

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE Dr : MOULAY TAHAR – SAIDA

Faculté De Technologie
Département D'électronique



Mémoire de Fin D'Etudes pour L'obtention du Diplôme de MASTER

Filière : Electronique

Option : Instrumentation

THEME

***Analyse des performances du système SAC-OCDMA
en utilisant les codes ZCC***

Présenté par : - Aissaoui Omar
- Abed Azeddine

Soutenu en juin 2023, devant le jury composé de :

<i>- GARADI Ahmed, Prof</i>	<i>Président</i>
<i>- BOUARFA Abdelkader, MCA</i>	<i>Examineur</i>
<i>- BENSaad Abdellah, MCA</i>	<i>Encadreur</i>

Année universitaire 2022/2023

Résumé

Les systèmes SAC-OCDMA ont gagné une grande importance en raison de leur propriété de faible interférence d'accès multiple (MAI). Ce mémoire traite de la propriété de cross corrélation nulle (ZCC) en utilisant quelques méthodes de constructions de codes proposées dans la littérature. L'étude analytique et l'analyse des performances des différents codes ZCC ainsi que la comparaison entre ceux-ci sont effectuées à l'aide du logiciel de simulation Optisystem version 7.

Les résultats de simulation obtenus ont montré une meilleure performance des codes ZCC basée sur la limite du taux d'erreur binaire (BER) de 10^{-9} autorisé pour assurer une performance acceptable. Ces codes permettent d'atteindre des distances plus longues avec un bon compromis entre le nombre d'utilisateurs et la longueur du code. Ceci est obtenu grâce à la propriété de cross corrélation nulle qui élimine efficacement le bruit d'interférences MAI et le bruit d'Intensité Induit par la Phase (PIIN).

Mots clés : SAC-OCDMA, ZCC, MAI, Optisystem.

Abstract

SAC-OCDMA systems have gained great importance due to their low Multiple Access Interference (MAI) property. The following thesis deals with the property of zero cross correlation (ZCC) using some code construction methods proposed in the literature. The analytical study and performance analysis of the various ZCC codes as well as the comparison between them are carried out using the Optisystem version 7 simulation software.

The simulation results obtained showed better performance of ZCC codes based on the bit error rate (BER) limit of 10^{-9} allowed to ensure acceptable performance. These codes make it possible to reach longer distances with a good compromise between the number of users and the length of the code. This is achieved through the zero cross-correlation property which effectively eliminates MAI interference noise and Phase Induced Intensity Noise (PIIN).

Keywords: SAC-OCDMA, ZCC, MAI, Optisystem.

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail à :

- ✿ *Ma mère*
- ✿ *Mon père*
- ✿ *Ma grand-mère mon grand-père*
- ✿ *Mes frères et sœurs*
- ✿ *Toute la famille AISSAOUI*
- ✿ *Tous ceux qui nous ont encouragés pour réaliser ce Travail*
- ✿ *Tous mes amis*

Aissaoui Omar

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail à :

- ✿ *Ma mère*
- ✿ *Mon père*
- ✿ *Ma grand-mère mon grand-père*
- ✿ *Mes frères et sœurs*
- ✿ *Toute la famille ABED*
- ✿ *Tous ceux qui nous ont encouragés pour réaliser ce Travail*
- ✿ *Tous mes amis*

Abed Azeddine

Remerciements

Tout d'abord, nous voulons remercier Dieu pour ses bénédictions qui nous ont aidés à réaliser ce travail. Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés de près, comme de loin, pour son élaboration.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. BENSAD ABDELLEH, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions nos parents qui nous ont toujours supportés et aidés et nous espérons que la soutenance sera le meilleur cadeau pour eux.

Nous disons aussi nos remerciements à tous les enseignants et administrateurs de la faculté de Technologie.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre mémoire en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Table des matières

Résumé.....	i
Dédicaces.....	ii
Remerciements.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des Figures.....	ix
Liste des Tableaux.....	xii
Liste des abréviations.....	xii
 Introduction générale.....	 1
 Chapitre I : Chaîne de communication Optique	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Présentation d'une chaîne de transmission par fibre optique.....	3
I.3. Partie émission.....	4
I.3.1. Source optique.....	4
a. Les diodes électroluminescentes.....	4
b. Les diodes lasers	5
I.3.2. Les modulateurs	5
a. La modulation directe	5
b. La modulation externe	6
I.4. Support de transmission (Fibre optique)	7
I.4.1. Les différents types de fibre optique.....	8
a. Fibres optiques multimodes à saut d'indice	8
b. Fibres optique multimodes à gradient d'indice	9
c. Fibres optiques monomode	9
I.4.2. Les effets linéaires et non linéaires de la fibre optique	10
a) Atténuation	10
b) Dispersion	10
➤ Dispersion chromatique	10
➤ Dispersion modale.....	11
I.4.3. Avantage et inconvénients des fibres optique.....	11
I.5. Récepteur optique	12

I.5.1. Photodétecteur.....	12
a. Photodiode PIN	13
b. Photodiode à avalanche APD.....	13
I.5.2. Le préamplificateur	14
I.5.3. L'amplificateur principal	14
I.5.4. Circuit de filtrage	15
I.5.5. Circuit de décision.....	15
I.5.6. Bruit du récepteur.....	16
a) Le bruit quantique (bruit de grenaille)	16
b) Le bruit thermique	16
c) Bruit d'obscurité	17
I.6. L'accès multiple dans les systèmes de communication optiques	17
I.6.1. Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).....	17
I.6.2. Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA)	18
I.6.3. Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA).....	18
I.6.4. Accès multiple par répartition de codes (CDMA)	19
I.7 Conclusion.....	20

Chapitre II : Encodage ZCC dans le système SAC-OCDMA

II.1 Introduction	21
II.2 OCDMA radiofréquence	21
II.3 OCDMA optique (OCDMA).....	21
II.3.1 Architecture d'OCDMA	21
II.3.2 Différentes approches de l'OCDMA.....	22
II.3.2.1 OCDMA cohérent.....	22
II.3.2.2 OCDMA incohérent	23
II.3.3 Avantages du CDMA optique	23
II.4 Catégories d'OCDMA	23
II.4.1 OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA).....	23
II.4.2 OCDMA spectrale	25
II.5 Définition du système SAC-OCDMA	26

II.5.1 Codes en SAC-OCDMA	26
II.5.1.2 Méthode de construction du code DW (Double Weight)	27
II.5.3 Méthode de construction du code MDW (Modified Double Weight).....	29
II.5.4 Code d'inter corrélation nulle (Zero Cross Correlation ZCC)	32
II.5.4.1 Construction des codes ZCC [28].....	32
II.5.4.2 Construction des codes ZCC [29].....	35
II.5.4.3 Construction des codes PM-ZCC [30].....	37
II.5.5 Analyse des performances	39
a) Code ZCC [28]	40
b) Code ZCC [29]	42
c) Code ZCC [30]	42
d) Code MDW	43
II.6 Conclusion	43

Chapitre III : Analyse des performances du SAC-OCMA

III.1 Introduction	44
III.2 Présentation du logiciel de simulation OptiSystem.....	44
➤ Interface de travail sur Optisystem.....	44
➤ Bibliothèque	45
III.3. Présentation de la chaîne de simulation étudiée.....	45
III.4 Principales caractéristiques du logiciel	46
III.5. Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission	47
III.5.1. Taux d'erreurs binaires.....	47
III.5.2 Facteur de qualité	47
III.5.3. Diagramme de l'œil.....	48
III.6 Simulation du système SAC-OCDMA en utilisant le code ZCC.....	49
III.6.1 Répartition des longueurs d'onde.....	50
ZCC [29]	50
ZCC [30]	51
ZCC [31]	51

III.6.2 Partie d'émission	51
a. Source optique	53
b. Calcul des paramètres de la simulation	53
c. Générateur d'impulsion NRZ	55
d. Modulateur Mach Zehnder	55
e. Multiplexeur WDM.....	56
f. Fibre optique	57
III.6.3 Partie de réception.....	58
A. Fibre de Bragg.....	59
B. Photo détecteur et filtre de mise en forme	59
III.7 Décision.....	60
III.8. Analyses des performances des codes ZCC.....	61
III.9. Conclusion	66
Conclusion générale	67
Références.....	68

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1 Schéma synoptique d'une liaison optique.....	1
Figure I.2 Partie émission d'une liaison optique.....	2
Figure I.3 Diodes électroluminescentes	2
Figure I.4 Exemple de diode LASER	3
Figure I.5 Modulation directe.	3
Figure I.6 Modulation externe.....	4
Figure I.7 Fibre optique à saut d'indice	5
Figure I.8 Fibre optique à gradient d'indice.....	6
Figure I.9 Fibre optique monomode.....	7
Figure I.10 Dispersion chromatique.....	8
Figure I.11 Schéma synoptique d'un récepteur optique.....	9
Figure I.12 Couches de photodiode PIN.	10
Figure I.13 Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist.....	11
Figure I.14 Technique d'accès multiple TDMA	13
Figure I.15 Technique d'accès multiple FDMA.	14
Figure I.16 Principe d'une liaison WDMA.....	14
Figure I.17 Technique d'accès multiple CDMA.....	15

Chapitre II

Figure II.1 OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile.....	22
Figure II.2 Principe de l'étalement temporel.	24
Figure II.3 Exemple de codage DS-OCDMA.....	24
Figure II.4 Codage spectral OCDMA	25
Figure II.5 Technique de codage spectrale en SAC-OCDMA.	26

Figure II.6 Formes générales du code MDW.....	29
Figure II.7 Matrice (n x n) constituée de la matrice de base de [X3]	29
Figure II.8 Code MDW de base avec la longueur de code 9, le poids 4.....	31
Figure II.9 Diagramme en bloc de la méthode PM-ZCC (Matrice de permutation d'ordre (WxN)).	39

Chapitre III

Figure III.1 L'interface de travail sur Optisystem.	44
Figure III.2 Bibliothèque du logiciel Optisystem.	45
Figure III.3 Schéma synoptique du système SAC-OCDMA avec la détection directe.	45
Figure III.4 Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ.	49
Figure III.5 Configuration du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour quatre utilisateurs et un poids W=3.....	50
Figure III.6 Partie émission du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour sept utilisateurs et un poids W=3.....	53
Figure III.7 Modèle de la source optique.....	54
Figure III.8 Signal émis du premier utilisateur.....	55
Figure III.9 Paramètres des simulations.	55
Figure III.10 Générateur d'impulsion NRZ.....	56
Figure III.11 Paramètres du générateur pour chaque utilisateur.....	56
Figure III.12 Modulateur Mach-Zehnder	57
Figure III.13 Paramètres de Modulateur de Mach-Zehnder pour chaque utilisateur	57
Figure III.14 Multiplexeurs WDM et signature des longueurs d'ondes du premier utilisateur. ..	58
Figure III.15 Modèle de la fibre optique.	58
Figure III.16 Paramètres de la fibre optique.	59
Figure III.17 Partie réception du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour sept utilisateurs et un poids W=3.....	60
Figure III.18 Récepteur après décodage	61
Figure III.19 Diagramme de l'œil pour un système SAC-OCDMA.	62
Figure III.20 Diagramme de l'œil du code ZCC [28].....	63

Figure III.21 Diagramme de l'œil du code ZCC [29].	63
Figure III.22 Diagramme de l'œil du code ZCC [30].	64
Figure III.23 Taux d'erreur binaire en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29], ZCC [30] et MDW.	66
Figure III.24 Taux d'erreur binaire en fonction du débit binaire pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30].	67

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Comparaison des caractéristiques des Modulateurs de Mach Zehnder (MZ) et Modulateurs électro-absorbants (MEA).....	7
Tableau I.2 Comparaison entre photodiode PIN, APD [8].....	14

Chapitre II

Tableau II.1 Exemple de séquences de code DW.....	28
Tableau II.2 Exemple de séquences de code MDW.....	31
Tableau II.3 Code ZCC de base.....	32
Tableau II.4 Exemple de génération de code ZCC.....	36

Chapitre III

Tableau III.1 Séquences de code ZCC [29] utilisés pour un nombre d'utilisateurs égal à sept et un poids du code $W=3$	52
Tableau III.2 Comparaison des différents codes SAC-OCDMA.	64
Tableau III.3 Taux d'erreur binaire BER et facteur de forme Q en fonction du débit de transmission pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30].....	65

Liste des abréviations

AWG	Arrayed Waveguide Grating.
BER	Bit Error rate.
CDMA	Code Division Multiple Access.
DWDMA	Dense Wavelength Division Multiple Access.
DS	Direct Sequence.
DCF	Fibre à dispersion compensée.
EDW	Enhanced Double Weight
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FH	Saut de fréquence.
FE	Frequency Encoding
LED	Light Emitting Diode.
MAI	Multiple Access Interference.
MZ	Mach-Zehnder.
NRZ	Non-Return to Zero.
OCDMA	Optical Code Division Multiple Access.
OTDM	Optical Time Division Multiplexing.
OFDMA	Optical Frequency Division Multiple Access
OOC	Optical Orthogonal Codes
O/E	Opto-électrique.
PN	Pseudo Noise.

PON	Passive Optical Network.
PIIN	Phase Induced Intensity Noise.
SAC	Spectral Amplitude Coding.
SPE	Spectral Phase Encoding.
SNR	Signal to Noise Ratio.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TPE	Temporal Phase Encoded.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.
ZCC	Zero Cross Correlation.

Introduction Générale

Ces dernières décennies, la grande quantité d'informations véhiculées à travers le monde a donné naissance à un besoin croissant en débit de transmission dans les systèmes de télécommunications. De nombreux services et applications multimédias se sont développés, et nécessitent aujourd'hui d'importantes capacités de transmission. Un besoin d'autant plus important que les informations échangées grâce à ces applications (données, voix IP, vidéo, ...) [1], ont souvent besoin d'un système de télécommunications à haute qualité et haute vitesse.

Dans le domaine de télécommunications, la communication par fibre optique est plus attrayante. C'est une méthode de transmission des informations d'un point à un autre par l'émission de la lumière à travers une fibre optique, ce qui garantit la rapidité, une large capacité et fiabilité avec une grande bande passante, de faibles pertes de propagation et une bonne immunité vis-à-vis les ondes électromagnétiques. Tous cela justifie l'importance de développement des systèmes de transmission optiques afin d'accroître les débits de transmission grâce à des techniques d'accès multiple connues telles que l'accès multiple par répartition de fréquences (FDMA), l'accès multiple par répartition de temps (TDMA), l'accès multiple par répartition de code (CDMA), ou encore le multiplexage par répartition de longueur d'onde (WDM) [2].

La technique CDMA est basée sur l'allocation d'un code à chaque utilisateur qui lui permet d'extraire du signal reçu, les informations qui lui sont destinées. Pour le CDMA hertzien, les codes utilisés sont bipolaires, c'est-à-dire constitués de '-1' et de '1'. Cependant, cette bipolarité est complexe et onéreuse à conserver pour les communications OCDMA. Nous nous sommes donc intéressés à des systèmes incohérents utilisant des codes unipolaires, facilement réalisables par modulation de la puissance optique émise appelée transmission tout ou rien. En conséquence, le signal d'un utilisateur subit des interférences dues aux autres utilisateurs, appelées Interférences d'Accès Multiple (MAI).

L'accès multiple par répartition de code optique OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) synchrone appliqué dans les protocoles internet (IP : Internet Protocol) et les réseaux optiques passifs (PON : Passive Optical Network) permet le partage de la bande disponible entre plusieurs utilisateurs. En plus des interférences MAI, l'OCDMA souffre d'autres types de bruits comme, le bruit d'intensité induit de phase (PIIN : Phase Induced Intensity Noise), le bruit thermique (Thermal Noise) et le bruit de grenaille (Shot Noise).

Le PIIN est lié aux MAI dues au recouvrement spectral des différents utilisateurs. La solution

suggérée pour étouffer le MAI et par conséquent le PIIN dans le codage spectral d'amplitude SAC-OCDMA est l'utilisation des codes possédant une intercorrélation nulle, dénommés ZCC (Zéro Cross Correlation). Les méthodes les plus privilégiées pour la construction des codes ZCC doivent être simples, flexibles et garantissant :

- Une grande capacité (grand nombre de codes ou d'utilisateurs) ;
- Une faible longueur du code (évitant l'utilisation des filtres à bande étroite à la réception) [3].

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude et l'analyse des performances du système SAC-OCDMA optique par simulation sous le logiciel Optisystem version 7, en utilisant quelques méthodes de construction de codes ZCC obtenues de la bibliographie scientifique pour pouvoir montrer leurs efficacités dans la suppression des interférences MAI et du bruit PIIN et par suite l'amélioration des performances du système OCDMA optique.

Le présent manuscrit est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude des différentes techniques de multiplexages FDMA, WDMA, TDMA et particulièrement à la technique CDMA et son développement en optique ainsi que quelques dispositifs tout optiques.
- Dans le second chapitre, le principe de base de la technique d'encodage et décodage du système OCDMA et quelques méthodes de construction de codes à inter-corrélation nulle ZCC et leurs analyses de performances théoriques sont présentés en détails.
- Le troisième chapitre porte sur l'analyse des performances du système OCDMA par simulation sous OptiSystem 7 en utilisant quelques codes ZCC connues obtenues de différentes références.

Finalement, nous terminons notre travail avec une conclusion générale qui résume les résultats obtenus avec les codes ZCC appliqués dans le système OCDMA.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la chaîne de transmission optique et les différentes techniques d'accès multiples utilisées dans les systèmes de télécommunications en liaisons optiques. Pour guider des signaux porteurs d'informations d'un émetteur à un récepteur, les techniques des télécommunications utilisent essentiellement deux moyens, à savoir :

- Soit un support matériel entre l'émetteur et le récepteur,
- Soit une transmission par ondes radioélectriques.

Parmi les supports matériels, le mieux adapté pour des trafics importants à haut débit est la fibre optique.

I.2. Présentation d'une chaîne de transmission par fibre optique

Les liaisons optiques reposent sur le principe de faire circuler une information entre un émetteur et un récepteur en minimisant les risques de déformation du signal reçu. Dans ces liaisons il existe trois parties importantes pour effectuer la transmission des données qui sont ; partie émission, support de transmission et partie de réception (figure I.1) [1].

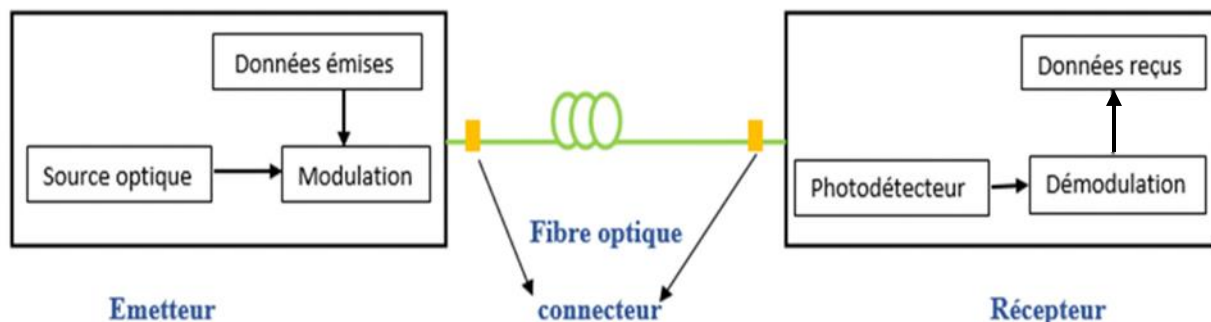


Figure I.1. Schéma synoptique d'une liaison optique

La partie émission d'une liaison par fibre optique a pour rôle de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données. Ensuite, le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin, le récepteur a pour rôle de convertir au mieux le signal optique en signal électrique.

I.3. Partie émission

Dans le système de transmission optique, la partie émission est composée de divers éléments (source optique, modulateur, coupleur optique). Son rôle est de convertir les impulsions électriques en signaux optiques afin de les délivrer au support de transmission

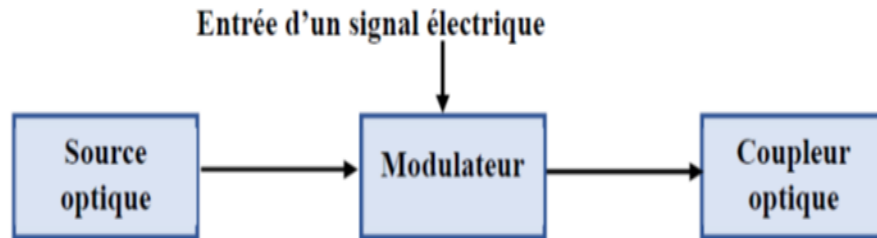


Figure I.2. Partie émission d'une liaison optique.

I.3.1. Source optique

Le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur grâce à leur taille réduite et leur faible consommation énergétique. Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont couramment utilisées [1] :

a. Les diodes électroluminescentes

Ces diodes sont des composants basés sur la transmission spontanée, capables d'émettre de la lumière lorsqu'elles sont soumises à un courant électrique. Elles sont généralement utilisées pour les applications bas débit. C'est pour ces raisons qu'on va passer au deuxième type qui est les diodes lasers.

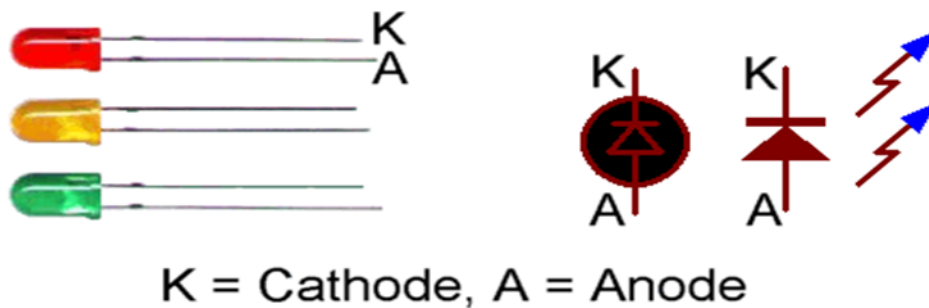


Figure I.3. Diodes électroluminescentes

b. Les diodes lasers [3]

Ces diodes basées sur la transmission stimulée, elles sont les mieux adaptées pour les télécommunications optiques car elles produisent une puissance optique beaucoup plus importante que les LEDs ainsi qu'elles permettent d'avoir une meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [2].

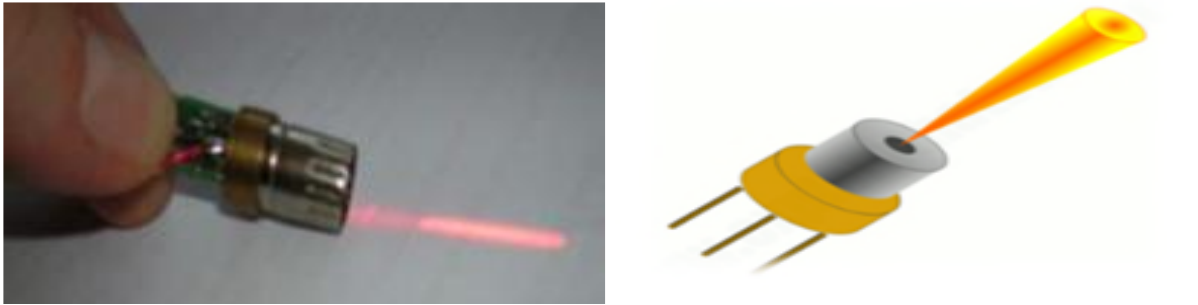


Figure I.4. Exemple de diode LASER

I.3.2. Les modulateurs

Pour transmettre les informations dans les systèmes optiques, elle consiste à convertir le signal électrique au signal optique en haute vitesse. Le modulateur permet de modifier les paramètres de la lumière (amplitude et ou phase ; mais cela pourrait être : polarisation, direction de propagation, fréquence, répartition de modes, ...etc.) en fonction d'un signal de commande. Il existe deux méthodes pour moduler les ondes optiques pour les télécommunications :

a. La modulation directe

Dans cette méthode on modifie le courant dans la diode laser (DL) ou dans la diode électroluminescente (DEL). La modulation directe offre l'avantage d'être simple et peu coûteuse, en plus elle nécessite une tension réduite et une puissance faible. Cependant, elle présente des inconvénients liés aux oscillations de relaxation et bruit.

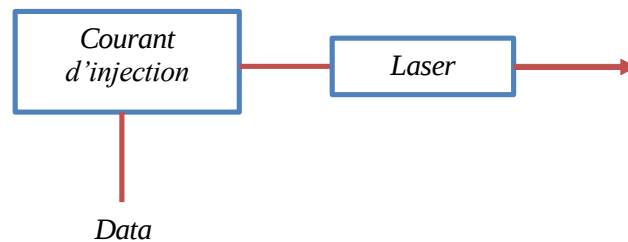


Figure I.5. Modulation directe.

b. La modulation externe

Dans cette méthode, divers types de modulation sont possibles : modulation d'amplitude, de phase, de polarisation, d'impulsion ... etc. Ce type de modulation permet d'obtenir de très grands débits. La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser [4]. Donc, les défauts de la méthode directe (oscillations de relaxation, bruit et chip) ne sont plus présents.

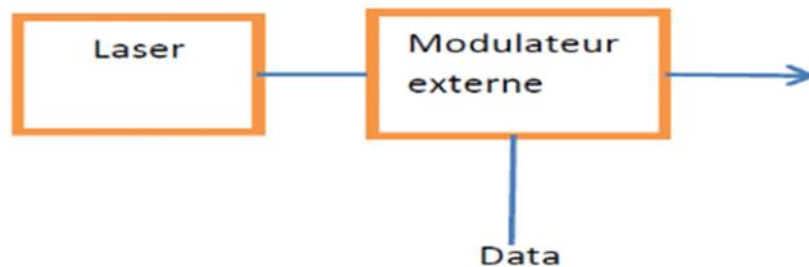


Figure I.6. Modulation externe.

Il existe deux types de modulateurs externes :

- Les modulateurs de type Mach-Zehnder ;
 - Les modulateurs électro-absorbants.
- ✓ Dans notre travail on utilise seul le modulateur de type Mach-Zehnder [5].

Modulateurs de Mach-Zehnder (MZ)	Modulateurs électro-absorbants (MEA)
-Montage plus facile de la fibre amorce, directement collée en bout de guide. -Perte d'insertion (dB) 4 à 6 -Impossibilité d'intégration monolithique avec des composant d'émission (encombrement important) - Manque de stabilité dans le temps -Tension de commande importantes est de l'ordre de 6 à 7V crête-crête -Bande passante (GHz) ≥ 13 -Puissance optique incidente (mW) quelque centaines	-Petite taille - Perte d'insertion (dB) 10 à 13 -Peuvent être intégrés monolithiquement avec une diode laser fonctionnement en continu -Plus faible niveau de tension de commande nécessite seulement 3VCC -Bande passante (GHz) 50 - Puissance optique incidente (mW) quelque dizaines

Tableau I.1. Comparaison des caractéristiques des Modulateurs de Mach Zehnder (MZ) et Modulateurs électro-absorbants (MEA).

I.4. Support de transmission (Fibre optique) [6]

Une fibre optique est un cylindre de verre qui consiste en une partie centrale, le cœur, avec un indice de réfraction $n_c(r)$; entourée par une gaine optique, d'indice de réfraction $n_g(r)$ plus faible. Ces deux régions importantes pour le guidage de la lumière sont réalisées avec deux matériaux différents. La fibre optique est souvent recouverte d'un revêtement protecteur qui ne joue aucun rôle dans le guidage de la lumière (une couche de protection mécanique en matière plastique).

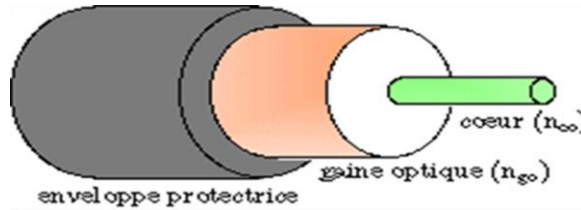


Figure 1.7. Constitution générale d'une fibre optique.

I.4.1. Les différents types de fibre optique

a. Fibres optiques multimodes à saut d'indice

Les fibres optiques multimodes à saut d'indice ont un cœur avec un d'indice constant, et une gaine sombre, il y a alors réflexion des rayons lumineux à la limite entre les deux matériaux. Cependant, le chemin optique varie, ce qui est gênant puisqu'un même signal se retrouve étendu à la sortie (c'est le principe de dispersion).

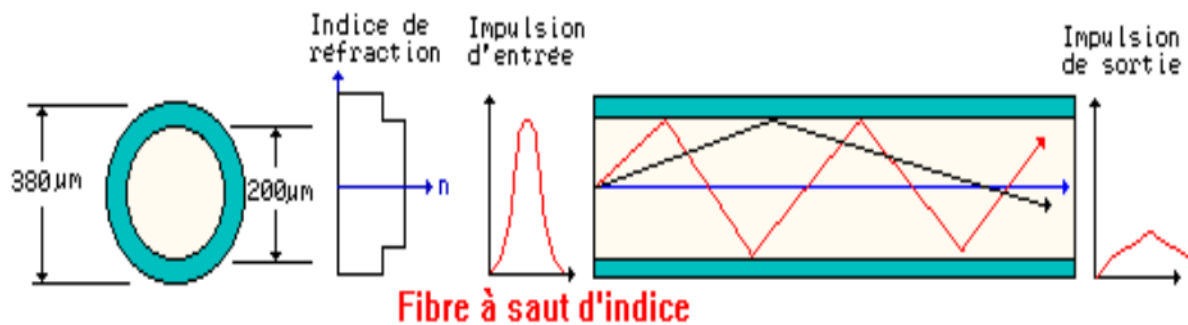


Figure I.8. Fibre optique à saut d'indice.

La lumière est guidée par réflexion totale interne à l'interface cœur-graine, elle suit un chemin en zigzag (figure I.8). Les fibres optiques multi mode à saut d'indice sont donc utilisées sur de courte distance car le signal est modifié.

- ❖ Débit : environ 100 Mbit/s ;
- ❖ Portée maximale : environ 2 Km ;
- ❖ Affaiblissement : 10 dB/Km.

b. Fibres optique multimodes à gradient d'indice

Dans la fibre optique multimode à gradient d'indice, l'indice de réfraction diminue du centre vers la périphérie selon une loi de conservation très précise donc les ondes passant par le centre sont les moins rapides mais parcourant moins de chemin elles arriveront en même temps que celle.

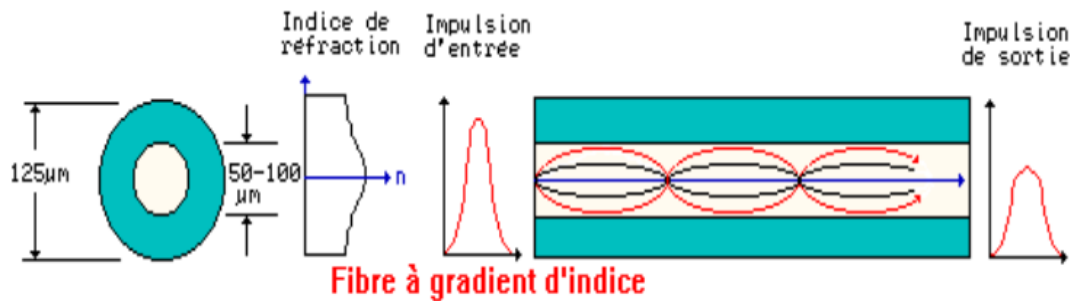


Figure I.8. Fibre optique à gradient d'indice

Ces différentes couches de silice de densités multiples influencent sur la direction des rayons lumineux, ainsi on peut observer la création des rayons lumineux ayant une forme elliptique, on parle d'onde sinusoïdale. Le trajet des rayons se propage en ondulant de l'axe dans la fibre à gradient d'indice, avec une vitesse d'autant supérieure que le rayon est éloigné de l'axe [6].

Avec :

- ❖ Débit : environ 1 Gbit/s ;
- ❖ Portée maximale : environ 2 Km ;
- ❖ Affaiblissement : 10 dB/Km.

c. Fibres optiques monomode

Les fibres monomodes (figure I.9), possèdent un cœur très fin, de la taille d'un cheveu. Le fait que le cœur soit si fin va obliger le signal lumineux à se propager en ligne droite, de ce fait, il ne rencontre pas la gaine et n'est donc pas perturbé, et par conséquent une dispersion modale quasiment nulle.

Les fibres monomodes sont destinées pour des transmissions à longue distances, elles sont utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10 μm en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 μm) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée [7].

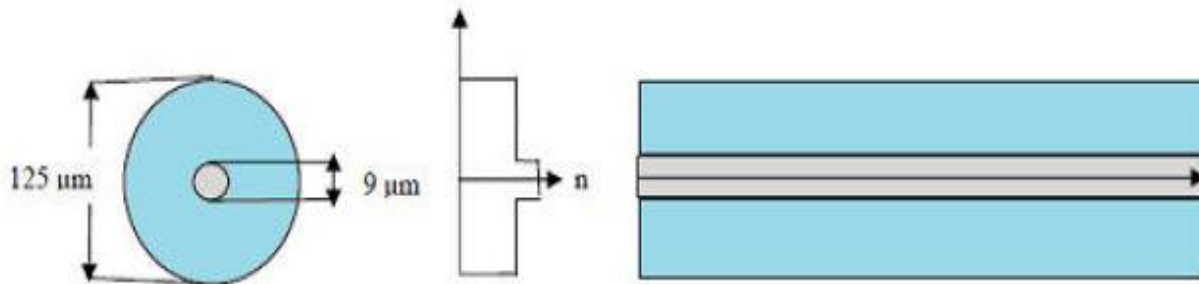


Figure I.9 Fibre optique monomode.

- ❖ Débit : environ 100 Gbit/s
- ❖ Portée maximale : environ 100 Km
- ❖ Affaiblissement : 0,5 dB/Km

I.4.2. Les effets linéaires et non linéaires de la fibre optique [10]

Malgré les performances avérées des fibres optiques, les signaux qui les traversent subissent des pertes telles que les effets linéaires (l'atténuation, la dispersion) et les effets non linéaires (l'effet de Kerr et l'effet de Raman) [14].

a) Atténuation

Elle correspond à une diminution de la puissance d'un signal transmis. Elle s'exprime en décibels (dB), l'atténuation de la fibre optique est faible.

b) Dispersion

➤ Dispersion chromatique

Elle provoque la déformation du signal durant sa propagation dans la fibre, elle se traduit par l'élargissement des impulsions.

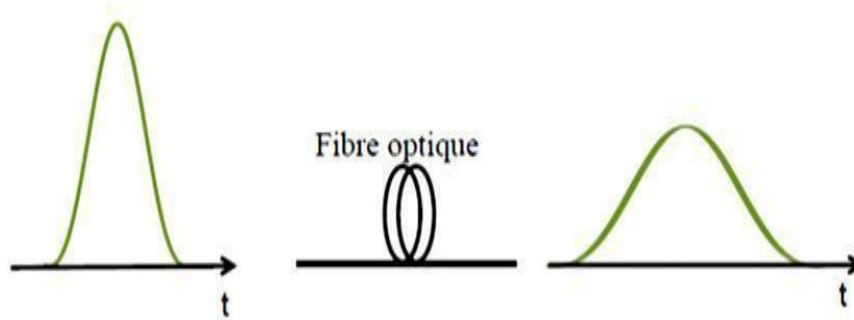


Figure I.10. Dispersion chromatique [10].

➤ Dispersion modale

Elle provient de la différence de temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus. Ce phénomène affecte que sur les fibres multi modes. Il n'existe pas dans les fibres optiques monomode qui possède un cœur très fin [10].

I.4.3. Avantage et inconvénients des fibres optique

Avantages : Les avantages que procure la fibre optique peuvent être classés en :

- **Performances de transmission :** Très faible atténuation, très grande bande passante, possibilités de multiplexage (en longueur d'ondes).
- **Avantages de mise en œuvre :** Très petite taille, grande souplesse, faible poids.
- **Sécurité électrique :** Isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous de forte tension.
- **Sécurités électromagnétique :** Insensible aux parasites et elle n'en crée pas, inviolabilité presque totale.
- **Avantage économique :** Moindre coût, en comparaison avec d'autres supports.

Inconvénients

- Des pertes peuvent être causées par des courbures du câble, des connecteurs mal positionnés ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.
- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.
- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement) [11].

I.5. Récepteur optique

Après le passage du signal optique sur le support de transmission certains composants particuliers convertissent le signal optique en signal électrique.

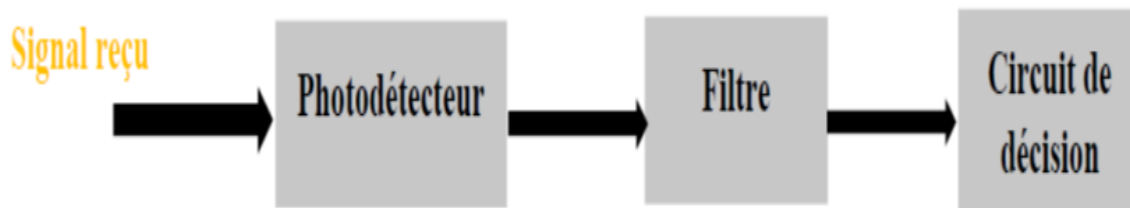


Figure I.11 Schéma synoptique d'un récepteur optique

Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. On y retrouve trois parties :

- Le bloc de « premier étage » composé principalement de photodétecteur.
- Le bloc « linéaire », composé principalement d'un amplificateur électrique.
- Le bloc « récupération des données », composé d'un circuit de décision et un circuit de synchronisation [2].

I.5.1. Photo détecteur

Le Photodétecteur est un composant essentiel dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de convertir en énergie électrique la puissance optique reçue (photons).

En télécommunications optiques les détecteurs doivent avoir :

- Une grande sensibilité.
- Une grande bande passante
- Un faible bruit additionnel.

a. Photodiode PIN

Cette photodiode polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement dopées P^+ et N^+ entre les quels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) ou il existe très peu de charge mobile.

Les paramètres importants, qui caractérisent une photodiode PIN dépendent du matériau et de structure [8].

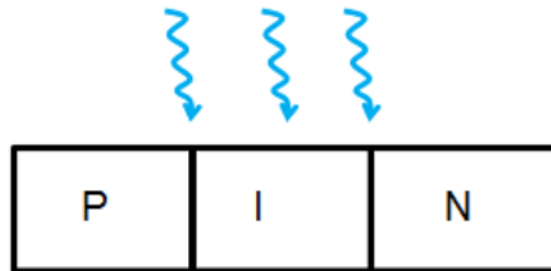


Figure I.12. Couches de photodiode PIN.

b. Photodiode à avalanche APD

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible (quelque nm), les courants détectés sont peu élevés (quelques nA) et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal sur bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant l'effet de multiplication par impact qui est le principe des photodiodes à gain interne de type avalanche [8].

Caractéristiques	PIN	APD
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	Nom	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Elevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyenne
Facteur d'accès de bruit	Fon	Oui

Tableau I.2. Comparaison entre photodiode PIN, APD [8].

I.5.2. Le préamplificateur

Le photo-courant émis par la photodiode est relativement faible, il doit être amplifié pour pouvoir être exploité. Il est donc nécessaire d'utiliser en sortie du photodétecteur, un préamplificateur ayant un gain assez élevé et une grande bande passante.

Deux types d'architectures sont adaptés à la conception de ces préamplificateurs, il s'agit des topologies trans-impédances ou les topologies distribuées. Jusqu'à présent, pour des débits modérés, l'amplificateur trans-impédance est largement préféré en raison de son gain supérieur [2].

Le préamplificateur joue un rôle fondamental dans les performances du bloc récepteur, il consiste à convertir le photo-courant en une tension de faible amplitude [16].

I.5.3. L'amplificateur principal

Malgré la présence d'un préamplificateur, le courant émis reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur électrique ayant une grande bande passante en sortie du photorécepteur. En effet, le gain adéquat peut être assez élevé, du fait de la détection quadratique, notons qu'il faut 2 dB électriques pour compenser 1 dB optique [12].

I.5.4. Circuit de filtrage

Le signal en sortie de la photodiode est généralement accompagné d'un bruit. Afin de minimiser ce dernier, un filtrage du signal numérique est nécessaire, dans une bande $[0-\Delta F]$ qui soit le plus petit possible [12].

Selon le critère de Nyquist, on sait que le filtre passe-bas (Fig. I.13) rectangulaire de largeur $\Delta F = Fr / 2$ (avec Fr la fréquence rythme du signal) possède la propriété précédente, mais ce filtre théorique n'est pas réalisable. De plus, le critère s'applique à des impulsions de Dirac, et non à des impulsions au format NRZ. Donc, on utilise le filtre pratique de Nyquist qui, dans les conditions habituelles, sa largeur de bande de bruit vaut approximativement $\Delta F = 0,8. Fr$ [13].

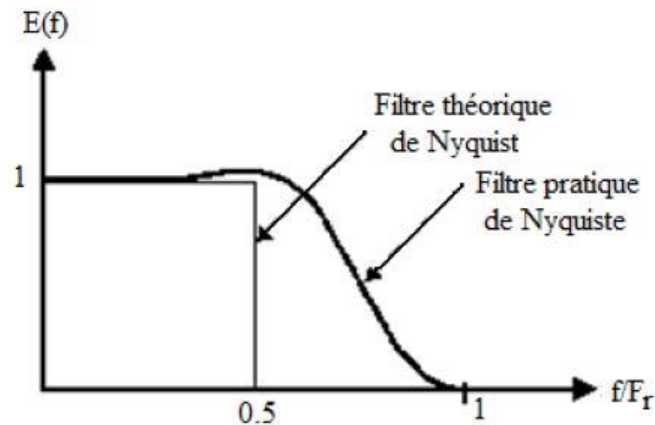


Figure I.13. Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist.

I.5.5. Circuit de décision

Enfin, pour assurer une bonne qualité d'information, une remise en forme du signal détecté est réalisée grâce au bloc de décision. Ce dernier est principalement composé d'un détecteur à seuil, et d'un circuit de récupération de rythme (encore appelé circuit de synchronisation). Leur tâche est de comparer le signal de données à un certain seuil d'amplitude, puis de décider le niveau correspondant au signal (bit à 1 ou bit à 0), et ceci à chaque front d'horloge [12].

Le seuil de détection doit être correctement choisi : Il ne doit pas être trop élevé, car le signal optique provenant de la fibre est affaibli, et des impulsions atténuées ne seraient donc pas prises en compte. Il ne doit pas être trop bas non plus, car il serait difficile de faire la distinction entre le signal et le bruit [16].

I.5.6. Bruit du récepteur

A la réception du signal optique, La photodiode PIN et PDA constituent les sources principales des bruits du récepteur. Généralement affectées par le même bruit, le signal émis par ces photodiodes présente des fluctuations qui contribuent à la dégradation des performances des systèmes de communication. On trouve entre autres : Le bruit quantique, le bruit thermique, et le bruit d'obscurité [14].

a) Le bruit quantique (bruit de grenaille) [15]

Le bruit de grenaille appelé en anglais (shot noise) est le bruit associé au passage des porteurs à travers une barrière de potentiel. Dans le cas d'un photodétecteur, il est impossible d'effectuer une distinction entre le bruit de grenaille quantique qui dérive des photons détectés par la photodiode et le bruit de grenaille électronique qui dérive du flux de photo-courant dans la jonction p-n à l'intérieur de la photodiode. La densité spectrale normalisée du bruit de grenaille en courant s'écrit de la façon suivante :

$$i_n^2(f) = 2 \cdot q \cdot I_{ph}$$

Il est exprimé en (A²/Hz) avec :

I_{ph} : Représente le photo-courant.

q : Charge de l'électron, elle est égale à $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

c) Le bruit thermique [15]

Appelé aussi bruit de Johnson, c'est un bruit provenant des fluctuations aléatoires dans le circuit de polarisation du photodétecteur et notamment du préamplificateur (engendré par la résistance de charge de la photodiode).

Le bruit thermique est le résultat par cause de l'agitation thermique. La densité spectrale de courant de bruit thermique liée à la photodiode est donnée par la relation suivante :

$$i_{Th}^2(f) = \frac{4 \cdot k \cdot T}{R}$$

Il est exprimé en (A²/Hz) où :

k : Est la constante de Boltzmann, elle est égale à $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

T : Est la température en Kelvin.

R : La résistance de charge de la photodiode.

d) Bruit d'obscurité

Le photodétecteur présente un courant avec des fluctuations engendrant un bruit appelé bruit de courant d'obscurité, il dépend généralement du matériau, de la température et de la technologie utilisée. Sa densité spectrale normalisée s'écrit de la manière suivante :

$$i_{obs}^2(f) = 2 \cdot q \cdot I_{obs}$$

Il est exprimé en (A²/Hz) où I_{obs} est la valeur du courant d'obscurité [15].

I.6. L'accès multiple dans les systèmes de communication optiques

Compte tenu de l'énorme bande passante proposée par la fibre optique, il est peu probable qu'un seul client utilisera toute cette bande passante. Les techniques de multiplexage offrent l'utilisation de la bande passante simultanément par plusieurs clients [17].

Différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition. Ainsi, l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), l'accès multiple par répartition dans la fréquence (FTDMA), le multiplexage par longueur d'onde (WDMA) et enfin Accès multiple par répartition de codes (CDMA).

I.6.1. Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)

Le multiplexage dans le temps TDMA est la première méthode utilisée pour partager la même bande de fréquence entre les différents abonnés à tour de rôle comme l'illustre la figure I.14.

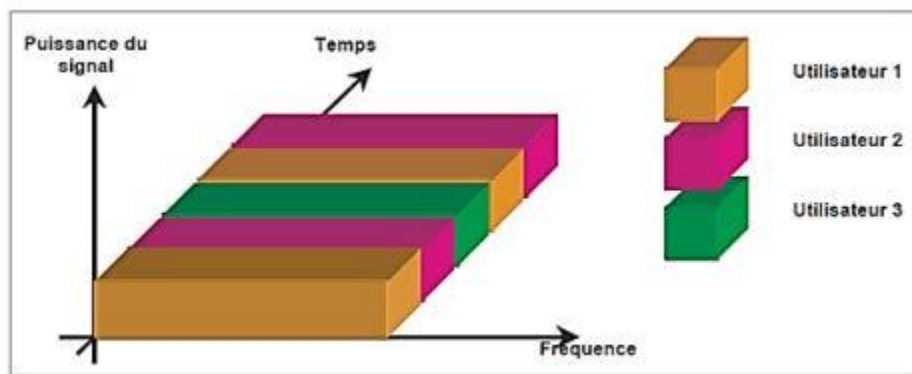


Figure I.14. Technique d'accès multiple TDMA

Cette technique consiste à allouer différents intervalles de temps aux différents utilisateurs de telle manière qu'une période de temps de durée T sera divisée en N intervalles réguliers (appelés time slots) attribués à N usagers [20].

I.6.2. Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA)

L'accès multiple par répartition de fréquence (ou AMRF, en anglais Frequency Division Multiple Accès ou FDMA), il s'agit d'un découpage en bande de fréquence de manière à attribuer une partie du spectre à chaque utilisateur. De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une bande de fréquences distincte (figure I.15) [18].

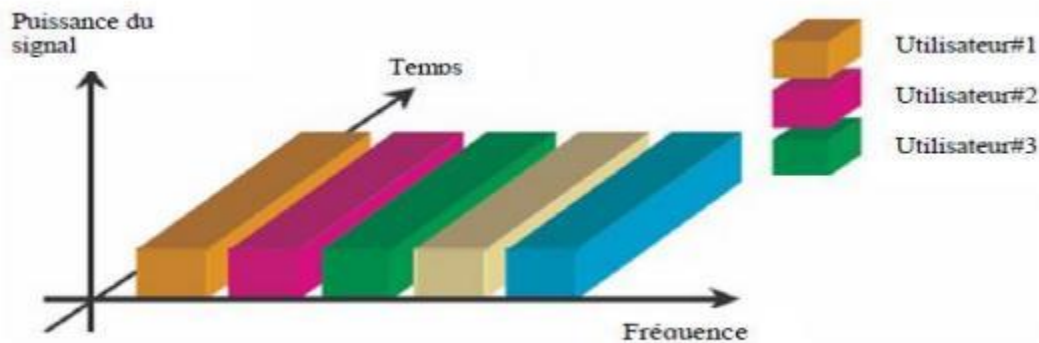


Figure I.15. Technique d'accès multiple FDMA.

I.6.3. Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA)

La technique du multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à transmettre les signaux optiques à différentes longueurs d'onde sur la même fibre, en mélangeant ces longueurs d'ondes à l'aide d'un multiplexeur (MUX), et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX). La WDM permet ainsi l'utilisation optimale de la bande passante optique [19].

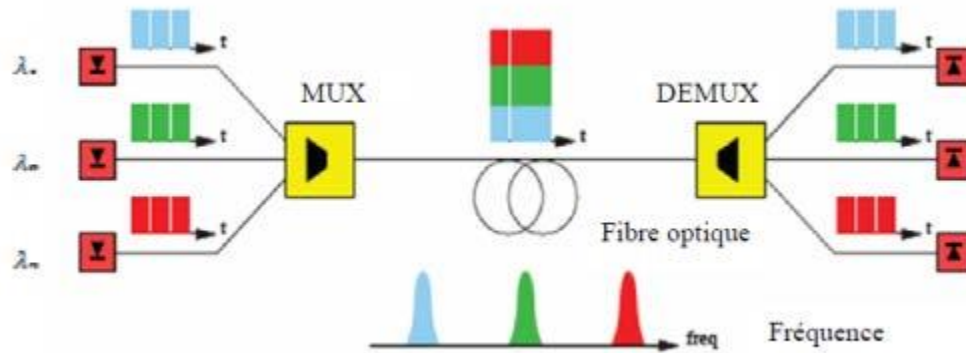


Figure I.16. Principe d'une liaison WDMA.

I.6.4. Accès multiple par répartition de codes (CDMA)

Le multiplexage de codes CDMA, appelé aussi technique d'étalement de spectre, fut utilisée en première fois dans les applications militaires du fait du haut niveau de sécurité offert en étalant le spectre du signal sur une bande plus large que nécessaire de telle sorte qu'il aura l'apparence d'un bruit [20].

Dans cette technique d'accès, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles temporels. Il s'agit dans ce cas, d'affecter à chaque émetteur un code, aussi appelé signature, qui lui permet de transmettre des informations en évitant d'interférer avec les messages provenant d'autres utilisateurs.

En autre façon la technique CDMA permet la transmission simultanée des données aux utilisateurs sur la même bande de fréquences (figure I.17). De ce fait, tous les utilisateurs ont accès à la totalité de la bande, et ils sont distingués à la réception par des codes distincts qui leurs sont propres [20].

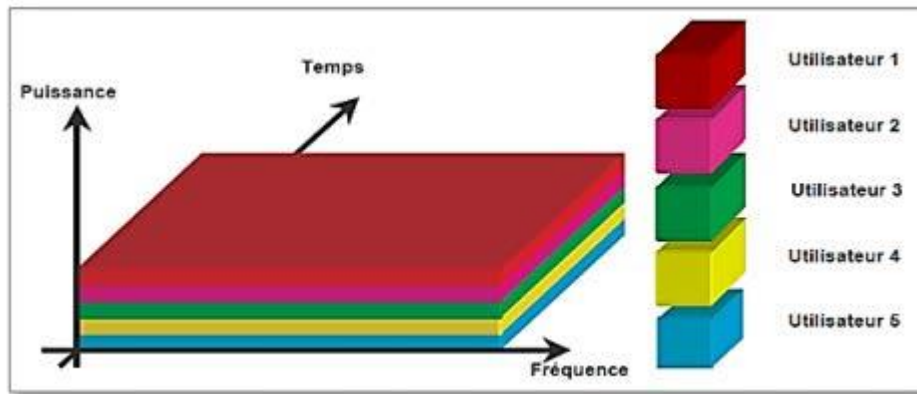


Figure I.17. Technique d'accès multiple CDMA.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les éléments constituant la chaîne de transmission optique. Pour cela, les outils nécessaires pour transformer un signal de données de la forme électrique à la forme optique sont présentés dans la partie émission. Puis, le support de transmission qui est la fibre optique, ses différents types, ses avantages et ses inconvénients telles que : les dispersions et les atténuations sont également étudiés. Ensuite, la récupération du signal de données transmis par la partie réception est abordée.

Finalement, les différents types de transmission d'accès multiple qui peuvent être appliqués dans une liaison de transmission optique sont présentées.

II.1 introduction

Dans les réseaux optiques, le concept du CDMA optique ou Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) a été introduit vers le milieu des années 80 pour les systèmes de communication par fibre optique bénéficiant d'une bande passante très élevée (de l'ordre du THz). En effet, CDMA est basé sur la technique de l'étalement de spectre que nous allons présenter par la suite.

Les travaux concernant la technique OCDMA se sont développés essentiellement dans le contexte des réseaux d'accès haut débit. Il s'agit dans ce cas, pour les opérateurs, de proposer grâce à l'OCDMA de nombreux services à un nombre d'abonnés de plus en plus important.

II.2 OCDMA radiofréquence

Le CDMA optique (OCDMA) est basé sur les concepts de base du CDMA radiofréquence. Les différents abonnés partagent le même canal optique et chacun dans le réseau a sa propre séquence d'étalement. L'implémentation du CDMA optique est totalement différente du CDMA radio. Cette différence est due principalement à la différence entre les deux milieux de propagation. Pour le CDMA aux communications optiques, certains éléments doivent être adaptés aux contraintes du canal de transmission optique. Les effets qui perturbent le canal optique (dispersion chromatique et effets non-linéaires) sont différents de ceux du canal radio (atténuation).

II.3 OCDMA optique (OCDMA)

L'OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une technique d'étalement de spectre qui consiste à attribuer à chaque utilisateur transmettant des données par la fibre optique un code d'étalement ou une signature propre à lui qui permet d'identifier le récepteur destinataire [21].

II.3.1 Architecture d'OCDMA

La figure II.1, représente schématiquement un dispositif CDMA optique dans un réseau en étoile. Une source de données, optique ou électronique active une source optique, alimente un encodeur optique qui transforme chaque bit de donnée en séquence optique : c'est la conception de l'encodeur optique qui détermine de manière matérielle le code utilisé. La séquence est couplée avec l'ensemble des autres séquences venant des autres abonnés du système dans un coupleur en étoile, puis transmet via une fibre optique. Côté récepteur, la totalité des signaux couplés est

comparée au code correspondant à un émetteur donné (corrélation) et une détection à seuil détermine si un bit « 1 » ou « 0 » est reconnu [22].

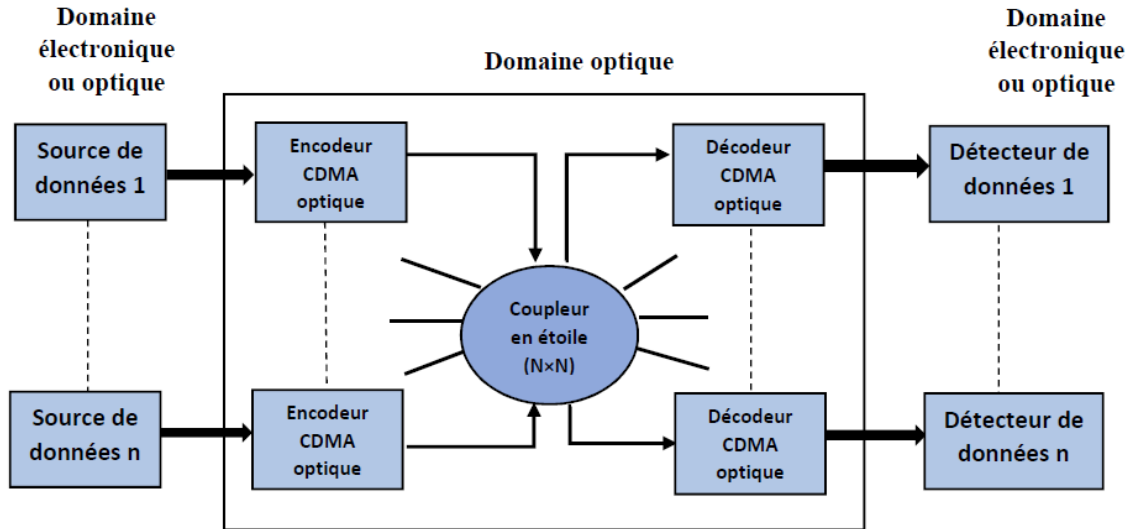


Figure II.1. OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile.

II.3.2 Différentes approches de l'OCDMA

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

II.3.2.1 OCDMA cohérent

Dans ce type, l'amplitude et la phase sont les caractéristiques du signal utilisé pour coder les informations à transmettre. Il est possible d'utiliser des codes bipolaires (comportant des 1 et -1), la bipolarité rend les différents codes strictement orthogonaux de la même manière que pour le CDMA hertzien. La construction des séquences orthogonales a été faite grâce à des familles de codes bien connues tel que le code de Gold, Walsh, ...etc. Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rend le système plus complexe et donc une infrastructure plus coûteuse à mettre en œuvre [23].

II.3.2.2 OCDMA incohérent

Les informations codées à transmettre utilisent la puissance du signal transmis. De cette manière, on ne détecte que la puissance (quantité positive). Le canal est donc unipolaire et les codes seront composés de 0 et de 1. La mise en œuvre des systèmes incohérents est moins coûteuse, mais ils présentent un inconvénient majeur qui est la non orthogonalité des codes unipolaires, ce qui altère les performances des systèmes [24].

II.3.3 Avantages du CDMA optique

Les principaux avantages sont :

- Large couverture,
- Diversité en fréquence,
- Efficacité de la concentration du trafic,
- Usage flexible et équitable de la bande passante,
- Des débits de transmission important allant jusqu'aux Gbits/s,
- Fonctionnement asynchrone du CDMA optique,
- Distribution simultanée de différents services « triple play » (données, voix et vidéo),
- Sécurité et confidentialité [25].

II.4 Catégories d'OCDMA

En OCDMA, le code peut être implémenté de différentes manières qui seront présentés dans la suite du travail.

II.4.1 OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA)

Dans le système DS-OCDMA (OCDMA à séquence directe ou Direct Sequence), le codage est achevé en multipliant les données de chaque utilisateur par sa séquence de code approprié. En effet, le temps d'un bit de données à transmettre T_b est divisé en L intervalles appelés chips (impulsions) de durée T_c avec $T_b = L * T_c$.

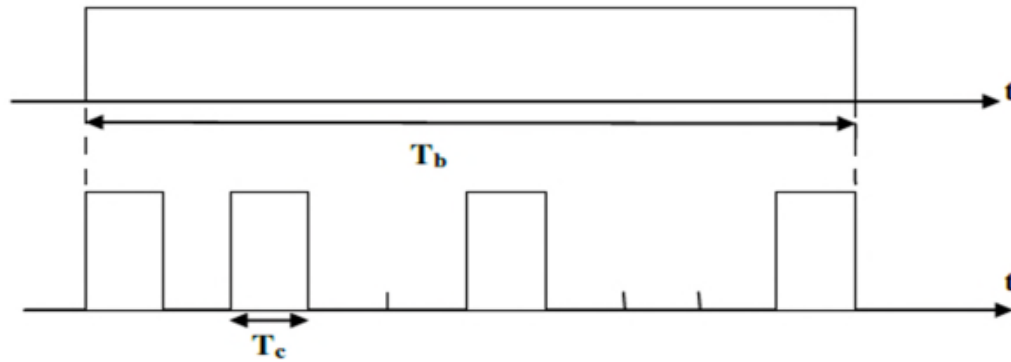


Figure II.2. Principe de l'étalement temporel.

Si le bit de données est égal à 1, il sera remplacé par la séquence de code. S'il est égal à 0, il sera remplacé par une séquence nulle de même longueur que la séquence de code. Le nombre de chips par bit de données correspond à la longueur de la séquence du code. Le nombre de chips ayant la valeur unitaire dans la séquence de code, présente le poids du code. (La figure II .3) montre un exemple de codage DS-OCDMA.

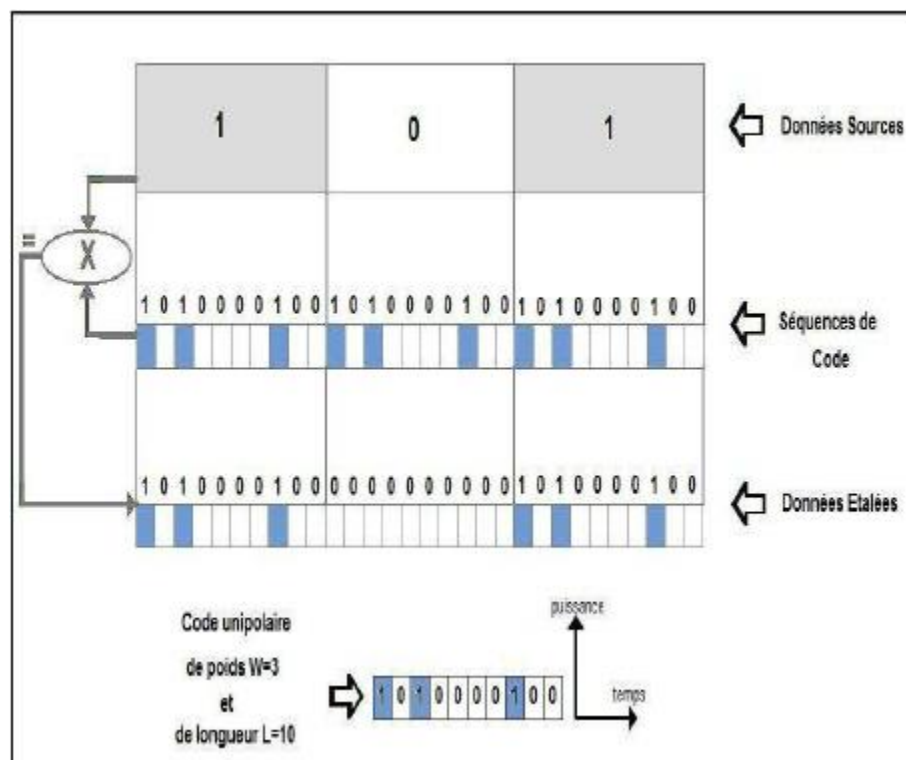


Figure II.3. Exemple de codage DS-OCDMA.

Une impulsion de courte durée est envoyée vers un coupleur $1 \times N$ et les N impulsions en sortie du coupleur sont retardées d'une durée $t, 2t, \dots$ puis recombinaées par un coupleur $N \times 1$. Le train d'impulsions représente la séquence de code binaire.

En réception, le signal reçu est multiplexé avec la séquence du code du destinataire, et le signal est détalé. Tous les autres signaux qui n'ont pas la bonne séquence de signature, sont reconnus par le récepteur comme étant du bruit

II.4.2 OCDMA spectrale

Dans l'encodage spectral, plusieurs longueurs d'ondes sont émises par un utilisateur à l'aide d'une batterie de filtres placée en sortie d'une source optique. Ce filtre doit se positionner à l'émission ainsi qu'à la réception. Chaque utilisateur est disposé d'un code propre à lui, ce dernier est défini grâce à une combinaison spécifique des composantes spectrales et qui doit être orthogonale aux autres codes des autres abonnés.

L'obtention des composants spectrales du code est faite à l'aide de fibres à réseaux de Bragg qui réfléchissent des longueurs d'onde différentes ou bien des dispositifs appelés, les modulateurs spatiaux de lumière, « Spatial Light Modulator » (SLM) permettant un codage plus flexible [25]. La technique OCDMA par longueurs d'onde est limitée par différents point :

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

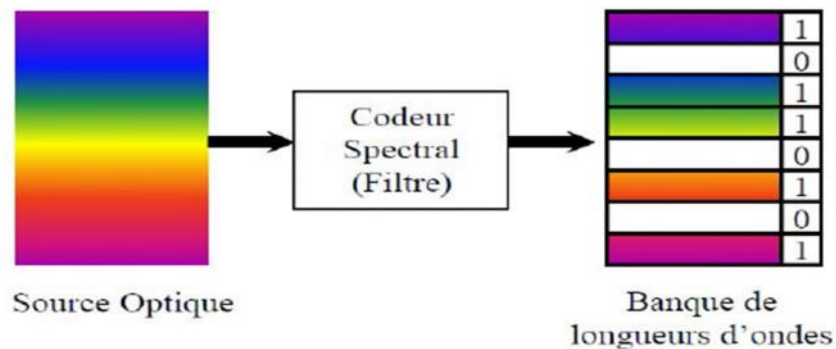


Figure II.4. Codage spectral OCDMA

II.5 Définition du système SAC-OCDMA

La première idée d'un codage spectral en amplitude SAC (Spectral Amplitude Code) dans OCDMA est décrite et démontré par Zacarrin et KAVEHRAD. Dans ce système, chaque usager voit assigner son propre code spectral qui constitue sa signature ou son empreinte de façon à ce que cette dernière soit unique. Le SAC est similaire à l'encodage temporel à l'exception des composantes de fréquence qui sont divisées en bande spectrale, par contre les composantes temporelles sont divisées en temps chip.

Autrement dit, chaque code d'utilisateur se verra attribuer une combinaison de longueur d'ondes bien spécifique. La plupart des propositions SAC-OCDMA utilisent des sources incohérentes puisqu'elles ont la particularité d'avoir une large bande spectrale.

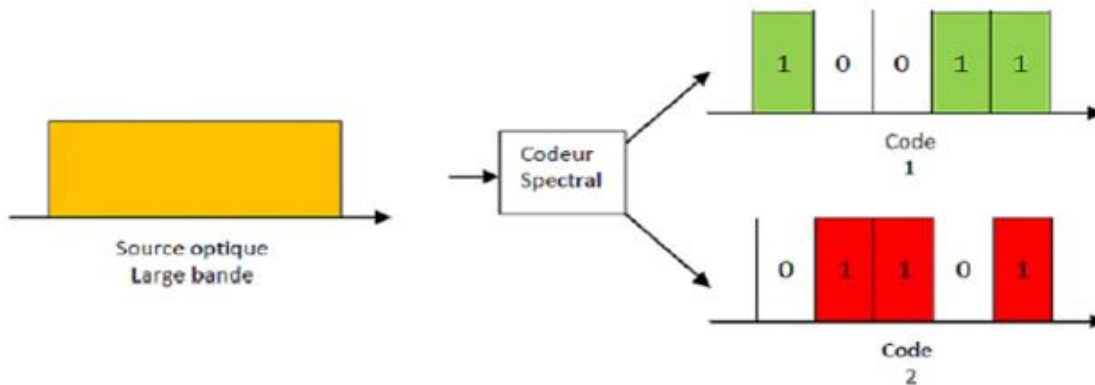


Figure II.5. Technique de codage spectral en SAC-OCDMA.

A titre d'exemple présenté dans la figure II.5: l'utilisateur 1 se voit attribuer le code « 10011 » représenté par la couleur verte et en rouge l'utilisateur 2 dont le code est « 01101 ».

II.5.1 Codes en SAC-OCDMA

Les codes étudiés peuvent-être caractérisés par $(L, W, \lambda_c \text{ et } K)$, où L est la longueur du code, W et le poids du code, λ_c est l'intercorrélacion entre deux codes et K représente le nombre d'utilisateurs. Parmi les codes utilisés dans les liaisons des systèmes SAC-OCDMA, nous pouvons citer : le code double poids (MD), le code double poids modifié (MDW), le code Multi Services (MS) et le code d'intercorrélacion nulle (Zero Cross Correlation ZCC). Les étapes de construction de quelques codes sont présentées dans les paragraphes suivants.

II.5.1.2 Méthode de construction du code DW (Double Weight)

Les nouvelles familles des codes proposés sont considérées comme WD. Elles peuvent être construites selon les étapes suivantes :

- **Étape 1 :** Le code DW peut être représenté par la matrice $K \times N$. Dans les structures des codes DW, la ligne K et la colonne N représenteront respectivement le numéro d'utilisateur et la longueur de code minimale. Le code de base DW est donné par la matrice H_1 de dimension (2×3) comme suit :

$$H_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La matrice H_1 est la combinaison des séquences des chips 1, 2, 1 pour les trois colonnes (i.e. 0+1, 1+1, 1+0).

- **Étape 2 :** Une simple technique de mappage est utilisée pour augmenter le nombre de codes comme le montre la matrice ci-dessous :

$$H_2 = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 1 & | & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & | & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} 0 & H_1 \\ H_1 & 0 \end{bmatrix}$$

Notons que lorsque le nombre d'utilisateurs K augmente, la longueur du code N augmente aussi. La relation entre les deux paramètres K et N est donnée par les équations (II.1), (II.2) et (II.3) :

$$N = \frac{3K}{2} + \frac{1}{2} \times [\sin(\frac{K\pi}{2})]^2 \quad (\text{II.1})$$

- Quand K est pair (i.e. $K=2, 4, 6, \dots$ etc.)

$$N = 3K/2 \quad (\text{II.2})$$

- Mais si K est impair ($K=1, 3, 5, \dots$)

$$N = \frac{3K}{2} + \frac{1}{2} \quad (\text{II.3})$$

Quelques séquences de codes DW sont montrées au tableau suivant :

$K \backslash N$	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	1	0
3	0	1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0

Tableau II.1. Exemple de séquences de code DW

Notons que le code C_i représente le nombre de la colonne du code et la position spectrale des chips quand i varie de 1, 2, 3...jusqu'à N . Dans la construction de la séquence du code DW, les positions spectrales des deux poids $C_{1,K}$ et $C_{2,K}$ pour le $k^{\text{ième}}$ utilisateur sont données par les équations suivantes :

$$C_{1,K} = C_N \quad (\text{II.4})$$

$$C_{2,K} = C_{N-1} \quad (\text{II.5})$$

Notons que la position spectrale du deuxième poids $C_{2,K}$ est toujours identique à la longueur minimale du code N alors que le premier poids $C_{1,K}$ est toujours en avance d'une position, Ce qui rend la construction du code DW simple. Par exemple si $K=4$, la longueur minimale du code N est égale à 6 en utilisant l'équation (II.2) et les positions spectrales $C_{1,4}$ et $C_{2,4}$ sont C_5 et C_6 en utilisant les équations (II.4) et (II.5), respectivement.

Il est important que les positions des poids soient maintenues en paire, pour que le nombre des filtres à utiliser dans le codeur et le décodeur soit faible. Donc, un filtre de bande passante double de la largeur chip peut être utilisé au lieu de deux filtres différents.

II.5.3 Méthode de construction du code MDW (Modified Double Weight)

MDW est la version modifiée du code DW. Le poids du code MDW peut être n'importe quel nombre pair plus grand que 2. Les codes MDW peuvent se représenter par la matrice $K \times N$.

Le code MDW peut se construire par les étapes suivantes [26] :

- **Etape 1 :** La matrice de base pour les codes MDW est une matrice $(K \times N)$ dépendant de la valeur du poids du code. Les formes générales de la matrice du code MDW sont les suivantes :

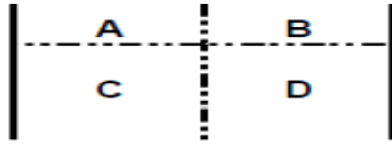


Figure II.6. Formes générales du code MDW

D'après la figure (II.6), les éléments de chaque section sont donnés par :

- A -est constituée par la matrice de zéro : $1 \times 3 \sum_{j=1}^{\frac{W}{2}-1} j$
- B - est constituée par la matrice $(1 \times 3n)$ contenant la matrice de base $[X_2]$ pour chaque trois colonnes ($(1 \times 3n)$ est la matrice pour laquelle n est la répétition de $[X_2]$),
- C - est le code de matrice de base du petit poids suivant, $W=2(n-1)$.
- D -est la matrice $(n \times n)$ constituée de la matrice de base $[X_3]$ arrangée comme le montre la figure (II.7) :

$$\begin{bmatrix} 000 & 000 & [X_3] \\ 000 & [X_3] & 000 \\ [X_3] & 000 & 000 \end{bmatrix}$$

Figure II.7. Matrice $(n \times n)$ constituée de la matrice de base de $[X_3]$

Et $n = W/2$, $W=2, 4, 6, \dots$ Où, X_1 , X_2 et X_3 sont les matrices de dimensions $[1 \times 3]$.

Elles sont données comme :

$$\begin{aligned} X_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ X_3 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ X_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Il y a deux composants de base dans la matrice de base des codes MDW qui sont :

La longueur du code :

$$N_B = 3 \sum_{j=1}^{\frac{w}{2}} j \quad (\text{II.6})$$

Le nombre d'utilisateurs :

$$K_B = \frac{w}{2} + 1 \quad (\text{II.7})$$

Les équations (II.6) et (II.7) constituent la matrice de base pour le code MDW, telle que la colonne N_B représente la longueur de base du code et la ligne K_B représente le nombre d'utilisateurs de base. La matrice MDW est donc une matrice de dimension $(K_B \times N_B)$

Par exemple, pour un poids du code MDW de 4, on a :

$W = 4$, d'après l'équation (II.6), $N_B = 3 \sum_{j=1}^{\frac{w}{2}} j = 9$ et pour l'équation (II.7), $K_B = \frac{w}{2} + 1 = 3$

La matrice MDW 4 est une matrice de dimension (3×9) . L'élément dans chaque section dépend de la valeur n et pour MDW 4, $n = 2$.

Les éléments de chaque section sont donnés par :

- A : matrice de zéros : $1 \times 3 \sum_{j=1}^{\frac{w}{2}-1} j$, $A = [X1] = [000]$
- B : matrice $(1 \times 3n)$ contenant la matrice de base $[X2]$ pour chaque trois colonnes. $((1 \times 3n)$ la matrice pour laquelle n est le nombre de répétition de $[X2]$)

$$B = [[X2], [X2]] = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

- C : matrice MDW de $W = 2(n - 1) = 2 \Rightarrow DW = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
- D : est la matrice $(n \times n)$ constitué de la matrice de base $[X3]$,

Le code MDW de base est noté par $(9, 4, 1)$ est montré par :

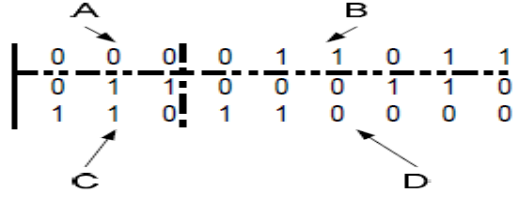


Figure II.8. Code MDW de base avec la longueur de code 9, le poids 4.

Notons que la structure du code DW de base est similaire, H1 est toujours maîtrisé avec une modification légère par lequel le double pair poids est mentionné dans un sens d'autoriser juste deux chevauchements de chip dans chaque colonne.

Ainsi, les 1, 2, 1 combinaison des chips est maintenue pour chaque trois colonnes comme dans le code de base DW c'est très important de maintenir $\lambda=1$.

Le même principe du code DW est utilisé pour augmenter le nombre d'utilisateurs. l'exemple suivant montre qu'il est possible d'augmenter le nombre d'utilisateur de 4 à 6 tout en fixant le poids à 4. Un code MDW de poids 4, noté par $(N, 4, 1)$ pour n'importe quelle longueur du code N donnée, peut-être lié au nombre d'utilisateurs K par la relation :

$$N = 3k + \frac{8}{3} \left[\sin \frac{K\pi}{2} \right].$$

Le Tableau II. 2 donne un exemple de séquences de code MDW (9, 4, 1) comme suit :

Kth	C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
2	0	1	1	0	0	0	1	1	0
3	1	1	0	1	1	0	0	0	0

Tableau. II.2. Exemple de séquences de code MDW.

La largeur spectrale totale $\Delta\nu$ du système DW et MDW est gouverné par la longueur du code N . En supposant que le chip est de forme idéalement rectangulaire. La relation s'écrit sous la forme:

$$\Delta\nu = \Delta F N \quad (\text{II.8})$$

Où, ΔF est la largeur du chip.

L'équation (II.8) est toujours valable pour les systèmes de code DW et MDW car pour un nombre K d'utilisateurs multiplexés dans une fibre commune, la longueur totale du code N est spectralement protégée.

II.5.4 Code d'inter corrélation nulle (Zero Cross Correlation ZCC)

Les codes ZCC ont été obtenus pour la première fois à partir des codes MDW (Modified Double Weight). M.S. Anuar et al. [27] ont proposé un code d'inter corrélation nulle (ZCC) pour réduire les interférences d'accès multiple (IAM) dans le système d'accès par division de code optique (SAC-OCDMA). Ils ont montré que le système établi préserve non seulement la capacité de suppression d'IAM, mais améliore également les performances de taux d'erreur sur les bits et il prend en charge plusieurs utilisateurs par rapport aux codes conventionnels. Parmi les avantages de ce nouveau code d'inter corrélation nulle on trouve : une grande flexibilité dans le choix du nombre d'utilisateurs (cardinalité libre), la facilité de la construction du code ainsi l'inter corrélation entre les codes égale à zéro.

II.5.4.1 Construction des codes ZCC [28]

Le code optique ZCC proposé est représenté par une matrice de dimension $(K \times L)$ où K lignes représentent le nombre d'utilisateurs et les L colonnes représentent la longueur minimale du code. Ces matrices ont des coefficients binaires et le code optique ZCC de base (pour un poids $W = 1$) est défini récursivement par le tableau I.1. Le code ZCC est flexible en ce qui concerne le nombre de poids. Afin d'augmenter le nombre de poids, une formulation via une « transformation de code » est nécessaire.

Poids $W = 1$		
Utilisateur 1	0	1
Utilisateur 2	1	0

Tableau II.3. Code ZCC de base

Dans le code optique ZCC, le code de base représente le poids $W = 1$. Pour transformer le code de $W = 1$ à $W = 2$, la forme générale de transformation est donnée par :

$$Z_W = \begin{array}{cc|cc} & A & & B \\ \hline C & & & \\ & & & D \end{array} \quad (II.9)$$

Où :

[A] : Consiste en une matrice de zéros de dimension $(1, (W(W - 1))$,

[B] : Consiste en une réplication W fois de la matrice :

$$\sum_{j=1}^W j[0 \ 1]$$

[C] : Consiste en une duplication de la matrice $(W - 1)$,

[D] : Consiste en une matrice diagonale (mxn) avec une matrice de zéros de colonne alternée (mxn) .

Par exemple, le code de transformation de $W = 1 \rightarrow w = 2 \rightarrow w = 3$

$$Z_{w=1} = \begin{array}{c|c} 0 & 1 \\ \hline 1 & 0 \end{array}$$

$$Z_{w=2} = \begin{array}{cc|cc} & A & & B \\ & \downarrow & & \downarrow \\ 0 & 0 & | & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & | & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & | & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & \uparrow & & \uparrow \\ & C & & D \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccc}
 & & A & & & \\
 & & \downarrow & & & \\
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 & & \uparrow & & & & \\
 & & C & & & &
 \end{array}
 \begin{array}{cccccc}
 & & B & & & \\
 & & \downarrow & & & \\
 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 \hline
 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & \uparrow & & & & \\
 & & D & & & &
 \end{array}
 \end{array}
 \quad Z_{w=3} =$$

La relation entre le nombre d'utilisateurs de base K_B , le poids W et la longueur de code de base L_B est donnée par :

$$K_B = W + 1 \quad (\text{II.10})$$

$$L_B = W(W + 1) \quad (\text{II.11})$$

Lorsque le poids du code augmente, la longueur du code augmente également car la corrélation croisée doit être maintenue à zéro. Afin d'augmenter le nombre d'utilisateurs et de codes sans changer le poids, une technique de mappage est utilisée comme ci-dessous ;

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & & & &
 \end{array}
 \end{array}
 \quad Z_2 = \begin{bmatrix} 0 & Z_1 \\ Z_1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{array}{cccc|cccc}
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & & & &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & & & &
 \end{array}
 \end{array}
 \quad Z_3 = \begin{bmatrix} 0 & Z_2 \\ Z_2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{array}{cccc|cccc}
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 & & & & & & &
 \end{array}$$

D'après le mappage, il est noté qu'à mesure que cela augmente, la longueur du code K augmente également, mais w est inchangé (pour cet exemple particulier $W = 1$). La matrice de base

est reproduite en diagonale pour augmenter K . Les relations entre le processus de mappage K_m et L_m sont données par :

$$K_m = 2^m (K_B) \quad (\text{II.12})$$

$$L_m = 2^m (L_B) \quad (\text{II.13})$$

II.5.4.2 Construction des codes ZCC [29]

Cette méthode est basée sur l'algorithme dit BIBD, la longueur du code L est un nombre premier, ce qui nécessite l'utilisation des racines primitives.

Soit L un nombre premier, α un nombre primitif de L et m entier, les $(L - 1)$ éléments du vecteur $P_m = [P_0 \ P_1 \ \dots \ P_{L-2}]$ seraient tous distincts. La relation donnant les différents éléments est donnée comme suit :

$$P_m = \{(\alpha^m) \bmod L\} \quad \text{avec} \quad 0 \leq m \leq L - 2 \quad (\text{II.14})$$

L'algorithme ci-dessus a été adapté pour être appliqué à la construction de la matrice des codes ZCC comme suit [30] :

Première étape : détermination du nombre d'utilisateurs

Le nombre d'utilisateur K est donné comme suit :

$$K \leq \left\lfloor \frac{L-1}{W} \right\rfloor \quad (\text{II.15})$$

Où $\lfloor \cdot \rfloor$ est l'opérateur qui prend la partie entière d'un nombre par valeur inférieure.

Deuxième étape : détermination des positions des chips à '1'

Le code de l' i ème utilisateur qui contient W '1' s'écrit comme suit :

$$C_i = [\{P_{i-1} + 1\} \{P_{K+i-1} + 1\} \{P_{(2K)+i-1} + 1\} \dots \{P_{((W-1)K)+i-1} + 1\}] \quad (\text{II.16})$$

Où

$$\{P_{i-1} + 1\}, \{P_{K+i-1} + 1\}, \{P_{(2K)+i-1} + 1\} \dots \{P_{((W-1)K)+i-1} + 1\}$$

sont les positions des '1' dans les codes. La matrice des codes est :

$$P_{i,j} = \{(\alpha^{i+jK}) \bmod L\} \quad \text{avec} \quad 0 \leq i \leq K - 1 \text{ et } 0 \leq j \leq L - 1 \quad (\text{II.17})$$

Exemple : $L=13$ et $W = 3$, les racines primitives de 13 sont : 2, 6, 7 et 11, pour $\alpha =2$, d'après l'Equation II.15, le nombre d'utilisateur est :

$$K \leq \frac{13-1}{3} = 4.$$

La matrice des codes obtenue en utilisant l'équation (II.17), est illustrée dans le tableau suivant :

$i \backslash j$	0	1	$w-1=2$
0 $P_{0,j} = (2^{0+j5}) \bmod 13$	1	3	9
1 $P_{1,j} = (2^{1+j5}) \bmod 13$	2	6	5
2 $P_{2,j} = (2^{2+j5}) \bmod 13$	4	12	10
3 $P_{3,j} = (2^{3+j5}) \bmod 13$	8	11	7

Tableau II.4. Exemple de génération de code ZCC

Les codes correspondant sont :

$$C_1 = [1 \ 3 \ 9]$$

$$C_2 = [2 \ 6 \ 5]$$

$$C_3 = [4 \ 12 \ 10]$$

$$C_4 = [8 \ 11 \ 7]$$

La matrice de codes est donnée par :

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

En procédant de la même manière dans l'analyse des performances de la 1^{ère} méthode ZCC présentée, nous obtenons la formule du SNR comme suit [29] :

$$SNR = \frac{(\Re P_{sr} K \left(\frac{W}{L}\right)^2)^2}{P_{sr} e B \Re K \left(\frac{W}{L}\right)^2 + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (II.18)$$

Ainsi, le BER est obtenu comme :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{SNR}{8}} \quad (II.19)$$

D'où,

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{(\Re P_{sr} K \left(\frac{W}{L}\right)^2)^2}{8(P_{sr} e B \Re K \left(\frac{W}{L}\right)^2 + \frac{4K_b T_n B}{R_L})}} \quad (II.20)$$

II.5.4.3 Construction des codes PM-ZCC [30]

Dans ce code d'inter corrélation nulle par permutation de matrices PM-ZCC proposé, la matrice est de dimension $K \times L$, où N est le nombre d'utilisateurs et L est la longueur minimale du code. Le code de base PM-ZCC pour $W = 1$ et, $K = 2$ noté par $P_{W,N}$ est présenté comme suit :

$$P_{1,2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Encore, $P_{1,3}$ et $P_{1,4}$ sont donnés par :

$$P_{1,3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{1,4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Notons que le nombre d'utilisateurs augmente avec la longueur du code. Pour augmenter le poids du code, on utilise matrice suivante. Pour W=2 et K=4, on a :

$$P_{2,4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Pour W=3, on a :

$$P_{3,4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Dans le cas général, W=K, on a la relation :

$$P_{n,N} = n \times K \quad (\text{II.21})$$

Ce qui donne :

$$L = K \times W \quad (\text{II.22})$$

D'où, nous pouvons obtenir la matrice de permutation pour W=2 et K=5 comme suit :

$$P_{2,5} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Le diagramme en bloc de la matrice de permutation est donné par la figure ci-dessous :

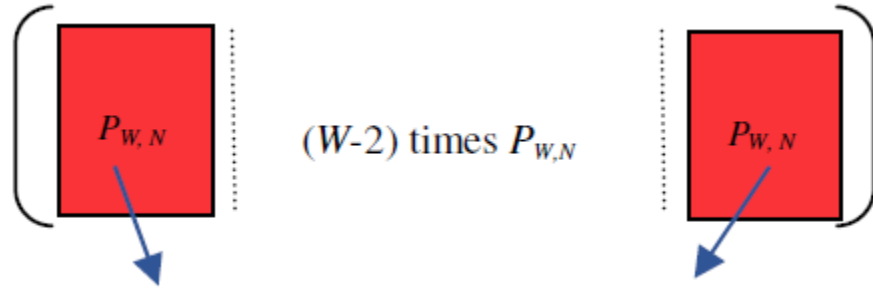


Figure II.9. Diagramme en bloc de la méthode PM-ZCC (Matrice de permutation d'ordre $(W \times N)$).

II.5.5 Analyse des performances

Pour simplifier notre analyse, l'approximation gaussienne est utilisée [28, 29]. Dans l'analyse suivante, nous avons examiné les effets des bruits de grenaille et thermiques, en ignorant le bruit PIIN en raison de la condition de corrélation croisée nulle et de l'absence de chevauchement de spectre des différents utilisateurs. Supposons Maintenant que $C_k(i)$ désigne le i ème élément de la K ème séquence de code ZCC et les propriétés du code pour la technique de détection directe peuvent être écrite comme suit :

$$\sum_{i=1}^N C_{K(i)} C_{l(i)} = \begin{cases} W & \text{pour } K = l \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.23})$$

Pour analyser le système avec émetteur et récepteur, nous supposons ce qui suit [29] :

- a) Chaque source lumineuse est idéalement non polarisée et son spectre est plat sur la bande passante $[V_D - \frac{\Delta\nu}{2}, V_D + \frac{\Delta\nu}{2}]$ où V_D est la fréquence optique centrale et $\Delta\nu$ la bande passante de la source optique en hertz,

- b) Chaque composante spectrale de puissance a une largeur spectrale identique,
- c) Chaque utilisateur a une puissance égale au niveau du récepteur,
- d) Chaque flux binaire de chaque utilisateur est synchronisé

a) Code ZCC [28]

La densité spectrale de puissance (PSD) des signaux optiques reçus peut être écrite comme :

$$r(v) = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{k=1}^K d_k \sum_{i=1}^L c_k(i) \left\{ u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i - 2) \right] - u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} \quad (\text{II.24})$$

Où P_{sr} est la puissance effective d'une source à large bande au niveau du récepteur, K est le nombre d'utilisateurs actifs et L est la longueur du code ZCC, d_k est le bit de données du K ème utilisateur qui peut être "1" ou "0", et $u(v)$ est la fonction échelon unitaire.

Donc, soit :

$$\begin{aligned} U &= \left\{ u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i - 2) \right] - u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} \\ &= \left\{ u \left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i - 2) - v - v_0 + \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} \\ &= \left\{ u \left[-\frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i + 2) + \frac{\Delta v}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} \\ &= \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{2} - \frac{\Delta v}{L} i + \frac{\Delta v}{L} - \frac{\Delta v}{2} + \frac{\Delta v}{L} i \right] \right\} \\ &= \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} \end{aligned} \quad (\text{II.25})$$

Ensuite, en intégrant la densité spectrale de puissance PSD, on trouve :

$$\begin{aligned} \int_0^\infty G_{dd}(v) dv &= \int_0^\infty \left[\frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{K=1}^K d_K \sum_{i=1}^L C_K(i) C_L(i) \left\{ u \left[\frac{\Delta v}{L} \right] \right\} \right] dv \\ \int_0^\infty G_{dd}(v) dv &= \frac{P_{sr}}{\Delta v} \left[\sum_{k=1}^k d_k \cdot w. 1. \frac{\Delta v}{L} + \int_{k \neq 1}^k d_k \cdot 0.1. \frac{\Delta v}{L} \right] \\ [\sum_{k=1}^k d_k] &= [d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + \dots + d_{k-1} + d_k] \end{aligned} \quad (\text{II.26})$$

Lorsque tous les utilisateurs transmettent le bit « 1 », on a :

$$\sum_{k=1}^K d_k \approx \frac{K-1+W}{L} \quad (\text{II.27})$$

et

$$\int_0^\infty G_{dd}(v) dv = \frac{P_{sr}[(K-1+W)W]}{L} \quad (\text{II.28})$$

Le photo-courant I peut être exprimé comme suit :

$$I = I_{dd} = \Re \int_0^\infty G_{dd}(v) dv$$

$$I = \Re \left[\frac{P_{sr}[(K-1+W)W]}{L} \right] \quad (\text{II.29})$$

La variance du photo-courant due à la détection d'une lumière thermique idéalement non polarisée, générée par émission spontanée, peut être exprimée par :

$$\langle I^2 \rangle = 2eB(I_{dd}) + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (\text{II.30})$$

$$\langle I^2 \rangle = 2eB \Re \left[\int_0^\infty G_{dd}(v) dv \right] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (\text{II.31})$$

D'après l'équation (II.5), lorsque tous les utilisateurs transmettent le bit « 1 » et que la probabilité d'envoyer le bit « 1 » à tout moment pour chaque utilisateur est de 1/2 [29], alors l'équation II.31 devient,

$$\langle I^2 \rangle = \frac{P_{sr} e B \Re}{L} [(K-1+W)W] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (\text{II.32})$$

En utilisant les propriétés en (II.30) et (II.31), le rapport signal sur bruit (SNR) de la technique de détection directe peut être déterminé à l'aide des opérations mathématiques ci-dessous :

$$\text{SNR} = \frac{(I_{dd})^2}{\langle I^2 \rangle} \quad (\text{II.33})$$

Lorsque nous substituons l'équation (II.31), (II.32) et (II.33) au lieu de I_{dd} et I , respectivement, la nouvelle formule du SNR devient :

$$SNR = \frac{\frac{2\Re^2 P_{sr}^2 W^2}{L^2}}{\frac{P_{sr} e B \Re}{L}((K-1+w)) + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (II.33)$$

Ainsi, le BER est obtenu comme :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{SNR}{8}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\frac{2\Re^2 P_{sr}^2 W^2}{L^2}}{8 \left(\frac{P_{sr} e B \Re}{L}((K-1+w)) + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \right)}} \quad (II.34)$$

b) Code ZCC [29]

En procédant de la même manière dans l'analyse des performances de la 1^{ère} méthode ZCC présentée, nous obtenons la formule du SNR comme suit [29] :

$$SNR = \frac{(\Re P_{sr} K \left(\frac{W}{L}\right)^2)^2}{P_{sr} e B \Re K \left(\frac{W}{L}\right)^2 + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (II.35)$$

Ainsi, le BER est obtenu comme :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{SNR}{8}} \quad (II.36)$$

D'où,

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{(\Re P_{sr} K \left(\frac{W}{L}\right)^2)^2}{8 \left(P_{sr} e B \Re K \left(\frac{W}{L}\right)^2 + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \right)}} \quad (II.37)$$

b) Code ZCC [30]

D'après l'analyse présentée dans la référence [31], la formule du SNR est donnée comme suit:

$$SNR = \frac{(\Re P_{sr} \frac{W}{L})^2}{P_{sr} e B \Re K \frac{W}{L} + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (II.38)$$

D'où,

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\left(\Re P_{sr} \frac{W}{L}\right)^2}{P_{sr} e B \Re K_L^W + \frac{4 K_b T_n B}{R_L}}} \quad (\text{II.39})$$

c) Code MDW

Le rapport signal / bruit (SNR) exprime la qualité du signal dans le système. C'est un rapport de moyenne puissance du signal à la puissance de bruit totale. Le rapport signal / bruit pour le système OCDMA en utilisant la famille de code MDW est donnée par :

$$\text{SNR} = \frac{\left(\frac{\Re P_{sr} W}{L}\right)^2}{2 e B \Re \frac{P_{sr} (W-2)}{L} + \frac{4 K_b T_n B}{R_L}} \quad (\text{II.40})$$

En utilisant l'approximation gaussienne, le BER est exprimé comme [32,33] :

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\text{SNR}/8}) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\left(\frac{\Re P_{sr} W}{L}\right)^2}{8 \left(2 e B \Re \frac{P_{sr} (W-2)}{L} + \frac{4 K_b T_n B}{R_L} \right)}} \right) \quad (\text{II.41})$$

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés en détails la méthode d'encodage et de décodage du système SAC-OCDMA. Nous nous sommes intéressés en particulier aux techniques d'encodage à cross corrélation nulle où quelques techniques ZCC ont été étudiées et analysées leurs performances analytiquement.

III.1 Introduction

Notre objectif dans ce chapitre est l'analyse et la simulation des performances des codes à cross corrélation nulle ZCC dans les systèmes SAC-OCDMA, en utilisant la technique de la détection directe. La simulation est mise en œuvre à l'aide du logiciel OptiSystem version 7.0 [34], qui nous permet de faire une étude en termes du taux d'erreur binaire (BER), facteur de qualité Q et le diagramme de l'œil. Les paramètres de simulations sont conservés constants pour les différentes méthodes d'encodage ainsi que la configuration du système SAC-OCDMA afin de permettre une comparaison objective.

III.2 Présentation du logiciel de simulation OptiSystem

OptiSystem est un outil interactif développé par la société canadienne "Optiwave Systems Inc" qui permet aux chercheurs et aux ingénieurs de simuler, modéliser, analyser et concevoir tout module de système optique allant du dispositif le plus élémentaire au système complet de communication décrit sous la forme de schéma de blocs. C'est un environnement interactif qui allie donc des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et une interface utilisateur [34].

➤ Interface de travail sur Optisystem

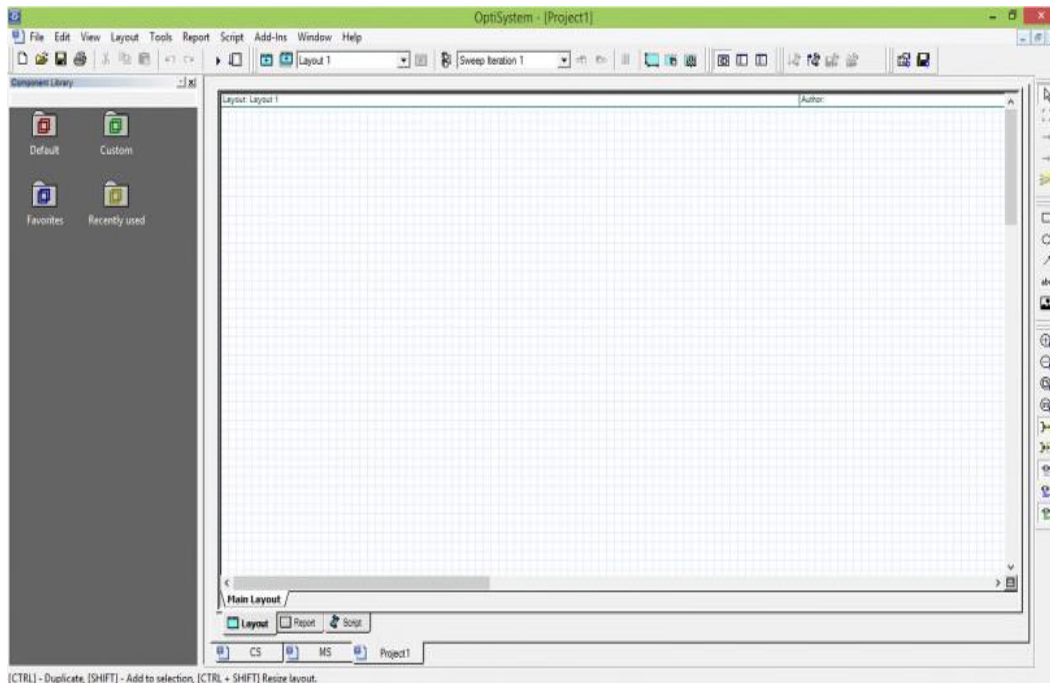


Figure III.1. L'interface de travail sur Optisystem.

➤ Bibliothèque

Elle contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs : entrées, régénérateurs, codeurs, modulateurs, filtres, ...

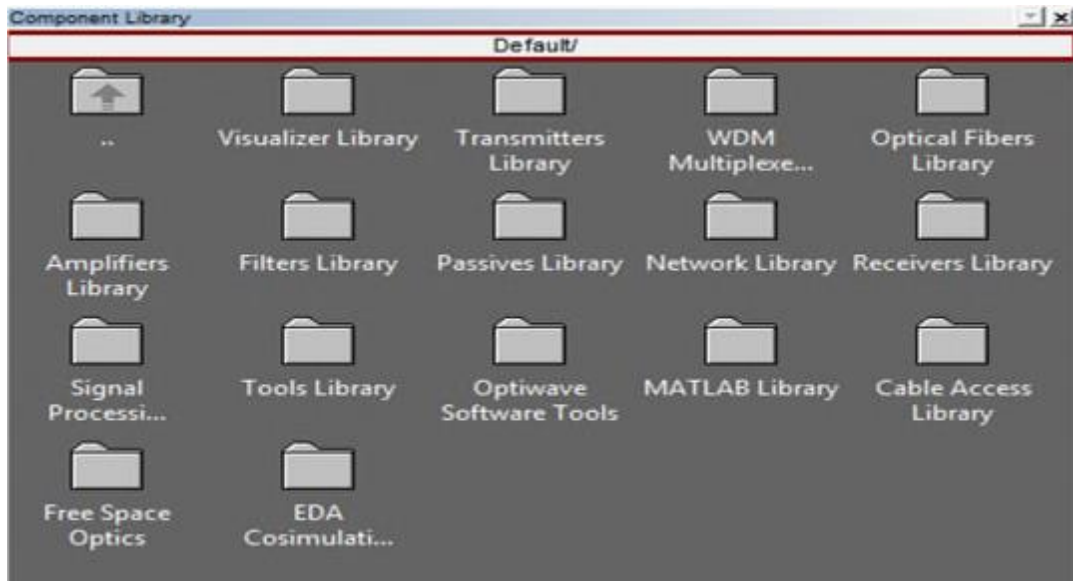


Figure III.2. Bibliothèque du logiciel Optisystem.

III.3. Présentation de la chaîne de simulation étudiée

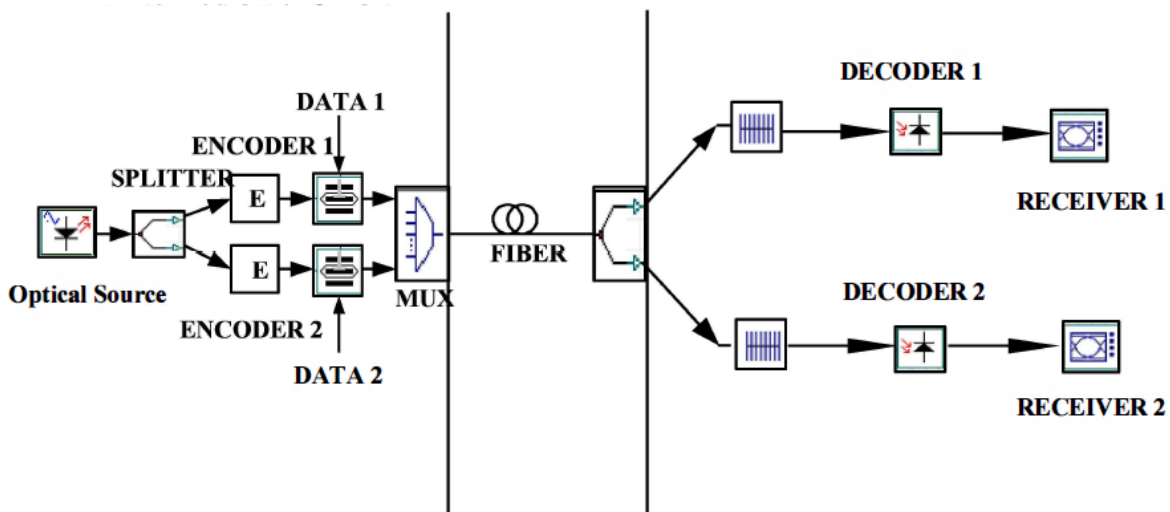


Figure III.3. Schéma synoptique du système SAC-OCDMA avec la détection directe.

La figure III.3 représente un schéma synoptique du système SAC-OCDMA contenant un émetteur, un canal optique et un récepteur. A l'émission, le signal est généré par un générateur de

séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) et codé par un code non-retour à zéro (NRZ). Par la suite, cette séquence est modulée optiquement avec une séquence de code optique qui est générée avec différentes longueurs d'ondes multiplexées grâce à un multiplexeur (correspondant au poids du code optique) fournit par la diode laser à l'aide d'un modulateur Match-Zehnder. Les signaux modulés des différents utilisateurs seront rassemblés ensemble par le biais d'un combineur optique (Power Combiner) et transmis à travers une fibre optique.

III.4 Principales caractéristiques du logiciel

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifié en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels,
- La bibliothèque des composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurées à partir de périphériques réels, il s'intègre aux équipements de test et de mesurer des différents fournisseurs.
- Les outils de visualisation avancée produisent le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation, la constellation schémas et beaucoup plus.
- Il est possible de joindre un nombre arbitraire de visualisation sur le moniteur au même port.
- Le calcul planificateur contrôle la simulation en déterminant l'ordre d'exécution des modules composants selon les données sélectionnées. Optisystem permet :
 - Obtenir un aperçu des performances du système optique.
 - Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
 - Présentation virtuelle des options de conceptions.

III.5. Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission

Pour définir la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal transmis :

- ✓ Le taux d'erreurs binaires (BER),
- ✓ Le facteur de qualité (Q),
- ✓ Le diagramme de l'œil

Ces trois critères sont décrits dans la suite.

III.5.1. Taux d'erreurs binaires

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

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{III.1})$$

Le taux d'erreur binaire communément accepté dans le milieu des télécommunications optiques est de l'ordre de 10^{-9} , correspondant à une erreur commise sur un milliard de bits lus. La mesure de qualité globale d'un système de canaux multiplexés en longueurs d'onde passe par la mesure du taux d'erreur de tous les canaux. Si un seul canal parmi plusieurs canaux présente des erreurs, le taux d'erreurs du système global est proche du taux d'erreurs du canal présentant des erreurs.

III.5.2 Facteur de qualité

Le facteur de qualité est le rapport signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur. Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission.

Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré, le signal utile est représenté par les niveaux moyens μ_1 et μ_0

Le bruit représente les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens, il est quantifié en combinant les écarts-types σ_0 . On définit donc le facteur Q à partir de relevé du diagramme de l'œil par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\mu_1 + \mu_0} \quad (\text{III.2})$$

Où σ_0 et σ_1 sont les variances des probabilités de puissance des symboles «1 » et «0 ». Le facteur de qualité est donc relié au taux d'erreur binaire (TEB) dans l'hypothèse où la distribution de puissance des symboles est gaussienne, par la relation suivante :

$$\text{TEB} = \frac{1}{2} \left[\text{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

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

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp_e(-y^2) dy \quad (\text{III.4})$$

Il est souvent utilisé plutôt que le taux d'erreur binaire dès lors que le taux d'erreur binaire est trop faible pour être mesuré. En effet, plus le taux d'erreur binaire est faible, plus le temps de mesure est long pour une même précision sur la mesure. Expérimentalement, le taux d'erreur binaire n'est par conséquent pas toujours mesurable directement.

Le facteur de qualité est fréquemment utilisé pour quantifier la qualité d'une liaison ; un facteur de qualité de 6 correspond à un taux d'erreur binaire de 10^{-9} .

III.5.3. Diagramme de l'œil

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus le facteur de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé (Figure III .4)

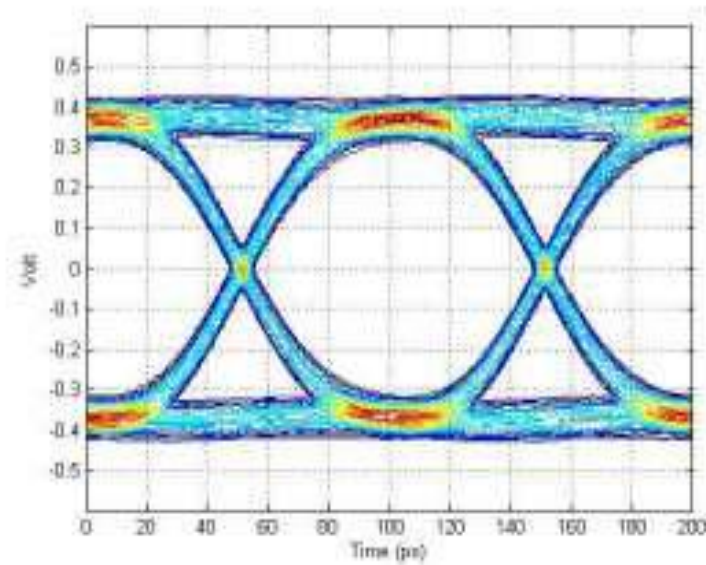


Figure. III.4 Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ.

III.6 Simulation du système SAC-OCDMA en utilisant le code ZCC

La figure III.5 ci-dessous montre la configuration d'un système SAC-OCDMA utilisant l'un des codes ZCC de la référence pour quatre utilisateurs et un poids W égale à 3. La comparaison entre les différentes méthodes d'encodage est effectuée en conservant le même nombre d'utilisateurs et le même poids du code.

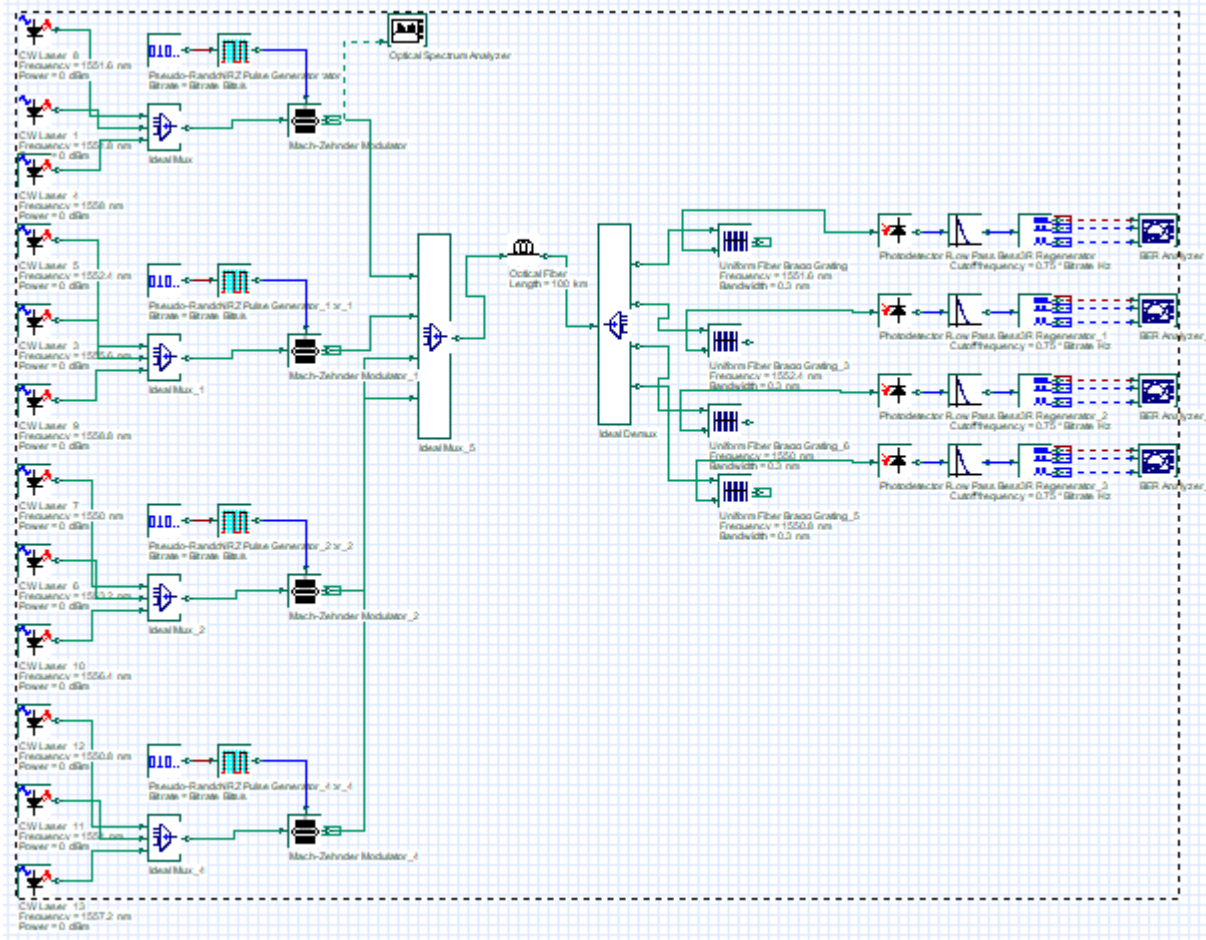


Figure III.5. Configuration du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour quatre utilisateurs et un poids $W=3$.

III.6.1 Répartition des longueurs d'onde

Pour l'implémentation des codes à inter-corrélation nulle ZCC présentés dans le chapitre II, le spectre disponible (sous bande de la bande C : 1549.6-1560 nm) est fractionné en un nombre de longueurs d'ondes, égale à la longueur spectrale du code, pour 4 utilisateurs actifs, on considère les longueurs du code $L=12$, avec un poids du code choisi $w=3$ et un espacement de 0.8 nm correspondant à intervalle de 100 GHz. Chaque utilisateur se voit attribuer sa combinaison de longueurs d'ondes dans la bande C comme c'est montré ci-dessous :

ZCC [29]

Les longueurs d'ondes correspondantes du code ZCC [29] sont les suivantes :

Utilisateur 1 : $\lambda_8 \quad \lambda_{10} \quad \lambda_{12}$

Utilisateur 2 : $\lambda_4 \quad \lambda_6 \quad \lambda_{11}$

Utilisateur 3 : $\lambda_2 \quad \lambda_5 \quad \lambda_9$

Utilisateur 4 : $\lambda_1 \quad \lambda_3 \quad \lambda_7$

ZCC [30]

Les longueurs d'ondes correspondantes du code ZCC [30] sont les suivantes :

Utilisateur 1 : $\lambda_1 \quad \lambda_3 \quad \lambda_9$

Utilisateur 2 : $\lambda_2 \quad \lambda_5 \quad \lambda_6$

Utilisateur 3 : $\lambda_4 \quad \lambda_{10} \quad \lambda_{12}$

Utilisateur 4 : $\lambda_7 \quad \lambda_8 \quad \lambda_{11}$

ZCC [31]

Les longueurs d'ondes correspondantes du code ZCC [31] sont les suivantes :

Utilisateur 1 : $\lambda_3 \quad \lambda_7 \quad \lambda_{11}$

Utilisateur 2 : $\lambda_4 \quad \lambda_8 \quad \lambda_{12}$

Utilisateur 3 : $\lambda_1 \quad \lambda_5 \quad \lambda_9$

Utilisateur 4 : $\lambda_2 \quad \lambda_6 \quad \lambda_{10}$

Un exemple des séquences codes ZCC [29] utilisées pour quatre utilisateurs et un poids du code $W=3$ est représenté sur le tableau III.1.

$$ZCC [29] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tableau III.1 Séquences de code ZCC [29] utilisés pour un nombre d'utilisateurs égal à sept et un poids du code $W=3$.

III.6.2 Partie d'émission

Dans le coté émission, nous trouvons deux blocs, le premier appelé « générateur PRBS, ce qui veut dire (Pseudo Random Bit Sequence Generator) », le second quant à lui, est un générateur non-retour à zéro NRZ « Non Return to Zero ».

Les séquences de bits de débit, $D_b = 622 \text{ Mbit/s}$ le temps bit est : $T_b = 1/D_b = 1.6 \text{ ns}$, sont délivrées par le PRBS de façon aléatoire avec une équiprobabilité entre les '0' et les '1' ($P(0) = P(1) = 1/2$). Un réseau de diodes laser (CW laser array) est utilisé afin de générer les longueurs d'ondes avec un espacement de 0.8 nm . Le taux de données est supposé égal à 622 Mb/s et la distance de la fibre optique monomode du standard ITU T G-52 est choisie égale à 50 Km . Chaque utilisateur utilise les signaux du réseau de diodes laser avec une puissance d'émission de 0 dBm . Les signaux issus du réseau sont multiplexés par un multiplexeur idéal puis modulés par un générateur PRBS en se basant sur les données de sortie. Le modulateur Mach-Zehnder est utilisé avec un coefficient d'extinction de 30 dB/m .

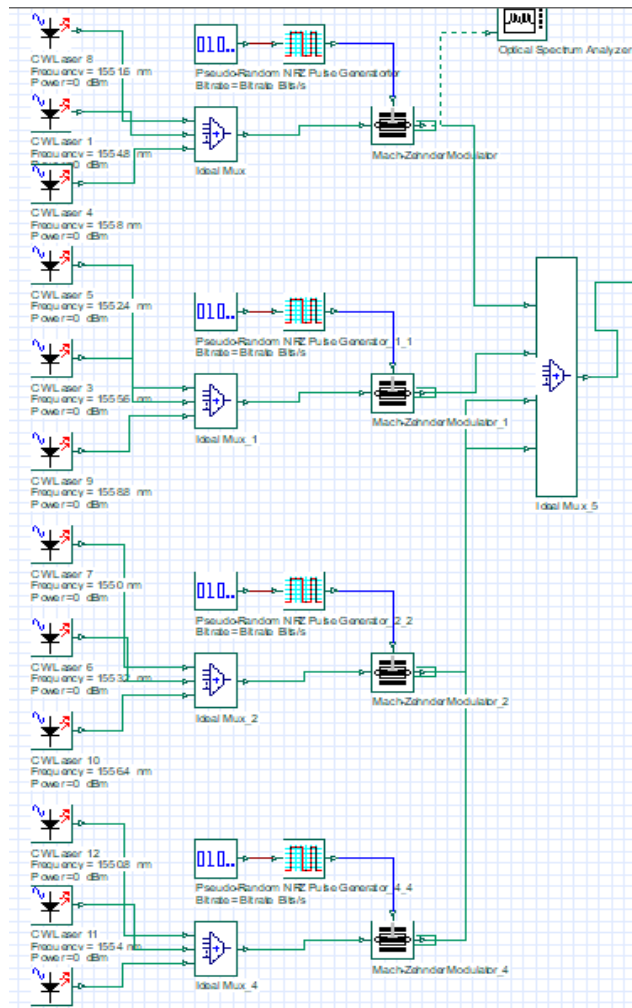


Figure III.5. Partie émission du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour sept utilisateurs et un poids $W=3$.

A. Source optique

Un ensemble de diodes laser (CW laser) est utilisé afin de générer toutes les longueurs d'ondes nécessaires à la transmission simultanée des quatre utilisateurs. Ces dernières sont ensuite rassemblées pour former la combinaison qui permettra d'obtenir, après codage, la signature spectrale correspondante à chaque utilisateur.

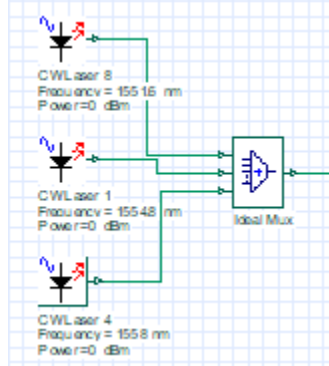


Figure III.6. Modèle de la source optique.

B. Calcul des paramètres de la simulation

Le signal de données du premier utilisateur est représenté dans la figure III.7. On peut y voir que la durée de transmission (time window : TW) correspondant à $T_w = 205,7 \text{ ns}$.

D'après le tableau des paramètres, nous pouvons déduire la durée du bit comme suit :

$$T_b = \frac{T_w}{N_b} = \frac{205.7}{128} \approx 1.6 \text{ ns} \quad (\text{III.5})$$

Le débit binaire est donné par :

$$D = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-9}} \approx 622 \text{ Mb/s} \quad (\text{III.6})$$

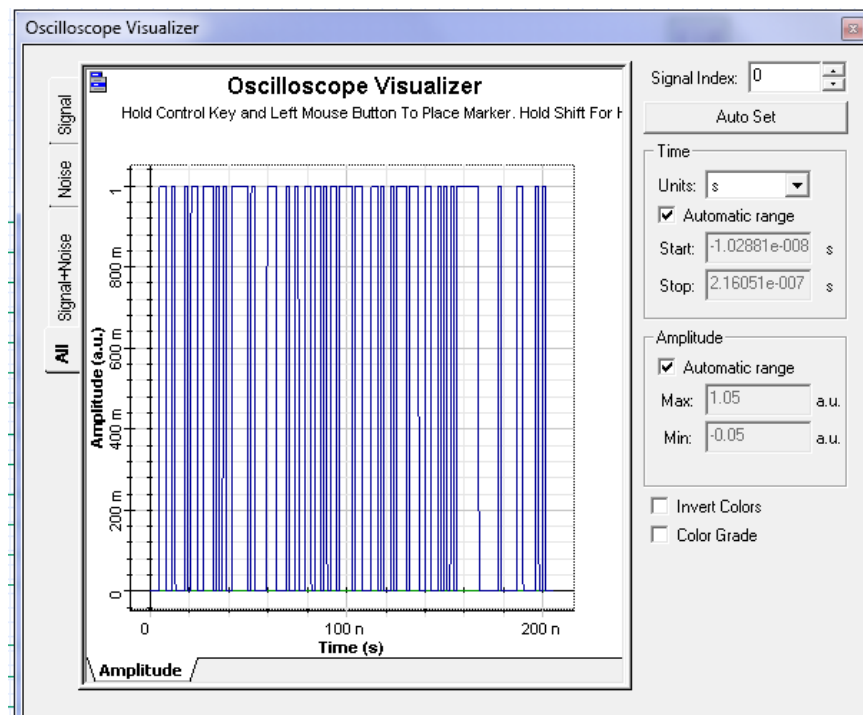


Figure III.7. Signal émis du premier utilisateur.

Layout 1 Parameters

Label: Layout 1

OK Cancel

Simulation Signals Spatial effects Noise Signal tracing

Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	☒		Normal
Bit rate	622000000	Bits/s	Normal
Time window	2.057877813505e-007	s	Normal
Sample rate	39808000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

Add Param... Remove Par Edit Param...

Help

Figure III.8. Paramètres des simulations.

C. Générateur d'impulsion NRZ

Un générateur de séquence binaire pseudo- aléatoire de type non-retour à zéro (NRZ) est utilisé dans notre travail. Pour ce générateur, le bit « 1 » est représenté par un état significatif (tension positive), et le bit « 0 » par un autre état significatif (tension négative), il n'existe pas d'état intermédiaire.

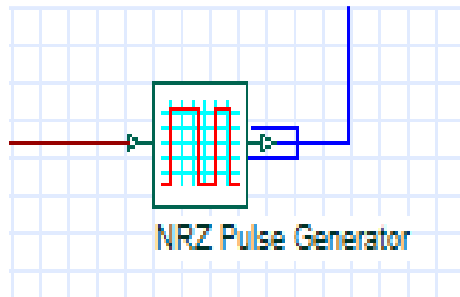


Figure III.9. Générateur d'impulsion NRZ.

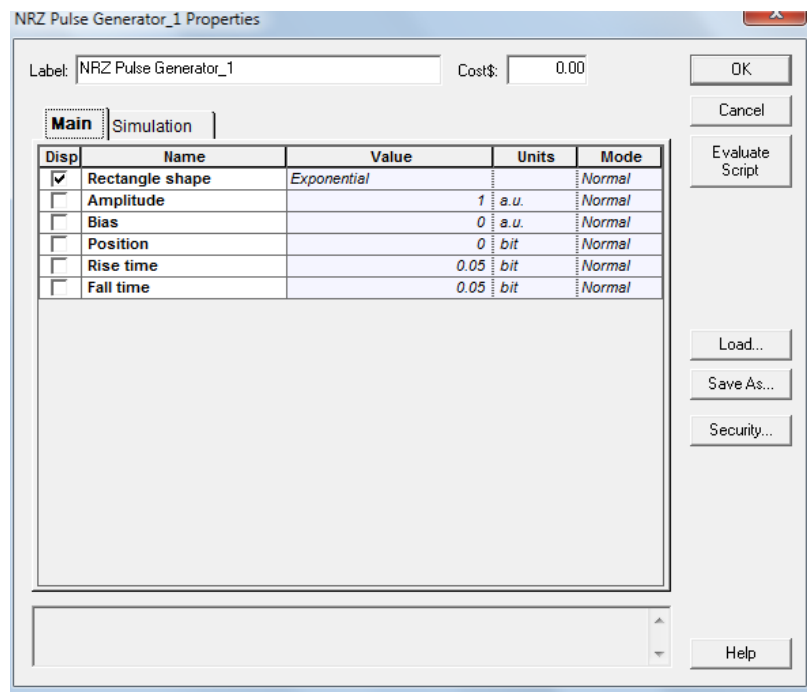


Figure III.10. Paramètres du générateur pour chaque utilisateur

D. Modulateur Mach Zehnder

Le Mach-Zehnder permet de moduler le courant électrique représentant la séquence de données sur une puissance optique de la source lumineuse.

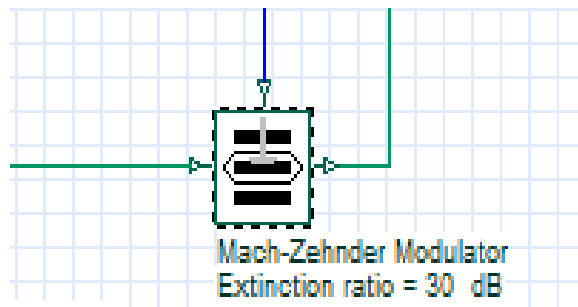


Figure III.11. Modulateur Mach-Zehnder

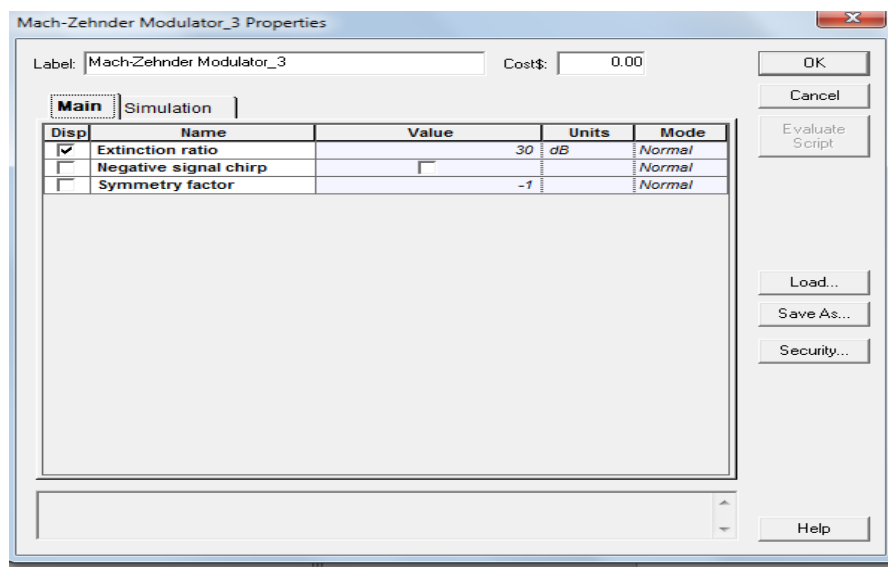


Figure III.12. Paramètres de Modulateur de Mach-Zehnder pour chaque utilisateur

E. Multiplexeur WDM

Ce bloc sert à la sélection des longueurs d'ondes qui sont par la suite regroupées, pour construire les signatures, la figure III.13 montre le bloc multiplexeur WDM et signature des longueurs d'ondes du premier utilisateur, l'espacement entre deux longueurs d'ondes et effectivement 0.8nm.

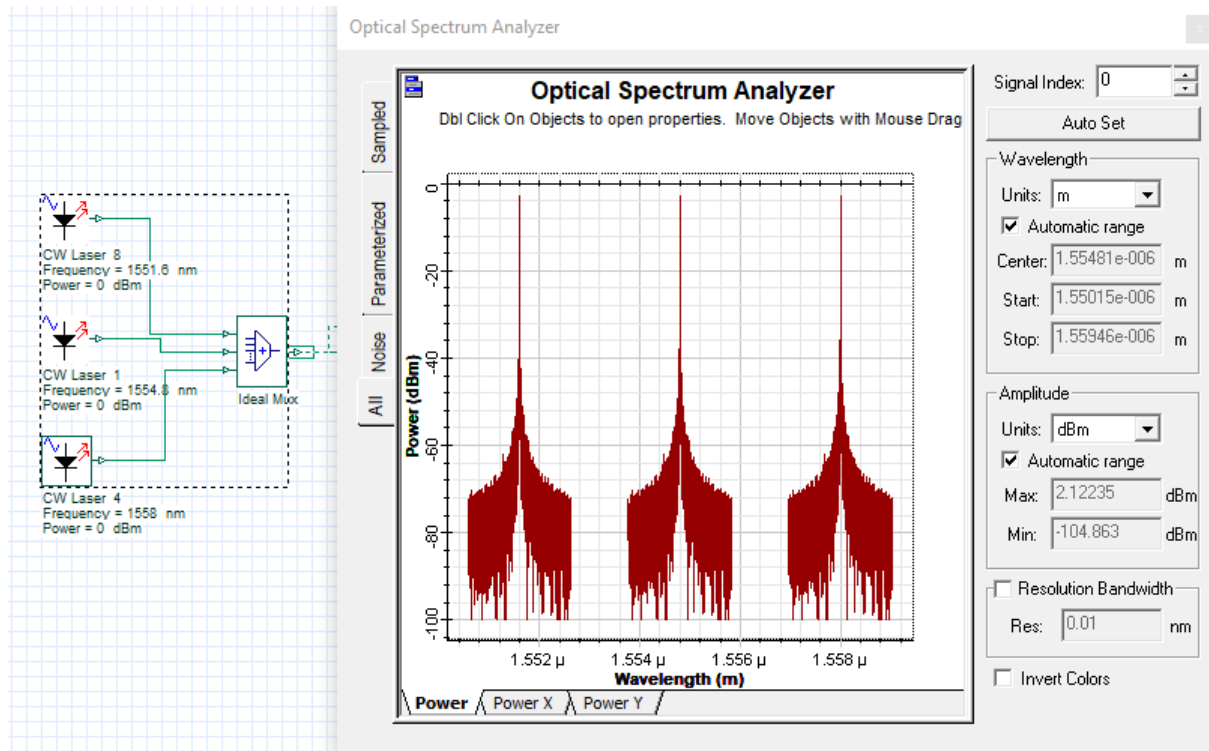


Figure III.13. Multiplexeurs WDM et signature des longueurs d'ondes du premier utilisateur.

F. Fibre optique

La fibre optique utilisée introduit une atténuation de 0.2 dB/km, pour une longueur de 100 km on aura une atténuation de 20 dB ($100 \text{ km} \times 0.2 \text{ dB/km}$). Le modèle de cette dernière ainsi que les paramètres introduits dans le simulateur sont illustrés sur les figures ci-dessous.

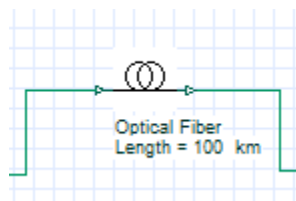


Figure III.16. Modèle de la fibre optique.

Des paramètres supplémentaires sont ajoutés pour rendre la simulation proche du système réel, tel que :

- ✓ Dispersion = 16.75 PS/nm /km
- ✓ Courant d'obscurité des photodiodes = 5 nA

- ✓ La DSP du bruit thermique = 10^{-23} W/Hz.
- ✓ Fibre optique monomode en silice (ITU-G652) de longueur 100 km.

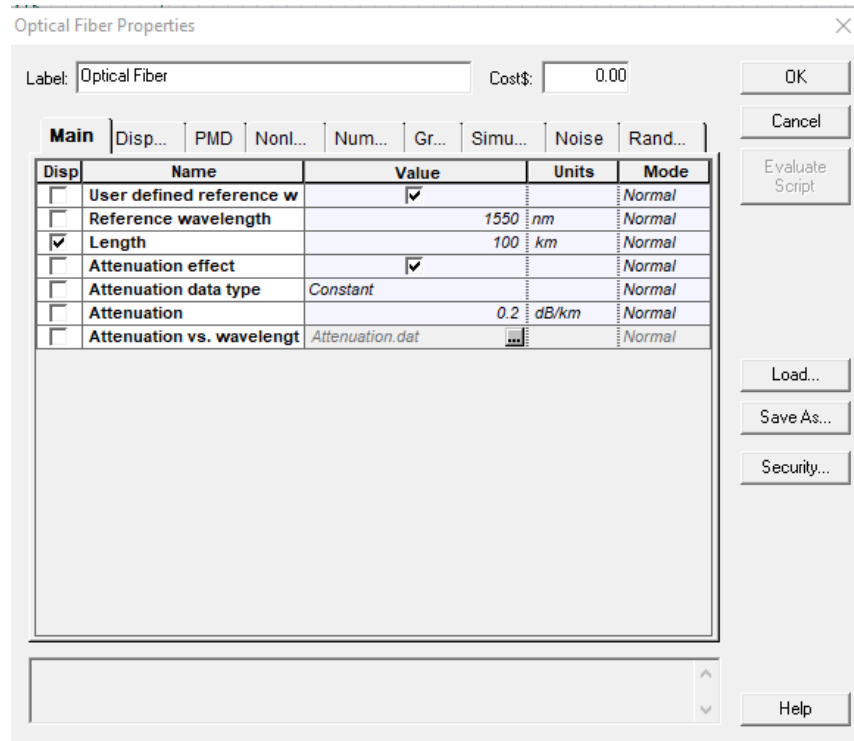


Figure III.14. Paramètres de la fibre optique.

III.6.3 Partie de réception

Le rôle du récepteur consiste à filtrer les fréquences optiques, de détecter le signal optique et le convertir aux données électriques binaires. A la réception, la technique de détection par photo détection unique est utilisée avec des photo détecteurs et des filtres de réception. Ce dernier utilise un filtre passe bas de Bessel optique du quatrième ordre, dont la bande passante électrique égale 75% le débit binaire. Les multiplexeurs et démultiplexeurs sont utilisés pour combiner et séparer les différentes séquences codées.

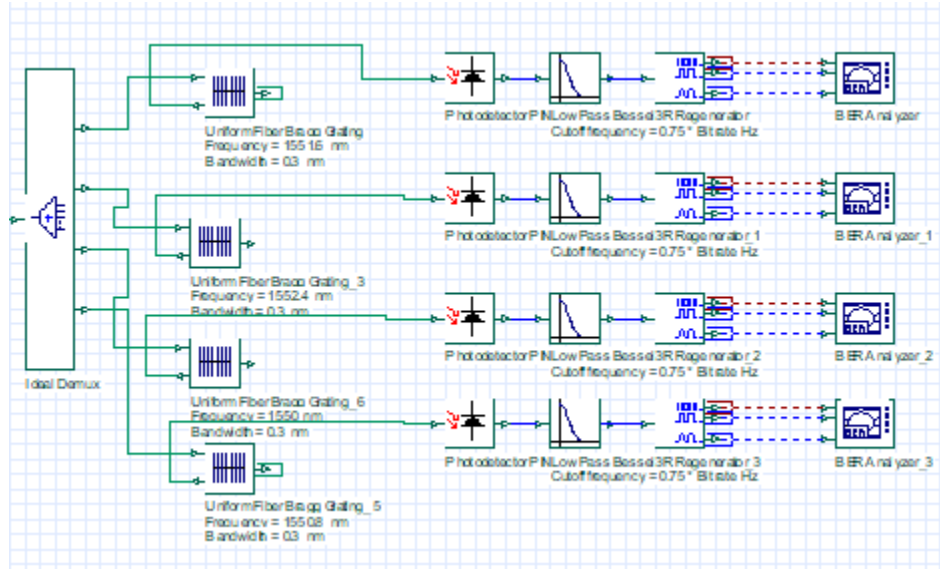


Figure III.15. Partie réception du système SAC-OCDMA utilisée dans les simulations pour sept utilisateurs et un poids $W=3$.

A. Fibre de Bragg

Une fibre à réseau de Bragg avec une largeur de 0.3 nm a été utilisée comme un filtre optique en ligne pour faire passer que la longueur d'onde désirée. La fibre à réseau de Bragg agira comme un miroir sélectif de la longueur d'onde ; c'est un filtre à bande étroite. Dans notre système, on a choisi la détection directe où seules les longueurs d'onde $\lambda_8, \lambda_1, \lambda_3$ sont autorisées à passer alors que les autres spectres seront bloqués.

B. Photo détecteur et filtre de mise en forme

La photo diode est utilisée pour détecter la signature spectrale reçue. La puissance reçue est ensuite convertie en un signal électrique. Le type de photo détecteur utilisé est une photodiode PIN. Un filtre de Bessel passe bas fait office de filtre de mise en forme afin de donner au signal une forme qui facilitera l'opération de décision. Sa fréquence de coupure est $f_c = 0,75 \times \text{débit binaire} = 0,75 \times 622 \times 10^6 \text{ Mhz} = 466.5 \text{ Mhz}$.

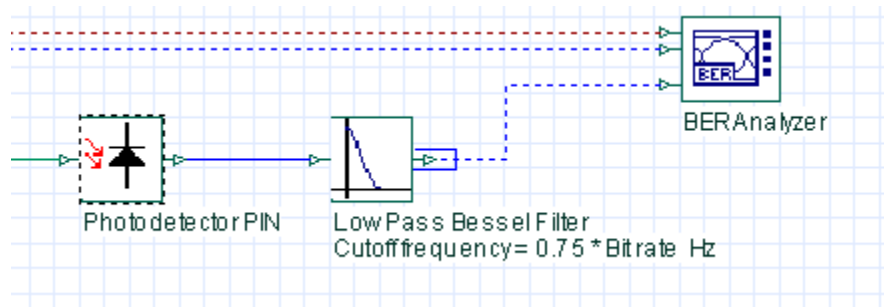


Figure III.16. Récepteur après décodage.

III.7 Décision

Dans la bibliothèque de composants du logiciel Optisystem, le bloc « BER analyzer » permet d'afficher, après avoir comparé le signal reçu à la donnée transmise, les valeurs prises par les différents paramètres (seuil de décision : threshold, instant de décision, decision instant) et critères d'évaluation (facteur Q, taux d'erreur binaire TEB : Bit Error Rate BER, ouverture du diagramme de l'œil) des performances du système.

La figure III.17, illustre le diagramme de l'œil en fonction du temps bit. Les deux principales caractéristiques que ce diagramme, sont l'ouverture verticale de l'œil (qui indique la tolérance du système au bruit) et l'instant de décision.

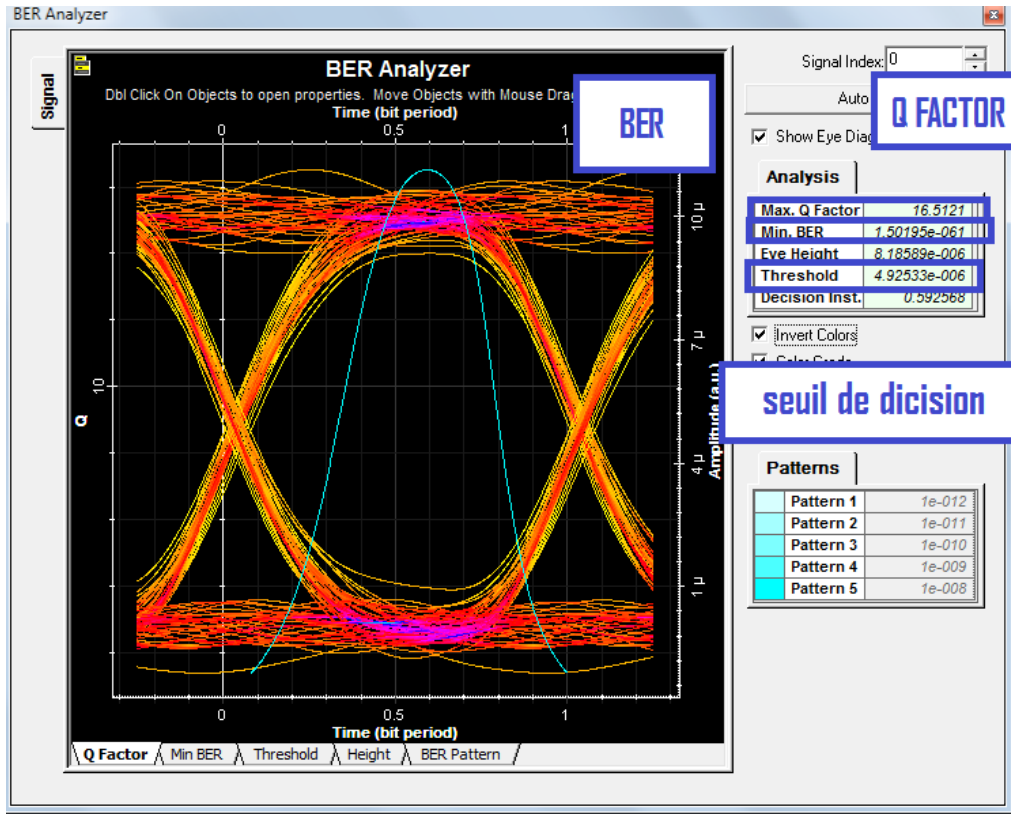


Figure III.17. Diagramme de l'œil pour un système SAC-OCDMA.

III.8. Analyses des performances des codes ZCC

Le diagramme de l'œil est tracé pour les trois codes : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30] pour quatre utilisateurs et un poids du code $W=3$. La distance de la fibre optique est choisie égale à 100Km et le débit de transmission égal à 622Mb/s.

D'après les figures III.18, III.19 et III.20 ci-dessus, nous remarquons de manière claire et nette, l'ouverture verticale du diagramme. En effet, l'œil indique une bonne résistivité du système étudié au bruit et l'ouverture horizontale indique la sensibilité à un décalage de l'instant d'échantillonnage. Donc, plus l'œil est ouvert, plus il est facile de différencier entre les 1 et les 0 dans le signal.

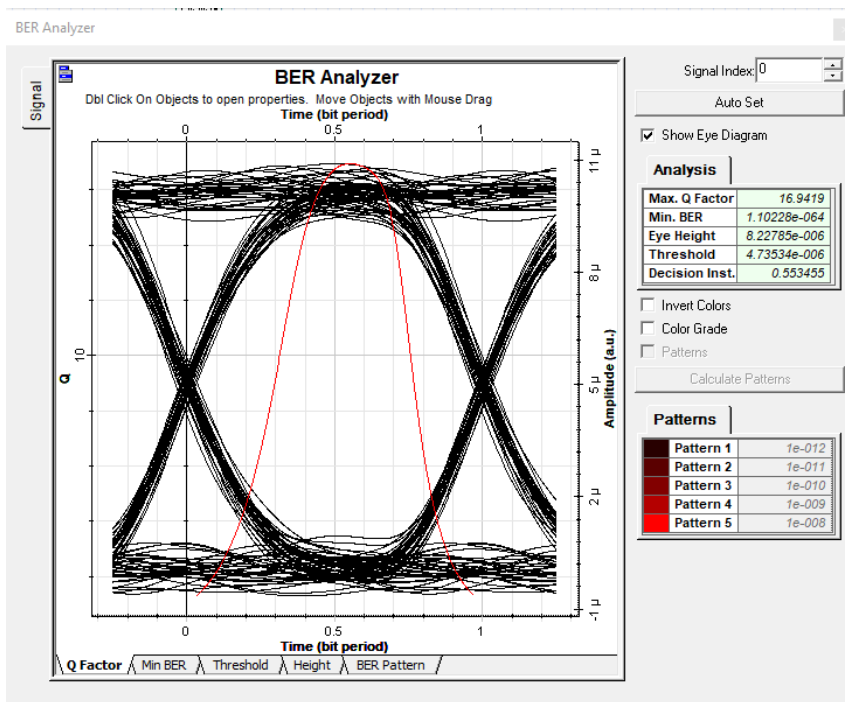


Figure III.18. Diagramme de l'œil du code ZCC [28].

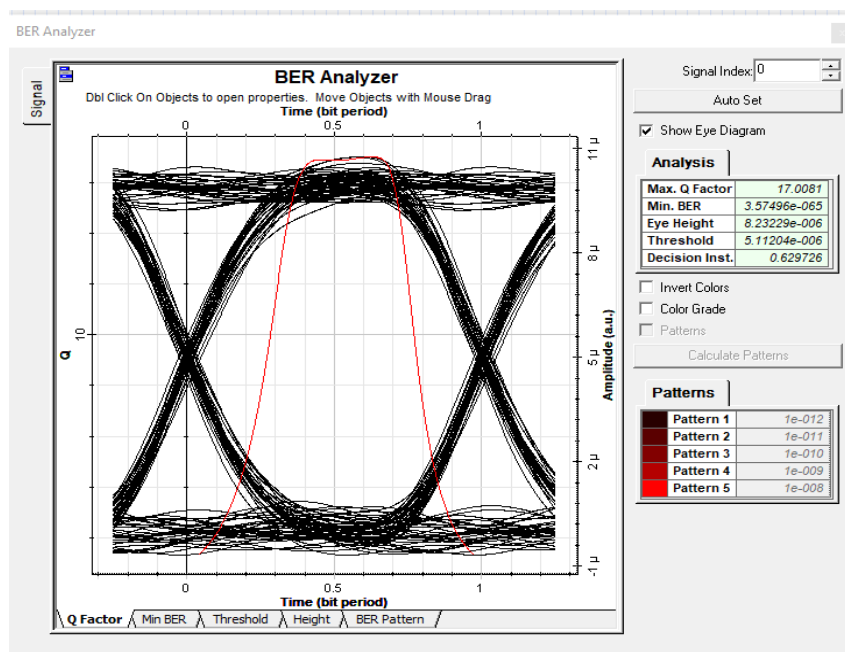


Figure III.19. Diagramme de l'œil du code ZCC [29].

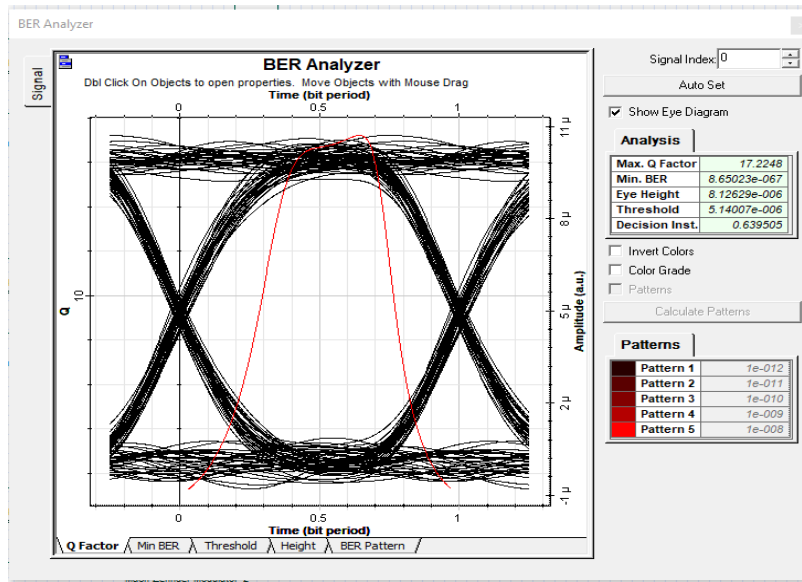


Figure III.20. Diagramme de l'œil du code ZCC [30].

Le Tableau III.2, montre une comparaison analytique entre différents codes pouvant être utilisés dans le système SAC-OCDMA comme le code ZCC, MDW et OOC. Les codes ZCC étudiés dans le second chapitre sont comparés avec le code MDW et le code OOC en termes de longueur du code, cross corrélation, nombre d'utilisateurs et poids du code comme le montre le tableau III.2.

D'après le tableau III.2, Pour un nombre d'utilisateurs ($K=30$) et un poids désiré ($w=4$), la comparaison a montré que les trois codes ZCC étudiés donne une cross corrélation nulle ($\lambda = 0$) par rapport aux autres codes tels que : code OOC ou MDW dont la valeur de la cross corrélation égale à $\lambda = 1$. Ceci conduit à une suppression efficace du bruit d'interférences MAI et du bruit PIIN et améliore par la suite les performances du système SAC-OCDMA. En outre, la longueur du code est presque identique pour le code ZCC [29] et ZCC [30] alors qu'elle est plus longue pour les autres codes ZCC [28], ZCC (14) et OOC. Pour le code MDW, la longueur du code est petite mais le nombre d'utilisateurs est très faible. Le code MDW nécessite un poids du code plus élevé pour approcher les performances du code ZCC, d'où une longueur du code plus élevée. Ceci est dû à la manière avec laquelle le code est construit ou les paramètres du code sont étroitement liés entre la variation du nombre d'utilisateurs et le poids du code. A noter que les codes ZCC étudiés sont

choisis parmi plusieurs codes ZCC existants dans la littérature mais les performances obtenues sont presque identiques étant donné que la propriété de cross corrélation nulle est la même pour tous ces codes. La différence réside dans la méthode de construction du code, sa simplicité ou complexité, sa longueur du code et le nombre d'utilisateurs attribués.

	Poids (W)	Longueur du code (L)	Nombre d'utilisateurs (K)	Cross-corrélation (λ)
ZCC [28]	4	120	30	0
ZCC [29]	4	121	30	0
ZCC [30]	4	120	30	0

Tableau III.2. Comparaison des différents codes SAC-OCDMA.

La figure III.21 Montre la comparaison des différents codes utilisés dans le système SAC-OCDMA : ZCC [28], ZCC [29], ZCC [30] et MDW en fonction du nombre d'utilisateurs. Les courbes tracées sont obtenues par simulation à l'aide du logiciel Matlab pour un poids du code $W=4$.

D'après les courbes tracées, nous pouvons remarquer que les codes ZCC donnent de meilleures performances par rapport au code MDW. Les performances des codes ZCC [29] et ZCC [30] sont identique mais inférieure par rapport au code ZCC [28].

Pour un taux d'erreur binaire de référence 10^{-9} , le nombre d'utilisateurs simultanément autorisé par le code ZCC [28] est 117 utilisateurs alors qu'il est égal à 90 utilisateurs pour (ZCC [29], ZCC [30]), respectivement.

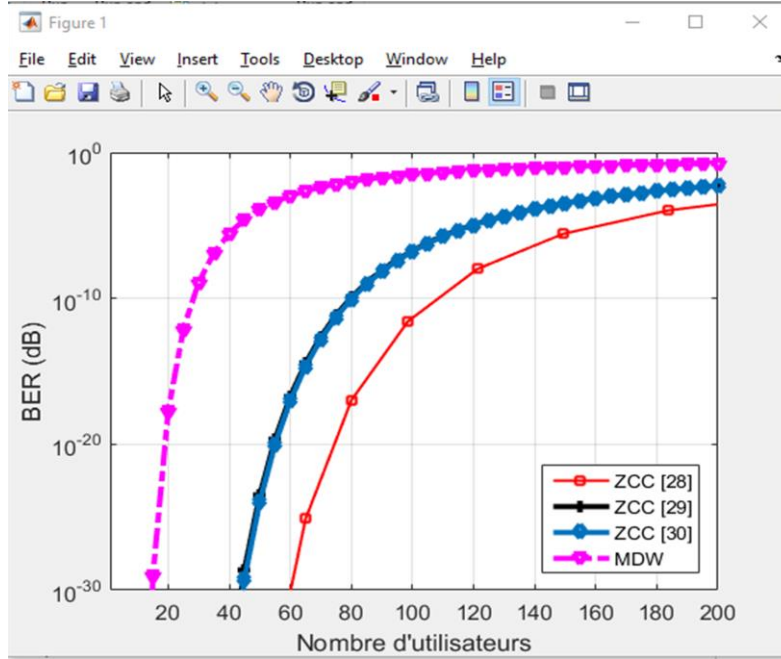


Figure III.21. Taux d'erreur binaire en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29], ZCC [30] et MDW.

	ZCC [28]	ZCC [29]	ZCC [30]
622 Mb/s	$BER = 1.1 \times 10^{-64}$ $Q = 16.94$	$BER = 3.57 \times 10^{-65}$ $Q = 17$	$BER = 8.65 \times 10^{-67}$ $Q = 17.22$
1 Gb/s	$BER = 1.56 \times 10^{-42}$ $Q = 13.62$	$BER = 1.53 \times 10^{-39}$ $Q = 13.10$	$BER = 1.93 \times 10^{-44}$ $Q = 13.93$
1.5 Gb/s	$BER = 1.49 \times 10^{-26}$ $Q = 10.6$	$BER = 1.08 \times 10^{-29}$ $Q = 10.6$	$BER = 3.41 \times 10^{-28}$ $Q = 10.95$
2 Gb/s	$BER = 1.44 \times 10^{-22}$ $Q = 9.705$	$BER = 2.08 \times 10^{-23}$ $Q = 9.9$	$BER = 2.26 \times 10^{-21}$ $Q = 9.42$
2.5 Gb/s	$BER = 2.03 \times 10^{-16}$ $Q = 8.14$	$BER = 2.09 \times 10^{-16}$ $Q = 8.13$	$BER = 1.92 \times 10^{-18}$ $Q = 8.68$
3 Gb/s	$BER = 1.63 \times 10^{-14}$ $Q = 7.59$	$BER = 5.3 \times 10^{-15}$ $Q = 7.73$	$BER = 2.46 \times 10^{-15}$ $Q = 7.83$
3.5 Gb/s	$BER = 8.65 \times 10^{-12}$ $Q = 6.73$	$BER = 2.62 \times 10^{-13}$ $Q = 7.22$	$BER = 4.74 \times 10^{-12}$ $Q = 6.81$
4 Gb/s	$BER = 4.77 \times 10^{-11}$ $Q = 6.47$	$BER = 1.03 \times 10^{-11}$ $Q = 6.7$	$BER = 4.55 \times 10^{-12}$ $Q = 6.82$
4.5 Gb/s	$BER = 1.064 \times 10^{-9}$ $Q = 5.987$	$BER = 2.18 \times 10^{-9}$ $Q = 5.87$	$BER = 4.39 \times 10^{-9}$ $Q = 5.75$

Tableau III.3. Taux d'erreur binaire BER et facteur de forme Q en fonction du débit de transmission pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30].

D'après la Figure III.22, nous pouvons déduire que le débit maximum autorisé pour avoir une performance acceptable du système ($BER = 10^{-9}$) est de 4.5 Gb/s pour les trois codes ZCC. Ceci est obtenu avec un poids du code $W=3$ et un nombre d'utilisateurs quatre.

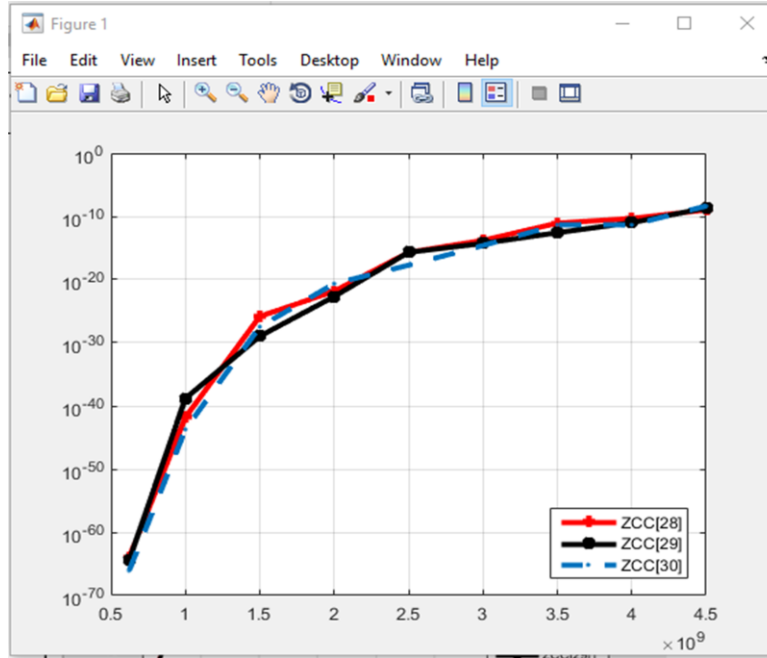


Figure III.22. Taux d'erreur binaire en fonction du débit binaire pour différents codes : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30].

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalués les performances du système SAC-OCDMA unidimensionnel en utilisant trois méthodes d'encodage à cross corrélation nulle obtenues de la littérature : ZCC [28], ZCC [29] et ZCC [30]. La simulation a été effectuée en utilisant le logiciel Optisystem avec la détection directe. En comparant les trois méthodes d'encodage, les résultats montrent que ces derniers donnent de meilleures performances en termes du taux d'erreur binaire. La méthode de construction est simple et flexible dans le choix du poids du code, la longueur du code et le nombre d'utilisateurs. En outre, les interférences MAI sont efficacement supprimées, ce qui permet une amélioration significative du système par rapport aux autres méthodes d'encodage.

Conclusion générale

La technique de transmission optique par répartition de codes spectrales optiques SAC-OCDMA représente une des solutions possibles pour le partage des ressources dans les réseaux optiques permettant de satisfaire mieux aux contraintes d'efficacité spectrale et au nombre croissant d'utilisateurs. Les performances de tout système SAC-OCDMA dépendent fortement des propriétés des codes. La cross corrélation est la propriété la plus importante du code. Dans ce mémoire, nous présentons en détails une étude analytique et simulation des performances de quelques méthodes d'encodage à cross corrélation nulle ZCC obtenues de la littérature.

Les simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel OptiSystem en conjonction avec la programmation Matlab afin de déterminer le comportement du système et l'efficacité de ces méthodes d'encodage en termes de taux d'erreur binaire BER (ou facteur de forme Q) et le diagramme de l'œil.

Les résultats de simulations effectuées sur les méthodes d'encodage ZCC choisies montrent que les performances de ces derniers sont meilleures et sont presque identiques. Ceci est dû au choix du paramètre de cross corrélation qui était nulle, ce qui élimine les effets des bruits d'interférences MAI sur la qualité de transmission et améliore par la suite les performances du système. Pour un taux d'erreur binaire de référence 10^{-9} , le nombre d'utilisateurs simultanément autorisé par le code ZCC [28] est 117 utilisateurs alors qu'il est égal à 90 utilisateurs pour (ZCC [29], ZCC [30]) et 30 pour le code MDW, respectivement.

Références

- [1] GRAINI.L, « Applications des similarités dans les systèmes de télécommunications par fibre optique à très haut débit », Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [2] VERNEUIL.J, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », thèse doctorat, Université de Limoges, 2003.
- [3] BOUDRIOUA.N, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD », Thèse de Doctorat, l'Université Paul Verlaine – Metz, 2007.
- [4] MEKIDICHE.H, Bouchachia.O, « Analyse des performances d'un système DS-OCDMA ». Mémoire de Master, Université Abou-Bekr-Belkaid, Tlemcen, 78, 2016.
- [5] NAUFAL.S. Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique. Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Limoges, Université de Limoges, 209, 2005.
- [6] ASNOUNI.S, Mekelleche.N, « Etude et caractérisation d'une chaîne de transmission optique à 40 Gigabit/S » mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, 2016.
- [7] BOUBAKEUR.I, et Harrache.B, « Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique et configuration d'un équipement Huawei OPTIX OSN3500 » mémoire de master : UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA, Boumerdes, 2017.
- [8] BENEDINE.T, Bessedik.K, « Liaison par fibre optique à haut débit. Etude des liaisons polychromatiques » MEMOIRE DE FIN D'ETUDE l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.
- [9] ZOUINE.Y, « Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA ». Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Université de Limoges, 191, 2005.
- [10] CHERBI.L, « Propagation Et Caractérisation Des Fibres Optiques », Magister en électronique, École nationale polytechnique, 2007.

Références

- [11] DOUMI.NEH et DERRAR.K « Étude et simulation d'une chaîne de transmission optique » mémoire de master, Université Saida Dr Tahar Moulay, 2021.
- [12] MEDJDOUB.F, « Optimisation par la simulation système d'une chaîne de transmission numérique par fibre optique haut débit », Diplôme de Magister en télécommunication, Université Abou-Bekr-Belkaid, Tlemcen, 2010.
- [13] QUADRI Gian Andrea, « Contribution à l'étude de liaisons optiques analogiques pour la distribution de signaux de référence en gammes RF et micro-ondes. Micro et nanotechnologie/Microélectronique », Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2004.
- [14] BRAHIMI.H, « Etude en bruit de systèmes optiques hyperfréquences Modélisation, caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence, micro et nanotechnologies/microélectronique », Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 2010.
- [15] CHEMALA.T, Seddik.S. « Etude d'un canal de transmission tout optique » mémoire de master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2017.
- [16] DELLIER.S, « Contributions à la conception des circuits micro-ondes », Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2005.
- [17] JARRY.A, « planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances », Thèse de doctorat, Université de Montréal, Aout 2009.
- [18] Vincent Foucal.M, « conception d'interconnexion optiques haut débit courte distance en espace libre. Prototype de modules de communication pour applications embarquée », thèse doctorat, Université de Strasbourg, 2010.
- [19] RUYERE.F, « Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », Revue des Télécommunications d'Alcatel, 1er trimestre 2002, pp. 27-32.
- [20] DERADERA.A, OUHAB.K, « Etude d'un système de transmission basé sur la technique SAC-OCDMA », mémoire de master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2019.
- [21] LARIBI.H, MADAOUI.S, « Etude d'un système OCDMA avec les codes Hadamard pour les signaux optiques incohérents », Mémoire de Master, Tlemcen, Université Abou-Bekr-Belkaid, Tlemcen, 2016.
- [22] BENZERDJEB.C. SELKA.S, « Encodage de l'amplitude spectral pour OCDMA », Mémoire de master, Université Abou-Bekr-Belkaid, Tlemcen, 2013.

Références

- [23] CHIRIFI.A, « Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi Porteuses Dans La Transmission D'information », Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, 2017.
- [24] MORELLE.M, « Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA(OCDMA) – Application aux transmissions multimédia – ». Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2008.
- [25] FSAIFES.I, « Encodage et Décodage Temporels « Tout-Optique » à Réseaux de Bragg pour l'Accès Multiple », Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Paris, Ecole Nationale Supérieurs des Télécommunications de Paris, 2007.
- [26] S. A. Aljunid et al, “A new code for optical code division multiple access systems”, Malaysian journal of computing science, vol. 17, no. 2, pp.30-39, 2004.
- [27] S. A. Aljunid et al, “Performance analysis of optical zero cross correlation in OCDMA system”, journal of Applied science, vol. 7, no. 23, pp.3819-3822, 2007.
- [28] M.S. Anuar, S.A. Aljunid, N.M. Saad, S.M. Hamzah, “ New design of spectral amplitude coding in OCDMA with zero cross correlation”, Optics Communications 282 (2009) 2659–2664.
- [29] A. Garadi, A. Djebbari, “Zero Cross-Correlation based on BIBD Codes: Design, Analysis and applications”, IEEE conference, 27-30 April 2013, Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference, 2013.
- [30] K. Nisar, “ Construction Zero Cross Correlation Code using Permutation Matrix for SAC-OCDMA Systems”, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 3, 2016.
- [31] K. Nisar et al., “Performance Analysis of Permutation Matrix Zero Cross Correlation Code for SAC-OCDMA Systems”, EJERS, European Journal of Engineering Research and Science Vol. 3, No. 1, January 2018.
- [32] M.S. Anuar, S.A. Al Junid, A.R. Arief, M.N. Junita, N.M. Saad, "PIN versus Avalanche photodiode gain optimization in zero cross correlation optical code division multiple access system," Optic, vol. 124, no. 4, pp. 371-375, 2013.
- [33] Wei Z. and Ghafouri-Shiraz H., “Codes for Spectral amplitude- coding Optical CDMA Systems,” Journal of Lightwave Technology, vol. 20, no. 8, pp. 1284-1291, 2002.

Références

- [34] OptiSystem Global Parameters Reference Guide, Optical Communication System Design Software, version 14, 2016.