



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université de Mostaganem Abdelhamid Ibn Badis (UMAB)

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie



N°d'ordre :M...../GE/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : TELECOMMUNICATIONS

Spécialité : Système des Télécommunication

Thème

**TECHNIQUE HYBRIDE OFDM/OCDMA, SIMULATION
SOUS-SCILAB 5.5.2**

Présenté par :

MEZOUAGHI NADJET

SISSOKO FATOUMATA

Soutenu le 06 / 07 / 2022 devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------|------------------------|------------|------|
| Président : | M. BENBAKHTI Brahim | Professeur | UMAB |
| Examineur: | M. ABED Mansour | MCA | UMAB |
| Rapporteur : | M. YAGOUBI Benabdellah | MCA | UMAB |

Année Universitaire : 2021/ 2022

Remerciements

*Nous remercions “ Dieu “ le tout puissant, de nous avoir accordé le courage,
la patience et la volonté pour mener à terme ce travail*

*En témoignage de nos profondes reconnaissances, nous devons remercier
toutes les personnes qui nous ont aidé de près et ou de loin à l’élaboration de
ce projet.*

*Nous adressons nos reconnaissances et nos remerciements à notre encadrant
Mr Yagoubi Benabdellah de nous avoir honoré par son encadrement, sa
disponibilité, son orientation et ses conseils qui nous ont permis de mener un
bon travail.*

*Nous remercions tous nos enseignants et les responsables de département de
l’université de Mostaganem.*

*Nous remercions les membres de jury **Mr Benbakhti** et **Mr Abed Mansour** qui
nous ont fait l’honneur en acceptant l’évaluation de notre modeste travail.*

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

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec tout mon amour à mes très chers parents, Merci pour votre soutien et vos prières,

Santé et longue vie à vous

À mes chers frères Adlane et SidAhmed, et mes chères

Sœurs Mansouria et Mounira,

À mes neveux et nièces

Que Dieu vous donne la santé, le bonheur, l'amour et la réussite

À mes copines Ibtissem, Wafae, Chahinez et Farah

À mon binôme Fatoumata et sa famille, Je suis ravie de t'avoir rencontrée

À mon Professeur Mr Yagoubi Benabdellah, merci de nous avoir encadrer et orienter,

On est comblées et reconnaissantes de travailler avec vous

Aux personnes qui occupent une place dans mon cœur.

Nadjet

Dédicace

Je dédie cette thèse ...

À mes très chers parents

Affables, honorables, aimables, vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dédicace aurait été assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon Bien être.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, Le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et Bonheur.

À mon binôme c'était un honneur de réaliser ce travail avec toi.

À mon cher directeur de thèse, un remerciement particulier et sincère pour tout.

À mes chers frères et sœurs, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.

À Mes meilleures amis(es) : Assétou Touré, Ibrahim.D.Cissé, Fanta Barry, Tsriat Tahani , Bintou Traoré, Fatoumata.A.Maïga ...la liste est très longue

À tous ces gens qui ont été là pour moi. MERCI

Fatoumata

Résumé

Les travaux menés au cours de ce mémoire s'inscrivent dans le cadre des télécommunications optiques où la bande passante de la fibre est partagée entre nombreux utilisateurs, en se basant sur les techniques l'OFDM (le multiplexage par répartition en fréquence orthogonale) et l'OCDMA (Accès par multiplexage par répartition en code optique).

L'objectif de ce travail est d'introduire un processus d'encodage et de décodage dans un système hybride OFDM/OCDMA en mettant en œuvre un code optique spectral bipolaire dans notre cas c'est le code de Walsh-Hadamard, les systèmes hybrides ont pour intérêt d'améliorer la bande passante de transmission et offre une résistance et réduction de l'impact des interférences d'accès multiple (MAI).

Finalement, à l'aide du logiciel Scilab-5.5.2, les résultats obtenus sont interprétés et analysés en termes de TEB (Taux d'Erreur Binaire) et de diagrammes de l'œil.

Mots-clés : OCDMA, OFDM, SAC-OCDMA, Multiplexage de sous-porteuses (SCM), Scilab.

Abstract

The work carried out during this thesis is part of optical telecommunications where the bandwidth of the fiber is shared between many users, based on the techniques of OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) and OCDMA (Optical Code Division Multiplexing Access).

The objective of this work is to introduce an encoding and decoding process in a hybrid OFDM/OCDMA system by implementing a bipolar spectral optical code in our case it is the Walsh-Hadamard code, the hybrid systems have the advantage of improving the transmission bandwidth and offer resistance and reduction of the impact of multiple access interference (MAI).

Finally, using the Scilab-5.5.2 software, the results obtained are interpreted and analyzed in terms of BER (Binary Error Rate) and eye diagrams.

ملخص

العمل الذي تم تنفيذه خلال هذه الأطروحة هو جزء من الاتصالات الضوئية حيث يتم مشاركة عرض النطاق الترددي للألياف بين العديد من المستخدمين، بناءً على تقنيات OFDM تعدد الإرسال بتقسيم التردد المتعامد (و) OCDMA الوصول إلى تعدد الإرسال لقسم الكود البصري).

الهدف من هذا العمل هو إدخال عملية تشفير وفك تشفير في نظام هجين OFDM / OCDMA من خلال تنفيذ كود بصري طيفي ثنائي القطب في حالتنا هو كود Walsh-Hadamard ، تتمتع الأنظمة الهجينة بميزة تحسين عرض النطاق الترددي للإرسال وعرض المقاومة والحد من تأثير تداخل الوصول المتعدد (MAI).

أخيراً، باستخدام برنامج Scilab-5.5.2 ، يتم تفسير النتائج التي تم الحصول عليها وتحليلها من حيث BER (معدل الخطأ الثنائي) ومخططات العين.

Table des matières

| | |
|-----------------------------|------|
| Remerciement..... | i |
| Dédicace..... | ii |
| Résumé | iii |
| Liste des matières..... | iv |
| Liste des figures..... | vii |
| Liste des abréviations..... | viii |

INTRODUCTION GÉNÉRALE I

CHAPITRE I : LE SYSTÈME OFDM

| | |
|--|----|
| I.1 INTRODUCTION : | 1 |
| I.2 PROBLÉMATIQUE | 1 |
| I.3 EFFETS DES MULTI TRAJETS : | 2 |
| I.3.1 Effet positif des multi-trajets | 3 |
| I.3.2 Effet négatif des multi trajets | 3 |
| I.4 MODÈLE SIMPLIFIÉ | 4 |
| I.4.1 La sélectivité des canaux | 4 |
| I.4.2 Principe de l'OFDM | 6 |
| I.5 MODULATION OFDM : | 6 |
| I.6 DÉMODULATION OFDM : | 7 |
| I.7. PRINCIPE DU MODULATEUR ET DU DÉMODULATEUR : | 8 |
| I.7.1. Utilisation de la transformée de Fourier discrète : | 8 |
| I.8. PROBLÈME DES INTERFÉRENCES ENTRE SYMBOLES : | 9 |
| I.8.1 Intervalle de garde : | 9 |
| I.8.2. Notion d'orthogonalité : | 10 |
| I.8.3. Pourquoi les porteuses orthogonales ? | 10 |
| I.8.4. L'interférence entre symboles (IES) : | 12 |
| I.8.5. L'interférence entre porteuses (IEP) : | 12 |
| I.8.6. L'insertion de l'intervalle de garde : | 13 |
| I.9. LA CHAÎNE DE TRANSMISSION OFDM : | 13 |
| I.9.1. Avantages et inconvénients de l'OFDM | 13 |
| I.10. CONCLUSION | 14 |

CHAPITRE II : L'ACCÈS MULTIPLE DANS LES SYSTÈMES DE COMMUNICATION OPTIQUES

| | |
|---|----|
| II.1. INTRODUCTION | 15 |
| II.2. ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION DE CODE OPTIQUE | 15 |
| II.3. L'ÉTALEMENT DE SPECTRE AU CDMA..... | 16 |
| II.3.1. Principes d'étalement du Spectre..... | 17 |
| II.3.2. Les Avantages de l'étalement de spectre | 18 |
| II.4. LE CDMA OPTIQUE | 18 |
| II.4.1. LES AVANTAGES DU CDMA AUX RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUE..... | 19 |
| II.4.2. ARCHITECTURE D'OCDMA | 19 |
| II.4.3. Les différentes méthodes d'OCDMA | 20 |
| • OCDMA par encodage temporel | 20 |
| ▪ Encodage à séquence directe (DS-OCDMA : Direct sequence OCDMA) | 20 |
| ▪ Encodage temporel en phase (TPE-OCDMA : Temporel Phase Encoding OCDMA) | 20 |
| • OCDMA hybrides bidimensionnel (2D-OCDMA) | 21 |
| II.5. DÉFINITION DU SAC-OCDMA | 21 |
| II.6. ENCODAGE ET DÉCODAGE D'UN SIGNAL SAC-OCDMA | 21 |
| ➤ L'encodage | 22 |
| ✓ L'encodage avec masque d'amplitude | 22 |
| ✓ Encodage avec réseau de Bragg | 22 |
| ✓ Démultiplexeurs et multiplexeurs optiques pour le codage | 23 |
| ➤ Décodage en SAC-OCDMA | 23 |
| II.7. LE RÉSEAU DE BRAGG | 24 |
| II.7.1. Principe de fonctionnement du FBG..... | 24 |
| II.8. LE MULTIPLEXAGE DE SOUS-PORTEUSES OU SUB-CARRIER MULTIPLEXING (SCM)..... | 25 |
| II.8.1. Les avantages de (SCM)..... | 25 |
| II.8.2. Les systèmes hybrides SCM-OCDMA | 25 |
| II.9. CONSTRUCTION DES CODES BIPOLAIRES..... | 26 |
| II.10. CONSTRUCTION DE CODES OPTIQUES UNIPOLAIRES | 27 |
| II.11. CONCLUSION | 28 |

CHAPITRE III : SIMULATION D'UN SYSTEME HYBRIDE OFDM-OCDMA sous Scilab

| | |
|---|----|
| III.1. INTRODUCTION | 29 |
| III.2 STRUCTURE ÉTUDIÉE : | 29 |
| III.3. ORGANIGRAMME DE OFDM-OCDMA..... | 30 |
| III.4. GÉNÉRATION DU CODE DE HADAMARD..... | 31 |
| III.5. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL NON BRUITÉ | 33 |
| III.6. RÉCEPTION | 34 |

| | |
|--|-----------|
| III.7. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL BRUITÉ..... | 37 |
| III.8. TAUX D'ERREUR DE BITS (BIT ERROR RATE) (BER) | 37 |
| III.9. DIAGRAMME DE L'ŒIL | 38 |
| III.10. CONCLUSION | 40 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 41 |
| BIBLIOGRAPHIES..... | 42 |

Liste des figures

| | | |
|--------------|---|----|
| Figure I 1 | Transmission par trajets multiples..... | 2 |
| Figure I 2 | Effet positif de propagation en contexte multi-trajets. | 3 |
| Figure I 3 | Effet négatif de la propagation en contexte multi-trajets. | 3 |
| Figure I 4 | Fonction de transfert d'un canal comportant un retard τ | 4 |
| Figure I 5 | Différentes sélectivités du canal..... | 5 |
| Figure I 6 | Principe de l'OFDM..... | 6 |
| Figure I 7 | Schéma de principe de la modulation OFDM..... | 7 |
| Figure I 8 | Schéma de démodulateur OFDM..... | 8 |
| Figure I 9 | Effet de la dispersion du canal sur les sous-porteuses d'un signal OFDM [16]..... | 9 |
| Figure I 10 | Ajout de l'intervalle de garde..... | 10 |
| Figure I 11 | Sinusoïdes orthogonales. | 11 |
| Figure I 12 | Spectre d'une sous-porteuse OFDM..... | 12 |
| | | |
| Figure II 1 | Technique d'accès multiple OCDMA..... | 16 |
| Figure II 2 | Étalement de spectre par séquence directe..... | 20 |
| Figure II 3 | Représentation schématique du SAC-OCDMA..... | 21 |
| Figure II 4 | Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude..... | 22 |
| Figure II 5 | Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA..... | 23 |
| Figure II 6 | Encodage SAC-OCDMA pour deux utilisateurs avec un multiplexeur et deux démultiplexeurs..... | 23 |
| Figure II 7 | Représentation schématique d'un réseau de Bragg, λ_B : longueur d'onde de Bragg, L : longueur du réseau, n_c : indice du cœur, n_g : indice de gaine..... | 24 |
| Figure II 8 | Représentation de la fibre..... | 25 |
| | | |
| Figure III 1 | Schéma fonctionnel du Système OFDM..... | 30 |
| Figure III 2 | L'information digitale codée (multiplexée)..... | 32 |
| Figure III 3 | Conversion du signal numérique en signal analogique..... | 33 |
| Figure III 4 | Signal analogique porté par OFDM..... | 34 |
| Figure III 5 | Signal analogique reçu dé-modulé..... | 35 |
| Figure III 6 | le signal (ifft) transmis bruité par un bruit d'écart type 0,19..... | 37 |
| Figure III 7 | BER en fonction de puissance du bruit..... | 38 |
| Figure III 8 | Diagramme de l'œil : A) $sgm=0.01$ et B) $sgm=0.1$ | 39 |

Listes des abréviations

AMRCO : Accès Multiple par Répartition de Codes optiques

A/N : Convertisseur analogique-Numérique

CDMA : Code Division Multiples Access (Accès Multiple par Répartition en Code)

CP : CyclicPrefix (Préfixe cyclique)

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum (Spectre étalé à séquence directe)

FBG : Fiber Bragg Grating (Réseau de Bragg à fibre)

FDM : Frequency Division Multiplexing (Multiplexage Fréquentiel)

FDMA : Frequency Division Multiple Access (Accès Multiple par répartition en fréquence)

FE : Encodage en fréquence

FFT : Fast Fourier Transform (Transformée de Fourier Rapide)

FHSS : FrequencyHopping Spread Spectrum (Spectre étalé à saut de fréquence)

IAM : Interférence d'Accès Multiple

ICI : Interference inter-carrier (Interférences entre porteuses IEP)

IFFT : Inverse Fast Fourier Transform (Transformée de Fourier Rapide Inverse)

ISI : Interference inter-symboles (Interférences entre porteuses ISE)

MC : Multi Carrier (Multi-Porteuses)

N/A : Convertisseur Numérique-Analogique

OCDMA : Optical Code Division Multiple Access (Accès Multiple par Répartition de Codes optiques)

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexage par répartition Orthogonale de la fréquence)

OFDMA : OrthogonalFrequency Division Multiple Access (Accès Multiple par répartition en fréquence Orthogonal)

OOC : Optical Orthogonal Codes (Codes Optiques Orthogonaux)

OTDMA : Optical Time Division Multiple Access (Accès Multiple par répartition dans le temps en optique)

PON : Passive Optical Network (Les réseaux optiques passifs)

PSK : Phase-Shift Keying (Modulation par changement de phase)

QAM : Quadrature Amplitude Modulation (Modulation d'amplitude en quadrature)

RF : Radio Fréquence

SAC : Amplitude Spectral Coding (Le codage d'amplitude spectrale)

SCM : SubCarrierMultiplexing (Multiplexage de sous-porteuses)

S/P : Conversion Série-Parallèle

TDMA : Time Division Multi Access (Accès Multiple par répartition dans le temps)

TEB : Taux d'Erreurs Binaires

TFD : Transformée de Fourier Discrète

TPE : Temporal Phase Encoding (Codage de phase temporelle)

WDM : Wavelength Division Multiplexing (Multiplexage en longueur d'onde)

WDMA : Wavelength Division Multiple Access (Accès Multiple en Longueur d'Onde)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Plusieurs techniques d'accès sont nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de grande vitesse et de grande capacité de communication dans les réseaux optiques, qui permettent à plusieurs utilisateurs de partager la même bande passante de la fibre optique. Parmi les différentes techniques d'accès optique, l'accès multiple par répartition de code optique (OCDMA) est de plus en plus attrayant dans le domaine de toutes les communications optiques, plusieurs usagers peuvent accéder au réseau simultanément et asynchrone en raison du niveau élevé de sécurité de la transmission, vu la large bande passante et les faibles pertes, il peut donc faciliter la réalisation de nombreux services tels que la transmission des vidéos hautes qualités.

Cette technique a pour inconvénient d'être limitée en termes de capacité de multiplexage et de subir des interférences dues aux utilisateurs non désirés (l'interface d'accès multiple (MAI)). Ce dernier est dû aux produits d'inter corrélation non nuls des codes utilisés.

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) est une forme d'onde ou de modulation du signal qui présente des avantages considérables pour la communication de données. Tels que la réduction des effets d'évanouissement par trajets multiples et fournir des débits de données massifs.

Par conséquent, l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est utilisé pour de nombreux systèmes sans fil à large bande passante et à haut débit, notamment le Wi-Fi, les télécommunications cellulaires et bien d'autres.

L'OFDM utilise un grand nombre de porteuses, chacune transportant des données à faible débit binaire, ce qui lui confère une résistance aux interférences et aux effets de trajets multiples, tout en offrant un haut degré d'efficacité spectrale.

Pour réaliser la fonction de codage et de décodage dans les réseaux d'accès, l'intégration de nouveaux composants optiques tel que le réseau de Bragg permet a priori de réduire le coût et la complexité des systèmes de transmission, car il n'est pas nécessaire d'utiliser des convertisseurs électrique/optique et optique/électrique. En fonction des spécifications des dispositifs utilisés, le codage peut être unidimensionnel, en temps ou en fréquence bidimensionnel en combinant le temps et la fréquence en même temps.

Les travaux de recherche effectués dans le cadre de cette thèse concernant la simulation sous Scilab d'un système hybride OFDM-OCDMA le manuscrit est structuré en Trois chapitres.

CHAPITRE I : LE SYSTÈME OFDM

| | |
|---|-----------------------------|
| I.1 INTRODUCTION : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.2 PROBLÉMATIQUE | Erreur ! Signet non défini. |
| I.3 EFFETS DES MULTI TRAJETS : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.3.1 Effet positif des multi-trajets | Erreur ! Signet non défini. |
| I.3.2 Effet négatif des multi trajets | Erreur ! Signet non défini. |
| I.4 MODÈLE SIMPLIFIÉ | Erreur ! Signet non défini. |
| I.4.1 La sélectivité des canaux | Erreur ! Signet non défini. |
| 1.4.2 Principe de l'OFDM | Erreur ! Signet non défini. |
| I.5 MODULATION OFDM : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.6 DÉMODULATION OFDM : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.7. PRINCIPE DU MODULATEUR ET DU DÉMODULATEUR : .. | Erreur ! Signet non défini. |
| I.7.1. Utilisation de la transformée de Fourier discrète : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8. PROBLÈME DES INTERFÉRENCES ENTRE SYMBOLES : .. | Erreur ! Signet non défini. |
| 1.8.1 Intervalle de garde : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8.2. Notion d'orthogonalité : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8.3. Pourquoi les porteuses orthogonales ? | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8.4. L'interférence entre symboles (IES) : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8.5. L'interférence entre porteuses (IEP) : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.8.6. L'insertion de l'intervalle de garde : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.9. LA CHAÎNE DE TRANSMISSION OFDM : | Erreur ! Signet non défini. |
| I.9.1. Avantages et inconvénients de l'OFDM | Erreur ! Signet non défini. |
| I.10. CONCLUSION | Erreur ! Signet non défini. |

I.1 INTRODUCTION :

L'OFDM est un système de communication multi porteuse qui utilise le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM). En employant plusieurs sous-porteuses parallèles dans un canal, l'OFDM élargit l'idée de modulation à porteuse unique. Elle utilise un grand nombre de sous porteuses orthogonales étroitement séparées qui sont transmises en parallèles. Aux faibles débits de symboles, chacune des sous-porteuses est modulée avec n'importe quel schéma de modulation numérique conventionnel (tel que PSK, QAM, etc.). La combinaison de toutes les sous-porteuses permet d'obtenir des débits de données similaires aux schémas classiques de modulation à porteuse unique. Par conséquent, l'OFDM est comparable au multiplexage par répartition en fréquence (FDM). Les flux d'informations distincts sont, en fait, transférés dans des canaux de fréquence parallèles indépendants dans le FDM. Pour éviter les interférences probables entre canaux voisins, chaque canal FDM est séparé des autres par une bande de fréquence. L'utilisation de sous-porteuses orthogonales pour transmettre le même flux d'informations et l'ajout d'un intervalle de garde pour diminuer l'ISI sont les différences entre FDM et OFDM. [1].

L'approche OFDM présente l'avantage de convertir un canal à large bande à trajets multiples en un groupe de sous-canaux à trajet unique faciles à égaliser. De plus, l'utilisation astucieuse de la redondance cyclique à l'émission permet de réduire la complexité du terminal grâce à l'emploi d'algorithmes rapides basés sur la FFT.

L'objectif de ce chapitre est de présenter la modulation OFDM et de dévoiler les caractéristiques de la transmission multivoie.

I.2 PROBLÉMATIQUE

Un canal, ou support physique, est utilisé pour transmettre un signal de radiofréquence. Par conséquent, les limites physiques du support limitent toute transmission numérique. Un canal est dit sélectif en fréquence lorsqu'il ne se comporte pas identiquement suivant la fréquence du signal. Certaines fréquences seront transférées plus rapidement que d'autres, tandis que d'autres seront plus atténuées. Pendant la transmission, le signal sera déformé, et les données seront étalées dans le temps, ce qui peut entraîner des interférences entre les symboles. Ce phénomène de sélectivité en fréquence est aggravé par la présence de trajets multiples pour un même signal transmis. Le récepteur recevra une succession d'échos d'amplitudes et de retards variables en raison des multiples réflexions que le signal peut rencontrer dans un environnement urbain. Dans le cas d'un canal radio mobile, lorsque le

récepteur et l'émetteur ne sont pas sensiblement stationnaires, le problème du canal à trajets multiples est important. Dans le cas d'un récepteur mobile, les échos distincts et les amplitudes varient dans le temps comme dans l'espace.

I.3 EFFETS DES MULTI TRAJETS :

La transmission radio mobile est l'un des moyens de communication les plus imprévisibles et les plus difficiles à gérer. De nombreux aspects irréguliers en termes de forme, de propriétés électromagnétiques, de température et d'humidité de l'environnement qu'elles traversent vont altérer la qualité du signal lorsque les ondes radio voyagent de l'émetteur au récepteur. Par conséquent, la transmission radio a la propriété de varier dans le temps et l'espace, et elle présente fréquemment des variations assez importantes à la suite de divers événements de propagation. La présence de trajets multiples caractérise le canal de propagation radio entre la station fixe et la station mobile [2].

Le signal diffusé dans les systèmes de communication radio passe par plusieurs voies avant d'atteindre le récepteur. Dans d'autres circonstances, le signal se déplace en ligne droite, ne traversant aucun obstacle. Les composantes du signal sont néanmoins sujettes à la réflexion, à la diffraction et à la diffusion dans la grande majorité des situations (sol, bâtiments, voitures, murs, etc.). Les longueurs physiques de ces différents chemins varient. Par conséquent, le signal de chaque voie a une amplitude et une latence qui lui sont propres. Ces échos font que le signal s'étend dans le temps, ce qui entraîne des interférences entre les symboles transmis.

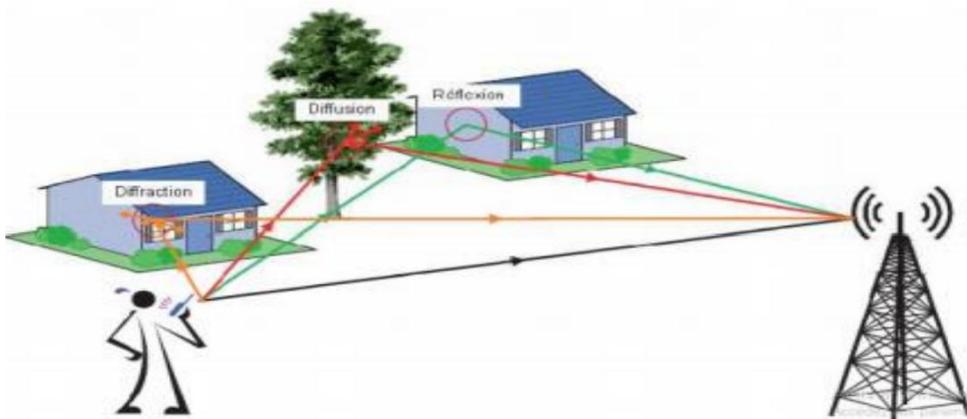


Figure I 1 Transmission par trajets multiples [3].

I.3.1 Effet positif des multi-trajets

Le principal avantage des trajets multiples est qu'ils permettent aux communications de se produire même lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en ligne de vue directe. Dans cette situation, les trajets multiples permettent aux ondes radio de "traverser" des obstacles tels que des montagnes, des bâtiments, des tunnels et d'autres structures, assurant ainsi la continuité de la couverture radio.

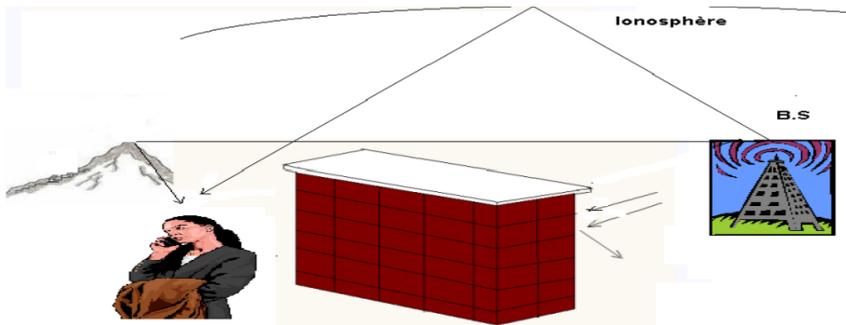


Figure I 2 Effet positif de propagation en contexte multi-trajets [4].

I.3.2 Effet négatif des multi trajets

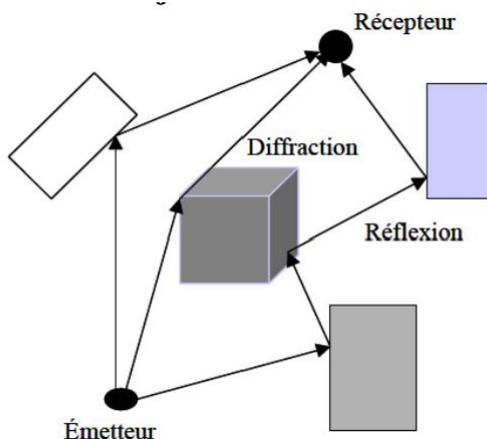


Figure I 3 Effet négatif de la propagation en contexte multi-trajets [5].

Les trajets multiples sont également à l'origine de plusieurs problèmes dont les principaux sont :

L'obstruction

La dispersion des retards (Delay spread)

Évanouissements (ou fading) de Rayleigh

Décalage en fréquence (Doppler shift)

La dispersion spatiale : l'étalement angulaire

I.4 MODÈLE SIMPLIFIÉ

Considérons un modèle de canal simple dans lequel le récepteur reçoit la somme du signal envoyé et des signaux qui ont été retardés et des amplitudes dues aux échos.

La réponse impulsionnelle s'écrit :

$$h(t) = \sum_i h_i \cdot \delta(t - \tau_i) \quad (I.1)$$

Sa fonction de transfert est donc :

$$H(f) = \sum_i h_i e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (I.2)$$

Prenons l'exemple encore plus simple de deux trajets, le direct et un retardé de τ . La réponse impulsionnelle sera :

$$| H(t) = \delta(t) + \alpha \delta(t-\tau)$$

$$H(f) = 1 + \alpha e^{-j2\pi f \tau}$$

$$\begin{aligned} |H(f)|^2 &= |1 + \alpha [\cos(2\pi f \tau) - j \sin(2\pi f \tau)]|^2 \\ &= 1 + \alpha^2 + 2 \alpha \cos(2\pi f \tau) \end{aligned} \quad (I.3)$$

Et La fonction de transfert pour $\alpha = 0.316$ a l'allure suivante :

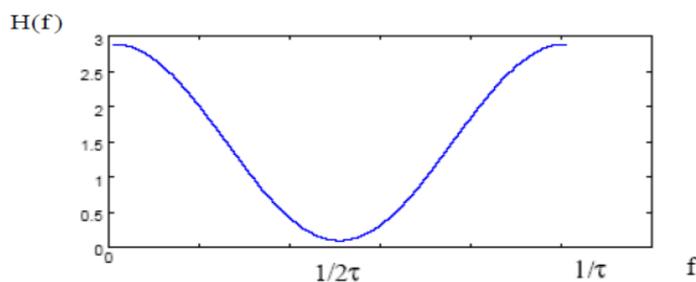


Figure I 4 Fonction de transfert d'un canal comportant un retard τ [6].

I.4.1 La sélectivité des canaux

La notion de la sélectivité du canal est relative et elle dépend de la largeur de bande du signal et de l'étalement du délai du canal. Il exprime le fait que le signal à transmettre a des composantes fréquentielles qui sont atténuées différemment par le canal de propagation [7].

Cependant en comparant le retard de propagation global des trajets multiples vu par le récepteur du signal émis avec la période symbole. Nous pouvons classer les canaux en deux types :

- Canal sélectif en fréquence
- Canal non sélectif en fréquence

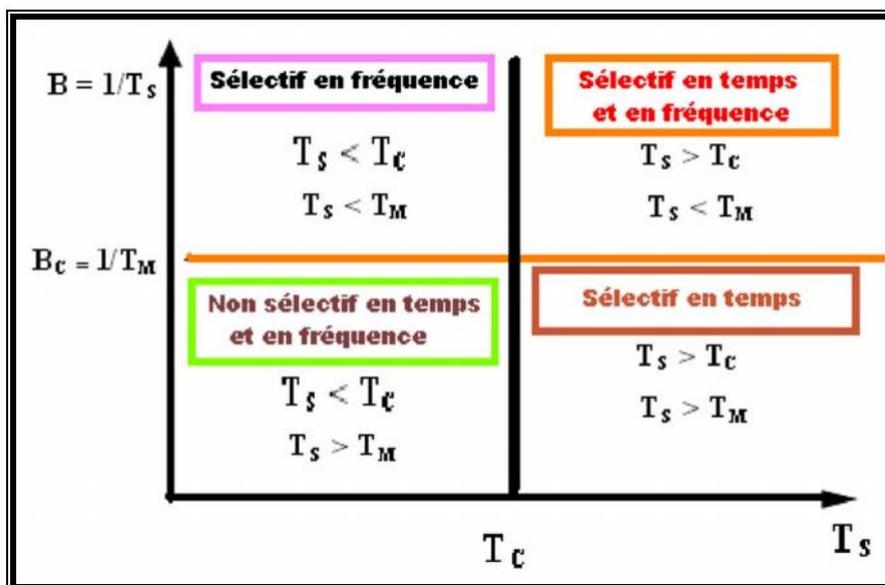


Figure I 5 Différentes sélectivités du canal [8].

Le canal multi-trajets à évanouissement est caractérisé par deux paramètres essentiels à savoir :

Bande de cohérence B_c

Temps de cohérence T_c

L'interférence entre symboles est causée par le changement de fréquence de la réponse impulsionnelle du canal (ISI).

L'effet Doppler provoque une modulation supplémentaire d'un signal diffusé par un canal variant dans le temps, car la fréquence de la porteuse varie. La notion de modulation multi porteuse (OFDM) a été créée pour résoudre le problème de l'évanouissement.

Pour résoudre le problème de la sélectivité des canaux, la modulation multi-porteuse (MC, "multi carrier") ou OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est largement utilisée. Elle permet une égalisation élégante : grâce à une opération IFFT et à l'ajout d'une extension cyclique (CP, "cyclicprefix") dans la transmission, il est très simple

d'égaliser en effectuant simplement une FFT suivie d'un ajustement de coefficient complexe unique sur chaque sortie.

1.4.2 Principe de l'OFDM

L'OFDM est l'abréviation de "orthogonal frequency division multiplexing". Son principe de base consiste à diviser un flux de données série à haut débit en plusieurs flux parallèles à plus faible débit qui sont modulés sur des sous-porteuses distinctes et transmis tous en même temps sur le canal de transmission [9]. En modulant sur des porteuses, il est possible d'utiliser des symboles deux fois plus longs que la modulation à porteuse unique tout en conservant le même débit de données. [10].

Comme la bande spectrale est partagée entre les sous-porteuses, chaque sous-porteuse peut utiliser une bande de fréquences B_s , inférieur à la bande de cohérence du canal B_c Soit ($B_s < B_c$) [11]. Le but de cette modulation est de placer les données dans une fenêtre temps-fréquence dont la période T_s est sensiblement plus longue que l'étalement du délai du canal de propagation T_d . Le principe de l'OFDM est représenté sur la **figure I.6**.

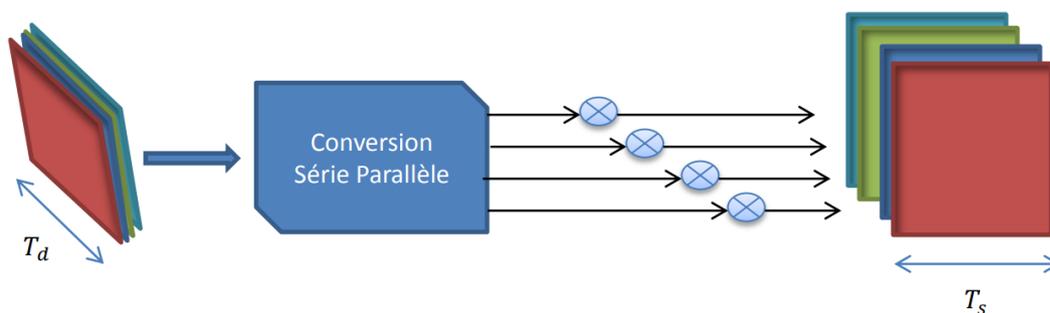


Figure I 6 Principe de l'OFDM [12].

Les fréquences des sous-porteuses doivent être aussi proches que possible afin que le signal ait une efficacité spectrale élevée, tout en permettant au récepteur de les séparer et de récupérer le symbole diffusé sur chacune d'elles. L'utilisation de porteuses orthogonales est le moyen le plus courant d'y parvenir.

I.5 MODULATION OFDM :

Les symboles C_K sont regroupés en paquets de N pour distribuer les données à envoyer sur les N porteuses [13]. Les C_K sont des nombres complexes formés par une constellation de composantes binaires modulées en MAQ et PSK.

La séquence de N symboles C_0, C_{N-1} constitue un symbole OFDM. Le k -ième train de symboles parmi les N trains module un signal de fréquence f_k . Le signal modulé du train k s'écrit sous forme complexe :

$$C_k e^{j2\pi f_k t}$$

Le signal total $s(t)$ correspond à l'ensemble des N symboles rassemblés en un symbole OFDM :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j\pi f_k t} \tag{I.4}$$

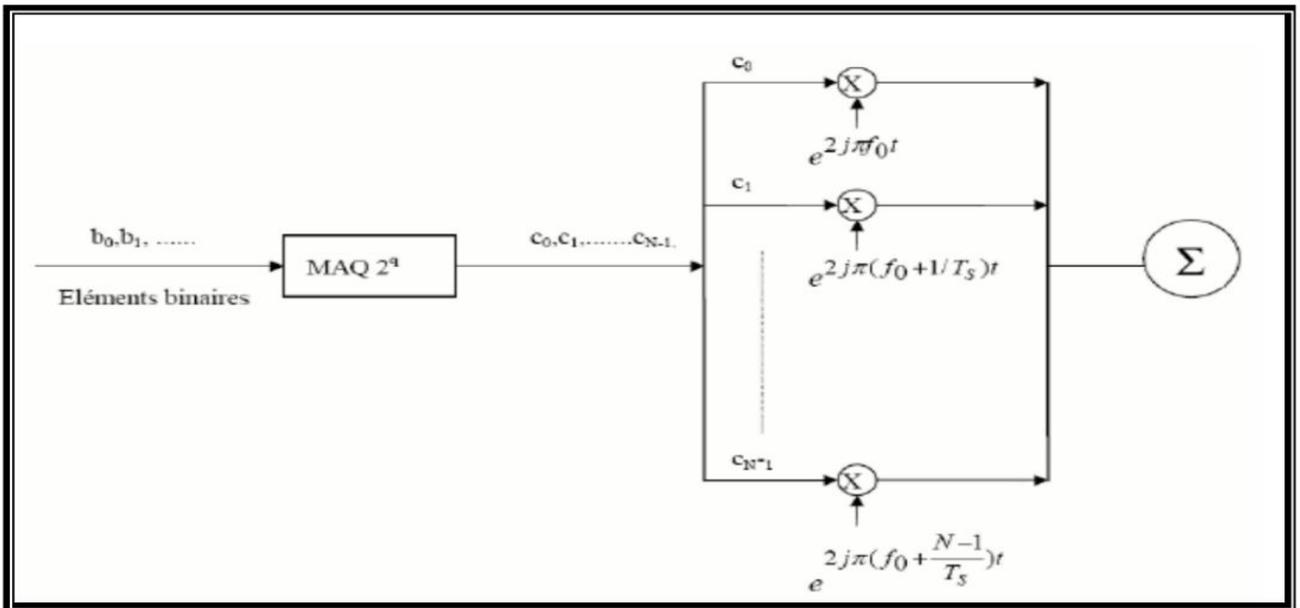


Figure I 7 Schéma de principe de la modulation OFDM [14].

I.6 DÉMODULATION OFDM :

Le signal parvenu au récepteur s'écrit sur une durée symbole T_s :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{j2\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \tag{I.5}$$

$H_k(t)$ est la fonction de transfert du canal à l'instant t et autour de la fréquence f_k . Sur la période T_s ($T_s \ll 1/B_d$) cette fonction évolue lentement et peut être considérée comme constante. La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous porteuses suivant le schéma classique.

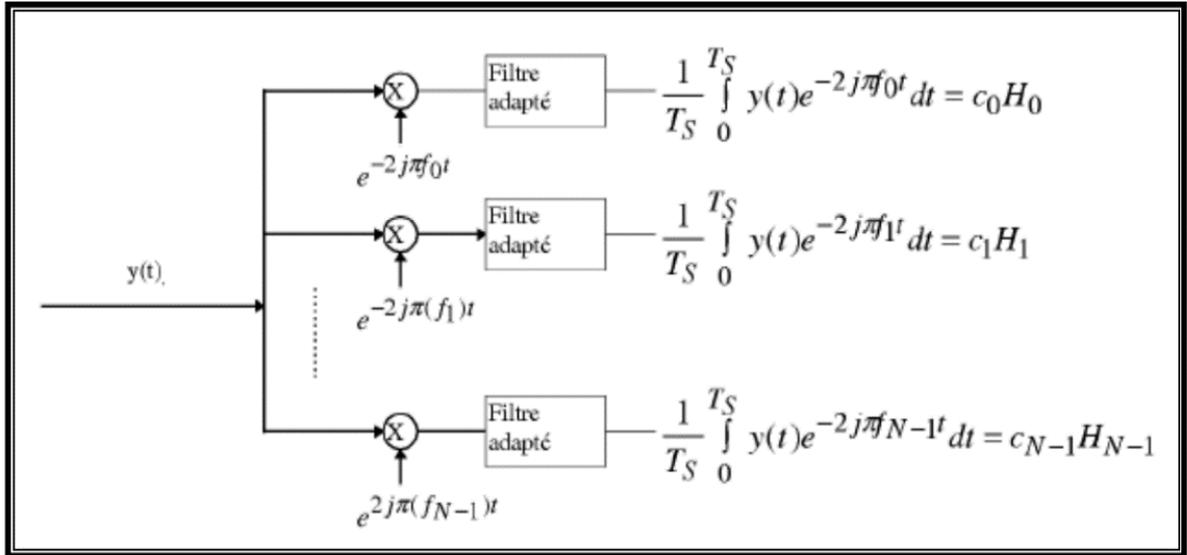


Figure I 8 Schéma de démodulateur OFDM [15].

La condition d'orthogonalité nous montre que :

$$\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} r(t) e^{-j2\pi t f_i} dt = \frac{1}{T_S} \sum_{k=0}^{N-1} \int_0^{T_S} c_K H_k(t) e^{j2\pi(k-i)t} \frac{t}{T_S} dt = c_i H_i \quad (I.6)$$

Puisque

$$\begin{aligned} \frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} e^{j2\pi(k-i)t} \frac{1}{T_S} dt &= 0 \quad \text{si } k \neq i \quad (I.7) \\ &= 1 \quad \text{si } k = i \end{aligned}$$

En pratique, comme pour la modulation, une transformée de Fourier peut être utilisée pour démoduler.

I.7. PRINCIPE DU MODULATEUR ET DU DÉMODULATEUR :

I.7.1. Utilisation de la transformée de Fourier discrète :

Les parties modulation et démodulation du système OFDM sont principalement traitées par FFT / IFFT. Les opérations mathématiques d'IFFT / FFT sont principalement utilisées pour convertir les signaux du domaine temporel au domaine fréquentiel et vice versa.

La transformée de Fourier rapide et la transformée de Fourier inverse rapide, qui sont les équivalents de l>IDFT / DFT et qui se sont révélées mathématiquement être l'approche la

plus efficace et la plus simple pour concevoir des systèmes OFDM, sont utilisées dans les deux cas.

I.8. PROBLÈME DES INTERFÉRENCES ENTRE SYMBOLES :

1.8.1 Intervalle de garde :

Les réflexions, les diffractions et les diffusions se produisent lorsque le signal se propage entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi, le récepteur reçoit plusieurs versions du même signal, chacune avec un retard distinct. C'est ce qu'on appelle la propagation par trajets multiples. La figure 1.9 illustre l'impact de la diffusion par trajets multiples sur les différentes sous-porteuses d'un signal OFDM. On peut observer sur ce schéma que la dispersion provoque une interférence inter-symboles (ISI), qui peut entraîner la perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses. Les performances du système de transmission OFDM s'en trouveraient affectées. Dans ce scénario, l'installation d'un intervalle de garde a été préconisée comme un remède pour réduire l'impact indésirable du canal.

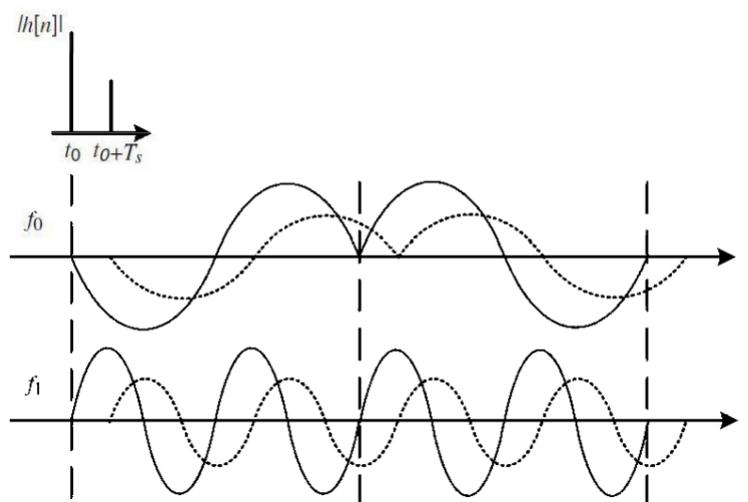


Figure 1.9 Effet de la dispersion du canal sur les sous-porteuses d'un signal OFDM [16]

En réalité, il existe principalement deux types d'intervalles de garde :

Préfixe cyclique (CP)

Comme le montre la figure 1.10, le CP consiste à copier une partie de la fin d'un symbole OFDM dans son début. De manière surprenante, le suffixe cyclique consiste à répliquer une partie du début d'un symbole OFDM dans sa conclusion. Il a été démontré que l'ajout d'un intervalle de garde de longueur égal ou supérieur à la dispersion maximale du canal permet de maintenir l'orthogonalité entre les différentes sous-porteuses.

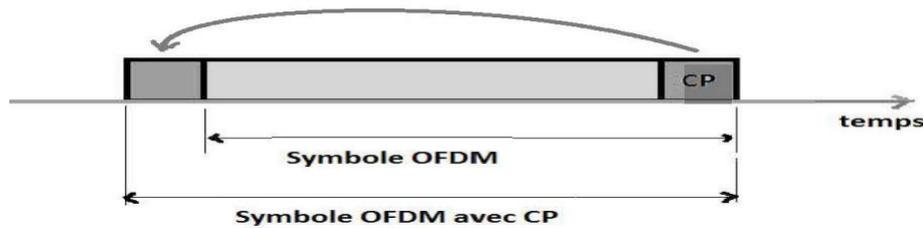


Figure I 10 Ajout de l'intervalle de garde [17].

ZeroPadding (ZP)

Contrairement à l'intervalle de garde CP, l'intervalle de garde dans ce cas ne comprend que des zéros.

I.8.2. Notion d'orthogonalité :

Si les signaux sont mutuellement indépendants les uns des autres, on dit qu'ils sont orthogonaux.

Les fréquences porteuses doivent être plus rapprochées pour que le signal modulé donne un meilleur chevauchement spectral entre les sous-porteuses et pour que le récepteur puisse les séparer et récupérer le symbole transmis dans chacune d'elles.

L'OFDM permet un chevauchement spectral important entre les sous-porteuses, ce qui permet d'avoir plus de sous-porteuses et moins d'encombrement spectral. Dans les domaines temporel et fréquentiel, les sous-porteuses doivent remplir la condition d'orthogonalité. [18].

I.8.3. Pourquoi les porteuses orthogonales ?

Pour éliminer les chevauchements et réduire les interférences entre les sous-porteuses, l'OFDM divise la bande de fréquences du signal transmis en plusieurs bandes voisines superposées avec des fréquences orthogonales. [19].

L'orthogonalité est une propriété permettant de transmettre parfaitement plusieurs signaux d'informations sur un canal commun et les détecter, sans interférences [20].

I.8.3.1. Orthogonalité temporelle

Si un ensemble de fonctions satisfait aux critères de l'équation (II.1), elles sont orthogonales. [21].

Pour les fonctions orthogonales, le résultat de la multiplication et de l'intégration de deux fonctions distinctes de l'ensemble sur une période de symbole est égal à zéro. Une autre façon de voir les choses est que si nous regardons un récepteur qui est adapté à l'une des fonctions orthogonales, comme un sous-porteur dans l'OFDM, nous ne verrons que le

résultat de cette fonction. Les résultats de toutes les autres fonctions de l'ensemble s'intègrent à zéro, et n'ont donc aucun impact.

$$\int_0^{T_s} s_i(t) \cdot s_j(t) = 0 \quad ; i \neq j$$

$$= \frac{T_s}{2} \quad ; i = j \quad (I.8)$$

Les signaux OFDM sont constitués d'une somme de sinusoides, dont chacune correspond à une sous-porteuse dans le domaine temporel. Une collection de sinusoides orthogonales est illustrée dans l'équation (II.2), qui représente les sous-porteuses pour une véritable transmission OFDM non modulée [22].

$$s_k(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_k t) & 0 < t < T_s \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (I.9)$$

La figure I.11 montre la construction d'un signal OFDM avec 4 sinusoides orthogonales entre elles, où est l'espacement des sous-porteuses est la période des symboles OFDM.

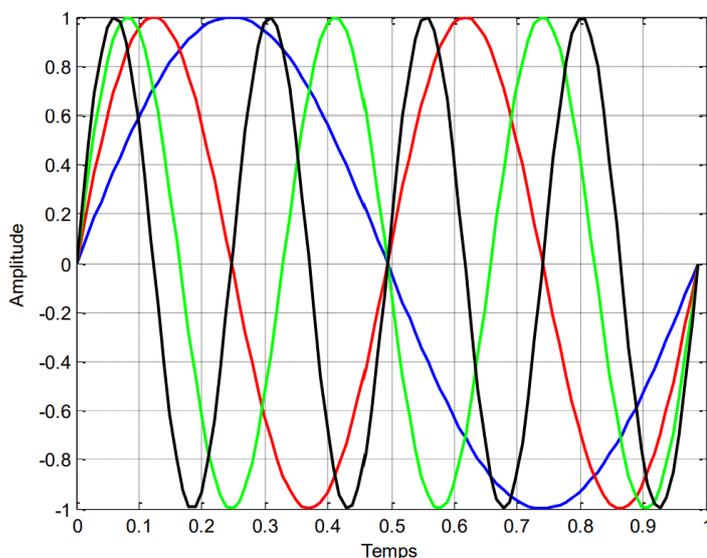


Figure I 11 Sinusoides orthogonales [23].

I.8.3.2. Orthogonalité fréquentielle

Le spectre du signal OFDM peut être utilisé pour vérifier l'orthogonalité du signal. Chaque sous-porteuse a une réponse en fréquence sous la forme d'un sinus cardinal

(γ) dans le domaine fréquentiel, qui s'annule aux fréquences. Cette condition permet une occupation optimale du spectre et l'évitement de l'ICI, ce qui permet d'extraire le signal

pertinent. Le spectre des sous-porteuses est représenté sur la figure I.12, tandis que le spectre OFDM complet est représenté en noir.

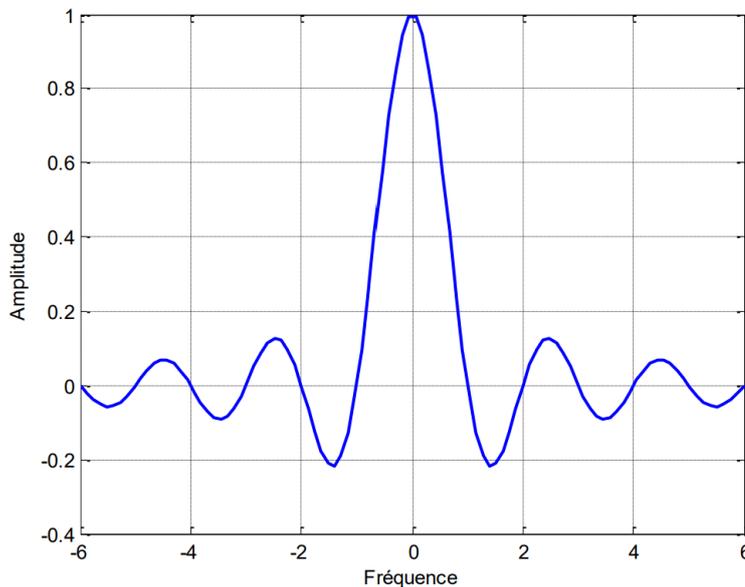


Figure I 12 Spectre d'une sous-porteuse OFDM [24].

I.8.4. L'interférence entre symboles (IES) :

Un symbole transmis prend des retards variés pour arriver au récepteur dans un environnement à trajets multiples en raison de voies de propagation distinctes. Le canal présente une dispersion temporelle du point de vue du récepteur, ce qui signifie que la longueur du symbole reçu est allongée. L'allongement de la durée du symbole fait chevaucher le symbole reçu en cours avec les symboles reçus précédemment, [25], ce qui entraîne à l'interférence entre symboles (IES).

I.8.5. L'interférence entre porteuses (IEP) :

Les spectres des sous-porteuses se chevauchent dans les systèmes OFDM, mais ils restent orthogonaux entre eux. Tous les autres spectres de sous-porteuses sont nuls au maximum du spectre de chaque sous-porteuse [26]. La présence de symboles de données d'une sous-porteuse sur des sous-porteuses voisines provoque une interférence entre porteuses (IEP). Lorsque le canal à trajets multiples change pendant la durée d'un signal OFDM, l'IEP se produit [27]. Lorsque cela se produit, les effets Doppler sur chaque trajet produisent un décalage de fréquence, ce qui entraîne la perte de l'orthogonalité.

I.8.6. L'insertion de l'intervalle de garde :

Pour éviter les impacts de l'ISI, l'intervalle de garde est une période utilisée entre chaque sous-porteuse OFDM.

Les intervalles de garde peuvent être introduits en utilisant une variété de techniques. Il s'agit soit de remplir l'espace de garde entre deux symboles consécutifs par zéros, soit d'introduire une exception cyclique du symbole OFDM. [28].

I.9. LA CHAÎNE DE TRANSMISSION OFDM :

Une série de traitements à l'émission pour préparer le signal et l'adapter au canal de propagation, ainsi qu'une série de traitements inverses à la réception pour récupérer le message original et supprimer les diverses nuisances causées par la transmission et la propagation, sont nécessaires pour une transmission fiable des messages.

Pour transférer le signal OFDM du domaine fréquentiel au domaine temporel, les symboles sont modulés sur la sous-porteuse à l'aide de la transformation de Fourier rapide inverse (IFFT). Un intervalle de garde est inséré après l'opération IFFT pour éviter le chevauchement des sous-porteuses, puis le signal numérique OFDM est converti en analogique à l'aide d'un convertisseur N/A. Les données reçues sont transformées en parallèle au niveau du récepteur, et l'intervalle de garde est supprimé. Le signal est ensuite démodulé par un démodulateur tel que QAM ou PSK, en utilisant la technique FFT. Enfin, les données sont converties en série afin de récupérer l'information originale. [29].

I.9.1. Avantages et inconvénients de l'OFDM

Les avantages de l'OFDM sont nombreux :

- l'utilisation de la bande de fréquence allouée est optimale par orthogonalité des porteuses (Une haute efficacité spectrale).

- la modulation est basée sur un algorithme bien connu et peu complexe : la FFT.

- un codage et entrelacement adapté permettent d'améliorer la qualité de la transmission des données.

- l'OFDM permet une égalisation simple grâce à l'ajout du "préfixe cyclique" ou du "zéro pudding", même en présence de canaux multi trajets denses.

- La diminution des taux de transmission et l'ajout de préfixes cycliques permettent d'éliminer ou de limiter l'interférence inter symboles et de simplifier l'égalisation au récepteur.

-Les effets des parcours multiples dû aux évanouissements sélectifs en fréquence sont réduits en divisant le spectre en N sous porteuses ayant des évanouissements plats.

-Le chevauchement en fréquence des sous porteuses permet de conserver une grande efficacité spectrale.

- Réduction de la complexité des récepteurs due à la possibilité d'éviter les ISI et ICI par insertion d'un intervalle de garde.

Les inconvénients de l'OFDM

-Rapport du pique à la puissance moyenne du signal très élevé comparé au système à une seule porteuse : Ceci requiert des amplificateurs avec une très large plage de linéarité.

-Sensibilité aux erreurs de synchronisation temporelle et fréquentielles

-Pertes en efficacité, dues à l'ajout des sous-porteuses virtuelles dans le domaine fréquentiel ainsi que l'intervalle de garde dans le domaine temporel.

I.10. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'OFDM qui est une technique de communication qui est de plus en plus populaire.

Nous avons fourni une introduction aux principes de fonctionnement de l'OFDM, y compris la modulation et la démodulation en appliquant la transformée de Fourier inverse IFFT, l'orthogonalité des sous porteuses, sa formule mathématique de base, l'intérêt de l'ajout du préfixe cyclique, l'intervalle de garde et à la fin, on a cité quelques avantages et inconvénients de l'OFDM

L'OFDM apparaît comme une bonne solution pour les trajets multiples.

CHAPITRE II : L'ACCÈS MULTIPLE DANS LES SYSTÈMES DE COMMUNICATION OPTIQUES

| | |
|--|----|
| II.1. INTRODUCTION | 15 |
| II.2. ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION DE CODE OPTIQUE | 15 |
| II.3. L'ÉTALEMENT DE SPECTRE AU CDMA | 16 |
| II.3.1. Principes d'étalement du Spectre | 17 |
| II.3.2. Les Avantages de l'étalement de spectre | 18 |
| II.4. LE CDMA OPTIQUE | 18 |
| II.4.1. LES AVANTAGES DU CDMA AUX RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUE | 19 |
| II.4.2. ARCHITECTURE D'OCDMA | 19 |
| II.4.3. Les différentes méthodes d'OCDMA | 20 |
| □ OCDMA par encodage temporel | 20 |
| □ Encodage à séquence directe (DS-OCDMA : Direct sequence OCDMA) | 20 |
| □ Encodage temporel en phase (TPE-OCDMA : Temporel Phase Encoding OCDMA) | 20 |
| □ OCDMA hybrides bidimensionnel (2D-OCDMA) | 21 |
| II.5. DÉFINITION DU SAC-OCDMA | 21 |
| II.6. ENCODAGE ET DÉCODAGE D'UN SIGNAL SAC-OCDMA | 21 |
| □ L'encodage | 22 |
| □ L'encodage avec masque d'amplitude | 22 |
| □ Encodage avec réseau de Bragg | 22 |
| □ Démultiplexeurs et multiplexeurs optiques pour le codage | 23 |
| □ Décodage en SAC-OCDMA | 23 |
| II.7. LE RÉSEAU DE BRAGG | 24 |
| II.7.1. Principe de fonctionnement du FBG | 24 |
| II.8. LE MULTIPLEXAGE DE SOUS-PORTEUSES OU SUB-CARRIER MULTIPLEXING (SCM) | 25 |
| II.8.1. Les avantages de (SCM) | 25 |
| II.8.2. Les systèmes hybrides SCM-OCDMA | 25 |
| II.9. CONSTRUCTION DES CODES BIPOLAIRES | 26 |
| II.10. CONSTRUCTION DE CODES OPTIQUES UNIPOLAIRES | 27 |
| II.11. CONCLUSION | 28 |

II.1. INTRODUCTION

Le trafic de données véhiculé par les réseaux de communication est en constante expansion en raison du développement rapide des nouvelles technologies de l'information. En conséquence, les entreprises de télécommunications ont été incitées à créer des réseaux à haut débit et à grande capacité pour le multiplexage. Actuellement, le « Last mile », la partie la plus critique d'un réseau d'accès, doit fournir divers services au grand public et aux entreprises. La nouvelle génération de réseaux d'accès doit assurer la distribution de divers services à haut débit tout en maintenant une bonne qualité de service. L'utilisation de la fibre optique dans les systèmes de communication a été un pas en avant significatif pour répondre à la demande croissante de débit d'information des abonnés. Les réseaux optiques passifs (Passive Optical Network : PON) répondent à ce besoin en fournissant une bande passante suffisante. La topologie de ce type de réseau conduit à s'intéresser aux techniques d'accès multiple bien connues en télécommunications mobiles comme techniques de partage de ressources entre différents utilisateurs. Le partage des ressources de bande passante optique suit trois modèles hérités des techniques de radiofréquence : la fréquence, le temps et le partage de code. Les mécanismes d'accès multiples utilisés dans les réseaux de télécommunications optiques sont abordés dans ce chapitre. Et nous parlerons d'un seul type d'OCDMA qui est au cœur de notre thèse : le codage d'amplitude spectrale (SAC), dont les sources optiques sont des sources incohérentes fréquemment utilisées dans la conception des systèmes SAC-OCDMA en raison de leurs faibles coûts et de leurs larges bandes passantes optiques, qui permettent de couper le spectre pour effectuer l'encodage. Cependant, les performances du système sont limitées par l'intensité du bruit associé à ces sources. Dans un premier temps, nous reviendrons sur les fondamentaux de la technique SAC-OCDMA : l'encodage et le décodage du signal.

II.2. ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION DE CODE OPTIQUE

L'accès Multiple par Répartition de Codes optiques (AMRCO), appelé aussi Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) est une technique à spectre étalé qui a été utilisée pour la première fois par l'armée en raison de son haut débit de sécurité et de sa résilience aux interférences. Chaque utilisateur a son propre code d'étalement ou signature. Le CDMA consiste donc la diffusion ou la redistribution du signal sur une large bande passante jusqu'à ce qu'il devienne « invisible » pour les autres utilisateurs qui utilisent la même quantité de bande passante. À la réception, la technique d'étalement utilisée lors de la transmission est répétée pour « détalement » le signal de bande de base, tandis que le récepteur perçoit les autres

signaux transmis (interférant) comme du bruit. Dans l'OCDMA, contrairement à l'OTDMA et à l'OFDMA, "tout le monde parle en même temps et au même endroit, mais dans sa propre langue". Il permet à plusieurs utilisateurs du réseau de partager le même canal de diffusion sans tenir compte de l'heure ou de la fréquence. Cette méthode permet de nombreux utilisateurs et un partage de ressources adaptable, reconfigurable et sécurisé.

Contrairement à l'OTDMA et à l'OFDMA, dont la capacité en termes de nombre d'utilisateurs est limitée par la fréquence et les ressources temporelles, le nombre d'utilisateurs de l'OCDMA est déterminé par les propriétés des codes d'étalement utilisés. En conséquence, OCDMA est une alternative viable à OFDMA et OTDMA pour augmenter la capacité de multiplexage et améliorer la fonctionnalité du système. Ces stratégies peuvent être utilisées pour créer des techniques hybrides, qui améliorent la capacité et le débit de multiplexage de chaque utilisateur. [30].

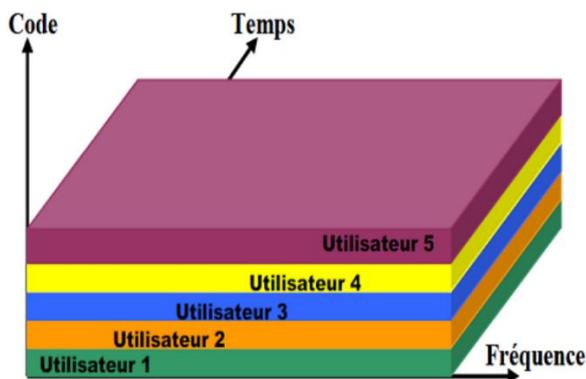


Figure II 1 Technique d'accès multiple OCDMA [31].

II.3. L'ÉTALEMENT DE SPECTRE AU CDMA

Le multiplexage peut être effectué à l'aide de techniques à spectre étalé, qui reposent sur l'élargissement de la région spectrale d'un signal. L'étalement de spectre consiste à transformer le signal de façon à Multiplier la largeur de son occupation spectrale par une quantité nommée gain de codage. L'élargissement de la bande permet une meilleure détection du signal à la réception et, dans certaines conditions, on peut permettre la transmission de signaux d'autres utilisateurs sur la même bande. Ces autres utilisateurs sont considérés comme du bruit, et l'interférence multi-utilisateur (IAM) en est le terme.

La bande est ensuite partagée en fonction d'une procédure de codage plutôt que des fréquences ou du temps. CDMA (Code Division Multiples Access) fait référence à toute application du principe de l'étalement du spectre dans lequel de nombreux émetteurs

envoient des données simultanément au même récepteur sur la même bande de fréquences avec de faibles interférences. [32].

II.3.1. Principes d'étalement du Spectre

Le spectre étalé à séquence directe (Direct Sequence Spread Spectrum ou **DS-SS**) et le spectre étalé à saut de fréquence (FrequencyHopping Spread Spectrum ou **FHSS**) sont les deux techniques de spectre étalé les plus répandues utilisées dans le CDMA.

- **DSSS**

L'utilisateur dispose d'une séquence chipping (code) qui spécifie comment les informations sont codées et décodées dans le DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Le protocole entre l'émetteur et le récepteur est le suivant :

Emetteur : Prend chaque bit de l'information de l'utilisateur et applique un XOR avec séquence de code d'étalement (chipping séquence), telle que 10110111000. Cela correspond au bit « 1 » du message. Nous avons également une « chipping séquence » avec tous les bits inversés pour le bit « 0 » du message, 01001000111. Une séquence de 11 bits est utilisée dans notre travail.

Récepteur : Prend le message et exécute un XOR avec séquence chipping dessus. Les 11 bits ont ensuite été ajoutés un par un. Ce bit est mis à "0"

Si la somme est inférieure ou égale à 5, sinon il est mis à "1". [33]

- **FHSS** (FrequencyHopping Spread Spectrum) :

La technique FHSS (FrequencyHopping Spread Spectrum) sépare une large gamme de fréquences en 75 canaux (sauts ou sauts de 1 MHz de large), qui sont ensuite envoyés à l'aide d'une combinaison de canaux connue de tous les sites cellulaires.

La gamme de fréquences 2,4 - 2,4835 GHz dans la norme 802.11 permet la création de 79 canaux de 1 MHz.

La transmission est accomplie en transmettant sur un canal puis sur un autre pendant une courte durée (environ 400 ms), permettant la transmission d'un signal plus immédiatement reconnu sur une fréquence donnée à un instant donné.

Le spectre étalé à sauts de fréquence a été créé pour un usage militaire afin d'éviter l'écoute clandestine des communications radio.

En effet, une station qui ne connaîtrait pas la combinaison de fréquences à utiliser ne pourrait pas écouter l'émission puisqu'il lui était impossible de découvrir la fréquence du signal puis de rechercher la nouvelle fréquence dans le temps imparti.

II.3.2. Les Avantages de l'étalement de spectre

Lutte contre les brouilleurs.

Camouflage d'information.

Interception délicate.

Décodage difficile si code $c(t)$ inconnu.

Bonne résistance aux brouilleurs comparables.

- Faible inter corrélation entre deux codes $c_1(t)$ et $c_2(t)$.
- Séparation facile d'une pile de signaux étalés.

II.4. LE CDMA OPTIQUE

Dans le domaine des communications optiques, l'OCDMA est une technologie de multiplexage de plus en plus populaire. En raison du haut niveau de sécurité de transmission, de la bande passante élevée et de la faible atténuation, plusieurs utilisateurs peuvent utiliser le réseau asynchrone, ce qui favorise la réalisation de nombreux services tels que la transmission vidéo de haute qualité.

L'application du CDMA aux systèmes de communication optique a pour but de surmonter la capacité de multiplexage du débit et les limites de flexibilité des systèmes d'accès TDMA et WDMA. Lors de la mise en œuvre de la technologie CDMA électrique sur des réseaux d'accès optiques, l'emploi de convertisseurs électrique/optique et optique/électrique est un verrou technique qu'il faut résoudre. Le codage et le décodage dans le champ optique à l'aide de composants optiques est une technique permettant de contourner cette limitation et de réduire les coûts de mise en œuvre élevés. En conséquence, des systèmes CDMA "tout optiques" sont créés.

Le développement des composants optiques passifs a permis la création de systèmes CDMA « tout optique » pour les réseaux d'accès. [34].

On distingue deux types de CDMA optique : CDMA cohérente et CDMA non-cohérente.

➤ CDMA optique cohérent

Cette méthode suppose que les informations sont transmises par l'amplitude et la phase optique du signal. L'onde lumineuse pouvant être positive ou négative, l'étalement des données peut s'effectuer en utilisant des codes bipolaires tel que les codes de Hadamard.

➤ **Le CDMA optique incohérent**

Les données sont codées par la puissance de la lumière reçue dans un CDMA optique incohérent. Ce type utilise la détection d'intensité (détection directe), où l'intensité lumineuse est une quantité positive. Les codes utilisés sont des codes unipolaires avec "0" et "1" comme seuls caractères.

L'utilisation de CDMA vers des systèmes de télécommunications optiques tente de surmonter les restrictions de capacité de multiplexage, de débit et de flexibilité des systèmes d'accès TDMA et FDMA. Lors de la mise en œuvre de la technologie CDMA électrique sur des réseaux d'accès optiques, la mise en œuvre de convertisseurs optique/électrique ou électrique/optique est un verrou technique qu'il faut briser. Pour contrôler cette limitation il faut réduire le coût élevé d'implémentation : cette manière consiste à réaliser le codage et le décodage dans le domaine optique en utilisant que des composants optiques. Donc il s'agit des systèmes CDMA "tout- optique" ou OCDMA. [35].

II.4.1. LES AVANTAGES DU CDMA AUX RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUE

- Large couverture.
- Efficacité spectrale bit/HZ.
- Gestion de plan de fréquence.
- Immunité par rapport au brouilleur.
- Variété des fréquences et efficacité de la concentration du trafic.
- Souplesse de modification sur les débits transmis.
- Capacité théorique plus grande.

II.4.2. ARCHITECTURE D'OCDMA

Pour augmenter le nombre d'utilisateurs dans les réseaux PON-OCDMA, on considère deux architectures : la première est une architecture système hybride WDM/OCDMA à encodage temporel dans laquelle le spectre est découpé d'une source large bande afin de multiplier le nombre d'utilisateurs multiplexés OCDMA par le nombre de canaux WDM générés.

Le second est un système OCDMA avec codage spectral en phase, qui permet de mettre en œuvre des codes bipolaires.

II.4.3. Les différentes méthodes d'OCDMA

En OCDMA, le code peut être implémenté de différentes manières, il peut être unidimensionnel 1D fréquentiel ou temporel, bidimensionnel 2D un mélange temps/fréquence ou temps/espace, ou bien spectral. [36].

- **OCDMA par encodage temporel**

Dans le domaine temporel, il existe deux formes d'encodage :

- **Encodage à séquence directe (DS-OCDMA : Direct sequence OCDMA)**

Ce type d'encodage est réalisé par la multiplication de la donnée avec le code (chaque bit de données et directement modulé en amplitude par le code optique). $T_b = L * T_c$ est le temps d'émission d'un bit de donnée, découpé en L périodes dites Chips (impulsions) de durée T_c .

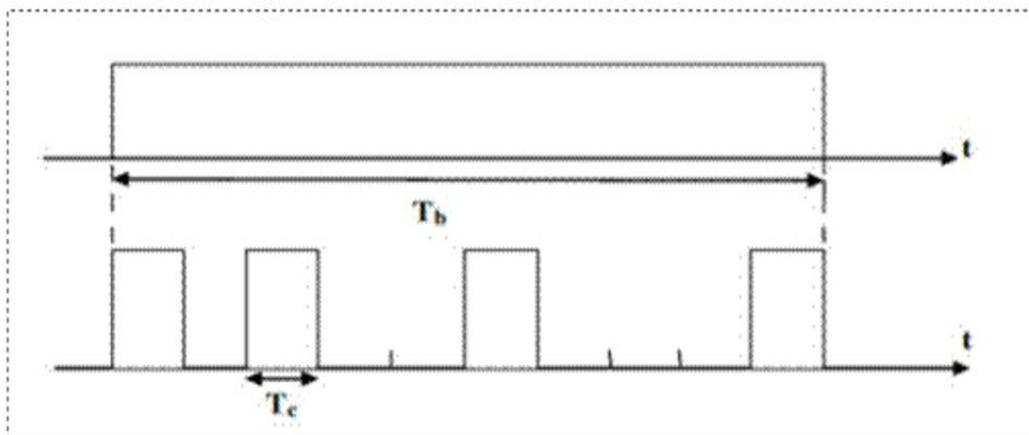


Figure II 2 Étalement de spectre par séquence directe [37].

Si le bit de données égal à 1, il sera remplacé par la séquence de code. S'il égal à 0, il sera remplacé par une séquence nulle de même longueur que la séquence de code.

- **Encodage temporel en phase (TPE-OCDMA : Temporel Phase Encoding OCDMA)**

Le codage de phase temporelle (TPE-OCDMA : Temporal Phase Encoding OCDMA) permet de moduler en phase le champ optique dans le domaine temporel. [38].

OCDMA par encodage spectral d'amplitude

Une technique de codage pour réaliser un système OCDMA est d'utiliser un encodage spectral d'amplitude (SAC-OCDMA), appelé aussi encodage en fréquence (FE), avec cette méthode chaque usager se voit assigner une partie du spectre optique comme code.

- **OCDMA hybrides bidimensionnel (2D-OCDMA)**

Parmi les techniques qui ont pour but d'augmenter le nombre d'utilisateurs du système OCDMA unidimensionnel c'est le codage hybride, il consiste à coder l'information en utilisant deux dimensions différentes simultanément : temps/longueur d'onde ou espace/temps, ou bien deux techniques d'accès multiples simultanément. [39].

L'efficacité spectrale en bit/s/Hz qui est une fonction du nombre d'utilisateurs N , augmente. Elle caractérise la capacité à transmettre un débit maximum D_b dans une bande passante optique minimale b_0 , la fonction s'exprime comme ce ci :

$$n = \frac{ND_b}{B_0}$$

II.5. DÉFINITION DU SAC-OCDMA

Dans un système SAC-OCDMA chaque utilisateur doit assigner son propre code spectral qui constitue sa signature de façon qu'elle soit unique. Autrement dit, chaque code d'utilisateur se verra attribuer une combinaison de longueur d'onde bien spécifique. [40].

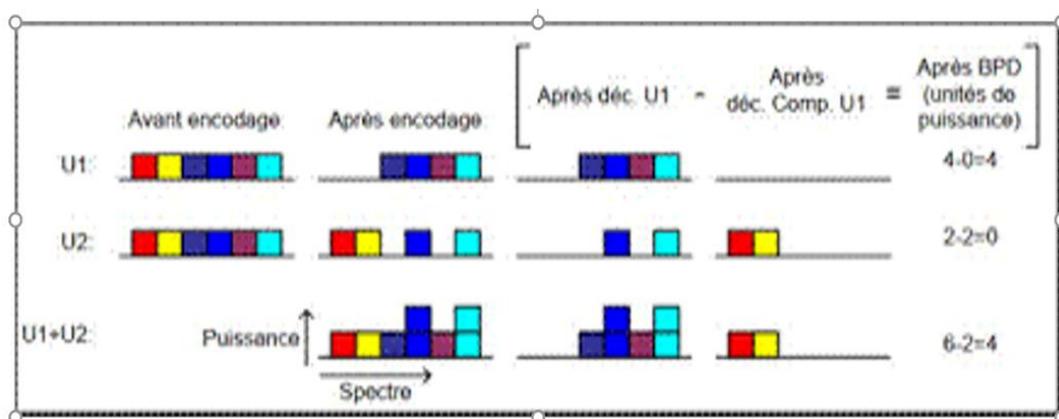


Figure II 3 Représentation schématique du SAC-OCDMA [41].

(Chaque couleur représente une case fréquentielle différente).

II.6. ENCODAGE ET DÉCODAGE D'UN SIGNAL SAC-OCDMA

La réalisation des fonctions codage et décodage avec des composants optiques permet d'exploiter la large bande passante du canal optique, en éliminant les convertisseurs électrique/optique ou optique /électrique en émission et en réception.

Pour effectuer l'encodage d'un canal avec la technique SAC-OCDMA, le processus attribue une signature spectrale unique aux données de l'utilisateur. Dans les systèmes fonctionnant sur le principe SAC-OCDMA, l'utilisation de la bande optique est partagée. Donc, les différentes signatures spectrales ne sont pas orthogonales entre elles, ça veut dire que deux signatures spectrales distinctes ont des fréquences en commun.

Il est impossible d'extraire les données dans un canal par un simple filtrage optique. Le but de décodage consiste en l'extraction du signal parmi tous les signaux en utilisant la signature spectrale comme discriminateur.

➤ L'encodage

Les techniques utilisées pour l'encodage sont :

✓ L'encodage avec masque d'amplitude

Le Principe de fonctionnement est dans le rôle du premier réseau qui est de séparer angulairement les composantes fréquentielles. Le point image à l'infini est rejeté en plaçant ce réseau au foyer d'un objectif F_1 . Un masque d'amplitude est inséré dans un plan orthogonal à l'axe de propagation et permet de supprimer les composantes spectrales voulus. Les composantes spectrales restantes sont recombinaées par une autre lentille F_2 reliée au deuxième réseau de diffraction. [42].

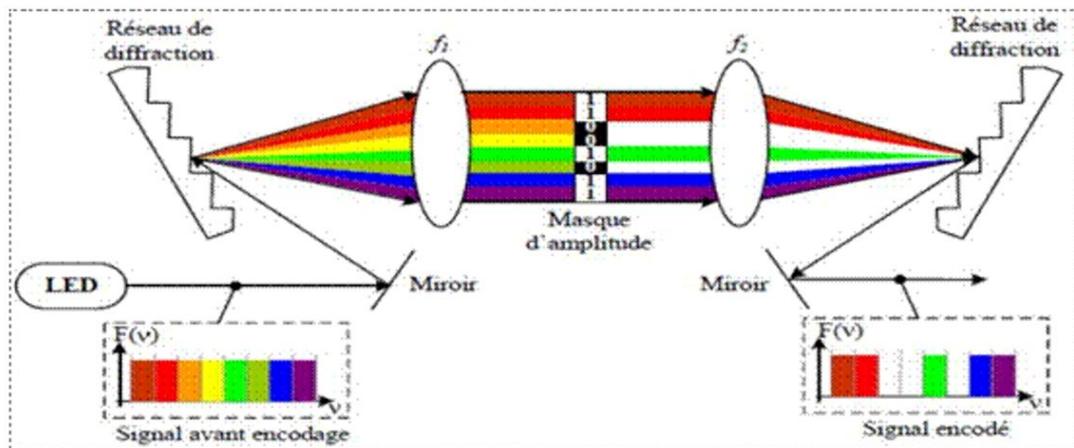


Figure II 4 Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude [43].

Cette technique a pour inconvénients : sensibilité aux vibrations, aux fluctuations de température, coûteux et fragiles, des pertes non négligeables.

✓ Encodage avec réseau de Bragg

Le principe physique d'un réseau de Bragg consiste en variation périodique de l'indice de réfraction afin de créer des phénomènes d'interférence et aussi d'obtenir un composant sélectif en spectre. Chacun des réseaux de Bragg permet au code SAC-OCDMA de supprimer une gamme de fréquences qui n'est pas continue. Il est donc possible de réaliser un montage SAC-OCDMA en utilisant les réseaux de Bragg. [44].

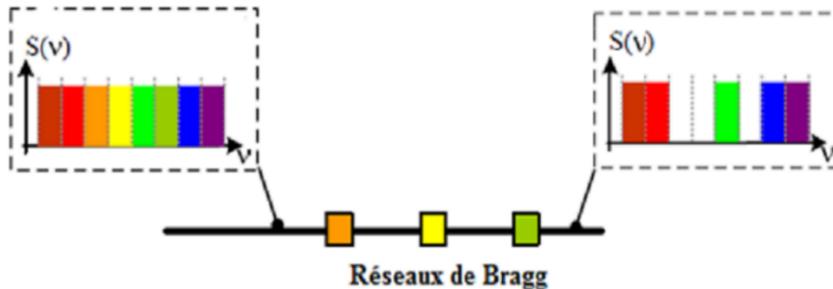


Figure II 5 Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA [45].

✓ Démultiplexeurs et multiplexeurs optiques pour le codage

Le spectre large bande de la source optique est divisé en plusieurs longueurs d'onde de largeur égale à l'aide d'un démultiplexeur. À partir des sorties de celui-ci, chaque utilisateur pourra rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale à l'aide d'un multiplexeur.

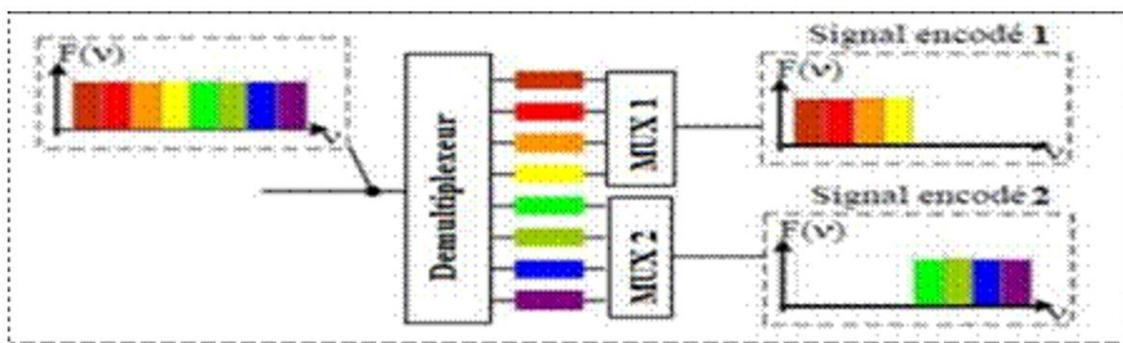


Figure II 6 Encodage SAC-OCDMA pour deux utilisateurs avec un multiplexeur et deux démultiplexeurs [46].

➤ Décodage en SAC-OCDMA

Les données de tous les utilisateurs seront réunies à la réception, il faut utiliser le code de chaque utilisateur pour restituer la donnée qui est lui propre. Le but d'un système de décodage SAC-OCDMA pour l'utilisateur est : premièrement, il faut qu'il détecte les données qui lui sont destinées, en suite il faut que le système de détection rejette les signaux interférents, ce qui montre qu'un signal électrique d'une moyenne nulle doit être produit lorsque seuls les interférents sont actifs peu importe leur nombre. Il existe deux techniques

de détection : la technique de détection complémentaire et la technique de détection directe. [47].

II.7. LE RÉSEAU DE BRAGG

Le réseau de Bragg à fibre (FBG) est une structure périodique fabriquée à l'intérieur du cœur de la fibre optique. La périodicité peut être mécanique, comme les variations du diamètre du noyau, ou électrique, comme les variations de l'indice de réfraction du noyau.

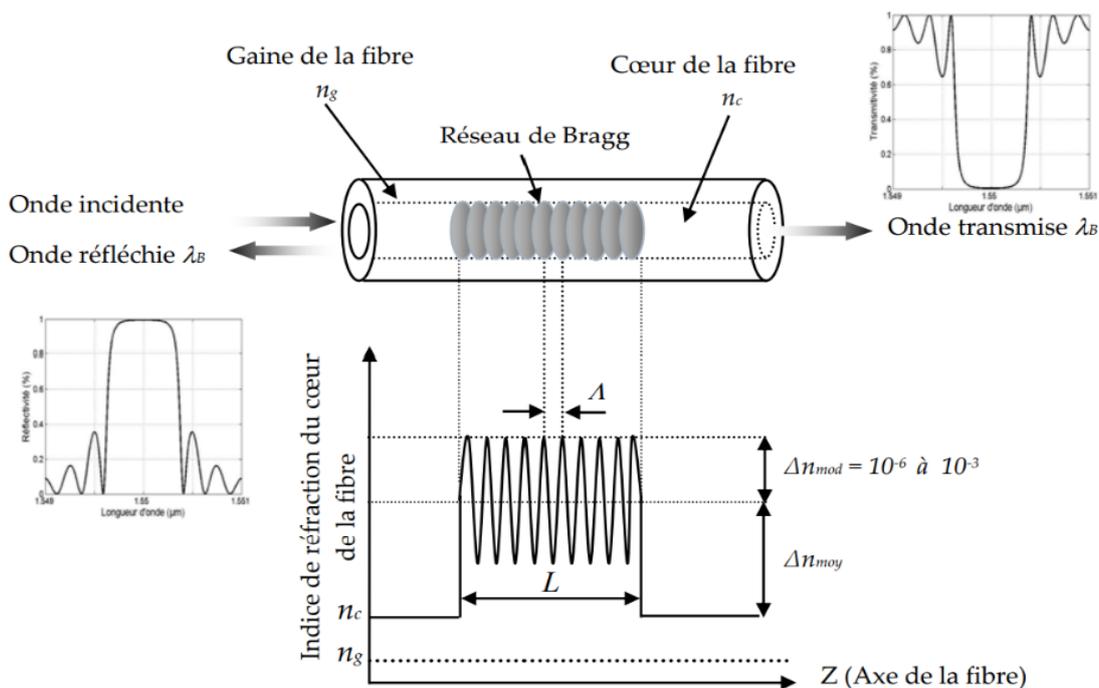


Figure II 7 Représentation schématique d'un réseau de Bragg, λ_B : longueur d'onde de Bragg, L : longueur du réseau, n_c : indice du cœur, n_g : indice de gaine [48].

II.7.1. Principe de fonctionnement du FBG

Le réseau de Bragg fonctionne comme un miroir, réfléchissant uniquement une longueur d'onde spécifique (couleur).

La longueur d'onde réfléchie varie en conséquence lorsque la fibre optique est étirée ou que sa température change.

Sur une même ligne optique, différents capteurs formés de réseaux de longueur d'onde donnée peuvent être installés en séquence (typiquement jusqu'à 16).

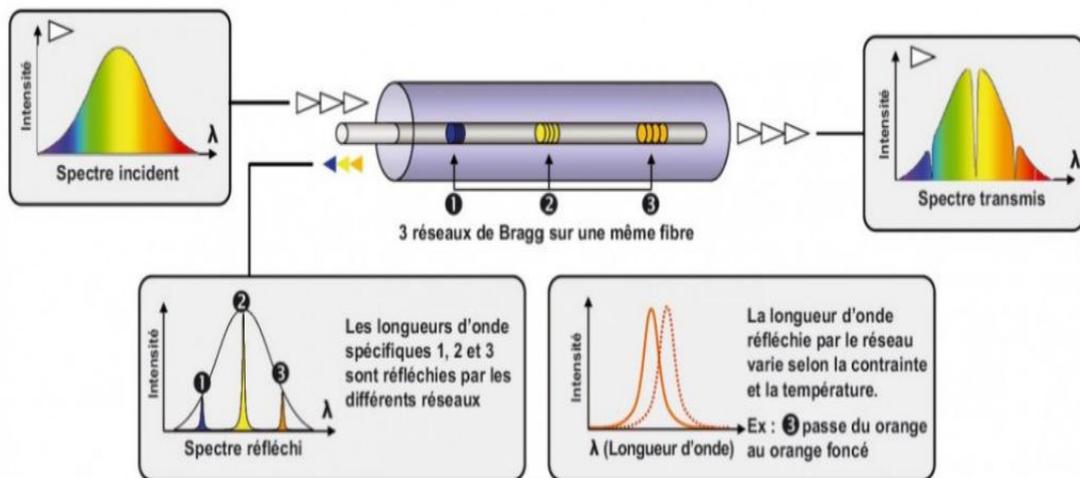


Figure II 8 Représentation de la fibre [49].

II.8. LE MULTIPLEXAGE DE SOUS-PORTEUSES OU SUB-CARRIER MULTIPLEXING (SCM)

Le multiplexage de sous-porteuse (SCM) est une technique de multiplexage optique qui permet de convertir un multiplex RF électrique en un signal optique modulé en puissance. Un système engageant pour répondre aux besoins de réseaux télécommunication. Le concept du multiplexage sous-porteuses est emprunté à la technologie micro-ondes qui utilise plusieurs porteuses pour transmettre plusieurs canaux sur des câbles coaxiaux ou en espace libre. La bande passante totale est limitée bien en dessous de 1GHz lorsque des câbles coaxiaux sont utilisés pour transmettre un signal hyperfréquence multicanal.

II.8.1. Les avantages de (SCM)

La technologie offre un moyen tirant partie de la bande passante multi-gigahertz des fibres optiques en utilisant des micros ondes bien établis dont les composantes sont arrivées à échéance et disponibles dans le commerce. Cette technique est moins coûteuse que la technique de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM).

II.8.2. Les systèmes hybrides SCM-OCDMA

Les systèmes hybrides sont proposés pour l'objectif d'associer les avantages des deux techniques et d'augmenter le nombre maximal d'utilisateurs actifs simultanément en augmentant la SCM et /ou le mode de code OCDMA.

Ainsi, le système hybride fournit une bande passante nécessaire de la transmission des données à large bande des utilisateurs. Les réseaux hybrides SCM-OCDMA emploient deux techniques de multiplexage : multiplexage SCM et réseaux SAC-OCDMA. [50].

II.9. CONSTRUCTION DES CODES BIPOLAIRES

Une séquence bipolaire est définie comme étant une suite d'impulsion prégnant deux états (+1 ou -1) par rapport à un niveau de référence transmis. L'utilisation des codes bipolaires dans un systèmes CDMA optique ou radiofréquences est déterminée par leurs propriétés d'auto et d'inter-corrélation.

Les conditions posées sur les propriétés de corrélation permettent de gérer et de réduire les interférences d'accès multiple (IAM) sur le taux d'erreurs binaires (TEB) à la réception. [51]

- **Séquence de Walsh-Hadamard**

Les codes de Walsh-Hadamard sont utilisés en tant que codes d'étalement pour les communications CDMA. Les signaux codés ressemblent à du bruit car les codes sont orthogonaux les uns par rapport aux autres. Cela permet à plusieurs signaux codés d'être combinés et diffusés en un seul signal. Chaque destinataire peut alors appliquer son code pour extraire sa part du signal. Cela fonctionne parce que chaque code diffère de tous les autres codes par la moitié de la longueur du code.

Les séquences de Walsh-Hadamard sont parmi les structures orthogonales les plus simples à réaliser. Une séquence de code est présentée par les lignes de la matrice de Hadamard. [52]

Une fonction de Walsh d'ordre n peut être définie par :

$$W_n = \begin{bmatrix} W(n/2) & W(n/2) \\ W(n/2) & -W(n/2) \end{bmatrix}$$

Ou : $W(1)=[1]$

Les codes sont donnés par les lignes de la matrice.

Exemple :

$$W(4) = \begin{bmatrix} W(2) & W(2) \\ W(2) & -W(2) \end{bmatrix}$$

$$W(2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad -W(2) = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Donc $W(4)$ devient :

$$W(4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Ces codes orthogonaux sont généralement proposés pour les applications synchrones des systèmes CDMA en raison de la facilité de leur génération.

II.10. CONSTRUCTION DE CODES OPTIQUES UNIPOLAIRES

L'implémentation des codes dans des systèmes optiques fait face au problème de la non-conservation de la phase des signaux optiques. Pour cela, des codes optiques unipolaires ont été mis en point. Ils sont implémentés au prix d'un relâchement des contraintes sur les propriétés de corrélation des séquences utilisées. Les premiers codes utilisés dans le CDMA optique sont les codes optiques orthogonaux OOC (Optical Orthogonal Code). [53]

- **Les codes optiques orthogonaux OOC**

Les codes optiques orthogonaux sont composés de suites unipolaires (0,1) caractérisées par ces paramètres (L, W, λ_a et λ_c)

D'où :

L : la longueur de la séquence de code

W : le poids du code qui représente le nombre de chips à « 1 »

λ_a et λ_c sont respectivement les contraintes d'autocorrélation et d'inter-corrélation

Les séquences de codes doivent satisfaire les conditions suivantes :

Il devrait posséder une bonne fonction d'autocorrélation avec tous les décalages relatifs tels que la détection est acceptable.

Il devrait aussi avoir une fonction d'inter-corrélation satisfaisante entre deux séquences quelconques dans le même ensemble pour réduire au minimum l'IMA. [54]

II.11. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les types des systèmes de communication optique à accès multiples, aussi l'avantage d'étalement du spectre,

Également on a défini le réseau de Bragg et la technique d'inscription pour l'utilisation de ce dernier, puis, on a pu montrer le principe de différentes méthodes d'encodage de la technique OCDMA, ainsi le codage et décodage d'un signal SAC-OCDMA, aussi le multiplexage de sous-porteuses et l'intérêt des systèmes hybrides.

CHAPITRE III : SIMULATION D'UN SYSTEME HYBRIDE OFDM-OCDMA sous Scilab

| | |
|--|-----------|
| III.1. INTRODUCTION | 29 |
| III.2 STRUCTURE ÉTUDIÉE :..... | 29 |
| III.3. ORGANIGRAMME DE OFDM-OCDMA..... | 30 |
| III.4. GÉNÉRATION DU CODE DE HADAMARD..... | 31 |
| III.5. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL NON BRUITÉ | 33 |
| III.6. RÉCEPTION | 34 |
| III.7. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL BRUITÉ..... | 37 |
| III.8. TAUX D'ERREUR DE BITS (BIT ERROR RATE) (BER) | 37 |
| III.9. DIAGRAMME DE L'ŒIL | 38 |
| III.10. CONCLUSION | 40 |

III.1. INTRODUCTION

La simulation numérique est une étape importante dans l'étude et la mise en œuvre des systèmes réalistes de transmission. En effet, elle permet d'une part la validation des études théoriques et d'autre part l'optimisation du système par l'analyse de l'impact des divers paramètres sur les performances.

III.2 STRUCTURE ÉTUDIÉE :

Dans ce travail, nous suggérons une technique hybride pour le réseau de communication basée sur le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) et l'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA) pour satisfaire l'énorme demande croissante en débits de données plus élevés. La combinaison de toute sous-porteuse multiplexée non orthogonale (SCM) avec (OCDMA) nécessite une large bande passante, donc un nombre limité de sous-porteuses et donc un nombre limité d'utilisateurs ainsi qu'un débit de données inférieur. En revanche, les sous-porteuses orthogonales telles qu'un OFDM qui sont étroitement espacées en raison de la propriété d'orthogonalité, et en plus de leur évanouissement de sélectivité en fréquence réduite, sont donc cruciales pour augmenter les sous-porteuses et donc, augmenter les débits de données ainsi que le nombre de utilisateurs. Pour montrer comment fonctionne ce système hybride OFDM/OCDMA, nous avons réalisé une simulation sous Scilab qui est un logiciel libre. Dans cette simulation, nous traitons un exemple simple d'un certain nombre d'utilisateurs utilisant un code orthogonal bipolaire, notamment, le code Hadamard/Walsh pour la division de code, et l'algorithme de transformée de Fourier rapide (fft) pour la division de fréquence. Pour une simulation plus réaliste, nous avons introduit un bruit dans le canal optique et étudié le diagramme en œil ainsi que le taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la variance du bruit. Un point intéressant dans la présentation de cette simulation à l'aide de logiciels libres tels que Scilab, est d'encourager les lecteurs à utiliser des logiciels gratuits au lieu d'utiliser des logiciels coûteux, car les résultats obtenus dans ce travail avec Scilab sont très similaires à ceux obtenus avec, par exemple, Optisystem Logiciel.

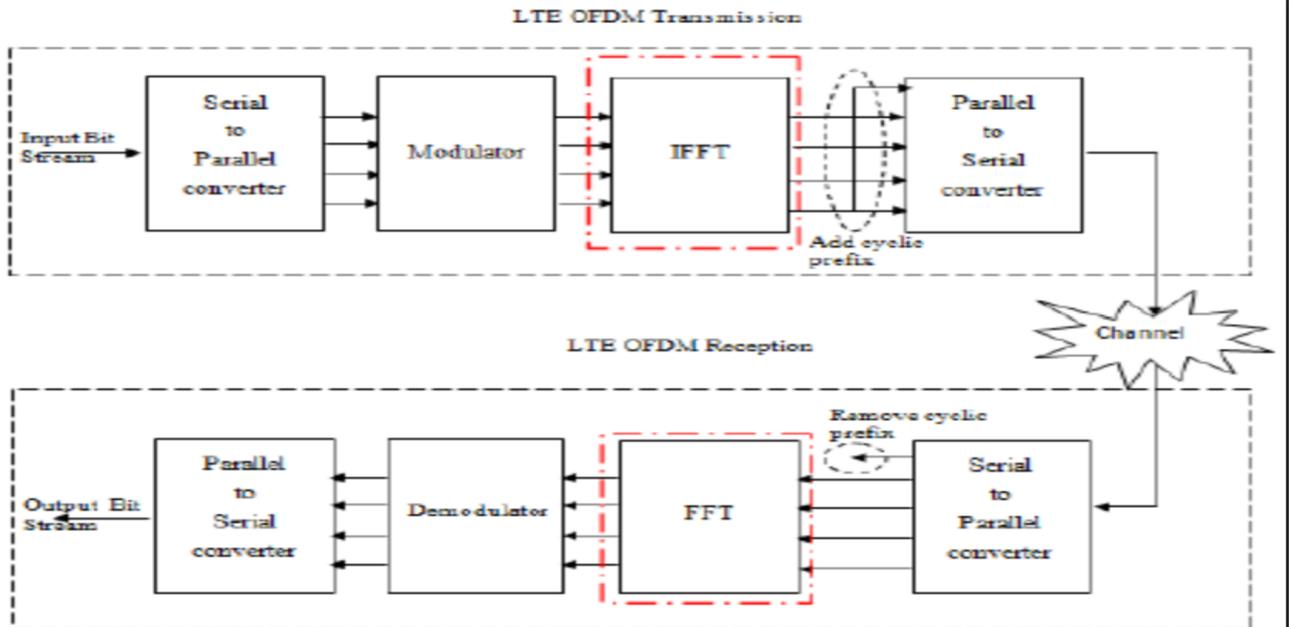
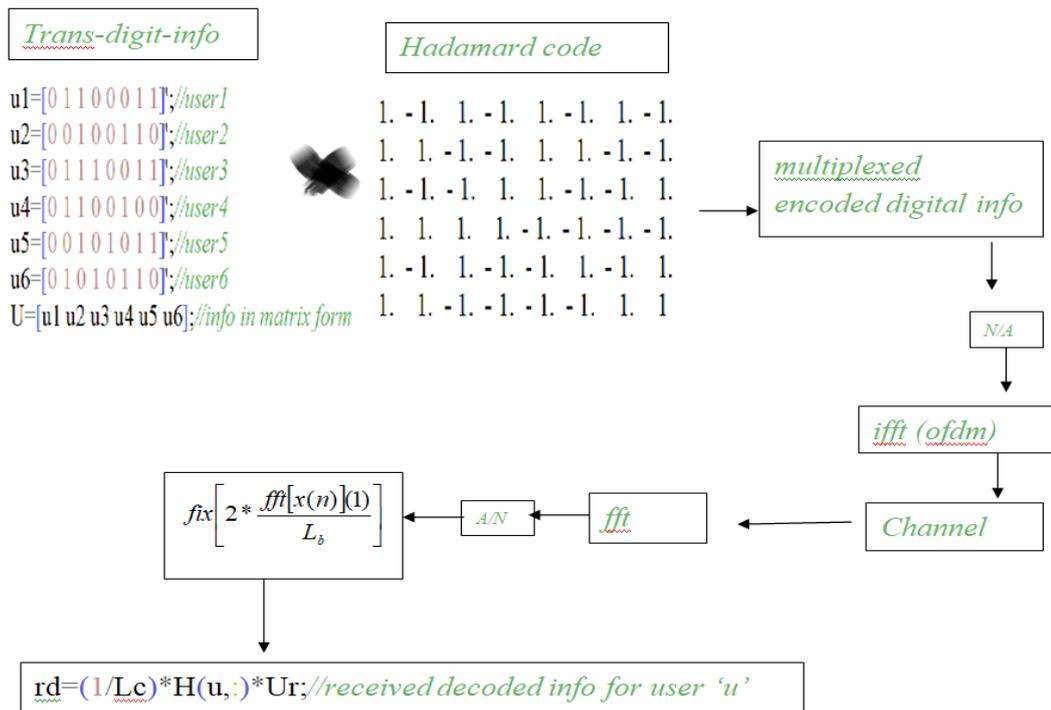


Figure III 1 Schéma fonctionnel du Système OFDM [54].

III.3. ORGANIGRAMME DE OFDM-OCDMA



//transmitted info 6 users

u1=[01100011]';//user1

u2=[00100110]';//user2

```
u3=[01110011]';//user3
```

```
u4=[01100100]';//user4
```

```
u5=[00101011]';//user5
```

```
u6=[01010110]';//user6
```

```
U=[u1u2u3u4u5u6];//info in matrix form
```

III.4. GÉNÉRATION DU CODE DE HADAMARD

Un code Hadamard est généré à partir d'une matrice Hadamard avec des lignes orthogonales en utilisant le générateur de code Hadamard. Lorsque le récepteur et l'émetteur sont parfaitement synchronisés, il est possible d'utiliser des codes octogonaux pour la diffusion dans les systèmes de communication. Les codes étant totalement séparés, la méthode d'étalement convient à ces systèmes.

Les matrices Hadamard sont des matrices carrées avec des lignes et des colonnes mutuellement orthogonales et des entrées +1 ou -1. La matrice Hadamard N -by- N , H_N est définie récursivement comme si N est une puissance non négative de 2.

$$H_1 = [1]$$

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix}$$

La matrice Hadamard N -by- N a la caractéristique suivante :

$$H_N H_N^T = N I_N$$

I_N signifie la matrice d'identité N -by- N

Le bloc générateur de code Hadamard est générée par une ligne de H_N . La sortie est de nature bipolaire. Le paramètre longueur du code indique la longueur du code, N la longueur du code doit être une puissance de deux. Le paramètre code index spécifie l'indice de ligne de la matrice Hadamard, qui est un entier dans l'intervalle $[0, 1, \dots, N-1]$.

Hadamard matrix H for 6 users

```

1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.
1. -1.  1. -1.  1. -1.  1. -1.
1.  1. -1. -1.  1.  1. -1. -1.
1. -1. -1.  1.  1. -1. -1.  1.
1.  1.  1.  1. -1. -1. -1. -1.
1. -1.  1. -1. -1.  1. -1.  1.
1.  1. -1. -1. -1. -1.  1.  1.
1. -1. -1.  1. -1.  1.  1. -1.

```

- **Information digitale codée (multiplexée)**

Une séquence de bits appelée code d'étalement est attribuée à chaque signal pour distinguer un signal d'un autre. Le code d'étalement est combiné avec le signal d'origine pour produire un nouveau flux de données codées, qui est ensuite transmis sur un support partagé.

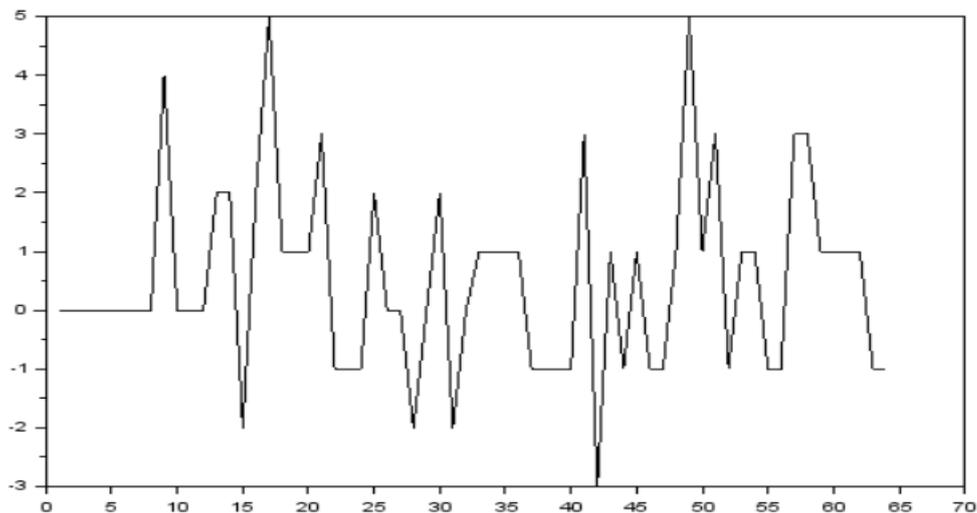


Figure III 1 L'information digitale codée (multiplexée)

- **Conversion digitale/analogique de l'information**

Un circuit électrique qui convertit un signal numérique (comme un signal binaire) en signal analogique est appelé convertisseur numérique-analogique (tension ou courant).

Le signal numérique, aussi appelé signal binaire, est composé de bits 1 et 0. Ces bits sont convertis en tension ou courant analogique par le DAC

- **Graphe du signal analogique**

La figure suivante représente le signal digital transmis convertit en un signal analogique

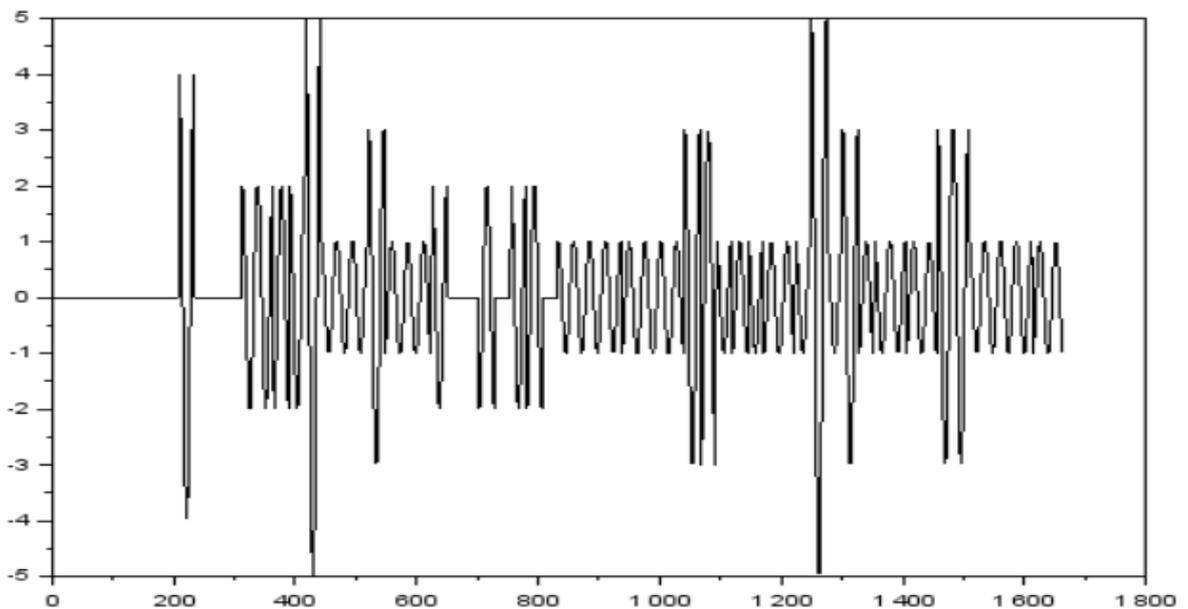


Figure III 2 Conversion du signal numérique en signal analogique

III.5. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL NON BRUITÉ

Le bloc ifft reçoit les données valorisées complexes comme entrée et produit des signaux multiplexés modulés dans le domaine temporel comme sortie. Avec la période T , ifft obtient N échantillons de données évaluées complexes. Ces signaux modules sont N sinusoïdes orthogonaux avec des valeurs de fréquence variables pour chaque valeur de N . La somme de tous ces échantillons N en un seul symbole OFDM serait le résultat final du bloc ifft. Le symbole OFDM a une longueur de NT , ou T est la période du symbole d'entrée ifft.

- **Graphe du signal porté**

La figure ci-dessous représente le signal analogique porté par les porteuses OFDM (ifft).

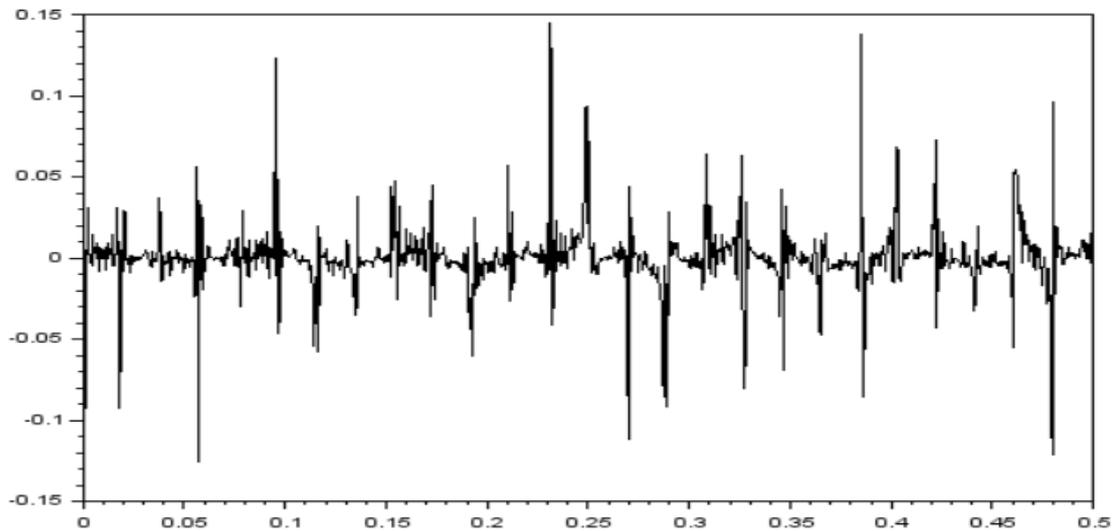


Figure III 3 Signal analogique porté par OFDM

III.6. RÉCEPTION

Le bloc fft est situé à la réception, et il reçoit les signaux de domaines temporels en entrée et les convertit en signaux de domaine de fréquence. La sortie du bloc fft est la même que celle qui a été à l'entrée du bloc ifft.

- **Graphe du signal dé-OFDM**

Cette figure montre le signal analogique reçu dé-modulé (dé-OFDM).

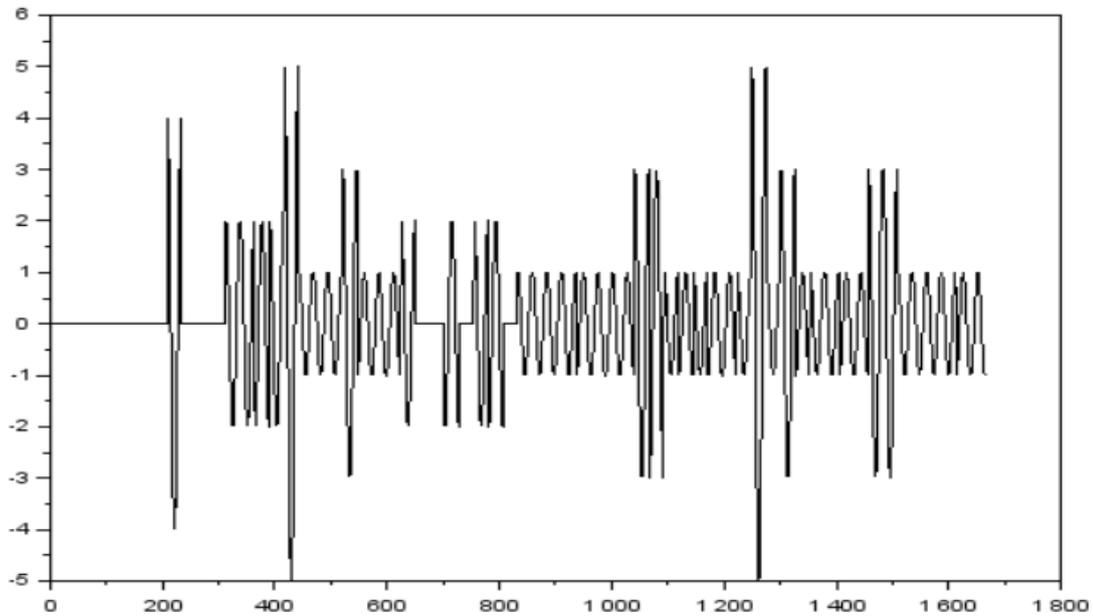


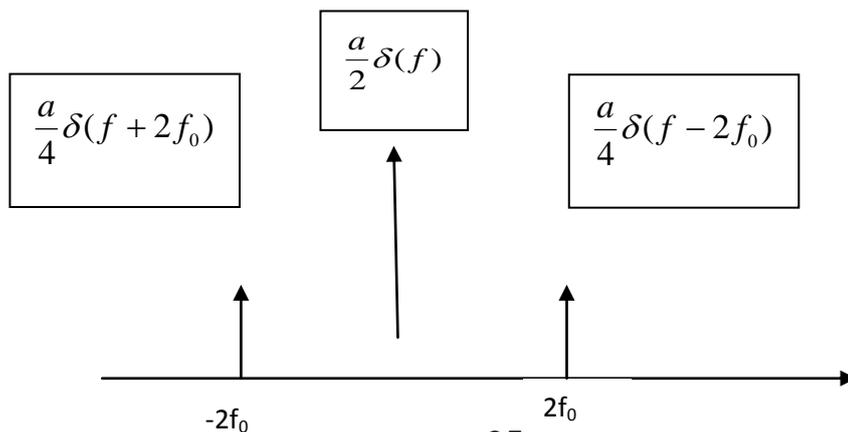
Figure III 4 Signal analogique reçu dé-modulé

• Conversion analogique-digitale

Il y a un convertisseur analogique-numérique qui convertit le signal analogique (courant ou tension) en un signal numérique (tel qu'un signal binaire). Les relations suivantes montrent comment extraire les valeurs digitales multiplexées « a » à partir du signal analogique reçue.

$$\begin{aligned}
 x(t) &= a \cos^2(2\pi f_0 t) \Rightarrow \\
 X(f) &= F[x(t)] = a \frac{1}{2} [\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)] * \frac{1}{2} [\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)] \\
 &= \frac{a}{4} [\delta(f - 2f_0) + \delta(f + 2f_0)] + \frac{a}{2} \delta(f)
 \end{aligned}$$

X(f)



Le pic central correspond à la première valeur de la fft en pratique (fft(0)) ;

$$\frac{a}{2} \delta(f) = \frac{a}{2} F(1) \approx \frac{a}{2} F[\text{Re ct}_{L_b}(n)] = \frac{a}{2} \frac{\sin(\pi L_b f)}{\sin(\pi f)}$$

Ainsi, la première valeur fft de $a \cos^2(2\pi f_0 t)$ est obtenue lorsque fft passe à '0' d'où la valeur numérique reçue a est donnée par

$$a = 2 * \frac{\text{fft}[x(n)](1)}{L_b}$$

Cette valeur « a » représente l'information digitale reçue multiplexée. Pour cela chaque récepteur doit utiliser son code pour extraire l'information qui lui est destinée à partir des ces valeurs « a ». Cette procédure est appelée décodage.

L'exemple suivant illustre cette procédure de décodage :

//received decoded digital info

//example user3

`u=input('user= ')/user number`

`Ur=matrix(Ir,Lc,-1)/received spread matrix`

`rd=(1/Lc)*H(u,:)*Ur;/received decoded info for user 'u'`

On peut vérifier que l'information suivante reçue par le récepteur 3 à travers un canal non bruité est bien la même que celle transmise par le transmetteur 3.

rd= 0 1. 1. 1. 0 0 1. 1.

III.7. TRANSMISSION (MODULATION IFFT) À TRAVERS UN CANAL BRUITÉ

Pour une simulation plus réaliste et plus correcte, nous avons introduit un bruit blanc Gaussien centré dans le canal de transmission et étudié le diagramme de l'œil ainsi que le taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la puissance du bruit. La figure ci-dessous montre l'effet du bruit d'écart type 0,19 sur le signal (ifft) transmis.

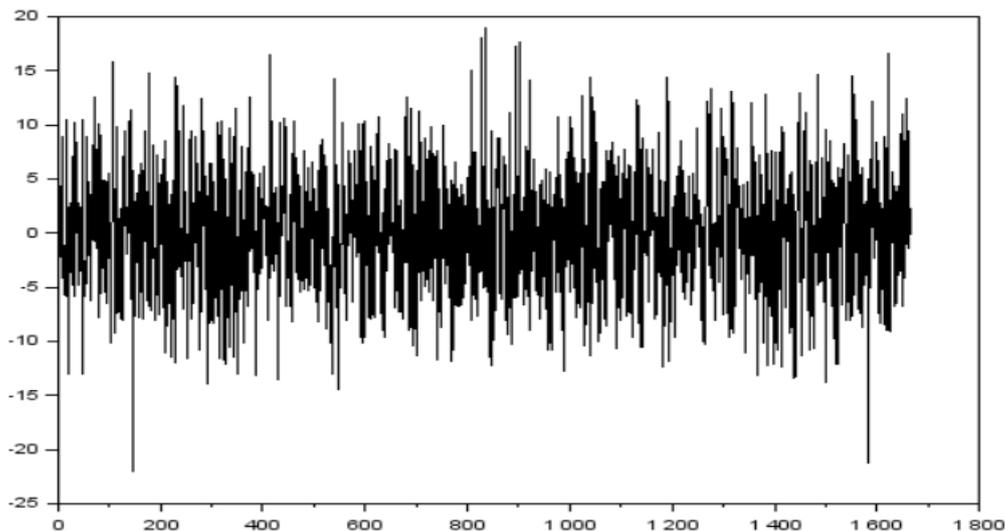


Figure III 5 le signal (ifft) transmis bruité par un bruit d'écart type 0,19

III.8. TAUX D'ERREUR DE BITS (BIT ERROR RATE) (BER)

Le BER est un outil d'estimation du nombre de bits erronés par rapport au nombre de bits de l'information utile transmise. Il permet aussi d'évaluer la qualité du canal de transmission. Un taux élevé indique une mauvaise qualité de transmission. Un canal bruité peut être caractérisé par un BER élevé. Les résultats suivants de la figure de la simulation montrent le BER en fonction de la puissance du bruit du canal. On peut constater sur cette figure que le BER augmente avec la puissance du bruit.

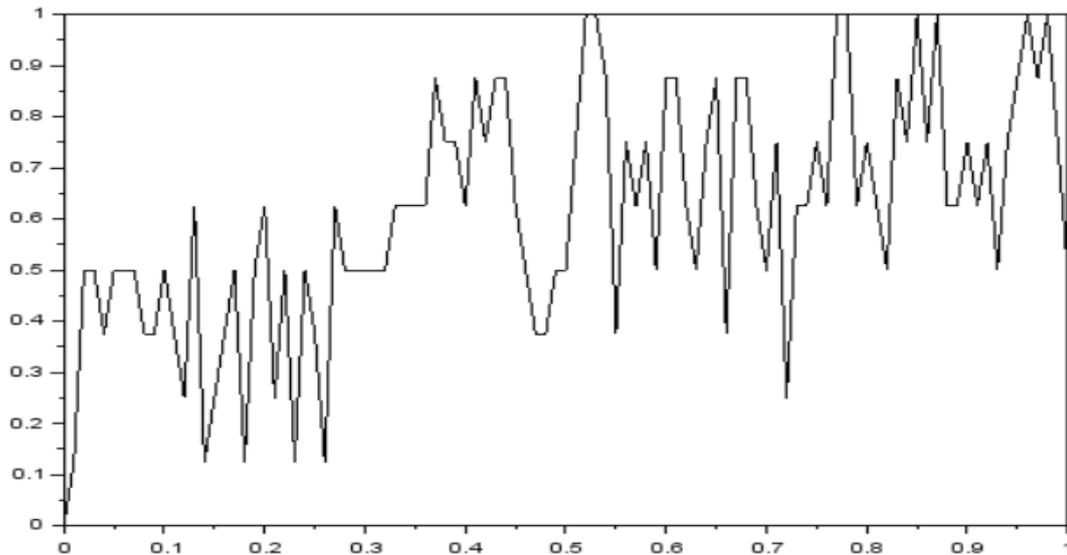
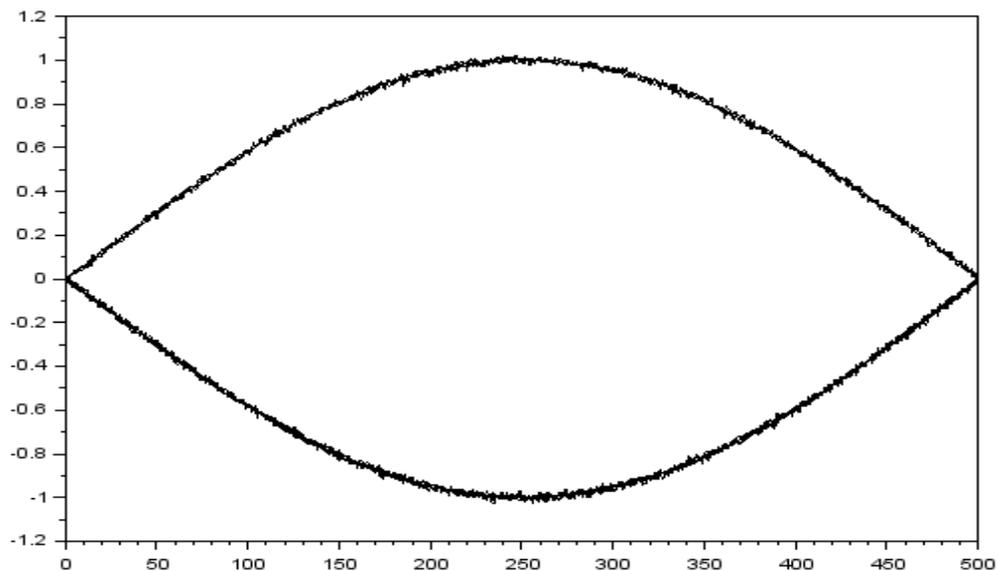


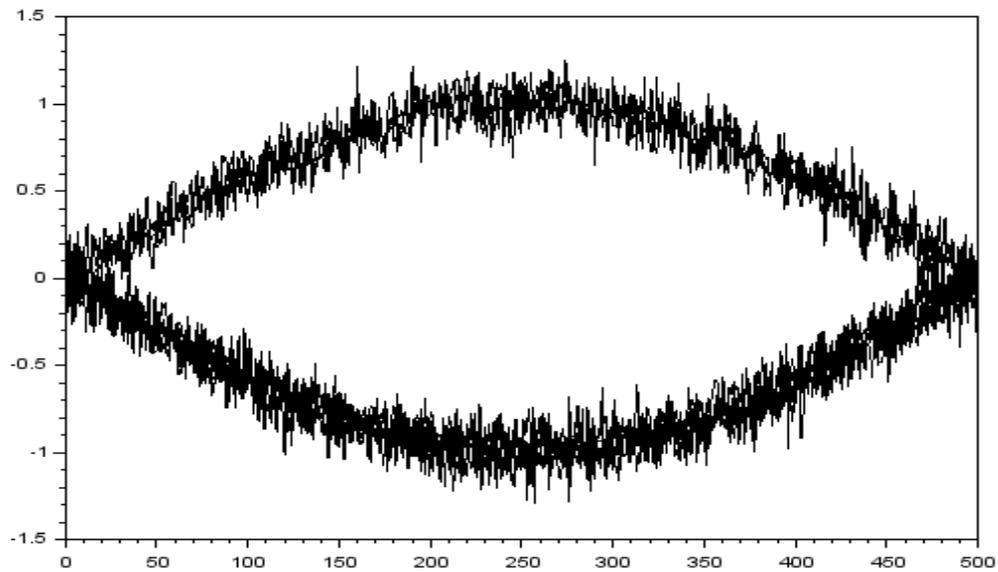
Figure III 6 BER en fonction de puissance du bruit

III.9. DIAGRAMME DE L'ŒIL

Les résultats de la figure ci-dessous montrent le diagramme de l'œil qui permet de déterminer la qualité du canal de transmission. L'ouverture verticale du diagramme de 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. On peut constater sur cette figure que le diagramme de l'œil devient plus bruité lorsque l'écart type du bruit augmente.



A)



B)

Figure III 7 Diagramme de l'œil : A) $sgm=0.01$ et B) $sgm=0.1$

Exemple : utilisateur3

Cet exemple de simulation illustre l'influence du bruit sur le canal de transmission. La qualité de la transmission peut être donc estimée par le BER comme il est montré sur cet exemple. On voit que pour un bruit d'écart type de 0,19, le BER est égale à 50% ce qui correspond à 4 bits erronés sur une information de 8 bits. Ce résultat peut être vérifié en comparant l'information reçue à celle transmise.

```
-->rd(1,:) //info u3 transmise
```

```
ans =
```

```
0 1. 1. 1. 0 0 1. 1.
```

```
-->rdR(20,:) //info u3 reçue pour un bruit d'écart type de 0,19
```

```
ans =
```

0 1. 0 0 0 0 0 0 //4 bits erronés pour un bruit d'écart type de 0,19

-->ber(20) //ber pour un bruit d'écart type de 0,19

ans =

0.5 ou 50% de bits erronés

-->4/8

ans =

0.5

III.10. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude de simulation d'un système hybride OFDM/OCDMA.

La transmission à travers un canal bruité pour une simulation plus réaliste et plus correcte, nous avons introduit un bruit blanc Gaussien au centre dans le canal de transmission et on a étudié le taux d'erreur de bit qui permet d'estimer le nombre de bit erronés par rapport au nombre de bit de l'information utile transmise et aussi le diagramme de l'œil pour permettre de déterminer la qualité du canal de transmission.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce travail, nous avons proposé un système hybride pour la communication basé sur le multiplexage par division orthogonale de la fréquence (OFDM) et l'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA). Le but est de satisfaire la demande croissante en débits de données plus élevés. L'utilisation des sous-porteuses multiplexées non orthogonales (SCM) avec (OCDMA) nécessite une bande plus large, donc un nombre limité de sous-porteuses et par conséquent un nombre limité d'utilisateurs ainsi qu'un débit de données faible. Cependant, les sous-porteuses orthogonales (OFDM) qui sont étroitement espacées en raison de la propriété d'orthogonalité, et en plus de leur évanouissement de sélectivité en fréquence réduite, sont donc cruciales pour augmenter les sous-porteuses et donc, augmenter les débits de données ainsi que le nombre d'utilisateurs. Pour étudier ce système hybride OFDM/OCDMA, nous avons réalisé une simulation sous Scilab qui est un logiciel libre. Dans cette simulation, nous avons traité un exemple simple d'un certain nombre d'utilisateurs utilisant un code orthogonal bipolaire, notamment, le code Hadamard/Walsh pour la division de code, et l'algorithme de la transformée de Fourier rapide (fft) pour la division de fréquence. Pour une simulation plus réaliste, nous avons introduit un bruit dans le canal optique et étudié le diagramme d'œil ainsi que le taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la variance du bruit. L'avantage dans la présentation de cette simulation à l'aide de logiciels libres tels que Scilab, est d'encourager les lecteurs à utiliser des logiciels gratuits au lieu d'utiliser des logiciels coûteux tels qu'Optisystem. Les résultats obtenus dans ce travail en utilisant Scilab sont très similaires à ceux obtenus avec Optisystem. Pour cela, nous proposons, en perspective, de généraliser la simulation à l'aide de Scilab au cas de la transmission 'optique'.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] D. Tse and P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communication". Cambridge University Press, 2005.
- [2] M Benyarou, « Optimisation des systèmes multi-antennes : appliqués aux systèmes MCCDMA, » Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2013.
- [3],[4] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017, page 7.
- [5],[6] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017, page 8.
- [7] Pierre GRUYER, Simon PAILLARD, « Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM », Université de Bretagne 12 décembre 2005.
- [8] Y. S. Cho, J. Kim, W. Y. Yang, and C. G. Kang, MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB : John Wiley & Sons, 2010, pages 8.
- [10] Baouni Abdelkhalak, « Estimation du canal et élimination des interférences ICI dans les communications mobiles avec modulation OFDM », Mémoire pour obtenir le diplôme de Magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Mantouri Constantine, Département d'électronique, Laboratoire signaux et systèmes de communication, Option : Télécommunications spatiales.
- [11] S. Verdú, "Fifty years of Shannon theory," IEEE Transactions on information theory, vol. 44, no. 6, pp. 2057-2078, 1998.
- [12] H. Schulze and C. Lüders, "Theory and applications of OFDM and CDMA : Wideband wireless communications", John Wiley & Sons, 2005.
- [13] S. Haykin, "Communication Systems", Wiley Publishing, 2009.
- [14] M. Tayebi, "Performances des systèmes OFDM dans les canaux radio-mobiles," thèse de doctorat, Université de Sidi Bel Abbes, 2014
- [15] Ferouani Souhila, « Étude et Implémentation d'un système MIMO dans un contexte OFDM », Diplôme de Magister de l'école Doctorale des Technologies et applications spatiales, Spécialité : Télécommunication et Informatique Spatiales, pages 82010.
- [17] T. T. Ha, "Theory and design of digital communication systems", Cambridge University Press, 2010.
- [18] I. Chiali, F. Debbat, and F. T. Bendimerad, "Performance analysis of spatial multiplexing MIMO-OFDM system with different equalisers and guard intervals," International Journal of Communication Networks and Distributed Systems, vol. 17, no. 2, pp. 147-163, 2016.

- [19] Khaled Atoub, « Optimisation de la FFT à virgule fixe basée sur les algorithmes génétiques », Mémoire présenté à l'université du Québec à Trois-Rivières, Novembre 2013.
- [20] Melle Boumediene Fatima Zohra, « Limites des performances de la technique Multi-porteuse « OFDM » dans les systèmes Radio-mobiles », Thèse de Doctorat Spécialité Télécommunication, Département de Télécommunication, Faculté de génie électrique, Université Djilali Liabes de Sidi-Bel-Abbes, pages 28,2019.
- [21] Kaïs MABROUK. « Conception et réalisation d'un système de Télécommunications MIMO avec formation numérique de Faisceaux en réception ; Calibrage aveugle du Démodulateur triphasé Zéro IF et comparaison au démodulateur classique à 2 voies I et Q », Ecole nationale supérieur des télécommunications, 12 Décembre 2008.
- [23] Melle Boumediene Fatima Zohra, « Limites des performances de la technique Multi-porteuse « OFDM » dans les systèmes Radio-mobiles », Thèse de Doctorat Spécialité Télécommunication, Département de Télécommunication, Faculté de génie électrique, Université Djilali Liabes de Sidi-Bel-Abbes, pages 29, 2019.
- [25] Proakis, J.G. (2001). Digital communications (4th ed.). New York, N.Y: McGraw-Hill.
- [26] R. Van Née et R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House Publishers, 2000.
- [27] S. Kaiser et P. Robertson, « The Effects of Doppler Spreads in OFDM (A)Mobile Radio Systems », IEE E Vehicular Technology Conférence, Vol. 1, pp. 329-333, septembre 1999.
- [28] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim et al, « MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB » wiley editorial Offices, 2010.
- [29] Zeritlet Hadjer et Tabti Hanae, « Simulation de système hybride SAC-OCDMA/OFDM sur une liaison optique point à point », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Réseaux de Télécommunications, Faculté de la Technologie, Département d'électronique, Université Dr. Tahar Moulay Saida, 2019/2020.
- [30] I. Fsayfes, "Encodage et décodage temporels « tout optique » à réseaux de Bragg pour l'accès multiple", Thèse de doctorat, École doctorale d'informatique et de télécommunications et électronique de paris, 2007, page 8.
- [31] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017, page 12.
- [32] Simon Ayotte, « Systèmes optiques à accès multiple par répartition de codes : étude des performances et de l'impact du bruit d'intensité », Thèse de doctorat, université Laval Québec des sciences et de génie, 2007.
- [33] G. Pille, « Optical distribution multiplexing using spectral codes in integrated optics », Université Montpellier II, composants et systèmes électroniques, 2005.

- [34] I. Fsayfes, "Encodage et décodage temporels « tout optique » à réseaux de Bragg pour l'accès multiple", Thèse de doctorat, École doctorale d'informatique et de télécommunications et électronique de paris, 2007, page 10.
- [35] Harold Rotimi Adegnanjou « Implémentation du CDMA dans les réseaux d'accès sur fibre », rapport du stage, université d'Abomey-Calavi.
- [36] Berra Salah et Benaouf Soufiane, « Evaluation des performances d'un système de télécommunication hybride SAC-OCDMA/FSO », Juillet 2019.
- [37] Ilunga Kashama Oné, « Étude des performances d'un système de transmission optique FSO-(SAC-OCDMA 2-D temps, longueur d'onde) », Université de Lubumbashi Congo, école supérieure des ingénieurs industriels, Novembre 2020.
- [38] Mme Driz Samia « Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », thèse de doctorat, spécialité Télécommunication, université Djillali Liabes Sidi_Bel-abbes, 2018.
- [39] I. Fsayfes, "Encodage et décodage temporels « tout optique » à réseaux de Bragg pour l'accès multiple", Thèse de doctorat, École doctorale d'informatique et de télécommunications et électronique de paris, 2007, page 13.
- [40], [41] Ilunga Kashama Oné, « Étude des performances d'un système de transmission optique FSO-(SAC-OCDMA 2-D temps, longueur d'onde) », Université de Lubumbashi Congo, école supérieure des ingénieurs industriels, Novembre 2020, page 31.
- [42] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017, page 14.
- [43] Ilunga Kashama Oné, « Étude des performances d'un système de transmission optique FSO-(SAC-OCDMA 2-D temps, longueur d'onde) », Université de Lubumbashi Congo, école supérieure des ingénieurs industriels, Novembre 2020, page 33.
- [44] Ilunga Kashama Oné, « Étude des performances d'un système de transmission optique FSO-(SAC-OCDMA 2-D temps, longueur d'onde) », Université de Lubumbashi Congo, école supérieure des ingénieurs industriels, Novembre 2020, page 34.
- [45] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017, page 14.
- [46] CHERIFI ABDELHAMID, « analyse et évaluation de performance de la modulation multi porteuses dans la transmission de l'information », Thèse de doctorat, Université Abd el Hamid Ibn Badis de Mostaganem, Option composantes, signaux et système, 06/04/2017.
- [47] JULIEN PENON, « Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de BRAGG », Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université LAVAL dans le cadre du programme de Doctorat en génie électrique pour l'obtention du grade de philosopiea Doctor (PHD), Département de

génie électrique et de génie informatique, Faculté des sciences et de génie, Université LAVAL Québec, 2009, pages 31.

[48] Khater Yasser et Khobzi Mohammed, « Technique OCDMA : Application dans les réseaux de communications optiques », Mémoire présenté pour l'obtention de Maste en Réseaux et Télécommunications, Département de télécommunication, Faculté de la Technologie, Université Abou-Bakr Belkaid-TLEMCEM, 22/06/2020.

[49] Rashid Ali Fayadh et Ali Mahdi Hamadi, « performance improvement hybride SCM SAC-OCDMA networks using multi diagonal code », middle technical university, college of electrical and electronic engineering techniques, Baghdâd.

[50], [51] M.Garadi Ahmed, « Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : Application aux systèmes SAC-OCDMA », Thèse de Doctorat Pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences, Spécialité: Électronique, Option: Signal et Télécommunications, Laboratoire de Télécommunications et de Traitement Numérique du Signal, Département D'électronique, Faculté de Technologie, Université Djillali Liabès de Sidi- Bel-Abbes, 02/02/2015.

[52], [53] M.Bouregaa, M.Chikh-Bled et A.Ikhlef, « Analyse les performances d'un système DS-OCDMA en utilisant les codes optiques orthogonaux (OOC) », Université Abou Bakr Belkaid, Faculté de Technologie Laboratoire de Télécommunications, Tlemcen, Algérie, European Scientific Journal edition vol.9, No.33 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, Novembre 2013.

[54] Block diagram of the FFT based OFDM|researchgate.net