissance (PSD) du signal reçu est exprimée comme dans [20], [11] :

$$r(v) = \frac{P_{sr}}{\Delta} \sum_K d(w) \sum_{M-1}^{N-1} a_{i,i}^{(0)} a_{i,i}(w) \prod(v, i) \quad (9)$$

Où P_{sr} a reçu le pouvoir effectif et $\prod(v, i)$ est le i th élément spectral de la source à large bande (BBS).

$\prod(v, i)$ est défini comme suit [60] :

$$\prod(v, i) = \left\{ u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2M} (-M + 2i) \right] - \left[v - v_0 - u \frac{\Delta v}{2M} (-M + 2i + 2) \right] \right\} = u \left[\frac{\Delta v}{M} \right]$$

La sortie des courants de la photodiode (PD) au récepteur peut être écrite comme suit :

$$i = R \int_0^{\Delta v} S_0(v) dv = R \int_0^{\Delta v} S_0(v) dv$$

Où R est la responsivité du photodiode.

L'intensité de phase introduite et les bruits de grenaille sont exprimés comme suit[59] :

$$\langle i_{\text{PIIN}}^2 \rangle = B_r R^2 \int_0^\infty G_0^2(\nu) d\nu = B_r R^2 \frac{P_{sr}^2 \Delta\nu}{\Delta\nu^2 M} = B_r R^2 \frac{P_{sr}^2}{\Delta\nu M} \quad (11)$$

$$\langle i_{\text{shot}}^2 \rangle = 2eI B_r = 2eI B_r \frac{R P_{sr}}{M} \quad (12)$$

où e et B_r sont la charge de l'électron et la largeur de bande passante électrique.

Ainsi, le bruit total du courant lumineux devient [11]:

$$\langle i_{\text{noise}}^2 \rangle = \langle i_{\text{PIIN}}^2 \rangle + \langle i_{\text{shot}}^2 \rangle + \langle i_{\text{thermal}}^2 \rangle = \frac{B_r R^2 P_{sr}^2}{\Delta\nu M} + 2 \frac{e B_r R P_{sr}}{M} + \frac{4 K_b T_n B_r}{R_L} \quad (13)$$

Où , et sont respectivement la constante de Boltzmann, la température absolue et la résistance de charge. Comme les bits '1' et '0' ont la même probabilité d'envoi, le bruit de photo-courant

$$\text{Deviens : } \langle i_{\text{noise}}^2 \rangle = \frac{1}{2} \frac{B_r R^2 P_{sr}^2}{\Delta\nu M} + \frac{e B_r R P_{sr}}{M} + \frac{4 K_b T B_r}{R_L} \quad (14)$$

$M = R \cdot W \cdot \Delta\nu$ ou $R = M / (W \cdot \Delta\nu)$

En substituant (10) et (14) dans (7), le SNR peut être écrit comme suit :

$$SNR = \frac{I^2}{\langle i_{\text{noise}}^2 \rangle} = \frac{\left(\frac{R P_{sr}}{M} \right)^2}{\frac{1}{2} \frac{B_r R^2 P_{sr}^2}{\Delta\nu M} w_1 + \frac{e B_r R P_{sr}}{M} + \frac{4 K_b T B_r}{R_L}} = \frac{\left(\frac{R P_{sr} K_2}{K} \right)^2}{\frac{1}{2} \frac{B_r R^2 P_{sr}^2 K_2}{\Delta\nu K} w_1 + \frac{e B_r R P_{sr} K_2}{K} + \frac{4 K_b T B_r}{R_L}} \quad (15)$$

En utilisant l'approximation gaussienne, le taux d'erreur binaire (BER) peut être écrit comme [59], [60] :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{SNR/8} \quad (16)$$

2.3. Résultats numériques 2D-SWZCC :

Les performances du système SAC OCDMA-2D SWZCC proposé, utilisant le photodétecteur APD, sont comparées à celles du même système SAC OCDMA-2D SWZCC utilisant le photodétecteur PIN, en utilisant différents paramètres des valeurs présentés dans le

tableau III.4. Le système SAC OCDMA-2D SWZCC proposé avec un photodétecteur APD élimine complètement le problème MAI et améliore la détection au niveau du récepteur.

Parameters	Symbol	Value
Photo detector responsivity	R	0.6
Data rate	R_b	1Gbps
Electric bandwidth	B_r	$0.5 * R_b$ GHz
Receiver Load resistor	R_L	1030 Ω
Operating wavelength	λ_0	1550 nm
Spectral width of light	$\Delta \nu$	30 nm
Effective source power	P_{sr}	-10 dBm
Receiver noise Temperature	T_n	300 K
Electron charge	E	$1.6 * 10^{-9}$ c
Boltzman's constant	K_b	$1.38 * 10^{-23}$ J/K

5.L'effet du photodétecteur APD sur les performances du système 1D-SWZCC/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. Analyse des Performances du Système 2D-SWZCC-OCDMA et présentent une analyse des performances du système 2D-SWZCC-OCDMA en fonction du type de photodiode (PIN ou APD), du nombre d'utilisateurs actifs, et de la puissance effective. Les tests ont été effectués avec une puissance effective de -10 dBm et un débit de données de 1 Gbps, le gain APD (G) variant entre 1, 3 et 5, Impact de la Photodiode sur la Capacité du Système, illustre le taux d'erreur binaire (BER) en fonction du nombre d'utilisateurs actifs. Il est clair que la photodiode APD améliore considérablement la capacité du système par rapport à la photodiode PIN, pour un poids de code identique, Avec une photodiode APD, le système peut supporter simultanément : 60 utilisateurs pour un gain $G=1$, 100 utilisateurs pour un gain , $G=3$ (soit une augmentation de 70% par rapport à $G=1$) , 160 utilisateurs pour un gain $G=5$ (soit une augmentation de 120% par rapport à $G=1$).

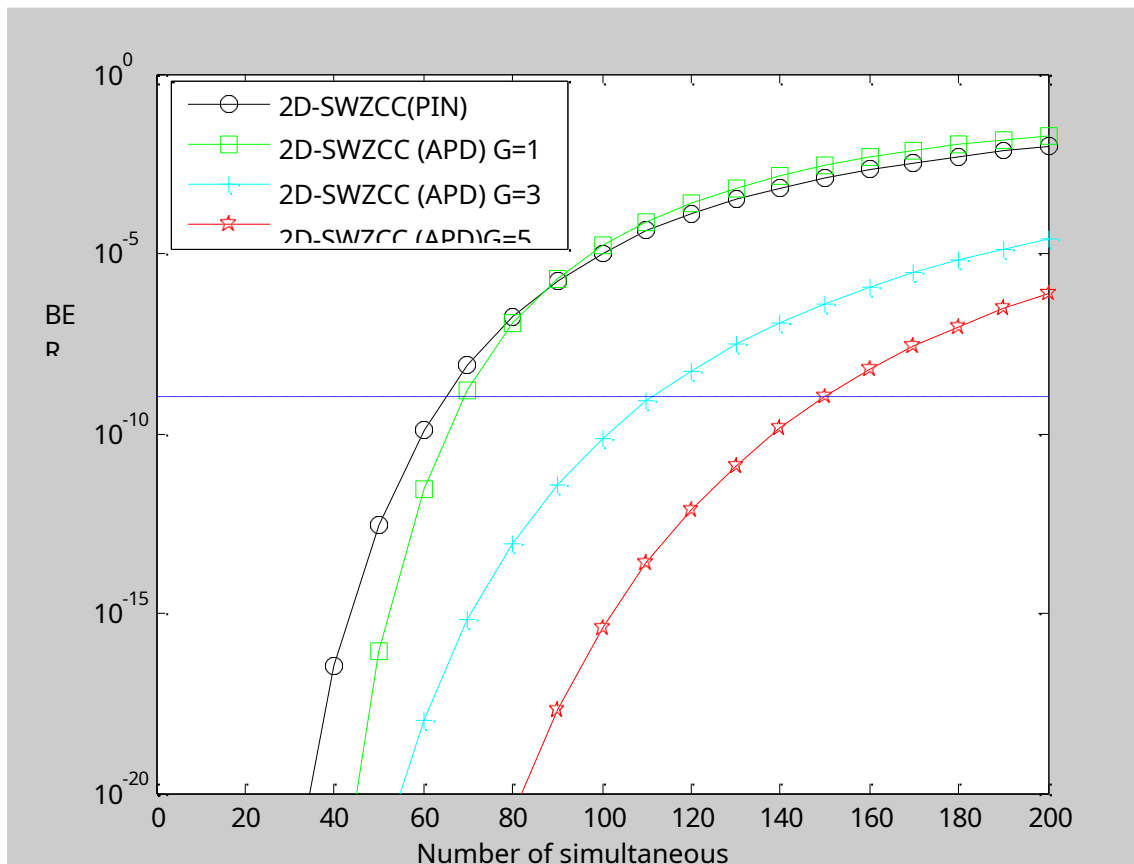


Figure III.2: BER par rapport au nombre d'utilisateurs actifs pour le système 2D-SWZCC- OCDMA utilisant des photodétecteurs APD et PIN

En revanche, la photodiode PIN ne peut accueillir que 60 utilisateurs tout en maintenant un BER acceptable de 10^{-9} , En résumé, l'utilisation d'une photodiode APD permet d'augmenter la cardinalité (le nombre d'utilisateurs simultanés) de manière significative. Impact de la Photodiode sur la Puissance Effective (Figure 40) La Figure 40 examine le BER en fonction de la puissance effective, avec un débit de données de 1 Gbps et 120 utilisateurs fixes. La puissance effective a été variée de -30 dBm à -5 dBm, Le système 2D-SWZCC-OCDMA utilisant une photodiode APD atteint : Une puissance effective de -13,56 dBm pour un gain $G=5$ Une puissance effective de -12,1 dBm pour un gain $G=3$

En comparaison, l'utilisation d'une photodiode PIN nécessite une puissance effective de 8,7dBm, Cette différence, pouvant atteindre -4,79 dBm en faveur de l'APD, démontre que la photodiode APD permet une réduction significative de la puissance effective requise. Cela indique une meilleure sensibilité du récepteur et confirme que l'APD est capable d'offrir de meilleures performances globales en termes de puissance.

En synthèse, l'intégration d'une photodiode APD améliore à la fois la capacité du système (nombre d'utilisateurs) et l'efficacité énergétique (puissance effective) par rapport à une photodiode PIN dans le système 2D-SWZCC-OCDMA.

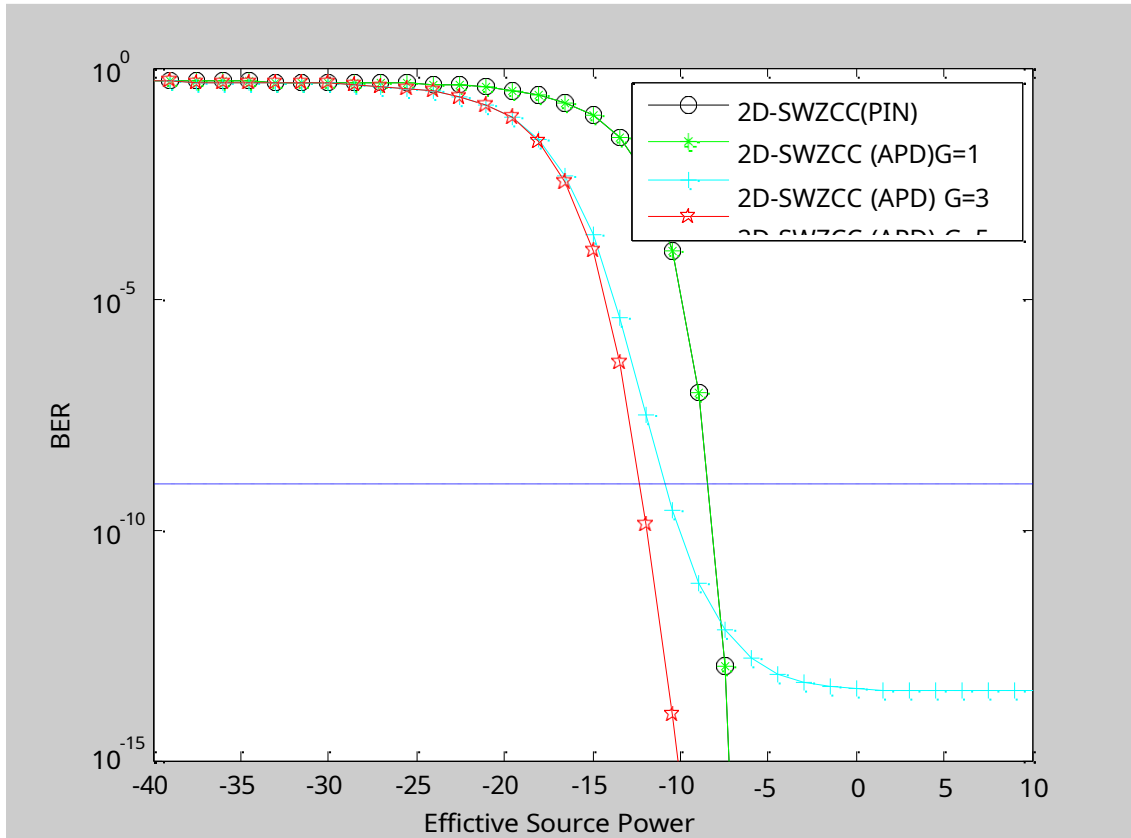


Figure III.3: Performance du BER par rapport à la puissance effective pour le système 2D- SWZCC-OCDMA pour photodétecteur PIN et APD avec variation de gain

La figure 41. illustre l'effet des photodétecteurs PIN et APD sur les performances du système 2D-SWZCC-OCDMA en fonction du débit et pour différentes valeurs de gain APD.

Cette analyse a été réalisée à une puissance effective de $P_{sr} = -10$ dBm et pour 60 utilisateurs simultanés. Les résultats mettent en évidence l'effet de l'augmentation du gain du photodétecteur APD ($G = 1$, $G = 3$ et $G = 5$) sur la valeur débit de système 2D-SWZCC-OCDMA.

Pour un taux d'erreur binaire (BER) acceptable pour la transmission optique (10^{-9}), les débits de données optimaux avec le photodétecteur APD sont : avec ($G=1$: 0,5 Gbps) ($G=3$: 1, Gbps) APD avec ($G=5$: est 2 Gbps) En comparaison, le système utilisant un photodétecteur PIN atteint un débit de 0,5 G b p s . En conclusion, le photodétecteur APD offre de meilleure

performances et surpasse la photodiode PIN en termes de débits de données élevés . Ceci est dû à l'effet d'avalanche, qui amplifie le courant photo-généré.

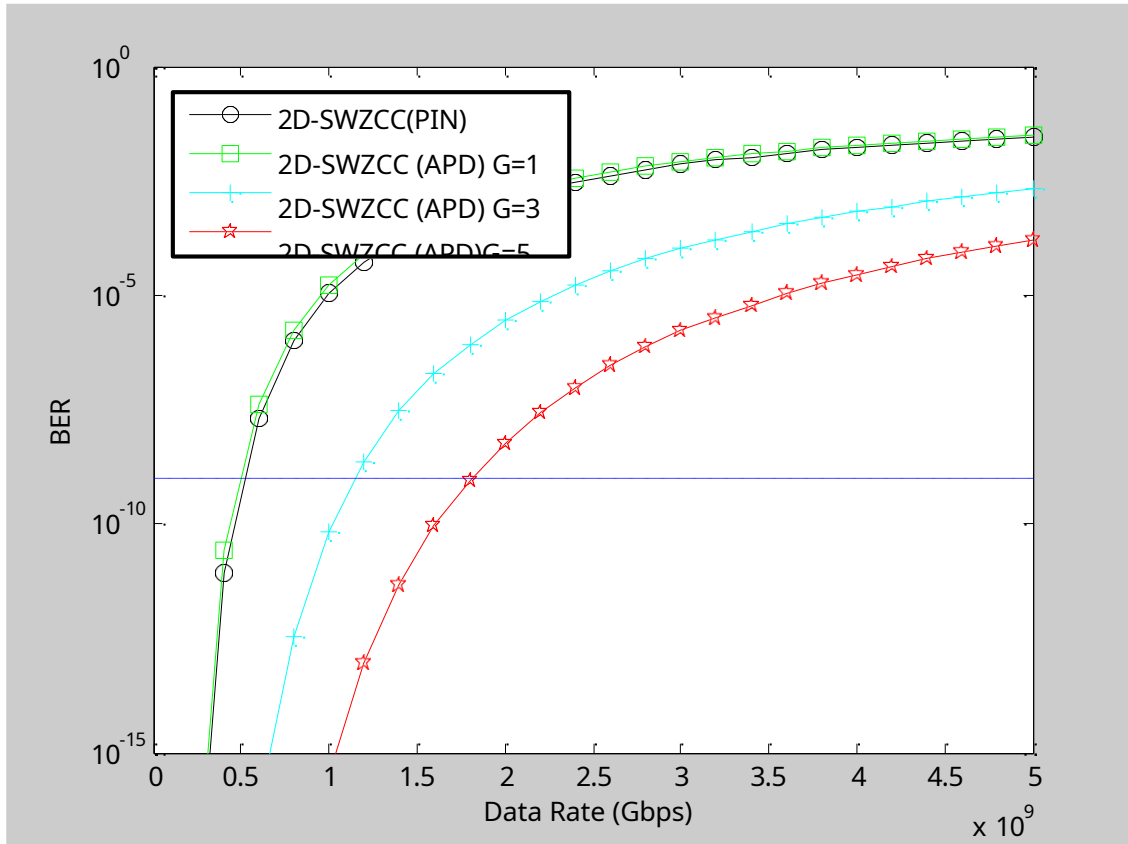


Figure III.4: Performances du BER en fonction du débit de données pour le système 2D- SWZCC-OCDMA pour photo-détecteurs PIN et APD avec variation de gain

6. Analyse de la simulation SAC OCDMA- 2D-SWZCC logiciel Optisystem :

Le système propose avec le code 2D-SWZCC utilisant les deux photo détecteurs PIN et APD a été simulé en utilisant l logiciel Optisystem- version 7.0. Un système simple contenant trois utilisateurs est illustré dans la figure 42. L'émetteur du système SAC OCDMA- 2D-SWZCC se compose de : une source de lumière blanche fournissant une large bande passante, un générateur d'impulsions NRZ, une séquence de bits aléatoires pseudo-aléatoires (PRBS), un réseau de Bragg en fibre (FBG) utilisé pour filtrer la longueur d'onde pour le codage spectral, et un modulateur Mach-Zehnder pour convertir les données électroniques en impulsions optiques. Le récepteur du système SAC OCDMA- 2D-SWZCC comprend : un réseau de Bragg en fibre (FBG) pour effectuer le codage spectral en filtrant uniquement la longueur d'onde correspondante, un

détecteur photoélectrique (PD) et (APD) qui convertit les impulsions lumineuses en signal électrique, et un filtre passe-bas de type Bessel.

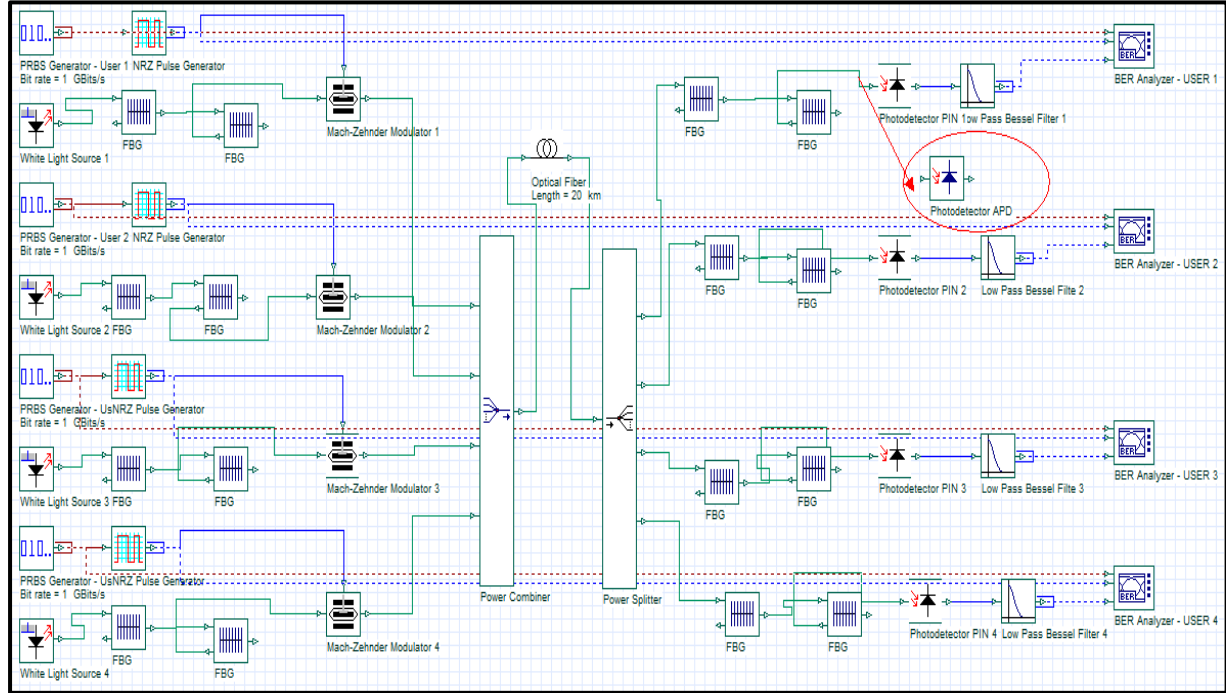


Figure III.5: Système 2D-SWZCC – OCDMA avec N utilisateurs.

Le système proposé dans ce chapitre fonctionne comme suit : les données entrantes sont codées en utilisant le code de leur séquence spectrale correspondant, puis diffusées aux destinataires via les connecteurs en étoile selon le code de leur séquence spatiale. Lorsque les données codées sont reçues, la détection des données directe est utilisée à l'aide de filtre FBG et le photodétecteur PD.

La performance du système est étudiée en termes de BER, lorsque la puissance de la source est de -10 dBm. Le taux de bits par utilisateur est de 1 Gbs par seconde, le bruit thermique est de $1,8 \cdot 10^{-23}$ watts/hertz, et la largeur de bande de chaque FBG est de 0,3 nanomètre. Pour cela, les diagrammes de l'œil sont présentés dans la figure 7 où les valeurs de BER pour les utilisateurs sont d'environ $6 \cdot 10^{-15}$. Cela indique que le système proposé utilisant le code 2D-SWZCC avec un seul photodiode à l'avenir a la capacité de détecter les signaux requis malgré les taux de données élevés et les distorsions importantes. Nous soutenons l'interprétation de ce système avec la figure 43 et la figure 8 qui montrent le diagramme de l'œil pour chaque APD et PIN pour chaque utilisateur utilisant le code 2D-SWZCC.

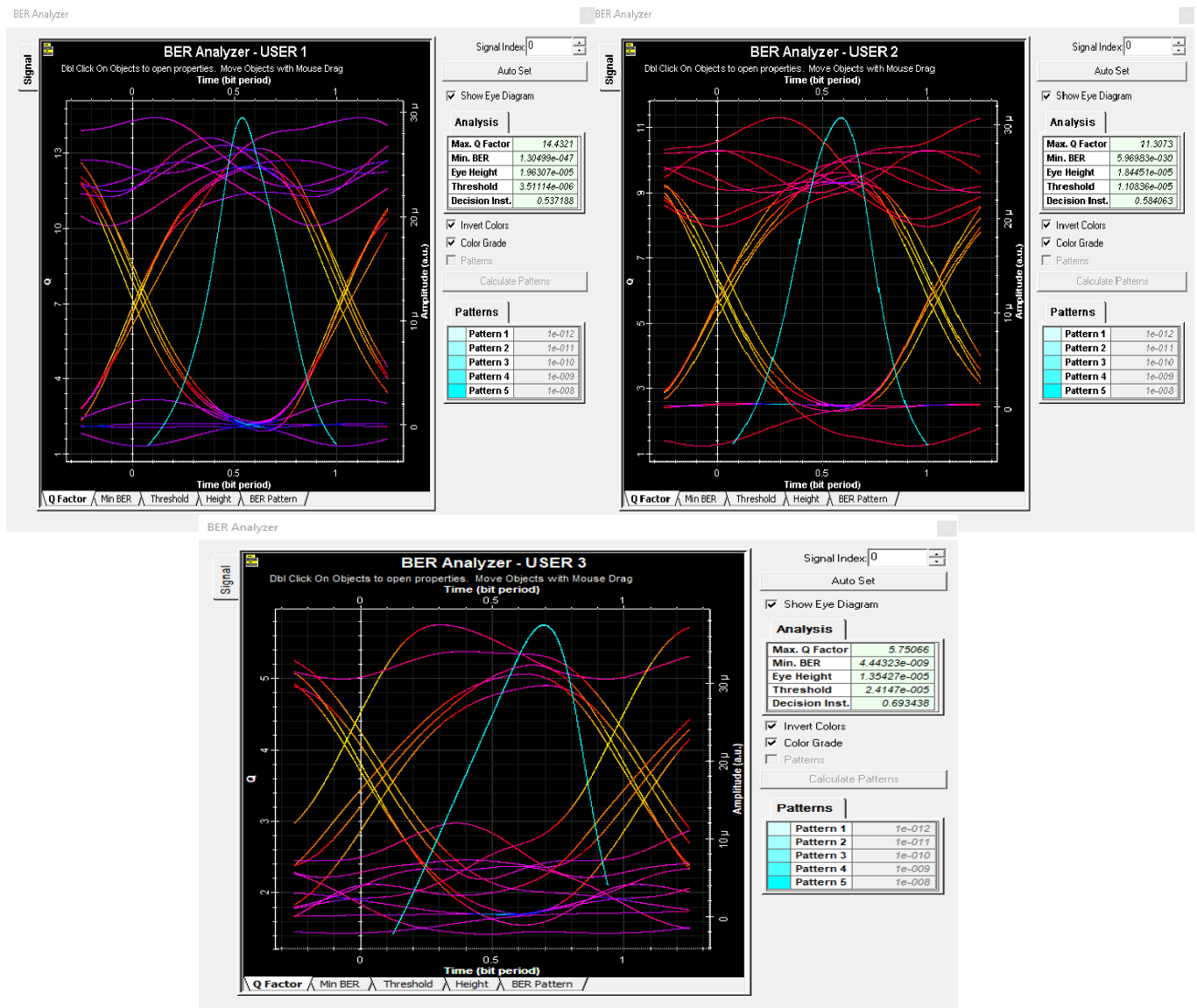


Figure III.6: Résultats des diagrammes de l'œil de notre système utilisant le photo-détecteur APD pour 3 utilisateurs

Il est clair dans que le système de code 2D-SWZCC a un bon BER inférieur à une valeur acceptable (10^{-9}) bien que le nombre d'utilisateurs actifs augmente. Lorsque l'œil se ferme, le facteur Q est égal à 8,5, ce qui est supérieur à la valeur 6 généralement requise dans les systèmes optiques. Il est évident que le système 2D-SWZCC proposé a des performances améliorées

6.1. Les Résultats des calculs de SNR et BER pour photodétecteur PIN et APD utilisant optisystem :

1 / Le calculé de BER de photo détecteur (PIN) :

La longueur de fibre	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km
Le calculé de BER	-22,63	-21,35	-19,92	-16,23	-11,98	-9,02

2 / Le calculé de BER de photo détecteur APD :

La longueur de fibre	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km
Le calculé de BER	-23,18	-22,10	-20,42	-17,76	-13,95	-10,5

3 / Le calculé de SNR de photo détecteur (PIN) :

La longueur de fibre	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km
Le calculé de SNR	-452,79	-427,14	-398,53	-324,67	-239,79	-180,43

4/ Le calculé de SNR de photo détecteur (APD) :

La longueur de fibre	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km
Le calculé de SNR	-348,34	-371,81	-438,37	-362,66	-346,53	-325,87

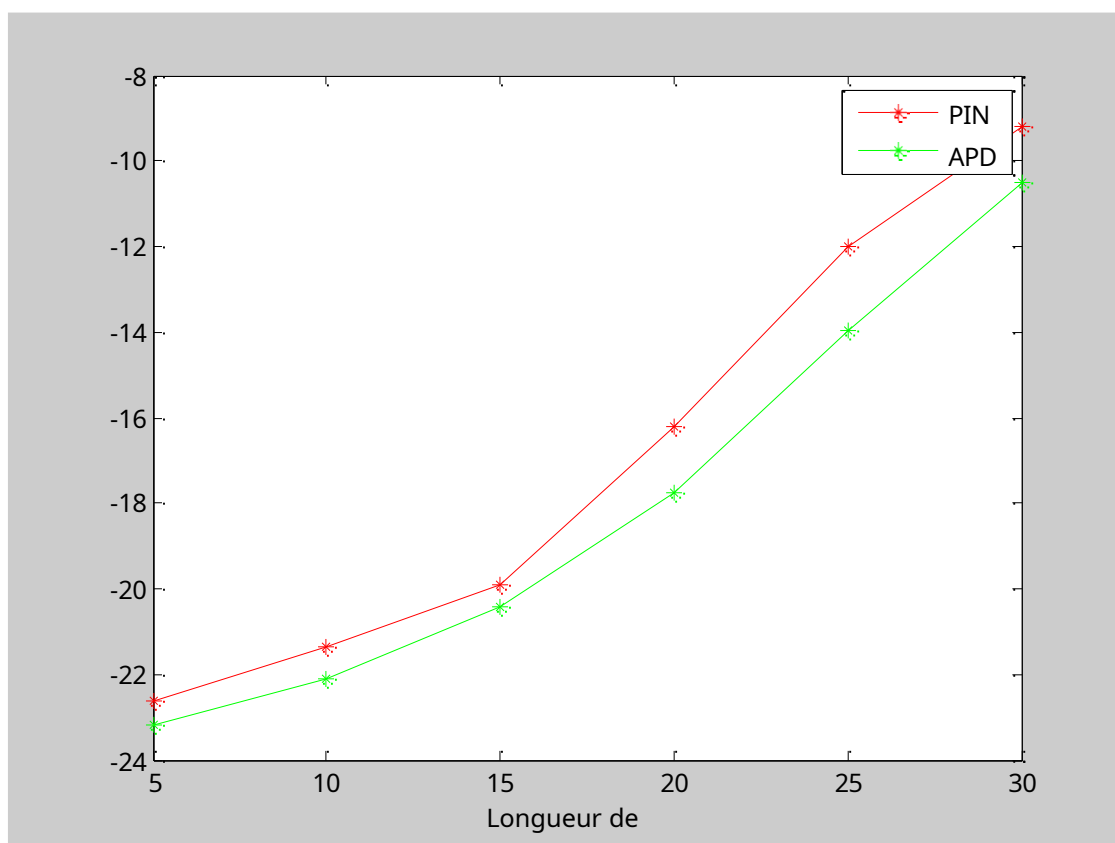


Figure III.7: BER de photodétecteurs (APD et PIN) obtenues par logiciel optisystem en fonction de longueur de la fibre optique

Figure 45 illustre la supériorité des performances du photodétecteur APD par rapport au photodétecteur PIN en raison de l'effet d'avalanche (un mécanisme de gain interne) et de la sensibilité au bruit caractéristiques de l'APD qui leur permet d'amplifier le signal lumineux, les rendant plus sensibles aux faibles niveaux de lumière.

7. Conclusion

Dans ce mémoire, une nouvelle conception d'un système de codage spatio-temporel a été développée, caractérisée par une structure simple d'émetteur/récepteur basée sur un code de corrélation croisée à poids unique en deux dimensions. Les résultats numériques ont prouvé que le système propose SAC OCDMA 2D-SWZCC avec le composant optoelectronique photo détecteur APD montre de bonnes performances par rapport au systèmes SAC OCDMA 2D-SWZ utilisant le photo détecteur PIN ; Le système SAC OCDMA 2D-SWZCC a été vérifié de manière efficace à l'aide du logiciel Optisystem, ce qui le rend pratiquement applicable dans les réseaux optiques[62].

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'évolution rapide des technologies de l'information, accompagnée de l'explosion du trafic Internet, a mis en lumière les limites des systèmes de communication traditionnels. Face à cette exigence croissante en bande passante, en flexibilité et en sécurité, les réseaux de communication optiques, et plus particulièrement les systèmes à Accès Multiple par Répartition en Code Optique (OCDMA), se sont imposés comme une solution prometteuse pour répondre aux défis futurs.

Dans ce mémoire, nous avons d'abord exploré les principes fondamentaux des systèmes OCDMA, en insistant sur leurs deux principales architectures : les systèmes cohérents, qui offrent une excellente orthogonalité et une immunité aux interférences, mais au prix d'une complexité accrue ; et les systèmes incohérents, plus simples et économiques, mais sensibles aux bruits, notamment au bruit d'intensité induit par la phase (PIIN) et aux interférences d'accès multiples (MAI). Nous avons analysé différentes techniques de codage, telles que le codage spectral, l'étalement temporel, le codage d'amplitude spectrale (SAC-OCDMA), et évalué l'impact des méthodes de détection spectrale directe sur les performances des systèmes. Le deuxième axe de notre travail a porté sur les composants optoélectroniques qui constituent le cœur de toute chaîne de transmission optique. Nous avons décrit en détail les propriétés des semi-conducteurs, la formation des jonctions PN, ainsi que les mécanismes d'absorption et d'émission de photons. L'analyse comparative des diodes électroluminescentes (LED), des diodes LASER, et des photodétecteurs PIN et APD nous a permis de mieux comprendre les critères de choix de ces composants en fonction des contraintes de performance (sensibilité, rapidité, bruit, coût).

La dernière partie du mémoire a introduit et validé un nouveau code 2D-SWZCC (Single- Weighted Zero Cross Correlation bidimensionnel) conçu pour les systèmes SAC-OCDMA incohérents. Ce code vise à réduire les interférences MAI, simplifier le système, et améliorer les performances globales. Les résultats de simulation réalisés sous Optisystem ont démontré que ce code permet une nette amélioration du rapport signal sur bruit (SNR), une capacité utilisateur plus élevée, et une consommation énergétique réduite, tout en restant compatible avec les architectures actuelles.

En conclusion, ce travail montre que la combinaison de systèmes OCDMA bien conçus avec des composants optoélectroniques adaptées ouvre la voie à des réseaux optiques plus efficaces, flexibles, sécurisés et évolutifs. Le code 2D-SWZCC constitue une avancée notable dans ce domaine et mérite d'être approfondi dans de futures recherches, notamment pour des implémentations expérimentales et pour une intégration dans des environnements optiques réels (FTTH, PON, réseaux métropolitains).

Références Bibliographiques

- [1] T. L. Singal, *Optical Fiber Communications: Principles and Applications*. Cambridge University Press, 2017. [Online]. Available: 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. Christodouloupoulos, 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
- [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=P0dsiAUUIO8C>
- [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 Abdelillah 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] T. L. Singal, *Optical Fiber Communications: Principles and Applications*. Cambridge University Press, 2017. [Online]. Available: https://books.google.dz/books?id=_JheDwAAQBAJ
- [29] M. Vaezi, Z. Ding, and H. V. Poor, *Multiple access techniques for 5G wireless networks and beyond*, vol. 159. Springer, 2019.
- [30] G. Huerta-Cuellar and R. Imani, *Optical Fiber Applications*. IntechOpen, 2020. [Online].
- [31] Available: <https://books.google.dz/books?id=9mD9DwAAQBAJ>
- [32] 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.
- [33] 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>
- [34] 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>
- [35] S. Kumar and M. J. Deen, *Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications*. Wiley, 2014. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=yxvnAgAAQBAJ>
- [36] M. RAHMANI, 'Etude Comparative des Performances du Système de Transmission Multi- Accès Dans Les Réseaux Optiques', TAHRI mohamed, Bechar, Algeria, 18 janvier.
- [37] 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

- [39] K.-I. Kitayama, Optical code division multiple access: a practical perspective. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [40] K.-I. Kitayama, Optical code division multiple access: a practical perspective. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [41] 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.
- [42] S. Mohammady, Multiplexing. IntechOpen, 2019. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=kJj8DwAAQBAJ>
- [43] I. B. Djordjevic, Advanced Optical and Wireless Communications Systems. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-63151-6.
- [44] K. Fazel and S. Kaiser, Multi-Carrier Spread Spectrum & Related Topics. Springer US, 2012. [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=CAXTBwAAQBAJ>
- [45] 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.
- [46] 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
- [47] 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
- [48] 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
- [49] 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
- [50] 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
- [51] 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
- [52] H. Ghafouri-Shiraz and M. M. Karbassian, Optical CDMA Networks: Principles, Analysis and Applications. Chichester, UK: John Wiley &
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] 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=P0dsiAUUIO8C>
- [56] M. Alayedi, 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
- [57] detection’, Telecommun. Syst., vol. 79, no. 2, pp. 193–212, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11235-021-00840-8.
- [58] J. Cao, Arrayed Waveguide Gratings (AWG) and Optical Amplifier Subsystems for Their Applications in Advanced Optical Networks. University of California, Davis, 2007. [Online].
- [59] Available: <https://books.google.dz/books?id=LhQTNULnBYwC>
- [60] 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.
- [61] E. GHABANI Abdelillah and M. MOULAY Omar, ‘ETUDE DE LA STABILITE DU
- [62] LASER’, Mémoire, Ghardaïa, Ghardaïa, 2019.
- [63] [25] R. HADIDANE and A. SILEM, ‘LES PRINCIPES DE
- BASE DES COMPOSANTS
- [64] OPTOELECTRONIQUES’, Mémoire, Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, algerie, 2015.
- [65] [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