

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel



Faculté des Sciences et Technologie
Département d'Electronique

Mémoire de Fin d'Etudes pour l'Obtention du Diplôme de Master II en
Télécommunications

Option : Systèmes des Télécommunications

Thème

*Amélioration des performances
des systèmes MIMO-OFDM*

Présenté par

Lynda FARAH
Yousra AROUS

Encadré par :

Mr. KEMIH Karim

Jijel : Octobre 2020

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère et mon père, je les remercie pour leur soutien, leur patience et leurs conseils dans toutes les circonstances.

A mes chères sœurs Wissam, Aya, Hadil et Djouhaina.

Mes chers frères Obayd et Ishak.

A mes chers amis, Fatima Zohra, Roumaïssa et Nacer, pour leur soutien moral et leur encouragement.

A la plupart de mes collègues, et surtout aux collègues

Ayoub, Soulayman et Omayma

Pour leur aide précieuse.

LYNDA

Dédicace

À ma très chère mère et mon très cher père et qui n'ont pas cessé de m'encourager et de se sacrifier

Pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'étude, que Dieu me les garde en très bonne santé.

Aucune dédicace ne pourra compenser les sacrifices de mes parents.

*À mes très chers frères **Abed El Haq** et*

Mohammed Amine.

*Et les petits **Azzedine** et **Mohammed Bilal** ainsi qu'à toute ma famille.*

Tous mes chers Amies et collègues à qui je souhaite la réussite et tout le Bonheur.

Et à tous ceux qui m'aiment et qui me connaissent de proche ou de loin.

YOUSRA

Remerciements

Tout d'abord, louange à dieu Tout-Puissant qui était avec nous dans tous nos pas et chemin, nous le remercions pour notre succès.

Nous remercions notre encadreur, Mr « KEMIH Karim », pour toute l'aide qu'il nous a apportée, pour ses précieux conseils et pour sa confiance en nous.

Nos vifs remerciements également aux membres jury pour son intérêt pour nos recherches et pour son acceptation d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont tous les enseignants qui nous ont soutenus dans notre carrière universitaire.

Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce projet.

Acronymes et abréviations

AUC	Authentication Center.
AWGN	Additif Gaussien White Noise.
BER	Bit Error Rate.
BTS	Base Transceiver Station.
BSC	Base Station Contrôler.
BSS	Base Station Sub-system.
CP	Préfix Cyclique.
EIR	Equipment Identity Register.
FDTD	Finite Difference Time Domain.
FEM	Finite Element Method.
FFT	Fast Fourier Transform.
HLR	Home Location Register.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform.
ISI	Inter-Symbol-Interference.
LOS	Line Of Sight.
MC	Multi-Carrier.
MIMO	Multiple Input Multiple Output.
MISO	Multiple-Input Single Output.
MPSK	Multiple Phase Shift Keying.
MSC	Mobile Service Switching Center.
NLOS	Non Line Of Sight.
NSS	Network Sub-System.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OSS	Operation and Support Sub-system.
OSTBC	Orthogonal Space-Time Block Coding.
PSK	Phase Shift Keying.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
RF	Radio Frequency.
SB	Station de Base.
SDM	Spacial division multiplexing.

SIM	Subscriber Identity Module.
SIMO	Single Input Multiple Output.
SISO	Single Input Single Output.
ST	Spatio-Temporel.
STBC	Space-Time Block Coding.
STC	Space-Time Coding.
STTC	Space- Time Trellis Coding.
UM	Unité Mobile.
VLR	Visitor Location Register.
WLAN	Wireless Local Area Networks.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Networks.
WPAN	Wireless Personal Area Network.
WWAN	Wireless Wide Area Networks.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : La structure d'un système de communication radio.....	4
Figure I.2 : Classification des réseaux sans fil.....	6
Figure I.3 : Raleigh avec diffèrent valeur de sigma.....	8
Figure I.4 : Nakagami pour $\Omega=1$ avec diffèrent valeur de n.....	9
Figure I.5 : Canal AWGN.....	10
Figure I.6 : Classification des canaux de communication.....	11

Chapitre II

Figure II.1 : Modulateur OFDM.....	15
Figure II.2 : Démodulateur OFDM.....	16
Figure II.3 : Représentation spectrale des cinq sous porteuses orthogonales.....	17
Figure II.4: Intervalle de garde.....	17
Figure II.5 : Interférence entre symbole.....	18
Figure II.6: les interférences entrent porteuses.....	18
Figure II.7 : Schéma bloc de l'OFDM.....	19
Figure II.8 : Chaine de transmission OFDM.....	19
Figure II.9 : Variation de BER en fonction de SNR pour différentes valeurs de modulation.....	20
Figure II.10 : Variation de BER en fonction de SNR pour différentes valeurs de porteuses.....	20
Figure II.11: Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO.....	21
Figure II.12: Principe de la technologie MIMO.....	22
Figure II.13: Représentation des différents trajets entre antennes émettrices et réceptrice.....	23
Figure II.14 : Schéma block de MIMO.....	24
Figure II.15 : Principe d'un système MIMO-OFDM.....	25

Figure II.16 : Comparaison du système SISO-OFDM avec le système MIMO-OFDM, QAM =16.....	26
Figure II.17 : Comparaison du système SISO-OFDM avec le système MIMO-OFDM, QAM =8.....	27

Chapitre III

Figure-III.1. Le principe d'un codeur convolutif.....	29
Figure III.2 : Encodeur convolutionnel.....	30
Figure III.3. Représentations de code convolutif.....	31
Figure III.4 : Diagramme en arbre du codeur convolutif.....	31
Figure III.5 : diagramme d'état du codeur convolutif.....	32
Figure III.6 : Diagramme de Treillis du codeur convolutif.....	32
Figure III.7 : Exemple de codage convolutif.....	34
Figure III.8 : Exemples de décodage Viterbi.....	37
Figure III.9 : Estimation du BER pour le décodage Viterbi à décision dure et douce.....	38
Figure III.10 : système MIMO-OFDM avec le codage convolutif.....	39

Chapitre IV

Figure IV.1 : Comparaison entre le BER de différentes nombre des antennes T et R en fonction de SNR.....	41
Figure IV.2 : L'influence de sous-porteuse sur le BER en fonction de SNR.....	42
Figure IV.3 : L'influence de type de modulation sur le BER en fonction de SNR.....	43
Figure IV.4: système MIMO-OFDM avec le codage convolutif.....	43
Figure IV.5 : Comparaison entre le BER de signal codé et un autre sans codage.....	45
Figure IV.6 : Comparaisons entre des différentes valeurs du taux de codage.....	46
Figure IV.7: Comparaisons entre des différentes valeurs de la longueur de contrainte L.....	47

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau III.1 : Les paramètres utilisés dans la simulation.....	37
---	----

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Les paramètres de source binaire.....	44
Tableau IV.2 : Paramètres de canal.....	44

Table des matières

Dédicace	i
Remerciement	iii
Liste des abréviations	vi
Liste des figure	ix
Liste des tableau	xii
Introduction générale	1

Chapitre I

Etat de l'art sur le canal radio mobile

I.1 Introduction.....	4
I.2. Structure d'un système de communication radio	4
I.3. Définition et fonctionnement d'un réseau sans Fil	5
I.3.1. Les catégories de réseau sans fil.....	5
I.3.2. Fonctionnement d'un réseau sans fi.....	6
I.3.3. L'intérêt des réseaux sans fil	6
I.4. Modèles des canaux de communications sans fil.....	8
I.4.1. Modèle de Rayleigh.....	8
I.4.2. Modèle Nakagami-n (RICE).....	9
I.4.3. Modèle AGWN (Additif Gaussien White Noise)	9
I.4.4. Caractéristique des canaux sans fil.....	10
I.5. Classification et effet des canaux de communication.....	10
1.5.1 Principe de classification	10
1.5.2 Effets et conséquences possibles.....	11
I.5.2.1 Dispersion fréquentielle	11
1.5.2.2 Dispersion temporelle	11
1.5.2.3 Interférences entre symboles successifs (IES).....	12
I.6. Conclusion.....	12

Chapitre II

Etat de l'art sur les systèmes MIMO-OFDM

II.1. Introduction.....	14
II.2. Définition de L'OFDM.....	14
II.3. Principe de modulateur et démodulateur OFDM.....	14
II.3.1. Principe de modulateur.....	15
II.3.2. Principe de démodulateur.....	16
II.4. Notion d'orthogonalité.....	16
II.5 Caractéristiques de signal OFDM.....	17
II.5.1. L'intervalle de garde.....	17
II.5.1.1. Le préfixe cyclique.....	17
II.5.1.2. Zéro padding.....	18
II.5.2. L'interférence entre symboles.....	18
II.5.3. L'interférence entre porteuses.....	18
II.6. Simulation d'un système OFDM	19
II.6.1. L'influence de la modulation sur la qualité de transmission.....	20
II.6.2. L'influence du nombre des sous-porteuses sur la qualité de transmission.....	20
II.7. Définition de la technique MIMO	21
II.8. Principe de la technique MIMO	21
II.9. Modèle de système MIMO	22
II.10. Les différents types de codage MIMO	23
II.10.1. Le multiplexage par répartition de fréquence orthogonale OFDM	23
II.10.2. Le multiplexage par division spatiale SDM	24
II.11. Les code espace-temps..	24
II.11.1. Les code temps-espaces STC.....	24
II.11.2. Les codes en blocs STBC et les codes en treillis STTC	24
II.12. Système MIMO-OFDM	25
II.13. Conclusion	27

Chapitre III

Le codage Convolutif et le décodage Viterbi

III.1. Introduction	29
III.2. Codes convolutifs	29
III.2.1. Principe du codeur convolutif	29
III.2.2. Les propriétés	30
III.2.3. Les différentes représentations.....	30
III.2.3.1. Diagramme en arbre :	31
III.2.3.2. Diagramme d'état :.....	32
III.2.3.3. Diagramme de Treillis :.....	32
III.2.4. Un exemple de codage convolutif	33
III.2.5. Les algorithmes de décodages	34
III.3. Le décodage de Viterbi.....	34
III.3.1. L'algorithme de décodage de viterbi.....	34
III.3.2. Techniques de décodage	35
III.3.2.1. Décodage par Décision Douce (<i>Soft Decision Decoding</i>)	35
III.3.2.2. Décodage par Décision Dure (<i>Hard Decision Decoding</i>)	35
III.3.3. Le fonctionnement de l'algorithme de viterbi.....	35
III.4. Le codage et le décodage sous MATLAB.....	37
III.5. Le codage convolutif dans les systèmes MIMO-OFDM.....	38
III.6. Conclusion :.....	39

Chapitre IV

Résultat de simulation

IV.1. Introduction	41
IV.2. Résultat de simulation	41
IV.2.1. Première partie : « MIMO-OFDM ».....	41
IV.2.1.1. Importance de nombre des antennes T et R sur un système MIMO-OFDM.....	41

IV.2.1.2. Influence de nombres de sous-porteuse sur le système MIMO-OFDM :.....	42
IV.2.1.3 Influences de type de modulation sur un système MIMO-OFDM :.....	43
IV.2.2. Deuxième partie : « MIMO-OFDM avec le codage convolutif ».....	43
IV.2.2.1 différents paramètres des blocs MIMO-OFDM.....	44
IV.2.2.2 Comparaison entre un signal codé et un autre sans codage :	45
IV.2.2.3 Comparaison le signal codé avec $R=1/2$, et $R=1/3$:	46
IV.2.2.4 Comparaison le signal codé avec $L=3$, et $L=9$:.....	46
IV.3. Conclusion :.....	47
Conclusion générale	49
Références	50
Résumé	53

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

La performance des systèmes de communication est principalement régie par le sans-fil environnement de canal. Contrairement aux caractéristiques typiquement statiques et prévisibles d'un canal filaire, le canal sans fil est plutôt dynamique et imprévisible, ce qui fait un l'analyse du système de communication sans fil est souvent difficile. Ces dernières années, l'optimisation du système de communication sans fil est devenue critique avec la croissance rapide du mobile services de communication et nouveaux services d'accès Internet mobile à large bande. En fait, le la compréhension des canaux sans fil jettera les bases du développement de technologie de transmission sans fil performante et efficace en bande passante. [1]

La difficulté présente dans les transmissions de données utilisant l'environnement sans fil a conduit à la nécessité d'augmenter les performances des systèmes de communication. Cela signifie que le développement de nouvelles techniques de transmission et de réception de données, telles que la modulation et des schémas de codage, ainsi que des techniques de multiplexage de canal qui augmentent le débit de transmission de données en plus de réduire l'erreur dans les informations envoyées. [2]

La modulation multi-porteuse a été introduite vers les années 50, sa première renfermant vu le jour dans les laboratoires militaires avec systèmes de communications hautes fréquences. Quelques années plus tard elle a été améliorée avec l'apparition du concept des signaux orthogonaux à bande limitée, concept que l'on appellera par la suite "Orthogonal Frequency Division Multiplexing" (OFDM). La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), comme son nom l'indique, se définit comme la transmission des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses orthogonales entre elles. [3]

Les techniques MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui utilisent plusieurs antennes à l'émission et à la réception connaissent un essor important ces dernières années. La dimension spatiale permet de réaliser du multiplexage pour répondre aux fortes contraintes de débit des applications multimédia. Cette dimension spatiale peut également être exploitée pour profiter de la diversité, auquel cas on favori la robustes de la liaison et donc réduire les effets des évanouissements. On utilise pour cela des techniques de codage appropriées comme le codage spatio-temporel (ST). Les techniques MIMO sont déjà utilisée dans les standards IEEE® 802.11n. [4]

La combinaison du MIMO et de l'OFDM permet d'exploiter les bénéfices des deux car ce dernier fait l'objet d'un intérêt croissant et sera sans aucun doute utilisé comme système de communication à haut débit dans le futur. Cependant, le principal problème avec ces systèmes est le taux d'erreur sur les bits (BER) et cela est dû à de nombreux indicateurs : lorsque le nombre d'émetteurs et de récepteurs est élevé, le nombre de sous-porteuses et le type de modulation sont élevés.

L'objectif de ce mémoire est l'étude des systèmes MIMO-OFDM et l'évaluation de leurs performances en utilisant le codage convolutif et le décodage de viterbi avec le logiciel MATLAB.

Notre mémoire est organisé comme suit :

- Le premier chapitre présente des généralités sur le canal radio.
- Le deuxième chapitre présente les principes de base des systèmes OFDM, systèmes MIMO et des systèmes MIMO-OFDM.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude de codage convolutif et le décodage de Viterbi
- Le quatrième chapitre présente les résultats des simulations des différents modèles traités.

Et on terminera par une conclusion générale.

Chapitre I :
Etat de l'art sur le
canal radio mobile

I.1 Introduction

La technologie du système de communication en ligne a la capacité de transmission de données à haute vitesse et peut se connecter avec un réseau ouvert. L'architecture du système est adaptée aux besoins de la communication sans fil à large bande passante. En fait, la demande de bande passante de transmission élevée ; Selon la vitesse de transmission, elle est considérée comme une solution prometteuse.

I.2. Structure d'un système de communication radio

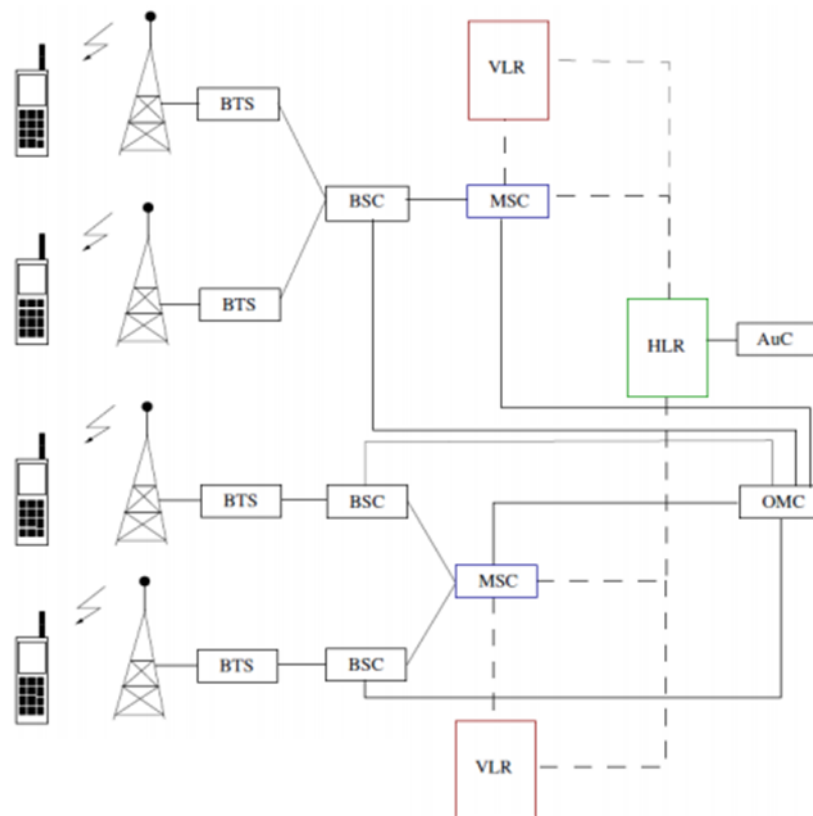


Figure I.1 : La structure d'un système de communication radio [5]

Ce système est composé de quatre sous-systèmes, d'abord la station mobile, le réseau d'accès BSS (Base Station Sub-system) le réseau central NSS (Network Sub-System) et le centre d'exploitation et de maintenance OSS (Operation and Support Sub-system).

- **La station mobile :** est un équipement téléphonique qui contient une carte SIM, cette carte SIM contient l'identifiant d'abonné qui lui permet d'accéder au réseau.
- **Le réseau d'accès BSS :** Contient toutes les stations de base et les contrôleurs de station de base.

- ✓ BTS (Base Transceiver Station) : la station de base interconnectée et interfacée avec les utilisateurs.
- ✓ BSC (Base Station Contrôler) : contrôle une ou plusieurs stations de base, (est un lien intelligent), il est joué plusieurs rôles, par exemple, il est géré la puissance du mobile et du BTS, il permet aussi de contrôler la mobilité des utilisateurs.
- **Le réseau central NSS** : Contient tous les MSC et HLR
 - ✓ MSC (Mobile Service Switching Center) : c'est un routeur assermenté qui acheminera le trafic.
 - ✓ HLR (Home Location Register) : le réseau central contient plusieurs bases de données, le HLR est le plus importante. Toutes les informations sont autorisées.
- **VLR (visitor Location Register)** : contient toutes les caractéristiques nécessaires à la gestion des visiteurs mobiles de cette zone.
- **EIR (Equipment Identity Register)** : contient toutes les données des terminaux mobiles.
- **AUC (Authentication Center)** : est un petit centre qui contient les clés des utilisateurs, cette clé ne se trouve que dans la carte SIM.

I.3. Définition et fonctionnement d'un réseau sans Fil

Réseau est un concept qui stipule que la structure a une forme distincte. Le concept est utilisé pour désigner un groupe d'équipements (ordinateurs) interconnectés qui partagent des services, des informations et des ressources.

Les systèmes dits sans fil, d'autre part, sont des systèmes de communication qui n'utilisent pas connexion électrique. Cela signifie que cette connexion est établie sans utiliser les câbles physiques qui connectent les appareils.

Ainsi, le réseau sans fil 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. La transmission et la réception de données nécessitent des appareils qui agissent comme des ports.

[6]

La norme la plus utilisée aujourd'hui pour les réseaux sans fil est IEEE802.11. [7]

I.3.1. Les catégories de réseau sans fil :

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau où au moins deux contrats peuvent être connectés sans liaison filaire. Ces contrôles de communications permettent aux utilisateurs de bénéficier de tous les services réseaux traditionnels, quelle que soit leur situation géographique. Le réseau sans fil peut être classé selon deux critères. Le premier critère est la zone de couverture du réseau, et il existe quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain et les réseaux étendus. Le deuxième critère est l'infrastructure et le modèle approuvée. Au regard de ce critère, on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures (cellulaire) et réseaux sans infrastructure (Ad Hoc), comme on le voit dans l'illustration de la figure suivante [8] :

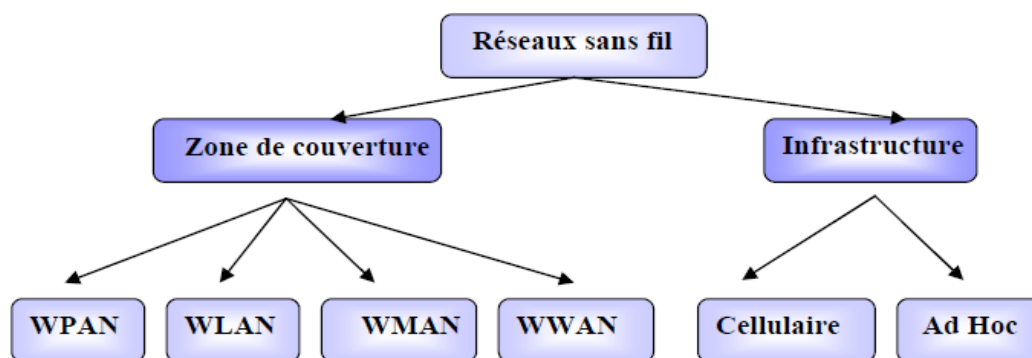


Figure I.2 : Classification des réseaux sans fil.

I.3.2. Fonctionnement d'un réseau sans fil :

Comme nous l'avons mentionné précédemment, Il existe deux modes de fonctionnement d'un réseau sans fil :

- **Réseaux sans fil avec infrastructure** : Dans ce mode de fonctionnement, le réseau est nécessairement constitué d'un point d'accès appelé station de base (SB), équipé d'une interface de communication sans fil pour une connexion directe à des sites ou unités mobiles (UM). Une station de base couvre une zone géographique limitée. Une unité mobile attachée à un moment précis à une station de base qui fournit tous les services tant que l'UM est dans la zone de couverture SB (station de base).
- **Réseaux sans fil sans infrastructure** : Il s'agit d'un mode point à point et ne nécessite pas de points d'accès. La connexion des stations est autorisée quand aucun point d'accès n'est disponible. Le manque d'infrastructure oblige les UM (Unité Mobile) à jouer le rôle de routeurs. [9]

I.3.3. L'intérêt des réseaux sans fil :

- Les réseaux LAN sans fil ont proliféré à un rythme rapide, ce qui a permis à un nombre croissant des utilisateurs d'ordinateurs ont la possibilité de se connecter à Internet de pratiquement n'importe où, à tout moment. En Juin 2011, une telle présence a été effacée partout, principalement dans les grandes villes, mais les capacités des appareils sans fil tels que les Smartphones incitent les opérateurs à fournir un accès sans fil dans les zones où l'accès à distance est toujours la seule option. La propagation des réseaux locaux sans fil est importante pour plusieurs raisons .
- **Facilité d'utilisation :** Les réseaux sans fil sont faciles à utiliser. Ouvrez simplement votre ordinateur portable ou un appareil informatique portable et analysez les connexions sans fil disponibles. Si vous êtes dans une zone urbaine, vous verrez probablement le nom du réseau du point d'accès de votre café préféré, l'hôpital local ou à la bibliothèque publique. Cette capacité à communiquer sans chercher à ouvrir le monde d'information d'un simple clic. Les entreprises de télécommunications continuent d'investir dans l'expansion de ces systèmes, et l'avenir comprend l'accès sans fil partout.
- **Faibles coûts :** Les réseaux sans fil sont moins chers à installer que les réseaux câblés. Dans la mise en œuvre du réseau câblé, les coûts du câblage représentent une grande partie du budget du projet de réseau. Le coût inférieur de la vérification sans fil permet aux entreprises d'investir l'argent économisé dans d'autres technologies, ou d'en bénéficier d'une autre manière. Le même avantage s'applique aux réseaux domestiques, car l'installation d'un routeur sans fil est beaucoup moins chère que la connexion de fils à travers la maison et l'installation de ports de données dans chaque chambre.
- **Ad Hoc Networks :** Le réseau ad hoc est un réseau « rapide » où un groupe d'utilisateurs peut créer ce dernier en quelques minutes si nécessaire. Windows 7 offre cette fonctionnalité dans son service de gestion de réseau sans fil. Il est entré «ad hoc » dans la boîte de recherche de Windows 7 et sélectionnez " configuration réseau ad hoc". L'assistant vous guidera dans la configuration du réseau ad hoc, après quoi les autres ordinateurs du groupe pourront se connecter. Cette capacité à créer un tel réseau facilite la collaboration de projet, et l'échange d'informations est un niveau productivité de groupe plus élevée. Ceci est également important dans les domaines professionnels et éducatifs les gens sont autorisés à contribuer et Communiquez plus rapidement et plus efficacement.

- **Transportabilité** : Étant donné que le réseau sans fil n'est pas connecté à des fils, il peut être déplacé facilement. Toute entreprise peut récupérer son équipement sans fil, déménager dans un autre bâtiment à travers la ville ou à travers l'état et connecter le routeur sans fil la connexion Internet à son nouvel emplacement. Cette capacité donne aux entreprises un haut degré de flexibilité en période d'expansion ou de contraction. [10]

I.4. Modèles des canaux de communications sans fil

Le modèle de canal sans fil est un ensemble de paramètres qui caractérisent l'environnement de propagation. Il existe deux modèles :

- ✓ **Le modèle segmentaire** : utilisé pour des canaux spécifiques, pour des sites bien définis qui peuvent être identifiés de plusieurs façons ; comme la méthode de calcul des différences finies dans le domaine temporel (FDTD), La méthode des éléments finis (FEM) et en particulier la méthode de traçage de rayon (Ray Trading).
- ✓ **Le modèle aléatoire** : (le plus utilisé dans les systèmes mobiles) il dépend les données statistiques de l'environnement de diffusion, ou de nombreux types de modèles statistique sont cités dans la littérature. [11]

I.4.1. Modèle de Rayleigh :

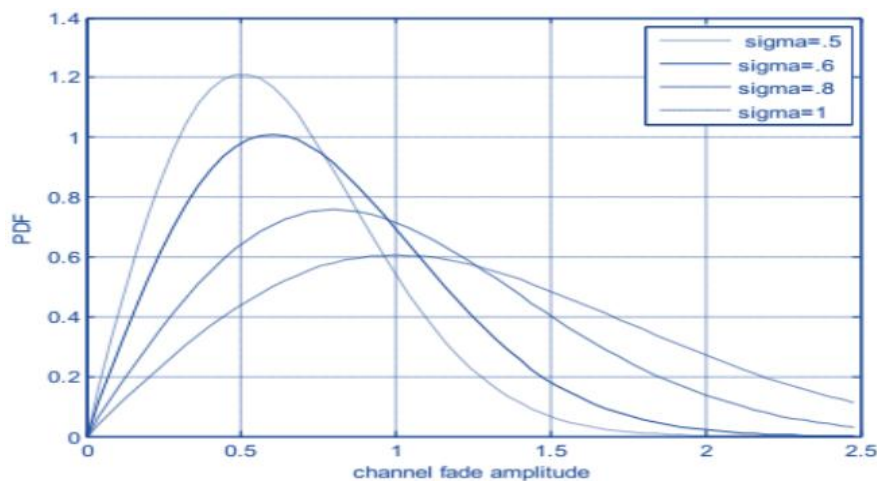


Figure I.3 : Rayleigh avec différent valeur de sigma. [11]

Le modèle de Rayleigh est souvent utilisé pour masquer les canaux Par trajets multiples sans vision directe (NLOS). La fonction de densité de probabilité pour le signal reçu suit la distribution de Rayleigh: [11]

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{2\sigma^2} * \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right), \alpha \geq 0 \quad (\text{I.1})$$

Où, α est l'atténuation dans un canal à évanouissement et σ^2 est la puissance moyenne.

I.4.2. Modèle Nakagami-n (RICE) :

La distribution de Nakagami-n est également connue sous le nom de distribution RICE. Il est souvent utilisé pour canaliser la modélisation avec un trajet direct (visibilité directe LOS). Le canal se compose d'une composante forte (LOS) et de nombreuses composantes faibles et aléatoires [11]

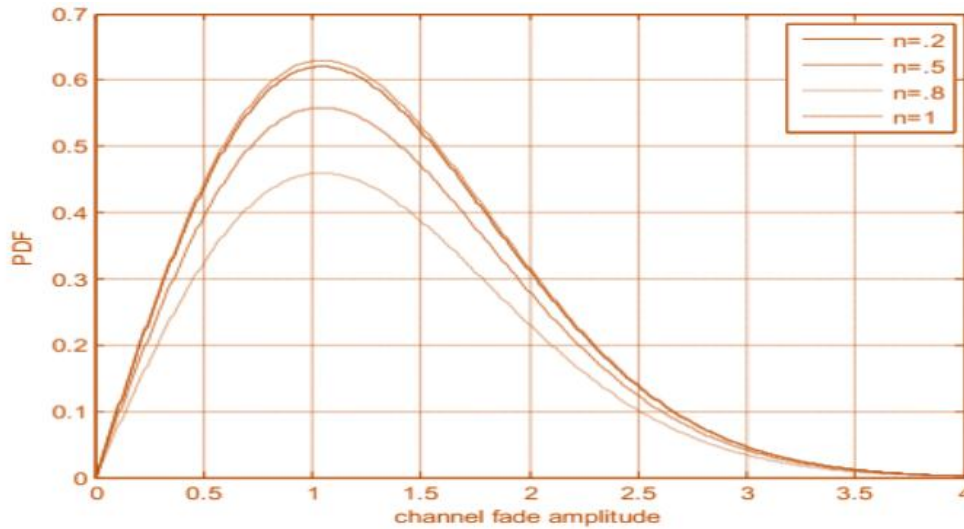


Figure I.4 : Nakagami pour $\Omega=1$ avec différentes valeurs de n . [11]

La fonction de densité de probabilité est donnée par :

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{2(1+n^2)e^{-n^2}\alpha}{\Omega} \exp\left[-\frac{(1+n^2)\alpha^2}{\Omega}\right] I_0\left(2n\alpha\sqrt{\frac{1+n^2}{\Omega}}\right) \quad (\text{I.2})$$

Où : n : est le paramètre d'évanouissement de Nakagami-n qui varie de 0 à ∞ et qui est liée au facteur K de Rice par $K=n^2$.

K : est le rapport entre la puissance de la composante LOS et la puissance de la composante Rayleigh.

Lorsque $K \rightarrow 0$, aucun composant LOS donc RICE devient une distribution Rayleigh.

Lorsque $K \rightarrow \infty$, aucun composant NLOS donc RICE approche une distribution gaussienne.

[11]

I.4.3. Modèle AGWN (Additif Gaussien White Noise) :

Canal idéal (performances de référence).

La fonction de densité de probabilité du signal reçu suit le canal AWGN est :

$$p_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (\text{I.3})$$

La figure suivante représente un canal AGWN :

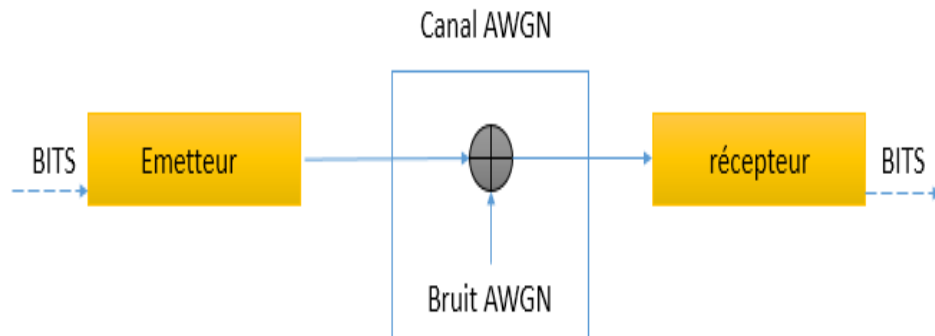


Figure I.5: Canal AWGN.

I.4.4. Caractéristique des canaux sans fil

- ✓ Atténuation de la puissance émise.
- ✓ Phénomène de trajets multiples.
- ✓ Phénomène de fading.

1.5. Classification et effet des canaux de communication

1.5.1 Principe de classification

L'appellation "canal de communication" suppose l'association d'un système de communication (facteur humain) et d'un canal de propagation (facteur physique). La classification "canaux de communication" (figure I.6) dépend de la comparaison de 4 paramètres dont 2 sont issus du système de communication (le temps symbole T_s et la bande (B) et deux sont issus du canal de propagation (le temps de cohérence T_{coh} et la bande de cohérence B_{coh}) ou d'un couple équivalent comme $(\Delta\tau, fd)$. [12]

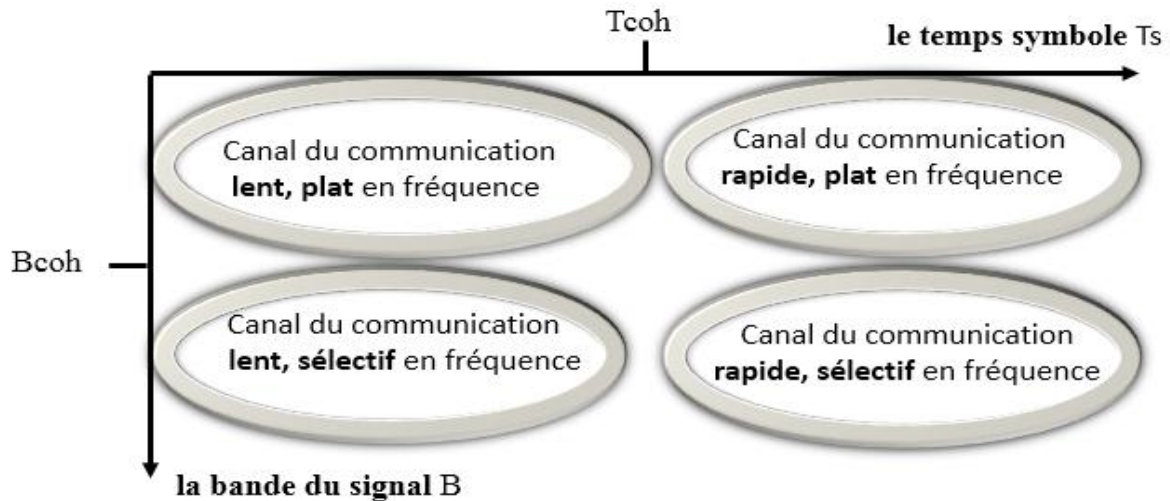


Figure I.6 : Classification des canaux de communication.

$$T_{coh} \gg \Delta\tau = 1/B_{coh} \quad (I.4)$$

$$f_d \ll B_{coh} \quad (I.4)$$

1.5.2 Effets et conséquences possibles :

Pour traiter les effets et les conséquences (négatives ou positives) des canaux de communication, en fonction de la présence ou de l'absence des trois phénomènes Suivant :

1.5.2.1 Dispersion fréquentielle :

Les dispersions de fréquence sont liées au mouvement de l'émetteur et / ou du récepteur donc deux aspects distingués (si le canal de communication est « sélectif en fréquence »).

- **Aspect négatif** : le phénomène d'échos ($\Delta\tau \neq 0$) peut conduire à la perte d'orthogonalité de signaux s'il existe plusieurs canaux de communication (IEV).
- **Aspect positif** : fréquence ou diversité spatiale.

1.5.2.2 Dispersion temporelle :

Les signaux de la même transmission arrivent donc au récepteur avec différents délais, donc deux aspects ont été distingués (si le canal de communication est « Variation rapide »).

- **Aspect négatif** : la modulation parasite ($f_d \neq 0$) peut entraîner la perte d'orthogonalité de formes d'onde s'il existe plusieurs voies de communication (EVI) et rend difficile l'estimation du canal / de la synchronisation.
- **Aspect positif** : diversité temporelle.

1.5.2.3 Interférences entre symboles successifs (IES) :

Il s'agit d'une perturbation additive sous forme de distorsion d'un signal due au chevauchement entre symboles successifs conduisant à une erreur de bit. Un système subira potentiellement la présence d'IES si l'une ou l'autre (ou les deux) conditions :

a) $B_1 < B_{\min}$ ($B_{\min} = 1 / T_s$) : alors le critère de Nyquist ne peut être satisfait même pour le cas le plus simple d'un canal à un seul chemin ($\Delta\tau = 0$).

b) $T_s \leq \Delta\tau$: en effet, pour un canal à étalement de retard $\Delta\tau \neq 0$, on ne peut être totalement assuré d'un IES négligeable que si l'intervalle de temps entre la transmission des signaux est grand par rapport aux échos de durée ($T_s \gg \Delta\tau$). Si $T_s > \Delta\tau * \sigma\tau$ aucune égalisation n'est requise, sinon une égalisation est nécessaire.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait quelques rappels importants liés aux systèmes de communication sans fil et même aux réseaux sans fil. De même, certaines caractéristiques des réseaux sans fil et des modèles de canaux de communication. Le chapitre suivant, nous le présenterons l'OFDM ainsi que le système MIMO, leurs principes, quelques caractéristiques de base et leurs structures respectives. Après avoir rappelé ces généralités utiles à la compréhension de l'ensemble de travail nous allons maintenant aborder dans le deuxième chapitre multiplexage par répartition de fréquence orthogonale et les systèmes multi antennes à l'émission et à la réception et leurs principes en détails.

Chapitre II :
Etat de l'art sur les
systeme MIMO-OFDM

II.1. Introduction

Multiplexage par répartition de fréquence orthogonale (OFDM) est déjà une utilisation courante dans les produits de systèmes de communication. La technologie de canal de sous-porteuse orthogonale surmonte efficacement les performances du système causées par l'atténuation de la bande de fréquence sélective.

Entrée multiple sortie multiple (MIMO) il s'agit d'une technique d'utilisation de plusieurs antennes d'émission et de réception et de performances différentielles dans les canaux spatiaux. Les avantages de cette technologie peuvent améliorer la vitesse de transmission et la qualité de la chaîne.

II.2. Définition de L'OFDM

OFDM (Multiplexage par répartition de fréquence orthogonale) est actuellement un système de communication avec la plus grande utilisation du spectre, qui combine des techniques telles que la modulation numérique, le traitement numérique du signal et la transmission multi-porteuse, le taux d'utilisation du spectre, le taux d'utilisation de l'énergie et la complexité du système sont très compétitives et constituent une caractéristique spéciale pour prendre en charge les communications mobiles. C'est l'un des principales techniques de communication multimédia mobile. L'OFDM est une technique de transmission multi-porteuses. N sous-porteuses divisent l'ensemble du canal en N sous-canaux. Les canaux transmettent des informations en parallèle. L'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles. Dans le cas des signaux qui contient plusieurs porteuses Il en résulte des chevauchants mais grâce à l'orthogonalité, sont n'interférant pas entre eux. Les systèmes OFDM sont donc capables d'augmenter l'utilisation du spectre tout en évitant l'interférence entre les canaux voisins.

II.3. Principe de modulateur et démodulateur 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. De plus, OFDM Plusieurs sous-canaux peuvent également être utilisés pour la modulation (comme le QAM avec une efficacité spectrale élevée), ce qui améliore encore le système OFDM. Et aussi, la mise en œuvre est relativement simple. Lorsque la modulation QAM ou MPSK est utilisée sur le sous

canal. Le processus peut être complété avec IFFT, et le processus de démodulation peut être effectué avec FFT.

Ainsi, il a une forte capacité d'interférence anti-trajets multiples et une forte capacité anti-décoloration. Étant donné que les systèmes OFDM généraux utilisent le Préfix Cyclique (CP), qui peut éliminer complètement la propagation par trajets multiples causée par les signaux dans certaines conditions Interférence inter-symboles, qui élimine complètement les dommages de propagation multi-trajet à l'orthogonalité entre les porteuses. [12]

II.3.1. Principe de modulateur :

- On Considère une séquence de N données $a_0 a_1 a_2, \dots, a_{N-1}$.
- Appelons T_s le temps de symbole c'est -à-dire le temps qui sépare 2 séquence de N données.
- Chaque donnée a_k module un signal à la fréquence f_k .

Le signal $s(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k e^{2j\pi f_k t} \tag{II.1}$$

Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$. Alors

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \tag{II.2}$$

$$s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} a_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \tag{II.3}$$

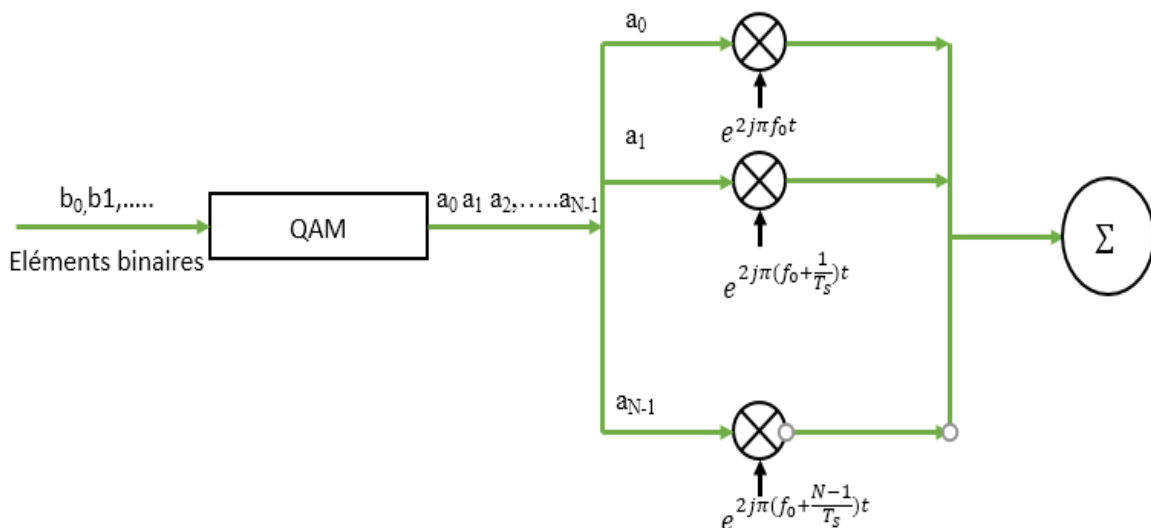


Figure II.1 : Modulateur OFDM.

II.3.2. Principe de démodulateur :

Le signal arrivant au récepteur est écrit :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k H_k e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \tag{II.4}$$

$H_k(t)$ est représenté la fonction de transfert du canal.

Ce schéma représente le principe de démodulateur :

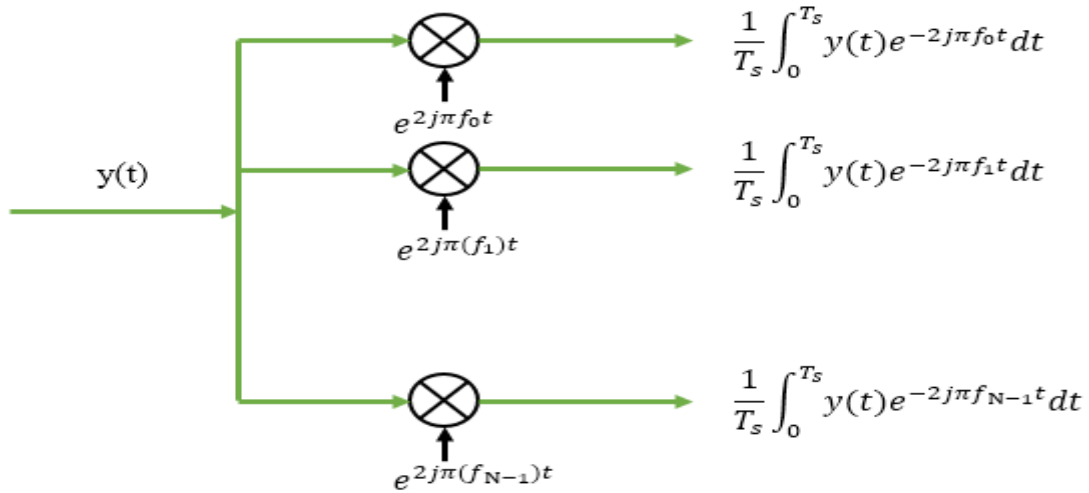


Figure II.2 : Démodulateur OFDM

II.4. Notion d'orthogonalité

La principale différence entre l'OFDM et les autres techniques de modulation multi-porteuses est que l'OFDM autorise un grand recouvrement spectral entre les signaux (sous-porteuses), pour que ce chevauchement n'ait pas d'effet négatif. Les sous-porteuses doivent respecter les conditions d'orthogonalité. L'utilisation d'un très grand nombre de sous-porteuses est une perspective difficile parce que il nécessite beaucoup de modulateurs/démodulateurs et de filtre, il faut aussi davantage de largeur de bande. Il est simple de résoudre le problème de largeur de bande en utilisant un espacement régulier $f_u = 1/T_u$ entre les sous-porteuses, où T_u est la période du symbole. Les porteuses forment alors un ensemble orthogonal. [13]. La figure II.3 représente cinq sous-porteuses orthogonales entre elles :

$$\Delta f = T_u \tag{II.5}$$

$$\int f_1(t) * f_2(t) = 0 \tag{II.6}$$

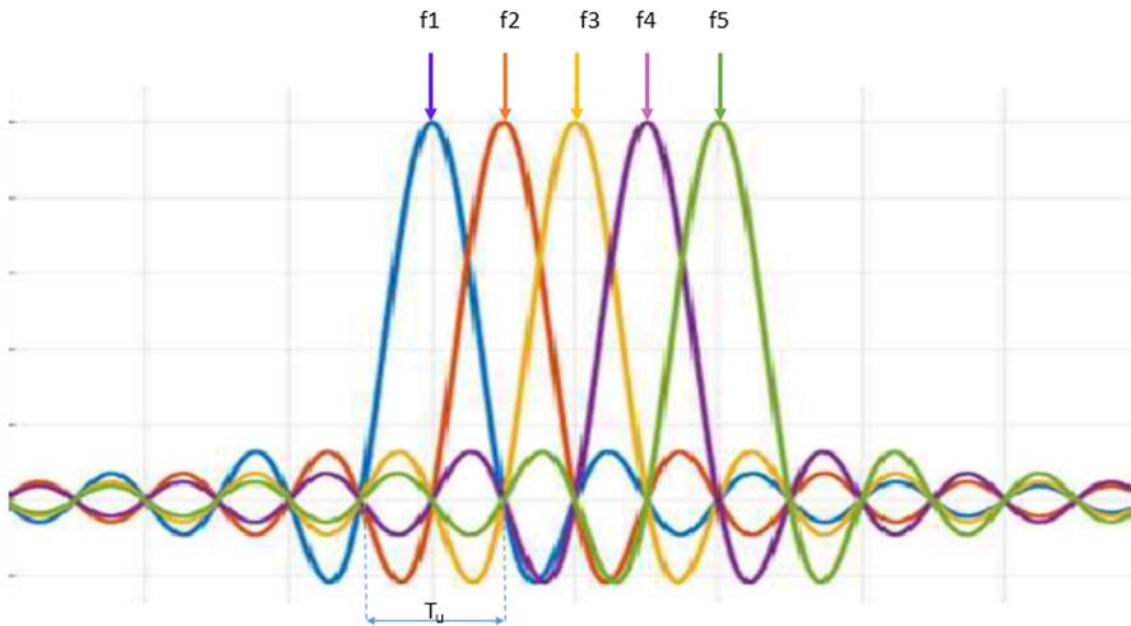


Figure II.3 : Représentation spectrale des cinq sous porteuses orthogonales [14]

II.5 Caractéristiques de signal OFDM

II.5.1. L'intervalle de garde :

On ajoute cet intervalle pour éliminer (réduit) le problème d'interférence entre symboles (ISI). Ce dernier est ajouté au début de chaque trame OFDM, d'après l'insertion de l'intervalle de garde les interférences entre deux symboles est réduit. La figure suivante représente des trams OFDM et des intervalles de garde :

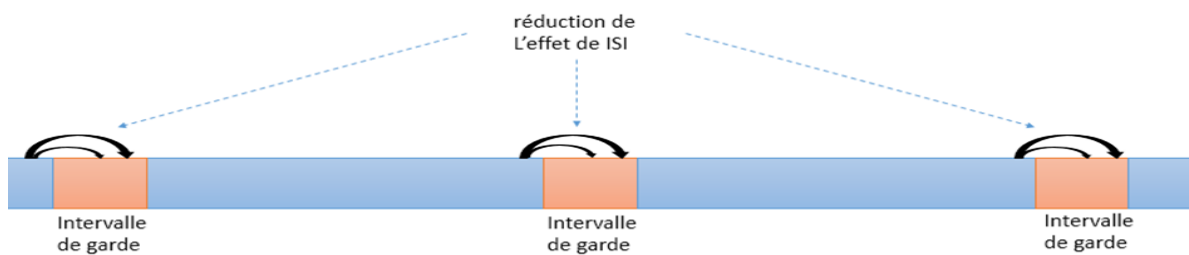


Figure II.4: Intervalle de garde.

Il y a deux méthodes pour réduire (ou éliminé) l'effet de trajet multiple :

II.5.1.1. Le préfixe cyclique

On ajoute une redondance de signal temporel à émettre (aux niveaux de l'intervalle de garde on place une copie de la fin de symbole OFDM à transmettre).

II.5.1.2. Zéro padding

Consiste quant à elle à insérer des échantillons de valeur nulle entre les symboles OFDM. [15]

II.5.2. L'interférence entre symboles

Ce phénomène est produit lors de la propagation sur un canal à trajet multiple de nombreuse réplique de l'onde émis, les signaux reçus avec des amplitudes et des retards différents.

Le signal **a** (avec le retard **r**) chevauche avec le signal **b** et **c**

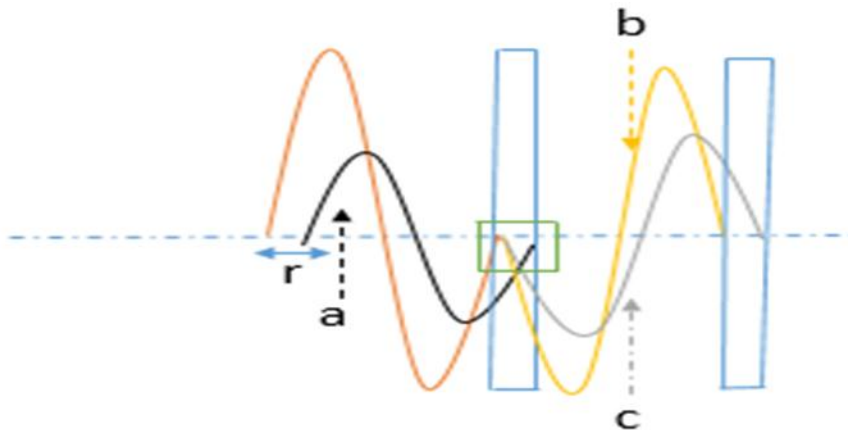


Figure II.5 : Interférence entre symbole.

II.5.3. L'interférence entre porteuses

Si le préfixe inséré au début d'une trame OFDM est muet (sans aucun signal), des interférences entre porteuses vont se produire. Pour expliquer ce phénomène, il est beaucoup plus facile de raisonner dans le domaine fréquentiel plutôt que dans le domaine temporel, non échantillonné. [15]

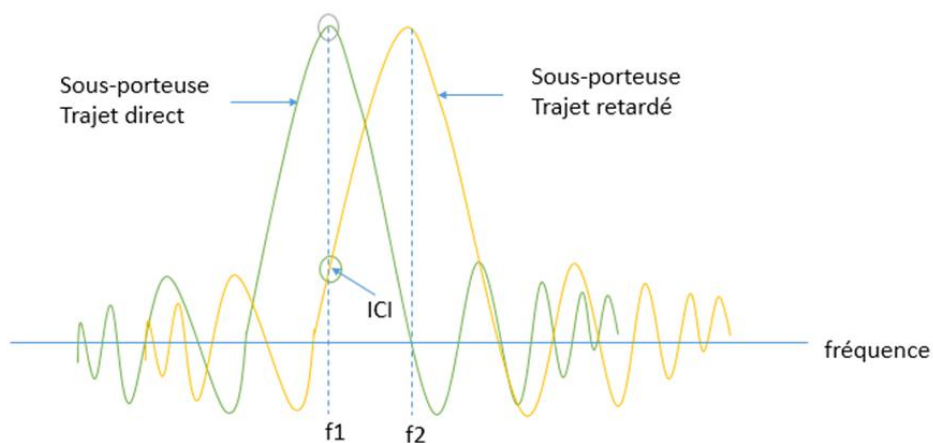


Figure II.6: les interférences entrent porteuses

Le schéma bloc de l'OFDM :

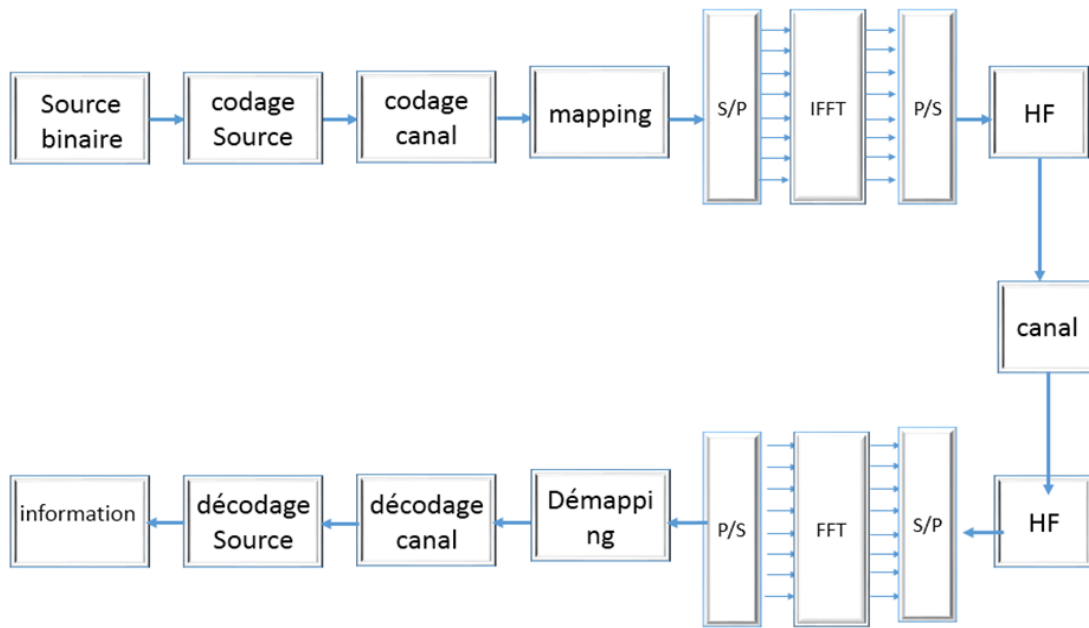


Figure II.7 : Schéma bloc de l'OFDM.

II.6. Simulation d'un système OFDM

D'après l'étude théorique réaliser dans ce chapitre et en utilisant la figure ci-dessus, notre travail consiste à mettre en œuvre cette chaine à l'aide de l'outil Simulink disponible dans le logiciel Matlab 2010.

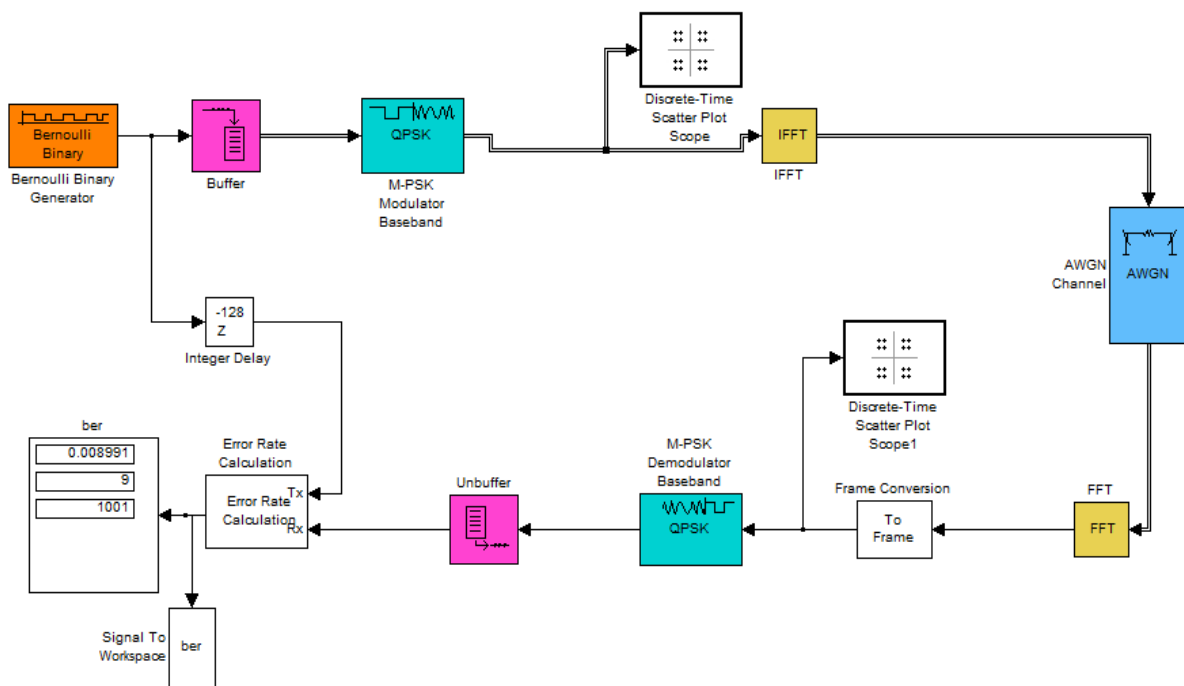


Figure II.8 : chaine de transmission OFDM

II.6.1. L'influence de la modulation sur la qualité de transmission

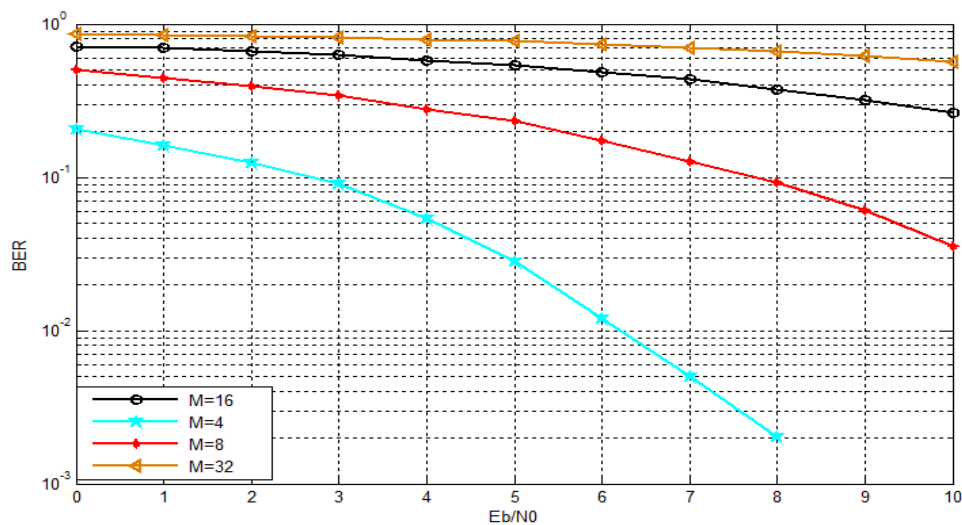


Figure II.9 : variation de BER en fonction de SNR pour différentes valeurs de modulation.

Cette figure représente la variation de BER en fonction de SNR qui varié entre 0 et 10. On remarque que pour chaque modulation et à chaque fois que l'ordre de modulation augmente le BER augmente aussi.

II.6.2. L'influence du nombre des sous-porteuses sur la qualité de transmission

Pour l'amélioration de notre modulateur, nous s'intéresserons sur un autre paramètre qui est le choix du nombre des sous-porteuses N.

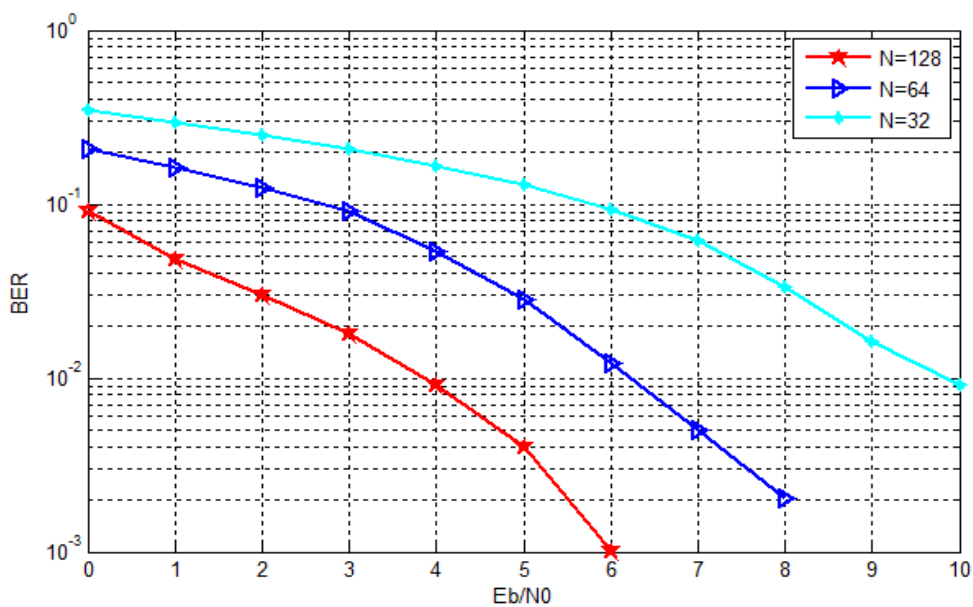


Figure II.10 : variation de BER en fonction de SNR pour différentes valeurs de porteuses.

D'après cette figure, on constate que les performances s'améliorent d'une façon significative, lorsque le nombre de sous-porteuse augmente.

II.7. Définition de la technique MIMO

Les traditionnels systèmes de communications, il n'utilise qu'une antenne à l'émission et une antenne à la réception ce que nous s'appelle le SISO. Cependant, les futurs services sans fils mobiles nécessitent une augmentation de la capacité de transmission. Pour répondre à ces demandes, la bande passante et les puissances à envoyer ont été considérablement augmentées. Cependant, les derniers développements montrent que l'utilisation de nombreuses antennes pour l'émission et à la réception permet une augmentation du débit de transmission des données et sans augmenter ni la bande passante de l'antenne de réception du système SISO, la puissance du signal à l'émission. Cette technique de transmission est appelée MIMO (Multiple Input, Multiple Output). [16]

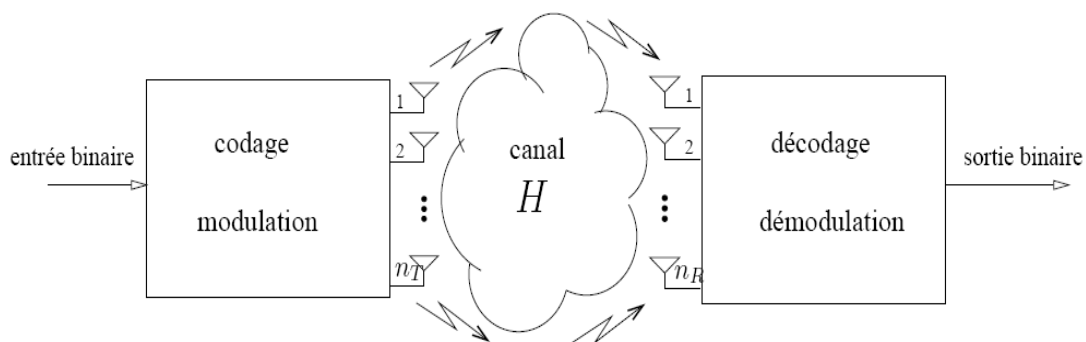


Figure II.11: Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO. [16]

II.8. Principe de la technique MIMO

Les systèmes multi-antennes à l'émission et à la réception (MIMO en anglais) permettent théoriquement d'accroître la capacité des liens de communications sans fil par rapport aux systèmes composés d'une seule antenne à l'émission et à la réception (SISO en anglais). En supposant que les trajets entre chaque antenne d'émission et de réception sont indépendants, Foschini et Telatar ont démontré que la capacité théorique du canal MIMO avec N_t antennes à l'émission et N_r antennes à la réception augmente linéairement avec $\min(N_t, N_r)$. [18]

Le principe de la technique MIMO

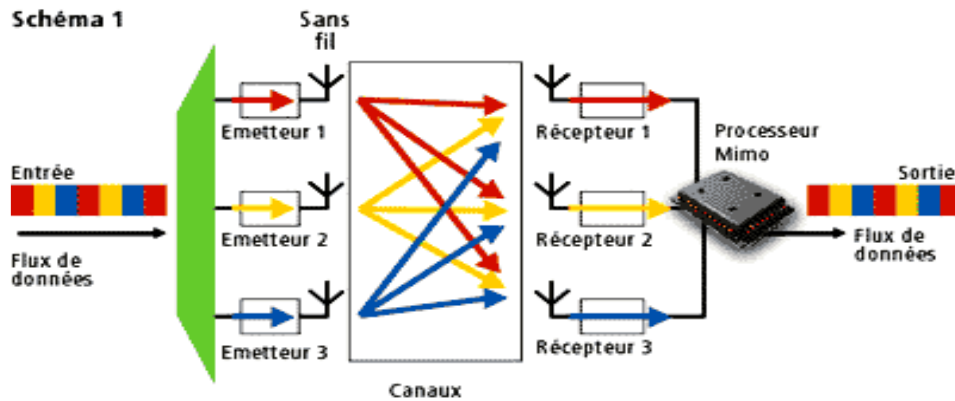


Figure II.12: Principe de la technologie MIMO.

II.9. Modèle de système MIMO

L'idée principale des systèmes MIMO est très simple puisqu'il s'agit de connecter la diversité spatiale à l'émission à la diversité spatiale à la réception. Ce concept est utilisé dans les systèmes sans fil conventionnels et il combine des techniques de traitement du signal qui exploitent plusieurs antennes d'un côté de la liaison. Le recensement permet une communication plus sûre et évite les désagréments inhérents aux conditions de propagation, comme les trajets multiples et les évanouissements. S'il y a des antennes multiplex, on parle de liaison MISO (Multiple-Input Single Output), et dans le cas inverse de liaison SIMO (Single Input Multiple-Output). [17]

La bande de fréquence utilisée pour la transmission est supposé être suffisamment étroite pour que le canal ne soit pas sélectif. A la réception, chaque antenne reçoit la somme des symboles x_i transmis simultanément par chacune des N_T antennes émettrices. Le signal y_j reçu par la $j^{\text{ème}}$ antenne peut être écrit discrètement:

$$y_j = \sum_{i=1}^{N_T} h_{ji} * x_i + n_j \quad (\text{II.7})$$

h_{ij} : est le gain (coefficient d'évanouissement) du canal non sélectif en fréquence entre l'antenne d'émission i et l'antenne de réception j .

n_j : est le bruit additif qui est modélisé par des échantillons indépendants et suivant une loi gaussienne centrée de variance $N_0/2$ par dimension réelle. Le rapport signal à bruit (RSB) par antenne de réception est défini par : $\text{RSB} = E_s/N_0$. [19]

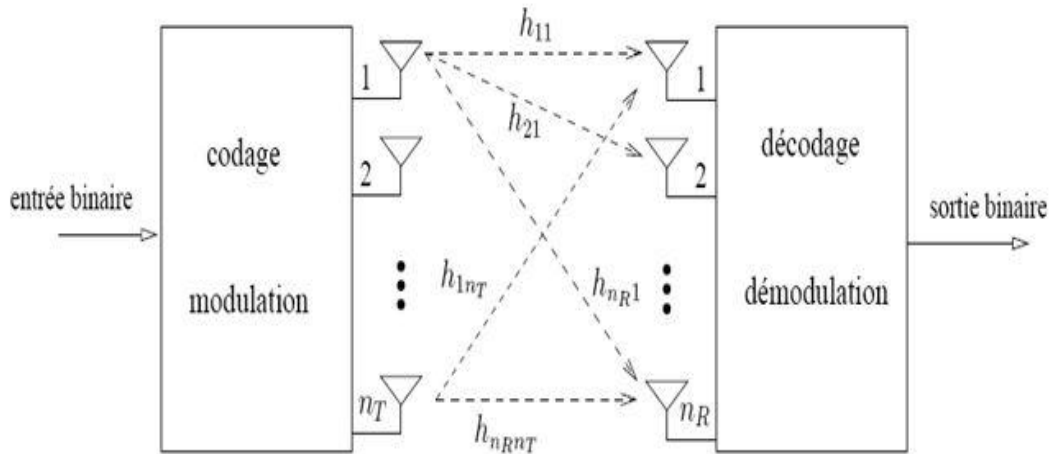


Figure II.13: Représentation des différents trajets entre antennes émettrices et réceptrice. [13]

L'équation (II.4) peut être écrite sous forme de matrice comme suit :

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \tag{II.8}$$

Soit la matrice du canal MIMO \mathbf{H} de dimension $N_R * N_t$, suivante :

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_{11} & \cdots & \mathbf{h}_{1N_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{h}_{NR1} & \cdots & \mathbf{h}_{NRNT} \end{pmatrix} \tag{II.9}$$

Où : \mathbf{y} et \mathbf{n} sont les vecteurs de réception et de bruit de dimension $N_R * 1$ respectivement. [19]

II.10. Les différents types de codage MIMO

Dans les systèmes MIMO, il existe plusieurs façons de coder les signaux :

II.10.1. Le multiplexage par répartition de fréquence orthogonale OFDM

Consiste à diviser par un grand nombre de porteuses, le signal numérique que nous voulons envoyer. Pour que les fréquences des porteuses soient aussi proches que possibles et envoient ainsi le maximum d'information sur une partie spécifique de la fréquence donnée, l'OFDM utilise les porteuses perpendiculaires entre elles. Les signaux des différentes porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité, ils n'interfèrent pas entre eux. Ainsi, dans un environnement multi-trajets où certaines fréquences seront détruites par des perturbations, le système pourra toujours récupérer les informations perdues sur d'autres fréquences porteuses qui n'ont pas été détruites. [20]

II.10.2. Le multiplexage par division spatiale SDM

Au cours de laquelle les flux de données indépendants dans un canal spectral sont multipliés simultanément. Le multiplexage SDM peut améliorer considérablement le débit de façon significative, car plus de données spatiales sont résolues. Chaque flux spatial doit disposer de sa propre paire d'antennes d'émission/réception à chaque extrémité de la liaison radio. Il est important de noter qu'un canal radiofréquences RF séparé et un convertisseur analogique-numérique sont nécessaires pour chaque antenne du système MIMO. Les configurations nécessitent plus de deux chaînes d'antennes RF doivent être soigneusement conçues pour réduire les coûts tout en répondant aux attentes de performances. [21]

II.11. Les code espace-temps

II.11.1. Les code temps-espaces STC

Afin d'améliorer la fiabilité de la transmission dans le contexte de la diversité des émissions.

II.11.2. Les codes en blocs STBC et les codes en treillis STTC

Le premier est facile à mettre en œuvre et le dernier offre les meilleures performances. Notez que dans le contexte de la mise en œuvre et de plusieurs prototypes, les codes de blocs sont souvent préférés à leur homologue en treillis.

Schéma bloc d'un système MIMO :

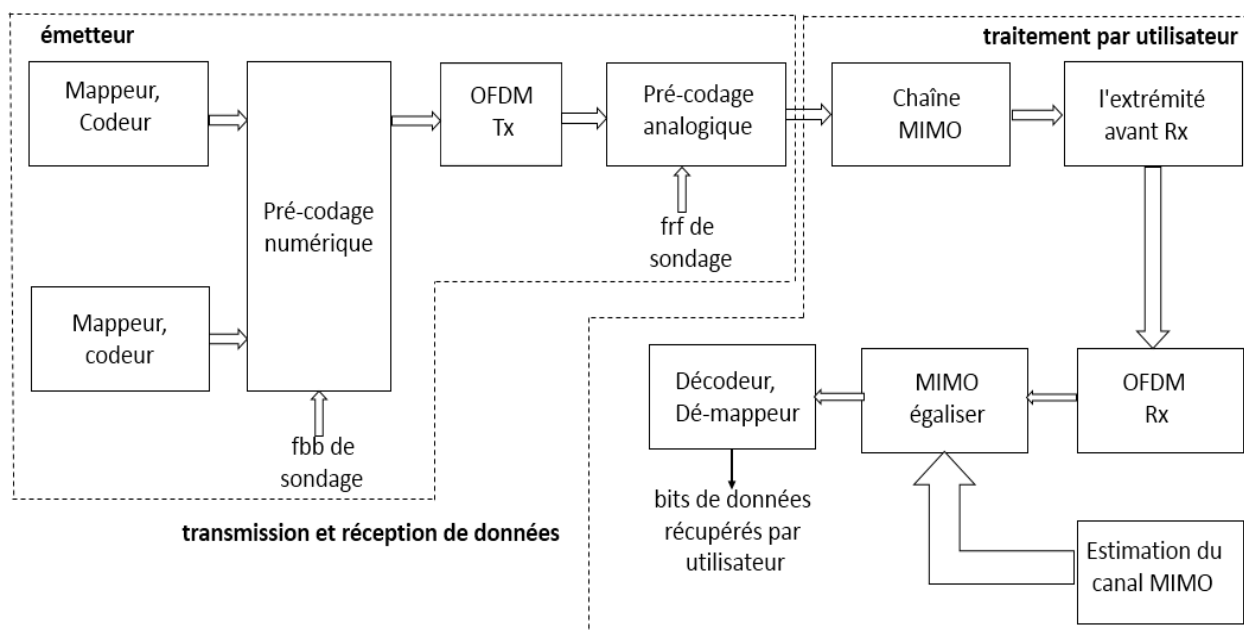


Figure II.14 : Schéma block de MIMO.

II.12. Système MIMO-OFDM

Il est maintenant reconnu que les systèmes MIMO ("multiple input multiple output"), consistant en l'utilisation de plusieurs antennes pour la transmission et la réception, permettent une fiabilité et des débits améliorés pour la communication sans fil. Le codage spatio-temporel (ST) offre un moyen attrayant d'atteindre des débits élevés avec des gains de diversité et de codage.

Une méthode efficace pour traiter les canaux sélectifs en fréquence est l'utilisation de la modulation multi-porteuse (MC, "Multi-Carrier"), connue sous le nom de OFDM ("Orthogonal Frequency Division Multiplexing"). La combinaison de MIMO et OFDM permet d'exploiter les avantages des deux méthodes : la robustesse de la liaison sur des canaux sélectifs en fréquence pour l'OFDM est la robustesse sur des canaux non liés dans l'espace pour les MIMO avec codage.

Dans les études de la littérature, il apparaît que la configuration MIMO associée à la technique OFDM permet une amélioration significative des performances par rapport à d'autres études de cas, la figure II.10 montre le schéma d'assemblage du système MIMO avec la modulation du type OFDM. La figure montre le besoin d'un codage STBC spatio-temporel, suivi de la transformé de Fourier rapide FFT et son inverse IFFT. Le programme MATLAB a été développé à cet effet, pour démontrer l'efficacité de l'assemblage MIMO-OFDM en termes de taux d'erreur BER.

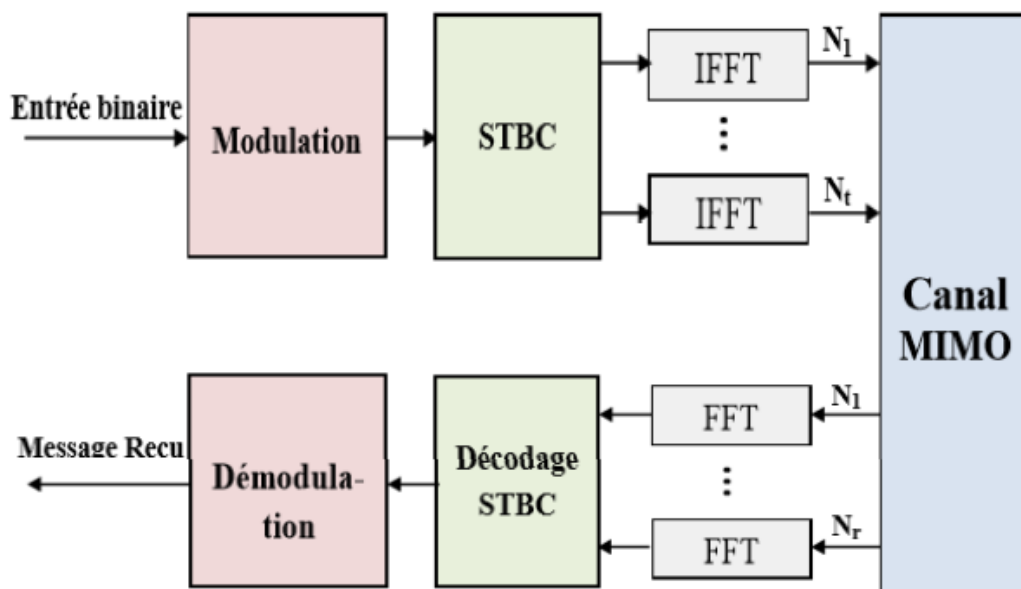


Figure II.15 : Principe d'un système MIMO-OFDM.

Le système MIMO-OFDM est basé sur un modèle d'Alamouti STBC avec des sous porteuses N , N_t antennes d'émission et N_r antennes de réception. Si nous exprimons le vecteur de données pour la $i^{\text{ème}}$ antenne d'émission avant la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) comme, alors le vecteur transmis peut être notée, tel que :

$$x_i = \text{IFFT}(X_i) \tag{II.10}$$

Le vecteur x_i associé s'écrit :

$$x_i = [x_i(0), x_i(1), \dots, x_i(N - 1)]^T \tag{II.11}$$

Dans le domaine temporel discret, un signal MIMO-OFDM, $x_i(n)$ de N sous porteuses s'écrit de la forme suivante :

$$x_i(n) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} X_i(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right)}{\sqrt{N}} \tag{II.12}$$

Avec $0 \leq n \leq N - 1$ et $1 \leq i \leq N_t$

Pour démontrer l'intérêt de l'association des systèmes MIMO avec la modulation OFDM, nous allons comparer les performances en terme de BER (Taux d'Erreur Binaire) des deux systèmes, Pour obtenir une bonne comparaison, les deux systèmes doivent être placés dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même puissance émise, la même bande passante et le même débit. Pour obtenir le même débit il faut augmenter le nombre de bits par symbole pour l'OFDM. Sur les figure (II.16) et (II.17), pour le cas QAM=8 puis QAM=16.

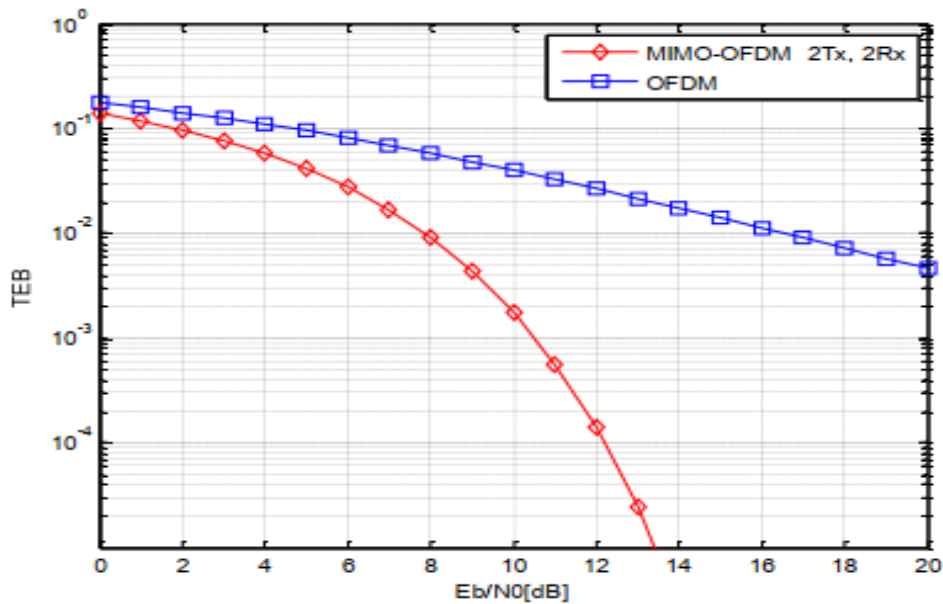


Figure II.16 : Comparaison du système SISO-OFDM avec MIMO-OFDM, QAM = 16

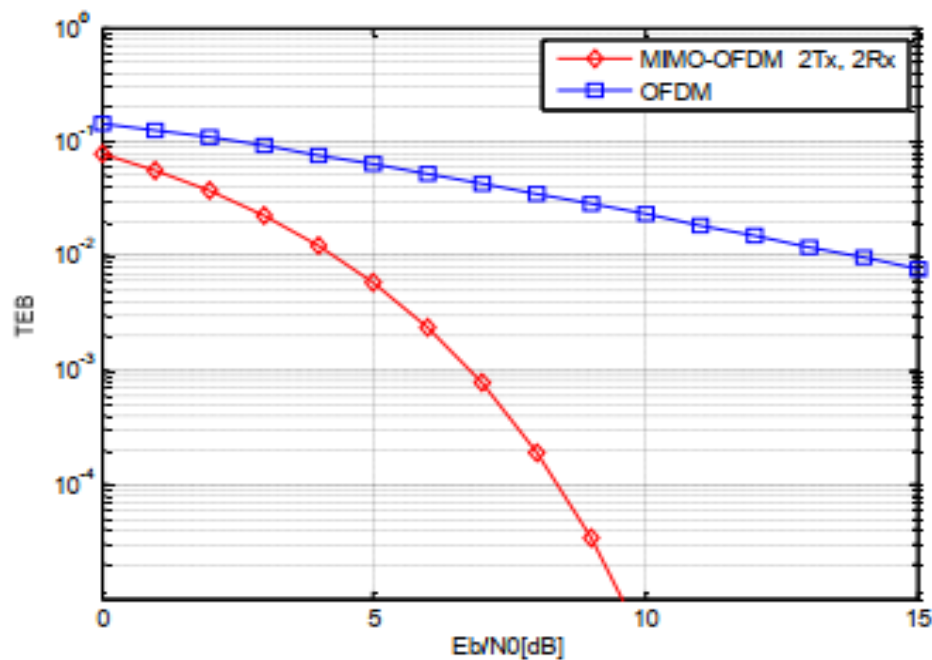


Figure II.17 : Comparaison du système SISO-OFDM avec le système MIMO-OFDM, QAM =8.

Les performances de MIMO-OFDM sont bien meilleures, et cet exemple montre une amélioration notable des performances du système MIMO OFDM par rapport au système SISO OFDM. Néanmoins, il est à remarquer que le QAM 16 offrent un taux d'erreur très faible. [18]

II.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni un aperçu de tous les systèmes MIMO-OFDM. Nous avons expliqué la modification OFDM et son principe de fonctionnement. Le système MIMO a également son propre principe, modèle et différents types de codage. Enfin, nous avons parlé du système MIMO associé à la modulation OFDM. Dans le but de faire éliminer le ber de plus en plus et d'avoir la meilleure qualité de signal à la réception, nous allons introduire dans le chapitre suivant le codage convolutif et le décodage de Viterbi.

Chapitre III :
LE codage convolutif
et le décodage de
Viterbi

III.1. Introduction

La nécessité d'utiliser le codage dans les canaux de transmission due à son travail sur l'introduction de la redondance dans le signal transmis. Car cette redondance protège le signal envoyé contre les erreurs de transmission. Si on émette un signal binaire et que la détection se fasse bit par bit dans le récepteur. Si, des bits de redondance sont introduits dans le message, on peut être en mesure de détecter, voire même de corriger, des erreurs de transmission. Si, au contraire, le signal transmis n'a pas de redondance, toute erreur de transmission entraîne une perte d'informations irréversible.

III.2. Codes Convolutif

Le codage convolutif est un codage correcteur d'erreur, Étant donné que les données sont liées de manière glissante au polynôme binaire, elles sont appelées un code convolutionnel. Les codes Convolutif sont largement utilisés dans les systèmes de communication fixe et mobile, tels que les systèmes WCDMA, IEEE 802.11 et satellites.

Le codage convolutif est basé sur le principe de considérer des séquences semi-infinie a_0, a_1, a_2, \dots) de symbole, cette dernier est passer à travers une succession de registre à décalage. [22]

III.2.1. Principe du codeur convolutif

Le principe de codeur convolutif est illustré par le schéma de la figure suivante :

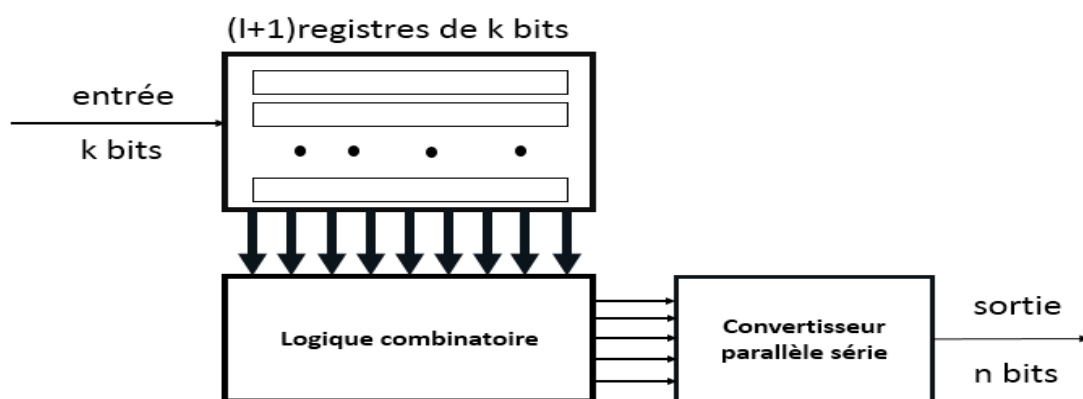


Figure-III.1. Le principe d'un codeur convolutif

Un codeur convolutif (n, k, l) se compose de registres à décalage de niveau l k et de n additionneurs modulo-2 (générateurs de sortie). Le mot de code n ne dépend pas seulement des blocs k bits qui sont entrants, mais aussi des $(l-1)$ codes qui l'ont précédé, stocké dans le registre. L'encodeur convolutif a donc une "mémoire". [23]

Le code est représenté par (n, k, l) , et le taux de codage R . [22]

n : représente le mot de code de sortie (output).

k : représente l'information de bits entrée (input).

l : la longueur de contrainte (nombre de registre à décalage dans l'encodeur).

R : c'est le rapport entre les sorties et les entrées.

$$R = \frac{k}{n} \quad (\text{III.1})$$

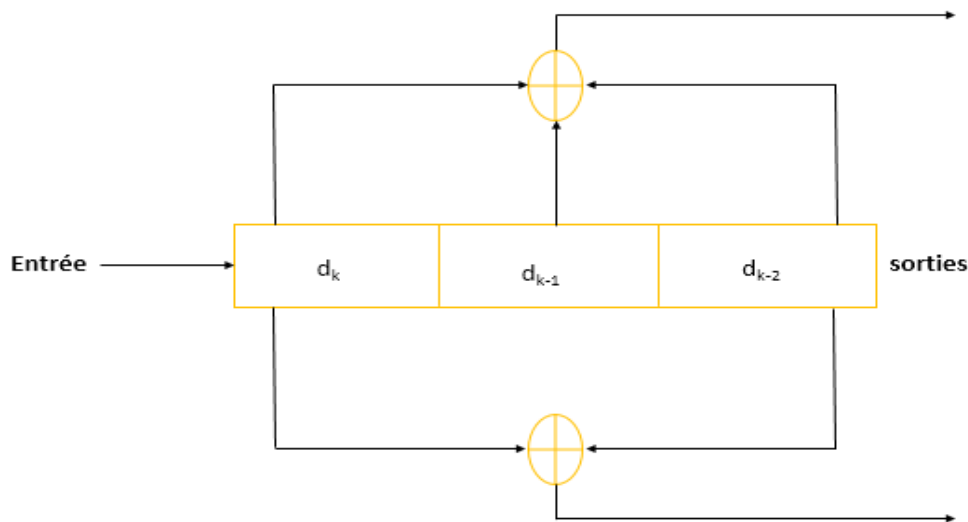


Figure III.2 : Encodeur convolutif

III.2.2. Les propriétés

Le code convolutif se caractérise par les quatre propriétés suivantes :

- Le rendement R .
- Longueur de contrainte.
- Linéarité : l'association des mots de code à une combinaison linéaire des mots de code de chacune de ces séquences.
- Stationnarité : lié au décalage temporel c'est à dire lorsque le message d'entrée est décalé par un instant t_1 est envoyé sur l'encodeur, on doit retrouver à la sortie, le mot de code correspond décalé par t_1 aussi.

III.2.3. Les différentes représentations

Le code Convolutif est représenté en deux catégories, soit une représentation numérique soit une représentation graphique. [24]

La figure suivant résume les différentes représentations :

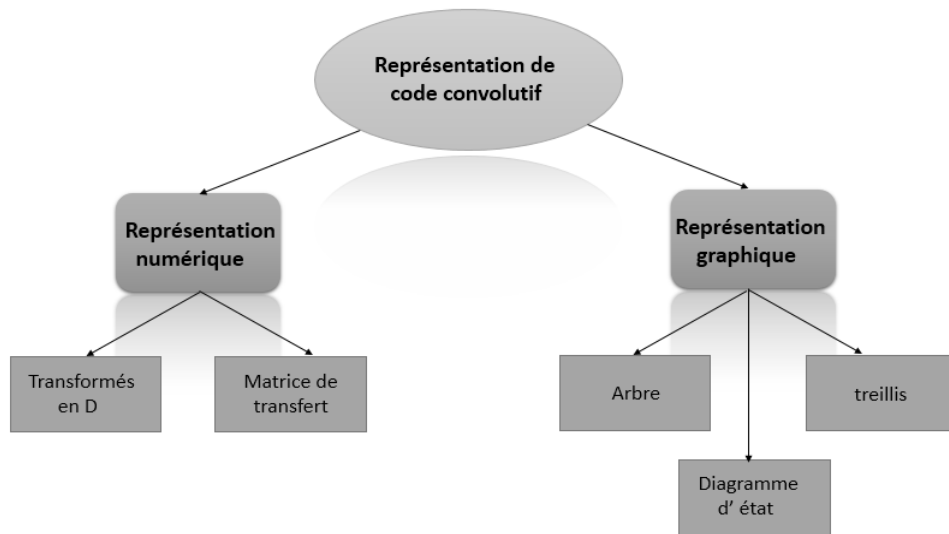


Figure III.3. Représentations de code convolutif.

III.2.3.1. Diagramme en arbre

Pour la représentation du diagramme en arabe (figure III.4) nous avons adapté les conventions suivantes :

- ✓ Le temps s'écoule de la gauche vers la droite.
- ✓ Lorsque l'élément binaire à l'entrée du codeur est égal à 0 (respectivement à 1), le couple binaire en sortie du codeur (noté entre parenthèse) est porté par une branche montant (respectivement descendante) du diagramme en arbre. Les branches montantes et descendantes se séparent en un point appelé nœud. Plus généralement, en considérant des blocs de éléments binaires d'information à l'entrée du codeur chaque nœud donne naissance à branches.

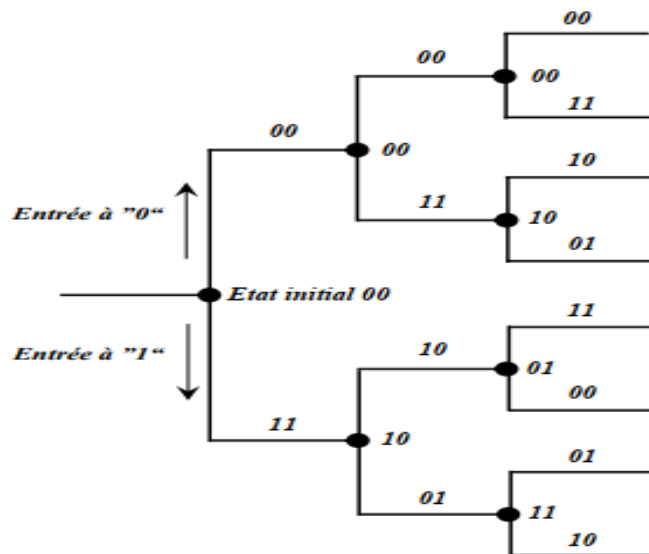


Figure III.4 : Diagramme en arbre du codeur convolutif.

III.2.3.2. Diagramme d'état

Le diagramme d'état est une description des changements dans l'état du système, qui affecteront la sortie du système en fonction de l'état actuel du système à partir de l'entrée du système. Le message L-1 stocké par le codeur à code convolutif doit être modifié en raison de la nouvelle entrée de message, mais également affecter la sortie de codage actuelle. Les informations stockées à tout moment dans le registre à décalage du codeur à code convolutif sont appelées Un état de l'encodeur de code convolutif.

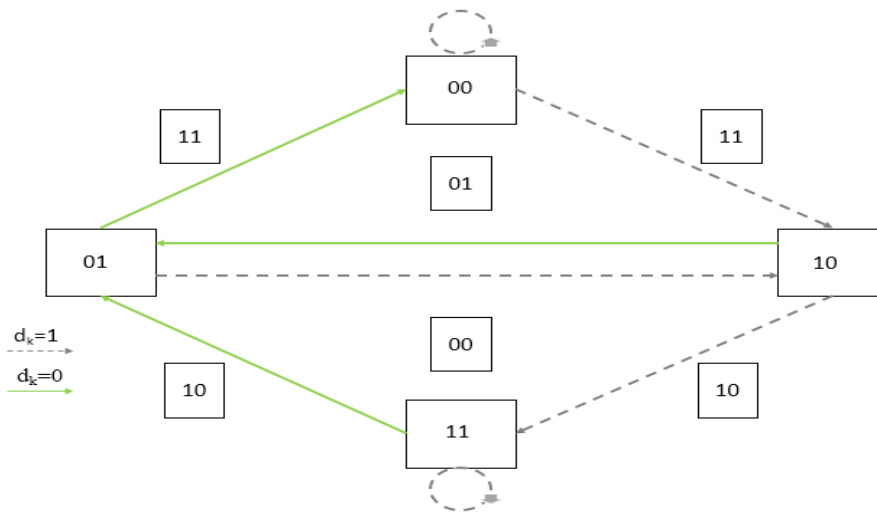


Figure III.5 : diagramme d'état du codeur convolutif.

III.2.3.3. Diagramme de Treillis

Compte tenu de la séquence de données d'entrée, la séquence de sortie codée peut être facilement obtenue selon le graphique de la grille. La ligne pointillée indique que le bit d'entrée est 1 et la ligne continue indique que le bit d'entrée est 0. Par exemple, lorsque la séquence de données d'entrée est 110100, la séquence de sortie codée correspondante est 11 01 01 00 10 11 selon le graphique de grille, comme illustré dans la figure suivante :

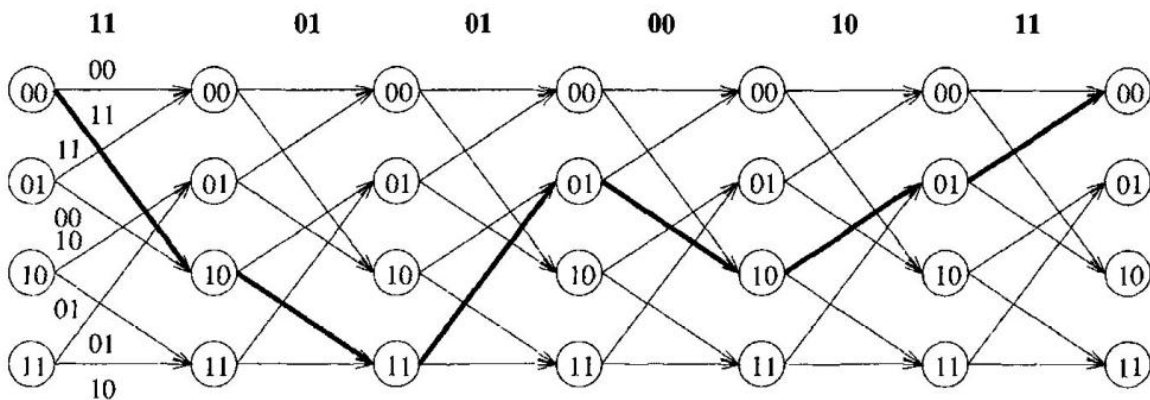


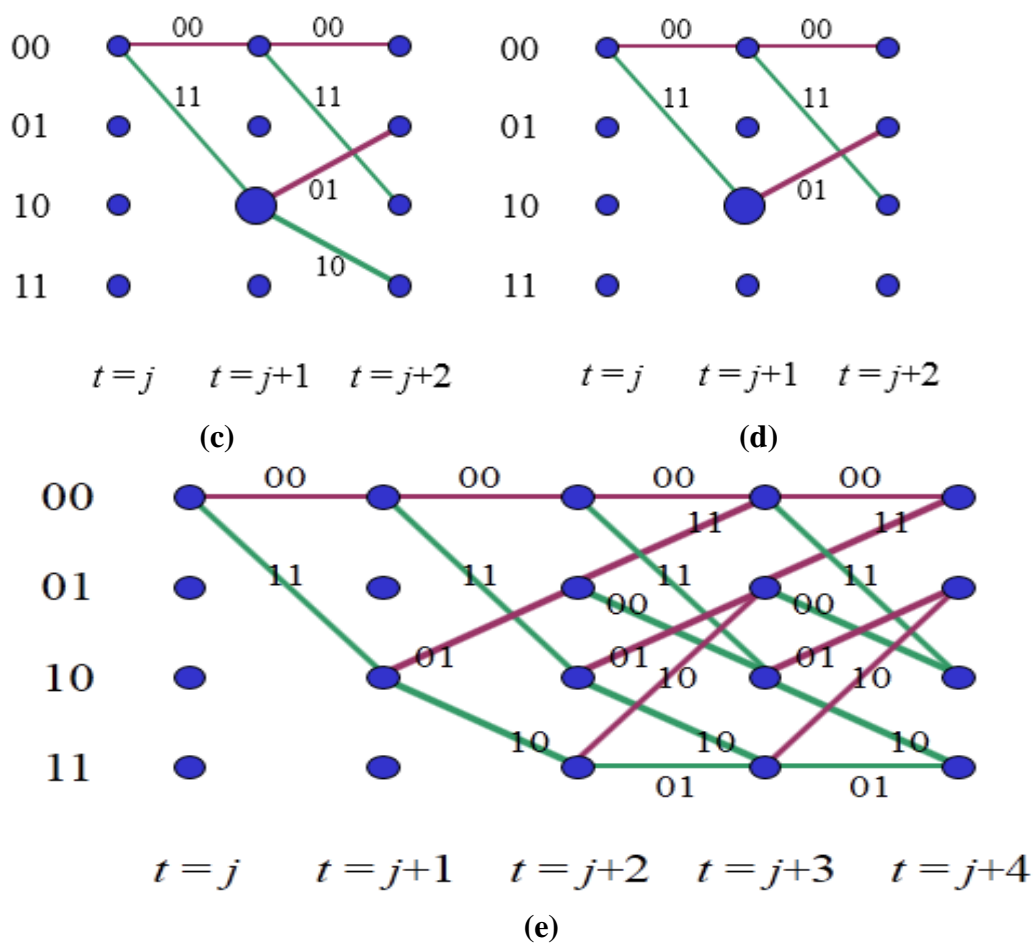
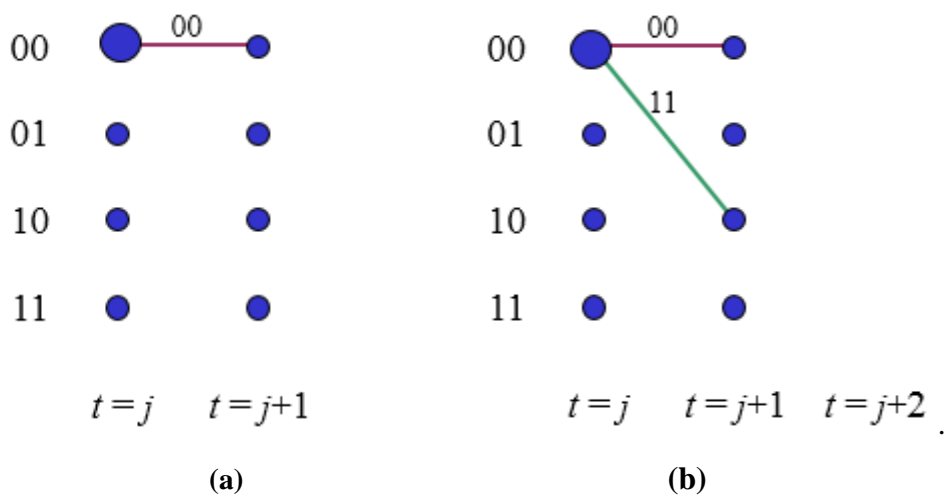
Figure III.6 : Diagramme de Treillis du codeur convolutif.

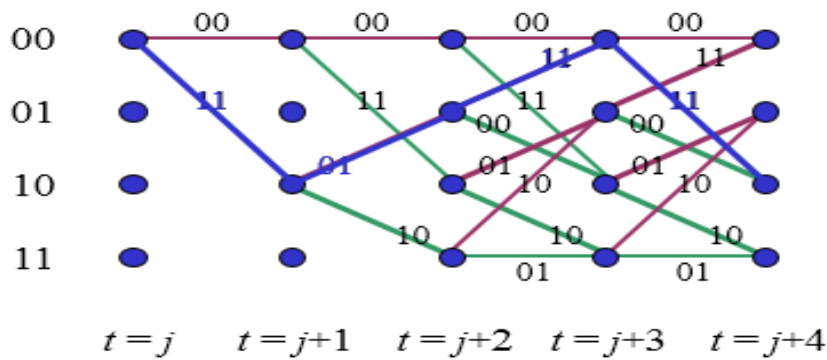
III.2.4. Un exemple de codage convolutif

- $R=1/2(k=1, n=2)$
- La séquence d'information : 1001.

La ligne verte représente 1.

La ligne rouge représente 0.





(f)

Figure III.7 : Exemple de codage convolutif.

On choisit le chemin qui correspond la séquence 1001(f). Donc, le mot de code associé à ‘1001’ est ‘11011111’. [25]

III.2.5. Les algorithmes de décodages

Ont représenté deux algorithmes de décodage les plus répandés :

- **Le décodage séquentiel** : Utiliser le diagramme l’arbre pour rechercher le chemin le plus probable, ce type de recherche appartient au genre de recherche dupth-first, pour rechercher le chemin le plus vraisemblable on utilise une fonction de métrique.
- **Le décodage de Viterbe** : Utilise le diagramme de treillis qui minimise la probabilité d’un chemin incorrect, Et de cela nous concluons que L’algorithme de Viterbi réduit le nombre de groupes de bits qui lui sont associés ces chemins se trouvent dans le **treillis**, plutôt que le nombre **actuel de bits qui sont incorrectement décodés**.

III.3. Le décodage de Viterbi

III.3.1. L’algorithme de décodage de viterbi

Il existe deux possibilités de traitement des données pour décoder, à savoir une décision douce (Soft Decision), hard decision (Hard decision). Pour une décision souple, le vecteur r , représentant la sortie d'un filtre adapté (Matched Fi / ters), est comparé aux différents points du signal afin de choisir le point qui en est le plus proche au sens euclidien. Pour une décision douce, ce même vecteur r est transformé en premier dans une séquence binaire y , en prenant une (décision difficile) sur chacun de ces éléments, ce qui permet alors de choisir le mot de code qui en est le plus proche, en la signification de Hamming. De plus, il est évident que pour les deux approches, la tâche principale reste de déterminer le chemin dans le treillis, à une distance minimale de par rapport à une séquence donnée, ce problème apparaît dans plusieurs

aspects du domaine de communication, notamment pour l'estimation de la séquence très probablement, transmis dans un canal à bande limitée avec des interférences inter-symboles, reconnaissance de la voix ou autres problèmes de classification modèles (Patternclassification). [26]

III.3.2. Techniques de décodage

III.3.2.1. Décodage par Décision Douce (Soft Decision Decoding)

Dans un canal AWGN, la détection optimale est principalement une détection basée sur la minimisation de la distance euclidienne entre le signal reçu et le signal émis. En d'autres termes, une fois la sortie du canal reçue, soit passée par les filtres correspondants (Matched Filters), nous devons choisir le signal de message ayant la distance minimale au sens de Hamming avec le signal reçu. Avec utilisation modulation (Phase Shift Key), pour la transmission de données codées, le mot de code $C_I = (c_{i1}, c_{i2}, c_{i3} \dots c_{in})$ est modélisée (mapped) en une séquence :

$$S_i(t) = \sum_{k=1}^n \Psi_{ik}(t - (k-1)t) \quad \text{(III.5)}$$

$$\text{Avec : } \Psi_{ik} = \begin{cases} \Psi(t) & c_{ik} = 1 \\ -\Psi(t) & c_{ik} = 0 \end{cases} \quad \text{(III.6)}$$

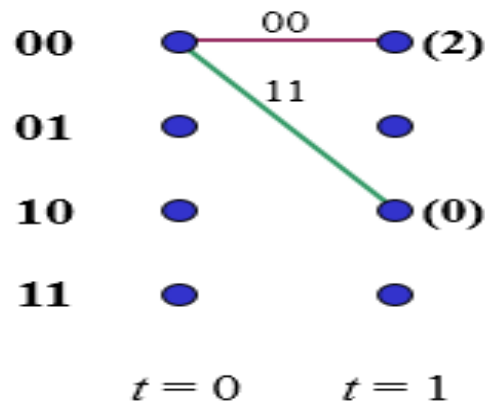
$\Psi(t)$ est un signal de durée T est d'énergie E , de valeur nulle en dehors de l'intervalle $[0, T]$.

III.3.2.2. Décodage par Décision Dure (Hard Decision Decoding)

Utilisée pour attribuer des valeurs binaire (Hard Decision Decoding), aux composantes du vecteur reçues r , et trouver le mot code (Code Word), le plus proche de r , au sens de Hamming. Il y a trois étapes de base du processus de décodage par décision dure. Tout d'abord, le signal brut reçu $r(t)$ passe à travers une série de filtres (Matched Filters), pour obtenir le vecteur r . Deuxièmement, comparer les éléments du vecteur r , avec des niveaux de seuil, et quantifiez chaque élément par l'un des deux niveaux, qui définit le nouveau vecteur y . Enfin, le décodage est effectué en recherchant le mot de code le plus proche du vecteur y , au sens de Hamming.

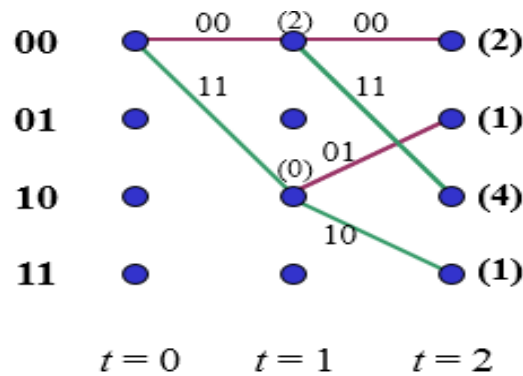
III.3.3. Le fonctionnement de l'algorithme de viterbi

D'après l'exemple (III.2.4) de codage convolutif on va faire le décodage de Viterbi.



(a)

Deux branches partent de l'état '00'. Elles sont respectivement aux distances 2 et 0 du premier couple binaire reçu. Reportons ces deux distances, appelées **métriques de branche** sur le treillis. [25]



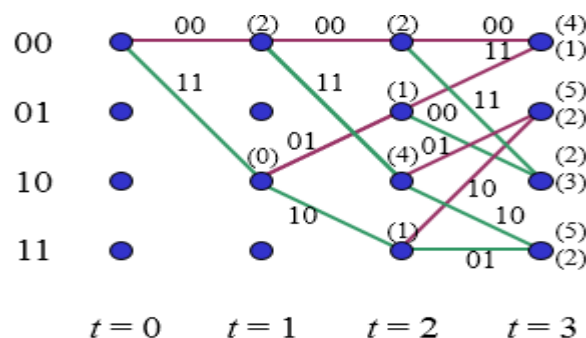
(b)

Évaluons la distance entre le deuxième couple binaire reçu et les quatre branches qui partent des états '00' et '10', puis reportons ces quatre métriques sur le treillis.

En sommant les métriques de branches appartenant à un même chemin, nous obtenons les **métriques cumulées**.

Nous avons désormais quatre chemins qui permettent d'accéder, en $t = 2$, aux quatre états possibles du codeur.

- A l'instant $t = 2$:



(c)

Il existe désormais deux chemins qui convergent vers chaque nœud du treillis.

On va donc :

1. Calculer les métriques de branche.

2. Calculer les métriques cumulées pour chaque chemin atteignant en $t = 3$, un nœud donné du treillis.

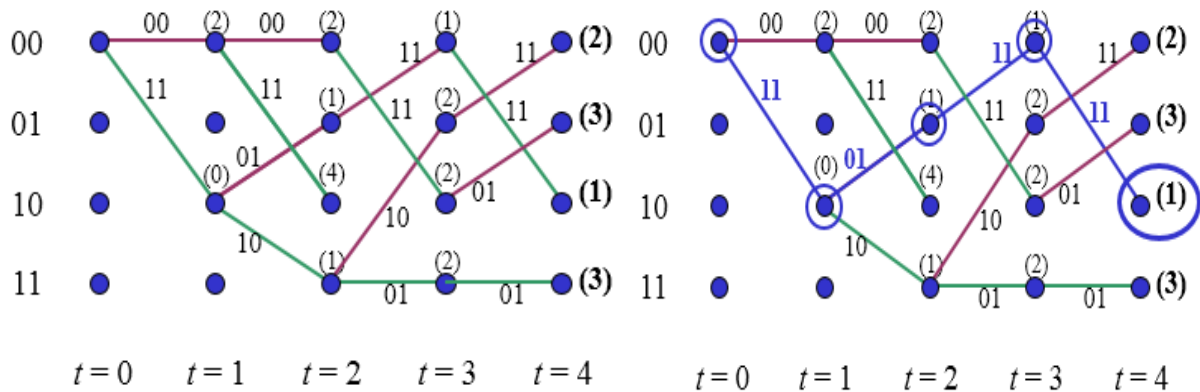


Figure III.8 : Exemples de décodage Viterbi

Finalement, le chemin le plus vraisemblable est celui qui arrive en ‘10’.

En remontant le treillis de la droite vers la gauche, on voit que la séquence la plus vraisemblable est celle qui part de ‘00’ à $t = 0$ et qui arrive à ‘10’ à $t = 4$. Elle correspond au code vraisemblablement émis : ‘11 01 11 11’.

Ce code correspond à une séquence sur l’entrée du codeur égale à ‘1001’.

III.4. Le codage et le décodage sous MATLAB

En utilisant Matlab, nous simulerons un signal binaire en utilisant un codage convolutif avec un décodage Viterbi.

Les paramètres utilisés dans cette étude sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Taille de symbole « M »	64
Taux de codage R	1/2
La longueur de contrainte L	2
Nombre de trame	6000

Tableau III.1 : Les paramètres utilisés dans la simulation.

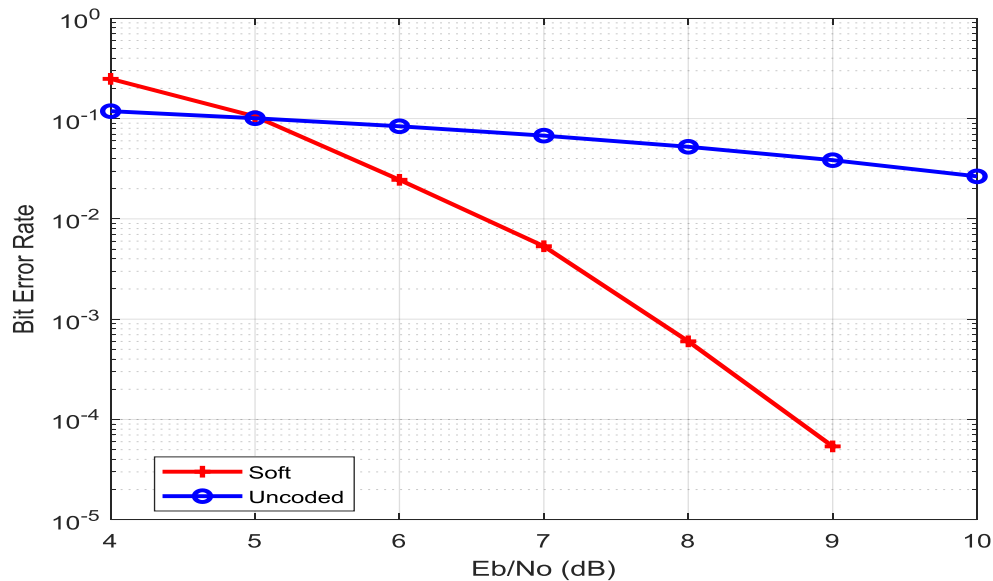


Figure III.9 : Estimation du BER pour le décodage Viterbi à décision dure et douce.

La figure représente un signal sans codage et l'autre avec le codage convolutif (décodage soft).

On remarque que :

Lorsque le SNR est inférieur de **5dB** ; le signal sans codage est le meilleur que le signal codé, par contre si le SNR est supérieur de **5dB** le signal codé donne de bien meilleurs résultats qu'un signal non codé. Avec cela, nous concluons que le signal codé est efficace pour de grandes valeurs de SNR.

III.5. Le codage convolutif dans les systèmes MIMO-OFDM

Le système MIMO-OFDM conçu est organisé en trois étapes pour les systèmes d'émission et de réception : pour la partie émettrice, tout d'abord, le train de bits à émettre est organisé de manière à préserver l'intégrité des données ; en outre, il existe un bloc pour la correction des erreurs de transfert (FEC, TrellisCoding) qui vise à contrôler la quantité d'erreurs introduites dans la transmission. Des techniques de correction d'erreur directe sont incorporées dans les régimes de modulation numérique et d'entrelacement. Dans la deuxième étape, l'étape MIMO, des techniques de multiplexage spatial sont utilisées. Enfin, dans la troisième étape, OFDM est utilisé pour le multiplexage de fréquence et l'insertion de pilote pour l'estimation de canal au niveau du récepteur. Pour la partie réceptrice, des opérations inverses sont effectuées afin de décoder des données ; pour le décodage MIMO, la méthode Zero Forcing (ZF) est utilisée. Dans le premier étage du récepteur, l'étape de décodage convolutif, l'algorithme de Viterbi est développé. [2]

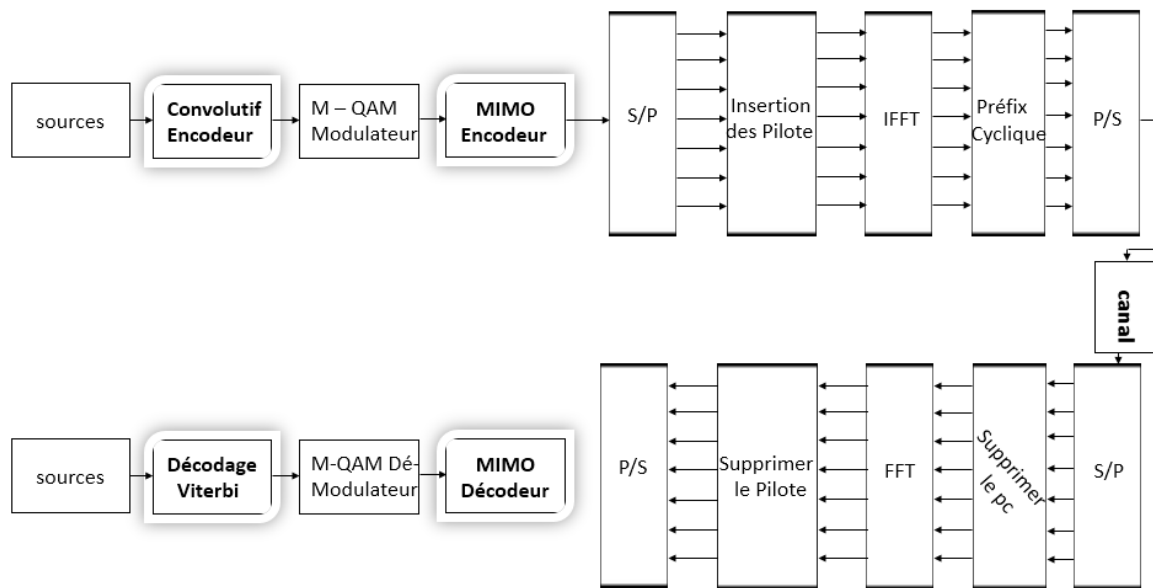


Figure III.10 : système MIMO-OFDM avec le codage convolutif.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de codage convolutif et du décodage de Viterbi. Nous avons expliqué le principe de fonctionnement de chacun, et également parlé sur les propriétés de codage convolutif et les différentes représentations. Enfin, nous avons exécuté une simulation Matlab en utilisant le décodage Viterbi.

Dans le chapitre suivant, nous allons citer la simulation de MIMO-OFDM avec le codage convolutif et le décodage de Viterbi en terme taux d'erreur binaire.

Chapitre IV :
Résultat de simulation
d'un canal MIMO-
OFDM

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier les performances des systèmes MIMO-OFDM avec la combinaison de plusieurs antennes à l'émission et à la réception utilisons le codage convolutif et le décodage de Viterbi.

IV.2. Résultat de simulation

IV.2.1. Première partie : « MIMO-OFDM »

Dans cette partie simulation, nous avons travaillé sur le programme MATLAB du système MIMO-OFDM.

Pour atteindre notre objectif souhaité, nous avons divisé la première partie de la simulation en trois cas, dans chaque cas, nous avons mis en évidence une variable spécifique pour voir son effet et son importance sur le système MIMO-OFDM, nous concentrant sur le taux d'erreur sur les bits (BER) en fonction de SNR. Ces variables sont :

- ✓ Le nombre d'antennes d'émission T et de réception R pour le système
- ✓ Le nombre de sous-porteuses du système
- ✓ Type de modulation du système.

IV.2.1.1. Importance de nombre des antennes T et R sur un système MIMO-OFDM

Cette partie de simulation vise à étudier l'importance du nombre d'antennes pour l'émetteur et le récepteur, en comparant la variation de BER de nombre des antennes en fonction de SNR. La figure IV.1 présente les taux d'erreur binaire (BER) en fonction du rapport du signal sur bruit (SNR).

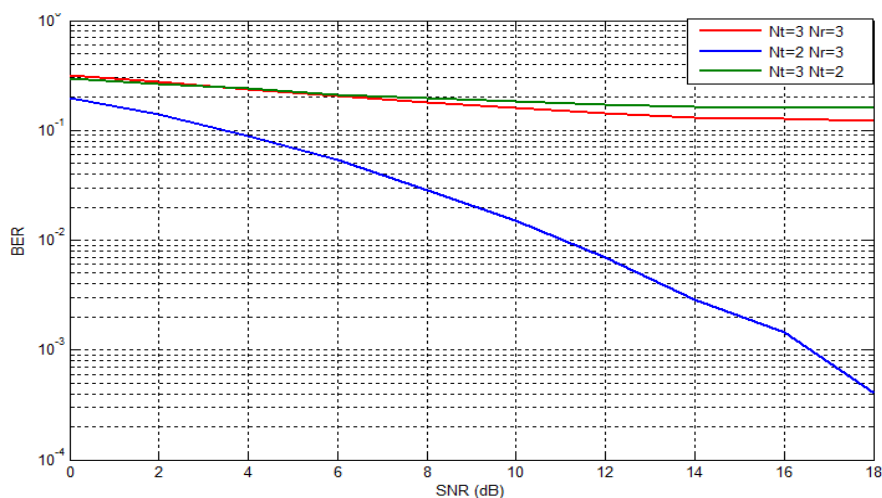


Figure IV.1 : Comparaison entre le BER de différentes nombre des antennes T et R en fonction de SNR.

La figure représente les trois cas, à savoir de nombre des antennes T et R ($N_t < N_r$, $N_t = N_r$ et $N_t > N_r$). On remarque bien qu'on augmente le nombre des antennes à l'émission le BER augmente, à 20 dB , le cas $N_t=N_r$ est milieu que le cas $N_t < N_r$, l'erreur obtenue est **0.125** pour ce dernier. On remarque aussi que le cas $N_t > N_r$ est milieu que le cas $N_t=N_r$, l'erreur obtenue est **0.165**.

Donc, nous concluons que plus le nombre d'antennes de transmission T est élevé, moins le taux d'erreur BER est élevé.

IV.2.1.2. Influence de nombres de sous-porteuse sur le système MIMO-OFDM

Dans cette partie, on a fixé le nombre de des antennes T et R, et on a varié le sous porteuse pour étudier l'influence de ce dernier sur le BER de système MIMO-OFDM.

La figure IV.2 au-dessus montre la variation de BER avec le changement de sous-porteuse en fonction de SNR, on remarque que le BER diminue avec l'augmentation de sous-porteuse. A 20dB , pour 32 sous-porteuse $BER=2.31*10^{-4}$, pour 64 sous-porteuse le $BER=1.54*10^{-4}$ et pour 128 sous-porteuse le $BER=1.12*10^{-4}$.

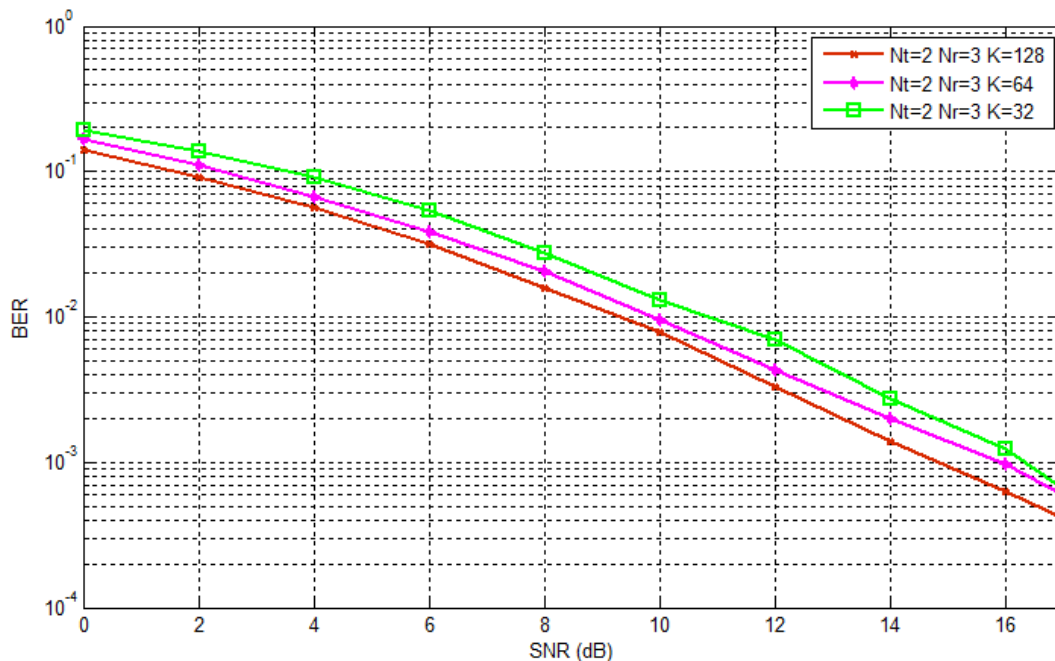


Figure IV.2 : L'influence de sous-porteuse sur le BER en fonction de SNR.

La relation entre les sous-porteuses et les erreurs de débit binaire est indirecte. Et donc, nous concluons que plus le nombre de sous-porteuses est faible, plus l'erreur se produira.

IV.2.1.3 Influences de type de modulation sur un système MIMO-OFDM

Et dans la dernière partie, on joue sur le type de modulation pour choisir le type parfait, la figure IV.3 illustre les résultats de simulation.

Dans cette partie de la simulation, nous avons fixé le nombre d'antennes et de sous-porteuses et sélectionné deux types de modifications *BPSK* et *QPSK* pour étude.

Notez que le **BER** est plus élevé pour la modulation *QPSK* que pour la modulation *BPSK*, à 20 dB est $2.31 \cdot 10^{-4}$ et $2.42 \cdot 10^{-5}$ dans l'ordre. Ce qui nous encourage à choisir la modulation *QPSK* au lieu du *BPSK* pour éviter les erreurs lors de la transmission.

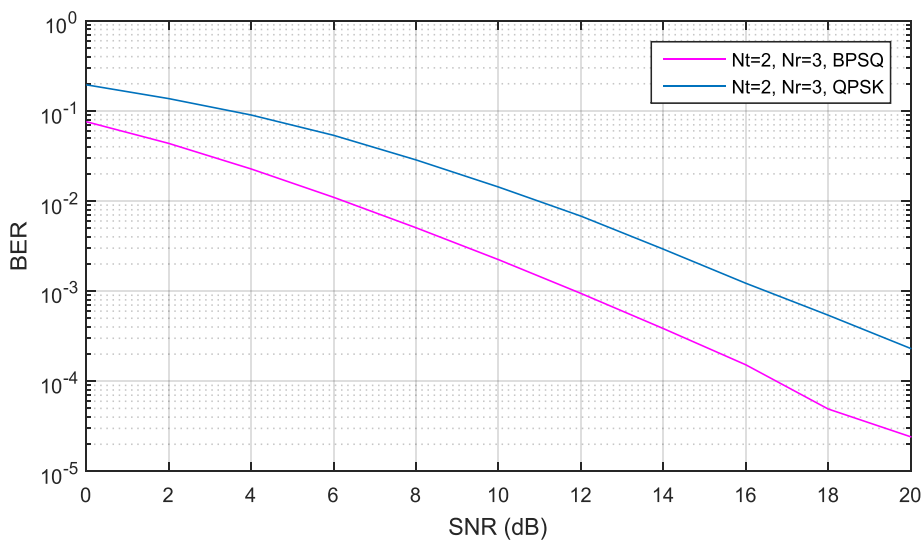


Figure IV.3 : L'influence de type de modulation sur le BER en fonction de SNR.

IV.2.2. Deuxième partie : « MIMO-OFDM avec le codage convolutif »

Dans cette partie simulation, nous avons utilisée Simulink Matlab avec le programme du système MIMO-OFDM utilisant le décodage du Viterbi.

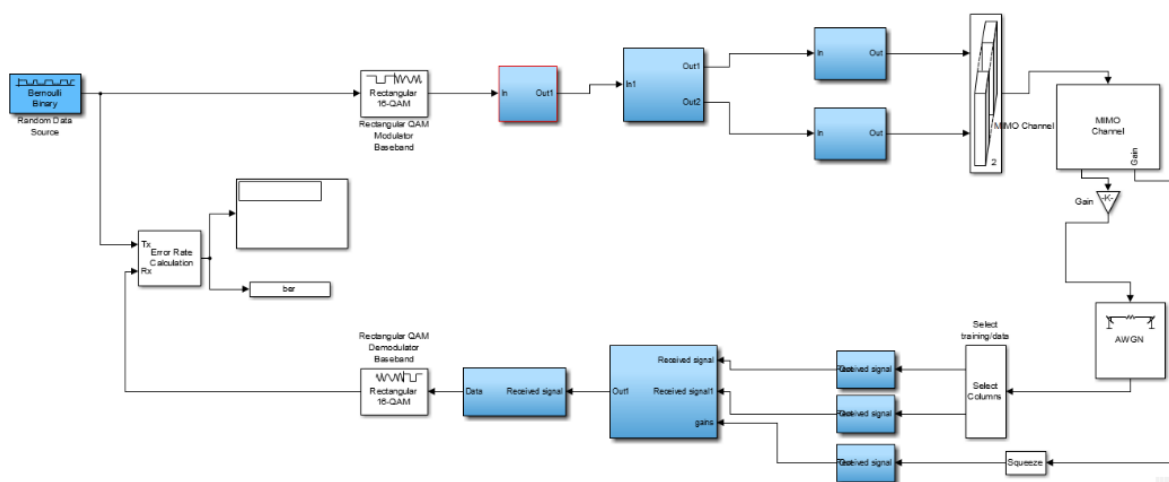


Figure IV.4: système MIMO-OFDM avec le codage convolutif.

IV.2.2.1 différents paramètres des blocs MIMO-OFDM

- a) **Bernoulli binary** : est une source de bits aléatoires utilisant une distribution de Bernoulli. Le nombre 0 est généré avec une probabilité de p et le nombre 1 est généré avec une probabilité de $q=1-p$.

Paramètre	Valeur
Probabilité	0.5
Initial seed	61
Sample time	1e-8

Tableau IV.1 Les paramètres de source binaire.

- b) **Rectangular QAM Modulator Baseband** : bloc de modulation où elles seront ordonnées sous forme de constellations selon le type de modulation choisi (BPSK, QPSK, 16QAM et 64QAM).
- c) **IFFT** : Ce bloc a comme fonction de convertir les données qui portent un symbole OFDM de série en parallèle, puis de l'arranger par insertion des 8 sous-porteuses pilotes, qui permettent d'obtenir des informations sur le canal et la synchronisation à la réception et l'insertion aussi de la sous-porteuse nulle centrale (DC).
- d) **Canal** : on choisit dans ce travail le canal AWGN.

Paramètres	Valeurs
Phase initiale	67
Eb/No (dB):	10
Nombre de bits par symbole:	1
Puissance du signal d'entrée	1(Watts)
Période du symbole:	1e-6

Tableau IV.2 : Paramètres de canal.

- e) **FFT** : la fonction inverse de l'IFFT.
- f) **Rectangular QAM Demodulator Baseband** : L'information est démodulée par un démodulateur.
- g) **Combinateur Spatio-temporel** : Ce bloc à deux entrées réalise les mêmes fonctions que celui du système MISO-OFDM sauf qu'il fait l'estimation de quatre

canaux au lieu de deux en se basant sur les préambules paires et impaires, et puis le décodage se fait en exploitant les valeurs du canal MIMO estimées et les deux signaux issus des deux blocs récepteurs OFDM.

- h) Préfixe cyclique :** Le préfixe cyclique est formé par une continuation cyclique du signal de sorte que le l'information dans le préfixe cyclique est effectivement présent dans le symbole OFDM.

Pour voir l'effet de codage dans les systèmes MIMO-OFDM, on va étudier les trois cas suivants :

- ✓ La comparaison entre le signal codé et sans codage.
- ✓ Le taux de codage R.
- ✓ La longueur de contrainte.

IV.2.2.2 Comparaison entre un signal codé et un autre sans codage

Cette partie de simulation est la plus importante de ce travail car où l'on étudie l'effet du codage sur le canal, et son efficacité à réduire le taux l'erreur (BER).

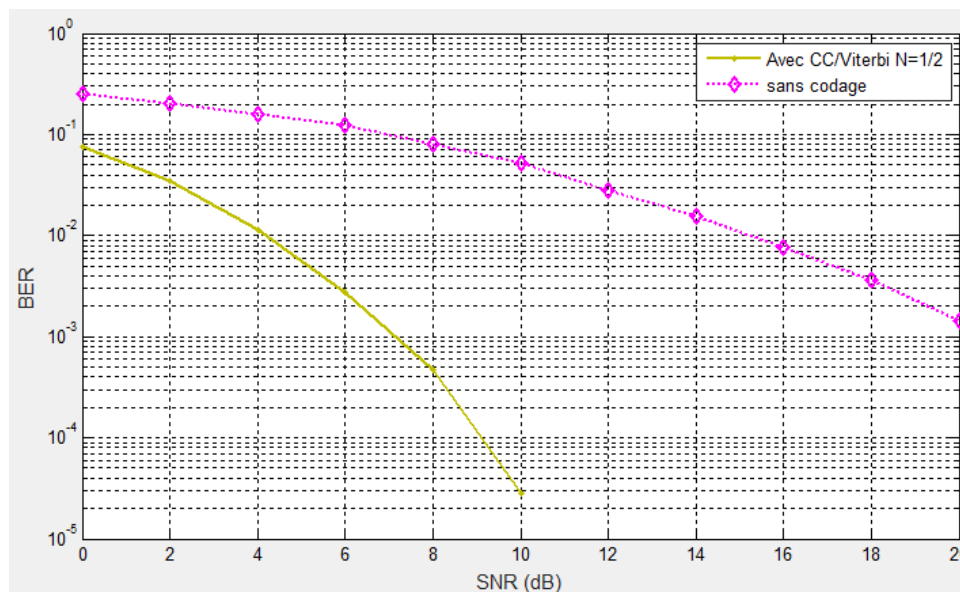


Figure IV.5 : Comparaison entre le BER de signal codé et un autre sans codage.

D'après cette figure (ci-dessus), il est clairement montré que le signal sans codage contient un **BER** plus grande que le signal codé. On remarque que, à **10 dB** le BER de signal sans codage est presque 10^{-1} , par contre le **BER** de signal codée est diminué jusqu'à 10^{-4} . Nous

montrons les résultats de simulation, et a été fait en utilisant la modulation **QPSK**, on remarque un gain très important entre signal non codé et codé.

Donc, on conclut que l'utilisation de code convolutif est suivie d'une amélioration considérable du taux d'erreur binaire.

IV.2.2.3 Comparaison le signal codé avec $R=1/2$, et $R=1/3$

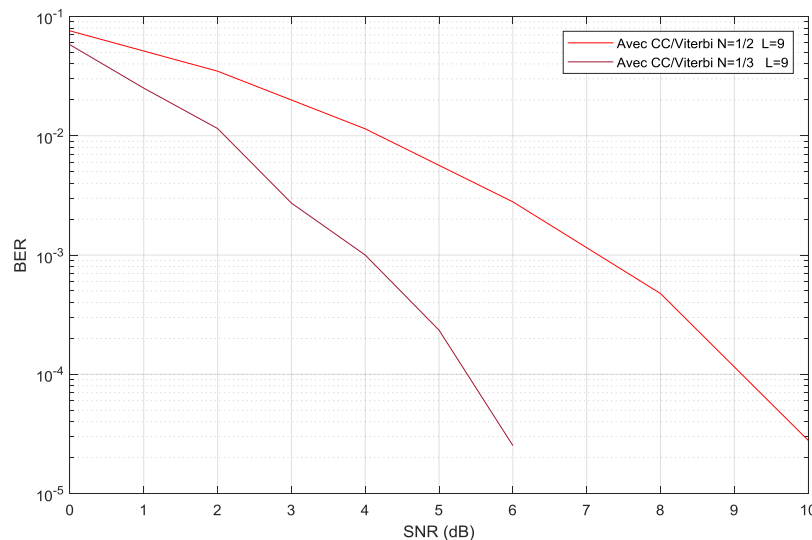


Figure IV.6 : Comparaisons entre des différentes valeurs du taux de codage

D'après cette figure (ci-dessus), Il y a une amélioration significative de la qualité du signal, où nous remarquons que lorsque nous augmentons la longueur du mot de code n (c'est-à-dire que le R est plus petit), la valeur du BER diminue.

Donc, plus on augmente la longueur du mot de code la qualité de transmission s'améliore pour une longueur de contrainte fixe. Plus le rendement est faible, plus le code est performant.

IV.2.2.4 Comparaison le signal codé avec $L=3$, et $L=9$

La figure suivante présente l'étude de performance de l'association MIMO-OFDM avec le codage convolutif en fonction de la longueur de contrainte L . Nous montrons cet effet en présentant un tracé des courbes du BER en fonction de SNR. Nous voyons bien que la longueur de contrainte L a une très grande influence sur le BER. Nous constatons donc que les performances s'améliorent de façon importante quand la longueur de contrainte L est augmentée.

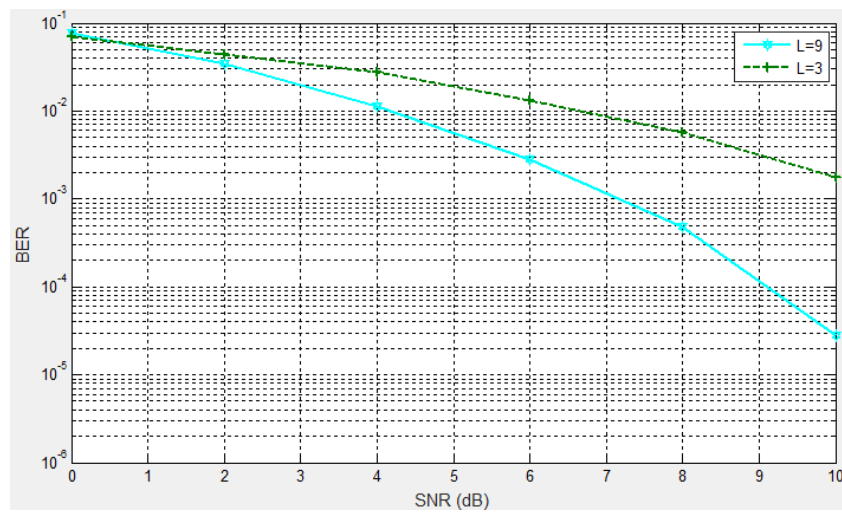


Figure IV.7: Comparaisons entre des différentes valeurs de la longueur de contrainte L.

IV.3. Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé les résultats obtenus à travers les différentes simulations effectuées. On a traité les performances de code convolutif dans un système MIMO-OFDM pour des différentes grandeurs.

Vu les résultats obtenus, le code convolutif nous a offert des performances tout à fait meilleures comparée à celles sans codage.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

L'objectif de notre mémoire était l'étude des systèmes MIMO-OFDM et l'évaluation de leurs performances avec le codage convolutif utilisant le logiciel MATLAB® R2017a.

Dans le premier temps, nous avons brièvement décrit le fonctionnement d'un système de communication radio, les différents modèles des canaux, notamment les canaux à évanouissements de Rice et de Rayleigh qui caractérisent le mieux les communications radio-mobiles.

En suite, on a présenté le système OFDM et leurs caractéristiques, ainsi que les systèmes MIMO, leur principe et les différents types de leur codage.

Dans la troisième partie de notre travail de fin d'études, nous avons détaillé le codage conventionnel ainsi que le décodage de viterbi, avec présentation des qualités de ce type de codage.

À la fin de notre travail, nous avons présenté divers résultats de simulations pour montrer l'efficacité de MIMO/OFDM via OFDM ainsi que l'association avec le codage convolutif. Les résultats de simulation ont montré clairement que cette association améliore clairement la qualité de transmission.

Nous proposons comme perspectives à ce travail, une étude des performances du système MIMO-OFDM en matière de capacité ainsi que de faire une estimation du canal.

Références Bibliographiques

- [1] Y. Soo Cho et al., *MIMO-OFDM wireless with Matlab*, John Wiley & Sons, Singapore, 2010.
- [2] ESLAVA, Sebastian, SANCHEZ, Carlos, et MORALES, Catalina Muñoz. A system level hardware/software partition of a mimo-ofdm system for system modeling. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería*, 2013, vol. 14, no 28, p. 95-108.
- [3] M. Benani, Y. Benyahia, “*Principe et simulation d’une transmission de type OFDM*”, *Mémoire de Master*, université de Mostaganem, 2018.
- [4] M. Belkessam, “*étude et évaluation des performances des systèmes de communications sans fil MIMO-OFDM,*” *Mémoire de Master*, université de TZI-OUIZOU, 2013.
- [5] J. Ben Salem, institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Support du cours, 2014.
- [6] <https://lesdefinitions.fr/reseau-sans-fil>
- [7] A. Bourai, A. Bentabet, “*la localisation dans les réseaux de capteurs Cas étudié : feu de forêt*”, *Mémoire de Master Télécommunication*, Université de Tlemcen, juin 2013.
- [8] A. Boudjaadar, “*Plateforme basée Agents pour l’aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil,*” *Thèse de Magistère*, Université de Skikda, 2009/2010.
- [9] F. MFUAMBA KABONZO, “*Etude Portant Sur L’implantation d’un Réseau Sans Fil (Wifi) Cas De Green Wispot S.P.R.L*”, *Ingéniorat d’électronique*, 2012.

- [10] <http://www.ordinateur.cc/r%C3%A9seaux/r%C3%A9seau-sans-fil/82081.html>
- [11] Md. GolamSadeque, Shadhon Chandra Mohonta, Md. Firoj Ali, "Modeling and Characterization of Different Types of Fading Channel, ", *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Vol 4, Issue 5, IJSETR, Mai 2015.
- [12] KH. Daoud, "simulation comparative des techniques TBMC et OFDM pour les réseaux 5G," , Mémoire de Master, université de Tlemcen, Juin 2016
- [13] B. Hadjali, " *Exploitation de l'association des techniques MIMO-OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil*, " Diplôme de Magistère, Université abou bakr belkaid- Tlemcen, 2012
- [14] <https://www.mathworks.com/help/ltedl/exampels/lte-hdl-transmitter.html>
- [15] N. Larbi, " *Détection multiutilisateurs dans le contexte de communication mobile, Exploitation de la combinaison OFDM/CDMA*, "Thèse de doctorat, Université d'Oran mohamed boudiaf. 2015.
- [16] A. Diallo, " *systèmes multi-antennes pour diversité et MIMO*, " , thèse de doctorat, l'université de Nice-Sophia Antipolis, Novembre 2007.
- [17] S. A. Renane, " *Les performances des systèmes MIMO_COFDM* , " Master En Télécommunications, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2015/2016.
- [18] D. Le Ruyet et B. Özbek, " *Systèmes MIMO et codage spatio-temporel* ", CNAM, Paris, 2005.
- [19] D. Daachi, " *Etude des systèmes MIMO-OFDM communication sans fil* ", Master Electronique, Université Abderrahmane mira de Bejaia, 2011/2012.
- [20] <http://fr.wikipedia.org/wiki/OFDM>.
- [21] www.afjv.fr/press0512/051219_standards_sans_fil_wifi.htm.

- [22] A. Djeflal et N. Zinai, “*Etude et Réalisation d’un Simulateur de Transmission MIMO-OFDM* ”, Master en électronique système embarqué, Université L’ARBI BEN M’HIDI D’OUM EL BOUAGHI, Juin 2018.
- [23] <https://www.slideshare.net/AnouarLoukili/codes-convolutifs>
- [24] KH. Boumentel, A. Fedlaoui, “*Codage convolutif concaténé en parallèle pour turbo-code*”, Mémoire de Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA
- [25] <http://www.isir.upmc.fr/UserFiles/File/argentieri/MSY06/Convolutif>.
- [26] M. Zebdi, “*étude comparative des algorithmes de correction d’erreurs sans voie de retour pour la communication sans fil* ”, la maîtrise en génie électrique, l’université du québec à trois-rivières, avril 2004, page 39.

Résumé

Les technologies sans fil sont en constante évolution afin de répondre aux besoins croissants de la population. Les systèmes de transmission Multiple Input – Multiple Output (MIMO), pourvus de plusieurs antennes en émission et en réception, permettent l'augmentation potentielle des performances des systèmes de communications sans fil. Ces systèmes permettent en particulier d'augmenter la portée et la fiabilité des liaisons quel que soit le canal de propagation.

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 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). L'OFDM est implémenté efficacement par une transformée de Fourier inverse (IFFT : Inverse Fast Fourier Transform). On retrouve cette technique dans les systèmes 802.11a/g et ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). La combinaison du MIMO et de l'OFDM permet d'exploiter les avantages des deux méthodes : la robustesse de la liaison sur des canaux sélectifs en fréquence pour l'OFDM et la robustesse sur des canaux non corrélés en espace pour les MIMO avec codage.

Ce mémoire s'intéresse à l'étude des performances d'un système MIMO/OFDM en utilisant le codage convolutif avec décodage de Viterbi. Une simulation sur Matlab d'une chaîne de transmission MIMO/OFDM a été effectuée sur un canal de Rayleigh. Les résultats de simulations obtenus ont montré l'efficacité du codage convolutionnel/Viterbi.

Mots clés : MIMO ; Modulations multi porteuses ; OFDM ; codage convolutif ; décodage de viterbi ; BER.

ملخص

تتطور التقنيات اللاسلكية باستمرار من أجل تلبية الاحتياجات المتزايدة للسكان. المدخلات المتعددة - أنظمة الإرسال متعددة المخرجات (MIMO) ، المجهزة بهوائيات إرسال واستقبال متعددة ، من المحتمل أن تزيد من أداء أنظمة الاتصالات اللاسلكية. تتيح هذه الأنظمة على وجه الخصوص زيادة مدى وموثوقية الوصلات بغض النظر عن قناة الانتشار.

يستخدم OFDM (تعدد الإرسال بتقسيم متعامد للتردد) تقليدياً في الأنظمة التي تكون فيها قناة الانتشار انتقائية للغاية في التردد على النطاق المدروس. يستخدم OFDM مجموعة من الموجات الحاملة الفرعية لإرسال المعلومات (تعدد إرسال التردد). يتم تنفيذ OFDM بكفاءة عن طريق تحويل فورييه العكسي IFFT (تحويل فورييه السريع العكسي) ، توجد هذه التقنية في أنظمة 802.11 g / او ADSL (خط Subscriber الرقمي غير المتماثل). إن الجمع بين MIMO و OFDM يجعل من الممكن استغلال مزايا كلتا الطريقتين: متانة الارتباط عبر قنوات انتقائية للتردد لـ OFDM والمتانة عبر القنوات غير المرتبطة مكانياً لـ MIMO مع التشفير.

تهتم هذه الرسالة بدراسة أداء نظام MIMO / OFDM باستخدام التشفير التلافي مع فك تشفير Viterbi. تم إجراء محاكاة على Matlab لسلسلة إرسال MIMO / OFDM على قناة رايلي. أظهرت نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها كفاءة الترميز التلافي / فيتربي.

الكلمات الرئيسية : الترميز فك تشفير التلافي ، OFDM ؛ MIMO ، تعديلات متعددة الموجات الحاملة