

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de Technologie



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

En : Réseaux et Télécommunication

Présenté Par : Bendahmane Amira Meriem et Ghermoul Rania

Sujet

**Etude de méthodes de beamforming à maximisation
du rapport signal sur bruit pour des systèmes
FBMC**

Soutenu publiquement, le 25/06/2018, devant les jurys composés de :

M. BAHRI S.M

M. BENDIMERAD F. T

M. ZERROUKI. H

M.C. B

Professeur

M.C. B

Encadrant

Président

Examineur

Univ. Tlemcen

Univ. Tlemcen

Univ. Tlemcen

Année universitaire:2017-2018

Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les performances de l'association des antennes MIMO beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit avec la technique multi-porteuses FBMC et comparer les résultats obtenus avec ceux du MIMO-FBMC et MIMO-OFDM classiques. Cette technique sera appliquée par la suite dans les différents scénarios du contexte 5G.

Nous avons trois points essentiels : le premier est d'étudier la modulation multi-porteuses alternative à l'OFDM qui est connue actuellement sous le nom FBMC et ces performances. Ensuite, nous étudierons le système MIMO beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit et ces performances. Et enfin, nous entamons une association entre le MIMO beamforming et FBMC qui résultent une variation d'un grand nombre de paramètres afin d'améliorer ou optimiser les performances du système. Les différents résultats ont été simulés en employant le logiciel MATLAB.

Mots clés : MIMO beamforming, FBMC, 5G.

Abstract

The objective of this thesis is to study the performance of the association of MIMO beamforming antennas with maximization of the signal-to-noise ratio with the FBMC multi-carrier technique and to compare the results obtained with those of the classical MIMO-FBMC and MIMO-OFDM. This technique will be applied later in the different scenarios of the 5G context.

We have three essential points: the first is to study the multi-carrier modulation alternative to OFDM which is currently known under the name FBMC and these performances. Then we will study the MIMO beamforming system with signal-to-noise maximization and these performances. And finally, we begin an association between the MIMO beamforming and FBMC that result in a variation of a large number of parameters in order to improve or optimize system performance. The different results were simulated using the MATLAB software.

Key words : MIMO beamforming, FBMC, 5G.

Remerciements

Il nous est agréable et important de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encadrés pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude

*Tout d'abord nous remercions **ALLAH** le tout puissant pour ces Faveurs et ses bontés, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de terminer ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au **membre de jury**. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance. Nous tenons également à remercier infiniment **Mr BAHRI** pour nous avoir offert les conditions nécessaires et nous avoir guidés dans l'élaboration de ce travail. Nous profitons aussi de ce mémoire pour exprimer nos plus vifs remerciements envers tous les professeurs de la faculté de technologie de Tlemcen qui nous ont apportés du soutien durant nos études.*

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour à tous nos amis à tous ceux qui nous ont aidés. A tous ceux qui nous aimons.

Merci.....

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents qui n'ont pas cessés de m'encourager. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous.

A mon petit bébé Youcef que j'aime énormément.

A mon très cher mari : Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel m'ont permis de réussir mes études.

A ma très cher sœur : que dieu te procure bonne santé et long vie.

A mon cher frère et sa femme : je vous aime et même si vous êtes loin je sens toujours votre présence à mes côtés.

A mes beaux-parents qui mon toujours encourager.

A mes chers amies : Rania, Mimi et Soumia que je les considère comme une deuxième famille.

Amira Meriem .

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler « vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation je suis fière ». ***Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.***

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet :

-A mon cher frère SALAH et sa femme Amina.

-A ma sœur FETEH EL ZHOUR et son mari AMINE et ma petite sœur NESRINE.

-A mon cher fiancé ZINE EL DINE, j'aimerais bien que tu trouves dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et à la patience avec moi que ce travail a pu voir le jour.....

A toute ma famille

A mon binôme AMIRA et mes chers amis : MERIEM MAMIA, SOUMIA, SAIDA, YESMINE, SARRA, IBTISSEM, Zineb.

A collègue d'étude :

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures.

ET à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Rania

TABLES DES MATIERES

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des acronymes	
Introduction générale	1

Chapitre 1 : Réseaux de la 5ème génération

Introduction:.....	3
1.2 Objectif de la 5G :	4
1.3. Architecture de la 5G :	4
1.3.1 Le service innovant :	5
1.3.2 La plate-forme de validation : (Architecture réseau)	5
1.3.3 La radio Hyper-Connecté :	7
1.3.3.1. Bandes millimétriques :	8
1.3.3.2. MIMO massive :	8
1.3.3.3. Méthodes duplex :	9
1.4 Caractéristiques et la comparaison entre 4G et 5G :	12
1.5 Les défis de la 5G :	13
1.6 La 5G dans le monde	14
Conclusion :	15

Chapitre 2 : Le système OQAM-FBMC

Introduction :	17
2.2 Le système OFDM :	17
2.3 Structure du système FBMC-OQAM :	19
2.3.1 Le bloc pré/post-traitement OQAM :	19
2.3.1.1 Pré-traitement OQAM :	20

2.3.1.2	Post-traitement OQAM :	21
2.4	Les bancs de filtre :	22
2.4.1	Conception de filtre prototype :	24
2.4.2	Structure polyphasé :	26
2.5	Emetteur OQAM-FBMC :	27
2.6	Le récepteur OQAM-FBMC :	29
2.7	Comparaison entre l'OFDM et l'OQAM-FBMC :	30
	Conclusion :	32

Chapitre 3 : MIMO Beamforming

	Introduction :	34
3.2.	Présentation des systèmes multi-antenne :	34
3.3.	Type antennes MIMO :	34
3.3.1	MIMO a Codes spatio-temporels :	35
3.3.2.	MIMO à Multiplexagespatial :	36
3.3.3.	MIMO beamforming :	37
3.4.	MIMO Beamforming :	37
3.4.1.	Antenne intelligente :	37
3.4.2.	Type d'antennes intelligentes :	37
3.4.2.1.	Systèmes d'antennes à faisceaux commutés SBA :	38
3.4.2.2.	Antennes adaptatives :	38
3.4.3.	Algorithmes adaptatifs :	39
3.4.4.	Antennes MIMO beamforming :	40
3.4.4.1.	Concept de base :	40
	a) La détermination du vecteur de pondération à la réception :	43
	b) Détermination du vecteur de pondération à l'émission :	44

c) Analyse de la capacité d'annulation d'interférences :	45
d) SINR de sortie :	45
3.4.4.3 Antennes MIMO basé sur la méthode des moindres carrés :	46
Conclusion :	48

Chapitre 4 : Résultat de la simulation

Introduction :	50
4.2 Etude de la technique FBMC/OQAM :	50
4.2.1 Description détaillé de la modulation FBMC/OQAM :	50
4.2.2 Les paramètres de la simulation :	51
4.2.3 Les résultats :	52
4.2.3.1 Variation de l'ordre de filtre prototype :	52
4.2.3.2 Variation de NFFT :	53
4.2.3.3 Variation de l'intervalle de garde :	54
4.3 Simulation du MIMO beamforming :	55
4.3.1 Paramètres du système :	56
4.3.2 Les resultats:	56
a) Influences du nombre de trajets sur le SNR :	56
b) Influence du nombre d'antennes sur le SNR :	57
c) L'influence du nombre de trajets sur les performances du système :	58
d) L'influence du nombre d'antennes sur les performances du système :	59
4.4 Association entre FBMC et MIMO beamforming :	60
4.4.1 Système MIMO-FBMC	61
4.4.2 Les paramètres de simulation :	62
a) L'influence de l'ordre du filtre prototype sur les performances du système :	62
c) L'influence de l'intervalle de garde sur les performances du système :	64

d) L'influence du nombre de trajets sur les performances du système :.....	65
e) L'influence du nombre d'antennes sur les performances du système :.....	66
4.5 Comparaison entre la méthode LMS et MAX SNR :.....	67
Conclusion :	69
Conclusion générale.....	70
Bibliographie.....	71

Liste des figures

Figure 1.1 : L'architecture de la 5G	5
Figure 1.2 : Centralisation du plan de contrôle dans un réseau défini par un logiciel (software defined network).....	6
Figure 1.3 : Illustration d'une architecture réseau CloudRAN	7
Figure 1.4 : MIMO massive.....	9
Figure 1.5 : Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD	10
Figure 1.6 : Illustration de multiplexage power Domain NOMA.....	12
Figure 2.1 : Schéma générale du Modulateur/Démodulateur OFDM.....	18
Figure 2.2 : Structure générale de la technique FBMC/OQAM (partie émission /partie réception)	19
Figure 2.3 : Pré-traitement OQAM.....	21
Figure 2.4 : Post-traitement OQAM	22
Figure 2.5 : Banc de filtres à M canaux (a) banc de synthèse SFB,(b) banc d'analyse....	23
Figure 2.6 : Réponse fréquentielle du filtre prototype PHYDYAS.	25
Figure 2.7 : Réponse fréquentielle du filtre prototype PHYDYAS.	25
Figure 2.8 : Schéma bloc d'un banc de filtres de synthèse utilisant la structure polyphasée.....	26
Figure 2.9 : Schéma bloc d'un banc de filtres d'analyse utilisant une structure polyphasée.	27
Figure 2.10 : Schéma fonctionnel d'émetteur FBMC /OQAM	28
Figure 2.11 : Schéma fonctionnel du récepteur FBMC / OQAM.....	29
Figure 2.12 : Comparaison en fréquence de l'OFDM et FBMC	31
Figure 3.1 : Principe de la technique MIMO.	35
Figure 3.2 : Architecture d'un système de codage spatio-temporel.....	35

Figure 3.3 : Principe de la Multiplexage Spatial.....	36
Figure 3.4 : Structure d'un système à faisceaux commuté.....	38
Figure 3.5 : Différence entre un système à commutation de faisceaux et un système adaptative.....	39
Figure 3.6 : Configuration du canal MIMO beamforming à bande étroite.....	41
Figure 4.1: Emetteur FBMC.....	51
Figure 4.2 : Récepteur FBMC.....	51
Figure 4.3: Comparaison de BER pour différent valeurs de K (FBMC).....	52
Figure 4.4: Les performances de la technique FBMC en fonction de nfft.....	53
Figure 4.5: Influence de l'intervalle de garde.....	54
Figure 4.6 : Le système MIMO beamforming.....	55
Figure 4.7 : SINR pour différents canaux retardés d'un système MIMO 8*8.....	57
Figure 4.8 : L'influence du nombre d'antennes sur le SINR.....	58
Figure 4.9 : Influence du nombre de trajets sur les performances du système.....	59
Figure 4.10 : l'influence du nombre d'antennes sur les performances du système.....	60
Figure 4.11 : Association entre FBMC et MIMO.....	61
Figure 4.12 : L'influence de l'ordre du filtre prototype sur les performances du système.....	63
Figure 4.13 : L'influence du nombre de sous porteuse sur les performances du système.....	64
Figure 4.14 : L'influence de l'intervalle de garde sur les performances du système.....	65
Figure 4.15 : L'influence du nombre de trajets sur les performances du système.....	66
Figure 4.16 : L'influence du nombre d'antennes sur les performances du système.....	67
Figure 4.17 : Comparaison entre la méthode LMS et MAX SNR.....	68

Liste des Tableaux

Tableau 1.1: Comparaisons entre les performances de 4G et de la 5G 13

Liste des acronymes

1G	: 1ère Génération.
2G	: 2ème Génération.
3G	: 3ème Génération.
4G	: 4ème Génération.
5G	: 5ème Génération.
3GPP	: 3rd Generation Partnership Project.
AFB	: Analysis Filter Bank.
APSK	: Amplitude of modulation by phase shift.
AWGN	: Additive White Gaussian Noise.
BER	: Bit Error Rate.
BPSK	: Binary Phase Shift Keying.
BS	: Base Station.
CDMA	: Code Division Multiple Access.
CMA	: Constant Modulus Algorithm
CP	: Cyclic Prefix.
CSI	: Channel State Information.
CST	: Codage Spatio-temporel.
CSTB	: Codage Spatio-temporel par blocs.
CSTT	: Codage Spatio-temporel en treillis.
DL	: Down Link.
DMI	: Inversion directe de la matrice de convergence
FBMC	: Filter Bank based Multi Carrier.

FDD	: Frequency division duplex.
FFT	: Fast Fourier Transform.
GFDM	: Generalized Frequency Division Multiplexing.
ICI	: Inter-Carrier-Interference.
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform.
IG	: Intervalle de Garde.
IP	: Internet Protocol.
ISI	: Inter-Symbol Interference.
KPI	: Key Performance Indicator
LMS	: Algorithme des moindres carrées
LTE	: Long Term Evolution
MAC	: Media Access Control.
MC	: Multi carrier.
MIMO	: Multiple-Input Multiple-Output.
NFV	: Network Functions Virtualization
NOMA	: Non Orthogonal Multiple Access.
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OQAM	: Offset Quadrature Amplitude Modulation.
P/S	: Parallel to serial
PAM	: Pulse Amplitude Modulation.
PHYDYAS	: PHYSical layer for DYnamic spectrum AccesSand cognitive radio.
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying

RLS	: Recursive Least Squares algorithme
S/P	: Serial to Parallel.
SBA	: Switched Beam Systems
SCMA	: Sparse Code Multiple Access.
SDN	: Software Defined Networking.
SFB	: Synthesis Filter Bank.
SINR	: Signal to Interference plus Noise Ratio.
SISO	: Single-Input-single-output.
SNR	: Signal-to-Noise Ratio.
TDD	: Time Division Duplex.
UFMC	: Universal Filtered Multi Carrier.
UP	: Up Link.

Introduction générale

Les technologies de l'information sont devenues une partie intégrante de notre société, Ceci dans le but de la demande de transmission à débit de plus en plus élevés, s'accroît d'avantage avec l'essor de nouveaux services dans les réseaux de communication sans fils.

Des anciens systèmes mobiles font généralement référence à un changement de nature du système, de vitesse, de technologie, de fréquence, de capacité de donnée, de latence,.. etc. Le réseau de communication mobile de première génération (1G) était analogique et utilisé uniquement pour les appels vocaux. La deuxième génération (2G) est une technologie numérique et prend en charge la messagerie texte. La technologie mobile de troisième génération (3G) a fourni un taux de transmission de données plus élevé, une capacité accrue et un support multimédia. La quatrième génération (4G) intègre la 3G avec Internet fixe pour soutenir Internet mobile sans fil qui est une évolution vers la technologie mobile et surmonter les limitations de 3G. Cela augmente également la bande passante et réduit le coût des ressources. Nous assistons actuellement au début d'une révolution intelligente sans précédent sous l'impulsion de la dernière-née des technologies numériques et mobiles évolués : la 5G qui regroupe plusieurs techniques parmi eux la technique FBMC et le MIMO beamforming qui est une technique de formation de faisceaux pour des systèmes Multi-antennes (MIMO) qui permet l'exploitation de la diversité spatiale, constitue en effet une composante fondamentale des systèmes 4G actuels et son importance va croître avec la 5G.

Notre travail trouve ses applications au niveau de la couche physique. L'objectif visé par ce travail est de contribuer à des algorithmes de localisation et des techniques pour l'amélioration de performances et l'optimisation de la conservation de l'énergie dans le réseau afin de pouvoir répondre aux enjeux du 5G.

La structure de notre mémoire est la suivante :

Dans le premier chapitre nous allons définir comment le monde est arrivé à la 5G ensuite nous allons décrire une présentation complète sur l'architecture de la 5G et pour finir nous comparons entre la 4^{ème} génération et la 5^{ème} génération.

Dans le 2^{ème} chapitre nous allons faire une étude de différentes variantes de la modulation FBMC, nous allons considérer des systèmes FBMC fonctionnant avec la

modulation OQAM (Offset Quadrature Amplitude Modulation), également dénommée OFDM/OQAM. La modulation FBMC/OQAM réalise une mise en forme du signal modulé par l'utilisation d'un filtre dit prototype et sous sa forme conventionnelle ne nécessite pas l'utilisation d'un CP.

Ensuite, dans le troisième chapitre, nous allons parler des antennes multiples à l'émetteur et au récepteur appelé multi-input et multi-output (MIMO) qui peuvent fournir une augmentation du débit dans les systèmes de communication. Nous présenterons les différentes techniques MIMO et leurs capacités, ainsi les différentes techniques de codages spatio-temporels, multiplexage spatial et les MIMO Beamforming.

Le dernier chapitre est divisé en trois parties. La première partie traite la simulation du système OQAM-FBMC et aussi présente l'influence de l'ordre du filtre prototype et le nombre de sous porteuses sur les performances du système. Dans la deuxième partie on s'intéresse sur les antennes MIMO Beamforming basée sur la méthode à maximisation du rapport signal sur bruit plus interférences SINR proposé pour un nombre différent d'antennes à l'émission et à la réception. Dans la dernière partie on montre l'intérêt du nombre d'antennes sur la technologie MIMO Beamforming associé à la modulation multi porteuses OQAM-FBMC.

Chapitre 1

Réseaux de la 5ème génération

Introduction :

La 5G est la cinquième génération. Elle possède de nombreuses fonctionnalités suffisamment avancées afin de permettre de résoudre un bon nombre de problèmes de notre vie moderne. Notamment ceux rencontrés avec l'utilisation des technologies actuelles, la première génération (1G ces téléphones étaient analogiques et ont été les premiers téléphones mobiles ou cellulaires à être utilisés, ils offrent de très faibles niveaux d'efficacité et de sécurité), et la deuxième génération (2G elles reposaient sur la technologie numérique et offraient une bien meilleure efficacité à être utilisées ainsi qu'une meilleure sécurité et de nouvelles fonctionnalités telles que les messages texte et les communications à bas débit « 1G et 2G ce sont les technologies de téléphonie mobile, donnant finalement l'accès à la téléphonie mobile à tout le monde ». Pareillement, la troisième (3G le but de cette technologie était de fournir des données à haute vitesse, la technologie originale a été améliorée pour permettre des données allant jusqu'à 14 Mbps et plus.), et la quatrième génération (4G il s'agit d'une technologie entièrement IP capable de fournir des débits de données allant jusqu'à 1 Gbps.) alors « 3G et 4G offrent la technologie de haut débit mobile. »

Pour nous, la 5G ne s'intéresse plus uniquement au monde des opérateurs de téléphonie mobile et des communications grand public, mais qui ouvre de nouvelles perspectives et permet la cohabitation d'applications et usages extrêmement diversifiés, unifiés au sein d'une même technologie, et aussi faciliter une société entièrement connectée, c'est facilité pour que le monde ait un accès illimité aux informations et aux discussions virtuelles partout et tout le temps pour tout le monde.

Ce n'est pas seulement pour le haut débit et la téléphonie mobile, c'est aussi pour la connectivité de toutes sortes d'application.

Et ce n'est pas seulement la connectivité des gens, mais aussi une connexion pour tous les appareils et une connectivité disponible partout et tout le temps.

L'idée qui commence à se forger derrière la notion de 5G est que celle-ci ne correspondrait pas à une simple augmentation des débits, comme cela a été le cas pour les précédentes générations.

La 5G vise des secteurs très variés, qui n'auraient pas nécessairement d'autre élément commun que cette technologie, mais qui sont des piliers importants d'une société : l'énergie, la santé, les médias, l'industrie ou le transport.

1.2 Objectif de la 5G :

La 5G est l'Internet du futur. Cette technologie comprendra un réseau d'accès radio et un cœur de réseau convergent combinant accès fixe et accès mobile. Il s'agit notamment d'augmenter les débits et la capacité des réseaux, mais aussi de préparer l'évènement de « l'internet des objets ». Parmi les principaux objectifs :

- De plus gros forfaits data : le volume de données devra être 1000 fois plus élevé
- Moins d'antennes : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.
- Les meilleurs débits (1 Gb par seconde)
- Un temps de « latence » plus court donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Plus de batterie, moins de consommation.

1.3. Architecture de la 5G :

L'architecture 5G est principalement composée de trois couches horizontales, à savoir « l'activation de service innovante », « la plate-forme d'activation » et « la radio hyper-connectée », que nous décrivons dans cette section en détail.

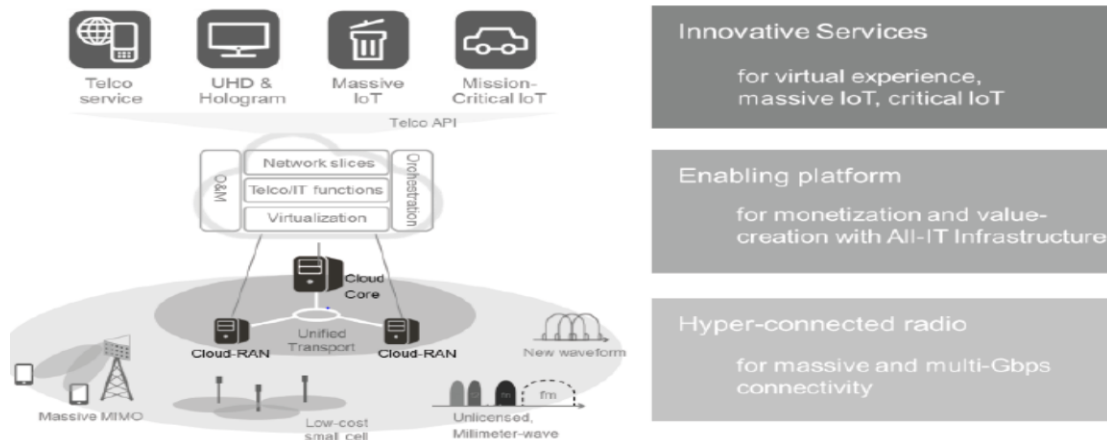


Figure 1.1 : L'architecture de la 5G.

1.3.1 Le service innovant :

Est la couche supérieure qui inclut des services 5G innovants. Basé sur des capacités d'infrastructure 5G différenciées, les services 5G seront en mesure d'offrir une expérience utilisateur hautement fiable et immersive. En particulier, le streaming vidéo en ultra-haute définition finira par devenir des services dominants offrant des expériences utilisateur virtuelles telles que le streaming vidéo multi-view et même les hologrammes. De plus, la bande passante suffisante et la grande fiabilité offerte par la 5G faciliteront l'émergence de services de contrôle de robots à distance et de services d'Internet des objets (IoT) essentiels à la mission.

1.3.2 La plate-forme de validation : (Architecture réseau)

Est la couche intermédiaire qui crée des valeurs significatives et centrées sur le service pour prendre en charge la couche supérieure de « service innovant » en transformant correctement les éléments mécaniques et disjointes.

Réseaux sous-jacents à une infrastructure orientée services. Il utilise deux activateurs clés pour effectuer cette tâche. **L'un** est la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et le réseau SDN (Software Defined Networking), qui virtualisent l'infrastructure et les

services pour offrir toujours plus de souplesse, d'intelligence et d'ouverture, sont l'avenir des télécommunications.

- Le SDN a pour objectif de dissocier la partie contrôle d'un réseau de sa partie opérationnelle, ces deux parties étant traditionnellement liées et distribuées (dernière figée) dans le réseau. Le contrôle du réseau, autrefois dévolu à des composants matériels spécialisés et non évolutif, est centralisé sous forme de logiciel sur des serveurs plus puissants et affranchis (en théorie) des spécifications des équipementiers. Cela permet de déploiement de services à forte valeur ajoutée (équilibrage de charge, routage intelligent, configuration dynamique ...) dans des environnements hétérogènes.[1]

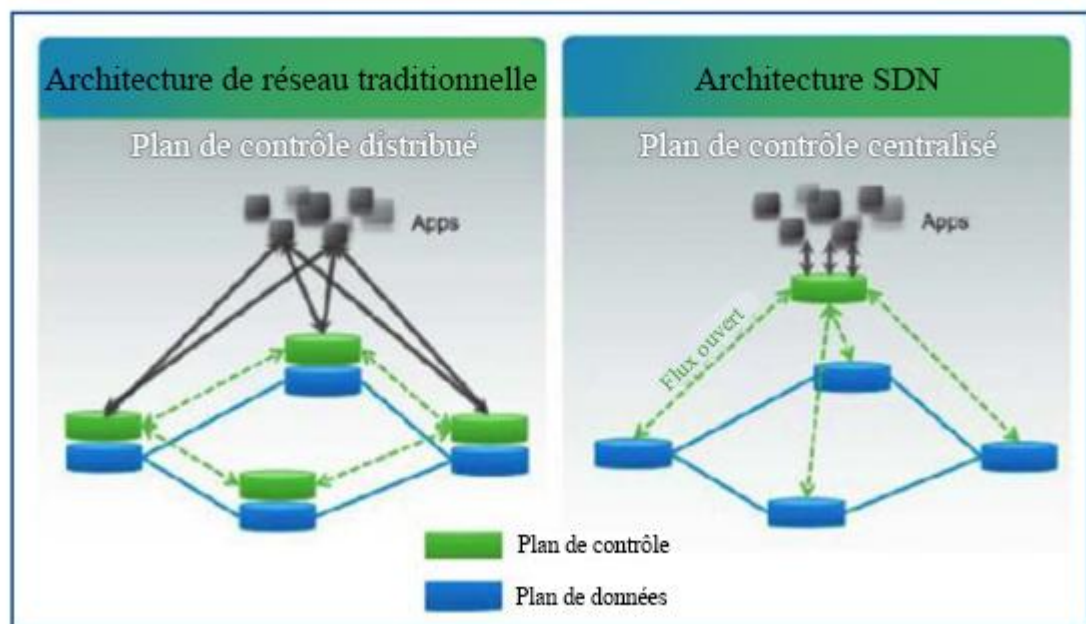


Figure 1.2 : Centralisation du plan de contrôle dans un réseau défini par un logiciel (software defined network)

- Le **NFV**, complémentaire du **SDN**, a pour l'objectif de virtualisation, c'est-à-dire remplacer par du logiciel sur un serveur, le but est d'accélérer les déploiements et permettre des évolutions rapides.[1]

- On a aussi une autre architecture réseau très différente de ce qui se fait actuellement c'est CloudRAN connue sous le nom de centralized-RAN c'est une évolution du SDN. Les unités de traitement du signal des stations de base, actuellement placées au niveau de la station elle-même, sont déportées dans le Cloud et centralisées, elles communiquent avec les têtes de réseau, situées au plus proche de l'antenne, via un réseau fibre optique. Cette centralisation permet une vision d'ensemble de toutes les stations déployées et de coordonner le traitement de signal et la gestion des interférences entre cellules et terminaux.[1]

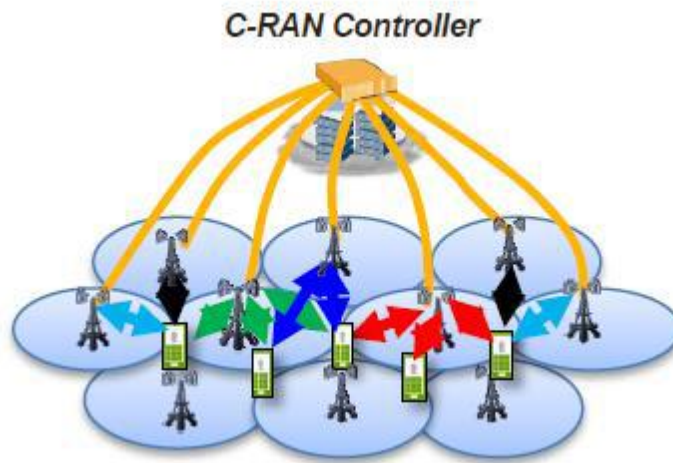


Figure 1.3 : Illustration d'une architecture réseau CloudRAN.

L'autre est un ensemble bien défini d'interfaces de programmation d'application (API), qui offre la possibilité d'automatiser le réseau en interne pour un réseau automatisé.

1.3.3 La radio Hyper-Connecté :

Est la couche inférieure qui peut fournir une quantité massive de données à la couche "Enabling Platform" d'une manière très efficace et transparente. En raison de l'énorme quantité de données de transmission et des exigences de latence strictes, cette couche inclura non seulement les technologies de réseau radio existantes (à la fois telles quelles et évoluées), mais aussi de nouvelles technologies de réseau radio. Il est nécessaire de développer une gamme de technologies capables d'améliorer le fractionnement des

cellules, l'efficacité spectrale, la bande passante de la fréquence du canal et l'efficacité du fonctionnement du réseau.

- ❖ Il y a Plusieurs technologie, parfois concurrent, sont en cours d'étude par les organismes de recherche. Ceux-ci inclus :

1.3.3.1. Bandes millimétriques :

Il s'agit tout simplement des fréquences supérieures à 6Ghz qui n'ont encore jamais pris pour déploiement des réseaux mobiles pour des raisons de maturité technologique et de qualité de propagation. Pour répondre à l'incessante augmentation des débits et des volumes de données échangés, elle pourraient offrir de telles réserves de spectre et leurs utilisation impose le développement de toutes les technologies nécessaires, miniaturisés bas cout et avec une consommation énergétique compatible avec des terminaux portable (amplificateur ,codeur ,traitement de signal, antenne...) en particulier[1], la communication par onde millimétrique est susceptible d'être utilisée pour une couverture extérieure pour des réseaux denses telle que la portée allant jusqu'à 200 à 300 mètre, Chaque cellule aura une couverture réduite, ce qui nécessitera la mise en place de techniques de beamforming(MIMO).

1.3.3.2. MIMO massive :

Cette technologie se caractérise par l'utilisation d'un nombre élevé de micro antennes « intelligentes » sur un seul équipement (de 8 à 128 actuellement, mais le nombre augmentera avec l'utilisation de fréquences à 6Ghz). L'attrait l'utilisation du massive MIMO est double[1] :

- Permet d'augmenter les débits grâce au multiplexage spatio-temporel.
- Permet de focaliser l'énergie sur un terminal pour améliorer son bilan de liaison.

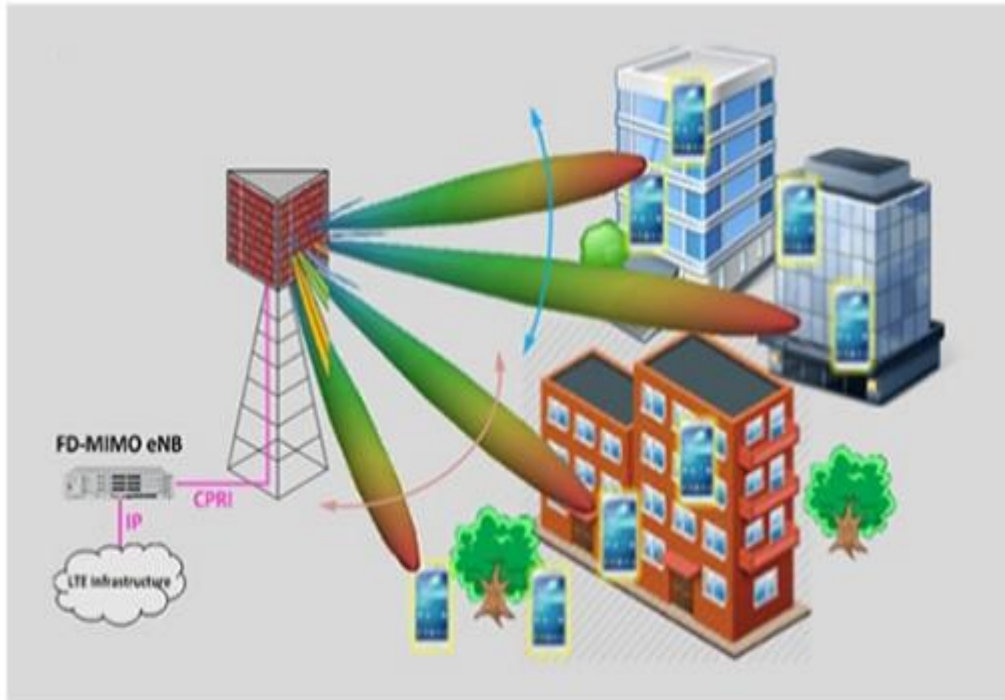


Figure 1.4 : MIMO massive.

1.3.3.3. Méthodes duplex :

Pour les communications mobiles, il est important de pouvoir communiquer simultanément ou virtuellement dans les deux sens.

- Dans les systèmes de téléphonie mobile précédents, cela a été accompli en utilisant des systèmes FDD (parfois appelée semi-duplex, nécessite l'utilisation de deux canaux, un pour la liaison montante (UP) et l'autre pour la liaison descendante (DL), ce système nécessite la largeur de bande complète du canal dans deux zones du spectre. Les caractéristiques de propagation entre les bandes d'émission et de réception seront également légèrement dans des instants différents. L'utilisation des filtres devient de plus en plus difficile et complexe si plusieurs bandes sont utilisées car ils sont nécessaires pour augmenter la taille, le poids, et le coût. Ceci introduit une perte supplémentaire. Et des systèmes TDD (alloue des canaux temporels en fonctions de transmission et de réception dans laquelle la liaison montante (UP) et la liaison descendante (DL) sont reporte sur

même canal avec même fréquence. Les canaux sont relativement courts et ce fait la transmission dans les deux directions est pratiquement instantané.

- Le concept de développé le full duplex 5Gest de pouvoir émettre et recevoir simultanément l'information, sur les mêmes fréquences, au même moment et au même endroit. Ce duplex intégral 5G offre plusieurs avantages :
 - Efficacité du spectre.
 - Caractéristique d'évanouissement.
 - Filtrage.
 - Nouvelles solution de relais.
 - Coordination améliorée des interférences.

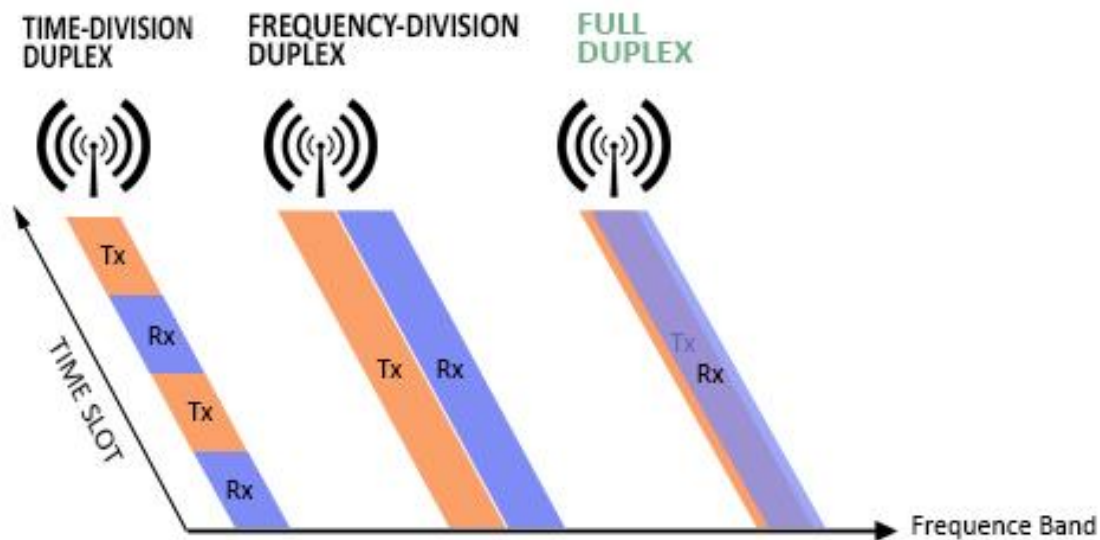


Figure 1.5: Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD.

❖ Future physiques :

La nouvelle couche physique MAC présente des possibilités intéressantes dans certain nombre de domaines.

a) Formes d'onde :

Bien que l'**OFDM** nécessite l'utilisation d'un préfixe cyclique mais il a eu un grand succès et présente encore de nombreux avantages. Maintenant que la 5G est étudiée, il y a une excellente opportunité de considérer les formes d'onde optimales qui seront utilisées jusqu'à au moins 2040.

Quelques formes d'ondes 5G à l'étude :

- **FBMC** : son principe de base est de diviser le spectre de fréquence en plusieurs sous-porteuses qui sont très étroites et les filtrer individuellement, il est capable de fournir un très haut niveau d'efficacité spectrale.
- **UFMC** : Il diffère de FBMC, au lieu de filtrer chaque sous-porteuse individuellement, UFMC divise le signal en un certain nombre de sous-bandes qu'il filtrera. Ensuite, on peut l'utiliser pour améliorer la protection contre les interférences entre symboles.
- **GFDM** : Est une technique de transmission multi-porteuse flexible qui présente de nombreuses similitudes avec OFDM. La principale différence est que les porteurs ne sont pas orthogonaux entre eux. GFDM fournit un meilleur contrôle des émissions hors bande et réduit le rapport puissance/puissance moyenne.

b) Schémas d'accès multiple :

- **Multiplexage NOMA** : LTE utilise un multiplexage dit orthogonal, chaque terminal utilise, de manière unique, une partie des fréquences à un instant donné. Pour améliorer l'efficacité spectrale de la 5G par rapport à la 4G des méthodes de multiplexage non orthogonale, c'est-à-dire que plusieurs utilisateurs peuvent recourir aux mêmes fréquences au même moment, sont envisagées. La discrimination entre plusieurs utilisateurs peut se faire en attribuant des codes différents à chaque utilisateur (SCMA, CDMA). [1]

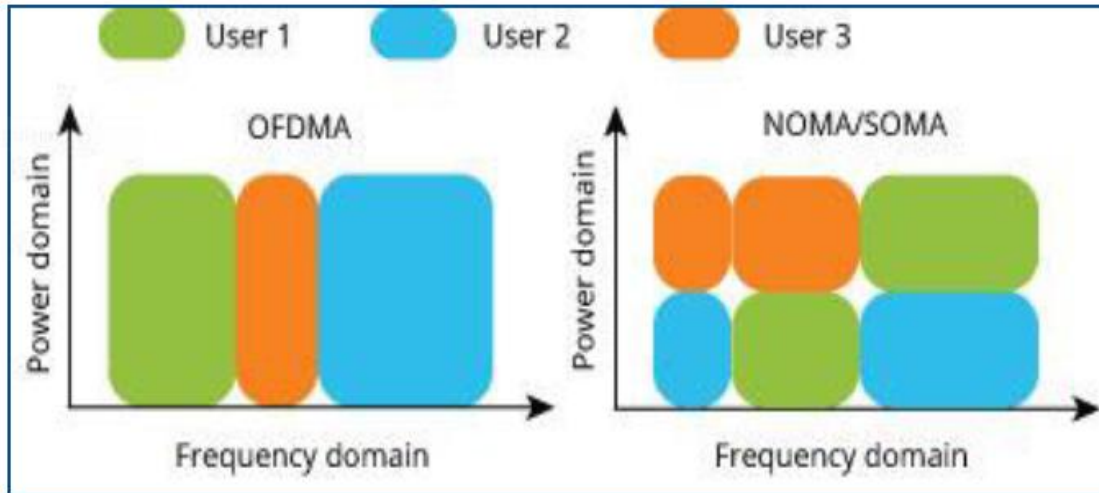


Figure 1.6 : Illustration de multiplexage power Domain NOMA

c) Type de modulations :

La 4G utilise la modulation d'amplitude en quadrature (QAM). Cette modulation peut atteindre **QAM-64**, c'est-à-dire qu'à chaque instant, 6 bits d'information sont transmis. Grâce à amélioration du bilan de liaison de la 5G, via des technologies antennaires ou de traitement de signal, la modulation atteindra à l'ordre **QAM-256** (8 bits d'information), ces modulations offrent une excellente efficacité spectrale et ont permis de réaliser des débits de données très élevés.

d) Réseaux denses :

La réduction de la taille des cellules permet une utilisation beaucoup plus efficace du spectre disponible. Des techniques permettant de garantir que les petites cellules du macro-réseau sont déployées en tant que femtocells qui peuvent fonctionner de manière satisfaisante.

1.4 Caractéristiques et la comparaison entre 4G et 5G :

L'objectif de la 5G, en tant que successeur de la 4G, sera aussi de pouvoir fournir :

- Un réseau extrêmement fiable, avec des performances plus homogènes, quelle que soit la position de l'utilisateur par rapport à la station de base.
- Une connexion stable même en mobilité (avec des vitesses de l'ordre de 500km/h).
- Une augmentation de l'efficacité énergétique.

Le tableau ci-dessous résume les performances attendues de la 5G et celles qui sont actuellement disponibles avec la 4G :

	4G	5G
1/Débit maximal (Gbit/s)	1	20
2/Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
3/Efficacité spectrale	1x	3x
4/Vitesse (Km/h)	350	500
5/Latence (ms)	10	1
6/Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/ km ²)	10 pui5	10pui6
7/Efficacité énergétique du réseau	1x	100x
8/Débit sur une zone (Mbit/s/m ²)	0.1	10

Tableau 1.1 : Comparaisons entre les performances de 4G et de la 5G.

1.5 Les défis de la 5G :

La 5G ne devrait ainsi pas échapper à la règle, mais poserait de nouveaux défis au domaine des télécommunications

- Moins de temps de latence.
- Une consommation énergétique minimale.
- Une 5G partout, et à plusieurs vitesses adaptées à un monde ultra-connecté.
- Le principal défi pour 5G est le nombre massif de machines connectées et la croissance de 1000x dans le trafic mobile.

1.6 La 5G dans le monde

La course mondiale est déjà lancée entre pays pour être le premier à mettre en place des expérimentations 5G à grande échelle, puis à lancer des services commerciaux, quand bien même ceux-ci seraient basés sur des pré-standards de spécifications techniques. Ainsi plusieurs pays, travaillent et essaient de s'accorder entre eux afin de pousser à l'international les spécifications techniques qui satisferont leurs besoins et rentabiliseront au mieux les investissements consentis, créant par exemple beaucoup d'agitation au sujet des bandes de fréquences les plus adéquates à considérer pour la 5G.

Exemples aux Corée, Japon, Chine, l'Europe et USA :

Japon :

Le Japon veut démontrer son *leadership* sur la 5G en déployant le premier réseau commercial 5G à être conforme aux spécifications techniques internationales pour les jeux olympiques d'été de Tokyo en 2020.

Chine :

Tout comme au Japon, la Chine entend montrer son *leadership* avec des premiers déploiements commerciaux dès 2020. Les premiers tests seront faits avant 2020 dans la bande 3400 - 3600MHz. Les bandes 3300 - 3400 MHz, 4400 - 4500 MHz et 4800 - 4990 MHz sont aussi considérées et à l'étude. Pour de plus hauts débits, les bandes autour de 25 GHz et 40 GHz sont envisagées.

Corée :

La Corée quant à elle envisage un déploiement pré-commercial de la 5G durant les jeux olympiques d'hiver de P'yöngch'ang 2018. Plusieurs expérimentations sont en cours de préparation pour des démonstrations grandeur nature dans plusieurs villes coréennes dont P'yöngch'ang et Seoul. Les trois opérateurs mobiles nationaux espèrent des fréquences dans la bande 26,5 - 29,5 GHz.

L'Europe :

La Commission européenne donne à tous les pays de l'Union un certain nombre d'objectifs chiffrés et ambitieux. Ainsi, un objectif phare pour la 5G serait d'avoir en 2020 au moins une grande ville dans chaque pays d'Europe équipée de cette dernière

génération mobile, avec une couverture, à l'horizon 2025, de tous les centres urbains, les autoroutes et les voies ferrées à grande vitesse. Il s'agit là de répondre aux annonces de la Corée du Sud et du Japon qui promettent de faire une démonstration à grande échelle de la 5G respectivement aux JO d'hiver en 2018 à P'yŏngch'ang et d'été en 2020 à Tokyo

Etats-Unis d'Amérique :

La 5G est considérée comme étant une opportunité sans précédent pour la croissance économique avec de gros impacts sur l'éducation, l'emploi, les transports, etc.... Ces futurs réseaux nécessitent, selon la FCC (*Federal Communications Commission*), l'agence de régulation américaine) de se pencher sur les 3 éléments suivants : le spectre, l'infrastructure et le réseau de raccordement (backhaul).

Conclusion :

5G devrait avoir d'innombrables cas d'utilisation, dont beaucoup ne sont pas imaginés aujourd'hui. Il est en effet positionné pour répondre aux demandes et aux contextes d'affaires de 2020 et au-delà. Il est nécessaire de fournir, un débit beaucoup plus élevé, une latence beaucoup plus faible, une fiabilité ultra-élevée, une densité de connectivité beaucoup plus élevée et une plage de mobilité plus élevée. Cela permettrait de fournir beaucoup plus de services que la voix et les données.

Les exigences 5G couvrent les considérations de bout en bout, y compris les exigences relatives aux utilisateurs, aux systèmes, aux services améliorés, à la gestion et à l'exploitation, aux dispositifs et aux modèles commerciaux. Il est particulièrement important de maintenir les améliorations dans les domaines suivants : Capacité de réseau, Une expérience client cohérente, La flexibilité, Efficacité, des services Innovants.

Chapitre 2

Le système OQAM-FBMC

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons définir une nouvelle technologie de transmission principale pour la prochaine communication sans fil standard 5G qui est FBMC (filtre Bank multi-carrier). Elle est aussi considérée comme une suite ou plutôt une alternative au fameux multiplexage par répartition orthogonale de fréquence (OFDM).

Afin de garantir une communication sans interférence, l'OFDM utilise un préfixe cyclique (CP) et un niveau très élevé des lobes latéraux entraînant une fuite de puissance entre les différentes sous-porteuses. L'OFDM utilise un filtre rectangulaire en forme d'impulsion par contre la FBMC utilise un schéma de modulation différent et un filtre prototype.

En effet, la technique FBMC conserve les avantages de l'OFDM et améliore ses points faibles.

2.2 Le système OFDM :

L'OFDM est une technique de transmission de donnée analogique ainsi qu'une solution efficace pour lutter contre les effets des trajets multiples.

Cette technique divise la bande du système en un grand nombre de porteuse individuelles appelés sous-porteuse, ces dernières sont dites orthogonale car pour une transmission idéale, un symbole transmis sur une sous porteuse peut être démodulé sans interférence de la part des sous porteuse adjacentes.

D'un point de vue implémentation numérique, les systèmes OFDM transmettent les données par blocs : le flux original de donnée 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-porteuse, les systèmes OFDM transmettent les données par bloc en introduisant aux informations utiles de la redondance (appelée intervalle de garde qu'il faut être plus long que le délai maximal du canal multi-trajets), dont la structure cyclique permet, à l'aide de transformées de Fourier, une inversion simple (scalaire) du canal propagation.[2]

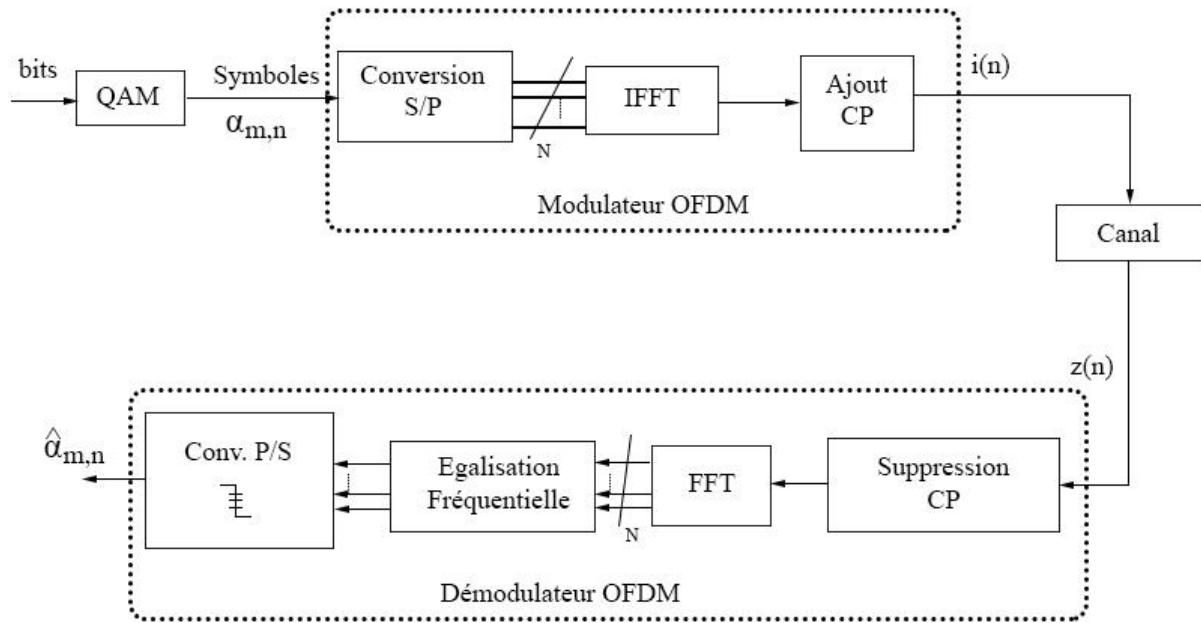


Figure 2.1 : Schéma général du Modulateur/Démodulateur OFDM.

Les symboles de flux de bits qui passent par la modulation QAM sont envoyés par le convertisseur série/ parallèle où les bits modulés seraient disposés d'une manière telle qu'il serait alimenté en entrée du bloc IFFT. Nous obtiendrons à la sortie, des signaux modulés et multiplexés qui sont dans le domaine temporel. Cependant, pour éviter complètement l'ISI et ICI, on ajoute un intervalle de garde entre les symboles OFDM adjacents. La séquence résultante va passer à travers un convertisseur numérique/analogique, qui sera transmis à travers le canal radio mobile. La sortie du canal est obtenue après convolution du signal de sortie avec la réponse impulsionnelle du canal et l'addition du bruit.

Le signal reçu va passer à travers un convertisseur analogique/numérique. Puisque l'ISI existe seulement dans les premiers échantillons de la séquence reçue, ces échantillons sont enlevés avant une démodulation multi-porteuse. La partie des échantillons libre d'ISI est démodulé par inverse OFDM en utilisant l'FFT.

A la sortie, on récupère le flux de données initial après une conversion parallèle série.

2.3 Structure du système FBMC-OQAM :

❖ Principe de FBMC-OQAM :

L'idée principale de la technique FBMC-OQAM est de remplacer la modulation QAM habituelle par la modulation OQAM, pour cela un décalage d'une demi-période symbole $T/2$ est introduit entre la partie réelles et la partie imaginaire d'un symbole QAM donné.

Si la partie imaginaire est retardé de $T/2$ sur une sous -porteuse, c'est la partie réelle qui sera retardée sur la sous-porteuse suivante.[3]

La figure 2.2 présenter la structure generale de système FBMC /OQAM

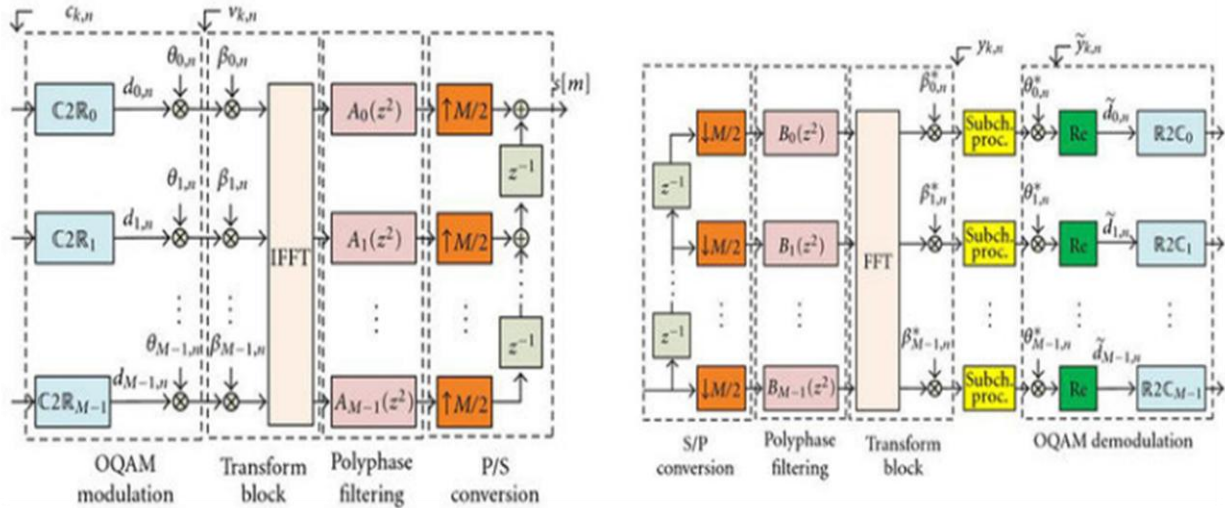


Figure 2.2 : Structure générale de la technique FBMC/OQAM (partie émission /partie réception).

2.3.1 Le bloc pré/post-traitement OQAM :

Dans ce bloc, les symboles OQAM sont transmis plutôt que les symboles QAM. Pour effectuer cette modulation, des blocs de pré / post-traitement sont placés respectivement du côté émetteur / récepteur.

2.3.1.1 Pré-traitement OQAM :

Le schéma du principe de prétraitement OQAM est démontré dans la Figure 2.3 qui se compose de deux opérations :

- **La première opération** est une conversion complexe/ réelle où les parties réelles et imaginaires d'un symbole complexe $C_k[l]$, transmises à un débit $1/T$, sont séparées pour former deux nouveaux symboles.

$$d_k[n] \text{ et } d_k[n + 1]$$

$T=1/\Delta f$ représente la période du signal avec Δf l'espacement entre les sous-porteuses

$$d_k[n] = \begin{cases} \text{Re}(C_k[l]), & k \text{ pair} \\ \text{Im}(C_k[l]), & k \text{ impaire} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$d_k[n + 1] = \begin{cases} \text{Im}(C_k[l]), & k \text{ pair} \\ \text{Re}(C_k[l]), & k \text{ impaire} \end{cases} \quad (2.2)$$

Avec :

L : L'indice d'échantillon à l'entrée du bloc pré-traitement OQAM et la sortie de block post-traitement OQAM.

n : L'indice d'échantillon à la sortie du block pré-traitement OQAM et l'entrée du block post-traitement OQAM.

- **La seconde opération** est la multiplication par $\Theta_k[n]$ afin de maintenir les symboles orthogonaux.

$$\Theta_k[n] = j^{k+n} \quad (2.3)$$

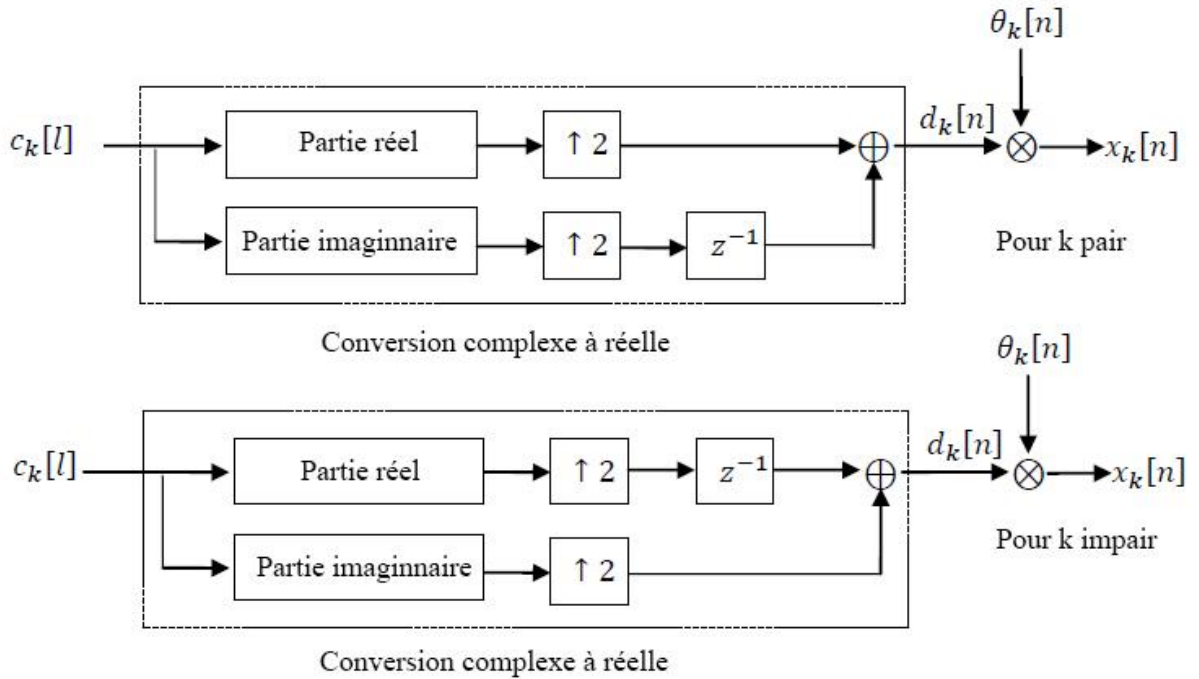


Figure 2.3 : Prétraitement OQAM

Les données à la sortie du block prétraitement OQAM $X_k[n]$ peuvent s'exprimer comme suit :

$$X_k[n] = d_k[n] \Theta_k[n] \quad (2.4)$$

2.3.1.2 Post-traitement OQAM :

Le schéma fonctionnel du post-traitement OQAM est illustré par la figure 2.4. L'OQAM post-traitement se trouve à la partie réception et il est constitué de deux opérations principales.

- **La première opération :** est une multiplication par le complexe conjugué de $\Theta_k[n]$ noté $\Theta_k^*[n]$ suivie de l'opération qui se compose que de la partie réelle.
- **La deuxième opération :** est la conversion réelles/complexe dans laquelle deux symboles réelles successifs forment un symbole de valeur complexe (l'un des symboles est multiplié par j ; la forme complexe noté $\hat{C}_k[l]$ est défini par :

$$\hat{C}_k[l] = \begin{cases} \hat{d}_k[n] + j\hat{d}_k[n+1], & k \text{ pair} \\ \hat{d}_k[n+1] + j\hat{d}_k[n], & k \text{ impair} \end{cases} \quad (2.5)$$

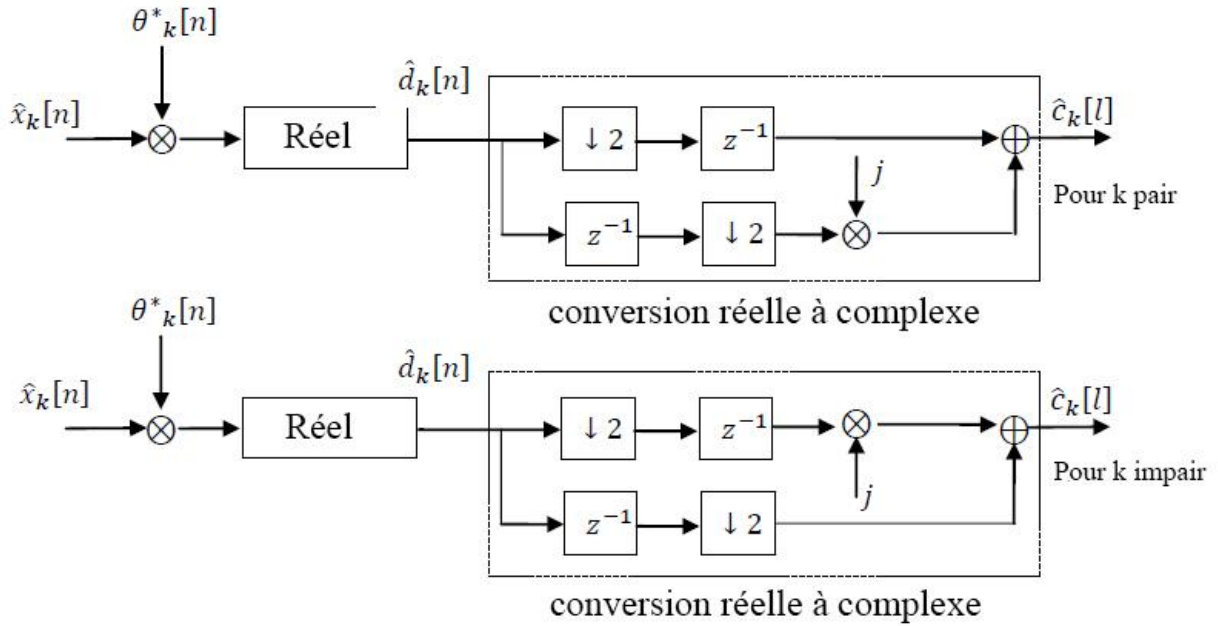


Figure 2.4: Post-traitement OQAM.

2.4 Les bancs de filtre :

Dans le plus grand sens, un banc de filtre est un réseau de M filtres qui traite M signaux d'entrée pour produire M signaux de sorties. On a deux différents types de bancs de filtres : filtres de synthèse et filtres d'analyse qui sont placés respectivement du côté émetteur / récepteur. Ces deux cas sont représentés sur la figure 2.5. Le système de la figure 2.5(a) est appelé banc de filtres synthèse(SFB), le système de la figure 2.5(b) est appelé banc de filtre d'analyse(AFB).

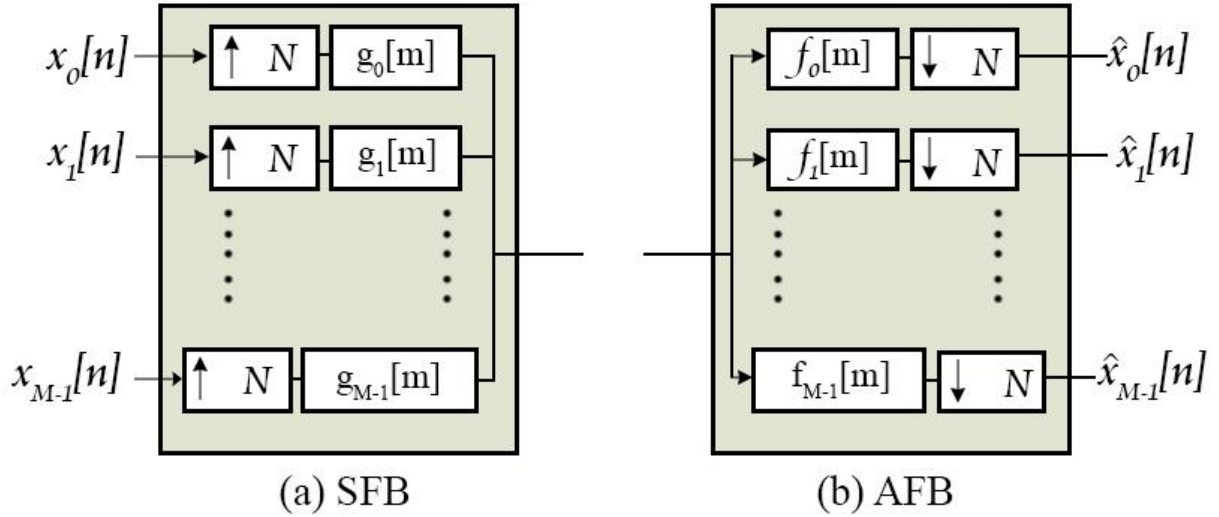


Figure 2.5 : Bancs de filtres à M canaux (a) banc de synthèse SFB, (b) banc d'analyse AFB.

Au niveau de l'émetteur, des M sur-échantillonneurs et M filtres de synthèse formeront un banc de filtres de synthèse. Les données $\bar{X}_k(z)$ ou $K=0,1,\dots,M-1$ sont ensuite sur-échantillonnées par $M/2$ et filtrées avec filtre de synthèse $G_K(z)$, enfin tous les sous-canaux sont additionnés pour former $R_K(z)$.

Au niveau du récepteur, M sous-échantillonneurs et M filtres d'analyse formeront le banc de filtre d'analyse de sorte que le signal $Y_K(z)$ est filtré avec le filtre d'analyse $F_K(z)$, puis sous-échantillonnée par $M/2$ pour former $\bar{X}_k(z)$.

- ❖ Les bancs de filtres d'analyse et de synthèse sont généralement associés : le premier décompose un signal pour appliquer un traitement à chaque signal de sous-bande, et le second recombine les signaux de sous-bandes traités pour construire le signal modifié.
- ❖ Si les signaux $X(n)$ et $\bar{X}(n)$ sont égaux (éventuellement aux erreurs numériques et à un délai près) on dit que le système est à reconstruction parfaite. Cette propriété peut être vérifiée par un couple de bancs de filtres d'analyse/synthèse.[4]

2.4.1 Conception de filtre prototype :

L'étude des filtres prototypes présente un intérêt particulier pour FBMC / OQAM parce qu'il représente un degré important de liberté.

De plus, Les filtres prototypes sont des conceptions de filtres électroniques qui sont utilisés comme modèle pour produire une conception de filtre modifiée pour une application particulière.

Afin d'éviter un problème d'ISI, le canal doit satisfaire au critère de Nyquist lorsqu'il a un cas idéal. Maintenant, si la période de symbole est T_s et que le taux de symbole est $F_s = 1/T_s$, la réponse en fréquence du canal doit être symétrique par rapport à la fréquence. En conséquence, en FBMC, le filtre prototype pour les bancs de filtres de synthèse et d'analyse doit être à demi-Nyquist, ce qui signifie que le carré de sa réponse en fréquence doit satisfaire au critère de Nyquist.

Les filtres doivent fonctionner à de nombreuses fréquences, impédances et largeurs de bande différentes. L'utilité d'un filtre prototype provient de la propriété que tous ces autres filtres peuvent en être dérivés en appliquant un facteur d'échelle aux composants du prototype. La conception du filtre ne doit donc être réalisée qu'une seule fois. Parmi les filtres prototype on a le filtre PHYDYAS.

- **Filtre prototype PHYDYAS :** Ce filtre prototype a été introduit par Bellanger. Le filtre prototype est conçu en utilisant la technique d'échantillonnage de fréquence. L'idée de cette technique est de déterminer la réponse en fréquence $G(f)$ via la formule d'interpolation.

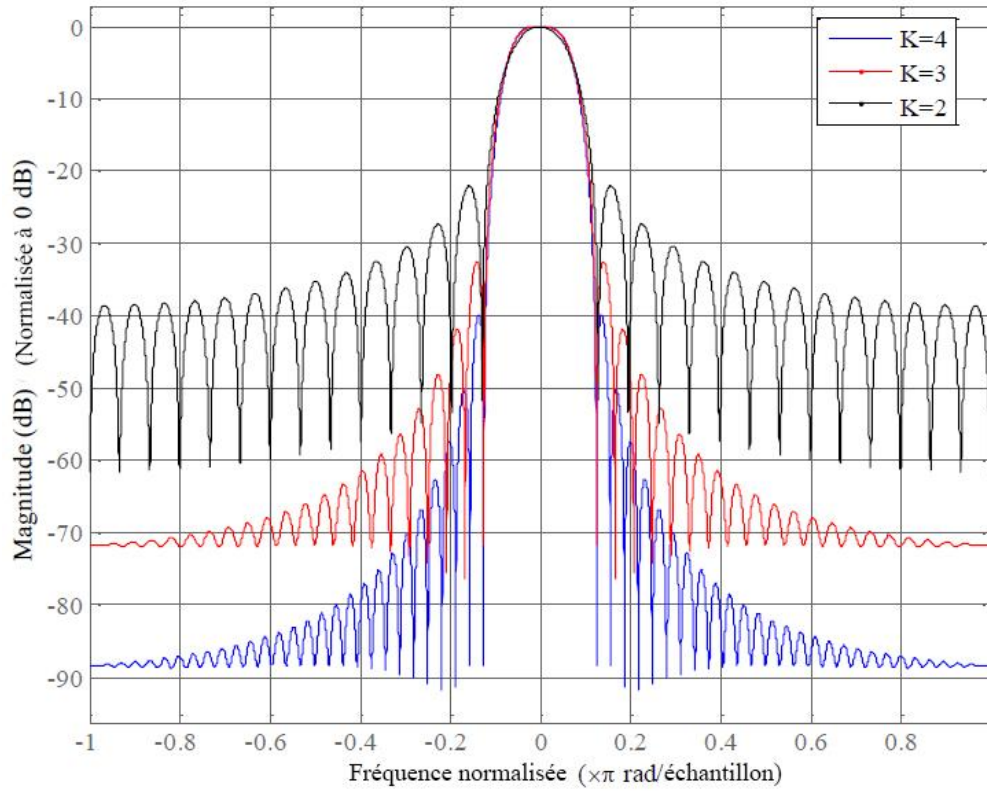


Figure 2.6 : Réponse fréquentielle du filtre prototype PHYDYAS

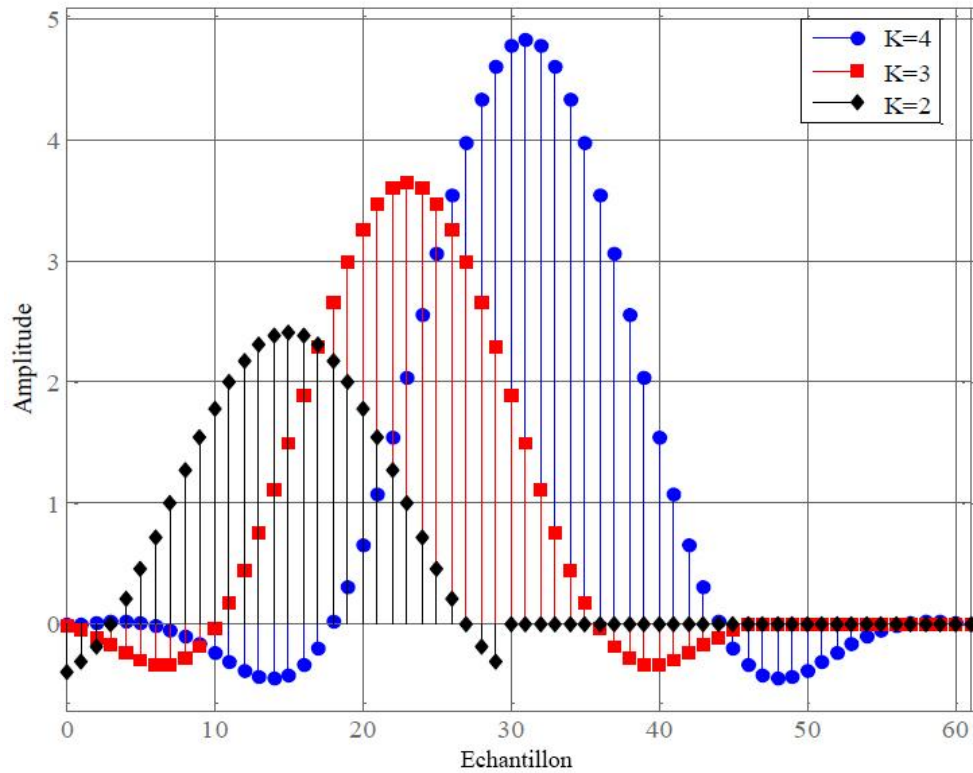


Figure 2.7 : Réponse fréquentielle du filtre prototype PHYDYAS.

Les figures 2.6 et 2.7 donnent respectivement la réponse fréquentielle et la réponse impulsionnelle d'un filtre prototype utilisé dans un système FBMC/OQAM avec différentes valeurs k , on constate que la valeur optimale du facteur de chevauchement en termes de suppression de bande latérale est $K = 4$.

2.4.2 Structure polyphasé :

Les banque de filtres de synthèse (SFB) et les banque de filtres d'analyse (AFB) du système sans fil FBMC / OQAM introduisent une complexité de calcul élevée, car elles sont effectuées à un taux d'échantillonnage élevé entraînant une énorme quantité de calculs inutiles. Néanmoins, la complexité de calcul peut être réduite en exploitant des représentations polyphasées de SFB et AFB avec des opérations IFFT / FFT. La polyphasé peut offrir des simplifications drastiques, car les opérations de filtrage sont effectuées à un taux d'échantillonnage inférieur et évitent des calculs inutiles.

Nous pouvons redessiner le bloc SFB du système sans fil FBMC / OQAM comme l'indique la figure 2.8.

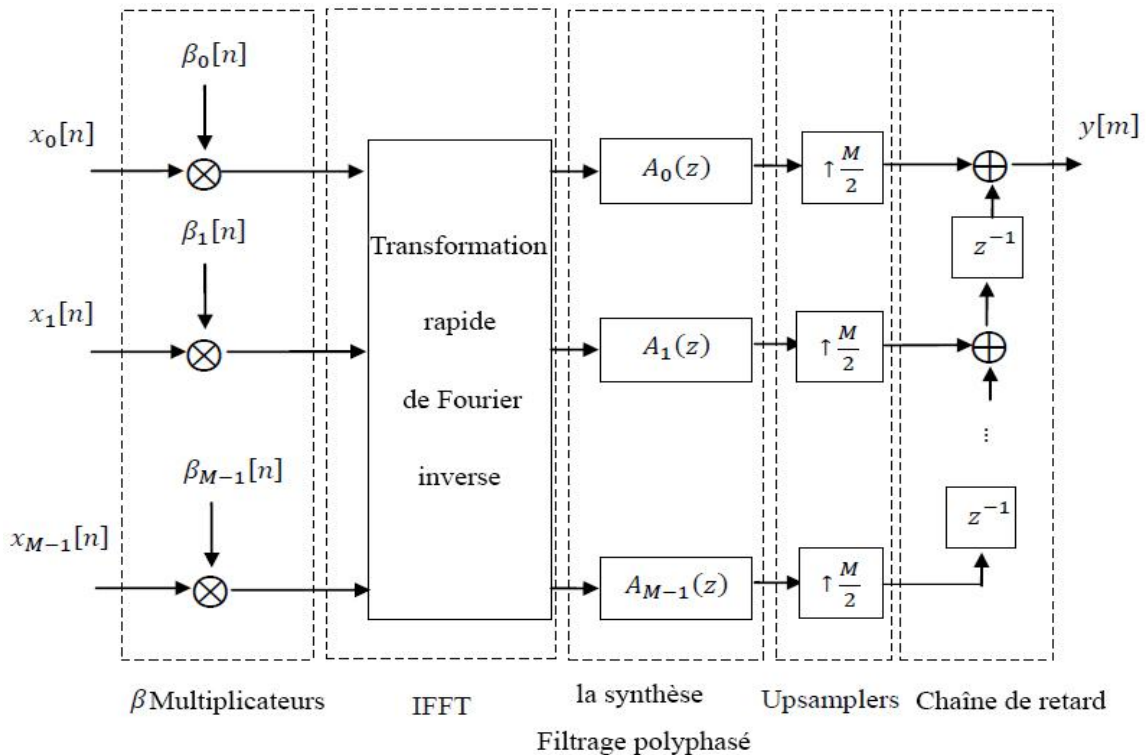


Figure 2.8 : Schéma bloc d'un banc de filtres de synthèse utilisant la structure polyphasée

Ainsi, les bancs de filtres d'analyse sont constitués d'une chaîne de retard, des sous-échantillonneurs par $M/2$, de l'analyse du filtrage polyphasé $B_q(z)$, de la FFT et des B_k^* multiplicateurs.

Voilà, nous pouvons redessiner aussi le système sans fil AFB de FBMC / OQAM dans la figure 2.9.

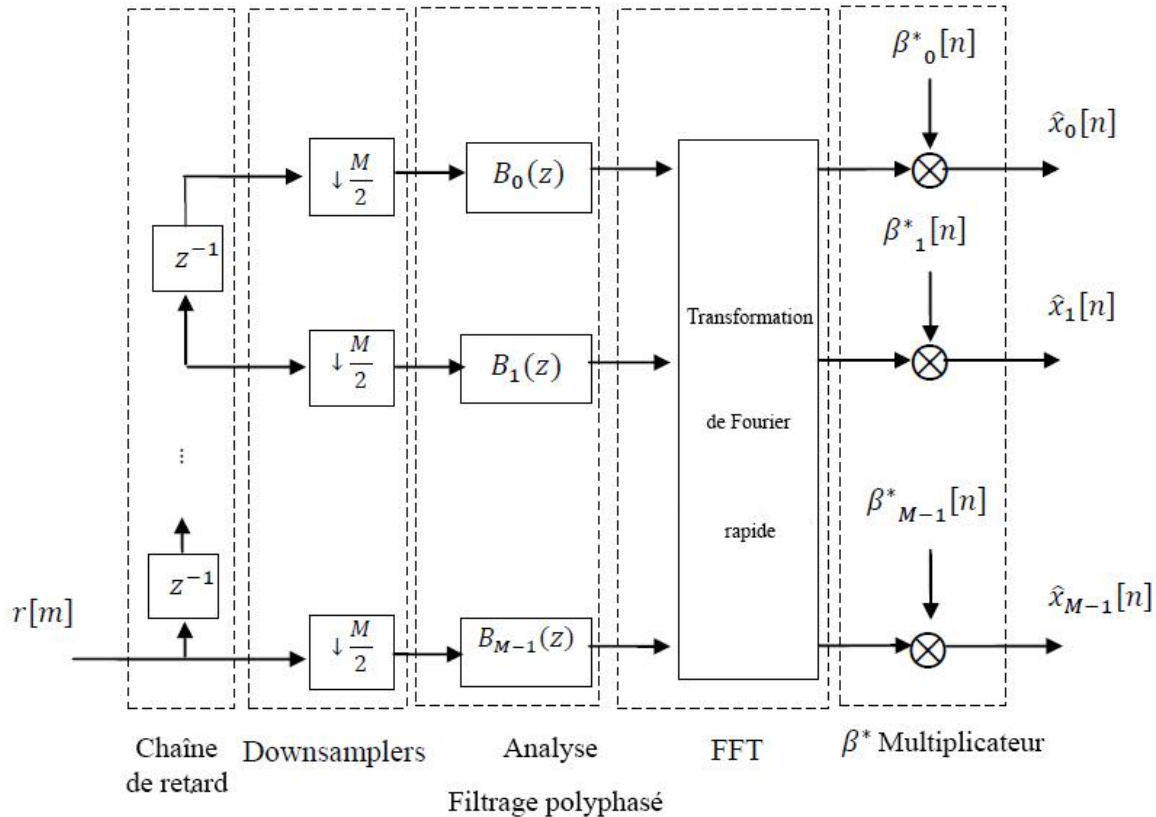


Figure 2.9 : Schéma bloc d'un banc de filtres d'analyse utilisant une structure polyphasée.

2.5 Emetteur OQAM-FBMC :

A l'émission, les symboles de données S_{KN} , $K=0,1,\dots,M-1$, qui passent par la modulation QAM sont envoyés par le bloc de conversion série /parallèle puis passe par la modulation OQAM qui consiste à introduire un décalage temporel d'une demi période $T/2$ entre la partie réelle et la partie imaginaire du symbole QAM transmis sur une sous-porteuse donnée. Ce qui permet d'éliminer les interférences entre symboles.

En outre, le signal résultant passe par le bloc des filtres de synthèse qui contient deux blocs :

Le premier bloc c'est la transformé de Fourier inverse rapide.

Le deuxième bloc c'est le filtre polyphasés $H_n(Z^n)$.

A la sortie du banc de filtres de synthèse en a une conversion parallèle/série et à la fin le signal à la sortie peut être exprimé comme suit :[5]

$$\begin{aligned}
 y[m] &= \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_k[n] \beta_k[n] p \left[m - n \frac{m}{2} \right] e^{j \frac{2\pi}{M} km} \\
 &= \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_k[n] \theta_k[n] \beta_k[n] p \left[m - n \frac{m}{2} \right] e^{j \frac{2\pi}{M} km}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Où \mathbf{m} est l'indice d'échantillon à l'entrée / sortie SFB / AFB, et \mathbf{M} est le nombre de sous-porteuses dans la banque de filtres.

En notation matricielle : $Y(z) = G^T(z).X(z^{M/2})$. (2.7)

Finalement le signal résultant est envoyé à travers un canal de transmission après une conversion parallèle série. La Fig. 2.10 montre le système de transmission.

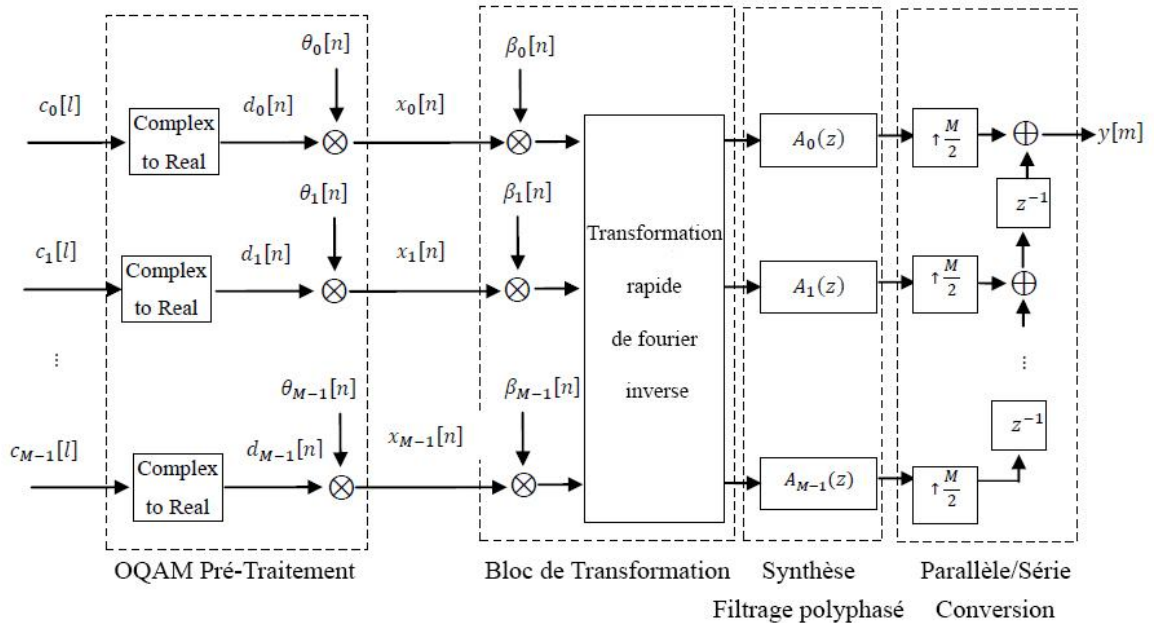


Figure 2.10 : Schéma fonctionnel d'émetteur FBMC /OQAM.

2.6 Le récepteur OQAM-FBMC :

Le schéma fonctionnel du récepteur FBMC / OQAM est illustré dans la Figure 2.10.

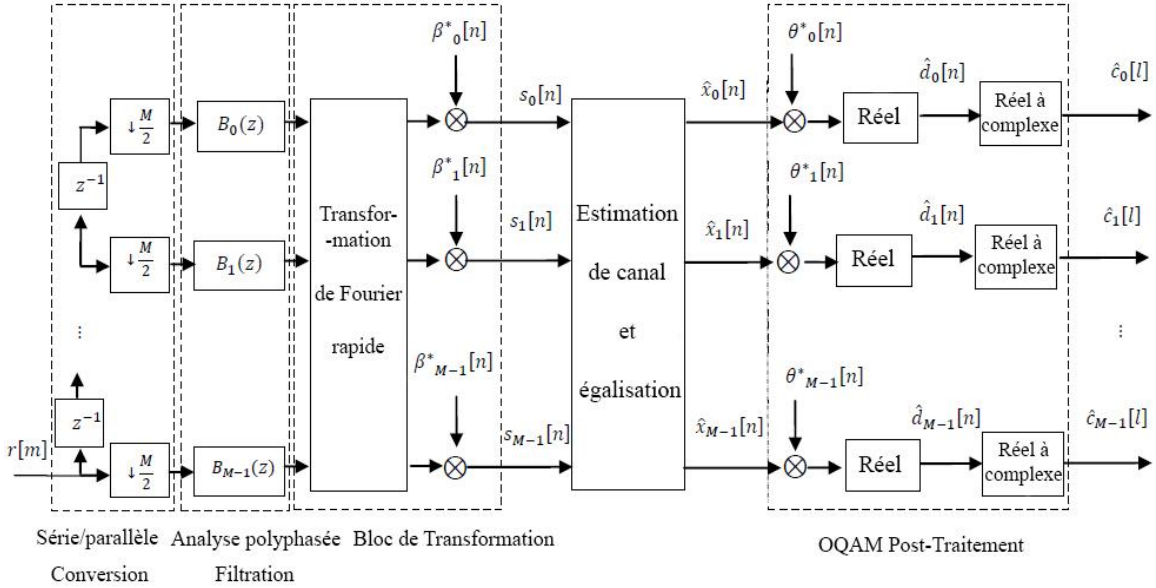


Figure 2.11 : Schéma fonctionnel du récepteur FBMC / OQAM

Après la transmission, le signal traverse le canal sans fil et peut être exprimé comme suit :

$$\mathbf{r}_k[\mathbf{m}] = \mathbf{y}_k[\mathbf{m}]\mathbf{h}_k[\mathbf{m}] + \mathbf{W}_k[\mathbf{m}] \tag{2.8}$$

Où $\mathbf{h}_k[\mathbf{m}]$ est un processus d'évanouissement complexe évalué sur la sous-porteuse pour le Symbole FBMC / OQAM, $\mathbf{W}_k[\mathbf{m}]$ est un processus de bruit gaussien blanc additif (AWGN). Les processus de $\{\mathbf{W}_k[\mathbf{m}]\} k = 0, 1, \dots, m - 1$ sont supposés être mutuellement indépendants et processus gaussiens complexes à moyenne nulle, à distribution identique, avec des variances égales.

Après le traitement du signal reçu $r_k[m]$ avec le bloc de la banque de filtres d'analyse, le résultat du signal à l'entrée de l'estimation du canal est donnée par:

$$\mathbf{S}_k[n] = [r_k[m] * f_k[m]]_{\downarrow \frac{M}{2}} = \mathbf{X}_k[n] \cdot \mathbf{q}_k[n] + \mathbf{\eta}_k[n] \tag{2.9}$$

Où :

$$\mathbf{q}_k[n] = [\mathbf{h}_k[m]\mathbf{g}_k[m] * \mathbf{f}_k[m]]_{\downarrow \frac{M}{2}} \tag{2.10}$$

Avec : * désigne l'opérateur de convolution, et η_k est un processus de bruit gaussien de Variance σ_n^2 . Sous l'hypothèse de reconstruction presque parfaite (NPR) du filtre prototype, la valeur de $\mathbf{g}_k[\mathbf{m}] * \mathbf{f}_k[\mathbf{m}]$ est une contribution de petite valeur, et sera ignoré à partir de maintenant. Sous cette hypothèse,

$$\mathbf{q}_k[\mathbf{n}] = [\mathbf{h}_k[\mathbf{m}] \mathbf{g}_k[\mathbf{m}] * \mathbf{f}_k[\mathbf{m}]] \downarrow_{\frac{M}{2}} \cong [\mathbf{h}_k[\mathbf{n}]] \quad (2.11)$$

Ainsi, l'équation est réduite à :

$$\mathbf{S}_k[\mathbf{n}] = \mathbf{X}_k[\mathbf{n}] \mathbf{h}_k[\mathbf{n}] + \eta_k[\mathbf{n}], \quad k = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (2.12)$$

2.7 Comparaison entre l'OFDM et l'OQAM-FBMC :

Les techniques multi-porteuses OFDM offrent de nombreux avantages :

- ❖ Moyen efficace pour combattre les effets des trajets multiples comme les interférences entre symboles grâce à l'insertion du préfixe cyclique et l'évanouissement sélectif du canal suite à la réduction de la bande des sous-porteuses.
- ❖ Encombrement spectral optimal par rapport aux autres techniques multi-porteuses conventionnelles.
- ❖ Implémentation facile et efficace de la modulation et démodulation grâce aux transformées de Fourier rapide.
- ❖ Robustesse face aux bruits impulsifs.
- ❖ Simplicité de l'égalisation.

Malgré ses nombreux avantages, la technique OFDM peut être limitée par certains inconvénients.

- ❖ L'insertion de l'intervalle de garde entraîne considérablement une perte de l'efficacité spectrale
- ❖ Le spectre du signal possède des lobes latéraux extrêmement élevés engendrant également une perte de l'efficacité spectrale et une fuite de puissance entre les sous porteuses.

Afin d'améliorer l'efficacité spectrale, la technique Multi-porteuses basée sur les bancs de filtre a été proposée.

La différence entre les modulations OFDM et FBMC se trouve dans la propriété des fuites spectrales.

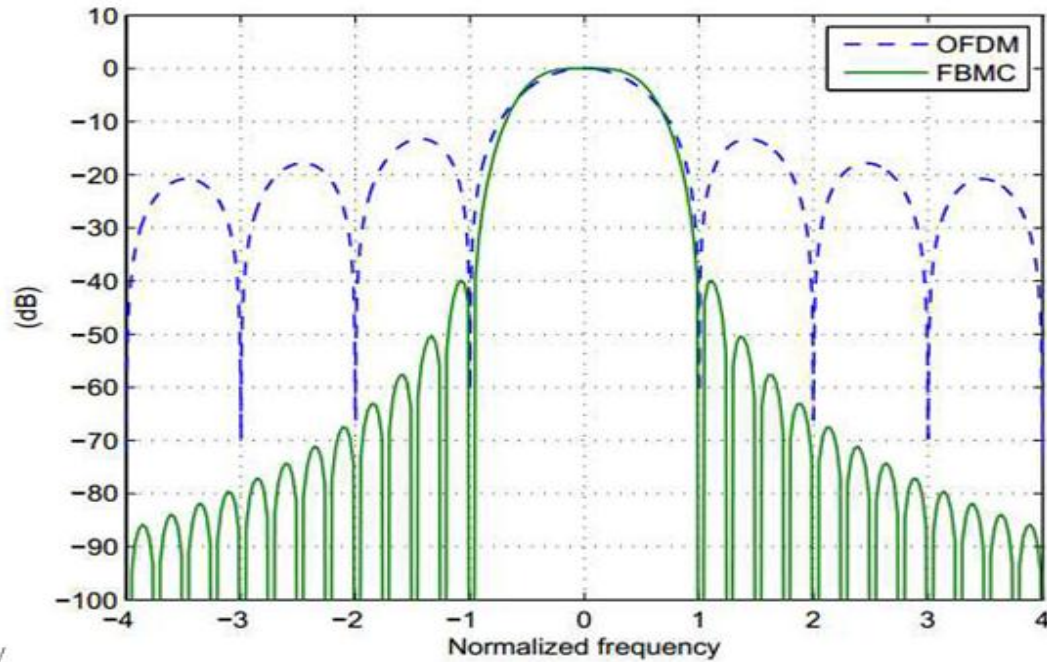


Figure 2.12: Comparaison en fréquence de l'OFDM et FBMC

D'après la figure 2.12, la modulation OFDM présente des lobes latéraux importants tandis que la modulation FBMC présente des lobes latéraux négligeables dans le domaine fréquentiel. La technique FBMC/OQAM a les caractéristiques suivantes :

- Aucun préfixe cyclique n'est nécessaire en raison de ses lobes latéraux faibles, la technique FBMC/OQAM est beaucoup moins sensible aux décalages temporels que la technique OFDM.
- La technique FBMC/OQAM est moins sensible au décalage de fréquence résiduelle et est plus robuste à l'effet Doppler.
- Dans la FBMC, la séparation des signaux se fait par filtrage. Il n'y a pas un tel besoin

- Critique de synchronisation parfaite entre utilisateurs (une sous-porteuse vide proposée comme bande de garde entre deux utilisateurs asynchrones).
- Dans le cas de FBMC, la performance peut être facilement améliorée par l'intégration de certains des mécanismes compatibles de traitement des signaux de soutien comme les schémas de diversité et les schémas de codage.
 - La modulation FBMC, est un meilleur choix pour remplir les trous du spectre.

Conclusion :

En résumé, les modulations FBMC offrent une résolution spectrale plus élevée ainsi qu'une meilleure efficacité et exigent seulement une petite augmentation de la complexité de calcul par rapport à l'OFDM.

Le FBMC conserve non seulement les caractéristiques de l'OFDM comme par exemple un débit élevé, une robustesse aux évanouissements par trajets multiples, une mise en forme spectrale flexible... etc., mais améliore aussi les points faibles de l'OFDM grâce à ses capacités intrinsèques.

On constate aussi que la modulation FBMC / OQAM a les caractéristiques clés qui sont nécessaires pour transmettre les symboles dans un spectre fragmenté ou dans des réseaux où une synchronisation étroite ne peut être atteinte.

Chapitre 3
MIMO beamforming.

Introduction :

Avec des progrès continus de l'utilisation des systèmes de communication sans fil il faut focaliser sur le déploiement de nouvelle technologie permettant de rendre les réseaux de plus en plus performants. Cette technologie appelée MIMO où les réseaux d'antennes sont équipés à la fois d'émetteur et de récepteur, ont été suggéré pour la transmission à haut débit, ainsi l'emploi d'une telle technologie fournit une augmentation considérable des débits et la qualité des liens de transmission. Dans ce chapitre, nous allons présenter les systèmes multi-antennes ensuite différent type d'antennes MIMO et en dernier nous allons se baser sur MIMO beamforming.

3.2. Présentation des systèmes multi-antennes :

Dans un système mono-antenne, l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée est les seules solutions pour augmenter le débit de donnée, avec tous les problèmes de complexité ou d'encombrement que cela entraîne. Partant du point de vue de la théorie de l'information, deux membres des laboratoires de recherche Bell, Telatar [6] et Foschini [7], ont parallèlement et indépendamment montré que la capacité des systèmes multi-antennes augmentait linéairement avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant de manière significative la limite théorique de Shannon [8]. L'aptitude des systèmes multi-antennes à résister aux évanouissements et aux interférences constitue par ailleurs un avantage supplémentaire indéniable. Ces découvertes ont fait des systèmes MIMO.

3.3. Type d'antennes MIMO:

L'idée de base des systèmes MIMO est très simple puisqu'il s'agit d'associer la diversité spatiale à l'émission et la diversité spatiale à la réception, il s'agit en quelque sorte d'une extension des "antennes intelligentes". Utilisé dans les systèmes sans fil traditionnels, c'est-à-dire dans une bande de fréquence donnée, on transmet l'information en utilisant simultanément plusieurs antennes à l'émission et à la réception.

En première approximation, le débit transmis dans cette bande de fréquence se trouve multiplié par le nombre d'antennes émettrices.

La mise en œuvre concrète soulève par contre des problèmes complexes : en effet, tous les signaux transmis se mélangent, et il faut être capable de séparer les éléments du mélange. On doit alors faire appel, du côté du récepteur, à des méthodes sophistiquées de traitement du signal.

L'utilisation de réseaux d'antennes en émission et en réception permet ainsi d'améliorer l'efficacité Spectrale et/ou la fiabilité des transmissions numériques dans un environnement riche en diffuseurs.

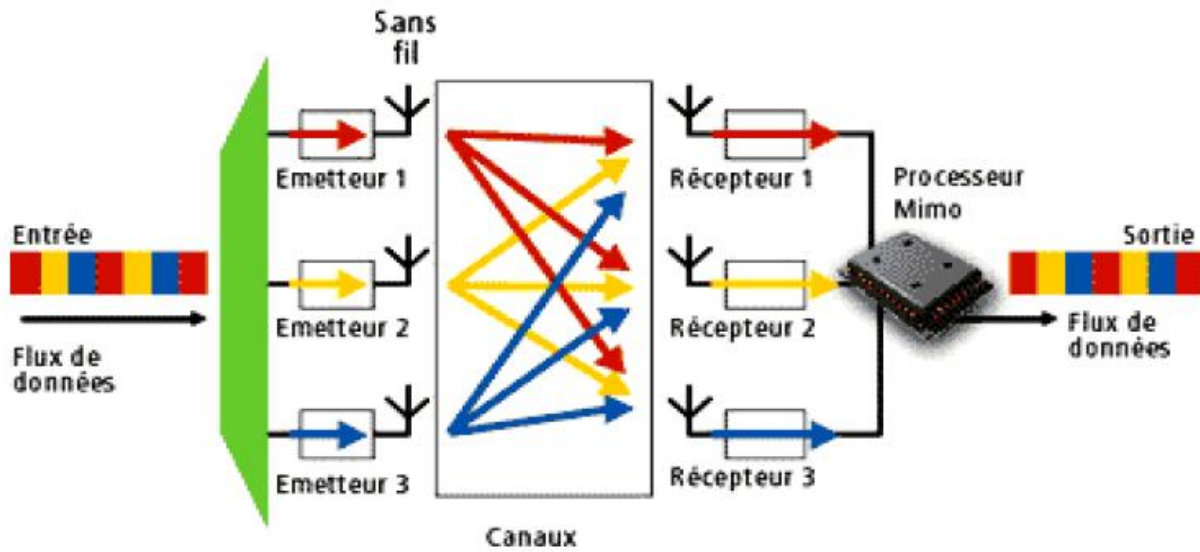


Figure 3.1 : Principe de la technique MIMO

On distingue 3 types antennes MIMO :

3.3.1 MIMO a Codes spatio-temporels :

Certaines études ont vite démontré que les systèmes MIMO permettaient également des communications bien plus sûres grâce à un codage conjoint de toutes les sous-chaînes d'information qui sont transmises aux antennes. Ce codage spatio-temporel (CST) est une méthode pour atteindre la capacité d'un système MIMO qui augmente considérablement lorsqu'on a plusieurs antennes de transmission et de réception.

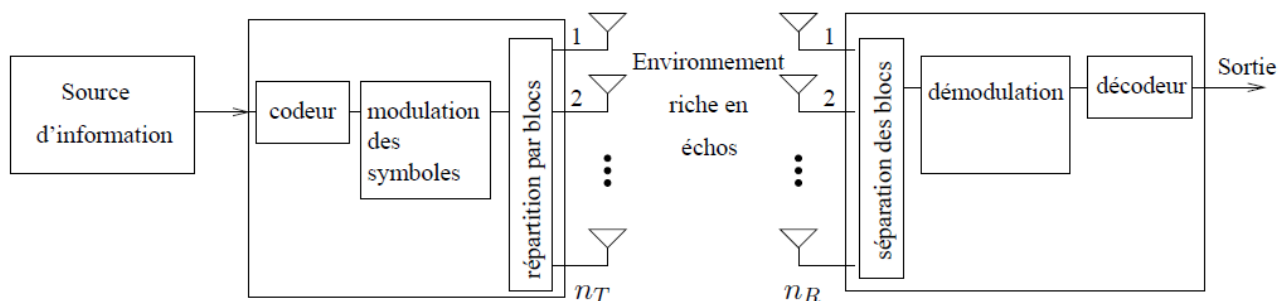


Figure 3.2 : Architecture d'un système de codage spatio-temporel.

Un code spatio-temporel est caractérisé par son rendement, son ordre de diversité et son gain de codage. On peut distinguer deux grandes classes de codage espace-temps permettant l'exploitation de la diversité : le codage en treillis et le codage en blocs.

3.3.2. MIMO à Multiplexage spatial :

Contrairement aux codes spatio-temporels, le multiplexage spatial est une technique utilisée pour maximiser le débit de transmission de données. Il consiste en un schéma de multiplexage des signaux où les flux indépendants de données sont transmis sur des canaux parallèles de chaque élément du réseau d'antenne avec un SNR donné[9]. Il consiste à émettre simultanément N_t symboles de modulation sur N_t antennes d'émission sans codage espace-temps de ces symboles. . Ainsi, le multiplexage spatial améliore la capacité du canal avec le nombre d'antenne en émission et en réception[10].

La figure 3.3 illustre le principe de multiplexage spatial.

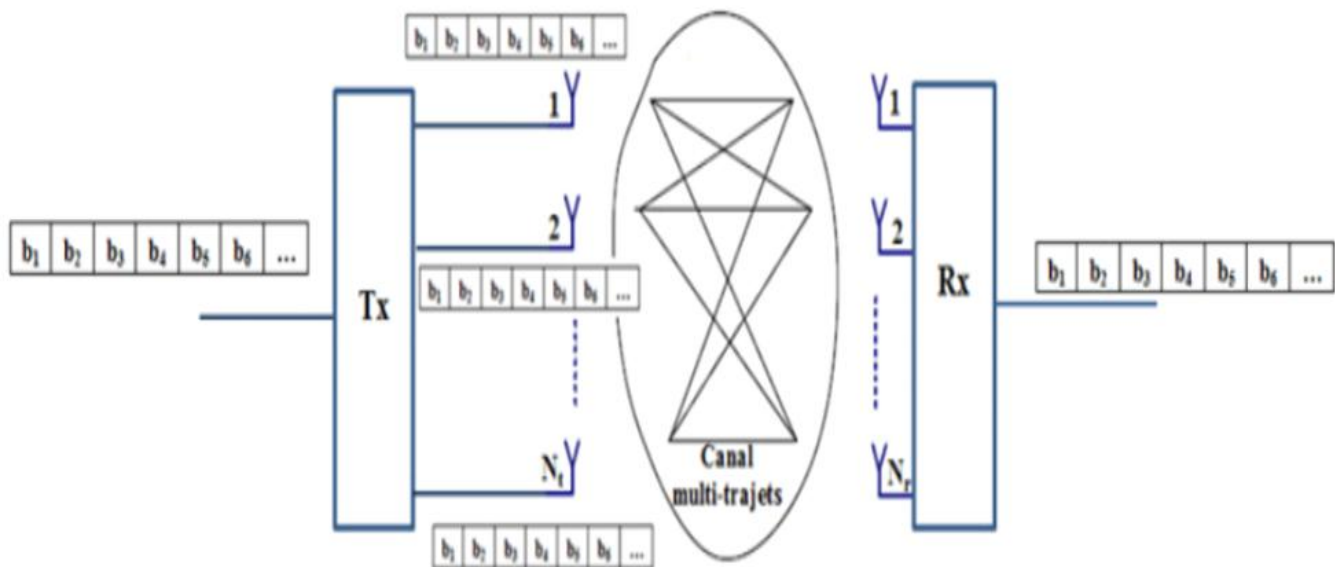


Figure 3.3 : Principe de Multiplexage Spatial

Le multiplexage spatial peut améliorer considérablement l'efficacité spectrale[11],[12] mais le niveau d'erreurs important dû au manque de diversité d'antennes peut diminuer le débit de données à la réception particulièrement lorsque les SNR sont bas. Le multiplexage spatial ne fonctionne pas bien dans un environnement à faible SNR car le récepteur a des difficultés à identifier les signaux non corrélés[13][14].

- La différence avec le multiplexage spatial est que le codage spatio-temporel prend un seul flux de données pour le coder dans le temps et dans l'espace pour produire des flux de symboles pour

chaque antenne d'émission. Le codage spatial est utilisable dans le cas où le canal n'est pas connu à l'émission.

- Le codage spatio-temporel ne permet pas d'augmenter la capacité du canal linéairement avec le nombre d'antennes utilisées. Cependant, il permet de maximiser la portée et la couverture radio en améliorant la qualité de transmission [15]

3.3.3. MIMO beamforming :

L'objectif de ce système est d'augmenter le débit, la qualité et l'ordre de diversité des systèmes de communications. On va détaillée le MIMO Beamforming dans le paragraphe suivant.

3.4. MIMO Beamforming :

3.4.1. Antennes intelligentes :

L'intérêt de ce système est la réaction automatique de leur capacité, en temps réel, a des modification du canal de propagation, ils permettent de réduire les niveaux des lobes secondaires existants dans la direction de l'interférence, tout en maintenant le lobe principale en direction utile habituellement, ces systèmes reposent sur un réseau d'antennes et sur un processeur récepteur adaptative en temps réel qui attribue des pondération aux éléments, afin d'optimiser le signal de sortie selon les algorithme de contrôle prédéfinie.[16]

Un réseau d'antennes adaptatives peut donc être défini comme un réseau capable de modifie son diagramme de rayonnement, sa réponse fréquentielle et d'autre paramètre grâce à une boucle à retour de décision interne pendant le fonctionnement de l'antenne.

- Avantage des antennes intelligentes :

La caractéristique principale des antennes intelligentes est le pouvoir d'éliminer les interférences pour les applications radio-mobil ce qui donne un meilleur rapport signal sur bruit, donc augmentation de la capacité en nombre utilisateurs.

3.4.2. Type d'antennes intelligentes :

Il existe deux types de systèmes des antennes intelligentes, Systèmes d'antennes à faisceaux commutés SBA et les systèmes des antennes réseaux adaptative. Les deux types de systèmes permettent d'augmenter le gain en fonction de la localisation de l'utilisateur. Cependant, seul le système adaptatif permet d'obtenir un gain optimal par identification, suivi et minimisation de l'interférence des signaux.

3.4.2.1. Systèmes d'antennes à faisceaux commutés SBA :

C'est un système qui est formé de multiples faisceaux fixes avec une grande sensibilité dans des directions particulières. Il détecte le signal le plus puissant en plus la commutation d'un faisceau à un autre se fait lorsque le mobile se déplace tout au long du secteur. Cette méthode de faisceau commuté peut être considérée comme une extension du système cellulaire à sectorisation offrant ainsi plus de sélectivité spatiale. [17]

Un système à faisceaux commutés se compose d'un réseau d'antennes lié à un réseau formateur de faisceau, ce dernier est lié à un système de commutation permettant de choisir le faisceau le plus adéquat afin de localiser le signal d'intérêt propre à chaque usager.

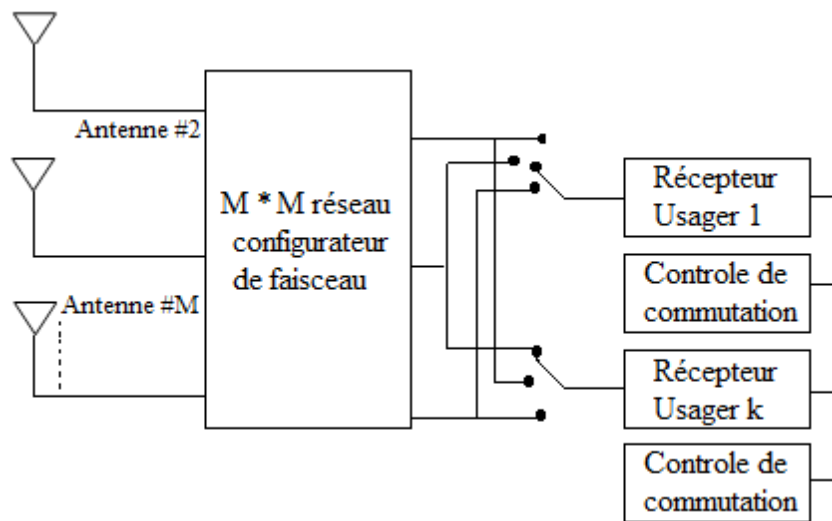


Figure 3.4 : Structure d'un système à faisceaux commuté.

3.4.2.2. Antennes adaptatives :

Les antennes adaptatives peuvent être définies comme des antennes-réseaux avec traitement du signal qui peut modifier leur diagramme de rayonnement de façon dynamique pour s'adapter au bruit, au brouillage et à la propagation par trajets multiples. Elles sont utilisées pour améliorer le rapport signal/bruit+brouillage (SINR) à la réception et peuvent également être considérées comme des antennes à faisceaux modelés pour l'émission.

La technologie des antennes adaptatives constitue la méthode la plus évoluée à ce jour pour améliorer sensiblement l'efficacité spectrale. En utilisant divers algorithmes de traitement du signal, un

système adaptatif identifie et suit tous les signaux et brouilleurs pris en considération afin de minimiser dynamiquement les brouillages et de maximiser la réception des signaux utiles.

- ❖ La différence entre les deux méthodes – antennes adaptatives ou antennes à commutation de faisceaux – est illustrée de façon simplifiée à la Figure 3.5 qui montre comment les algorithmes adaptatifs se comportent par rapport aux signaux brouilleurs et au signal utile.

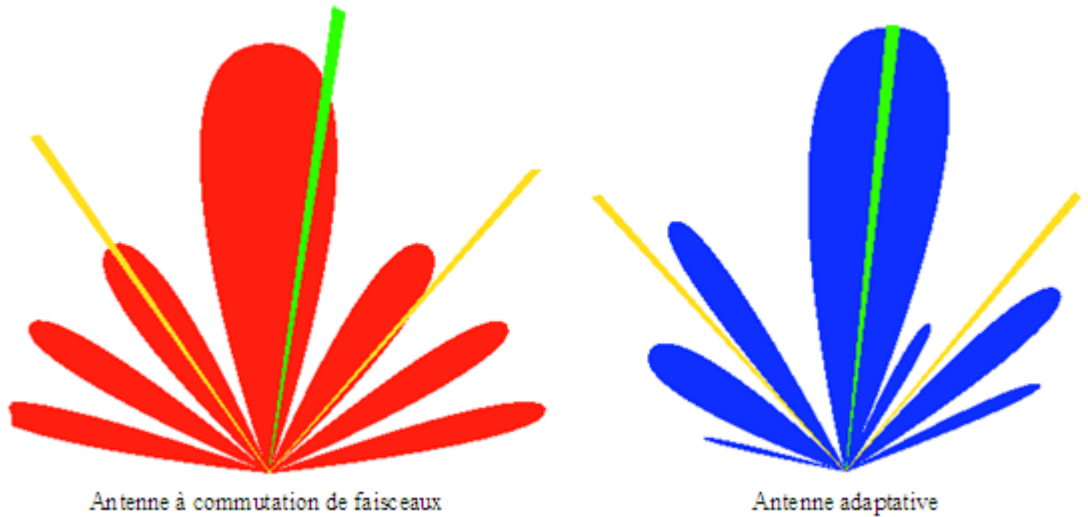


Figure 3.5 : différence entre un système à commutation de faisceaux et un système adaptative.

3.4.3. Algorithmes adaptatifs :

Afin d'obtenir des pondérations optimales, diverses méthodes sont possibles. Le choix de l'algorithme qui permet d'atteindre la solution optimale est une étape cruciale car de lui dépendent la vitesse de convergence et la complexité d'intégration matricielle, les algorithmes utilisés sont :

- **LMS** : Algorithme du gradient stochastique.
- **DMI** : Inversion directe de la matrice de convergence
- **RLS** : Algorithme des moindres carrés récursifs (Recursive least squares algorithm)
- **CMA** : Algorithme à module constant (Constant modulus algorithm) [18]

3.4.4. Antennes MIMO beamforming :

3.4.4.1. Concept de base :

Les systèmes MIMO beamforming consiste à diriger les signaux numériques sur les différentes antennes vers une direction d'intérêt. Ceci peut être réalisé par une pondération de signaux, nous utilisant cette dernière pour des canaux d'évanouissement sélectifs en fréquence.

Il existe de nombreux schémas proposés pour les canaux d'évanouissement sélectifs en fréquence, MIMO avec ou sans connaissance préalable de canal CSI à l'émetteur et / ou au récepteur, ces schémas ne précisent pas encore combien de canaux retardés peuvent être annulés efficacement en utilisant le faisceau adaptatif et le poids du récepteur dans le système MIMO.

Dans ce paragraphe, nous proposons un schéma de détermination de poids pour les canaux d'évanouissement sélectifs en fréquence MIMO avec une connaissance préalable de canal CSI (information sur l'état de canal) à la fois à l'émetteur et au récepteur. Le schéma est ensuite utilisé dans un algorithme de mise à jour itératif de vecteurs de poids d'émission et de réception pour maximiser le SINR. L'annulation de $M + N - 2$ canaux retardés est identifiée par $M \times N$ MIMO beamforming. Nous effectuerons une évaluation pratique de notre formation de faisceau MIMO proposée en utilisant un modèle de propagation conventionnel. Il montre que l'augmentation des éléments d'antenne d'émission et de réception améliore le SINR lorsque le retard des ondes multi-trajets est supérieur à 1 période de symbole.

Nous établissons les conditions nécessaires pour une solution optimale de vecteur de poids et proposons un algorithme de mise à jour itératif de poids pour une réception SINR optimale. La méthode MSN (Maximum Signal-to-Noise) est utilisée comme critère. Où le bruit est un bruit gaussien additif. La figure 3.6 illustre le principe de cette méthode.

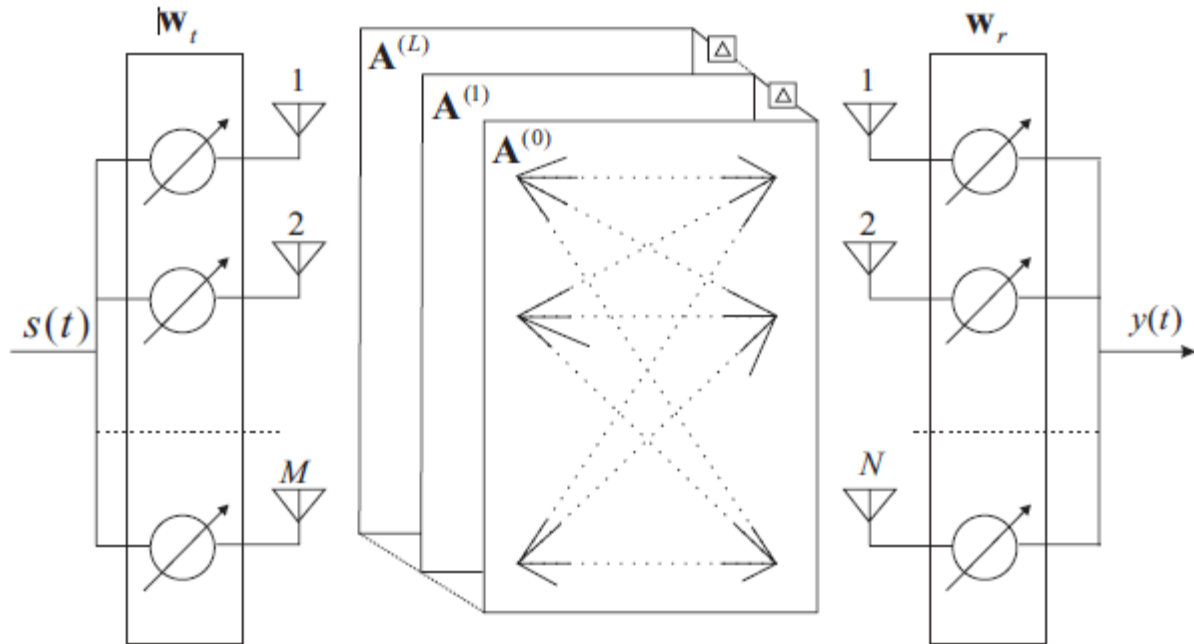


Figure 3.6 : Configuration du canal MIMO beamforming à bande étroite.

$$Y(t) = \sum_{l=0}^L W_r^H A^{(l)} W_t s(t - l\Delta\tau) + W_r^H n(t) \tag{3.1}$$

Où :

$S_0(t)$: le signal émis.

$$w_{t,i} = [w_{t1,i}, w_{t2,i}, \dots, w_{tM,i}]^T$$

$$w_{r,i} = [w_{r1,i}, w_{r2,i}, \dots, w_{rN,i}]^T$$

$W_t W_r$ Sont les Vecteurs de pondération de transmission et de réception.

H : Matrice de canal de dimension $(NR \times NT)$.

$$H_i(\tau) = \sum_{l=0}^{L_i-1} A_i^{(l)} \delta(\tau - l\Delta\tau) \tag{3.2}$$

$$A_i^{(l)} = \begin{pmatrix} a_{11,i}^{(l)} & a_{12,i}^{(l)} & \dots & a_{1M,i}^{(l)} \\ a_{21,i}^{(l)} & a_{22,i}^{(l)} & \dots & a_{2M,i}^{(l)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1,i}^{(l)} & a_{N2,i}^{(l)} & \dots & a_{NM,i}^{(l)} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Avec :

A^0 ($l=0$) est l'information du canal de l'onde précédent que nous considérons comme le canal désiré.
 $A^{(l)}$ ($l=1, \dots, L$) est la $l^{\text{ième}}$ information du canal retardé que nous considérons comme canal d'interférences.

$\mathbf{a}_{nm,i}^{(l)}$: désigne la réponse du gain de $l^{\text{ième}}$ trajet retardé entre la $m^{\text{ième}}$ antenne d'émission et la $n^{\text{ième}}$ antenne de réception.

$\Delta\tau$: le temps de retard unitaire, ce qui correspond à la période de symbole T_s du signal modulé.

$\mathbf{Y}(t)$: signal reçu.

Selon la méthode de beamforming à l'émission et à la réception, le modèle de système de communication peut être décrit par l'équation suivante :

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^Q \sum_{l=0}^{L_j-1} W_{r,i}^H A_j^{(l)} W_{t,j} S_j(t - l\Delta\tau) + W_{r,i}^H n(t) \quad (3.4)$$

$\mathbf{n} = [\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2, \dots, \mathbf{n}_N]^T$ est le vecteur de bruit gaussien blanc additif (AWGN).

Supposons que chaque signal retardé est non corrélé et de moyenne nulle, de ce fait

$$\langle s^*(t - i\Delta\tau) s(t - j\Delta\tau) \rangle = 0 \quad \text{pour } i \neq j \quad (3.5)$$

La puissance du signal reçu est donnée par :

$$\begin{aligned} y^2(t) &= \left| w_r^H A^{(0)} w_t s(t) + \sum_{l=1}^L w_r^H [A^{(l)} w_t s(t - l\Delta\tau)] + w_r^H n(t) \right|^2 \\ &= |w_r^H A^{(0)} w_t s(t)|^2 + \left| \sum_{l=1}^L w_r^H [A^{(l)} w_t s(t - l\Delta\tau)] \right|^2 + |w_r^H n(t)|^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Nous allons définir P_s , P_i , P_N , et le $1/\gamma$ comme étant la puissance de signal, puissance d'interférence, puissance de bruit et le rapport de la puissance du signal sur bruit. La puissance du signal reçu s'écrit par :

$$y^2(t) = |w_r^H A^{(0)} w_t|^2 P_s + \sum_{l=1}^L |w_r^H A^{(l)} w_t|^2 P_l^{(I)} + |w_r^H w_r|^2 P_N \quad (3.7)$$

3.4.4.2. Antennes MIMO à maximisation du rapport signal sur bruit :

Le SINR de sortie au niveau du récepteur est donné par :

$$\Pi(W_T, W_r) = \frac{W_r^H A^{(0)} W_t W_t^H (A^{(0)})^H W_r}{\sum_{l=1}^L W_r^H A^{(l)} W_t W_t^H (A^{(l)})^H W_r + \gamma W_r^H W_r} = \frac{W_r^H R_0 W_r}{W_r^H R_{nr} W_r} \quad (3.8)$$

Où :

$$R_0 = A^{(0)} W_t W_t^H (A^{(0)})^H \quad (3.9)$$

Et :

$$R_{nr} = \sum_{l=1}^L W_r^H A^{(l)} W_t W_t^H (A^{(l)})^H W_r + \gamma W_r^H W_r \quad (3.10)$$

L'équation (3.8) est une équation non linéaire multi variable. Puisque les vecteurs de pondération transmis et reçus sont tous les deux contenus dans le numérateur et dénominateur, il semble difficile de trouver les vecteurs de pondération optimaux à l'émission et à la réception analytiquement. Afin de résoudre ce problème, nous proposons une solution basée sur un algorithme itératif qui permet la mise à jour de pondération complexe, pour maximiser le SINR de sortie sous l'effet des canaux d'évanouissement sélectifs en fréquence comme suit.

a) La détermination du vecteur de pondération à la réception :

Le vecteur de poids de réception optimal peut être normalisé et donné par :

$$W_r^{\text{opt}} = \frac{R_{nr}^{-1} A^{(0)} W_t}{\|R_{nr}^{-1} A^{(0)} W_t\|} \quad (3.10)$$

Par conséquent, le vecteur de pondération optimal à la réception peut être déterminé si le vecteur de pondération à l'émission est donné.

b) Détermination du vecteur de pondération à l'émission :

Le vecteur de poids de transmission optimal peut être donné par :

$$W_t^{(\text{opt})} = \frac{R_{nr}^{-1}(A^{(0)})^H W_r}{\|R_{nr}^{-1}(A^{(0)})^H W_r\|} \quad (3.11)$$

Nous ne concluons que la détermination des vecteurs de pondération à l'émission et à la réception en faisant remarquer que le vecteur de pondération à la réception est estimé par (3.10) sachant que le vecteur de pondération à l'émission est donné. De même pour le vecteur de pondération d'émission, il est estimé par (3.11) sachant que le vecteur de pondération à la réception est donné. Cependant, parce que le système d'équations devient sous forme non linéaires, il semble difficile à résoudre analytiquement. Par conséquent, un algorithme itératif, qui estime les vecteurs de pondérations d'émission et de réception alternativement est un moyen simple pour atteindre la solution optimale.

❖ **Algorithme itératif de mise à jour de vecteur de pondération**

• **Vecteur de pondération à la réception :**

La mise à jour de vecteur de pondération à la réception au temps k est donnée par :

$$\overline{W}_r(k) = R_{nr}^{-1}(k-1)A^{(0)}W_t(k-1) \quad (3.12)$$

Où :

$$R_{nr}(k) \equiv \sum_{i=1}^L A^{(i)}W_t(k)W_t^H(k)(A^{(i)})^H + \gamma I \quad (3.13)$$

Et :

$$w_r(k) = \frac{\overline{W}_r(k)}{\|\overline{W}_r(k)\|} \quad (3.14)$$

$R_{nr}(k-1)$ Est mis à jour sur la base des pondérations transmises précédentes $W_t(k)$ pour trouver les pondérations optimales à la réception $W_r(k)$.

• **Vecteur de pondération à l'émission :**

La mise à jour de vecteur de pondération à l'émission au temps k est donnée par :

$$\bar{W}_t(k) = R_{nt}^{-1}(k)(A^{(0)})^H W_r(k) \quad (3.15)$$

Où :

$$R_{nt}(k) = \sum_{l=1}^L (A^{(l)})^H W_r(k) W_r^H(k) A^{(l)} + \gamma I \quad (3.16)$$

ET :

$$W_t(u) = \frac{\bar{W}_t(u)}{\|\bar{W}_t(u)\|} \quad (3.17)$$

De même, $R_{nt}(k)$ est également mis à jour sur la base de la pondération reçue précédente $W_r(k)$, pour trouver les pondérations optimales d'émission $W_t(u)$.

Dans ce travail, le vecteur de pondération initial à l'émission $W_t(0)$ pour $k=0$ est déterminé à partir d'un système MIMO dans un environnement à d'évanouissement plat comme suit :

$$W_t^{(opt)} \{= W_t(0)\} = e_{t,max}$$

Le vecteur $e_{t,max}$ est le vecteur propre correspondant à la plus grande valeur propre λ_{max} de la matrice de corrélation $(A^{(0)})^H A^{(0)}$

c) Analyse de la capacité d'annulation d'interférences :

Depuis que les vecteurs de pondération à l'émission et à la réception sont alternativement mises à jour selon l'algorithme de pondération itérative étudié, les DOF (degrés de liberté) des deux antennes émettrices et réceptrices sont combinés ensemble pour supprimer les versions retardées du signal précédant. Ainsi, pour un système MIMO avec M et N antennes à l'émission et à la réception, respectivement, le nombre maximum d'annulation des canaux retardés en tenant compte le DOF des deux parties est prévu comme :

$$L = (M-1) + (N-1) = M+N-2 \quad (3.18)$$

d) SINR de sortie :

Sur la base de l'algorithme itératif, les vecteurs de pondération optimaux d'émission et de réception sont utilisés dans l'émetteur et le récepteur respectivement, pour la transmission d'un flux de données unique. Le signal de sortie au niveau du récepteur est donné par :

$$Y(t) = \sum_{l=0}^L (W_r^{opt})^H A^{(l)} (W_t)^{opt} s(t-l\Delta\tau) + (W_r^{opt})^H n(t) \quad (3.19)$$

Le SINR de sortie du système étudié est calculé par le coefficient de corrélation croisé et donné par :

$$\eta = \frac{E[Y(t)S^*(t)]}{E[|Y(t)|^2] E[|S(t)|^2]} \quad (3.20)$$

Le SINR de sortie est finalement calculé par le coefficient de corrélation en tant que :

$$\text{SINR}_{\text{out}} = \frac{|\eta|^2}{1-|\eta|^2} \quad (3.21)$$

3.4.4.3 Antenne MIMO basé sur la méthode des moindres carrés :

L'antenne intelligente est un bon candidat pour augmenter considérablement la capacité du canal. Plusieurs algorithmes adaptatifs ont été proposés pour les applications d'antennes intelligentes [19], [20]. Récemment, le multi-input multi-output (MIMO) apparaît très prometteur pour une utilisation plus efficace du canal. Dans ce paragraphe, nous proposons un nouvel algorithme MIMO c'est LMS.

Le LMS-MIMO est destiné à utiliser l'algorithme LMS conventionnelle pour la résolution de problèmes avec connaissance de l'état du canal d'information ICI (Information sur l'état du canal).

➤ Système MIMO et analyse de canal :

Le nombre d'antennes de l'ensemble émetteur-récepteur est respectivement M et N. Le signal reçu est exprimé comme dans l'équation.

$$\underline{X}(t) = H \cdot \underline{W}_T \cdot Z(t) + \sum_{i=1}^L H_i \cdot \underline{W}_{Ti} \cdot Z_i(t) + \underline{n}(t) \quad (3.22)$$

Le vecteur de signal reçu $\bar{X}(t)$, la matrice de canal (H) et le vecteur de pondération de transmission \bar{W}_T sont définis par la représentation vectorielle comme suit :

$$\underline{X}(t) = [X_1(t), X_2(t), \dots, \dots, \dots, X_N(t)]^T \quad (3.23)$$

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & h_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$\underline{W}_T = [W_{T1}, W_{T2}, \dots, W_{TM}]^T \quad (3.25)$$

Où :

\mathbf{h}_{nm} : est la réponse de canal entre ($m^{\text{ème}}$) antenne d'émetteur et ($n^{\text{ème}}$) antenne de récepteur.

$\mathbf{Z}(t)$: est un signal de données de source.

$\mathbf{n}(t)$: est AWGN (bruit blanc gaussien additif).

\mathbf{I} : est le nombre d'interférences.

\mathbf{H}_i : est la matrice de canal du (i -th) signal d'interférence composé de manière similaire de l'équation (3.24)

$(\underline{\mathbf{w}}_{Ti})$: Est le vecteur de poids d'émetteur de (i -th) interférence composée de la même manière que l'équation (3.25).

- **Algorithme proposé :**

a) Vecteur de poids d'antenne récepteur :

Fondamentalement, l'algorithme proposé est basé sur l'algorithme LMS conventionnel.

Le signal reçu est donné comme suit :

$$\underline{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{H} \underline{\mathbf{W}}_T \mathbf{Z}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (3.26)$$

En appliquant l'algorithme d'adaptation à la réception, le signal de sortie devient :

$$y(t) = \underline{\mathbf{W}}_R^H \mathbf{H} \underline{\mathbf{W}}_T z(t) . \quad (3.27)$$

Ici le composant de bruit est omis pour la simplicité du calcul. Le signal d'erreur du $k^{\text{ème}}$ échantillon est donné par :

$$\varepsilon_k = d_k - y(k) = d_k - \underline{\mathbf{W}}_R^H \mathbf{H} \underline{\mathbf{W}}_T z(t) \quad (3.28)$$

Où :

d_k Est un signal de référence défini en projetant le signal de sortie $y(k)$ sur la constellation de signaux la plus proche, c'est-à-dire $d_k = \text{Pr} [y(k)]$.

Par conséquent, la pondération d'antenne à la réception est donnée par la formule récursive suivante :

$$\underline{\mathbf{W}}_R(k+1) = \underline{\mathbf{W}}_R(k) - 2\mu\varepsilon_k \underline{\mathbf{X}}(k) \quad (3.29)$$

b) Vecteur de poids d'antenne émetteur :

Après les calculs, le vecteur de pondération d'antenne émetteur est défini comme suit :

$$\underline{\mathbf{W}}_T(k+1) = \underline{\mathbf{W}}_T(k) - 2\mu\varepsilon_k y(k) \underline{\mathbf{W}}_T^*(k) \quad (3.30)$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une introduction du concept des antennes intelligentes, définition, avantage et les deux catégories d'antenne (les systèmes à faisceaux commuté **SBA** et les systèmes de réseaux adaptatifs. Nous avons montré que les performances des systèmes adaptatifs sont meilleures que celles des systèmes SBA. Cependant, ces deux systèmes sont peu performants dans un environnement sans visibilité directe. Nous avons ensuite présenté les systèmes MIMO qui s'adaptent mieux à cet environnement et offrent de bonnes performances dans un environnement riche en trajets multiples. Nous avons présenté aussi les différents types d'antennes MIMO et présenté plus en détail les antennes MIMO beamforming basé sur l'algorithme à maximisation du rapport signal sur bruit. Il va considérer comme une forte candidate pour la couche physique de la 5G

Chapitre 4

Résultats et simulations

Introduction :

Après avoir finalisé la partie théorique, nous passons dans ce chapitre à l'implémentation de notre application.

Nous avons utilisé comme outil de programmation le simulateur Matlab c'est un langage technique d'informatique, il peut être utilisé pour le développement de l'algorithme, l'analyse des données, la visualisation et le calcul numérique. Il est un outil pour la manipulation du calcul mathématique. MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs.

Nous débuterons par représenter la modulation FBMC/OQAM et étudier ses performances avec le changement des paramètres (K, IG, IFFT).

Après nous allons simuler le MIMO beamforming et étudiés d'abord l'influence du nombre de trajets et nombre d'antennes sur le SNR, en suite l'influence du nombre de trajets et nombre d'antennes sur les performances du système en modifiant le nombre d'antennes d'émission et de réception, et le nombre de trajets.

Et pour terminer, nous entamons une simulation qui associe le système MIMO beamforming avec la technique FBMC/OQAM en étudiant l'influence des paramètres précédents sur les performances du système MIMO-FBMC. A la fin en fait la comparaisent entre la méthode à maximisation du SNR et la méthode des moindre carrée et les résultats sont présentés comme suit :

4.2 Etude de la technique FBMC/OQAM :

Concernant la partie pratique de la modulation multi porteuses FBMC/OQAM. Nous allons simuler et traiter afin de favoriser les avantages et monter les performances dans la communication sans fil.

4.2.1 Description détaillé de la modulation FBMC/OQAM :

Les résultats de cette simulation prouvent que le FBMC, par opposition à l'OFDM, ne nécessite pas de préfixe cyclique, exploite la totalité de la période de symbole et possède de faibles lobes latéraux, pourrait réaliser une efficacité spectrale plus élevée et offre un avantage attrayant dans la détection de spectre.

Les figures 4.1 et 4.2 représentent les schémas synoptiques de l'émetteur et du récepteur du système FBMC.

• **La partie émission :**

Les symboles de flux de données sont modulés en QAM puis en OQAM. Le signal résultant passe par le bloc des filtres polyphasés $H_n(Zn)$ puis le bloc de la transformé de Fourier rapide inversée IFFT. Finalement le signal résultant est envoyé à travers un canal de transmission après une conversion parallèle série.

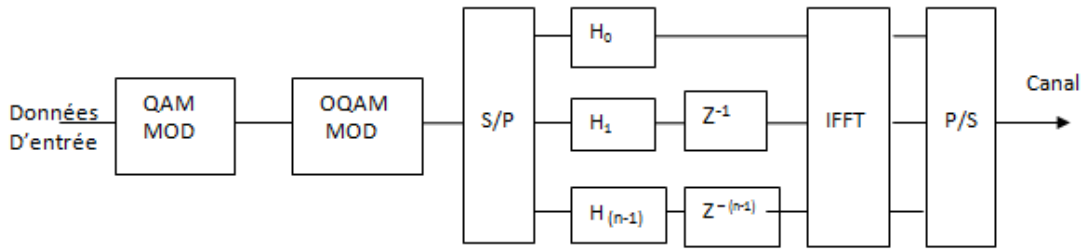


Figure4.1 : Emetteur FBMC

• **La partie réception :**

A la réception, le signal reçu est démodulé en OFDM par l'opération FFT, le signal résultant traverse le bloc des filtres polyphasés $H_n(Zn)$, après une conversion parallèle série le signal sera démodulé en OQAM puis en QAM pour détecter les symboles désirés.

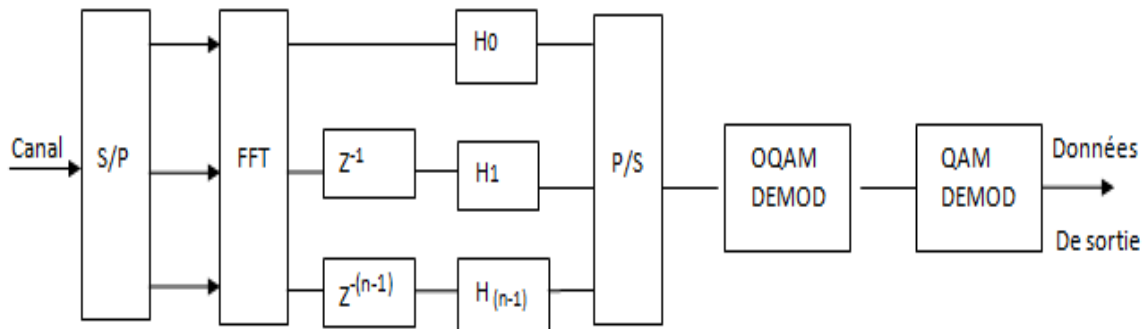


Figure 4.2 : Récepteur FBMC

4.2.2 Les paramètres de la simulation :

Le système FBMC comporte :

- Un signal à 100 symboles OFDM.
- Un nombre de sous porteuse NFFT égal à 1024.

- La modulation QAM.
- L'intervalle de garde est égal à 212.
- L'ordre du filtre prototype qui varie de 2,3 et 4.

4.2.3 Les résultats :

Les résultats de notre simulation sont comme suit :

4.2.3.1 Variation de l'ordre de filtre prototype :

La figure suivante présente les résultats de la simulation montrant les performances de la technique FBMC en variant l'ordre du filtre prototype.

Nous exprimons ces performances en termes de BER en fonction du SNR.

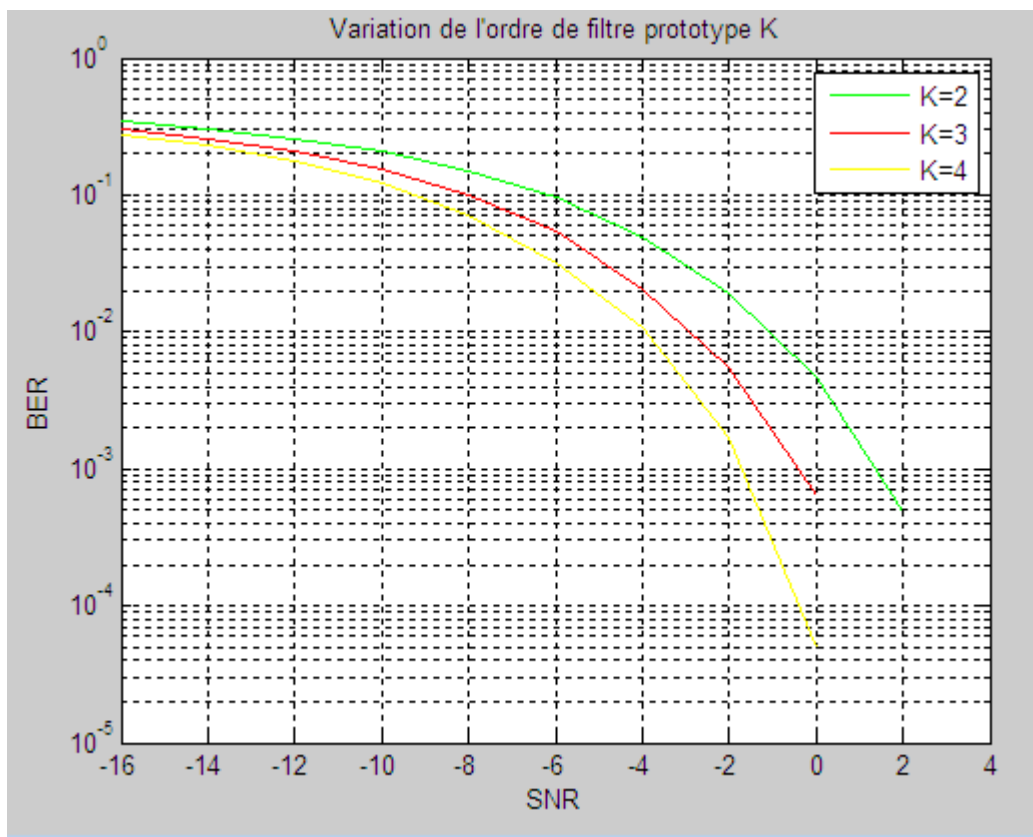


Figure 4.3 : Comparaison de BER pour différent valeurs de K (FBMC).

Les résultats ci-dessus nous permettent de conclure que le taux d'erreur binaire diminue en augmentant l'ordre du filtre prototype et le meilleur résultat est obtenu pour (k=4).

A chaque fois que l'ordre du filtre prototype augmente les ondulations de la réponse impulsionnelle du filtre diminue et par conséquent les interférences inter symboles diminuent jusqu'à ou elles disparaissent.

4.2.3.2 Variation de NFFT :

Dans ce qui suit nous allons varier le nombre de sous porteuse NFFT et nous gardons l'ordre du filtre prototype (k) fixe afin de déterminer l'influence du NFFT sur les performances du système.

Pour : $k=4$

Nfft = 1024, 512, 256, 128 et 64.

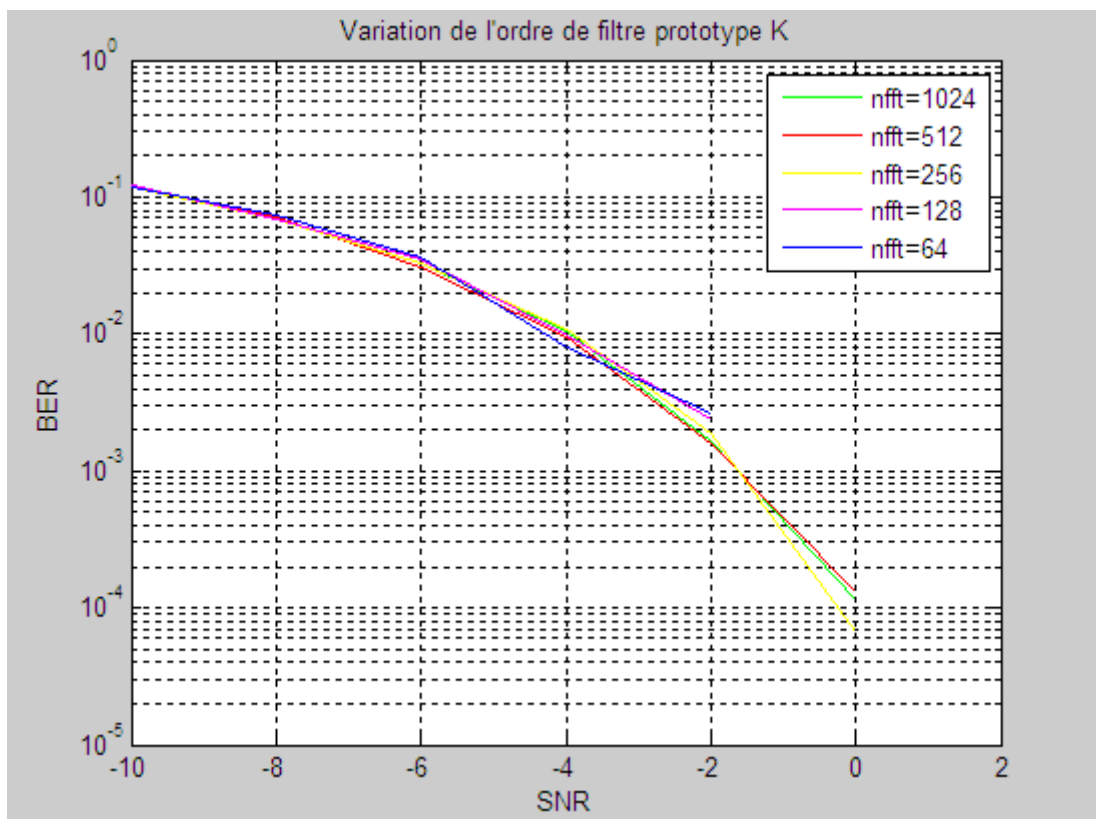


Figure 4.4 : Les performances de la technique FBMC en fonction de nfft.

Cette figure représente l'influence du nombre de sous porteuses sur les performances du système FBMC. Nous remarquons que les meilleures performances sont obtenues pour NFFT=64. Si le nombre de sous-porteuses augmente le débit augmente et la qualité de transmission diminue.

L'augmentation du nombre de sous-porteuses génère des interférences inter porteuses et perturbe la détection du signal original.

4.2.3.3 Variation de l'intervalle de garde :

L'intervalle de garde est une solution trouver afin d'éliminer une même suite de symbole arrivant à un récepteur par deux chemins différents se présente comme une même information qui arrive à deux instants différents, ces symboles vont s'additionner provoquant deux types de défauts : l'interférence intra symbole et l'interférence inter symbole.

Dans cette simulation on montre l'intérêt de l'intervalle de garde.

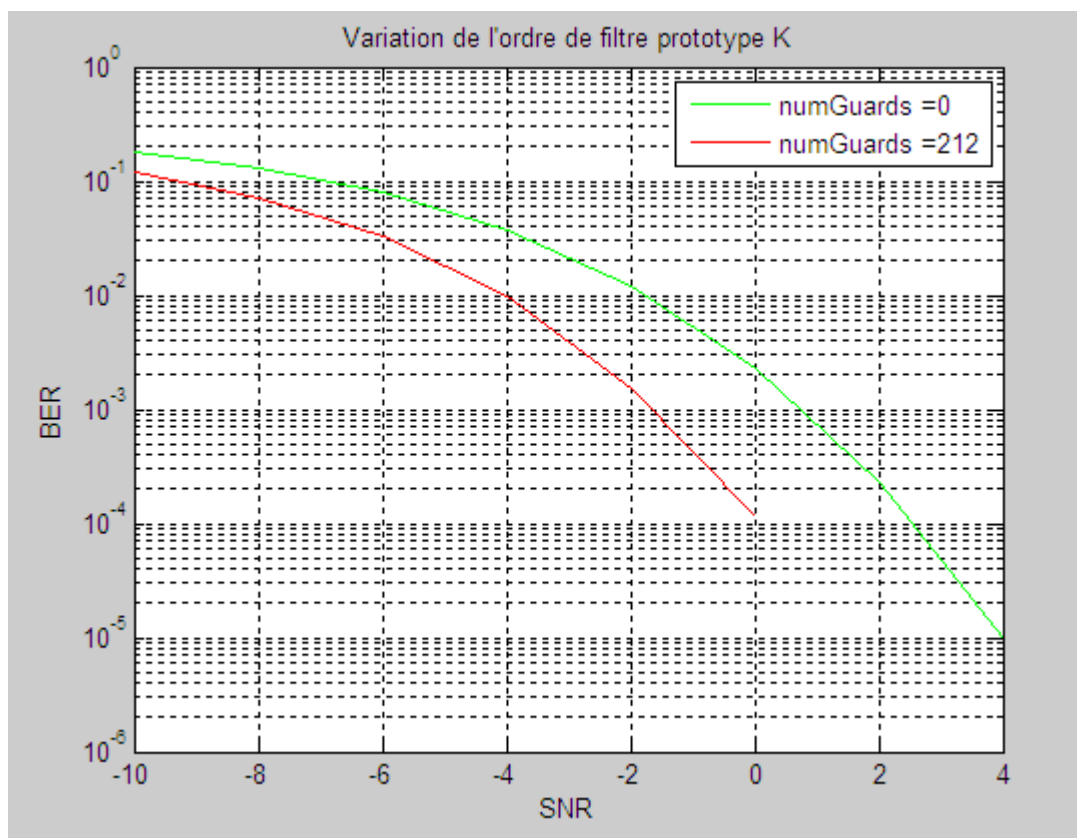


Figure 4.5: Influence de l'intervalle de garde

Cette figure nous montre que la présence de l'intervalle de garde donne de meilleur résultat que son absence.

Exemple :

À 0dB

Avec intervalle de garde le BER est égale à 10^{-4}

Et sans intervalle de garde le BER est inférieur à 10^{-3} .

On remarque que l'intervalle de garde permet de lutter contre les interférences inter symboles, et rend le canal non sélectif en fréquence pour chaque sous porteuse.

4.3 Simulation du MIMO beamforming :

Dans cette partie de travail nous proposons un système MIMO beamforming mono-utilisateur pour la transmission de flux de données unique dans des canaux à évanouissement sélectifs en fréquence. L'optimisation est basé sur un algorithme de mise à jour itérative pour déterminer les vecteur de pondération a l'émission W_t et à la réception W_r , sont appliqués à l'émetteur et au récepteur respectivement et maximiser le SINR de sortie.

La figure suivante illustré le système MIMO beamforming globale en ajoutant a l'émission un modulateur QAM et à la réception un démodulateur QAM.

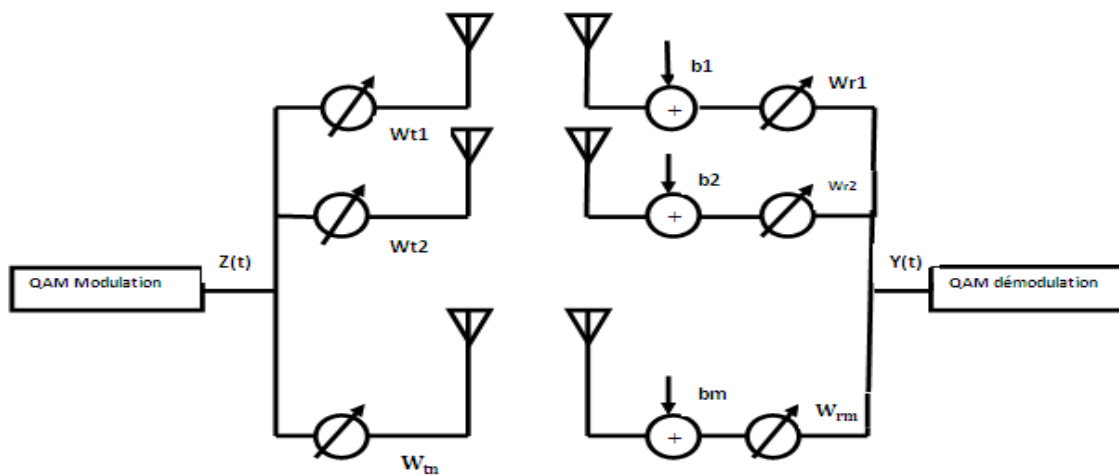


Figure 4.6 : Le système MIMO beamforming.

4.3.1 Paramètres du système :

- Le canal MIMO contient un canal direct et jusqu'à 7 trajets retardés.
- Le canal direct est un canal uniforme.
- N_t et N_r représentent le nombre d'antennes émettrices et réceptrices respectivement.
- La connaissance préalable du canal d'information (CSI) au niveau d'émission et de réception.
- L'effet DOPPLER n'est pas pris en compte dans la modélisation du canal.
- Le bruit aditif est considéré comme un bruit blanc gaussien (BBGA).

4.3.2 Les résultats:

a) Influences du nombre de trajets sur le SINR :

On va tracer le rapport signal sur bruit en fonction du nombre d'itérations du MIMO beamforming.

On a :

$$\text{SINR} = \frac{P_s}{P_n}$$

Avec :

SNR est le rapport signal sur bruit

P_s : Est la puissance du signal.

P_n : Est la puissance du bruit.

Dans cette partie nous montrons comment un système MIMO (8*8) améliore les performances du SINR pour différents trajets retardés.

Nous allons augmenter le SINR afin de diminuer le bruit : on varie le nombre de trajets et on fixe le nombre d'antenne d'émission et de réception $n_r = n_t = 8$.

La figure 4.7 présente les résultats de simulations du rapport SINR en fonction du nombre d'itérations.

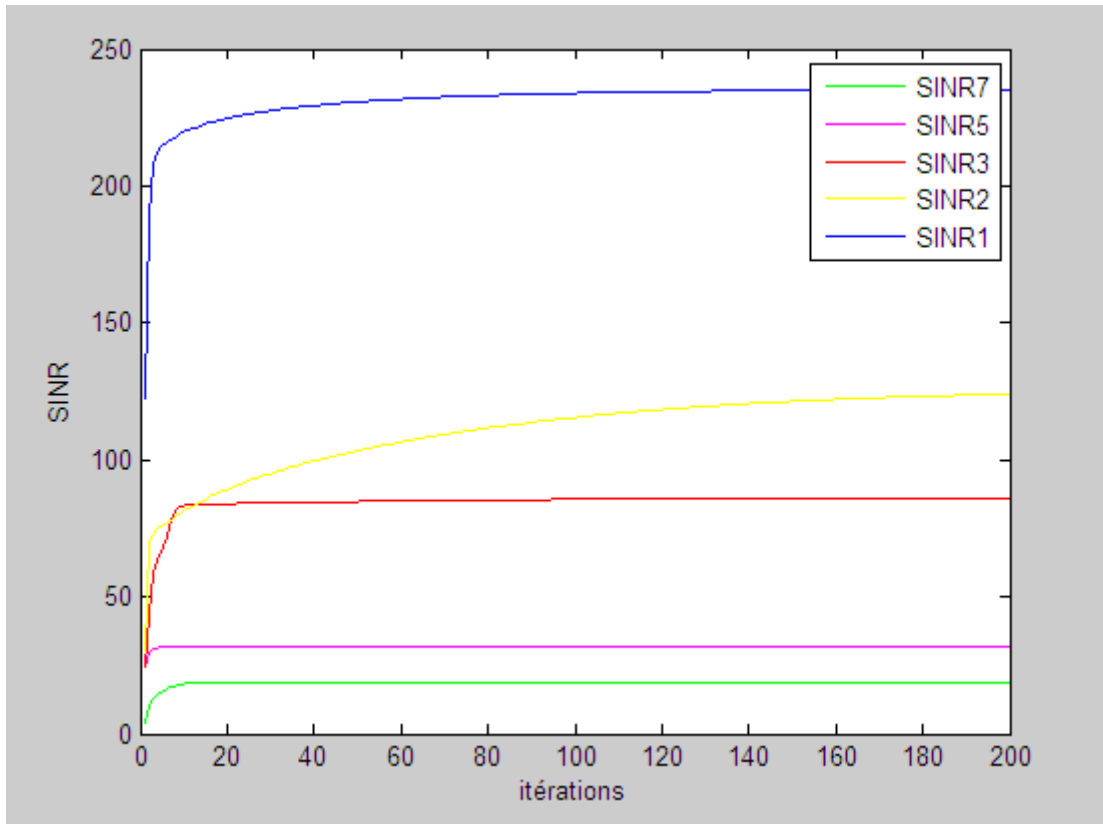


Figure 4.7 : SINR pour différents canaux retardés d'un système MIMO 8*8.

On remarque que plus les trajets sont nombreux, les interférences entre symboles augmentent et le rapport signal sur bruit+interférence (SINR) diminue.

Par exemple pour 7 trajets le SINR est de 18dB par contre il est inférieur à 250dB pour 1 trajet.

Donc les résultats montrent que l'algorithme itératif dans un système MIMO adaptatif 8x8 à l'émission et à la réception permet de maximiser le rapport SINR pour (L=1, L=2, L=3, L=5, L=7).

b) Influence du nombre d'antennes sur le SINR :

Dans cette partie nous montrons l'influence du nombre d'antennes sur la qualité de transmission, pour cela on fixe le nombre de trajet à 5 et on varie le nombre d'antennes à l'émission et à la réception (1*1,2*2,3*3,4*4,5*5,8*8)

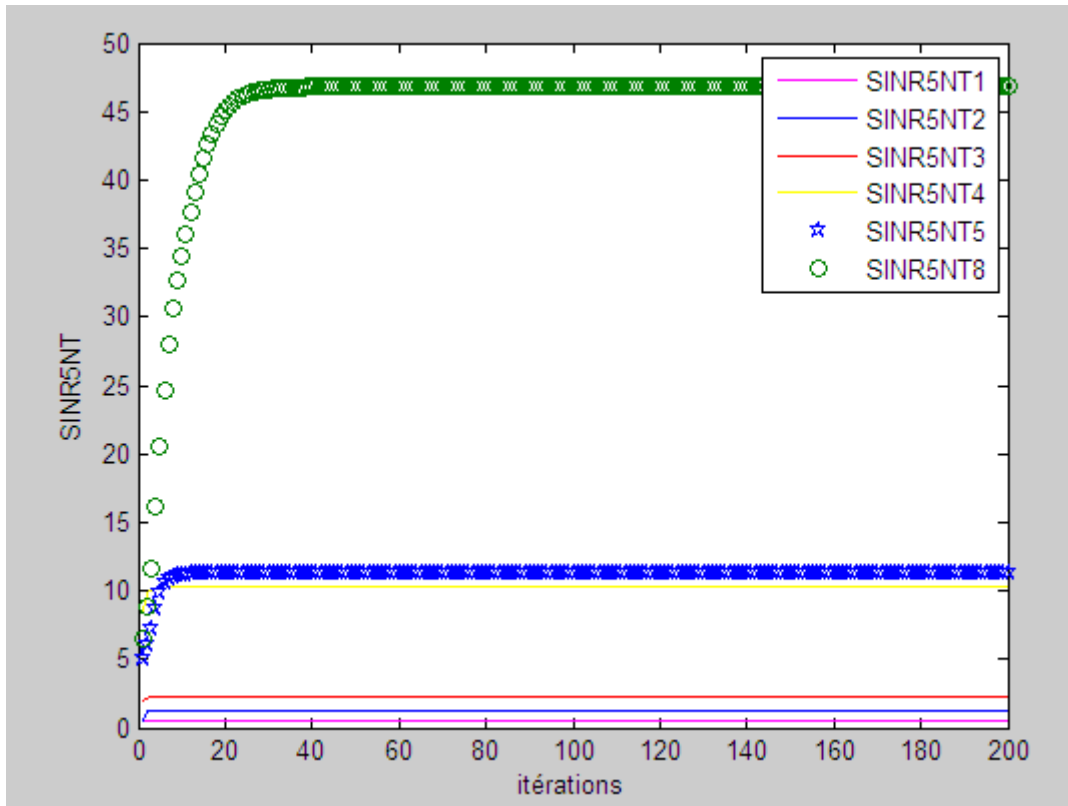


Figure4.8 : l'influence du nombre d'antennes sur le SINR.

On Remarque que si le nombre d'antennes à l'émission et à la réception augmente alors le SINR augmente et la qualité augmente.

Par exemple le SINR est de l'ordre de 1dB pour un système SISO et 12dB pour un système MIMO 5*5 par contre le SINR atteindre 45dB pour le MIMO 8*8.

c) L'influence du nombre de trajets sur les performances du système :

Dans l'étude d'une chaîne de transmission numérique, les performances du système sont généralement exprimées en termes de Taux Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal sur Bruit (SNR).

Pour cela, nous établirons un système MIMO adaptatif 5×5, son schéma de principe est représenté par la Figure 4.6 et nous intégrons l'algorithme itératif pour maximiser le rapport signal sur bruit plus interférences au niveau d'émission et de réception.

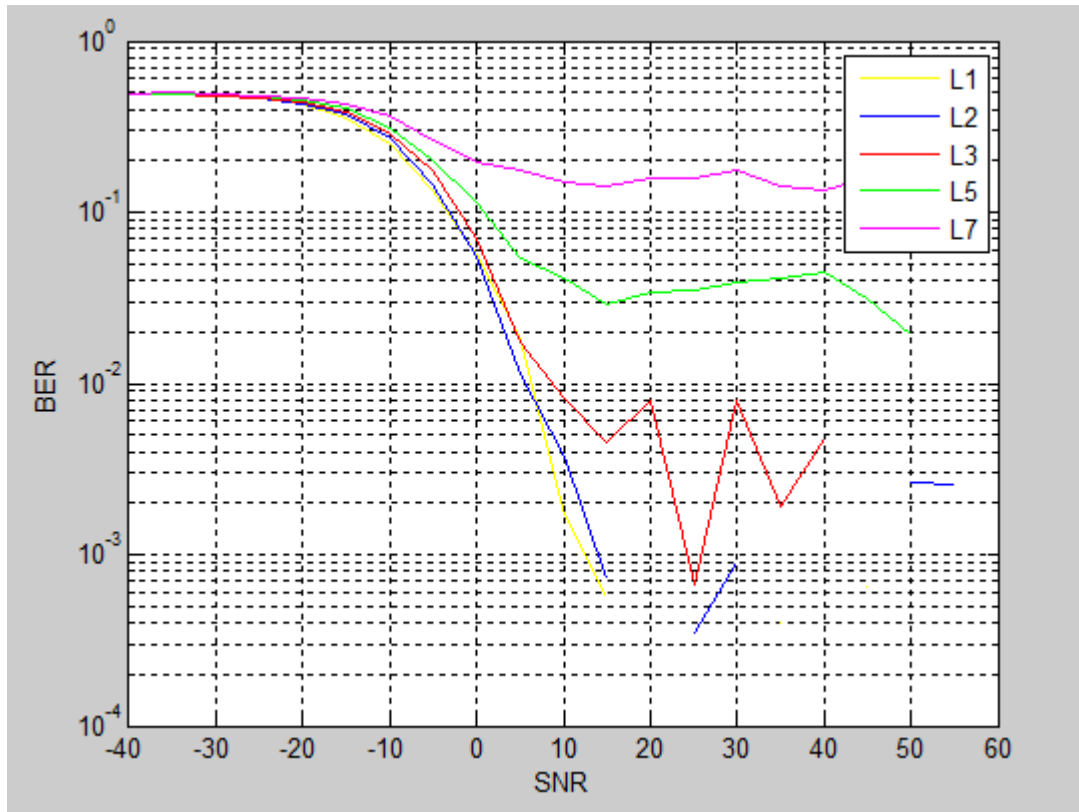


Figure 4.9 : Influence du nombre de trajets sur les performances du système.

Le taux d'erreur binaire pour un système MIMO 5*5 dans un canal direct et 1 trajet retardé et jusqu'à 2 trajets retardés est inférieur à 10^{-3} pour un SINR de 15dB, ensuite pour 3 trajets retardés le BER est inférieur à 10^{-3} pour un SNR de 25dB et pour 5 trajets retardés le BER est inférieur à 10^{-2} pour un SINR de 55dB enfin pour 7 trajets retardés le BER est inférieur à 10^{-1} pour un SINR de 40dB.

L'utilisation de l'algorithme itératif pour maximiser le rapport signal sur bruit plus interférences dans un système MIMO (8*8), avec un canal direct et jusqu'à 4 trajets retardés, au niveau d'émission et de réception, a donné des solutions optimales.

d) L'influence du nombre d'antennes sur les performances du système :

Afin d'améliorer les performances en terme du BER, nous avons pensé à augmenter la diversité spatiale en émission et en réception, pour cela, nous avons opté un système MIMO adaptatif 1×1 , 2×2 , 4×4 , 5×5 et 8×8 .

Pour comparer les performances en termes du BER avec les différents nombre d'antennes, nous avons utilisé les mêmes paramètres de simulation utilisés précédemment.

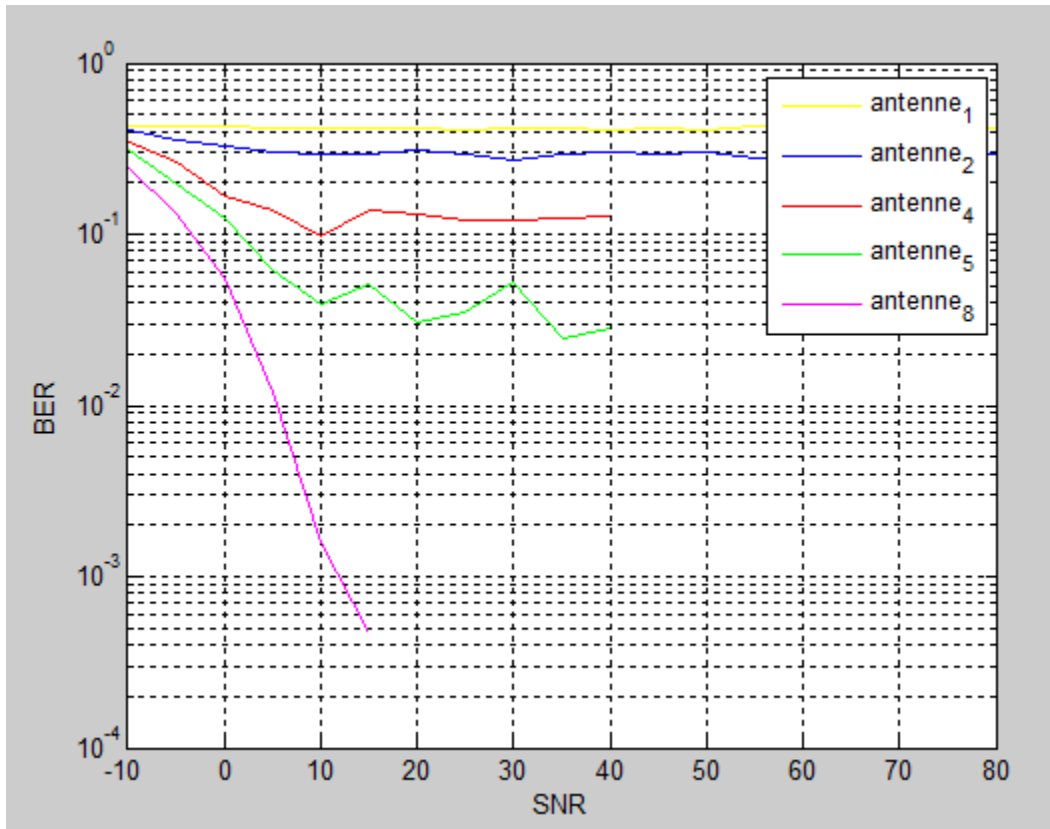


Figure 4.10 : l'influence du nombre d'antennes sur les performances du système

Nous remarquons d'après ces résultats que les performances s'améliorent en augmentant le nombre d'antennes à l'émission et à la réception et les meilleurs résultats sont obtenus pour un système MIMO 8x8.

L'utilisation d'un ordre de diversité important et l'intégration de l'algorithme itératif afin de maximiser le rapport signal sur bruit plus interférences, permet de combattre les distorsions et les brouilleurs subissent par le signal lors de la transmission, ce qui permet d'améliorer d'une façon très importante les performances d'un tel système.

L'utilisation de l'algorithme itératif pour maximiser le rapport signal sur bruit plus Interférences dans un système MIMO (8× 8), avec un canal direct et jusqu'à 4trajets retardés, au niveau d'émission et de réception, a donné des solutions optimales.

4.4 Association entre FBMC et MIMO beamforming :

Dans cette partie de travail nous proposons une configuration pour combiner le système MIMO avec la technique de modulation multi porteuse FBMC

4.4.1 Système MIMO-FBMC

Les techniques MIMO permettent d'améliorer les performances en offrant une meilleure efficacité spectrale et en réduisant le taux d'erreurs pour cela la combinaison de la technique FBMC avec le système MIMO ouvre la porte vers des communications hautes débits.

La figure suivante représente le schéma synoptique de l'émetteur et de récepteur de l'association entre la technique FBMC et le système MIMO beamforming (MIMO-FBMC).

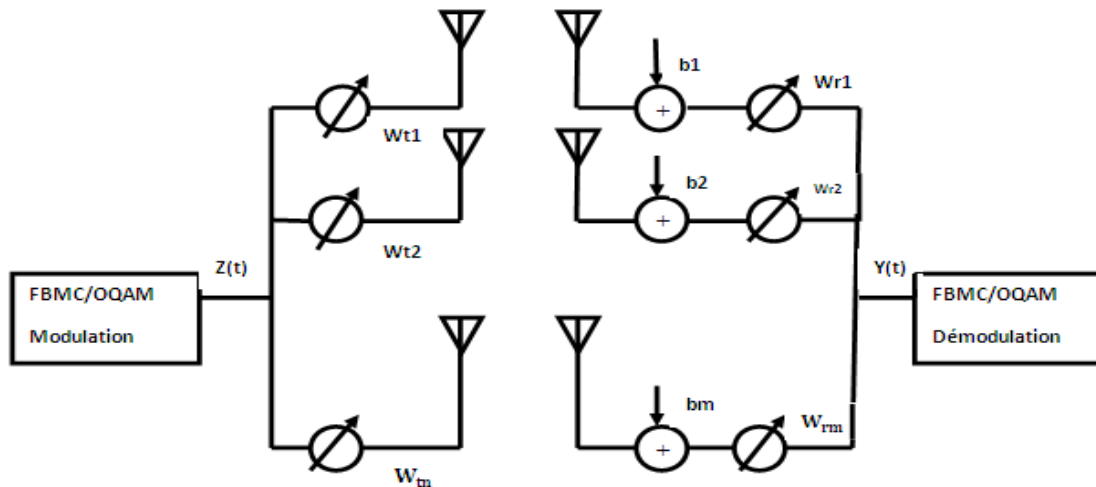


Figure4.11 : Association entre FBMC et MIMO.

A l'émission, les symboles de données sont modulés en OQAM puis en FBMC par l'opérateur IFFT après la conversion série parallèle. Chaque symbole de données est ensuite transmis par le système d'adaptation MIMO combiné avec M_t antennes à l'émission et M_r antennes à la réception. Notons que le signal après modulation FBMC-OQAM est $Z(t)$ et le signal à la réception est $y(t)$ alors que $b(t)$ représente le bruit blanc gaussien additif (AWGN) au niveau du récepteur de moyenne égale à 0 et de puissance égale à σ_n^2 .

Les antennes intelligentes utilisées pour le système MIMO sont basées sur l'algorithme à maximisation du rapport signal sur bruit. Le vecteur de pondération initial de transmission est employé pour calculer alternativement les pondérations optimales à la réception et à l'émission W_R^{opt} et W_T^{opt} .

4.4.2 Les paramètres de simulation :

Le système MIMO- FBMC transmet un signal à 100 symboles OFDM de longueur NFFT égal à 1024 avec la modulation QAM.

- L'intervalle de garde est fixé à 212.
- L'ordre du filtre prototype qui varie de 2, 3 et 4.
- Un canal direct et jusqu'à 7 trajets retardés.
- Nombre d'antenne différent (1*1, 2*2, 3*3, 4*4, 5*5, 8*8).
- le canal direct est un canal uniforme.
- La connaissance préalable du canal d'information (CSI) au niveau d'émission et de réception.

On trace les résultats de simulation en termes de BER par rapport au SNR.

a) L'influence de l'ordre du filtre prototype sur les performances du système :

Dans cette simulation nous allons étudier l'influence de l'ordre du filtre prototype sur les performances du système MIMO-FBMC, pour cela nous considérons un système MIMO beamforming avec 8 antennes à l'émission et 8 antennes à la réception associé avec les modulateurs multi-porteurs FBMC. Le système MIMO beamforming est basé sur l'algorithme itératif à maximisation du rapport signal sur bruit dans un canal à 7 trajets retardés.

Les résultats de simulation sont présentés par la figure suivante :

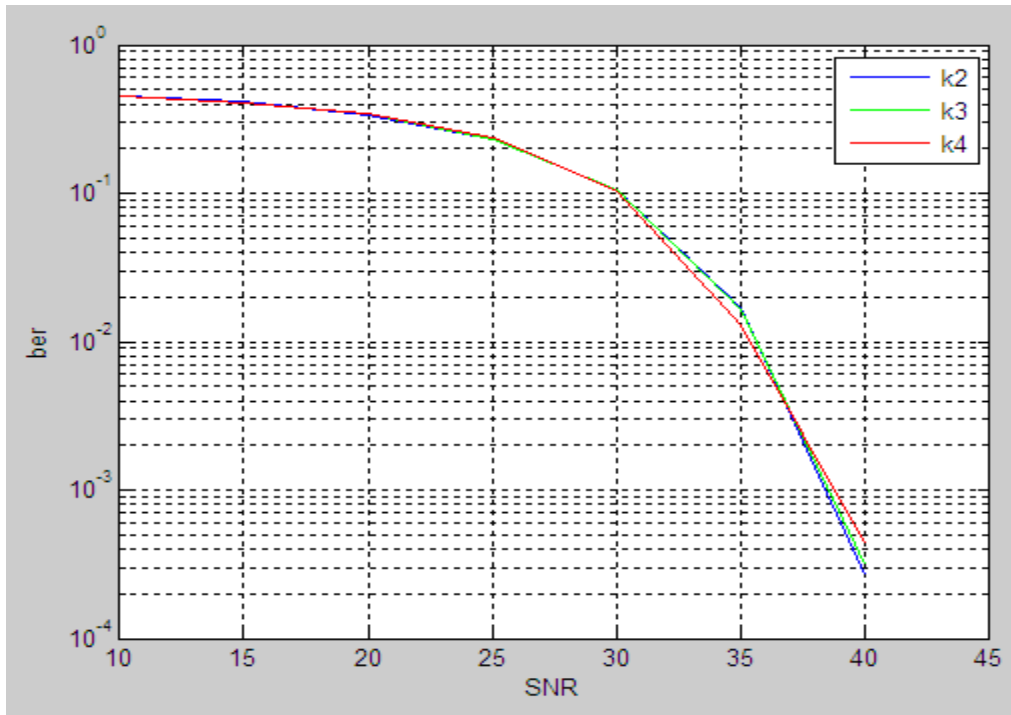


Figure 4.12 : L'influence de l'ordre du filtre prototype sur les performances du système.

Nous constatons que l'ordre du filtre prototype n'influe pas sur les performances du système. Ceci s'explique par le fait que la dégradation des performances subi par la diminution de l'ordre de filtre prototype est négligeable devant la qualité de transmission apporté par les antennes MIMO beamforming.

b) L'influence du nombre de sous porteuse sur les performances du système :

La figure suivante présente les performances d'un système MIMO-FBMC mais cette fois-ci nous varions le nombre de sous porteuse et nous gardons les mêmes paramètres de simulation précédants.

- Nombre d'antennes $N_t=N_r=8$ (MIMO8*8).
- L'ordre du filtre prototype $K=4$.
- Nombre des trajets $L=7$.

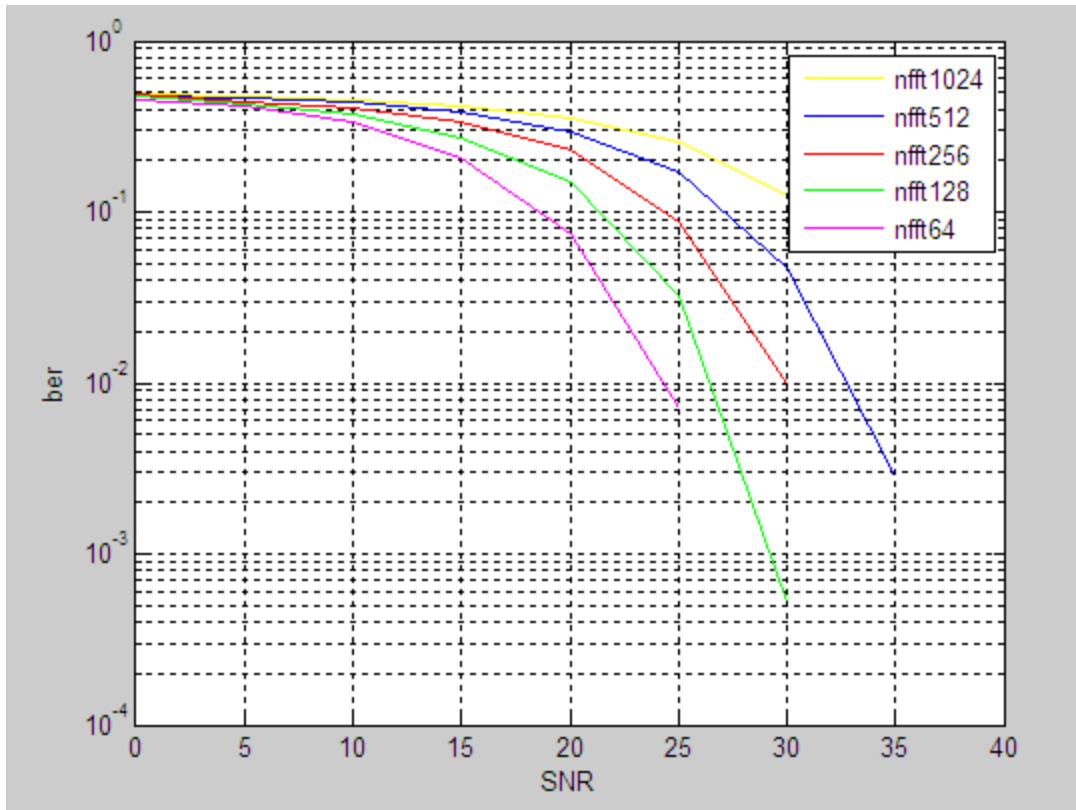


Figure 4.13 : l'influence du nombre de sous porteuse sur les performances du système

Nous observons que le meilleur résultat est pour NFFT=64. Et que si le nombre de sous porteuse diminue les performances s'améliorent, cela s'explique par le fait que si le nombre de sous porteuses augmente, le débit augmente et la qualité diminue. L'augmentation du nombre de sous-porteuses génère des interférences inter porteuses et perturbe la détection du signal original.

c) L'influence de l'intervalle de garde sur les performances du système :

Dans cette partie nous montrons l'intérêt de l'intervalle de garde. Pour cela nous gardons les mêmes paramètres de simulation précédents.

- Nombre d'antennes $N_t=N_r=8$ (MIMO 8*8).
 - L'ordre du filtre prototype $K=4$.
- Nombre des trajets $L=7$.

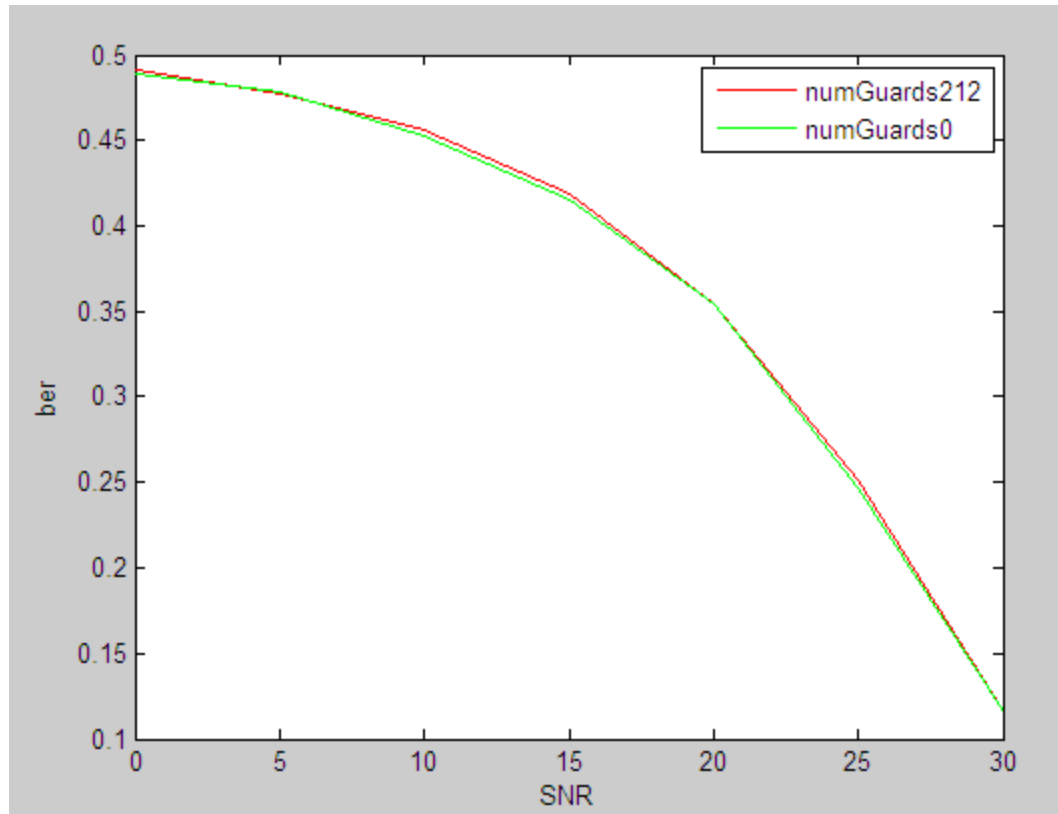


Figure 4.14 : l'influence de l'intervalle de garde sur les performances du système.

Nous remarquons que le taux d'erreur binaire BER est presque le même lorsque nous ajoutons l'intervalle de garde.

Nous constatons que l'intervalle de garde n'influe pas sur les performances du système. Ceci s'explique par le fait que la dégradation des performances subi par l'absence de l'intervalle de garde est négligeable devant la qualité de transmission apporté par les antennes MIMO beamforming.

d) L'influence du nombre de trajets sur les performances du système :

Dans cette simulation nous étudierons l'influence du nombre de trajets sur les performances du système MIMO-beamforming-OQAM-FBMC, pour cela, nous considérons un système MIMO 8x8 dans un canal multi-trajets qui varie de 1 jusqu'à 7 plus le bruit blanc gaussien. Le symbole FBMC est constitué de 100 symboles de 600 bits avec 1024 sous porteuse en présence d'intervalle de garde.

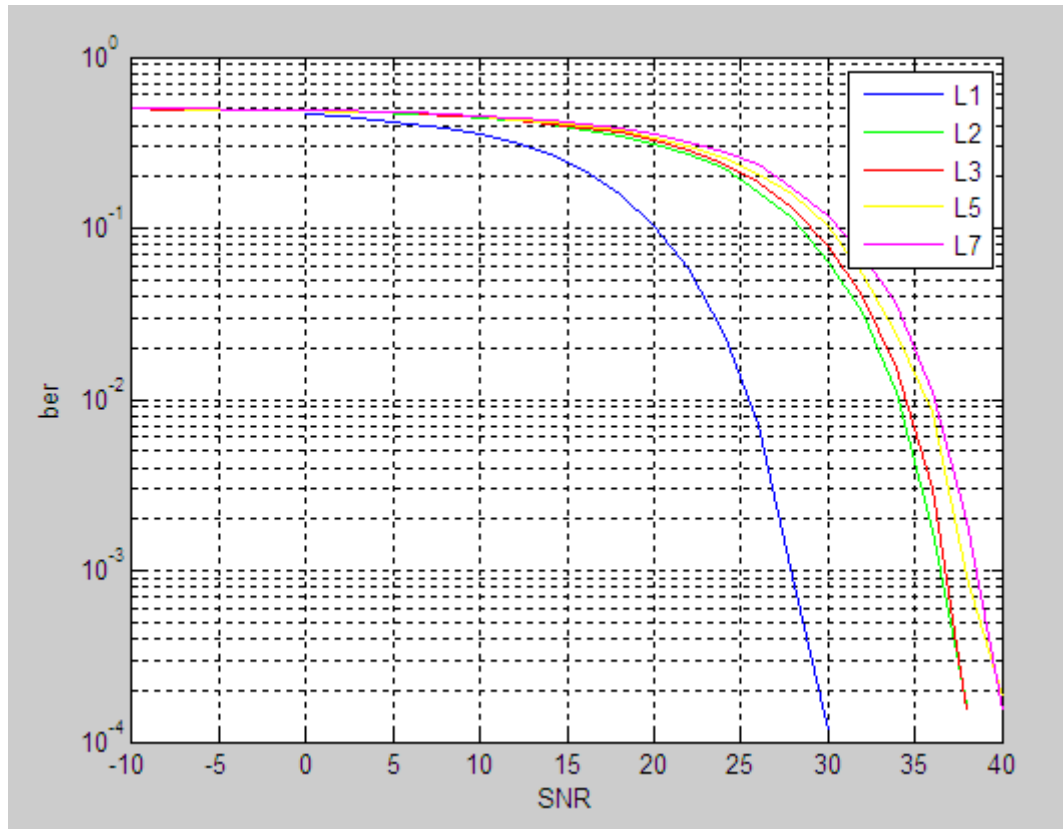


Figure 4.15: l'influence du nombre de trajets sur les performances du système.

Nous observons que si le nombre de trajets augmente la qualité diminue. Donc le nombre de trajets provoque plus d'interférence entre symboles et dégrade la qualité.

Pour le cas de 7 trajets retardés, Le taux d'erreur binaire atteint 10^{-4} pour un SINR de 40 dB.

L'intégration de l'algorithme itératif pour maximiser le rapport signal sur bruit plus interférences dans un système MIMO 8×8 avec un canal direct jusqu'à sept canaux retardés, au niveau d'émission et de réception, a donné des solutions optimales.

e) L'influence du nombre d'antennes sur les performances du système :

Dans cette simulation nous étudions l'influence du nombre d'antennes sur les performances du système MIMO-FBMC. La figure 16 nous donne les tracés des performances BER en fonction du SINR.

Nous avons fixé les paramètres suivants :

- L'ordre du filtre prototype $K=4$.
- Le nombre de sous porteuses $nfft=1024$.

- La longueur de l'intervalle de garde $IG=212$.
- Nombre de trajets $L=5$.

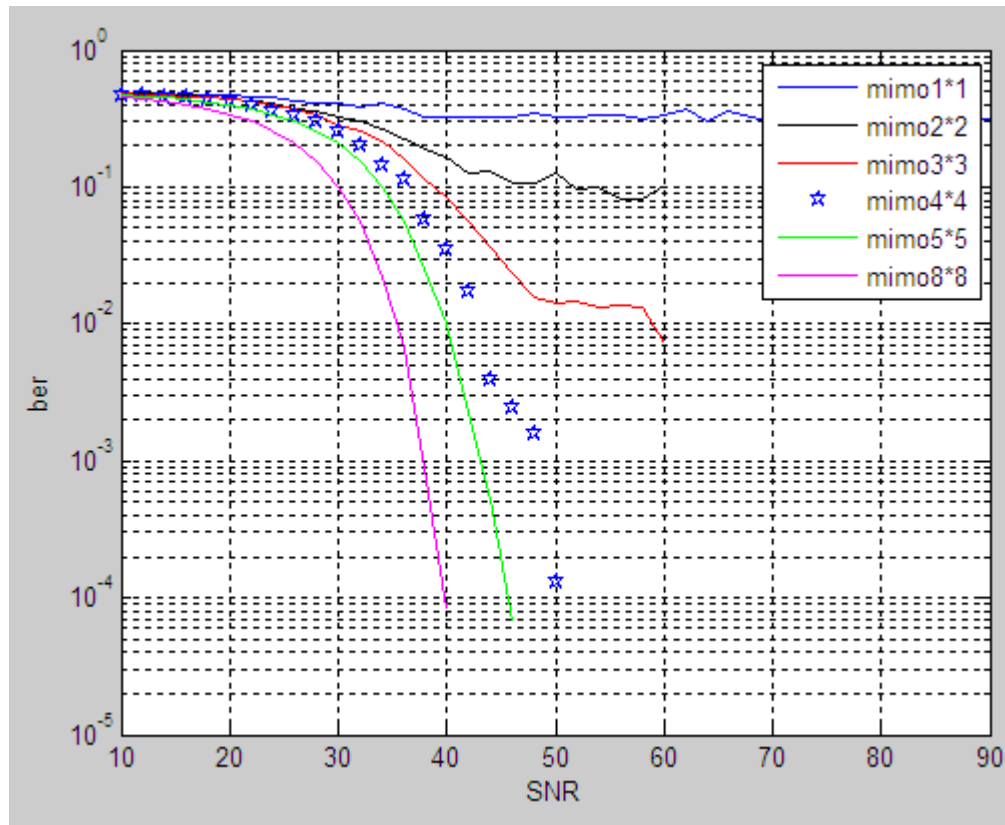


Figure 4.16 : l'influence du nombre d'antennes sur les performances du système.

Nous remarquons que le meilleur résultat est obtenu pour le système MIMO (8*8) et le mauvais résultat est obtenu pour le système SISO (1*1).

Cette simulation montre clairement que pour augmenter la qualité de transmission il faut augmenter le nombre d'antennes à l'émission et à la réception. Par conséquent, deux antennes à l'émission et à la réception ne sont pas suffisantes pour combattre les multi trajets et les interférences.

4.5 Comparaison entre la méthode LMS et MAX SINR :

La figure 4.17 ci dessus présente la comparaison entre la méthode des moindres carrés et la méthode de maximisation de rapport signal sur bruit. Pour cela, On a fixé les paramètres suivants :

- L'émetteur transmet 100 symboles avec nombre de bit=600,
- La longueur NFFT égal à 1024 avec la modulation 4-QAM,
- L'intervalle de garde est fixé à 212,

- L'ordre de filtre prototype est égal à 4,
- L'ordre de diversité est égal à 8 avec un seul trajet.

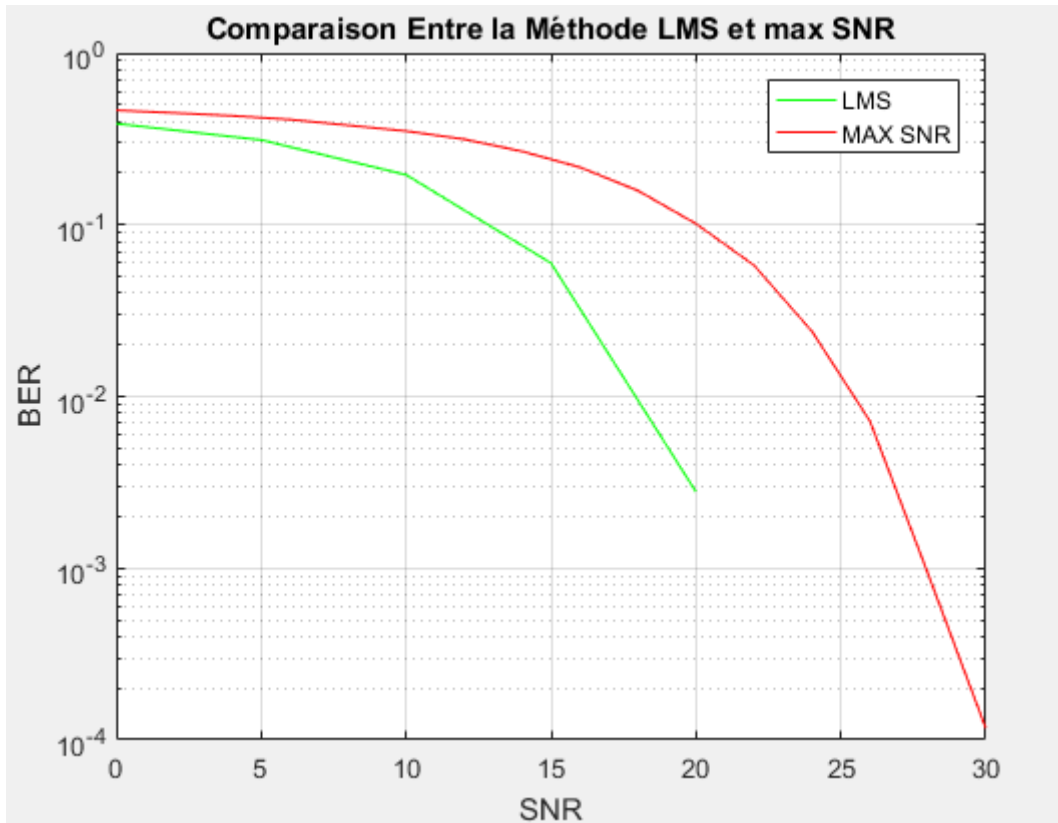


Figure4.17 : comparaison entre la méthode LMS et MAX SINR.

D'après ces résultats, nous remarquons que les meilleures performances sont obtenues par le système MIMO-FBMC-OQAM basé sur l'algorithme des moindres carrées par rapport à ceux obtenue par le système MIMO-FBMC-OQAM basé sur la méthode à maximisation du rapport signal sur bruit.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous constatons d'après les résultats obtenus que le système FBMC est plus performant lorsqu'on augmente l'ordre du filtre prototype (pour $K=4$), nous remarquons aussi que plus on diminue le nombre de sous porteuses, plus on obtient de meilleurs résultats en terme de BER.

Les résultats de simulation de la 2^{iem} partie confirment qu'un système MIMO beamforming permet de maximiser le rapport SINR à la réception, en se basant sur notre méthode étudiée, ce qui garantit une robustesse du lien de transmission. Les techniques MIMO beamforming permettent d'améliorer les performances en offrant une meilleure efficacité spectrale et en réduisant la probabilité d'erreurs.

Dans la suite, nous avons associé le système MIMO beamforming à la modulation multi-porteuse FBMC, en commençant d'abord par varier le nombre de trajets : les meilleurs résultats sont obtenus avec un nombre réduit de trajets.

Les résultats nous permettent de constater que l'ordre du filtre prototype et l'intervalle de garde n'influencent pas sur le système MIMO-FBMC.

Les résultats montrent aussi que l'association MIMO-FBMC permet d'obtenir de meilleures qualités du signal à la réception en réduisant le phénomène d'interférence entre symboles.

Conclusion générale

Le besoin de toujours améliorer les débits de transmission de données pousse les chercheurs dans le domaine des communications sans fils à améliorer sans cesse les systèmes de communications existants et à imaginer de meilleures solutions pour les futurs standards.

Dans ce mémoire, nous avons étudié une recherche orientée vers des problématiques originales en communications numériques et basée sur des approches avancées en traitement du signal.

Premièrement on a expliqué la 5G et sa place par rapport à la 4G dans le monde des communications sans fil, Il est donc fort probable que les premiers réseaux 5G largement déployés soient des réseaux 4.9G.

Ensuite, On a pu prévoir une alternative à l'OFDM qui ne nécessite pas l'utilisation de CP c'est la modulation multi-porteuses de banc de filtres (FBMC). La principale différence entre FBMC et OFDM est qu'au lieu d'utiliser une fenêtre rectangulaire, on utilise un filtre prototype plus avancé, cela peut réduire le problème de fuite spectrale de l'OFDM entraînant une ISI et une ICI négligeables. De plus, la combinaison de FBMC avec modulation d'amplitude en quadrature décalée (FBMC / OQAM) conduit à un débit de transmission de données plus élevé.

La simulation que nous avons réalisée a permis de montrer les intérêts d'une modulation et démodulation FBMC d'un point de vue taux d'erreur binaire, ainsi que les paramètres de la chaîne de transmission (nombre de sous porteuses, l'ordre de filtre prototype et l'intervalle de garde) et aussi du point de vue rapport signal sur bruit.

Au cours de ces dernières années, les systèmes d'antennes à entrées multiples-sorties multiples (MIMO) sont rapidement devenus une technologie sans fil inévitable car 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 (TEB).

Le système MIMO beamforming permet de maximiser le rapport signal sur bruit à la réception, en se basant sur l'algorithme itératif, ce qui garantit une robustesse du lien de transmission.

Les performances d'un tel système avec l'intégration de la diversité spatiale augmentent plus rapidement pour des SNR faibles et permet d'avoir un signal optimal au niveau de la réception. Notons que l'efficacité de cet algorithme croît proportionnellement avec l'ordre de diversité.

L'algorithme itératif à maximisation du rapport signal sur bruit plus interférences, associé avec la modulation multi-porteuses FBMC-OQAM proposé dans cette étude démontre une amélioration significative des performances avec la présence de grandes perturbations. Il est intéressant de noter ici

que l'augmentation du nombre d'antennes de réception est nécessaire pour assurer un degré de liberté suffisant pour atténuer les multi trajets et garantir une meilleure performance.

Bibliographie

- [1] Les enjeux de la 5G - mars 2017.
- [2] Benyahia hafsa et Cherifi wafa Mémoire : étude des techniques MIMO à base de FBMC pour la 5G – juin 2017
- [3] Bellanger - FBMC physical layer : à primer, PHYDYAS - Jan 2010.
- [4] Jérôme GAUTHIER - Analyse de signaux et d'images par bancs de filtres. Applications aux géosciences - Thèse pour l'obtention de grade de Docteur en Sciences de l'Université de Paris-Est Marne-la-Vallée - 2008
- [5] M. Bellanger - Prototype filter and filter bank structure - Technical Report - PHYDYAS Project - 2009.
- [6] I. E. Telatar - Capacity of multi-antenna Gaussian channels – European Transactions on Télécommunications - 10(6):585–595 -1999.
- [7] G. J. Foschini and M. J. Gans - On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. Wireless Personal Communications - 6(3):311–335 - march 1998.
- [8] D. Gesbert and J. Akhtar - Breaking the barriers of Shannon's capacity: An overview of MIMO wireless system - Teletronikk Telenor Journal - January 2002.
- [9] K.-L. Du ET M. N. S. Swamy - Wireless Communication Systems - From RFSubsystems to 4G Enabling Technologies. Cambridge University Press - 2010.
- [10] G. J. Foschini et M. J. Gans - On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas - Wireless Personal Communications, vol. 6, p. 311–335 - 1998.
- [11] G. C. Raleigh et J. M. Cioffi, - Spatio-temporal coding for wireless communication - IEEE Transactions on Communications - vol. 46, no. 3, p 357-366 - 1998.
- [12] E. Telatar - Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels - European Transactions on Telecommunications, vol. 10, no. 6, p. 585–595, 1999.
- [13] A. F. Molisch - MIMO systems with antenna selection - an overview - in Radio and Wireless Conference, 2003
- [14] J. W. Wallace ET M. A. Jensen - MIMO capacity variation with SNR and multipath richness from full-wave indoor FDTD simulations - in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium - 2003

- [15] C. C. Chiau - Study of the diversity antenna array for the MIMO wireless communication systems - Department of Electronic Engineering Queen Mary - University of London United Kingdom - 2006.
- [16] S. TABBANE - réseaux mobile - édition Hermes - Paris 1997.
- [17] Simulation des antennes MIMO adaptatives associées avec la technique MC-CDMA.
- [18] Najib FADLALLAH - Contribution à l'optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente, Application à la conception de réseaux à déphasage-Mai 2005- université de LIMOGES
- [19] J. C. Liberti, Jr., T. S. Rappapan – Smonanrennarfir wireless communications- IS-95 and 3d Generation CDMA applicalianr, PrenticeHall, Inc. Upper Saddle River - New Jersey 07458 - 1999.
- [20] T. Shilpa, V. Mats, P. Arogyarwami - Blind rampion of synchronous channel digital signals wingan antenna any-pm I: algorithms“. IEEETr. SignalP-ring,vol.U,no.5,pp. 1184-1197 - 1996.