



Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

Barr Tarek

Et

Guerbi Oualid

Thème

Évaluation des performances d'un système MIMO-OFDM dans un réseau sans fil

Soutenu le : **04/07/2022**

Devant la commission composée de :

Mr :	ALIMOHAD Abdennour	M.C.B.	Univ. Bouira	Président
	SAOUD Bilal	M.C.A	Univ. Bouira	Rapporteur
	AYAD Mouloud	M.C.A	Univ. Bouira	Examineur

Dédicaces 1

*J*e dédié ce mémoire

A

Mes **CHERS PARENTS**

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et mon considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

A mon précieuse mère, père les titres de sacrifice et de tendresse qui m'a enseigné le sens de la lutte, et a été mon premier aide après dieu.

A mon encadreur Dr. Ing. SAOUD BILAL

A mes frères, sœurs

A mes amis.

A toute ma famille.

A toute personne ayant contribué à mon cursus académique et professionnel.

Oualid

Dédicaces 2

*J*e dédié ce mémoire

A

Les plus chers à mon cœur, mes parents qui ont œuvré pour ma réussite, pour toute leur assistance et leur présence pour m'aider à avancer dans la vie.

A mon encadreur Dr. Ing. SAOUD BILAL

A mon cher frère.

Au reste de toute ma famille

Ainsi que mes proches amis qui n'ont cessé à m'encourager.

Tarek

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein de la faculté des Sciences et sciences appliquées de
l'Université de Bouira.

Nous tenons à remercier, Avant tout, Allah le tout puissant qui nous a donné le
courage, la volonté et la patience d'accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à Dr. Ing. SAOUD BILAL Directeur de ce mémoire,
pour tout le soutien qu'il nous a apportée, sa disponibilité, ces conseils avisés et les
connaissances qu'il a généreusement partagées avec nous a fin de mener à bien ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux à toute l'équipe de département génie électrique.

Nous remercions également toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à
l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury Mr. ALIMOHAD Abdenmour et

Mr. AYAD Mouloud qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail

Merci à vous tous.

Résumé

MIMO-OFDM est l'interface hertzienne dominante pour les communications sans fil à large bande 4G et 5G. Il combine la technologie à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO), qui multiplie la capacité en transmettant différents signaux sur plusieurs antennes, et le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), qui divise un canal radio en un grand nombre de sous-canaux rapprochés pour fournir communications plus fiables à grande vitesse. Dans notre étude nous avons évalué le système MIMO-OFDM. Nous avons proposé quelques scénarios de simulation afin d'étudier l'impact, la déférence et le taux d'erreurs sur ce système. Nous avons exploité le logiciel Matlab pour simuler nos scénarios. Les résultats de simulation nous montrent que MIMO-OFDM est plus fiable et le choix de la modulation a un impact considérable sur ses performances.

Mots clés : Réseau sans fil, MIMO, OFDM, STBC, BER, AWGN

Table des Matières

Remerciements	I
Résumé	II
Table des Matières.....	III
Liste des Figures.....	V
Liste des Acronymes	VI

Introduction Générale 1

Chapitre I : Introduction aux communications et réseau sans fil

I.1. Introduction.....	3
I.2. Réseau sans fil.....	3
I.2.1. Catégories de réseau sans fil	3
I.3. L'intérêt de réseau sans fil	6
I.4. Génération de réseaux cellulaires	6
I.4.1. Première génération (1G).....	7
I.4.2. Deuxième génération (2G).....	7
I.4.3. Troisième génération (3G).....	7
I.4.4. Quatrième génération (4G)	7
I.4.5. Cinquième génération (5G).....	7
I.5. canal sans fil (de transmission).....	8
I.5.1. Définition de canal sans fil (de transmission).....	8
I.5.2. Types de canal de transmission.....	8
I.6. Les phénomènes liés au canal sans fil.....	8
I.7. Conclusion	9

Chapitre II : État de l'art sur les systèmes MIMO-OFDM

II.1. Introduction	11
II.2. Système MIMO	12
II.2.1. Les Différents systèmes d'antennes.....	12
II.2.2. Principe de système MIMO	13
II.2.3. Types de codage MIMO	14
II.2.4. Modélisation du canal d'un système MIMO	15
II.2.5. Capacité d'un système MIMO	16
II.3. OFDM.....	17
II.3.1. Définition OFDM	17

II.3.2. Modulation dans OFDM.....	17
II.3.3. Modulation QAM	18
II.3.4. Modulation BPSK.....	18
II.3.5. Transformée de Fourier Inverse rapide / Transformée de Fourier Rapide	19
II.3.6. Problème du trajet-multiple	19
II.3.7. L'orthogonalité et les Interférences enter symbole.....	20
II.3.8. Traiter les Interférences entre symbole (ISI) avec des Intervalles du garde.....	20
II.3.9. Cyclic Prefix	21
II.3.10. Zero padding	22
II.4. Association MIMO-OFDM	23
II.4.1. Schéma block d'un système MIMO –OFDM	23
II.5. Conclusion	24

Chapitre III : Simulation d'un système MIMO-OFDM

III.1. Introduction	26
III.2. La méthodologie de travail.....	26
III.3. Métrique d'évaluation	26
III.4. Résultats de simulations	26
III.4.1. Scénario 1	27
III.4.2. Scénario 2.....	28
III.4.3. Scénario 3.....	29
III.4.4. Synthèse :	30
III.5. Conclusion.....	30

Conclusion Générale	32
----------------------------	-----------

Références	33
-------------------	-----------

Liste des Figures

Chapitre I : Introduction aux communications et réseau sans fil

Fig I.1. Classification de réseaux sans fil	4
Fig I.2. Catégories de réseaux sans fil selon la zone de couverture	6
Fig I.3. L'évolution de la communication sans fil	10

Chapitre II : Etat de l'arte sur le système MIMO-OFDM

Fig II.1. Les Différents systèmes d'antennes	13
Fig II.2. Système MIMO	14
Fig II.3. Schéma de code Alamouti	16
Fig II.4. Modèle de canal MIMO	17
Fig II.5. Diagramme bloc OFDM	19
Fig II.6. Représantation d'effet multi-trajet	20
Fig II.7. Représentation de quatre sous-porteuses orthogonales	21
Fig II.8. Représentation d'interférence entre sous porteuses	21
Fig II.9. Effet de canal multi trajet sur un signale reçu sans intervalle du garde	22
Fig II.10. Deux symboles OFDM consécutif avec un CP	22
Fig II.11. Effet ISI dans un canale multi-trajet sur chaque sous-pourteusse	23
Fig II.12. Effet ISI sur un symbole OFDM avec Zero Padding	23
Fig II.13. Schéma bloc d'un système MIMO-OFDM	24

Chapitre III : Simulation d'un système MIMO-OFDM

Fig III.1. Comparaison entre MIMO-OFDM et SISO-OFDM	28
Fig III.2. Comparaison entre MIMO-OFDM et MISO-OFDM	29
Fig III.3. Comparaison enter type de modulation QAM et BPSK sur system MIMO-OFDM	30

Liste des Acronymes

• Acronymes

AWGN	Additive white Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BLR	Boucle Locale Radio
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CATV	Community Antenna TV
CP	Cyclic Prefix
DTT	Digital Terrestrial Television
FFT	Fast Fourier Transform
FDM	Frequency Division Multiplexing
GSM	Global System Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
ICI	Inter-Carrier Interference
IES	Interférences Entre Symboles
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MCM	Multi carrier modulation
MSK	Minimum Shift Keying
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PSD	Power Spectral Density
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
SDM	Space Division Multiplexing
STBC	Space-Time Block Coding
TFD	Discrete Fourier Transform
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WPAN	Wireless Personal Area Network
WLAN	Wireless local area network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

WIFI Wireless Fidelity

WIMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

ZP Zero padding

Introduction Générale

Introduction Générale

La communication sans fil est devenue une nécessité car le téléphone est devenu plus intelligent avec des applications plus interactives permettant aux gens d'être toujours en communication constante, et à cette fin, libérer l'utilisateur des chaînes des fils a toujours été l'objectif des chercheurs. Pour pouvoir dire que nous avons une communication sans fil satisfaisante, nous devons avoir une bonne qualité et des débits de transmission élevés. Il n'y a pas de communication parfaite. Il y a toujours un obstacle et pour la communication sans fil, l'un des problèmes majeurs est le multi-trajet. Un phénomène qui nuit au signal transmis. Mais il existe un certain nombre de façons de le surmonter. Dans notre étude, nous explorons la solution qui est la combinaison de Multi-input Multi-output (MIMO) et Orthogonale Frequency Division Multiplexing (OFDM).

MIMO qui permet la robustesse contre évanouissement par trajets multiples et l'amélioration de la qualité de transmission et la modulation multi-porteuse OFDM qui utilise un ensemble de sous porteuse orthogonale pour transmettre les informations [18].

Pour atteindre la demande de débits de données étendus et de capacité de canal élevée nous devons combiner OFDM avec MIMO pour traiter la sélectivité en fréquence des canaux sans fil et obtenir de la diversité. MIMO-OFDM fournit un taux d'envoi de données plus élevé que le seul et d'offrir des communications à très haut débit à travers les canaux sélectifs en fréquence [18]. À travers notre mémoire, nous étudions ces techniques et nous allons évaluer les performances de ces techniques à travers des simulations.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre introduit le réseau sans fil, ses catégories ainsi que ses intérêts. Puis une brève explication de la communication sans fil et ses différentes générations. À la fin nous allons illustrer le canal de transmission, ses types et les phénomènes qui peuvent affecter un signal.

Le deuxième chapitre commence par un aperçu des systèmes de transmission MIMO et son principe, types de codage et modélisation d'un canal. Ensuite, le système OFDM est présenté suivi par un bilan de type de modulation. Enfin, Nous terminons par la combinaison des systèmes MIMO et OFDM.

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation des performances à travers une simulation par le logiciel Matlab. Les résultats d'évaluation d'un système MIMO-OFDM avec l'utilisation de codage STBC (Space-Time Block Coding). Nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I

**Introduction aux communications
et réseau sans fil**

Chapitre I : Introduction aux communications et réseaux sans fil**I.1. Introduction**

Le développement de la technologie sans fil (Wireless network) offre aujourd'hui une nouvelle perspective au domaine des télécommunications. Due aux développements des moyens de communication sans fil qui permettent la manipulation de l'information par des unités informatiques portables présentant certaines caractéristiques (faible capacité de stockage, alimentation autonome, etc.) et l'accès au réseau via une interface de communication sans fil. Le développement des appareils informatiques et les progrès des infrastructures de communication ont conduit à la croissance rapide des réseaux sans fil. Dans nos jours la demande de connexion à internet haut débit se fait croissante, sur ce de nombreuses normes des technologies sans fil ont été développées

Ce chapitre a pour but d'introduire le réseau sans fil et présente ses différentes catégories existant dans le domaine de télécommunication, de même pour les communications sans fil, Ainsi une brève explication de canal sans fil et ces types sera présentée.

I.2. Réseau sans fil

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau informatique ou ensemble d'appareils interconnectés entre eux par onde radio (sans lien physique), ou bien on dit que les systèmes sans fil sont des systèmes de communication qui n'utilisent pas un support physique. Le réseau sans fil peut associer à un réseau de télécommunication pour réaliser des interconnexions entre nœuds [1]. Ainsi, est un réseau qui permet la connexion de différents nœuds sans avoir besoin de contact physique, mais il établit la connexion avec les ondes électromagnétiques qui permettent le transfert des informations et le partage des ressources.

I.2.1. Catégories de réseau sans fil

Un réseau sans fil est un réseau où au moins deux nœuds peuvent avoir une communication sans liaison physique. Ces réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est la zone de couverture, le second critère est selon l'infrastructure [3]. La figure I.1 présente la classification des réseaux sans fil.

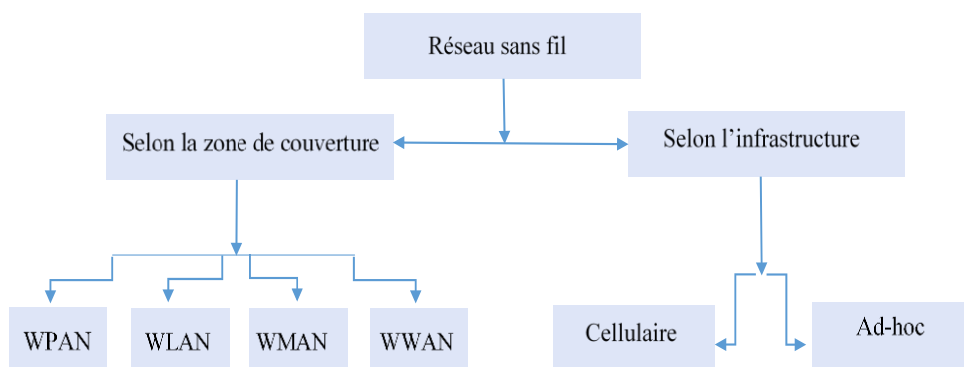


Figure I.1 : Classification de réseaux sans fil [2].

I.2.1.1. Selon la zone de couverture

Le développement technologique a permis d'apparence des réseaux sans fil et son développement est en plein essor par opposition aux réseaux filaires qui utilisent différents types de câbles. De plus les réseaux sans fil sont faciles à l'installation. Selon la portée du réseau et les débits binaires utilisés, différentes technologies de réseaux sans fil sont désormais en passant par les WPAN (Wireless PAN) ou PAN sans fil, aux réseaux WWAN (Wireless WAN) ou WAN sans fil.

a) Réseaux personnels sans fil (WPAN)

C'est un réseau personnel sans fil ou WPAN (Wireless Personal Area Network). C'est un réseau sans fil d'une faible portée, de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques ...) ou bien permettre la liaison sans fil entre deux machines de petites distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN, qui permettent la mise en œuvre de tels réseaux qui sont Bluetooth, home RF, zig Bee, liaisons infrarouges [3].

b) Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Les réseaux locaux sans fil (Wireless local area network) permettent d'avoir une couverture équivalente à un local. Ces réseaux sont en plein de développement du fait de la flexibilité de leur interface. WLAN permet à un utilisateur de changer de place dans son entreprise tout en restant connecté. Ces réseaux atteignent des débits de plusieurs mégabits par seconde, voire de plusieurs dizaines de mégabits par seconde. Ces réseaux sont principalement basés sur les technologies suivantes : WIFI, hiperlan1&2 [1].

c) Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (Wireless Metropolitan Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. BLR offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10kilomètres, ce qui destine principalement cette

technologie aux opérateurs de télécommunication. La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le wimax [3].

d) Réseaux sans fil étendus (WWAN)

Le WWAN est un réseau étendu sans fil (Wireless Wide Area Network). Il est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes : GSM, GPRS, UMTS [3].

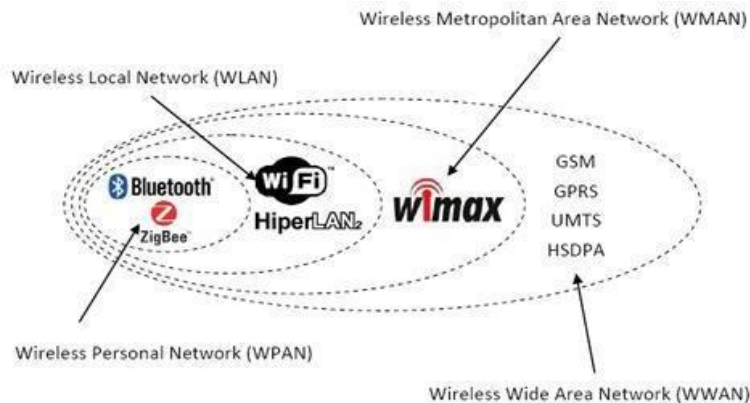


Figure I.2 : Catégories de réseaux sans fil selon la zone de couverture [4]

I.2.1.2. Selon l'infrastructure

Les environnements mobiles sont des systèmes composés de sites mobiles et qui permettent à leurs utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

a) Réseaux cellulaires (avec infrastructure)

Par définition un réseau cellulaire est un système de télécommunication qui doit répondre aux contraintes de la mobilité de l'abonné dans le réseau par l'étendue du réseau et par les ondes radio qui lui sont allouées. Un système de réseau cellulaire couvre l'ensemble d'infrastructures spécialement destinées aux équipements d'acheminement de communication vers les mobiles et où les ondes radio.

b) Réseaux ad hoc (sans infrastructure)

Le réseau mobile sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé des stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau [6].

I.3. L'intérêt de réseau sans fil

a) Facilité d'utilisation

Les réseaux sans fil sont faciles à utiliser. Ouvrez simplement un appareil informatique portable et recherchez les connexions sans fil disponibles. Si vous vous trouvez dans une zone urbaine, vous verrez probablement le nom du réseau de votre café préféré, de votre hôpital local ou du point d'accès de votre bibliothèque publique. Cette capacité à communiquer sans chercher à ouvrir le monde de l'information d'un simple clic. Les entreprises de télécommunications continuent d'investir dans l'expansion de ces systèmes [2].

b) Faible couts

Les coûts du câblage représentent une grande partie du budget du projet de réseau. Les réseaux sans fil sont moins chers à installer que les réseaux conventionnels (câblés). La maintenance et la vérification de ces réseaux et aussi à faible coût [2].

c) Transportabilité

Car le réseau sans fil ne nécessite pas de câblage donc il peut être déplacé facilement. N'importe quelle entreprise peut récupérer ses équipements sans fil et déménager dans un autre endroit facilement. Cette capacité donne aux entreprises un degré élevé de flexibilité en période d'expansion ou de contraction [2].

I.4. Générations de réseau cellulaires

Depuis plusieurs années le développement des radiotéléphones fait partie de ces grandes avancées technologiques. Plusieurs générations ont été proposées et développées. Ils ont commencé par la 1^{ère} génération (1G), ensuite des améliorations jusqu'à la 4^{ème} génération (4G). Actuellement la 5G est déployée. La figure suivante monte le développement de ces générations au fil de temps.

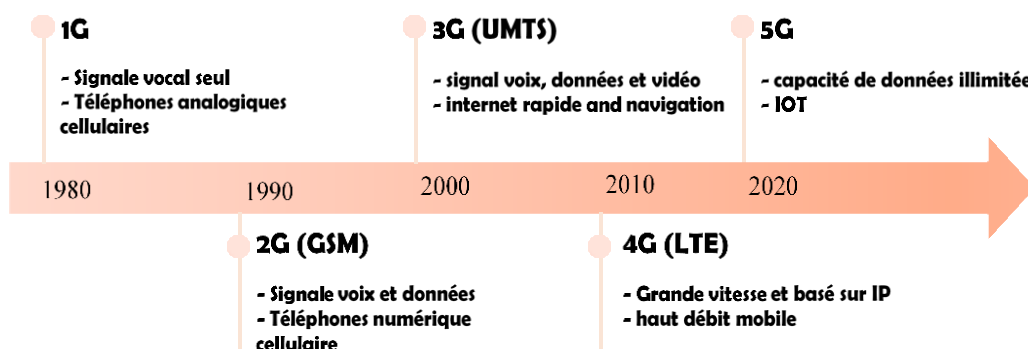


Figure I.3 : Evolution de la communication sans fil

I.4.1. Première génération (1G)

La première génération de téléphonie mobile (1G) a été utilisée au début des années 80. Cette génération possède un fonctionnement analogique et connu une qualité de transmission bonne mais à un débit insuffisant pour l'envoi de gros paquets de données. La sécurité des données n'était pas garantie, de plus le coût du déploiement très élevé. Donc ce réseau cellulaires été rendu obsolète avec l'arrivée d'une nouvelle génération entièrement numérique.

I.4.2. Deuxième génération (2G)

La deuxième génération de téléphonie mobile (2G) ou bien GSM (Global System for Mobile communications) entièrement numérique. Le principal standard de téléphonie mobile 2G est le GSM le plus utilisé en Europe utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Cette norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbit/s, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume [8].

I.4.3. Troisième génération (3G)

La Troisième génération de téléphonie mobile (3G) représentée principalement par l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbits, utilisent des bandes de fréquences 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. Elle ouvre la porte à des usages multimédias tels que la visio-conférence, la transmission de vidéo ou l'accès à internet à haut débit [8].

I.4.4. Quatrième génération (4G)

La quatrième génération de réseau mobile 4G plus performante que les normes UMTS du réseau 3G. Ces réseaux ont permis l'intégration de nouveaux services et d'optimiser les indicateurs de performance radio dans le réseau. 4G propose un débit de 150 Mbit/s et offre une connexion très rapide à Internet grâce à l'utilisation des antennes multiples.

I.4.5. Cinquième génération (5G)

La cinquième génération de réseau mobile (5G) n'en est qu'à ses débuts pour le moment, la 5G pourrait permettre des débits de télécommunication mobile de plusieurs gigabits de données par seconde et pourra traiter 1000 fois plus de trafic que les réseaux d'aujourd'hui, Le but est de connecter non seulement les tablettes et les smartphones mais plus globalement l'ensemble des objets [7].

I.5. Canal sans fil (de transmission)

I.5.1. Définition de canal sans fil

Les systèmes de communications sans fils composés de trois éléments principaux l'émetteur, le récepteur et un canal radio (sans fil) via lequel les informations provenant de l'émetteur sont véhiculées au récepteur, Ainsi Le canal est l'espace entre l'antenne d'émission et de réception représente le médium le plus soumis aux perturbations [9] dans lequel se propage l'onde électromagnétique.

I.5.2. Types de canal de transmission

a) Canal avec bruit blanc additif gaussien (AWGN)

Le canal AWGN « Additive White Gaussian Noise » est le modèle de canal le plus fréquemment utilisé et qui est aussi un des plus faciles à générer et analyser, dans lequel un bruit blanc gaussien AWGN noté $b(t)$ s'ajoute au signal. Ce bruit est généré par des signaux parasites transitant sur le même canal et par le bruit thermique des composants électroniques [10].

b) Canal de Rayleigh

C'est la distribution que l'on utilise pour modéliser les évanouissements dus aux multi-trajets incohérents lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vue directe. C'est un des canaux de propagation les plus difficiles, mais assez courant en milieux urbains denses [11].

c) Canal de Rice

Ce modèle est souvent utilisé pour caractériser un environnement de propagation comprenant une composante spéculaire forte due à une vue directe entre l'émetteur et le récepteur, et une multitude de trajets incohérents dus aux diffuseurs de l'environnement [11].

I.5.3. Les phénomènes liés au canal sans fil

En communication sans fil, un canal est un médium qui est utilisé pour la transmission d'un signal de la source vers le récepteur à travers les ondes électromagnétiques. Quel que soit le mode de transmission, il y a toujours des phénomènes aléatoires non prévisibles qui affectent le signal transmis avant d'atteindre la réception.

a) Le bruit

Le bruit est un signal parasite aléatoire, C'est l'un des problèmes les plus rencontrés dans la transmission. Il est généré par les composantes internes du système de communication. Il est modélisé par un bruit blanc gaussien additif AWGN.

b) Les évanouissements

L'antenne reçoit la somme du signal transmis en ligne directe et du même signal ayant parcouru des trajets différents. Lorsque les paramètres du signal (phase, amplitude...) sont modifiés par les trajets multiples, on parle alors de phénomène d'évanouissement «Fading ». On distingue 3 phénomènes d'évanouissement (path loss, shadowing, small scale fading)

c) Trajet multiples

Lors de la propagation de l'onde électromagnétique, celle-ci subit un grand nombre d'interactions avec l'environnement. Par conséquent, les ondes empruntent des trajets différents avant d'atteindre le récepteur et ne parcourant pas la même distance et ne se réfléchissant pas sur les mêmes surfaces, elles arrivent à des instants et à des niveaux de puissance différents.

Les trajets multiples causant les évanouissements, d'une autre part ces trajets multiples sont très utiles pour les cas des systèmes MIMO qui les exploitent pour une bonne performance en matière de capacité [12].

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait quelques rappels importants liés aux réseaux sans fil, de même, les catégories des réseaux sans fil et son intérêt. Ensuite, nous avons présenté les différentes générations dans le domaine de télécommunication depuis la 1^{ère} génération à ce moment. Canal de transmission et ces types ont été illustrés aussi dans ce chapitre.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons le système MIMO, OFDM et l'association entre les deux.

Chapitre II

**Etat de l'art sur le système
MIMO-OFDM**

Chapitre II : État de l'art sur les systèmes MIMO-OFDM

II.1. Introduction

Les systèmes de communications modernes doivent fournir des débits de données de plus en plus élevés, puisque les systèmes conventionnels utilisant une liaison traditionnelle une seule antenne en émission et une à la réception appelé SISO (signal input signal output) sont limités par leur débit et la limitation de la bande passante.

Les modernes systèmes de communications donnent une solution permet d'accroître le débit et/ou la robustesse de système mais avec la même bande de fréquence que le système original. En effet, en augmente le nombre d'antenne à l'émission et à la réception ce qui permet l'introduction d'une troisième dimension qui est l'espace. Ce type de système est devenu très populaires et connu sous le nom MIMO qui améliorent significativement le débit de données et la capacité du canal.

L'OFDM est l'une des technologies les plus prometteuses pour les communications sans fil à haut débit. Grâce à ses caractéristiques favorables telles que la génération de signaux à l'aide de Transformation de Fourier Rapide (FFT), robustesse contre les interférences inter-symboles (ISI) et les trajets multiples avec une application facile de la technologie MIMO. OFDM a été développé dans un système populaire de communication numérique à large bande, que ce soit sans fil ou sur des fils de cuivre.

La combinaison entre les deux derniers systèmes (MIMO avec OFDM) est plus largement utilisée. Ce système (MIMO-OFDM) peut fournir un taux d'envoi de données plus élevé et permet d'exploiter les avantages des deux méthodes. Cependant, on doit d'abord construire un environnement de transmission virtuel par des outils de simulation afin d'obtenir les paramètres de canal du système en temps réel.

Nous commençons ce chapitre par la présentation de différents systèmes d'antennes qui sont vus un essor important dans le domaine de communication. Ensuite une explication détaillée de système MIMO dans les communications sans fil sera présentée. Nous allons présenter dans la deuxième partie de ce chapitre la technique de modulation OFDM. Nous allons définir les caractéristiques de cette modulation et ces paramètres IFFT/FFT, CP et ZP. Le chapitre sera finalisé par une présentation de système MIMO-OFDM.

II.2. Système MIMO

II.2.1. Les Différents systèmes d'antennes

Les systèmes d'antennes se développent de plus en plus dans le domaine des communications sans fil, grâce à se développent il existe de nombreux types différent les unes aux autre. Parmi ces types on trouve les SISO, SIMO, MISO et MIMO. Les systèmes multi-antennaires ont évolué au cours du siècle dernier et sont en constante progression actuellement [13].

II.2.1.1. Système SISO (Single Input Single Output)

Un système SISO est un système plus traditionnel et le plus simple où l'on dispose d'une seule antenne en émission et d'une autre en réception.

II.2.1.2. Système SIMO (Single Input Multiple Output)

Ce système utilise plusieurs antennes à la réception et une antenne d'émission, souvent désigné comme diversité de réception, par exemple : station de base et plusieurs antennes de réception.

II.2.1.3. Système MISO (Multiple Input Single Output)

C'est une technique qui utilise plusieurs antennes d'émission alimentent une antenne de la réception également désigné comme diversité d'émission.

II.2.1.4. Système MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Un système MIMO se caractérise par l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission ainsi qu'à la réception.

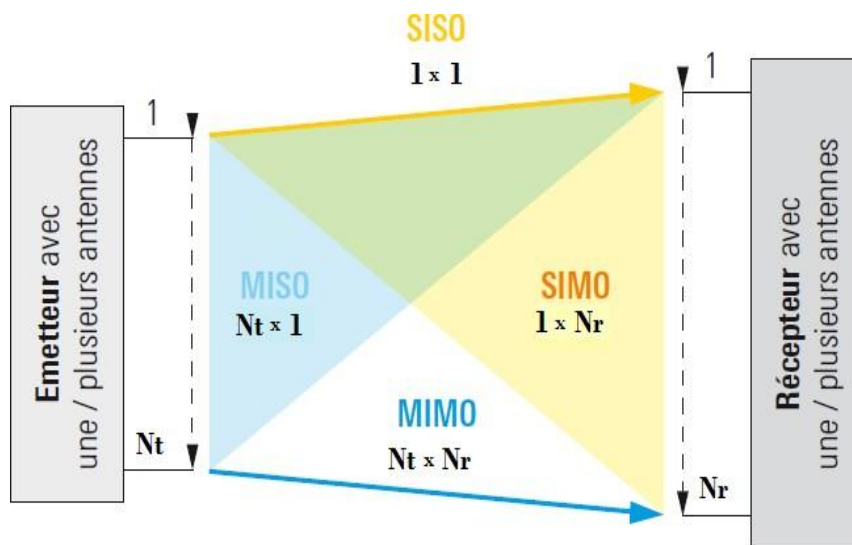


Figure II.1 : Différents systèmes d'antennes

II.2.2. Principe de système MIMO

La propagation par trajet multiple est une caractéristique importante pour la transmission de données dans les systèmes de communication sans fil. Le signal à la transmission peut prendre des trajets multiples pour atteindre la réception. MIMO est un système qui possède plusieurs antennes pour l'émission et la réception. Grâce à cette stratégie ce système atteint des débits importants sans changer la largeur de la bande allouée au signal. De plus, l'utilisation de plusieurs antennes dans les deux côtés du système de communication permet d'apporter de la diversité et par conséquent on obtient une transmission de bonne qualité [14]. La figure suivante présente le système MIMO.

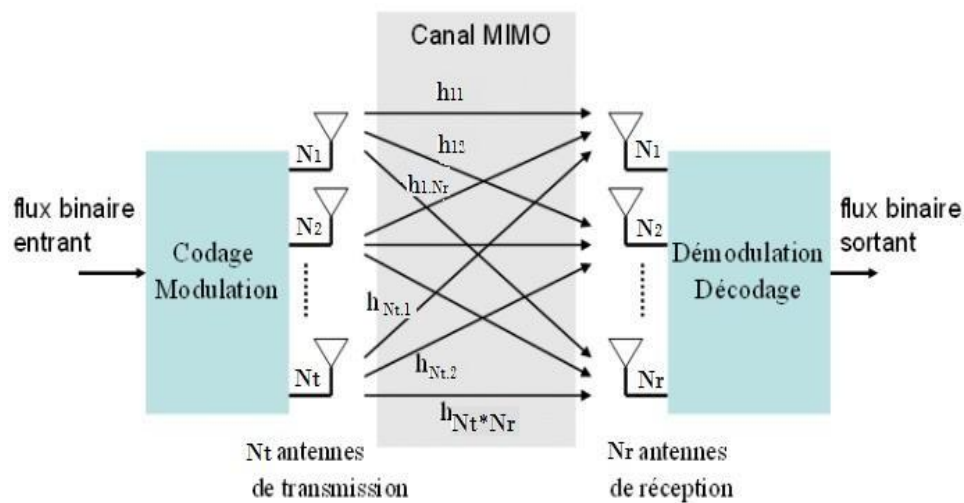


Figure II.2 : Système MIMO [15].

Cette technologie consiste à émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différentes. Même à la réception et avec certain nombre d'antennes et des traitements adéquates, il s'agit de simuler cette réception dans une même bande de n canaux différentes.

Les données (flux) à envoyées sont séparées en plusieurs flux et chacun de ces flux et envoyés sur des antennes différentes N_t à N_r récepteurs. Ensuite, un algorithme qui prend en charge de l'identification des différents flux en vue de restituer les données. La technologie MIMO profite de ces différentes canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données [16 ; 17]. Ce système représente trois avantages plus importants que le système conventionnel tel que la diversité spatiale, le multiplexage spatiale et Beamforming.

a) Diversité spatiale

On transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission permettent de créer des sous canaux indépendants. Ces antennes séparée par une distance suffisamment

grande, la même information peut ainsi être envoyée sur les différents sous canaux. La diversité a pour objectif atténué la dégradation des performances d'erreur due aux canaux à évanouissements sans fil instables, soumis par exemple à l'évanouissement par trajets multiples [18].

b) Multiplexage spatiale

La technique de multiplexage spatial est pour but que la transmission de flux de données indépendants sur plusieurs antennes simultanément, c'est-à-dire chacun de ces flux envoyé sur l'une des antennes émettrice. Foschini et Telatar ont démontré que la capacité théorique d'un système MIMO avec N_t antennes à l'émission et N_r antennes à la réception augmente linéairement ce qui implique une augmentation de débit numérique du système [19].

c) Beamforming

Le réseau d'antennes MIMO est utilisé pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé).

II.2.3. Types de codage MIMO

a) Multiplexage par répartition de fréquence orthogonale (OFDM)

Ce type de codage consiste à diviser sur un grand nombre de porteuses, le signal numérique que nous souhaitons le transmettre (comme si nous combinons le signal à transmettre sur des émetteurs indépendants et à des fréquences différentes). Pour transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée et les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles et grâce à cette orthogonalité les signaux des différentes porteuses qu'ils chevauchent n'interfèrent pas entre eux. Ainsi, certaines fréquences dans l'environnement multi-trajets seront détruites à cause des perturbations, mais le système sera capable de récupérer l'information perdue sur d'autres fréquences porteuses qui elles n'auront pas été détruites [20].

b) Multiplexage par division spatiale (SDM Spatial Division Multiplexing)

Ce type de codage illustre une technique qui consiste à multiplexés dans un canal spectral plusieurs flux de données indépendants simultanément (essentiellement des canaux virtuels). Car le nombre de données spatiales résolues est plus important. SDM peut améliorer le débit de façon significative. Donc chaque flux spatial doit avoir de sa propre paire d'antennes de

transmission/réception à chaque extrémité de la liaison radio. Une chaîne de radio fréquences RF et un convertisseur analogique-numérique sont nécessaires pour chaque antenne du système

MIMO [21].

c) Codage spatio-temporel par bloc (STBC)

Le STBC (Space Time Block Code) permet d'introduire une redondance d'information entre les deux antennes. Le canal STBC comprend $N_t \times N_r$ sous canaux. Et chaque sous canal est un canal à évanouissements indépendants, ce qui fait que le STBC augmente la diversité du canal de transmission et donc la robustesse du récepteur. Cette technique est très importante car elle n'exige pas la connaissance de l'état du canal CSI (Channel State Information). Le gain de diversité résultant améliore la qualité de la transmission et la fiabilité des liaisons sans fil à évanouissements. Ainsi pour améliorer à la fois la capacité et la qualité les deux types de codages (le SDM et le STBC) doivent être implémentés dans un système MIMO [22].

STBC est également appelé Le code Alamouti, Un code de bloc fonctionne sur un "bloc" de données à la fois. Dans le code de bloc, la sortie dépend uniquement des bits d'entrée actuels [23]. Le codage Alamouti d'un système 2x2 ($N_t=2$ et $N_r=2$) est décrit par la matrice suivante :

$$Y = \begin{bmatrix} X_1 & -X_2^* \\ X_2 & X_1^* \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{(II.1)}$$

Y est la sortie du codeur, tandis que X_1 et X_2 sont les symboles d'entrée. Le "*" désigne le complexe conjugué. Dans le premier temps T1, la première antenne transmet le symbole X_1 et la seconde antenne le symbole X_2 . Puis, dans le deuxième temps T2, les symboles $-X_2^*$ et X_1^* sont transmis simultanément depuis les deux antennes. La figure suivante montre le schéma de code Alamouti.

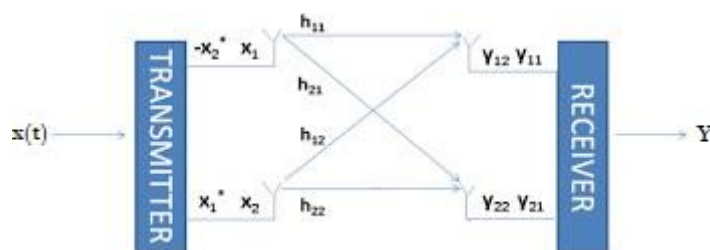


Figure II.3 : Schéma de code Alamouti

II.2.4. Modélisation du canal d'un système MIMO

Considérons le modèle de canal MIMO présenté dans la figure II.4 :

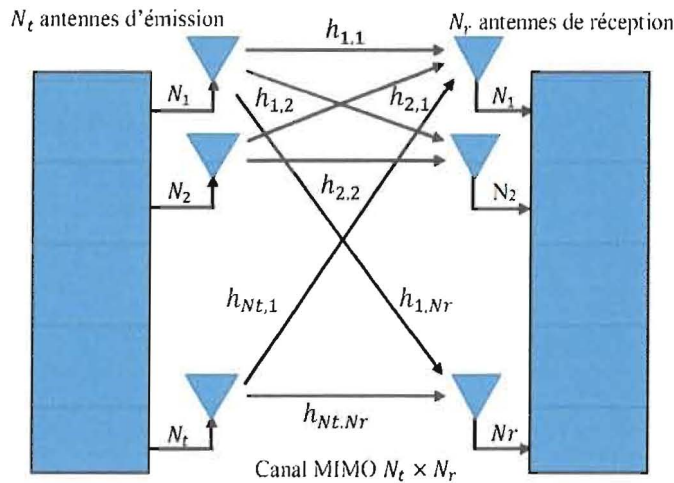


Figure II.4 : Modèle de canal MIMO [25]

L'échange de signaux entre l'émetteur et le récepteur dans un système MIMO avec N_t antenne à l'émission et N_r antennes à la réception est établi par la présence de la matrice de canal H . La relation entre ces éléments est effectuée de la manière suivante :

$$Y = Hx + n \quad \dots\dots\dots (II.2)$$

Tandis que Y et x représentent respectivement les signaux reçus et les signaux émis par les antennes émettrices et réceptrices, n est le bruit gaussien additif et H est la matrice de canal de $(N_t \times N_r)$ antennes [25]. La matrice H peut s'écrire de la façon suivante :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & \dots & \dots & h_{Nr1} \\ h_{12} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{1Nt} & \dots & \dots & \dots & h_{Nt \times Nr} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (II.3)$$

Où les h_{ji} sont les coefficients du canal : $i \in \{1, \dots, N_r\}$, $j \in \{1, \dots, N_t\}$, L'estimation de la matrice de canal est importante, sa connaissance permet d'optimiser de manière significative la reconstitution du signal.

II.2.5. Capacité d'un système MIMO

La capacité du canal, notion introduite par Shannon dans les années 40, mesure la quantité d'information maximum par unité de temps et par bande de fréquence pouvant être transmise à travers un canal particulier. Considérons un système MIMO avec N_t antennes d'émission et N_r antennes de réception ; avec ou sans connaissance du canal (la connaissance de la matrice H est

indispensable pour calculer la capacité des systèmes MIMO) [25 ; 26]. La capacité de ce système est exprimée comme suite :

$$C = (N_t \times N_r) \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \dots \dots \dots \text{(II.4)}$$

Où $(N_t \times N_r)$ est nombre d'antenne et $\frac{S}{N}$ est Le rapport signal sur bruit moyen (SNR) sur chaque antenne de réception et indépendant de $(N_t \times N_r)$.

La capacité augmente donc beaucoup plus vite que dans les cas SISO grâce en fonction de nombre des antennes.

II.3. OFDM

II.3.1. Définition OFDM

Le système OFDM est reconnu comme une technique efficace qui permet la transmission des données avec un débit élevé sur des bandes limitées. OFDM surmonte la sélectivité de fréquence par le canal [27]. Les techniques de FDM (Frequency Division Multiplexing) et multi carrier modulation (MCM) sont les prédécesseurs d'OFDM. L'orthogonalité permet d'avoir une haute efficacité spectrale et l'utilisation de la plupart de la bande de fréquence. OFDM peut être implémentée on utilisant les modulations QPSK, QAM, et MSK.

II.3.2. Modulation dans OFDM

Le multiplexage par répartition de fréquence orthogonale est un procédé de modulation numérique des signaux. Consiste à diviser le signal sur un grand nombre de porteuses (sous-porteuses). Pour que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquence donnée [2].

Pour les réseaux sans fil par exemples WLAN les bands de fréquences de OFDM sont localisé dans la band RF, pour cela le Signal OFDM doit être générée on band de base, et on bande de base le signal OFDM peut être écrit comme suit :

$$S(t) = \sum_{i=0}^{N-1} A_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i), \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{(II.5)}$$

Avec A_i, F_i, ϕ_i , sont l'amplitude, fréquence et la phase.

La figure suivante illustre le diagramme de bloc d'OFDM

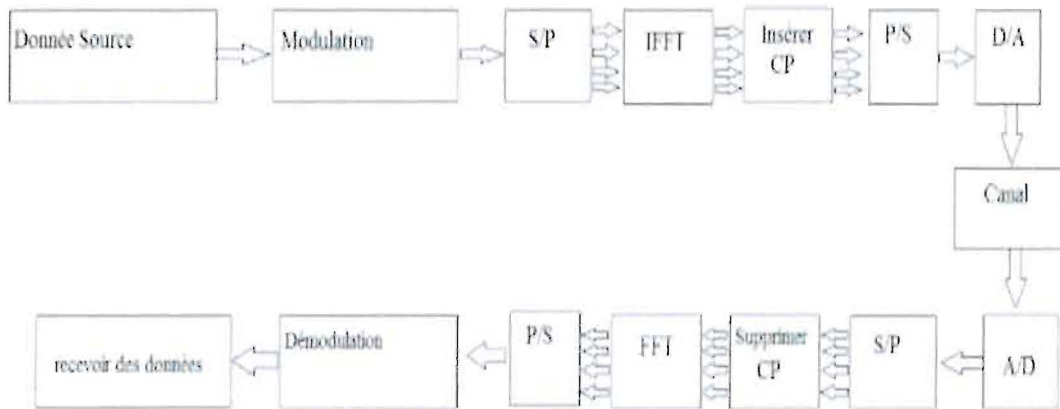


Figure II.5 : Diagramme bloc d'OFDM

II.3.3. Modulation QAM

La modulation d'amplitude en quadrature modifie à la fois l'amplitude et la phase du signal. Elle résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses sinusoïdales déphasées l'une de l'autre de 90°. Elle permet des débits élevés avec une rapidité de modulation relativement faible. QAM16 utilise 4 bits par symbole, QAM 32 utilise 6 bit par symboles et QAM 256 utilise 8 bit par symboles. La transmission de deux signaux analogiques à l'aide d'une modulation de type QAM est de la forme [29] :

$$S(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t) \dots\dots\dots (II.6)$$

I(t) et Q(t) sont les signaux modulants et f_0 et la fréquence de porteuse.

Dans le domaine fréquentiel, en utilisant les propriétés de la transformée de Fourier, on trouve que :

$$S(f) = \frac{1}{2} [M_i(f - f_0) + M_i(f + f_0)] + \frac{1}{2j} [M_q(f - f_0) + M_q(f + f_0)] \dots\dots (II.7)$$

Où $S(f)$, $M_i(f)$ et $M_q(f)$ sont respectivement les transformés de Fourier de S(t), I(t) et Q(t).

II.3.4. Modulation BPSK

Dans binary Phase Shift Keying, la phase de l'onde porteuse est modulée par le symbole binaire 0 et 1. BPSK utilise des phases binaires (0° et 180°) pour transmettre les bits 0 et 1 et utilise également 1 bit par symbole. Lorsque l'entrée binaire change de 1 à 0 ou de 0 à 1, le signal modulé changera de phase à 180 ° [31].

Pour symbole binaire 1 on a :

$$S_1(t) = A \cos 2\pi f_c t \quad 0 \leq t \leq T \dots \text{(II.8)}$$

Pour symbole binaire 0 on a :

$$S_2(t) = -A \cos 2\pi f_c t \quad 0 \leq t \leq T \dots \text{(II.9)}$$

II.3.5. Transformée de Fourier Inverse rapide / Transformée de Fourier Rapide

Dans le système OFDM, la partie de modulation et de démodulation est largement réalisée par FFT / IFFT. Les opérations mathématiques d'IFFT / FFT sont principalement utilisées pour convertir les signaux du domaine temporel vers le domaine fréquentiel et vice versa.

II.3.6. Problème du trajet-multiple

Lors d'une communication mobile, plusieurs phénomènes physiques qui ont un impact différent sur le signal, nous en citons quelques-uns :

- La réflexion du signal sur un obstacle.
- La réfraction du signal (changement de milieu d'indice)
- La diffraction par un obstacle

Tous ces phénomènes physiques entraînent des échos pouvant engendrer des évanouissements (fadings) résultant de l'annulation du signal à un instant.

Par conséquent, lorsqu'on réception fixe, la probabilité de recevoir uniquement une onde directe provenant d'un émetteur est très faible. On va donc recevoir le signal émis par l'émetteur ainsi qu'une multitude de signaux atténués et retardés provenant des différents échos [30]. Ces problèmes sont illustrés sur la figure suivante :

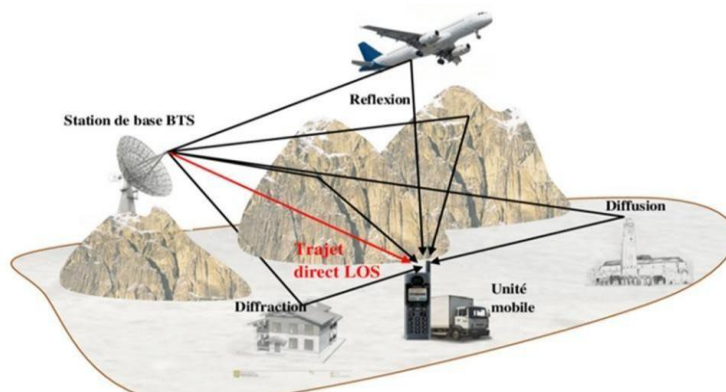


Figure II.6 : Représentation d'effet multi-trajet [31]

II.3.7. L'orthogonalité et les Interférences entre symbole

Pour être libre d'Inter carrier interférence (ICI-free), l'orthogonalité est un état essentiel pour le signal d'OFDM. Dans le fait d'espacement entre deux sous-porteuses est important afin d'avoir une largeur de bande système efficace. L'espacement entre les sous-porteuses devrait être assez grand, ceci peut causer une largeur de bande plus élevée alors l'efficacité spectrale soit perdu. Une solution est placer des symboles d'OFDM où le centre d'un sous-porteuse est placé tels qu'il terre dans la nulle de voisinage du sous-porteuse.

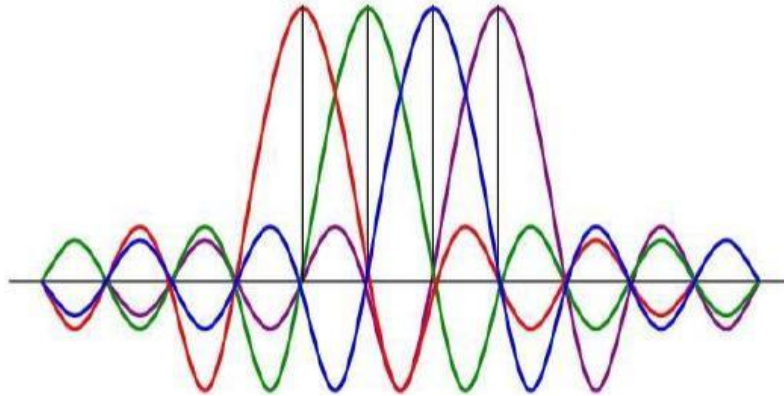


Figure II.7 : Représentation de quatre sous-porteuses orthogonales [32]

À cause du comportement multi-trajets du canal, l'orthogonalité entre les sous-porteuses n'est pas conservée. Ce qui perturbe la récupération des données à la réception.

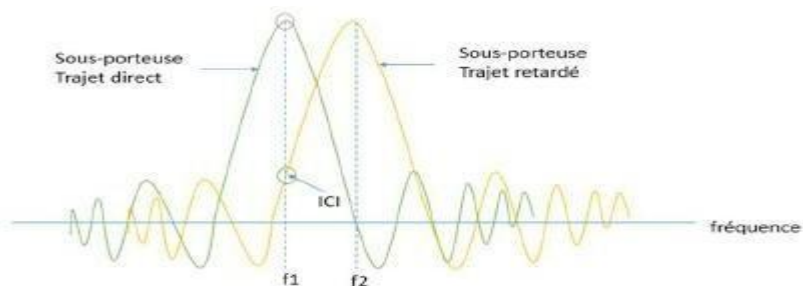


Figure II.8 : Représentation d'interférence entre sous porteuses [2].

II.3.8. Traiter les Interférences entre symbole (ISI) avec des Intervalles du garde

La Figure II.9 Montre l'effet des ISI, ou le premier symbole reçu (un trait) et confondu avec le deuxième symbole reçu (ligne pointillée) qui entraîne l'ISI et rend évident que tous les sous porteuses ne sont plus orthogonales. Pour traite L'ISI dans un canal a multi-trajet, un intervalle de

guard doit être inséré entre deux symboles OFDM consécutifs, sa peut être par zero padding (ZP) ou une extension cyclique de symbole (CP) [33].

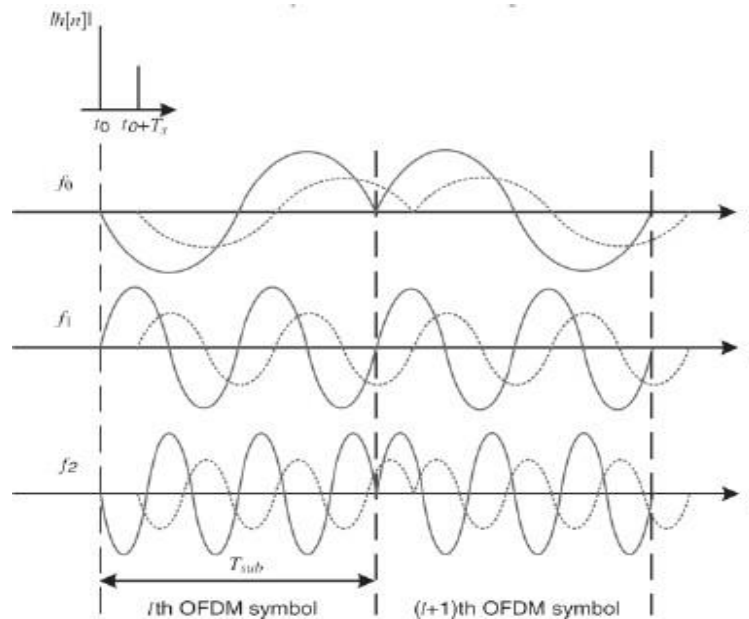


Figure II.9 : Effet de canal multi trajet sur un signal reçu sans intervalle du garde [33].

II.3.9. Cyclic Prefix

Soit T_G la longueur de CP en termes d'échantillons, les symboles OFDM auront une durée total de $T_{sym} = T_{sub} + T_G$, ce qui est illustrée dans la figure II.10 [33].

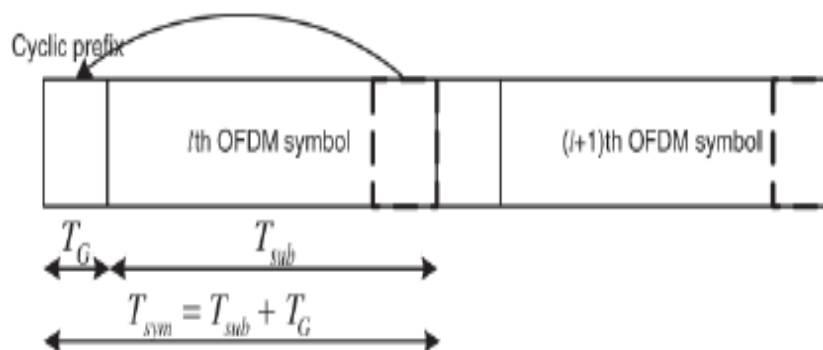


Figure II.10 : Deux symboles OFDM consécutif avec un CP [33].

Sur la figure II.11 on peut voir l'effet de cyclique préfix sur l'ISI. On remarque que la longueur du CP est égale ou supérieur au délai maximal du canal multi-trajet, l'effet ISI (trace on pointillé) sur le symbole suivant est confiné dans l'intervalle du garde et n'a aucun effet sur la FFT du

prochain symbole OFDM, cela implique que pour la durée du T_{sub} , le CP est plus long que le retard maximal du canal ce qui permet de maintenir l'orthogonalité entre les sous-porteuses [33]

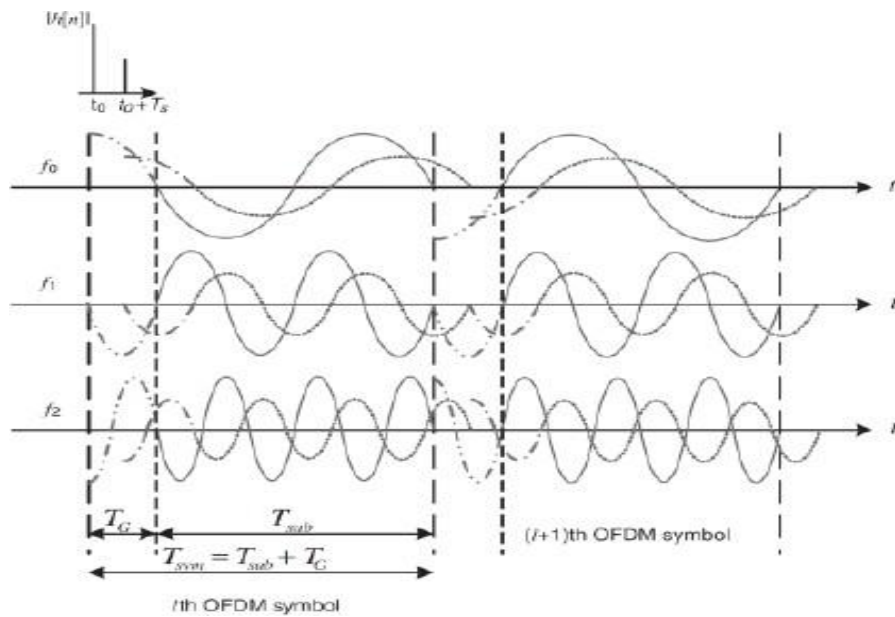


Figure II.11 : Effet de CP sur ISI dans un canal multi-trajet sur chaque sous-porteuse [33]

II.3.10. Zero padding

Zero padded OFDM c.-à-d. ajoutant des zéros après l'utilisation de l'IFFT pour combattre l'interférence entre sous-porteuses. Le ZP est rempli des zéros dans un intervalle de garde, pour empêcher les ICI la partie de l'intervalle de garde du symbole OFDM suivant est copié est ajoutée dans la partie d'entête du symbole actuel [33] suivant la figure II.12.

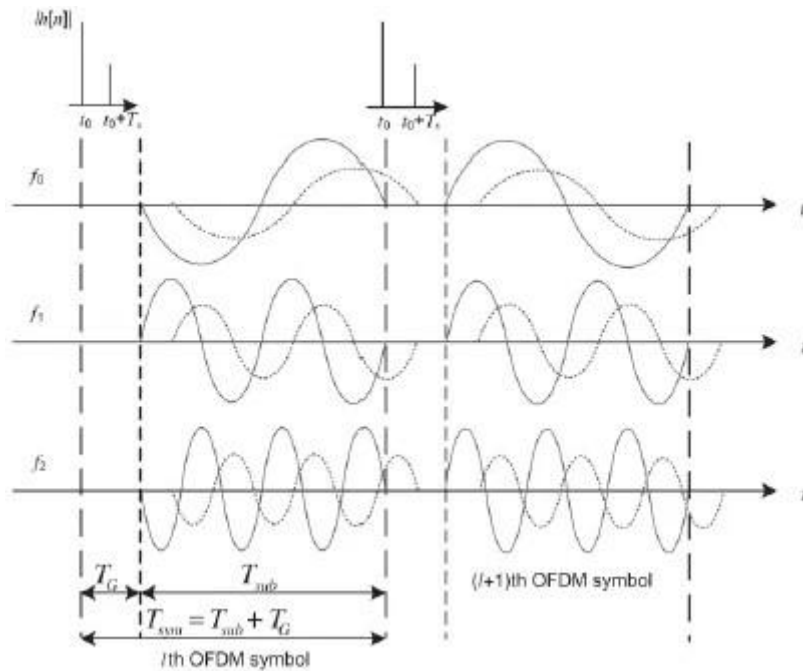


Figure II.12 : Effet ISI sur un symbole OFDM avec Zero Padding [33].

La longueur réelle d'un symbole OFDM contenant un ZP et plus court de celui d'un OFDM avec un CP et par conséquent la longueur d'une fenêtre rectangulaire pour la transmission est également plus court de sorte que le spectre de type sin peut être plus large. Cela implique qu'un symbole OFDM avec un ZP a une PSD (Power Spectral Density) avec la petite ondulation dans la bande et la plus grande puissance hors bande, permettant d'utiliser plus de puissance pour transmission avec la puissance de transmission de crête fixée.

L'avantage du remplissage nulle (Zero padding) est l'économie de puissance à l'émetteur, l'émetteur est simplement éteint pendant la transmission de zero padded sur la durée d'échantillons. Ceci a l'avantage de sauver la puissance une fois comparé au préfixe cyclique OFDM qui devrait alors également transmettre le préfixe cyclique [33].

II.4. Association MIMO-OFDM

MIMO-OFDM est considéré comme une technologie importante pour le développement de divers systèmes de communication sans fil et également considéré comme l'un des techniques les plus efficaces pour améliorer l'efficacité spectrale (capacité ou débit binaire) d'une communication radio. Les systèmes à antennes multiples jouent un rôle important dans le développement des systèmes de communication sans fils à bande large. Grâce aux trajets multiples entre l'émetteur et le récepteur de plus l'utilisation de la modulation OFDM ce qui est classiquement utilisé dans les systèmes où le canal de propagation est fortement sélectif en fréquence sur la bande considérée. L'OFDM utilise un ensemble de sous-porteuses pour transmettre les informations (multiplexage fréquentiel). De plus L'OFDM dans les systèmes MIMO s'avère être une technique bien adéquate. Ainsi la combinaison de Multiple Input Multiple output avec Orthogonal frequency Division Multiplexing (MIMO-OFDM) offre une amélioration des performances en termes de nombreux paramètres comme taux de transmission, BER plus petit et capacité.

II.4.1. Schéma block d'un système MIMO –OFDM

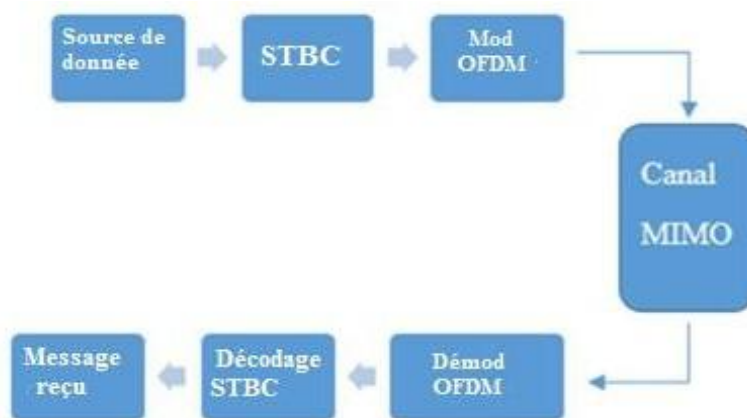


Figure II.13 : Schéma bloc d'un système MIMO-OFDM

La figure II.13 illustre le schéma bloc simplifiée de l'émetteur et du récepteur du système MIMO-OFDM. Elle montre un encodage Space time bloc coding STBC et la transformé de Fourier FFT et son inverse IFFT. Tout d'abord à l'émission les données qui arrivent de la source d'information sous forme de bits, sont envoyés vers le codeur MIMO (STBC) après codées selon une modulation numérique puis vers une transformé de Fourier inverse IFFT. À ce niveau, ces symboles résultat. Plusieurs sous-flux de symboles codés sont transmis chacun sur une antenne.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu que pour améliorer l'efficacité spectrale (capacité et débit binaire) et l'amélioration des performances en termes de BER plus petit d'une communication radio, il est préférable d'utilisé deux systèmes MIMO et OFDM. Le système MIMO profite de l'environnement multi-trajet. Cette caractéristique est parmi les problèmes majeurs que rencontre la transmission à débit élevé. Ainsi, OFDM apparait comme une bonne solution pour ce problème, en divisant la bande de transmission en N sous-canaux orthogonaux. Dans le chapitre suivant, nous allons aborder la simulation de MIMO-OFDM avec le codage STBC en termes de taux d'erreur binaire.

Chapitre III

**Simulation d'un système
MIMO-OFDM**

Chapitre III : Simulation d'un système MIMO-OFDM**III.1. Introduction**

En raison du vaste développement de la technologie, de nombreuses solutions ont été trouvées pour des problèmes difficiles qui entravent la qualité du signal transmis. Pour notre travail nous sommes concentrés sur la solution proposée pour lutter contre l'évanouissement crée par l'effet multi-trajet. MIMO utilise plusieurs antennes d'un côté ou dans les deux côtés de la liaison qui augmentera la fiabilité de la transmission et l'OFDM pour surnommer l'effet multi trajet et éliminer les interférences.

Les performances d'un tel système de transmission sont principalement évaluées par son aptitude à résister aux perturbations. Dans ce dernier chapitre, nous allons faire des simulations sous l'environnement MATLAB afin d'évaluer les performances de système MIMO-OFDM. Nous avons utilisé le métrique Bit error rate (BER) et le rapport du signal au bruit (SNR) sous différentes scénarios.

III.2. La méthodologie de travail

Afin d'évaluer un système MIMO-OFDM nous avons utilisé le logiciel de simulation MATLAB. Nous avons proposé des scénarios de simulation de ce système. Matlab nous permet de simuler et récupérer les résultats de nos scénarios. Nous avons basé sur la métrique suivant BER en fonction du rapport signal sur bruit SNR. Nous avons proposé dans notre étude trois scénarios. Plusieurs paramètres ont été testé afin d'évaluer le système MIMO-OFDM.

III.3. Métrique d'évaluation

Bit error rate (BER) représente la fraction entre le nombre d'erreurs sur les bits et le nombre total de bits transférés pendant un intervalle de temps. BER est sans unité. Généralement, elle est exprimée en pourcentage [9]. Dans la communication sans fil, BER est représenté en fonction de SNR (dB) [10]. Le BER nous permet de mesurer l'erreur sur la détection du signal perçu par rapport au message envoyé.

III.4. Résultats de simulations

Dans cette partie nous allons montrer nos scénarios de simulations. Pour notre 1^{er} scenario nous avons comparé les deux systèmes MIMO et SISO. Où nous avons utilisé trois modulations qui sont : 4 QAM, 16 QAM et 64 QAM avec un canal AWGN. Ensuite, dans le 2^{eme} scénario nous avons gardé le même 1^{er} scénario mais nous avons varié le nombre d'antennes. L'objective de ce scénario est d'étudier l'impact de nombre d'antenne sur le BER. Dans notre dernier scénario nous

avons étudié les modulations suivantes 4QAM, 16QAM et 64QAM sur le système MIMO-OFDM plus la BPSK.

III.4.1. Scénario 1 : Analyse de BER dans un système MIMO-OFDM et un système SISO-OFDM

La figure III.1 présente les résultats de simulation de notre premier scénario. La variation du BER est présentée dans cette figure dans le cas d'un système MIMO ($N_t=2$ et $N_r=2$)-OFDM et un système SISO($N_t=1$ et $N_r=1$)-OFDM. Nous avons utilisé le codage STBC pour les deux systèmes. Trois types de modulation ont été utilisés, qui sont : 4QAM, 16QAM et 64QAM.

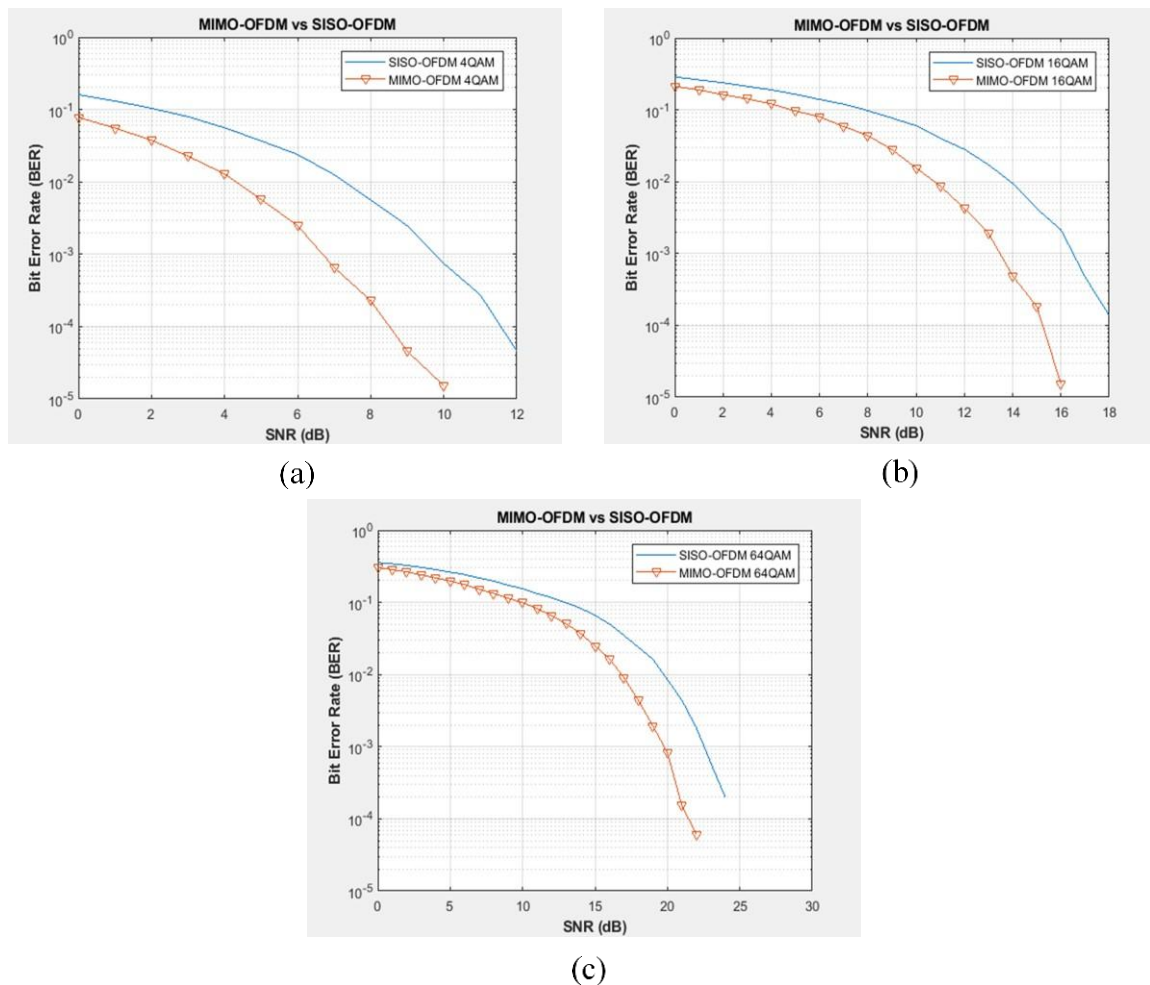


Figure III.1 : Comparaison entre MIMO-OFDM et SISO-OFDM

Figure III.1(a) est la représentation graphique de simulation MIMO/SISO avec la modulation 4 QAM. Nous remarquons que le meilleur résultat de BER est enregistré avec la configuration MIMO avec une valeur de $10^{-4.9}$ sur un SNR de 10 dB. Sachant que le système SISO enregistre une valeur du BER égale de $10^{-3.3}$ avec SNR de 10 dB. Le système MIMO est plus efficace que le système SISO avec cette modulation de 4QAM.

Figure III.1(b) représente les deux systèmes MIMO et SISO avec la modulation 16 QAM. Nous remarquons que le system MIMO a une valeur BER bien favorable $10^{-4.9}$ sur un SNR de 16dB. En outre, la modulation 16 QAM a bien amélioré le BER pour le system MIMO par rapport à 4QAM (Figure III.1 (a)). Pour le système SISO malgré l'amélioration du SNR mais toujours il y a un taux élevé du BER. Par exemple, sur le SNR 16dB la valeur de BER est $10^{-2.8}$. Elle est la même valeur avec 4QAM (voir la figure III.1 (a) mais avec SNR de 9dB).

Figure III.1(c) montre le résultat de simulation des deux system MIMO et SISO avec la modulation de type 64 QAM. Comme dans les deux figures précédentes, l'augmentation du SNR a diminué la valeur BER. Avec une valeur du SNR égale à 22dB le system MIMO a une valeur de BER égale à $10^{-4.4}$, pour le system SISO a une valeur de BER égale à $10^{-4.8}$. Même avec le type de modulation 64 QAM le system MIMO nous garantissent un meilleur résultat en termes de BER.

III.4.2. Scénario 2 : Analyse de l'effet de nombre d'antennes sur le taux d'erreurs

Le 2eme scénario présente l'étude de performance de l'association MIMO-OFDM en fonction de la variation de nombre d'antennes, MIMO 2X2 et MISO (multi input single output) 2X1. Nous montrons cet effet en présentons un tracé des courbes du taux d'erreur en fonction de SNR.

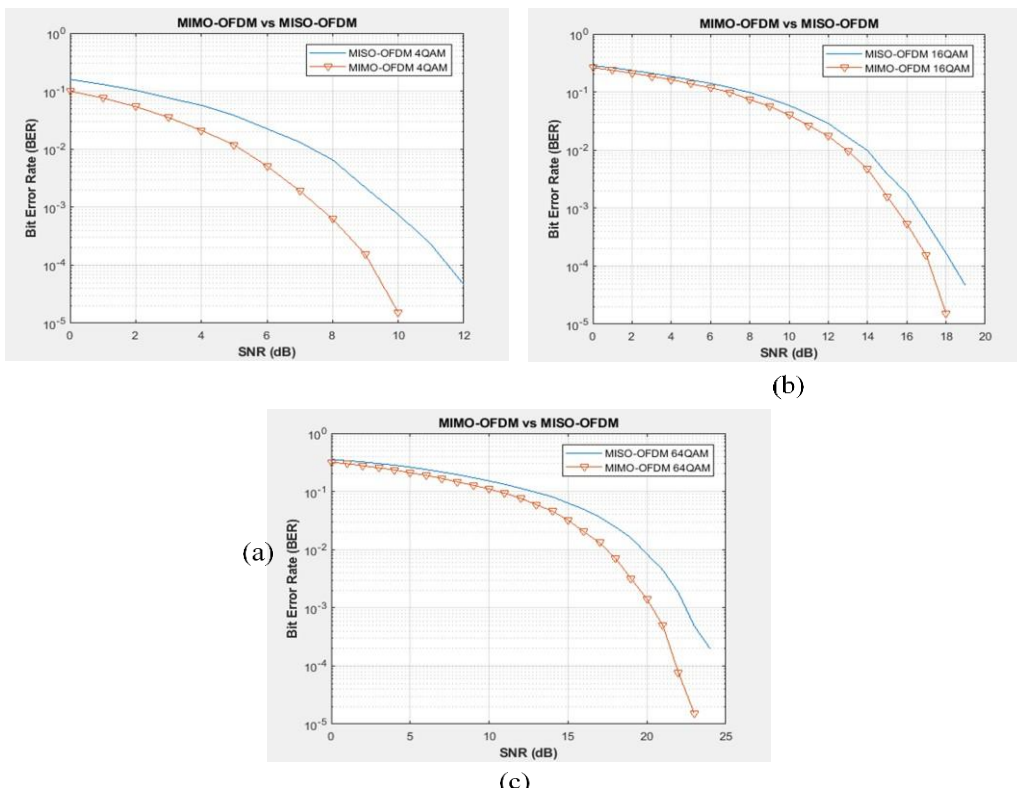


Figure III.2 : Comparaison entre MIMO-OFDM et MISO-OFDM

Figure III.2(a) montre le résultat des deux systèmes MIMO et MISO. Avec la valeur de SNR à 10 dB le système MIMO a un BER de $10^{-4.8}$ mais le système MISO à un BER de $10^{-3.3}$.

La Figure III.2(b) montre le même résultat que la Figure III.2 (a) mais avec une modulation de 16 QAM. Cette figure nous montre que la modulation 16QAM améliore le taux d'erreurs pour les deux systèmes par rapport à 4QAM. Par exemple, le rapport SNR a été augmenté pour le 16 QAM, sachant que la valeur max était 12dB pour 4QAM et jusqu'à 20 dB pour 16QAM. Ce qui mène à une amélioration de taux d'erreur où MIMO a un taux de $10^{-4.8}$ et un taux de $10^{-3.7}$ pour MISO sur le même SNR de 18 dB pour 16QAM.

La Figure III.2(c) est la représentation graphique de résultat de simulation enter un système MIMO et MISO avec la modulation 64QAM.

Suivant la figure III.2, si on prend un SNR de 10 dB, on trouve que le BER le plus favorable et dans la figure (a) avec la modulation 4 QAM pour le system MIMO.

Nous voyons bien que le nombre d'antennes a une très grande influence sur le taux d'erreur binaire (BER). Nous constatons donc que les performances s'améliorent de façon importante quand avec un système MIMO 2x2.

III.4.3. Scénario 3 : Analyse de l'effet de type de modulation sur le taux d'erreurs

La figure suivante montre l'influence de la modulation (QAM et BPSK) sur la qualité de transmission en terme BER

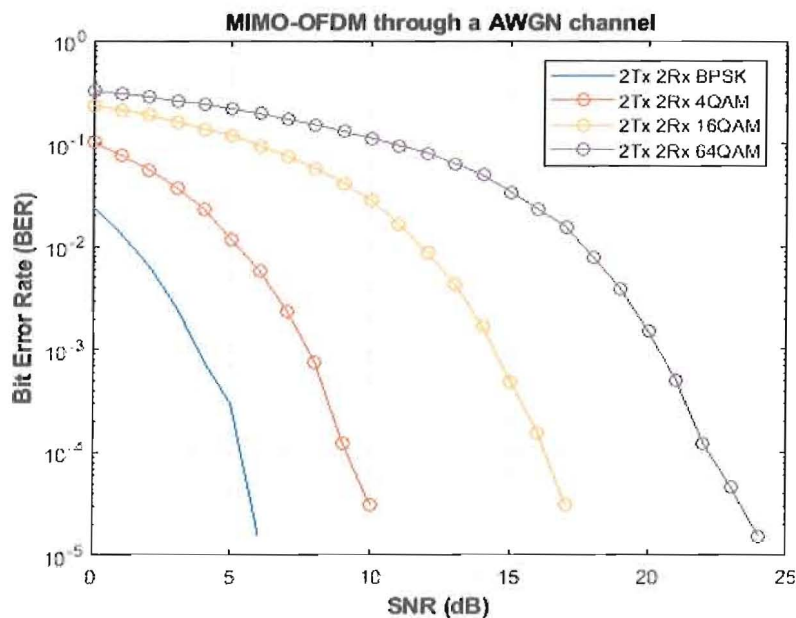


Figure III.3 : Comparaison entre type de modulation QAM et BPSK sur système MIMO-OFDM

D'après la Figure III.3 nous remarquons que le BER diminue progressivement avec l'augmentation du SNR. On peut voir aussi que le BER avec la modulation BPSK est amélioré par rapport à la modulation QAM.

Pour un taux d'erreur optimal de $10^{-4.8}$ on observe que la modulation BPSK et 64 QAM à les seules qui peuvent l'atteindre.

Si on prend un SNR faible de 5dB on a un taux d'erreur de $10^{-3.8}$ pour BPSK, $10^{-1.9}$ pour 4 QAM, et pour 16 et 64 QAM des valeurs entre $[10^{-0.8} 10^{-0.9}]$. Suivant ce résultat la modulation BPSK est la plus robuste avec un rapport SNR faible.

III.4.4. Synthèse :

Les résultats de simulation nous permettent d'évaluer les systèmes MIMO, SISO, MISO, les méthodes de modulation avec OFDM. L'utilisation d'un system MIMO préféablement (2x2) apport un taux d'erreur minimal en comparaison avec un system SISO ou même MISO.

Aussi le type de modulation influe sur la qualité de transmission en termes de taux d'erreur. Comme nous avons démontré avec la comparaison entre une modulation BPSK et QAM. Donc le choix de la modulation à utiliser est très important (4QAM, 16QAM, 64QAM et BPSK). Le choix de type de modulation a une forte relation avec le type d'application par exemple : 64QAM (même 256QAM) est généralement utilisée avec les modems en câble et CATV. 16QAM et 64QAM sont utilisées pour DTT (Digital Terrestrial Television) en Royaume-Uni. Ou d'après noter résultat le system qui utilise une modulation BPSK ramène des taux d'erreur minimal même dans des environnements ou le rapport SNR et faible.

MIMO-OFDM et plus vaste avec plusieurs éléments a amélioré, pour des travaux futurs on peut citer la technique Massive MIMO avec la modulation OFDMA.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le système MIMO-OFDM. Nous avons proposé trois scénarios de simulation sur le logiciel Matlab. Une comparaison entre le système MIMO et SISO a été présentée. Ensuite, nous avons montré l'importance de l'utilisation du système MIMO afin d'assurer une bonne transmission par la diminution du BER. Notre chapitre a été terminé par l'étude de choix de la modulation sur la qualité de transmission en termes de BER.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

. L'objectif de notre mémoire était l'étude de système MIMO-OFDM et l'évaluation de ses performances. À fin de réaliser notre études nous avons commencé par une étude théorique. Où nous avons présenté dans le premier chapitre la communication sans fil et ces différentes catégories. Ensuite, nous avons illustré le système MIMO et la technique OFDM, plus l'association entre les deux. Dans la première partie de ce chapitre a été consacré pour l'étude d'un système MIMO en termes de configurations en réception et en émission. Les types de codage utilisés ont été aussi étudiés. Dans la deuxième partie, la technique OFDM, qui a fait preuve de son succès dans le domaine de la communication sans fils, a été présenté. OFDM est caractérisée par l'utilisation optimale de la bande de fréquence allouée par orthogonalisation des porteuses et elle est facilement adaptée au système MIMO. Cette technique est actuellement la base des communications sans fil notamment 4G, 5G, les réseaux LAN sans fils ainsi que la télévision numérique. La troisième partie de deuxième chapitre a été pour but d'illustration de l'association MIMO-OFDM. Où le problème majeur des transmissions a débit élevé c.à.d. les multi-trajets en trouve que, le system MIMO qui profit de l'environnement multi-trajet et la technique OFDM avec son orthogonalisation que les deux apporte une bonne solution pour ce problème. Nous avons terminé notre étude par une évaluation des performances d'un système MIMO-OFDM. Nous avons exploité le logiciel Matlab afin de simuler nos scénarios. Nous avons proposé trois scénarios de simulation. Les résultats de cette évaluation ont été présentés dans dernier chapitre.

Pour perspective il serait intéressant d'implémenter un encodage OFDM-SFBC (Space frequency bloc coding) dans un canal Rayleigh et d'appliqué le même travaille pour compare la performance et la complexité tout sa aux cotés de système MIMO et sa compatibilité avec la SFBC.

Références bibliographiques

- [1] ATHMANI, SAMIR. Protocole de sécurité pour les réseaux de capteurs sans fil. 2010. Thèse de doctorat. Université de Batna 2.
- [2] FARAHA, LYNDA, AROUS, YOUSRA. Amélioration des performances des systèmes MIMO-OFDM. 2020. Mémoire de master. Université de Jijel.
- [3] BOUDJAADAR, AMINA. Plateforme basée agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil. 2010. Mémoire de Magistère. Université de Skikda.
- [4] BENMAMMAR, BADR, AMRAOUI, ASMA. Réseaux de radio cognitive: Allocation des ressources radio et access dynamique au spectre.2014. [arXiv:1407.2705](https://arxiv.org/abs/1407.2705).
- [6] DJABALLAH, SAMI, DJOUFELKIT HAMZA. Etude des performances du protocole AOMDV avec prise en charge du problème d'énergie et de l'attaque du trou noir. 2016. Mémoire de master. Université de Jijel.
- [7] SAADAOUI, SAFA. Conception d'un système de communication sans fil industriel basé sur la transformée en ondelettes. 2019. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.
- [8] CIAIS, PASCAL, STARAJ, ROBERT, KOSSIAVAS, GEORGES, et CYRIL LUXEY. Design of an internal quad-band antenna for mobile phones. IEEE Microwave and wireless components letters, 2004, vol. 14, no 4, p. 148-150.
- [9] MOUSSA, BELKESSAM. Etude et évaluation des performances des systèmes de communications sans fil. 2013. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [10] AUFRAY, JEAN-MICHEL. Systèmes MIMO a porteuses multiples : Étude et optimisation de la combinaison de codes temps-espace et des techniques MC-CDMA. 2004. Thèse de doctorat. INSA de Rennes.
- [11] BOUTAGHANE, MASSINE et AOUDIA, HAKIM. Etude de model de canaux MIMO stochastiques. 2014. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [12] MEHASSOUEL, MUSTAPHA. Application de la technologie MIMO a la 4G du mobile. 2018. Thèse de doctorat. Université de Sétif.
- [13] ALINIKULA, PETTERI. Multi radio yields challenges for mobile phones. Microwave Journal, 2005, vol. 48, no 7, p. 22-27.
- [14] FOSCHINI, GERARD J. et GANS, MICHAEL J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. Wireless personal communications, 1998, vol. 6, no 3, p. 311-335.

- [15] SAÏDI TAOFIK, ROY, SEBASTIEN, et SENTIEYS OLIVIER. Prototype MIMO temps réel pour l'UMTS. MajecSTIC 2005 : Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC, IRISA – IETR – LTSI, Nov 2005, Rennes, pp.232-237. ([inria-00000844](#))
- [16] LE RUYET, DIDIER et OZBEK, BERNA. Systèmes MIMO et codage spatio-temporel. Revue de l'électricité et de l'électronique 2005, no 4, p. 69-78.
- [17] MABROUK, KAIS. 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. 2008. Thèse de doctorat. Télécom ParisTech.
- [18] AIT TALEB, HAMID. Mimo-ofdm pour les communications sans-fil dans les mines souterraines. 2017. Thèse de doctorat. Université du Québec.
- [19] BJERKE, BJØRN A. et PROAKIS, JOHN G. Multiple-antenna diversity techniques for transmission over fading channels. In: WCNC. 1999 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (Cat. No. 99TH8466). IEEE, 1999. p. 1038-1042.
- [20] SARAH, FACI, et HADDADI BRAHIM. Etude et simulation sous MATLAB de la 4G LTE. 2015. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri.
- [21] KO, SAMUEL CK et MURCH, ROSS D. Compact integrated diversity antenna for wireless communications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, vol. 49, no 6, p. 954-960.
- [22] HASSAN, MUHAMMAD et SATTAR, ABDUL. Performance analysis of MIMO-OFDM Systems with focus on WiMAX. 2010. Memoire de master. Institue Bleking, Suède.
- [23] VUCETIC, BRANKA et YUAN, JINHONG. Space-time coding. John Wiley & Sons, 2003. Edition No1. ISBN: 9780470847572.
- [24] ABOT, JULIEN. Stratégie de codage conjoint pour la transmission d'images dans un système MIMO. 2012. Thèse de doctorat. Université de Poitiers, Paris.
- [25] OGBI, MENOVAR. Implantation d'applications Radio Logicielle sur architectures reconfigurables pour les systèmes multi-porteuses et multi-antennes. 2021. Thèse de doctorat. Université Djillali Liabes de Sidi-Bel-Abbes.
- [26] AGRELL, ERIK, ERIKSSON, THOMAS, VARDY, ALEXANDER, et ZEGAR KENNETH. Closest point search in lattices. IEEE transactions on information theory, 2002, vol. 48, no 8, p. 2201-2214.

- [27] IBRAHIM, A. ATEF, ABDELAZIZ, AMR, et SALAH, MOATAZ M. On the performance of OFDM and single carrier communication over wideband HF channel: theory and practice. *Telecommunication Systems*, 2021, vol. 77, no 4, p. 671-682.
- [28] AIMER, YOUNES. Étude des performances d'un système de communication sans fil à haut débit. 2019. Thèse de doctorat. Université Dr Moulay Tahar de Saïda.
- [29] HAMMOUDI, YASMINE et BENHAMOUCHE, FERROUDJA. Etude comparative des performances OFDM et F-OFDM pour un réseau 5G basé sur la technologie MIMO. 2020. Mémoire de master. Université de Abderrahmane mira Bejaia.
- [30] DJEFFAL, AZIZA et ZINAI, NADIA. Etude et réalisation d'un simulateur de transmission MIMO-OFDM. 2018. Mémoire de master. Université d'Oum El Bouaghi.
- [31] IKNI SAMIR. Contribution à l'Etude et au Développement de Techniques Avancées de Modulations Multi porteuses pour les futures Systèmes de Communication sans fil. 2019. Thèse de doctorat. Université de Guelma.
- [32] BALA, DIPONKOR, ISLAM, NAZRUL, ABDULLAH, IBRAHIM, HOSSAIN, A. MOHAMMAD et ALAM SHAHBUB. Analysis the Performance of OFDM Using BPSK, QPSK, 64-QAM, 128-QAM & 256-QAM Modulation Techniques. *Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science*, 2020, vol. 7, no 2, p. 31-38.
- [33] AGRAWAL, MITALEE et RAUT, YUDHISHHIR. BER analysis of MIMO OFDM system for AWGN & Rayleigh fading channel. *International Journal of Computer Applications*, 2011, vol. 34, no 9, p. 33-37.

ملخص

MIMO-OFDM هي الواجهة الهوائية المهيمنة للاتصالات اللاسلكية ذات النطاق العريض 4G و 5G. فهو يجمع بين تقنية متعددة المدخلات ومعددة المخرجات (MIMO) ، التي تضاعف السعة عن طريق إرسال إشارات مختلطة عبر هوائيات متعددة ، وتعدد البرس ال المتعدد بتقسيم التردد (OFDM) ، الذي يقسم قناة الراديو إلى عدد كبير من القنوات الفرعية القريبة لتوفير أكثر موثوقية اتصالات عالية السرعة. في دراستنا قمنا بتقييم نظام MIMO-OFDM. لقد قمنا باقتراح بعض سيناريوهات المحاكاة لدراسة التأثير والاختلاف ومعدل الخطأ على هذا النظام. استخدمنا برنامج Matlab لمحاكاة سيناريواتنا. تظهر لنا نتائج المحاكاة أن MIMO-OFDM موثوق وأن اختيار التعديل له تأثير كبير على أدائه.

الكلمات المفتاحية : الاتصال اللاسلكي , AWGN, BER, MIMO, OFDM, STBC

Résumé

MIMO-OFDM est l'interface hertzienne dominante pour les communications sans fil à large bande 4G et 5G. Il combine la technologie à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO), qui multiplie la capacité en transmettant différents signaux sur plusieurs antennes, et le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), qui divise un canal radio en un grand nombre de sous-canaux rapprochés pour fournir communications plus fiables à grande vitesse. Dans notre étude nous avons évalué le système MIMO-OFDM. Nous avons proposé quelques scénarios de simulation afin d'étudier l'impact, la déférence et le taux d'erreurs sur ce système. Nous avons exploité le logiciel Matlab pour simuler nos scénarios. Les résultats de simulation nous montrent que MIMO-OFDM est plus fiable et le choix de la modulation a un impact considérable sur ses performances.

Mots clés : Réseau sans fil, MIMO, OFDM, STBC, BER, AWGN

Abstract

MIMO-OFDM is the dominant air interface for 4G and 5G broadband wireless communications. It combines multiple-input multiple-output (MIMO) technology, which multiplies capacity by transmitting different signals over multiple antennas, and orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM), which divides a radio channel into a large number of close subchannels to provide more reliable high-speed communications. In our study we evaluated the MIMO-OFDM system. We have proposed some simulation scenarios in order to study the impact, the deference and the error rate on this system. We used Matlab software to simulate our scenarios. The simulation results show us that MIMO-OFDM is reliable and the choice of modulation has a considerable impact on its performance.

Keywords: Wireless Network, MIMO, OFDM, STBC, BER, AWGN