



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Télécommunications Avancées

THEME

**Etude des performances d'un
système de transmission basé sur
la technique MIMO-OFDM Pour un
lien sans fil**

Réalisé par :

- *Abdelhak CHORFI.*
- *Abdelhak BOUMAARAF.*

Dirigé par :

M^r. Farouk BOUMEHREZ.

Promotion 2015/2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الرَّحْمَاتِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père
Pour leur patience, leur amour, leur soutien et
leurs encouragements*

*A mes frères Mohamed, Amira, Hassen et
Houssin*

*A mes amies Sadam, Ali, Soufien, Jaber,
Islam, Houcem et mes camarades Amine,
Baha, Abdou.*

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

Chorfi abdelhak.



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A ma mère et mon père

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et
leurs encouragements*

A mes sœur Aminâ et Imen

*A mes amies Farid, Ramzi, Yacine, Amine,
Nasro, Zaki et mes camarades Amine, Bahâ,
Hakou.*

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

Boumâaraf Abdelhak .



REMERCIEMENT

Nous remercions avant tout Dieu le puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'étude.

Nous exprimons toutes nos gratitude à l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail et pour le plaisir qu'il nous a procuré à l'exposer devant eux.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr. Farouk Boumehrez pour avoir accepté d'encadrer et diriger ce travail, et pour nous avoir permis de bénéficier de ses conseils tout au long de réalisation.

Nous remercions également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail

ملخص:

يجمع نظام ميمو- أو آ ف دي أم لنظم الاتصالات اللاسلكية للجيل الرابع بين اكتساب القدرات وتنوع أنظمة ميمو مع - أو آ ف دي أم بمعادلة البساطة.

وقد أظهرت نتائج المحاكاة حصول تحسن كبير للنظام بأكمله، وهذا التحسن يعتمد على معايير تقنية معينة تستخدم في هذه التقنية مثل: عدد الحوامل الجزئية، وعدد القطع الفرعية، وطريقة التقسيم واختيار عوامل المرحلة.

إن تجميع نظام ميمو مع نظام - أو آ ف دي أم في جهاز للإرسال والاستقبال استناداً إلى أسلوب الكشف مع إلغاء التداخلات .

تقنية ميمو تعطي أداء جيد جداً في القناة مع مسارات متعددة التخمادات.

كلمات البحث: ميمو، أو آ ف دي أم، سيزو، ميزو، نسبة الخطأ، نسبة الضجيج.

Abstract

The MIMO-OFDM system provided for future wireless communications systems of 4th Generation (4G) combines the capacity gain and diversity of MIMO systems with OFDM equalization simplicity.

The simulation results obtained shown a significant improvement of the entire system. This improvement depends on the parameters of the particular technique used, such as: the number of subcarriers, the number of sub-blocks, the partition method and the choice of phase factors.

The association of a system MIMO-OFDM in an iterative receiver based on the method of detection with cancellation of interferences in parallels.

The technique MIMO gives very good performances in the channel with fadings multi-itineraries.

Key words: MIMO-OFDM, SISO , SIMO, BER, Eb/N0

Résumé

Le système MIMO-OFDM prévu pour les futurs systèmes de communications sans fil de 4^{ème} Génération (4G) combine le gain de capacité et de diversité des systèmes MIMO avec la simplicité d'égalisation de la technique OFDM.

Les résultats des simulations obtenus ont montrés une réduction significative et amélioration significative du système tout entier. Cette amélioration dépend particulièrement des paramètres de la technique utilisée tels que le nombre de sous porteuses, le nombre de sous blocs, la méthode de partition et le choix des facteurs de phase.

L'association d'un système MIMO-OFDM à un récepteur itératif basé sur la méthode de détection à annulation d'interférences en parallèles.

La technique MIMO donne excellentes performances dans le canal à évanouissements multi-trajets lorsque la détection à maximum de vraisemblance.

Mots clés: MIMO-OFDM, SISO, SIMO, BER, Eb/N0

LISTE DES TABLEAUX

Liste des Tableaux

<i>Tableau I.1: Tableau comparative des méthodes d'accès</i>	<i>16</i>
<i>Tableau IV.1 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 1x1</i>	<i>51</i>
<i>Tableau IV.2 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 1x2</i>	<i>52</i>
<i>Tableau IV.3 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 2x2</i>	<i>53</i>
<i>Tableau IV.4 : Paramètres de simulation pour la comparaison entre les différentes configurations.</i>	<i>54</i>

LISTE DES FIGURES

Liste des Figures

<i>Figure I.1: Principe du multiplexage et dé multiplexage</i>	5
<i>Figure I.2 : TDMA multiplexage temporel</i>	6
<i>Figure I.3 : la durée d'un envoi de données correspondait à la durée d'un super Trames</i>	6
<i>Figure I.4 : CDMA multiplexage par code.</i>	8
<i>Figure I.5 : évolution des normes CDMA</i>	8
<i>Figure I.6 : Etalement par séquence directe</i>	9
<i>Figure I.7 : Orthogonalité des séquences</i>	10
<i>Figure I.8 : FDMA multiplexage en fréquence</i>	12
<i>Figure I.9 : le spectre de fréquence FDMA</i>	13
<i>Figure I.10 : la technique d'accès (OFDMA)</i>	15
<i>Figure I.11 : Comparaison entre le TDMA et FDMA</i>	16
<i>Figure. II.1 : Un signal est déformé lorsqu'il parcourt plusieurs trajets différents entre l'émetteur et le récepteur</i>	21
<i>Figure II.2 :Le signale est codé sous forme numérique</i>	21
<i>Figure. II.3 : Représentation temporelle d'un canal multi-trajets</i>	22
<i>Figure II.4 : principe d'un canal sélectif en fréquence</i>	23
<i>Figure II.5 : LES SYSTEMES OFDM transmettent les données par blocs</i>	24
<i>Figure II.6 : Schéma de principe d'un modulateur OFDM</i>	25
<i>Figure II.7 : Schéma de principe d'un démodulateur OFDM</i>	26
<i>Figure II.8 : Spectre du signal en sortie du modulateur OFDM, décomposé sur chaque porteuse</i>	27
<i>Figure III.1 :Schéma représentatifs du MIMO</i>	34
<i>Figure III. 2 : Système MIMO</i>	34

LISTE DES FIGURES

<i>Figure III. 2</i> Model du système MIMO-OFDM	35
<i>Figure III.3</i> : Chaîne d'émission	37
<i>Figure III.4</i> : Chaîne de réception	38
<i>Figure III. 5</i> : L'OFDM appliquée aux MIMO	39
<i>Figure IV.1</i> : Environnement multi-trajets	42
<i>Figure IV.2</i> : Système de communication avec un canal à bruit additif	43
<i>Figure IV.3</i> : Environnement de canal de Rice	43
<i>Figure IV.4</i> : Environnement de canal de Rayleigh	44
<i>Figure IV.5</i> : Diagramme en bloc de la chaîne de transmission OFDM.	46
<i>Figure IV.6</i> : schéma simplifié d'un système MIMO-OFDM avec un codage STBC	50
<i>Figure IV.7</i> : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour la modulation MIMO-OFDM 1x1	51
<i>Figure IV.8</i> : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour la modulation MIMO-OFDM 1x1	52
<i>Figure IV.9</i> : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour la modulation MIMO-OFDM 1x1	53
<i>Figure IV.10</i> : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour différentes modulation OFDM	54

ACRONYMES

Acronymes

AMRT	Accès Multiple par Répartition de Time
AMRF	Accès Multiple par Répartition de Fréquence
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
TDMA	Time Division Multiple Access.
FDMA	Frequency Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
OFDMA	Orthogonal frequency-division multiple access
GSM	Global System for Mobile communications
SMS	Short Message Service
Wi-Fi:	WIreless FIdelity
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
MIMO-OFDM	Multiple Inputs, Multiple Outputs-OFDM.
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
QAM	la modulation d'amplitude en quadrature
TEB	le taux d'erreur bit
AWGN	Additive White Gaussian Noise
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
BBAG	Bruit Blanc Additif Gaussien
BF	Basse Frequency
RF	Radio Frequency
DAB	Digital Audio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial
LTE	Long Terme Evolution
RB	un bloc de ressources
FFT	Fast Fourier Transform
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
HiperLAN2	High Performance Radio Local Area Network type 2
ISI	Inter-Symbol Interference
ULA	Uniform Linear Array
SNR	Signal to Noise Ratio
BER	Bit Error Rate
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer

TABLES DES MATIERES

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I : Les techniques d'accès	
Introduction	5
I. Le multiplexage	5
Les types de multiplexage	5
I.1. TDMA: (Time Division Multiple Access)	6
I.1.1.Caractéristiques de la méthode TDMA	7
I.1.2.Avantages de TDMA	7
I.1.3.Inconvénients de TDMA	7
I.2.CDMA: (Code Division Multiple Access)	8
I.2.1. Evolution des normes CDMA	8
I.2.2. Etalement par séquence directe	9
I.2.3.Caractéristiques de la méthode CDMA	11
I.2.4. Avantages de CDMA	12
I.2.5. Inconvénients de CDMA	12
I.3. FDMA : (FDMA : Frequency Division Multiple Access)	12
I.3.1.Caractéristiques de la technique FDMA	13
I.3.2. Avantages du FDMA	14
I.3.3.Limites du FDMA	14
I.4. OFDMA	14
I.5.Comparaison entre TDMA et FDMA	15
Conclusion	17

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE II : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Introduction	19
II. Technique de modulation OFDM	19
II.1 L'origine de l'OFDM	19
II.2 Utilisations	19
II.3 Canaux sélectifs	20
II.4 Transmission un signal numérique	21
II.5 canal sélectif en fréquence	23
II.6 Modulations Multi-porteuses	23
II.7 Description mathématique	25
II.8 Avantages et inconvénients de l'OFDM	30
Conclusion	30

CHAPITRE III : MIMO-OFDM

Introduction	32
III.1 Système SISO	32
III.2. Système SIMO	32
III.3 Système MIMO (Multi in , Multi out)	33
III.4. Système de transmission MIMO associé à une modulation OFDM	34
Conclusion	40

CHAPITRE 4 : Conception du Simulateur MIMO-OFDM et Résultats

Introduction	42
IV. Les canaux multi trajets	42
IV.1. Types de canaux	42

TABLES DES MATIERES

IV.1.1. Canal Gaussien	43
IV.1.2. Canal de Rice	43
IV.1.3. Canal de Rayleigh	44
IV.2. Paramètres de propagation d'un canal multi trajet	45
IV.2.1. Atténuation	45
IV.2.2. Délais	45
IV.2.3. Étalement Doppler	46
IV.3 Simulation MIMO-OFDM	46
IV.3.1 Chaîne de transmission OFDM	46
IV.3.2 Taux d'Erreur Binaire (BER)	48
IV.3.3 Rapport Signal sur Bruit (SNR)	49
IV.3.4 Eb/N0	49
IV.4 Réalisation de la chaîne de transmission MIMO-OFDM sous Matlab	49
IV.4.1 Système SISO –OFDM	51
IV.4.2 Système SIMO –OFDM	52
IV.4.3 Système MIMO –OFDM	53
IV.4.4 Discussion	55
Conclusion	55
CONCLUSION GENERALE et PERSPECTIVES	57
BIBLIOGRAPHIE	59



INTRODUCTION
GENERALE



INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation de plusieurs antennes aux deux extrémités d'une liaison sans fil (technologie MIMO) au potentiel d'améliorer considérablement l'efficacité spectrale et la fiabilité du lien dans les futurs systèmes de communication sans fil. Un candidat particulièrement prometteur pour les systèmes sans fil de prochaine génération fixes et mobiles est la combinaison de la technologie MIMO avec Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

Ce mémoire donne un aperçu des principes de base de l'OFDM et MIMO-OFDM et porte sur la conception, simulation et étude des performances d'un système MIMO-OFDM.

Le but est d'optimiser une transmission à porteuses multiples pour un réseau sans fils et de l'implémenter dans un outil de simulation MATLAB, ainsi que de calculer les performances du système optimisé en terme de taux d'erreurs, afin de définir les valeurs optimales du système de transmission., peut servir à améliorer le système de communication numérique.

Ce système est basé sur l'utilisation de la (OFDM) Orthogonal Frequency Division Multiplexing Avec la technologie MIMO c'est-à-dire on fait la combinaison des deux technique, pour augmenter la robustesse du système et réduire l'erreur.

Ce mémoire est organisé en 4 chapitres :

Le premier chapitre présenté en bref la technique de multiplexage , ainsi que les types des multiplexage (TDMA,FDMA ,CDMA et OFDMA) les caractéristiques , les avantages et les inconvénients de chaque type et a la fin en fait la comparaison entre les 3 type prince po

Le deuxième chapitre concerne l'historique de l'OFDM, ainsi que sa description générale avec ses avantages et ses inconvénients, et présentation des caractéristiques de la propagation en milieu dispersif. L'OFDM est une modulation qui permet de transmettre des données numériques, au moyen d'un grand nombre de sous-porteuses, Nous parlons, dans ce chapitre, des affaiblissements du signal OFDM dans un canal sélectifs,

Le troisième chapitre consacré à la description de La techniques MIMO l'origine et le principe de cette technique et les modèles du canal MIMO, et ensuit en va réalisé un transmission MIMO associé à une modulation OFDM, c'est-à-dire la combinaison des deux techniques.

Le quatrième chapitre décrit généralement le système MIMO-OFDM modélisé sous forme d'un programme Matlab. Dans ce chapitre, nous présentons un modèle de système MIMO-OFDM, et sa chaîne de transmission ainsi que les canaux multi-trajet et les trois types de canaux (Gaussien, Rice et Rayleigh) et leurs performances.

Enfin, nous finalisons notre mémoire avec une conclusion générale et perspective

Chapitre 1
Les
techniques
d'accès

Introduction:

En télécommunications, les signaux qui transportant une information doit passer par un moyen de transmission entre un émetteur et un récepteur, ce chapitre consacrer au techniques d'accès qui fait la transmission des messages de plusieurs source vers plusieurs destinataires et les type de multiplexage TDMA, CDMA, FDMA et OFDMA .

I. Le multiplexage:

Le multiplexage c'est un moyen de transmettre le message issu de plusieurs sources vers plusieurs destinataires (soit plusieurs voies) de manière simultanée et sur le même support physique. Le multiplexage a lieu lors de l'émission, et le démultiplexage lors de la réception.[1]

La bande de fréquence est une ressource rare qu'il faut utiliser efficacement et partager entre tous les utilisateurs. Il est donc nécessaire de transmettre simultanément sur un même canal le plus grand nombre de messages possibles. [5]

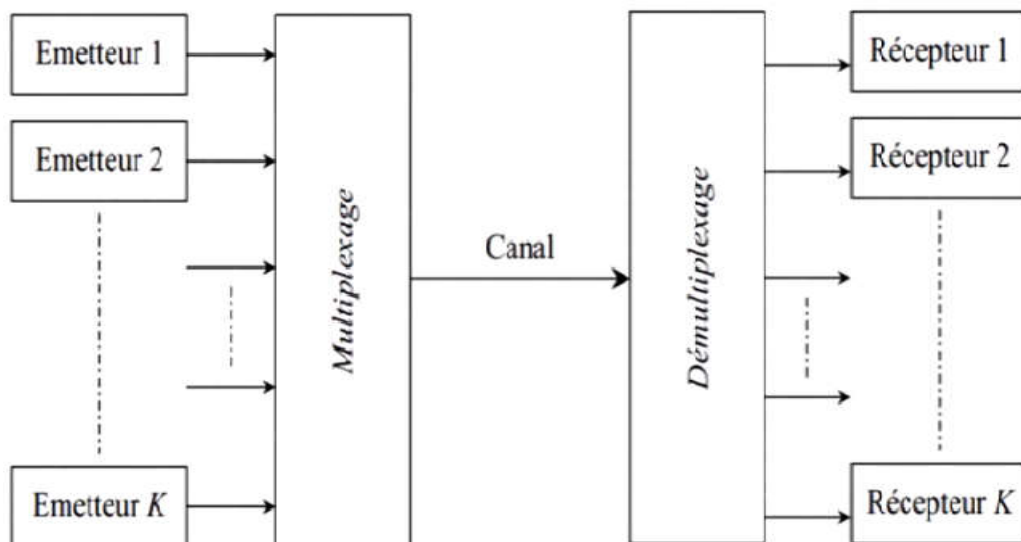


Figure I.1: Principe du multiplexage et dé multiplexage,

- Les types de multiplexage: [1]

Il existe trois modes principaux de multiplexage:

- ❖ le multiplexage temporel (TDMA: Time Division Multiple Access)
- ❖ le multiplexage de code (CDMA: Code Division Multiple Access)
- ❖ le multiplexage fréquentiel (FDMA: Frequency Division Multiple Access)

I.1. TDMA: (Time Division Multiple Access)

Une technique de transmission utilisée en téléphonie sans fil numérique. TDMA attribue à chaque utilisateur un intervalle de temps différent sur une fréquence donnée. TDMA divise chaque canal cellulaire en trois intervalles de temps afin d'augmenter la quantité de données qui peut être transporté.

La technologie TDMA était plus populaire en Europe, le Japon et les pays d'Asie, alors que CDMA est largement utilisé en Amérique du Nord et du Sud. Mais maintenant les deux technologies sont très populaires à travers le monde.[4]

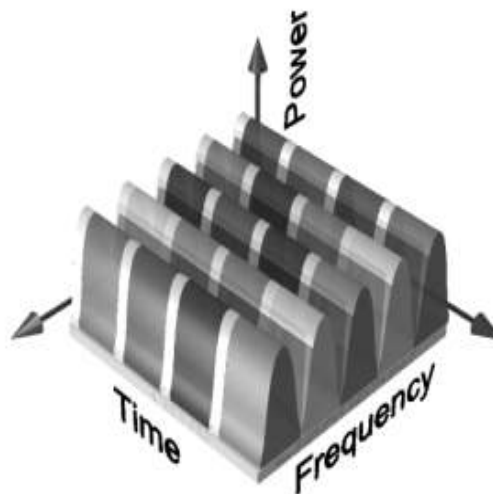


Figure I.2 : TDMA multiplexage temporel.

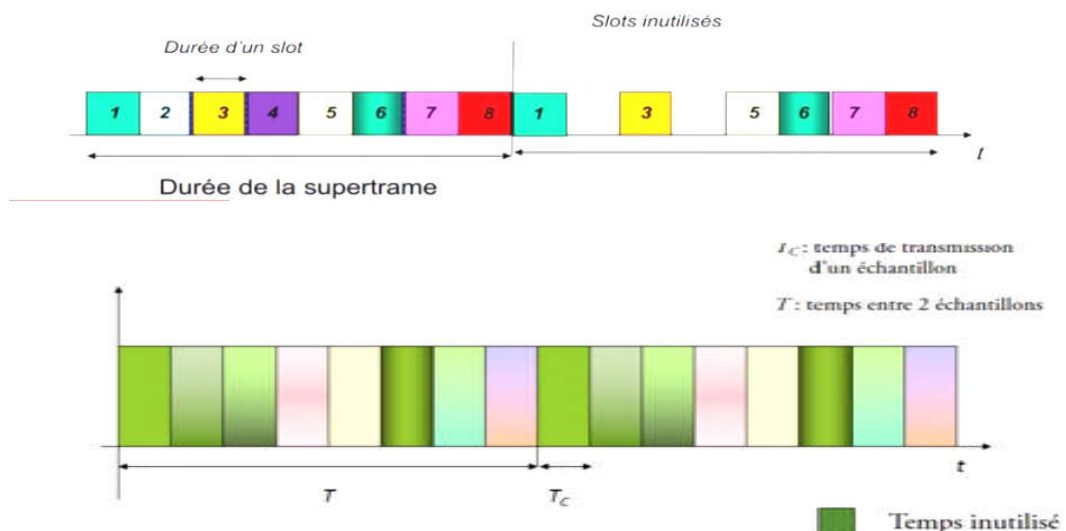


Figure I.3 : la durée d'un envoi de données correspondait à la durée d'une super Trames.

- le temps est découpé en super -trames (trames temporelles) de même taille. [7]
- chaque super-trame est découpée en slots de taille fixe.

- dans chaque super-trame, chaque station i a le droit d'utiliser N_i slots.
- Tout slot laissé libre par une station ne peut être utilisé par les autres stations.
- chaque mobile accède au réseau de manière discontinue dans le temps.

I.1.1.Caractéristiques de la méthode TDMA :

Les caractéristiques de la technique TDMA se présentent comme suit :

- Fréquence porteuse unique avec plusieurs utilisateurs.
- Non transmission continue, transfert plus simple.
- Le slot peut être attribué sur demande de la TDMA dynamique.
- Diminution des interférences intra cellulaires.
- TDMA ne nécessite pas de réduction de puissance.
- Un utilisateur occupe presque la totalité de la bande passante.
- La nécessité d'une synchronisation complexe.
- La légalisation avancée est nécessaire pour les hauts débits

I.1.2.Avantages de TDMA : [9]

- ✓ TDMA peut facilement adapter à la transmission de données ainsi que la communication vocale.
- ✓ TDMA a une capacité de transporter 64 kbps à 120 Mbps de débits de données.
- ✓ TDMA permet à l'opérateur de faire des services comme le fax, données en bande vocale et SMS ainsi que l'application de la bande passante intensifs tels que le multimédia et la vidéoconférence.
- ✓ Puisque la technologie TDMA sépare les utilisateurs en fonction du temps, il assure qu'il n'y aura pas d'interférence de transmissions simultanées.
- ✓ TDMA offre aux utilisateurs une autonomie de batterie étendue, car il ne transmet que partie du temps pendant au cours de conversations.
- ✓ TDMA est la technologie la plus rentable possible pour convertir un système analogique vers le numérique.

I.1.3.Inconvénients de TDMA :[1]

- ✓ Interférence entre symbole : égalisation nécessaire.
- ✓ Intervalle temporel de garde nécessaire.
- ✓ Estimation de canal pour chaque Time-Slot possiblement requises.
- ✓ Un autre problème est qu'il est soumis à une distorsion par trajets multiples. Pour remédier à cette déformation, un délai peut être utilisé sur le système. Une fois le délai a expiré le signal est ignoré.

I.2.CDMA: (Code Division Multiple Access) :

CDMA est une technologie numérique sans fil qui utilise des techniques à étalement de spectre, CDMA n'attribue pas une fréquence spécifique à chaque utilisateur Au lieu de cela, chaque canal utilise le spectre disponible pleine conversations individuelles sont codés avec une séquence numérique pseudo-aléatoire.

CDMA fournit constamment meilleure capacité de communications voix et données que les autres technologies mobiles commerciaux, ce qui permet plus d'abonnés de se connecter à un moment donné, et il est la plate-forme commune sur laquelle les technologies 3G sont construits.

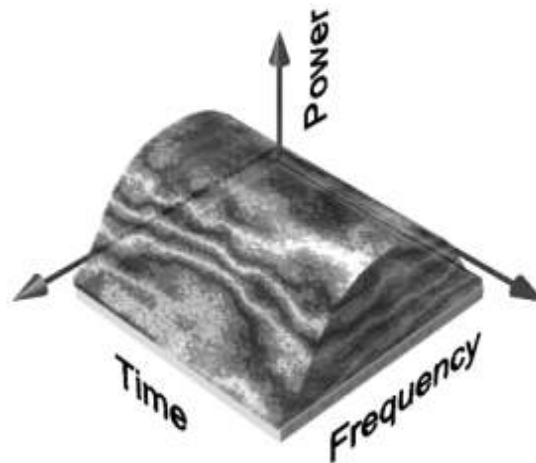


Figure I.4 : CDMA multiplexage par code.

I.2.1. Evolution des normes CDMA : [7] [10]

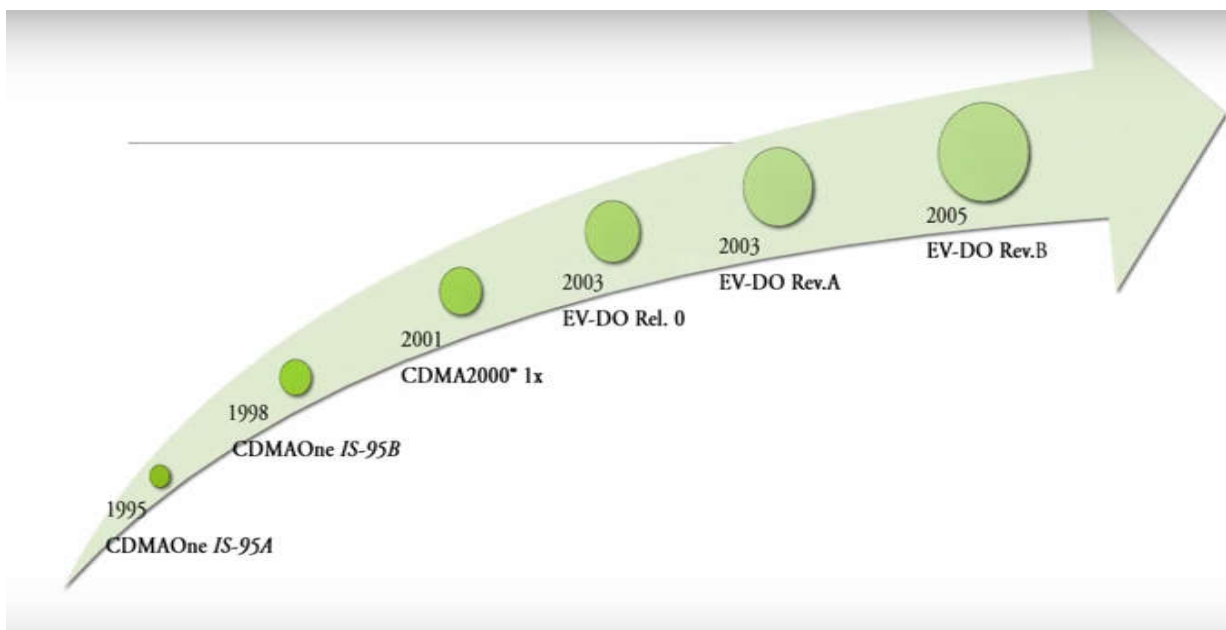


Figure I.5 : évolution des normes CDMA

Cette technique a été proposée pour le guidage radio de torpilles ne puisse être intercepté. Cependant, l'armée américaine a attendu que le brevet expire pour l'exploiter dans la communication satellitaire.

Qualcomm a été le premier à développer cette technologie. En 1993, elle est adoptée par la Télécommunication Industry Association. Plus tard elle est améliorée par Ericsson.

I.2.2. Étalement par séquence directe : [5]

Il s'effectue par produit entre le signal bande de base et une séquence d'étalement beaucoup plus rapide. C'est ce que montre la figure ci-dessous pour laquelle la séquence d'étalement est seulement 4 fois plus rapide que le flot de données

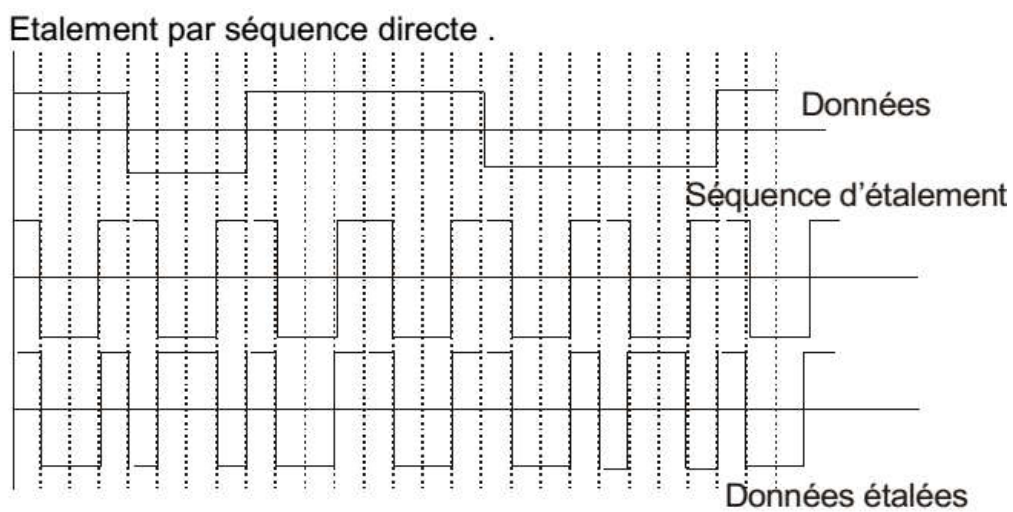


Figure I.6 : Étalement par séquence directe

Chaque utilisateur possède son propre code d'étalement et l'ensemble est mélangé pour constituer le signal transmis.

Soit $s_1(t)$ le signal bipolaire décrivant la suite de bits et $c_1(t)$ le code d'étalement, le signal transmis est $u(t) = s_1(t) \cdot c_1(t)$ (I.1)

Dans le cas où plusieurs signaux sont émis simultanément :

$$U(t) = \sum_k S_k(t) \cdot C_k(t) \dots\dots\dots (I.2)$$

Notez que cette somme n'est pas un signal binaire mais analogique.

I.2.2.1. Désétalement :

La récupération des données de chaque utilisateur n'est possible que si les différentes séquences ont des propriétés particulières, elles sont orthogonales.

I.2.2.2. Définition du produit scalaire :

Si deux séquences binaires sont définies dans intervalle temporel D, leur produit scalaire est défini par l'intégrale.

$$\langle s_1 | s_2 \rangle = \int_D s_1(t) \cdot s_2(t) dt \dots\dots\dots(I.3)$$

Par exemple les deux séquences s1 et s2 de 4 zones représentées sur la figure ci dessous sont orthogonales, alors que s1 et s3 ne le sont pas.

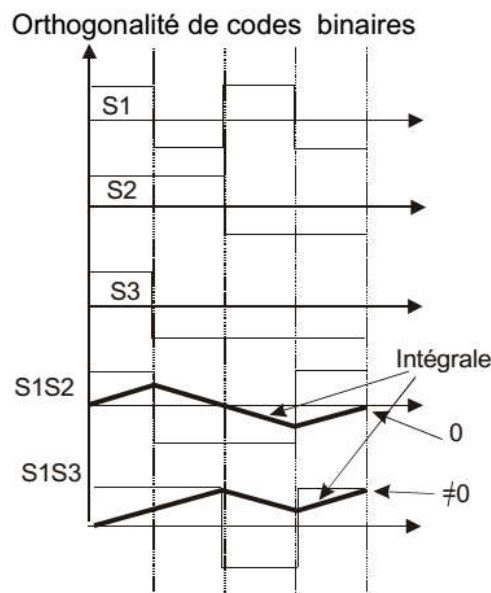


Figure I.7 : Orthogonalité des séquences

I.2.2.3. Séquences de Walsh :

Il existe plusieurs méthodes pour construire des séquences binaires orthogonales entre elles. Les fonctions de Walsh sont les plus souvent utilisées.

Les fonctions de Walsh sont à l'origine des fonctions à deux niveaux ± 1 définies dans l'intervalle $\pm 1/2$

Elles peuvent être fabriquées aisément à partir des matrices de Hadamard, définies de la façon suivante.

$$(H_1) = (1)$$

$$(H_{2n}) = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots(I.4)$$

C'est-à-dire pour les premières :

$$(H_2) = \begin{pmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$(H_4) = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(I.5)$$

$$(H_8) = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(I.6)$$

$$(H_{16}) = \left(\begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{pmatrix} \right) \dots\dots(I.7)$$

I.2.3.Caractéristiques de la méthode CDMA :

L'étalement de spectre est un des avantages mis en avant pour l'utilisation du CDMA dans le domaine des communications radiofréquences. En effet, la puissance d'un signal, après codage, est étalée sur toute la largeur de la bande de fréquence disponible. De ce fait, deux caractéristiques importantes apparaissent :

- La puissance du signal étant étalée sur la bande spectrale disponible, le signal CDMA peut être confondu avec le bruit du canal et sera donc difficilement détectable par un utilisateur non concerné.
- Le signal CDMA étalé est plus résistant aux évanouissements sélectifs en fréquence.

I.2.4. Avantages de CDMA :[6]

- ✓ L'un des principaux avantages de CDMA est que les décrocheurs ne se produisent que lorsque le téléphone est au moins deux fois plus loin de la station de base. Ainsi, il est utilisé dans les zones rurales où les GSM ne peut pas couvrir.
- ✓ Un autre avantage est sa capacité; il a une capacité spectrale très élevée qu'il peut accueillir plus d'utilisateurs par MHz de bande passante.

I.2.5. Inconvénients de CDMA :

- ✓ la pollution des canaux, où les signaux provenant de trop nombreux sites de cellules sont présentes dans l'abonné de téléphonie, mais aucun d'entre eux est dominant. Lorsque cette situation se produit, la qualité de l'audio se dégrade.
- ✓ Par rapport au GSM est le manque de capacités d'itinérance internationale.
- ✓ La possibilité de mettre à jour ou changer vers un autre combiné est pas facile avec cette technologie, car les informations de service de réseau pour le téléphone est placé dans le téléphone lui-même contrairement GSM qui utilise la carte SIM pour cela.
- ✓ variété limitée de l'appareil, car à l'heure actuelle les principales sociétés de téléphonie mobile utilisent la technologie GSM.

I.3. FDMA : (FDMA : Frequency Division Multiple Access)

La technologie FDMA consiste à diviser la bande passante du support de communication en bandes de fréquences distinctes. On émettra les données du canal 1 dans la bande A, celles du canal 2 dans la bande B, etc. Ainsi, pour écouter l'utilisateur N, le récepteur ne considère que la fréquence FN associée. [3]

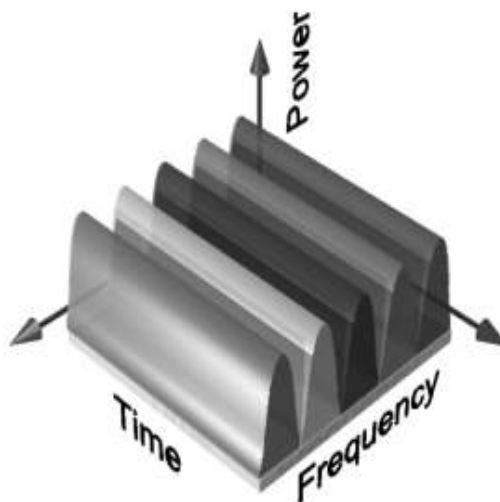


Figure I.8 : FDMA multiplexage en fréquence

FDMA est le procédé consistant à diviser une largeur de bande ou canal en plusieurs bandes individuelles, chacune pour une utilisation par un utilisateur unique (Fig.I.8). Chaque bande ou canal individuel est suffisamment large pour accueillir les spectres du signal des transmissions à se propager. Les données à transmettre sont modulées sur chaque sous-porteuse, et ils sont tous mélangés ensemble de façon linéaire. [4]

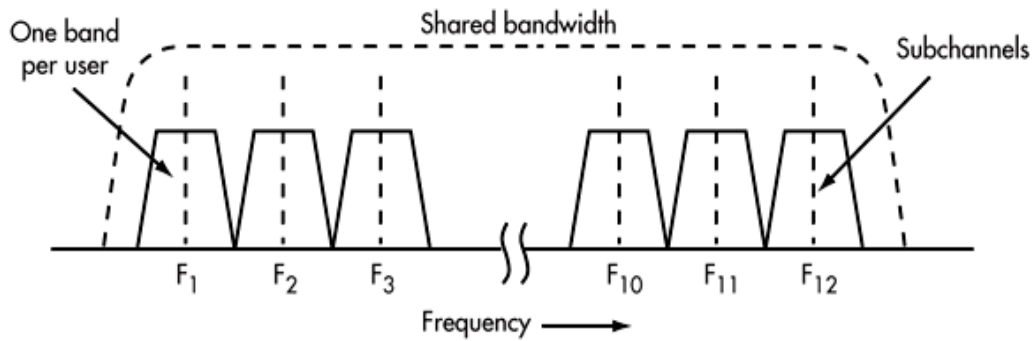


Figure I.9: - le spectre de fréquence FDMA

FDMA divise la bande passante médium partagée dans les canaux individuels. Sous-porteuses modulées par les informations devant être transmises occupent chaque sous-canal.

Le meilleur exemple est le système de télévision par câble. Le support est un câble coaxial unique qui est utilisé pour diffuser des centaines de chaînes de programmation vidéo / audio pour les maisons. Le câble coaxial a une largeur de bande utile d'environ 4 MHz et 1 GHz. Cette largeur de bande est divisée en canaux larges de 6 MHz. Dans un premier temps, une station de télévision ou d'un canal utilisé une seule bande de 6 MHz. Mais avec des techniques numériques, les chaînes de télévision multiples peuvent partager une seule bande aujourd'hui grâce à des techniques de compression et de multiplexage utilisées dans chaque canal.

I.3.1. Caractéristiques de la technique FDMA :

- Exige un haut niveau de performances des filtres dans le matériel radio, contrairement aux autres techniques (TDMA et CDMA).
- FDMA n'est pas vulnérable à des problèmes de calendrier que TDMA. Comme une bande de fréquence est disponible pour l'ensemble de la période de la communication, de flux de données (un flux continu de données qui ne peut pas être paquets) peut facilement être utilisé avec FDMA.
- En raison de la fréquence de filtrage, FDMA n'est pas sensible à la proximité de ce problème-qui se prononce pour le CDMA.

I.3.2. Avantages du FDMA : [7]

- ✓ simple au niveau algorithmique
- ✓ réutilisation de fréquences dans les systèmes cellulaires
- ✓ Equitable quand le trafic est uniforme /constant (ex : Téléphonie)
- ✓ pas besoin de synchroniser les horloges des stations
- ✓ Adaptée à n'importe quel type de modulation

I.3.3.Limites du FDMA :

- ✓ les sous-bandes utilisées pour séparer les canaux sont perdues
- ✓ le débit max dépend de la largeur des canaux, d'où l'on ne peut atteindre de très hauts débits
- ✓ Nécessite plus de capacités de filtrage pour s'adapter à différents canaux et perturbation venant des canaux voisins
- ✓ une bande allouée ne peut plus être utilisée même si la station à laquelle elle a été allouée est silencieuse

I.4. OFDMA : [4]

OFDMA est la technique d'accès utilisé pour Long Terme Evolution (LTE) des systèmes cellulaires pour recevoir de multiples utilisateurs dans une bande passante donnée. Multiplexage par division d'orthogonale de la fréquence (OFDM) est une méthode de modulation qui divise un canal en plusieurs bandes orthogonales étroites qui sont espacés de sorte qu'ils ne gênent pas les uns les autres. Chaque bande est divisée en centaines ou même des milliers de 15 kHz de large sous-porteuses.

Les données à transmettre sont divisées en plusieurs trains de bits faibles vitesse et modulé sur la sous-porteuse. Créneaux temporels au sein de chaque flux de données de sous-canaux sont utilisés pour conditionner les données à transmettre (Fig. 1.10). Cette technique est très grande efficacité spectrale, il fournit des débits de données très élevés. Il est également moins affecté par les effets de la propagation par trajets multiples.

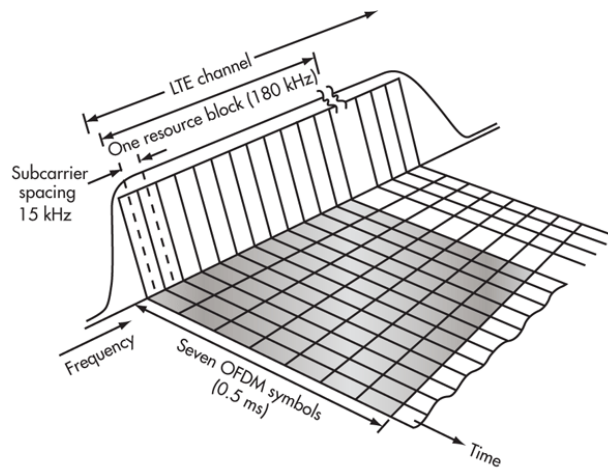


Figure I.10: la technique d'accès (OFDMA)

OFDMA attribue un groupe de sous-porteuses à chaque utilisateur. Les sous-porteuses font partie du grand nombre de sous-porteuses utilisées pour mettre en œuvre OFDM pour le (LTE). Les données peuvent être la voix, la vidéo, ou autre chose, et il est assemblé en segments temporels qui sont ensuite transmis sur certains des sous-porteuses attribuées.

Pour mettre en œuvre OFDMA, chaque utilisateur se voit attribuer un groupe de sous-canaux et les créneaux horaires connexes. Le plus petit groupe de sous-canaux est attribué 12 et appelé un bloc de ressources (RB). Le système attribue le nombre de RB à chaque utilisateur en fonction des besoins.

I.6.Comparaison entre TDMA , CDMA et FDMA :[8]

La différence fondamentale entre les systèmes FDMA (accès multiple par répartition de fréquence) et TDMA (accès multiple à répartition dans le temps) est la définition d'un canal et la manière de l'utiliser (d'y accéder). En FDMA une bande passante spécifique (par exemple, 6,25 kHz) à une fréquence spécifique (par exemple, 150MHz) est utilisée pour définir un canal. C'est le mode d'allocation de canaux qui a été utilisé pendant des décennies.

En TDMA, le même principe s'applique en ce qui concerne la bande passante et la fréquence, mais le signal est divisé en intervalles de temps pour disposer d'une capacité "supplémentaire" dans la même bande passante, ce qui revient, par exemple, à disposer de "l'équivalent" de deux canaux 6,25 kHz dans un canal 12,5 kHz. Voir le diagramme ci-dessous pour une explication graphique.

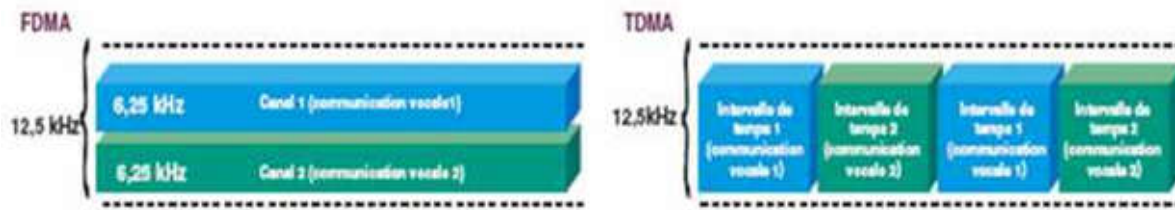


Figure I.11 : Comparaison entre le TDMA et FDMA

Jusqu'à présent le système TDMA était plus efficace avec un espacement plus large entre voies tel que 25 kHz, puisque deux ou trois utilisateurs pouvaient accéder à la même bande passante que l'utilisateur unique d'un canal FDMA. Cependant, dans le cas de la technologie récemment développée de bande FDMA étroite 6,25 kHz, cette dernière et la technologie TDMA 12,5 kHz à 2 slots obtiennent le même résultat en ce qui concerne l'indice d'occupation spectrale.

Les type de multiplexage	Avantages	Inconvénients
FDMA	<ul style="list-style-type: none"> - Moins de traitement de signal requis (communications bandes étroites). - Synchronisation temporelle facilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité au fading fréquentiel (pas de diversité fréquentielle). - Interférence des canaux adjacents. - Nécessité éventuelle d'intervalle fréquentiel de garde
TDMA	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité fréquentielle possible. - Pas d'intervalle fréquentiel de garde. - Gestion de différents services par assignation de plusieurs Time-Slot, - Périodes d'écoute pendant la phase de silence (handover facilité) 	<ul style="list-style-type: none"> - Interférence entre symbole : égalisation nécessaire, - Intervalle temporel de garde nécessaire - Estimation de canal pour chaque Time-Slot possiblement requises.
CDMA	<ul style="list-style-type: none"> - Garantie de bande passante pour chaque station. - Garantie de délais bornés (pour les jetons temporisés). 	<ul style="list-style-type: none"> - Une station qui fonctionne mal peut monopoliser le jeton. - Effets négatifs de périodes transitoires de perte de jeton. - Inefficacité en cas de charge faible.

Tableau I.1: Tableau comparative des méthodes d'accès

Conclusion :

Le contexte de ce chapitre est l'étude des techniques d'accès qui fait la transmission des messages de plusieurs sources vers plusieurs destinataires.

Ensuite, les caractéristiques et avantages et les inconvénients des différents types de multiplexage où nous intéressent.

Chapitre 2

ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

Introduction :

La transmission numérique et les types des canaux de transmission sont décrits dans ce chapitre, avec leurs caractéristiques où le canal est le dispositif qui assure le transport de l'information (signal) entre l'émetteur et le récepteur.

En suite une bref historique de l'OFDM, ainsi que sa description générale avec ses avantages et ses inconvénients.

II. Technique de modulation OFDM :

Technique de modulation consistant à répartir le signal sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales modulées Individuellement a bas débit. Outre une efficacité spectrale très proche de l'optimum, cette technique procure une excellente résistance au fading (évanouissement de fréquences).

Cette technique est une méthode permettant d'atteindre des débits suffisants tout en étant simple et peu coûteuse. Cela est dû à l'utilisation conjointe d'une base d'exponentielles complexes et d'algorithmes rapides (FFT et IFFT). Ce procédé des années 60 et est maintenant à l'œuvre dans de nombreuses technologies (DVB-T, 4G, ADSL, Wifi)

II.1 L'origine de l'OFDM :

l'OFDM est un développement de la FDM depuis les années 1950. L'OFDM est une modulation numérique qui joue sur l'efficacité et la rentabilité de transmission dans le canal radio mobile pour un environnement multi-trajets. L'OFDM transmet les données en utilisant un grand nombre de porteuses pour une bande étroite. L'espace de fréquence et de synchronisation de la porteuse est choisi de telle sorte que les porteuses sont orthogonales pour éviter les interférences. Pour l'implémentation de l'OFDM on utilise la FFT (Fast Fourier Transform), qui est la base de cette technique. La première utilisation du l'OFDM est en 1980 dans les systèmes DAB (Digital Audio Broadcasting), et DVB (Digital Video Broadcasting). Pour ces deux derniers systèmes il y a une seule direction de la station de base vers les utilisateurs.

II.2 Utilisations :[11]

La modulation multi porteuses OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) utilisée par exemple pour les réseaux locaux sans fil à haut débit (High Performance Radio Local Area Network type 2 HiperLAN2 ou 802.11a) ou pour la diffusion de télévision numérique (Digital Vidéo Broad casting DVB) possède une grand efficacité spectrale et plus une égalisation

très simple du canal de transmission sélectif en fréquence . A cause des conditions de propagation dans l'aire du signal électromagnétique, mais aussi de la réglementation des télécommunications, l'émission du signal dans le canal de transmission doit se faire dans une bande de fréquence limitée et autour d'une porteuse.

La forte mobilité des terminaux mobiles en association avec l'augmentation des bandes de fréquence faite que ces canaux de transmission deviennent de plus en plus difficiles impliquant une diminution des performances du système global.

Les systèmes multi-antennes permettent d'une manière intrinsèque de disposer de la diversité fréquentielle, mais au prix d'une augmentation de la complexité matérielle incompatible avec les contraintes d'encombrement des terminaux mobiles.

II.3 Canaux sélectifs :[15]

Dans les communications à haut débit, les transmissions sont limitées par des contraintes physiques :

Le bruit due aux imperfections du système et la nature physique des composants affecte la transmission du signal émis.

La déformation du signal au cours de la propagation est également une autre contrainte physique. Elle impose une bonne séparation temporelle des informations émises afin qu'elles restent bien séparées à la réception.

La transmission d'un train de symboles s'accompagne presque inévitablement d'une dispersion des données dans le temps. Elle est à l'origine de l'interférence entre symboles. Les signaux réfléchis par les immeubles, les voitures ou le sol provoquent un phénomène nommé « affaiblissement par trajets multiples »: selon la longueur des différents chemins parcourus, le signal dévié arrive à l'émetteur plus ou moins longtemps après le signal principal, donc déforme plus ou moins celui ci . L'importance de ce phénomène dépend de la fréquence (les pertes sont plus faibles pour les basses fréquences et plus importantes pour les hautes fréquences) et varie lorsque le récepteur se déplace : il est bien connu des automobilistes, qui entendent le son de leur auto-radio s'affaiblir par endroits ou qui captent moins bien les stations dans les tunnels. Ce phénomène d'évanouissement ou « fading » résulte des variations aléatoires des phases du signal dans le temps (après réflexion sur un obstacle). Elles peuvent engendrer des signaux s'ajoutant de façon destructive en réception. Le signal résultant sera alors très faible ou nul. Les signaux multiples peuvent aussi s'ajouter de manière constructive, le signal résultant sera alors plus puissant que le trajet direct. Il faut noter que les multi-trajets n'ont pas que des inconvénients

puisqu'ils permettent que la communication soit possible même lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vision directe! C'est en particulier en exploitant cette particularité que des communications transcontinentales peuvent avoir lieu.

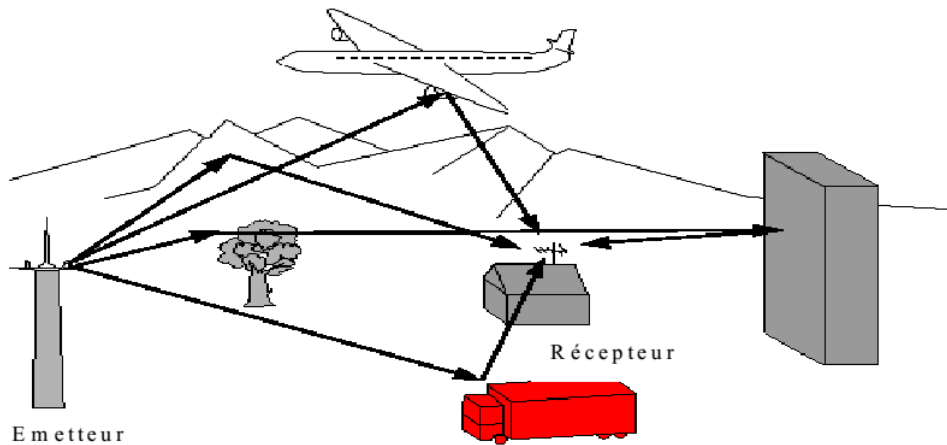


Figure II.1 : Un signal est déformé lorsqu'il parcourt plusieurs trajets différents entre l'émetteur et le récepteur

II.4 Transmission un signal numérique : [15]

Dans les communications à haut débit, les débits sont limités par des contraintes. On réduit dans ce cas les erreurs de transmission en numérisant le signal. Pour la voix par exemple, l'amplitude du signal est mesurée 8000 fois par seconde et sa valeur est codée par une suite de 8 bits qui prennent les valeurs 0 ou 1 (voir figure II.1). Le récepteur décode la séquence de bits pour reconstruire le signal original. Comme un bit ne prend que deux valeurs, la numérisation réduit la probabilité d'erreur...mais ne l'annule pas.

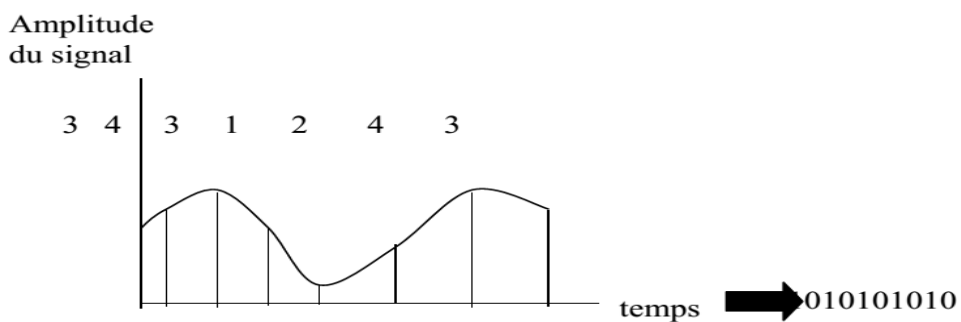


Figure II.2:Le signale est codé sous forme numérique

Le canal de propagation peut-être modélisé par une réponse impulsionnelle donnée par

$$C(t) = \sum \lambda_1 g(t - \tau_1) \dots\dots\dots(II.1)$$

Pour laquelle g(t) est le filtre de mise en forme.

Dans note cas,

τ varié de $l=0, \dots, L-1$

Et λ varié de $l=0, \dots, L-1$ sont respectivement les retards et les gains complexes du canal de propagation.

Le signal reçu $r(t)$ n'est alors rien d'autre que le filtrage du signal émis $x(t)$ par le canal de propagation $c(t)$ et peut donc s'écrire sous la forme suivante en bande de base

$$r(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} c(t - \tau) x(t - \tau) d\tau + b(t) \dots \dots \dots (II.2)$$

$b(t)$ est un bruit additif modélisant les imperfections du système. On parle de canaux sélectifs en fréquence quand le signal transmis $x(t)$ occupe une bande de fréquence $[-W/2, W/2]$ plus grande que la bande de cohérence du canal de propagation $c(t)$.

Dans ce cas, les Composantes fréquentielles de $x(t)$ séparées de la bande de cohérence subissent des atténuations différentes.

Dans les systèmes de transmission numériques haut débit, les symboles sont souvent transmis à intervalle de temps régulier T , appelé période d'échantillonnage. Comme cette période est souvent petit eau regard du temps de retard maximum des trajets T_r , le signal reçu à un instant t peut s'exprimer comme une somme pondérée (affectée des atténuations des trajets) du signal émis au même instant (la durée de propagation des ondes électromagnétiques est souvent négligée vu qu'ils se propagent à la vitesse de la lumière) et des signaux émis aux instants précédents, multiple de la période d'échantillonnage

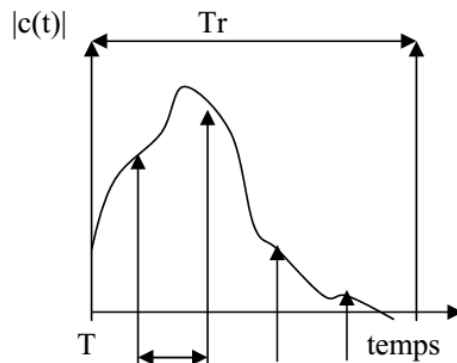


Figure II.3 : Représentation temporelle d'un canal multi-trajets.

II.5 canal sélectif en fréquence : [15] [16]

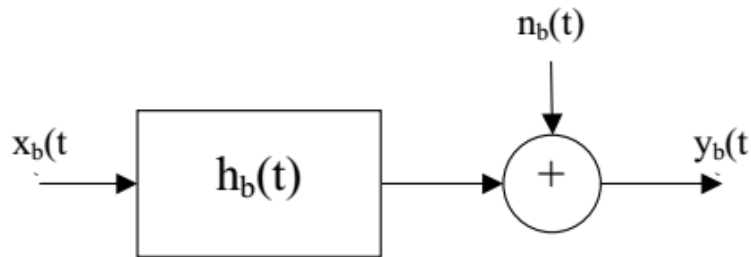


Figure II.4 : principe d'un canal sélectif en fréquence

$h_b(t)$ est la réponse impulsionnelle du canal.

Un canal sélectif en fréquence est un canal multi-trajet, chaque trajet est un canal non-sélectif en fréquence d'atténuation complexe A_i et associé à un retard τ_i

La sélectivité en fréquence d'un canal est un concept intimement lié au signal à transmettre. Il exprime le fait que le signal à transmettre a des composantes fréquentielles qui sont atténuées différemment par le canal de propagation. En d'autres termes, ce phénomène apparaît si le signal possède une bande de largeur de fréquence plus large que la bande de cohérence du canal de propagation ; la bande de cohérence d'un canal étant définie comme la largeur de bande minimale pour laquelle deux atténuations du canal sont indépendantes.

II.6 Modulations Multi-porteuses : [16] [15]

Dans le cas d'un canal à trajets multiples, les techniques de modulation classiques sont très sensibles à l'interférence inter-symboles (inter symbole interférence ou ISI). Cette interférence est d'autant plus importante que la durée d'un symbole est petite par rapport au delay spread du canal. En d'autres termes, une démodulation simple est favorisée si la durée des symboles utiles est grande par rapport au delay spread du canal.

L'intérêt des modulations multi-porteuses (Multi-Carrier Modulation) est de placer l'information dans une fenêtre temps-fréquence telle que sa durée soit bien plus grande que le delay spread du canal de propagation. Cette avantage, primordial pour les communications sans fils, en fait une solution pressentie pour les différents types de réseaux haut débit sans fils: réseaux cellulaires, réseaux locaux sans fils et boucle locale radio.

L'idée originale des modulations multi-porteuses est de transformer l'étape d'égalisation dans le domaine temporel par une égalisation simplifiée dans le domaine fréquentielle pour retrouver le signal émis.

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (Orthogonal Frequency Division Multiplexing ou OFDM) est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide. D'un point de vue implémentation numérique, les systèmes OFDM transmettent les données par blocs: le flux originel de données de débit R est multiplexé en N flux parallèles de débit R/N . Il s'agit bien d'un multiplexage fréquentiel puisque les données sont transmises sur N canaux différents. Afin d'effectuer cette transmission, au lieu de transmettre les données en série comme le font les systèmes mono-porteuses, les schémas OFDM transmettent les données par bloc en introduisant aux informations utiles de la redondance (appelée intervalle de garde) dont la structure cyclique permet, à l'aide de transformées de Fourier, une inversion simple (scalaire) du canal de propagation.[12]

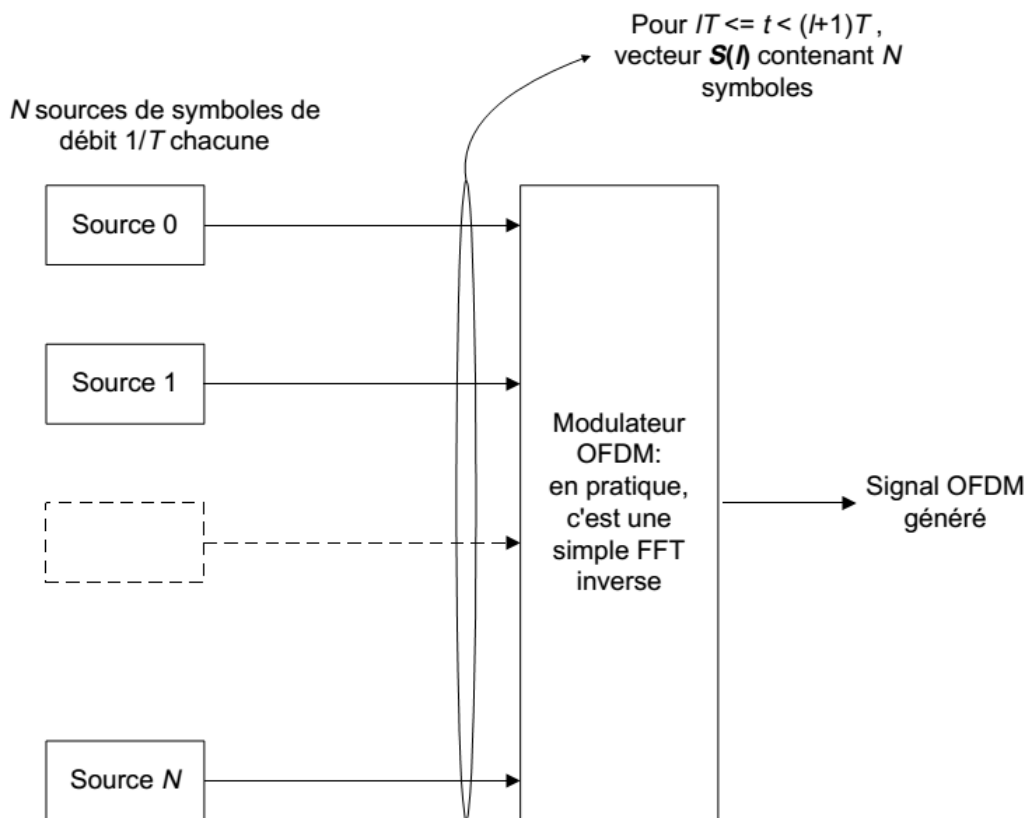


Figure II.5: Les Systèmes OFDM transmettent les données par blocs

Si les composants réalisant les fonctions analogiques sont idéaux, les données reçues correspondent aux données émises affectées uniquement par l'influence du canal de propagation.

Lorsque le canal est connu, il est alors possible de récupérer les données émises grâce à l'égalisation de ce canal .[12] [13]

II.7- Description mathématique :

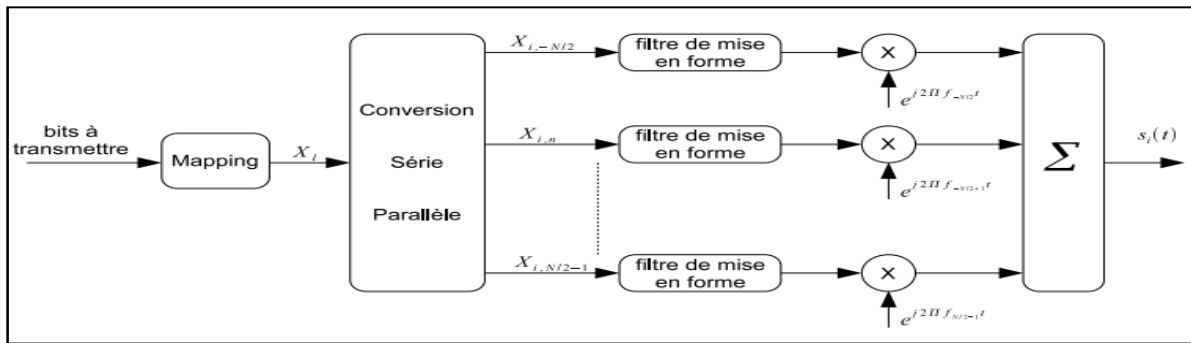


Figure II.6 : Schéma de principe d'un modulateur OFDM.

La Figure II.6 décrit le schéma de principe d'un modulateur OFDM en bande de base : après un codage Bit/Symboles des bits à transmettre, les symboles complexes $\{X_i\}_{i=1,2,\dots}$ sont successivement regroupés par blocs de N (conversion série/parallèle), mis en forme sur une durée T (forme d'onde $g(t)$) puis envoyés sur les N porteuses $\{f_n\}_{n=-N/2 \dots N/2-1}$ afin de former le signal de sortie. Durant l'intervalle du temps $[iT, (i+1)T]$, le signal OFDM généré s'écrit :

$$S_i(x) = \sum_{N=-N/2}^{N/2-1} X_{i,n} g\left(t - iT - \frac{T}{2}\right) e^{j2\pi f_n t} \dots \dots \dots (II.3)$$

Il représente le $i^{\text{ème}}$ symbole OFDM, tandis que les $\{X_{i,n}\}_{n=-N/2 \dots N/2-1}$ représentent les N symboles complexes $\{X_i\}$ qu'il transporte.

Le signal reçu s'écrit de façon suivante :

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{N=-N/2}^{N/2-1} X_{i,n} g\left(t - iT - \frac{T}{2}\right) e^{j2\pi f_n t} + n_n(t) \dots \dots (II.4)$$

II.7.1 Porteuses orthogonales :

Nous définissons l'efficacité spectrale comme étant le débit binaire transmis par unité de fréquence. Dans une transmission de type OFDM, le choix de l'écartement entre les porteuses va influencer sur cette efficacité spectrale.

Plus l'espace entre porteuses est grand, plus nous avons besoin de bande passante pour transmettre un même débit, plus l'efficacité spectrale diminue.

Pour garantir une efficacité spectrale optimale, il faut que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles, tout en garantissant une absence d'interférence entre les informations qu'elles transportent afin que le récepteur soit capable de les retrouver.

Dans le domaine fréquentiel si le spectre de chaque porteuse est nul aux fréquences des autres porteuses. Ce spectre dépend de $G(f) = TF [g(t)]$. [12]

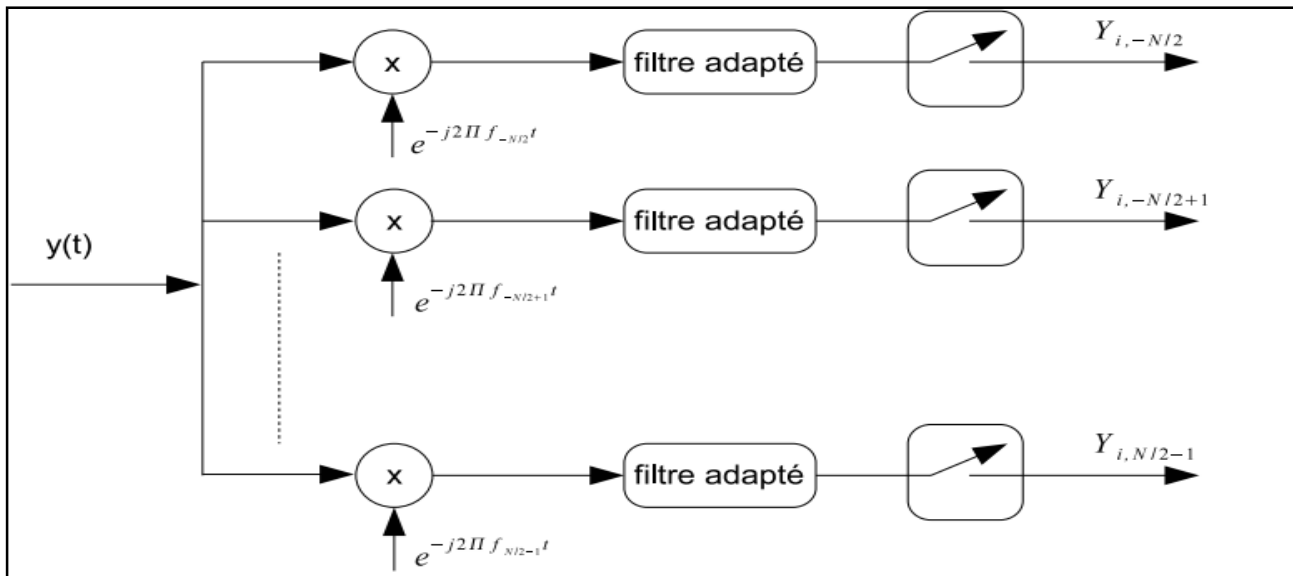


Figure II.7 : Schéma de principe d'un démodulateur OFDM

On parle de condition d'orthogonalité des porteuses. L'orthogonalité temporelle des fonctions $\psi_{i,n}(t)$ est indispensable dans la mise en œuvre d'un signal OFDM.

En 1966, les travaux démontrent que l'orthogonalité des fonctions $\psi_{i,n}(t)$ se traduit par des conditions sur le module et la phase de $g(t)$. Parmi les fonctions disponibles, celle qui est la plus utilisée est la fonction porte : $g(t) = \text{Rect} [0, T]$. Supposons que les symboles émis sont de moyenne nulle et de variance σ^2 , le spectre du signal modulé sur la porteuse n s'écrit de la façon suivante :

$$s_n(f) = \frac{\sigma^2}{2} \text{sinc}^2[n(f - f_n)T] \dots \dots \dots \text{(II.5)}.$$

Ce spectre s'annule aux fréquences $\{f = f_n + k/T\}$ pour tout entier k . $1/T$ est donc l'espacement inter-porteur minimal qui garantit à la fois l'orthogonalité entre les porteuses et une efficacité spectrale optimale.

Les spectres des différentes porteuses sont présentés sur la figure (II.8). Le spectre d'un signal OFDM est la somme de tous ces spectres.

Notons que lorsque la mise en forme est une fonction rectangulaire de longueur T , les filtres adaptés en réception sont des intégrateurs sur la durée T

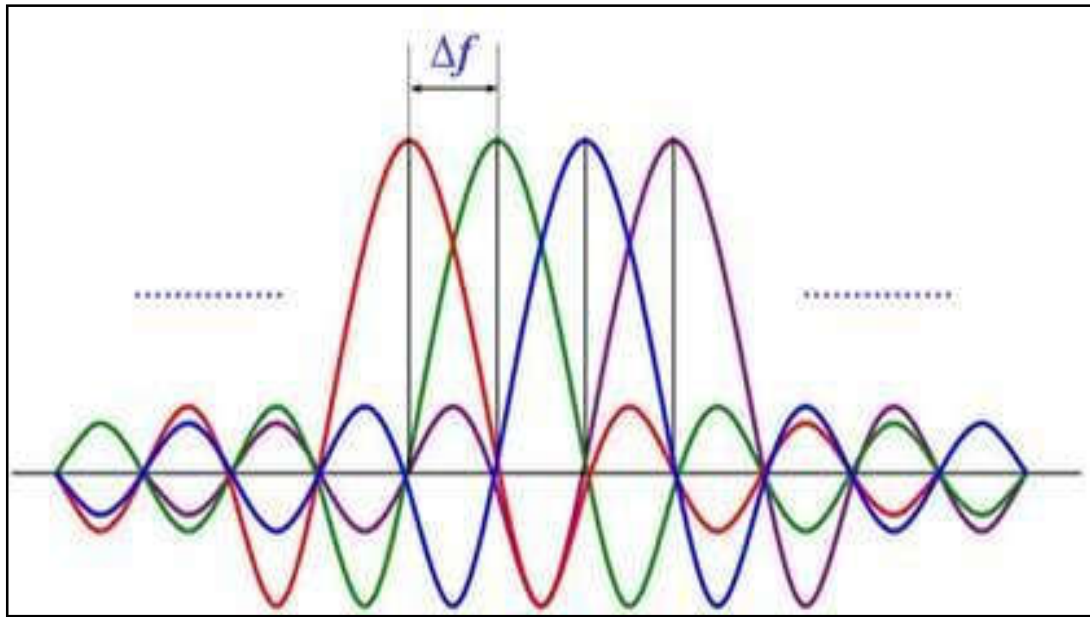


Figure II.8 : Spectre du signal en sortie du modulateur OFDM, décomposé sur chaque porteuse.

[16]

$$\mathbf{y}_k^{CP} = \begin{bmatrix} y_{0,k}^{CP} \\ y_{1,k}^{CP} \\ \vdots \\ \vdots \\ y_{N+D-1,k}^{CP} \end{bmatrix}_{(N+D) \times 1} = h_k^{ISI} \begin{bmatrix} x_{N-D,k} \\ \vdots \\ x_{N-1,k} \\ x_{0,k} \\ \vdots \\ x_{N-1,k} \end{bmatrix}_{(N+D) \times 1} + h_k^{IBI} \begin{bmatrix} x_{N-D,k-1} \\ \vdots \\ x_{N-1,k-1} \\ x_{0,k-1} \\ \vdots \\ x_{N-1,k-1} \end{bmatrix}_{(N+D) \times 1}$$

$$\mathbf{h}_k^{ISI} = \begin{bmatrix} h_{0,k} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & & & \vdots \\ h_{L,k} & & \ddots & \ddots & & \vdots \\ 0 & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & h_{L,k} & \dots & h_{0,k} \end{bmatrix}_{(N+D) \times (N+D)}$$

$$\mathbf{h}_k^{IBI} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & h_{L,k} & \dots & h_{1,k} \\ \vdots & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & \ddots & h_{L,k} \\ \vdots & & & \ddots & & 0 \\ \vdots & & & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}_{(N+D) \times (N+D)}$$

\mathbf{h}_k^{ISI} est l'interférence inter symbole due à la sélectivité du canal sur le k-ième symbole OFDM

\mathbf{h}_k^{IBI} est l'interférence entre le k-ième et le (k-1)-ième symbole OFDM

Après avoir retiré le préfixe cyclique correspondant aux D premiers échantillons, nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} y_{D,k}^{CP} \\ \vdots \\ y_{N+D-1,k}^{CP} \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} y_{0,k} \\ \vdots \\ y_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} 0_{(N) \times (D-L)} & h_{L,k} & \dots & h_{0,k} & 0 & \dots & 0 \\ & \ddots & & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & & & h_{L,k} & \dots & h_{0,k} & \end{bmatrix}_{(N) \times (N+D)} \begin{bmatrix} x_{N-D,k} \\ \vdots \\ x_{N-1,k} \\ x_{0,k} \\ \vdots \\ x_{N-1,k} \end{bmatrix}_{(N+D) \times 1}$$

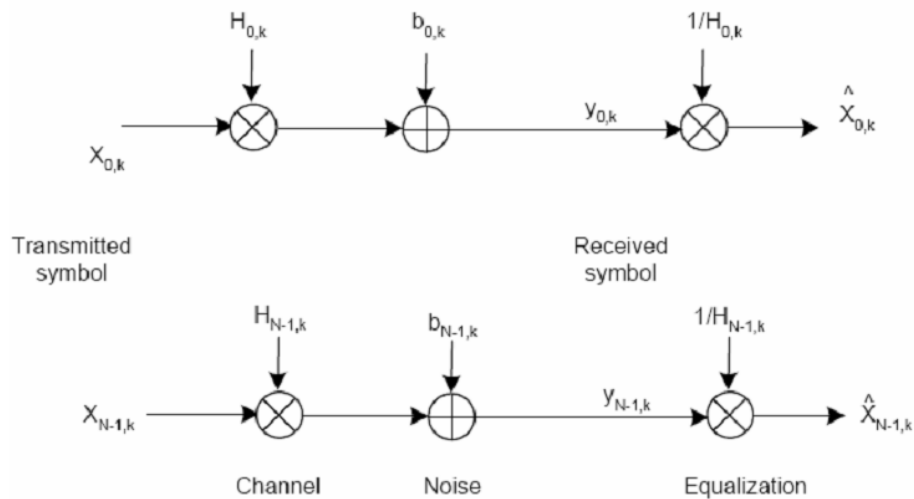
Après simplification, nous avons :

$$\begin{bmatrix} y_{0,k} \\ \vdots \\ y_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} h_{0,k} & 0 & \dots & h_{L,k} & \dots & h_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ h_{L,k} & & \ddots & \ddots & & h_{L,k} \\ 0 & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_{L,k} & \dots & h_{0,k} \end{bmatrix}_{N \times N} \begin{bmatrix} x_{0,k} \\ \vdots \\ x_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{0,k} \\ \vdots \\ Y_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1} = F_N \begin{bmatrix} h_{0,k} & 0 & \dots & h_{L,k} & \dots & h_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ h_{L,k} & & \ddots & \ddots & & h_{L,k} \\ 0 & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_{L,k} & \dots & h_{0,k} \end{bmatrix}_{N \times N} F_N^H \begin{bmatrix} X_{0,k} \\ \vdots \\ X_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1}$$

Comme la convolution circulaire est équivalente à une multiplication dans le domaine fréquentiel, le vecteur X_k a été transmis au travers de N canaux parallèles de réponse en fréquence plate définis par une atténuation complexe $H_{i,k}$.

$$\begin{bmatrix} Y_{0,k} \\ \vdots \\ Y_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} H_{0,k} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & H_{1,k} & 0 & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 & \dots & \dots \\ \vdots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & H_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times N} \begin{bmatrix} X_{0,k} \\ \vdots \\ X_{N-1,k} \end{bmatrix}_{N \times 1}$$



II.8 Avantages et inconvénients de l'OFDM : [17]

II.8.1 Avantages :

Le procédé de modulation OFDM a été principalement pensé pour résister aux trajets multiples avec évanouissement, en minimisant l'interférence entre symboles (ISI) et en garantissant des débits binaires suffisamment élevés:

- ✓ Faible ISI: Le fait d'ajouter un intervalle de garde T_g , augmente la robustesse du signal OFDM aux trajets multiples. Cela permet d'avoir en réception une ISI acceptable, c'est-à-dire les symboles OFDM arrivant au récepteur n'interfèrent pas aux instants d'échantillonnage.
- ✓ Encombrement spectral optimal: L'orthogonalité entre les N sous-porteuses permet de faire chevaucher leurs bandes fréquentielles respectivement, et donc, d'optimiser l'occupation spectrale du signal modulé.
- ✓ Canal invariant localement: La bande passante de chaque sous-porteuse est petite devant la totalité de la bande passante du signal OFDM. On peut alors, considérer que la réponse fréquentielle du canal de transmission est plate au niveau de chaque sous-porteuse. L'évanouissement fréquentiel due au canal est donc de type "flat fading" c'est-à-dire évanouissement plat.
- ✓ Egalisation fréquentielle simple.

II.8.2 Inconvénients :

- ✓ La synchronisation émetteur /récepteur: Le décalage fréquentiel due à l'effet Doppler, ainsi que les offsets en fréquence entre les oscillateurs locaux RF, génèrent une translation fréquentielle qui perturbe l'orthogonalité des N sous-porteuses, en introduisant une interférence entre les symboles (ISI). Pour y remédier on doit prévoir un système d'estimation et de correction de ces offsets.
- ✓ Fluctuation d'enveloppe: Le signal OFDM présente une forte fluctuation d'enveloppe et donc un PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) élevé[16], exigeant une grande linéarité de la chaîne de transmission, en particulier au niveau de l'amplificateur de puissance, qui va présenter alors, un rendement médiocre, donc incompatible avec une consommation optimisée pour une application mobile.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une définition sur les types des canaux de transmission. Ensuite, nous avons brièvement défini la modulation multi-porteuse. nous sommes intéressés, plus particulièrement, à la technique OFDM et leur la chaîne de transmission on plus on définir chaque bloc de cette chaîne.

Chapitre 3

MIMO-OFDM

Introduction :

Le système MIMO-OFDM prévu pour les futurs systèmes de communications sans fil de 4^{ème} Génération (4G) combine le gain de capacité et de diversité des systèmes MIMO avec la simplicité d'égalisation de la technique OFDM.

Cette amélioration dépend particulièrement des paramètres de la technique utilisée tels que : le nombre de sous porteuses, le nombre de sous blocs, la méthode de partition et le choix des facteurs de phase.

III.1 Système SISO : [26] [27]

C'est l'architecture la plus simple qui utilise une seule antenne en émission et une autre en réception. La capacité du canal SISO est

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad bps \quad \dots\dots\dots(III.1)$$

Où :

P : la puissance du signal utile en Watt,

No : la densité spectrale de puissance du bruit calculé en W/Hz,

W: la bande passante donnée en Hz.

En normalisant la capacité par la bande utile W, on obtient :

$$c = \log_2(1 + \rho) \quad \dots\dots\dots(III.2)$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit (P/N0).

III.2.Système SIMO :

C'est une technique qui utilise plusieurs antennes en réception pour lutter contre l'évanouissement dû au canal [26] [27]

Le signal reçu est additionné et le rapport signal sur bruit total est la somme des rapports signaux sur bruits de chacun des antennes de la réception.

La capacité du canal SIMO :

$$C = W \log_2 \left(1 + N_r^2 \frac{P}{N_0 W} \right) \quad \dots\dots\dots(III.3)$$

Où :

Nr : le nombre d'antenne réceptrice.

En normalisant la capacité en par la bande utile W , nous obtenons : En normalisant la capacité par la bande utile W , on obtient :

$$C = \log_2(1 + N_r^2 \rho) \dots \dots \dots (III.4)$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit.

III.3 Système MIMO (Multi in , Multi out) :

Les techniques MIMO sont apparues dans les années 90 grâce à Gerard. J. Foschini Le but étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur.

La mise en place d'une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande alloué au signal ni sa puissance d'émission. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité. Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, et donc, il est fort probable qu'au moins un, ou plus, des signaux reçus ne soit pas atténué à un moment donné, rendant possible une transmission de bonne qualité. Cela a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit (en anglais Signal to Noise Ratio (SNR)) et donc du taux d'erreurs binaires

III.3.1. Les principes du MIMO :

Comme cela a été expliqué précédemment, la principale source des perturbations, que subit un signal lors de sa propagation, est le canal. En effet, à cause des phénomènes de propagation multi-trajets, le signal subit des évanouissements, des décalages fréquentiels ou même temporels. Contrairement aux systèmes classiques, les systèmes à diversité prennent avantage de ces types de propagation pour améliorer les performances du système. Pour mettre en place ces améliorations, les systèmes MIMO exploitent les technique de :

- **Diversité d'espace** : Aussi connue sous le nom de diversité d'antenne
- **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes. Il faut toutefois faire attention à la largeur de bande cohérente et à l'étendue fréquentielle due aux multi-trajets et aux distances à franchir par la transmission.
- **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de la diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse.

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

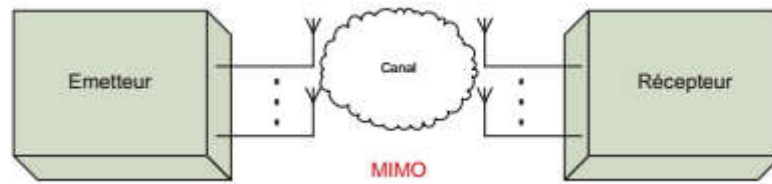


Figure III.1: Schémas représentatifs du MIMO

III.3.2. Modèle du canal MIMO :

Considérons un système MIMO composé de N_T antennes à l'émission et N_R antennes à la réception. L'information est émise par les N_T antennes à la fois. Lors de sa propagation, elle est portée par plusieurs canaux reliant chacun une antenne d'émission à une autre en réception. A la réception on détecte un signal $y(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ qui s'écrit :

$$y(t) = H x(t) + b(t) \dots\dots\dots (III.5)$$

Avec $H \in \mathbb{C}^{N_R \times N_T}$ la matrice du canal,

$x(t) \in \mathbb{C}^{N_T \times 1}$ le signal émis

Et $b(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ un bruit blanc additif gaussien.

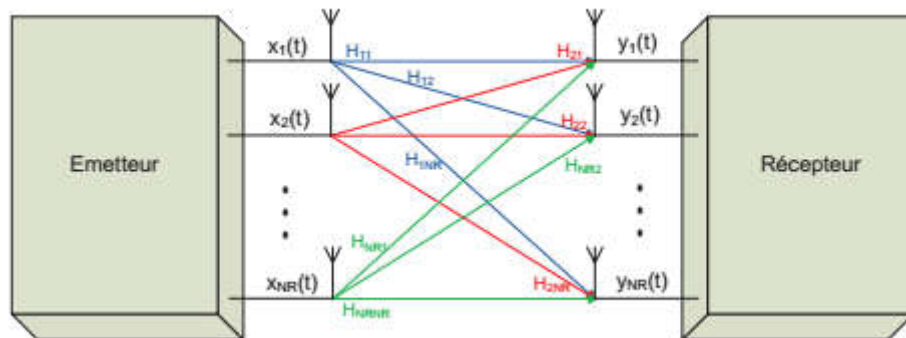


Figure III.2 : Système MIMO

III.4. Système de transmission MIMO associé à une modulation OFDM :

La modulation OFDM a pour principe de répartir le flux binaire à haut débit sur un ensemble de P sous-porteuses transmettant chacune des débits réduits.

La généralisation aux canaux sélectifs en fréquence des techniques MIMO développées initialement pour les canaux à évanouissements plats n'est pas triviale et peut s'avérer même

délicate dès lors que nous considérons des schémas de transmission par bloc (pour exploiter la diversité d'antenne d'émission notamment). Une autre approche est de rendre au préalable le canal non sélectif en fréquence afin de pouvoir réutiliser l'ensemble des techniques MIMO à bande étroite. Une méthode pratique pour s'affranchir de l'IES est la modulation OFDM. Nous considérons un système MIMO utilisant la modulation OFDM, où l'émetteur et le récepteur sont munis respectivement de M et N antennes émettrices et réceptrices

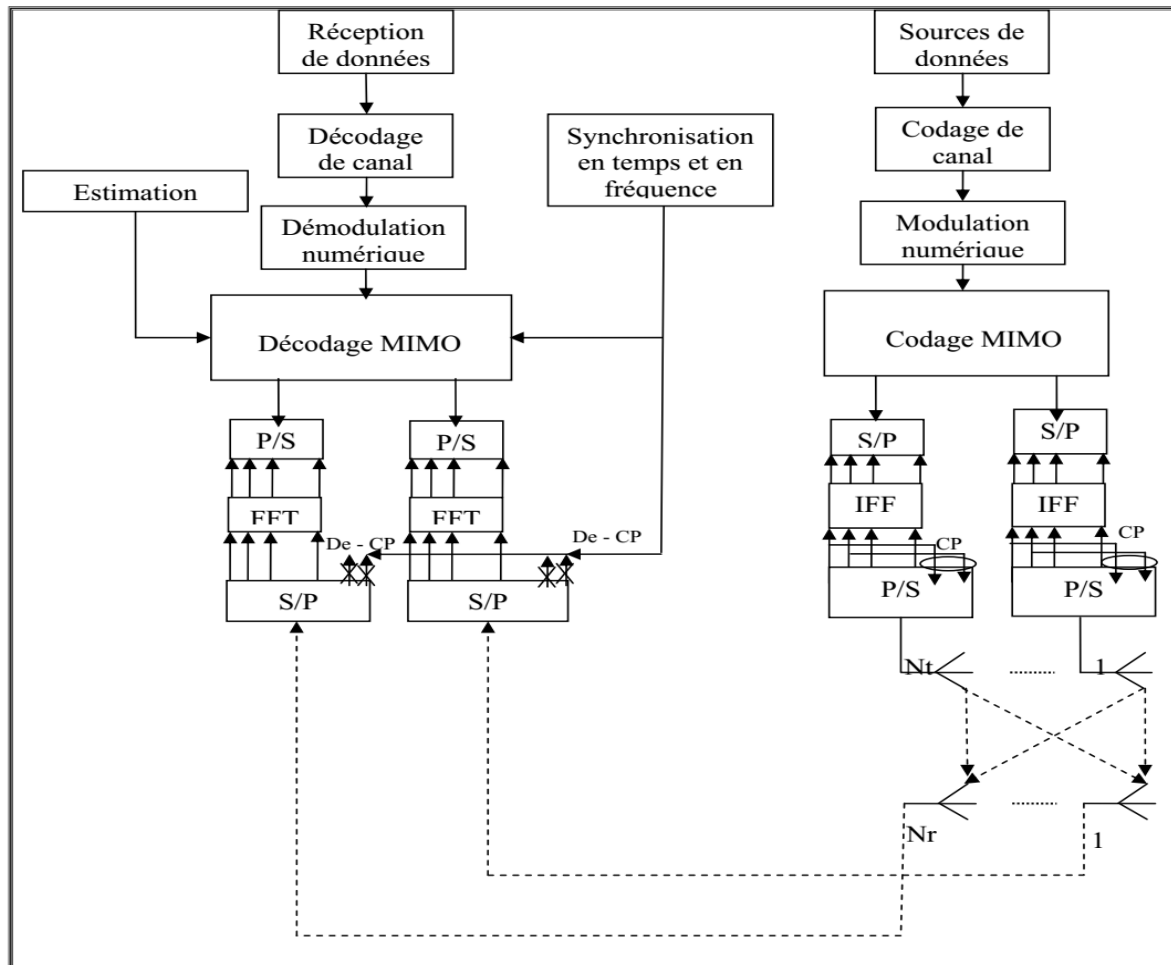


Figure III.3 : Model du système MIMO-OFDM

Le schéma d'une transmission MIMO / OFDM.

- En émission nous avons les étages suivants:
 - Conversion série-parallèle de taille P afin d'obtenir des blocs de P symboles.
 - Transformée de Fourier inverse de taille P .
 - Insertion d'un intervalle de garde de taille D en début de bloc où la fin du bloc est recopiée.

L'insertion de l'intervalle de garde a deux objectifs :

- ✓ Le premier est d'absorber l'IES apportée par le canal de propagation et de rendre le canal non sélectif en fréquence pour chaque sous porteuses. Pour cette raison, la taille de l'intervalle de garde doit être choisie plus grande que l'étalement maximal des retards.
- ✓ Le deuxième objectif est de rendre cyclique la convolution entre le signal OFDM et le canal. Pour cela, nous recopions la fin du signal dans l'intervalle de garde : le signal OFDM devient ainsi cyclique d'où le nom du préfixe cyclique. Dans le schéma OFDM, c'est l'ajout de cette extension cyclique à chaque bloc qui permet de prendre en compte le caractère sélectif du canal

En réception, les opérations duales sont effectuées :

- Conversion parallèle série.
- Suppression de l'intervalle de garde correspondant aux Δ premiers échantillons du bloc.
- Transformée de Fourier directe.
- Conversion parallèle série.

III.4.1. Présentation détaillé du système MIMO-OFDM

Une des techniques les plus efficaces pour améliorer l'efficacité spectrale (capacité ou débit binaire) d'une communication radio, est l'utilisation d'antennes multiples à l'émission et à la réception. Nous considérons un système MIMO utilisant la modulation OFDM, où l'émetteur et le récepteur sont munis respectivement de Tx et Rx antennes. Les antennes sont disposées, de la façon la plus communément utilisée, appelée en anglais Uniform Linear Array (ULA) , c'est-à-dire elles sont alignées et uniformément espacées. La distance relative entre deux antennes adjacentes est donnée par : $\Delta = 1/2 \lambda$, où λ est la longueur d'onde. Les deux figure (III.4) et (III.5) présente le schéma de la chaîne de transmission du système MIMO/OFDM considérée dans ce chapitre.

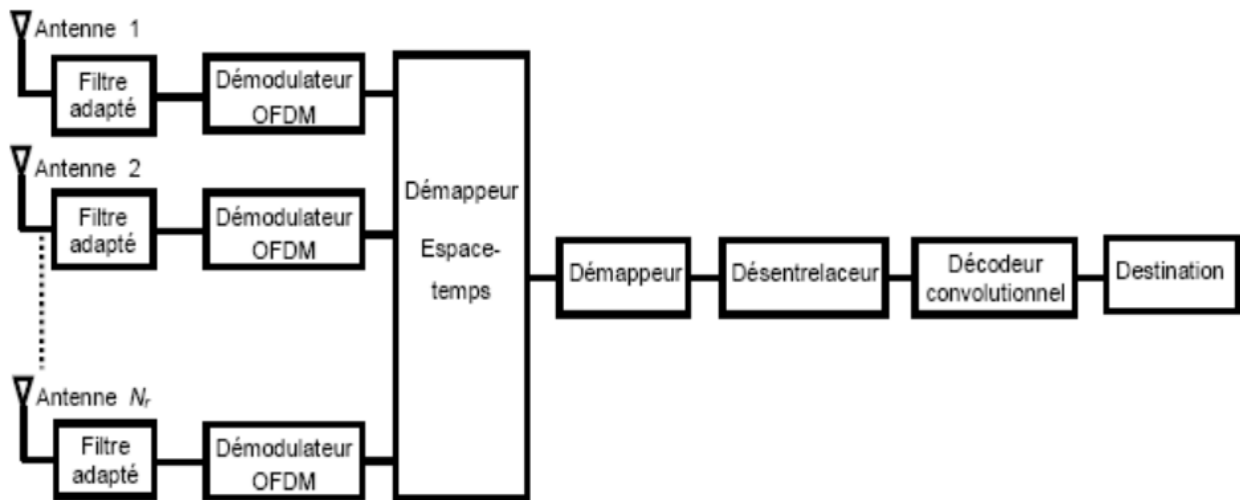


Figure III.4 : Chaîne d'émission

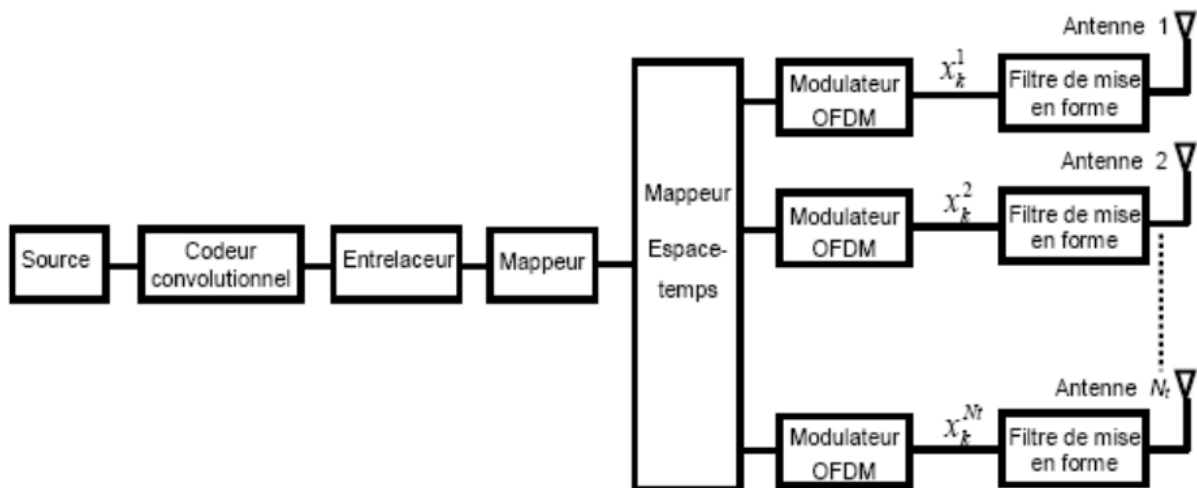


Figure III.5: Chaîne de réception

III.4.2. Le système de transmission MIMO/OFDM

Nous décrivons à présent le parcours suivi par le message depuis sa génération par la source jusqu'à sa destination :

- ❖ Le message généré par la source est d'abord transformé en une séquence binaire. Idéalement nous désirons avoir le minimum de bits possible. Cette opération de conversion d'un signal analogique en un signal numérique est assurée par un processus de compression appelé le codeur source ; le codeur source n'est pas pris en compte lors de l'étude des performances des systèmes MIMO. Ainsi la chaîne de transmission se délimite par le codeur canal et le décodeur canal de part et d'autre du canal de transmission.

- ❖ La séquence binaire résultante est ensuite passée au codeur canal. Le but du codeur canal est de la protéger contre les effets du canal (bruits, interférences, etc.). Ainsi, le codeur introduit d'une façon contrôlée des bits de redondance qui peuvent être utilisés au niveau du récepteur. Ensuite, la séquence binaire passe à travers un entrelaceur afin que la transmission soit plus robuste aux atténuations en bloc (*block fading*) du canal;
- ❖ La séquence binaire entrelacée passe à travers un modulateur numérique. Ce dernier associe à chaque séquence de b bits un symbole complexe selon une constellation de taille $2b$. Par exemple, nous citons la modulation binaire à décalage de phase dite (BPSK), la modulation à décalage de phase en quadrature (QPSK), la modulation d'amplitude en quadrature (QAM).
- ❖ Les symboles complexes sont par la suite mappés afin qu'ils soient transmis sur les N_t antennes de transmission et à travers les ressources orthogonales du canal. Comme le système MIMO étudié considère la modulation OFDM, nous disposons à l'entrée du canal des échantillons à émettre, ainsi l'utilisation d'un modulateur spatio-temporel s'avère une bonne idée afin de profiter des ressources en espace, temps et fréquence présentes.
 $M T_x$
- ❖ Finalement, les symboles passent à travers le modulateur OFDM avant d'être filtrés par le filtre limiteur de bande (passe bande).
- ❖ Le signal analogique résultant est transmis à travers le canal radio, où il se trouve affecté par les atténuations dues aux réflexions et aux réfractions du signal dans le milieu de propagation.
- ❖ A la réception, le récepteur à antennes multiples est constitué d'un filtre adapté au filtre limiteur de bande (passe bande) utilisé à l'émission, du démodulateur OFDM, du décodeur spatio-temporel, du démodulateur numérique, du décodeur canal et du décodeur source.

III.4.3. Capacité du système MIMO-OFDM :

Les systèmes de transmission de type MIMO permettent d'atteindre des capacités très importantes grâce à l'exploitation de la diversité spatiale du canal . Mais la transmission est limitée par la durée symbole qui doit être grande devant la durée de la réponse impulsionnelle du canal, ce qui limite le débit dans le cas d'un canal avec de longs échos. L'utilisation d'une modulation OFDM classique dans un système MIMO permet de s'affranchir de cette contrainte simplement en assurant un temps de garde supérieur au dernier écho du canal. Nous supposons que l'émetteur (avec M antennes) et le récepteur (avec N antennes) sont parfaitement synchronisés et que l'instant de décision est optimal. De même le canal est supposé avoir été estimé par le récepteur et la

puissance totale émise est équirépartie entre les M émetteurs. Nous montrons que le système MIMO/OFDM équivalent en bande de base peut être vu comme P branches parallèles et indépendantes d'un système MIMO mono porteuse. Le principe d'un système MIMO-OFDM est présenté Les données à émettre sont dé multiplexées en M voies indépendantes, pour être émises sur chaque antenne via un modulateur OFDM. En réception, le signal de chaque sous porteuse est séparé, antenne par antenne, à l'aide de N démodulateurs OFDM. Pour chaque sous porteuse, le signal des différentes antennes est démodulé avec un récepteur MIMO classique. Au final les données des P récepteurs MIMO sont multiplexées dans l'ordre initial. Le canal MIMO large bande est modélisé par P matrices H_p ($N \times M$), chaque matrice correspondant à la réponse du canal pour la fréquence du p sous porteuse. Si S_p est le vecteur symbole émis par la p sous porteuse, alors le vecteur reçu correspondant par la suite de l'application des codes espace temps sur chaque sous canal.

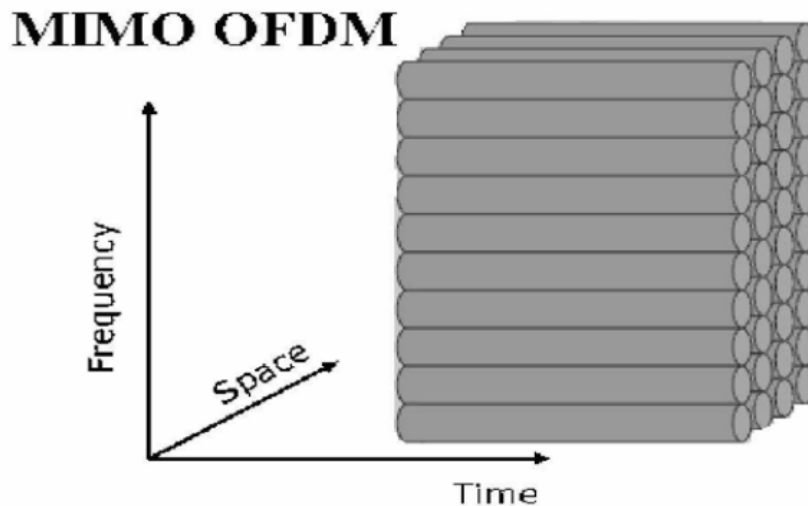


Figure III.6: L'OFDM appliquée aux MIMO

Le modèle du signal pour la p^e sous porteuse s'écrit de la façon suivante :

$$R_p = H_p + n_p + S_p \dots\dots\dots(III.6)$$

C_p représentant la capacité du canal pour la sous porteuse p. Elle est obtenue de la façon suivante :

$$C_p = \xi \log_2(1 + \rho_p) \dots\dots\dots(III.7)$$

La capacité C_p étendue au canal MIMO-OFDM est donnée par :

$$C_p = \xi \log_2(\det [I_n + \rho_p H_p H_p^*]) \dots\dots\dots(III.8)$$

D'un point de vue théorie de l'information, la capacité d'un système MIMO-OFDM est égale à la capacité du canal MIMO sélectif en fréquence (en faisant abstraction de la perte en efficacité spectrale due à l'insertion de l'intervalle de garde). L'intérêt de L'association MIMO-OFDM réside dans le fait que cette modulation élimine le phénomène de l'IES donc à la réception le signal sera optimiser et nous aurons une bonne qualité de signal,

Conclusion :

Dans le chapitre nous allons démontrer l'utilité de la technique MIMO associée avec la modulation OFDM pour accroître le débit de transmission et améliorer les performances du signal par une réalisation d'une interface graphique.

Chapitre 4

Simulation

MIMO-OFDM

et Résultats

Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'OFDM et le MIMO-OFDM, en commençant à partir de sa conception pour aboutir à sa mise en œuvre actuelle dans le domaine à temps discret par l'utilisation de la transformée de Fourier rapide. Par la suite, nous avons vu comment l'ajout d'un multi antenne, permet de simplifier grandement le processus d'égalisation pour les canaux multi-trajets, et les trois type des canaux (Gaussien, Rice et Rayleigh) et sont Performances et enfin l'association MIMO-OFDM.

IV. Les canaux multi trajets : [18] [21]

Le milieu de propagation des ondes électromagnétiques comporte souvent plusieurs obstacles nuisant à la transmission de l'information. Ceux-ci peuvent être d'origine physique tel que les édifices, montagnes, gratte-ciel ou encore le sol. Ces obstacles causes des diffractions, réflexions et réfractions des ondes contribuant à la dégradation du signal émis. Un canal multi trajet est caractérisé par la propagation de plusieurs ondes dans l'espace entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi, le signal reçu est composé de la somme de l'onde transmise et des ondes réfléchies. Plusieurs types de canaux multi trajets furent développés afin de considérer les différents milieux de propagation existants. Deux de ces canaux émuloés lors des expériences pratiques, le canal de Rice et le canal de Rayleigh, sont présentés dans cette section.

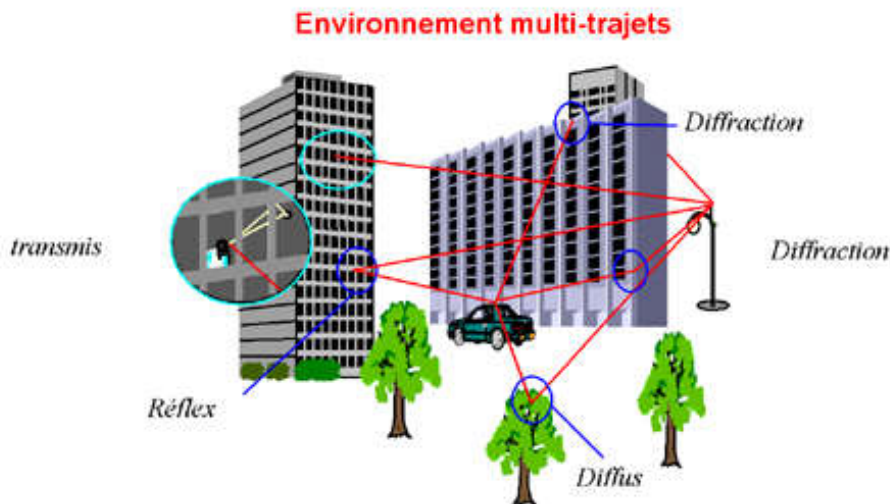


Figure IV.1 : Environnement multi-trajets

IV.1. Types de canaux :

- Canal Gaussien
- Canal de Rice
- canal de Rayleigh

IV.1.1. Canal Gaussien : [20] [21]

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG, AWGN en anglais ‘ Additive White Gaussian Noise). Ce bruit modélise à la fois les bruits d’origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d’origine externe (bruit d’antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu’il représente une transmission quasi-parfaite de l’émetteur au récepteur. Le signal reçu s’écrit alors sous la forme :

$$y(t) = x(t) + b(t) \dots\dots\dots(IV.1)$$

Où **b** représente le BBAG, caractérisé par un processus aléatoire gaussien de moyenne nulle, de variance $\sigma_b^2 = N0/2$ et de densité spectrale de puissance de bruit $N0$. La densité de probabilité

$$p_{Y/X} \left(\frac{y}{x} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b^2}} e^{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_b^2}} \dots\dots\dots(IV.2)$$

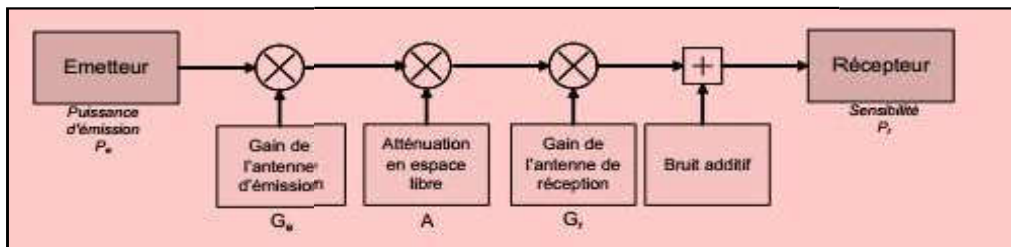


Figure IV.2 : Système de communication avec un canal à bruit additif.

IV.1.2. Canal de Rice : [18] [21]

Existence d’une ligne de vue (propagation LOS) : canal de Rice

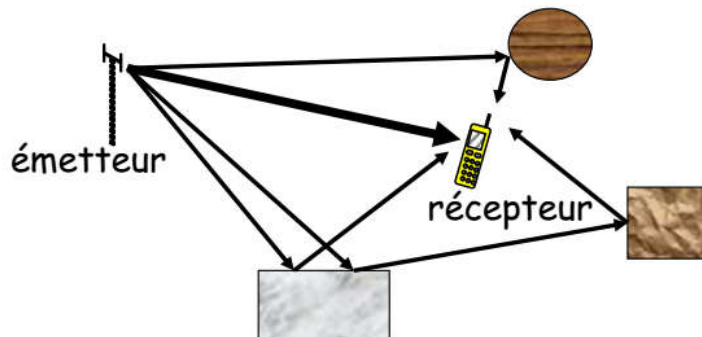


Figure IV.3 : Environnement de canal de Rice

Le canal de Rice est caractérisé par la propagation d'une onde directe et de plusieurs ondes réfléchies entre l'émetteur et le récepteur. La réponse impulsionnelle $R(t)$ de ce canal, en négligeant le déplacement Doppler, peut être exprimée par la formule suivante:

$$R(t) = \delta(t) + \sum_{i=1}^N A_i(t) \delta(t - \tau_i(t)) \dots\dots\dots(IV.3)$$

Le comportement statistique de l'enveloppe du signal reçu est exprimé par la loi de Rice. Celle-ci est décrite par la fonction de densité de probabilité $P(r)$ suivante:

$$P(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\left(\frac{r^2 + \alpha^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot \alpha}{\sigma^2}\right), & r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(IV.4)$$

où r est l'enveloppe du signal reçu, (α^2) est la puissance moyenne de la composante directe, (σ^2) est la puissance moyenne des composantes réfléchies et (I_0) est la fonction de Bessel du premier ordre modifiée. Il est à noter que ce modèle stochastique considère l'indépendance statistique des paramètres de chaque trajet. Les propriétés de cette loi sont abondamment éditées dans la littérature scientifique et tout particulièrement

Propagation LOS : un signal direct plus puissant que les autres

$$y(t) = \alpha(t) s(t) + n(t) \dots\dots\dots(IV.5)$$

IV.1.3. Canal de Rayleigh : [18] [21] [19]

Pas de ligne de vue (propagation NLOS) : canal de Rayleigh

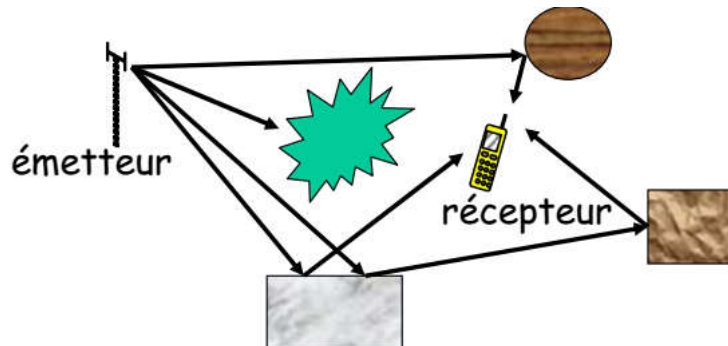


Figure IV.4 : Environnement de canal de Rayleigh

Le canal de Rayleigh est un cas particulier du canal de Rice par le fait qu'il ne comporte pas de composante directe. Ainsi, l'enveloppe du signal résultant comporte seulement des composantes réfléchies. Ce canal caractérise essentiellement les milieux urbains, tel le centre-ville de Montréal, où le signal reçu est composé des réflexions du signal émis sur les édifices et les gratte-ciels. De ce fait, en partant de la formule (2) et en éliminant la composante directe α , on obtient la loi de Rayleigh. L'enveloppe du signal résultant est obtenue par la fonction de densité de probabilité suivante:

$$P(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}, & r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(IV.6)$$

IV.1.3.1.Caractérisation d'un canal de Rayleigh :

$$y(t) = \alpha(t) s(t) + n(t) \dots\dots\dots(IV.7)$$

$\alpha(t)$:variable aleatoire gaussienne complexe de moyenne nulle
 $r(t)=|\alpha(t)|$: variable de Rayleigh, de densité de probabilité

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \quad r \geq 0 \dots\dots\dots(IV.8)$$

IV.2.Paramètres de propagation d'un canal multi trajet :

Plusieurs facteurs affectent la propagation de l'onde électromagnétique dans l'espace libre tel la densité de la pluie, les conditions météorologiques et le coefficient de réflexion des fenêtres sur les édifices. Ainsi, le mécanisme de dégradation du signal transmis peut être exprimés par les trois paramètres de propagation fondamentaux suivant:

IV.2.1. Atténuation :

L'atténuation d'un signal transmis dans l'espace libre est principalement fonction de la distance parcourue. Le mécanisme de perte d'amplitude exprimée en dB .

IV.2.2. Délais :

Le délai de transmission entre l'émetteur et le récepteur est également causé par la distance parcouru. L'onde électromagnétique se propageant à la vitesse de la lumière dans l'air,

IV.2.3. Étalement Doppler :

Le déplacement Doppler caractérise la déviation de fréquence de la porteuse lorsqu'une des sources est en mouvement. Il est exprimé en fonction de la vitesse du mobile (v) en m/s, de la fréquence porteuse (f_p) en Hz, ainsi que de la vitesse de la lumière $C=3.10^8$ m/s

$$f_d = \frac{v \cdot f_p}{c} \dots\dots\dots(IV.9)$$

L'étalement Doppler, quant à lui, représente l'étalement fréquentiel du signal reçu. Dans le cas d'un mobile recevant une porteuse sur une antenne fouet verticale, la réponse fréquentielle résultante est caractérisée par la formule suivante:

IV.3 Simulation MIMO-OFDM :

Notre but est l'utilisation de l'OFDM dans les réseaux de communication sans fil pour des applications multi- utilisateurs. Ces applications inclus dans les réseaux WLAN (Wireless Local Area Network), WLL (Wireless Local Loop) et le téléphone mobile de la 4G. Ce travail présente une implémentation d'un MODEM (modulateur/démodulateur) MIMO-OFDM sous MATLAB, pour lequel nous avons étudié les performances de cette technique en fonction de l'effet trajet multiple et rapport signal sur bruit.

IV.3.1 Chaîne de transmission OFDM : [11]

Le diagramme en bloc de la chaîne de transmission OFDM est présenté par la figure suivant :

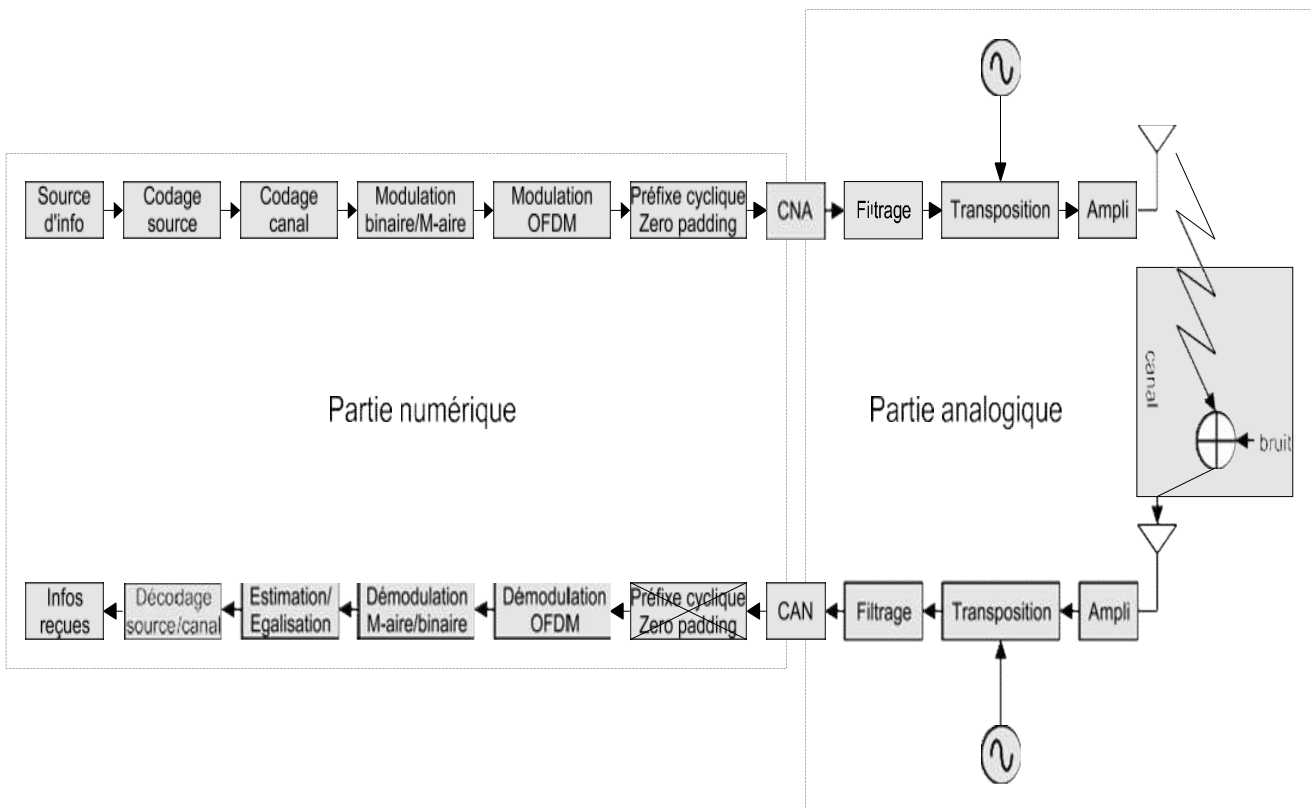


Figure IV.5: Diagramme en bloc de la chaîne de transmission OFDM.

Cette chaîne de transmission est constituée des éléments suivants :

Partie numérique (cas de transmission) :

-Source d'information : à cette étape interviennent des capteurs pour transformer l'information de sa forme physique (onde sonore, lumière, chaleur...) en un signal électrique. Le signal électrique est ensuite transformé en séquences de bits d'information.

-Codage source : cette étape se charge d'enlever la redondance dans les bits d'information et d'effectuer une compression des données.

-Codage canal : ce codage consiste à ajouter une redondance pour protéger les bits d'information contre des éventuels parasites introduits par le canal.

-Modulation binaire/M-aire : des symboles d'information sont générés suivant un alphabet donné (BPSK, QPSK, M-PSK, QAM-16...etc.), en modifiant l'amplitude et/ou la phase des symboles en fonction des paquets de bits d'information.

-Modulation OFDM : Modulation multi porteuses comprenant une conversion série/parallèle, une IFFT et une conversion parallèle/série.

-Insertion du pré fixe cyclique ou du zero padding : ajoute une redondance ou des zéros à chaque symbole OFDM permettant d'éviter l'interférence entre symboles OFDM utile et une égalisation simple du canal.

Partie analogique :

-Conversion numérique/analogique : le signal numérique est converti en un signal électrique analogique.

-Filtrage : le signal électrique bande de base est filtré afin de supprimer les répétitions du spectre obtenues lors de la conversion numérique/analogique.

-Transposition : la transposition en fréquence est effectuée pour porter le signal de la bande de base autour de la fréquence porteuse. Cette transposition est obtenue grâce à des mélangeurs et à un ou plusieurs oscillateurs locaux.

-Amplificateur de puissance : la puissance du signal est augmentée pour qu'il puisse résister à l'atténuation du canal.

-Antenne d'émission : le signal électrique est transformé en une onde électromagnétique en espace libre.

-Canal de propagation : le canal correspond à l'environnement physique dans lequel l'onde du signal se propage ; dans le cas des télécommunications mobiles, ce milieu est l'air. Il introduit plusieurs sortes de distorsions comme l'effet Doppler ou l'effet multi trajets.

-**Antenne de réception** : l'onde électromagnétique est transformée en un signal électrique. Mais l'antenne capte aussi du bruit thermique dont la puissance est proportionnelle à la bande passante de l'antenne.

-**Amplificateur faible bruit** : le signal qui a subi l'atténuation du canal est amplifié.

-**Transposition** : le spectre du signal qui est centré autour de la fréquence porteuse est ramené en bande de base. Cette transposition est obtenue grâce à des mélangeurs et à un ou plusieurs oscillateurs locaux.

-**Filtrage** : le signal électrique bande de base est filtré afin d'éviter le repliement spectral lors de l'échantillonnage effectué par la conversion analogique/numérique.

-**Conversion analogique/numérique** : le signal électrique analogique est converti en un signal numérique.

Partie numérique (cas de réception) :

-Suppression du préfixe cyclique ou du zero padding.

-**Démodulation OFDM** : l'opération duale de la modulation est réalisée grâce à la FFT.

-**Estimation et Égalisation** : la dispersion du canal est estimée grâce à des symboles connus du récepteur. Les symboles reçus affectés par le canal sont ensuite compensés.

-**Démodulation M-aire/binaire** : les symboles reçus sont reconvertis en paquets de bits.

-**Décodage canal et décodage source** : cette étape supprime les redondances ajoutées à l'émission et corrige certaines erreurs. Les données sont ensuite décompressées en insérant les redondances enlevées lors du codage source à l'émission.

-**Informations** : les données sont transformées de forme électrique en forme physique.

IV.3.2 Taux d'Erreur Binaire (BER) : [25]

Le taux d'erreur ou B.E.R., abréviation de l'expression anglaise Bit Error Rate, désigne une valeur relative au taux d'erreur mesuré à la réception d'une transmission numérique, relative au niveau d'atténuation et/ou de perturbation d'un signal transmis.

Ce taux détermine le nombre d'erreurs apparues avant la modulation et juste après la démodulation, il augmente à cause des perturbations : équipement ou réseau défectueux, pointage incorrect d'une antenne, longueur de canal, etc.

IV.3.3 Rapport Signal sur Bruit (SNR) : [25]

Le rapport signal sur bruit S/B (Signal to Noise Ratio S/N ou SNR en anglais), permet de mesurer la qualité d'un canal de transmission. C'est un nombre sans unité qui est d'autant plus grand que le bruit est négligeable.

On le calcule à l'aide de l'une ou l'autre des formules représentées ci dessous :

$$\left(\frac{S}{N}\right) (dB) = 10 \log \frac{P_S}{P_N} \dots\dots\dots(IV.10)$$

$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N} \dots\dots\dots(IV.11)$$

P_S : Puissance du signal en W.

P_N : Puissance de bruit en W.

IV.3.4 Eb/N0 : [25]

Eb/N0 est un paramètre important dans la transmission numérique de données ou de communication. C'est une mesure du rapport signal sur bruit (SNR) normalisé, également connu sous le nom « SNR / bit ». Il est particulièrement utile lorsque l'on compare le rendement du taux (BER) erreur bit des schémas de différentes modulations numériques sans tenir compte de bande passante.

IV.4 Réalisation de la chaine de transmission MIMO-OFDM sous Matlab :

Dans les systèmes sans fil à large bande, les canaux MIMO sont gravement touchés par les évanouissements sélectifs en fréquence, pour y remédier, MIMO peut être combiné avec un système OFDM, pour donner naissance à un système MIMO-OFDM. L'association MIMO-OFDM est à la base de la 4G, puisque MIMO peut apporter un gain en diversité ainsi qu'améliorer la capacité du système, et l'OFDM peut atténuer les effets des évanouissements sélectifs en fréquence [24].

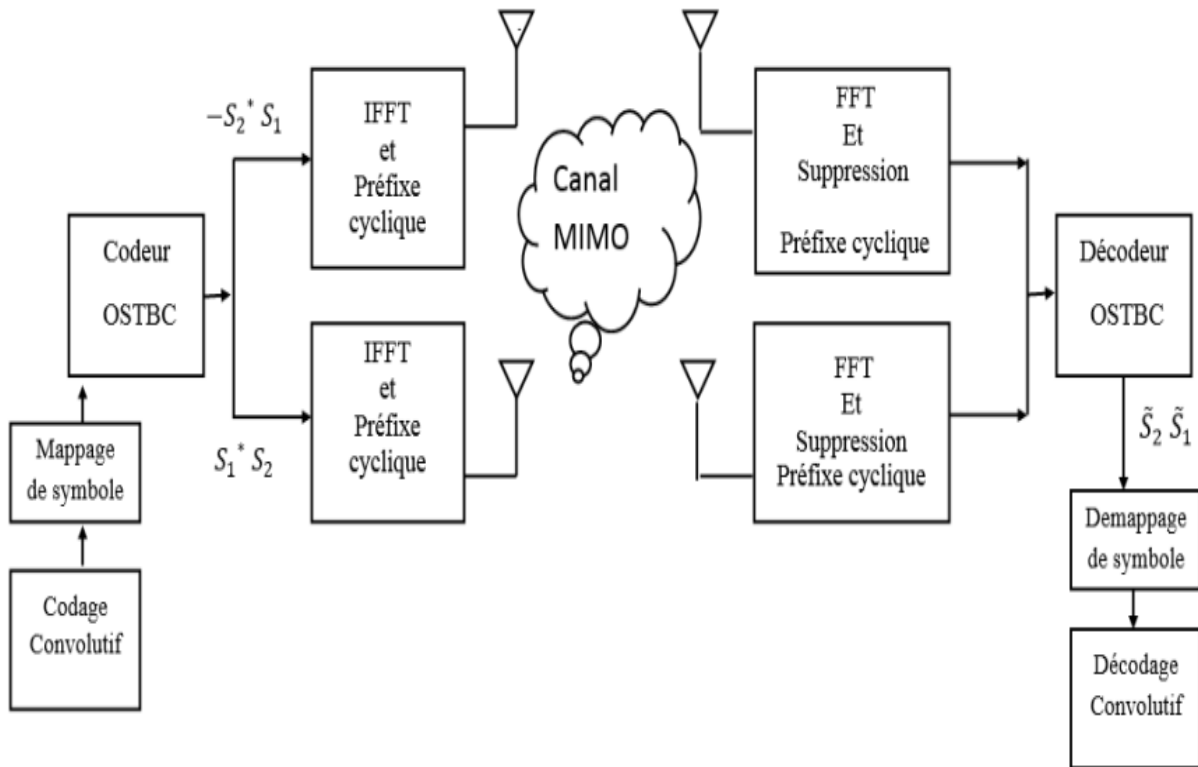


Figure IV.6 : schéma simplifié d'un système MIMO-OFDM avec un codage STBC

IV.4.1 Système SISO –OFDM :

➤ Paramètre :

Les paramètres utilisés dans la simulation sont indiqués dans le tableau suivant :

Paramètres	Spécification
Constellation	BPSK
Canal	Rayleigh
Nombre de symboles	10^6
Configurations	1 x 1
Codage	Non

Tableau IV.1 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 1x1

➤ Résultats:

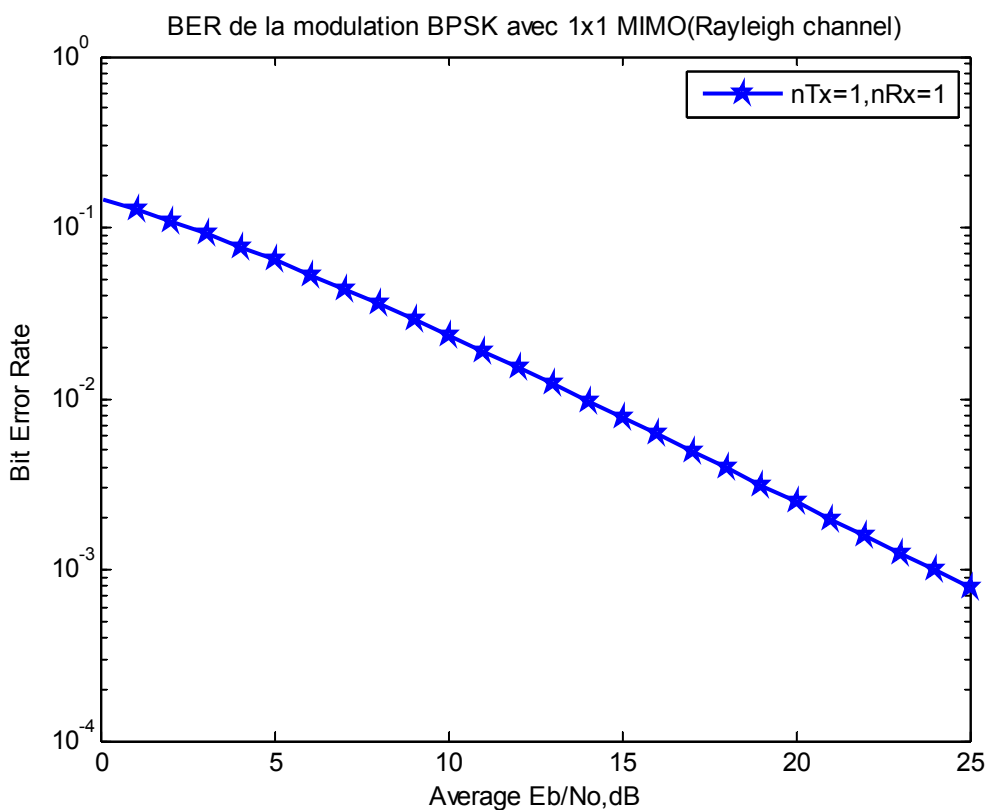


Figure IV.7 : Courbes de BER vs Eb/No pour la modulation MIMO-OFDM 1x1.

IV.4.2 Système SIMO –OFDM :

➤ Les paramètres utilisés dans la simulation sont indiqués dans le tableau suivant :

Paramètres	Spécification
Constellation	BPSK
Canal	Rayleigh
Nombre de symboles	10^6
Configurations	1 x 2
Codage	Non

Tableau IV.2 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 1x2

➤ Résultats:

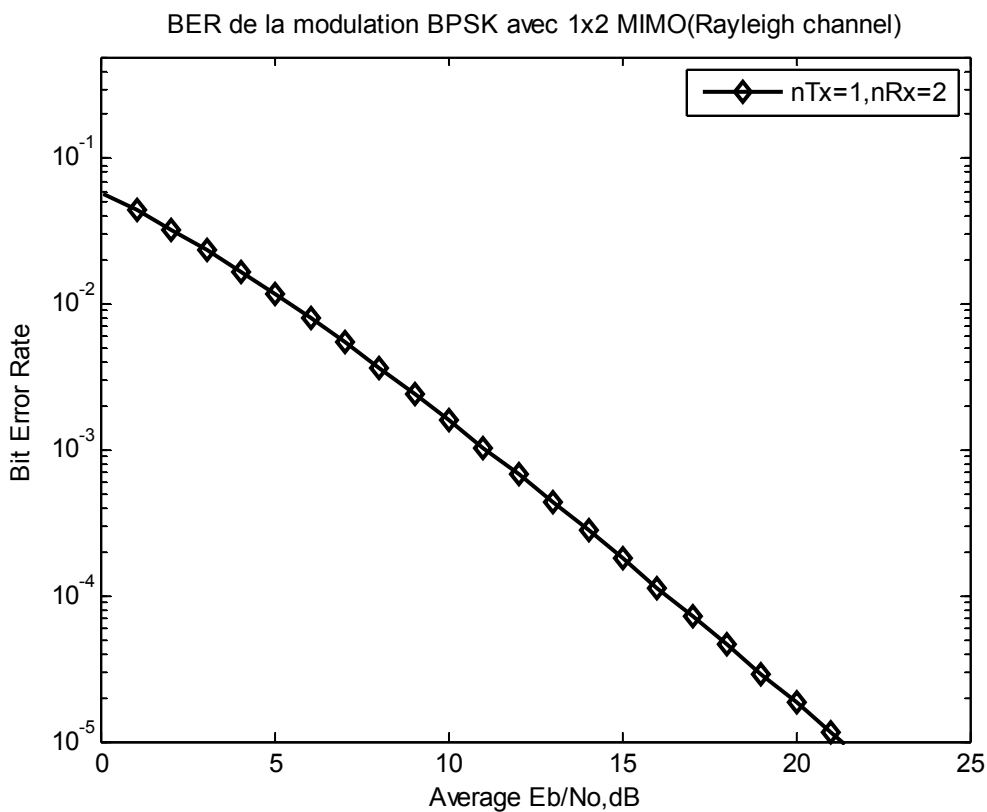


Figure IV.8 : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour la modulation MIMO-OFDM 1x1

La multiplicité d’antennes à la réception permet l’utilisation des techniques de combinaison des répliques pour combattre les distorsions et les évanouissements subis par le signal lors de la transmission. Le BER diminue avec l’augmentation du nombre d’antennes Résultats et discussion

IV.4.3 Système MIMO –OFDM :

➤ Les paramètres utilisés dans la simulation sont indiqués dans le tableau suivant :

Paramètres	Spécification
Constellation	BPSK
Canal	Rayleigh
Nombre de symboles	10^6
Configurations	2 x 2
Codage	Non

Tableau IV.3 : Paramètres de simulation pour MIMO-OFDM 2x2.

➤ Résultats:

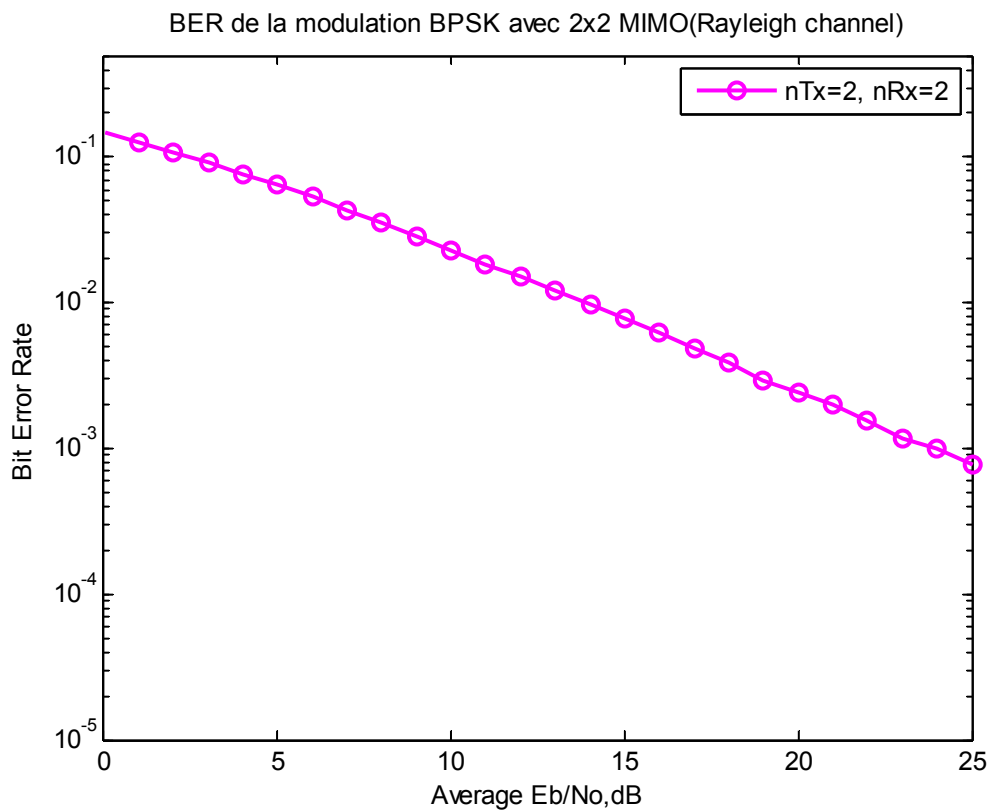


Figure IV.9 : Courbes de BER vs E_b/N_0 pour la modulation MIMO-OFDM 1x1

Dans cette section, nous montrons des résultats de simulation se rapportant à la comparaison des performances du canaux SISO, SIMO, MIMO sur un canal de Rayleigh .

- Les paramètres utilisés dans la simulation sont indiqués dans le tableau suivant :

Paramètres	Spécification
Constellation	BPSK
Canal	Rayleigh
Nombre de symboles	10^6
Configurations	1x1, 1x2, 2 x 2
Codage	Non

Tableau IV.4 : Paramètres de simulation pour la comparaison entre les différentes configurations.

- **Résultats :**

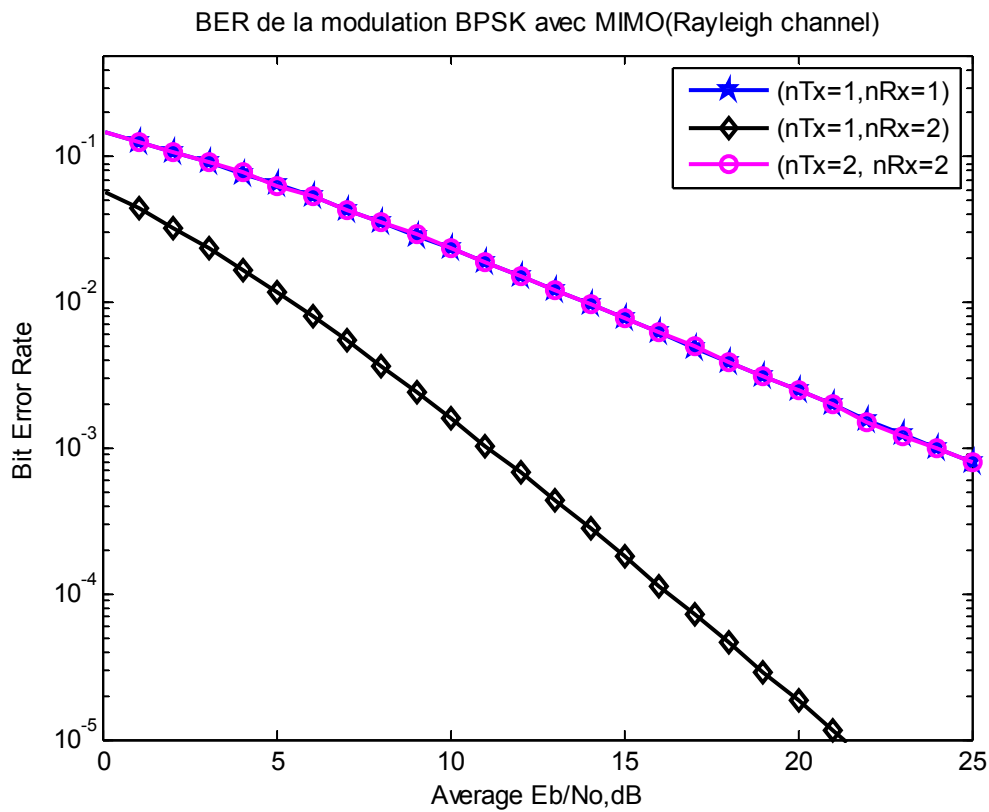


Figure IV.10 : Courbes de BER vs Eb/N0 pour différentes modulation OFDM

Le canal simulé est un canal de Rayleigh, c'est-à-dire que le signal transmis est affecté par un évanouissement et un bruit blanc gaussien aditif (BBGA).

Pour des faibles SNR (E_b/N_0), le BBGA et l'évanouissement sont les perturbations principales du signal ce qui donne des grandes valeurs du BER.

Par contre, quand E_b / N_0 (SNR) est plus grand, le BER chute suivant le paramètre de Rayleigh.

Quant en augmente le nombre des antennes, on peut voir les performances, mais dans notre cas 2x2 est un nombre insuffisant pour bien comprendre l'effet de MIMO.

IV.4.4 Discussion :

Nous avons pu constater dans ce chapitre l'influence de certains paramètres sur la performance d'un système OFDM comme la configuration de canal .Nous avons aussi pu voir l'efficacité de la diversité en émission et en réception pour lutter contre le fading ,et en dernier lieu nous avons vérifié une propriété très importante de l'OFDM, d'où l'intérêt de l'association MIMO-OFDM.

Nous avons analysé , les performances d'un système SIMO et MISO avec la modulation OFDM sous différentes conditions et nous sortons avec les constats suivants :

- En augmentant le nombre d'antennes à l'émission ou à la réception, on augmente l'ordre de diversité et donc, on gagne en fiabilité de communication.
- Pour améliorer l'efficacité de modulation MIMO-OFDM , le codage convolutif améliore grandement la fiabilité du système.
- Malgré les techniques actuelles, qui permettent de tirer le maximum d'un canal SISO, sa capacité est une borne qui ne peut être dépassée et un système multi antennes, même sous exploité, obtiendra de meilleures performances.
- Nous constatons bien à partir de cette comparaison que l'utilisation de la technique OFDM améliore beaucoup plus les performances. Ceci parce qu'elle permet d'éliminer la sélectivité du canal et puis le phénomène d'interférence est réduit donc à la réception.

Conclusion :

L'association MIMO-OFDM permet d'obtenir de meilleures qualités du signal à la réception en éliminant la sélectivité du canal et en réduisant le phénomène d'interférence entre symboles et donc plus l'ordre de diversité augmente plus le taux d'erreur diminue et plus le signal à la réception est optimal.



CONCLUSION

GENERALE et PERSPECTIVES



CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la mise en place théorique et expérimentale d'un système de transmission MIMO-OFDM, Les excellentes performances de l'OFDM ont justifié son adoption dans plusieurs standards pour les systèmes sans fil actuels et futurs. Une courte description de notre travail est présentée dans ce qui suit

Nous avons brièvement décrit les techniques de multiplexage, les trois type (TDMA,CDMA,FDMA) chaque type donné par leur caractéristique et les avantage et les inconvénient et on définir la technique OFDMA et la comparaison entre les trois type

Nous avons examiné en détail les performances des systèmes OFDM en commençant par discuter des principes généraux de la modulation OFDM. Nous avons passé en revue le principe de l'orthogonalité et l'utilité de l'intervalle de garde pour combattre les interférences. Nous avons terminé par la présentation de plusieurs types de cette technique et leurs avantages et inconvénients.

Nous avons présenté une définition sur La techniques MIMO l'origine et le principe de cette technique et les modèles du canal MIMO et le codage et décodage, et ensuit en va réalisé un transmission MIMO associé à une modulation OFDM, c'est-à-dire la combinaison des deux technique.

Les simulations réalisées dans ce travail sous forme d'algorithme exécuté dans MATLAB , ont permis de mettre en relief l'intérêt d'une transmission MIMO-OFDM du point de vue du taux d'erreur binaire. Ainsi que les types de transmission des canaux multi trajets.

On comparant, à l'aide des simulations, les performances en termes de taux d'erreurs binaires de notre système utilisant les différents types de canaux, nous avons constaté qu'avec la modulation QPSK, les dégradations de performances du système deviennent importantes par rapport à la structure MIMO-OFDM-QPSK

Notre étude souligne l'importance de la technique MIMO-OFDM dans les réseaux sans fil. On peut prévoir que le développement de la technique MIMO-OFDM prélude à l'ouverture de nouveaux marchés pour différents types d'applications, dans différents environnements, ce sont les nouvelles technologies de la 4ème génération de télécommunications sans fil.

Perspectives

Les systèmes d'antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output) jouent un rôle important pour l'OFDM. Seule l'utilisation d'antennes intelligentes permet d'obtenir une efficacité du spectre élevée.

La technologie MIMO permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur, ceci peut être utilisé pour augmenter le débit et minimiser le taux d'erreur binaire.

Ces systèmes MIMO ont été proposés dans plusieurs normes de communication sans fil modernes telles qu'IEEE 802.11n (Wifi), la 4 G, le LTE, la 3GPP (3rd Generation Partnership Project), Wi Max et HSPA+ (evolved High-Speed Packet Access).

La combinaison des techniques MIMO et OFDM a été adoptée dans les communications sans fil en raison des nombreux avantages de l'OFDM et des avantages des systèmes MIMO. A titre d'exemple, la technique MIMO-OFDM est utilisée dans la norme IEEE 802.11n de communication sans fil pour augmenter la capacité du canal ainsi que dans la technique LTE et Wi Max

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] METHODE D ACCESS AU SUPPORT DE TRANSMISSION FILAIRES ET SANS FIL 2013 (Université des science et de la technologie Houari Boumediene) . Consulter le 02/03/2016 à 18 :07
- [2]https://books.google.co.uk/books?id=x3eiZlooUOUC&pg=PA43&lpg=PA43&dq=technique+de+multiplexage+tdma&source=bl&ots=FZogCxqS2a&sig=EOC2wuhty3Jj3O_SmBD-3c5CCg&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=technique%20de%20multiplexage%20tdma&f=false Consulter le 05/03/2016 à 17:25
- [3] <http://www.hellart.fr/technosmobiles/Communications/Technos/specif2-mobile.html> Consulter le 23/03/2016 à 16 :36.
- [4] <http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma> Consulter le 05/03/2016 à 20 :37.
- [5] CSE024_multiplexage 2 : J AUVRAY « Systèmes électroniques » --- - 2000-2001-) Consulter le 24/04/2016 à 00:00
- [6] MK1_2006_03_Media : Jean--Pierre Ebert « Chapter 3 : Media Access » Consulter le 11/02/2016 à 13 :11
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=s1-Vz5o56yU> Consulter le 04/05/2016 à 11 :21.
- [8] DAKOG. Fabrice 'et 'CHAHBOUNE Aymane « ETUDE COMPARATIVE DES TECHNIQUES D ACCES FDMA TDMA ET CDMA »---*année universitaire 2009-2010* Consulter le 29/04/2016
- [9] http://www.tutorialspoint.com/gsm/tdma_and_cdma.htm . Consulter le 01/05/2016 à 15 :31
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=vOi00YHJueM> . Consulter le 09/05/2016 à 13 :00
- [11] 07CERG0343 : sylvain Traverso « Thèse présentée à l'université de Cergy-pontoise » --- le 16 novembre 2007 . Consulter le 22/04/2016 à 09 :00
- [12] RapportOFDM_2 : Pierre GRUYER, Simon PAILLARD « Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM » 12 décembre 2005 . Consulter le 25/03/2016 à 13 :00
- [13] KHOUNI SADIK : KHOUNI SADIK « MEMOIRE Présenté à la Faculté de Technologie Département d'Electronique » Soutenu le : 03-11-2010 . Consulter le 20/02/2016 à 23 :00
- [14] Etude des performances de la modulation OFDM : Helmi BEN HNIA, Abdennaceur KACHOURI, Ossama BEN BELGHITH Lotfi KAMOUN «Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G»--- March 15-20, 2004 – TUNISIA-- Consulter le 23/02/2016 à 02 :00

BIBLIOGRAPHIE

- [15] cours-ofdm-french : Mérouane Debbah « OFDM introduction aux principes de l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ». Consulter le 09/05/2016 à 14 :00
- [16] presentation_ofdm : C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET CNAM «Modulations Multiporteuses ». Consulter le 11/03/2016 à 16 :00
- [17]https://www.youtube.com/results?search_query=%D9%85.+%D8%A3%D9%85%D9%8A%D8%B1+%D8%B9%D8%B2%D8%AA++ofdm . Consulter le 02/04/2016 à 17 :00
- [18] choumane-alaa : Alaa Choumane, « Synthèse d'un canal de propagation par système multi antennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité », , 2011, , Consulter le 04/03/2016 à 17 :37.
- [19] S. R. Saunders and A. Aragon, « Antennas and Propagation for Wireless communication Systems », Wiley & Sons, 2. a. ed., May 2007. Consulter le 27/03/2016 à 18 :00
- [20] Bakir-Haj-Ali : Bakir Hadj Ali, « Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil », Tlemcen, 2012, Consulter le 02/03/2015 à 17:25.
- [21] canal GIRARD_François : FRANCOIS GIRARD MONTREAL, MAI 2001 Consulter le 09/05/2016 à 19 :00
- [22] transp_Canal : « Canal de Propagation -3ème année Télécom-Réseaux -2007-2008 » Consulter le 21/04/2016 à 10 :00
- [23] Resume_BENSAAD : BENSAAD Abdellah « Amélioration des techniques de traitement du signal pour les systèmes MIMO-OFDM » Consulter le 20/05/2016 à 19 :00.
- [24] Thèse N° [43-2009] :Belhouji-adil. «Etudes théoriques et expérimentales de systèmes de transmissions MIMO-OFDM » le 19 Octobre 2009 . Consulter le 09/05/2016 à 13 :00
- [25] MEMOIRE : FEROUANI SOUHILA « Etude et implementation d'un systeme MIMO dans un contexte OFD». Soutenu en 2010, Tlemcen, Consulter le 20/05/2016 à 19:30.
- [26] L202 : Ludovic COLLIN. «Optimisation de systèmes multi antennes basée sur la distance minimale», l'Université de Bretagne Occidentale, 17 décembre 2002. Consulter le 08/04/2016 à 13 :00
- [27] [Pier2005] : Pierre GRUYER, Simon PAILLARD, « Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM », Université de Bretagne 12 décembre 2005. Consulter le 28/02/2016 à 11 :00

الحمد لله

هو السلام عليكم ورحمة الله