

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Technologie**

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de

**Master**

En

« Télécommunications »

Option :

« Systèmes de Télécommunications »

**Titre :**

Étude Sous-estimation des IES dans les réseaux 5G par MIMO massif  
avec OFDM

**Réalisé par :**

- ❖ Azouz Mohammed
- ❖ Berrichi Mohammed

**Encadré par :**

Mr. SADOUKI BOUAMAMA Réda

Année Universitaire: 2019/2020

# *Dédicaces*

*Je remercie Allah de m'avoir donnée les capacités d'écrire et de réfléchir, Laforce d'y croire la patience d'aller jusqu' au' bout du rêve.*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite, a ma chère mère qu' J'adore.*

*A mon père, école de mon enfance qui a été ombre protectrice tous les années d'étude, et qui veille tout au long de ma vie à m'encourager, a m'aider.*

*A ma très chère sœur*

*Toujours été là pour moi.*

*A Mes meilleurs amis*

*A tous ceux qui me sont chers.*

AZOUZ MOHAMMED

## DEDICACES

MA Mère, Mon père

Vous représentez la source de tendresse et l'exemple de  
dévouement qui n'est pas cessé de m'encourager et de  
prier pour moi.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon  
profond amour.

Puisse dieu, le tout puissant, vous préserver et accorder  
santé.

Longue vie et bonheur.

A mes sœurs.

A mes frères.

A tout les membres de ma famille, petite et grande

A tout mes amis de proches :

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de  
mon

Affection.

Berrichi mohammed

# Remerciements

*Nous remercions tout d'abord le grand Dieu pour l'achèvement de ce mémoire.*

*Nous exprimons nos gratitude à Monsieur le président de jury d'avoir accepté examiné ce mémoire.*

*Nous remercions Messieurs les membres de jury, d'avoir accepté de prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'ils l'ont portés à ce travail.*

*Nous remercions Monsieur Sadouki bouammama reda, notre encadreur, pour ses conseils et suggestions avisés qui nous aidés à mener à bien ce travail, et d'avoir rapporté à ce mémoire ces remarques et conseils.*

### Résumé

Les systèmes de communication sans fil sont devenus l'un des sujets de recherche courants en raison de son rôle important dans presque tous les domaines, de la communication au commerce, à l'industrie, même à la sécurité et à la santé avec la nouvelle génération de réseau la 5G. Le but de cette étude est de répondre au souhait du client d'obtenir une bonne qualité de service en plus des débits binaires élevés, et d'offrir le service aux plus possible des gens en augmentant la capacité du système en utilisant une multitude de nouvelles technologies. Ce processus est divisé en 3 étapes essentielles. Premièrement, l'estimation de canal, est une technique permettant de connaître les coefficients des différents sous-canaux, puis de connaître notre canal de transmission de manière à ce que le signal transmis soit facilement récupéré à la réception, ce qui contribue également à réduire l'effet du canal à portées multiples. Deuxièmement, l'utilisation du système Massive MIMO constitue la solution optimale pour atteindre l'énorme capacité de système souhaitée, la transmission à haute vitesse. Enfin, les technologies de réseau d'antennes Beamforming sont utilisées pour éliminer et résoudre les nombreux problèmes techniques auxquels la mise en œuvre du système Massive MIMO est confrontée. L'objectif principal de ce travail est de discuter des différents algorithmes d'estimation de canal afin de déterminer les techniques d'estimation optimales appropriées au déploiement dans les systèmes de transmission 5G, et de clarifier l'importance de l'utilisation du réseau d'antennes et de la formation de faisceau pour atteindre le performance optimale.

Mots clés: 5G, Estimation du canal, MIMO Massif, Antenne intelligente, Beamforming

### Abstract

wireless communication systems has become one of the common research subjects according to its important role in almost all the fields starting with communications and coming to commerce, industry even security and health with the new network generation the 5G The purpose of those studies is to response to the client desire of having a good service quality beside high bit rates, and to offer the service to the most possible by increasing the capacity of the system using a multiple of new technologies. This process is divided on 3 essential steps. First, channel estimation, which is a technique that allows knowing the coefficients of the different sub-channel, and then to know our transmission channel in a way that the transmitted signal will be recovered at the reception easily, and it helps also to reduce the effect of multipath channel. Secondly, the use of the MIMO Massif presents the optimal solution to achieve the huge desired system capacity, the high speed transmission. Finally, The Beamforming antenna array technologies are used to eliminate and resolve the many technical hitches that MIMO Massif system implementation faces.

### المخلص

أصبحت أنظمة الاتصالات اللاسلكية أحد الموضوعات البحثية المشتركة وفقا لدورها المهم في جميع المجالات تقريباً بدءاً من الاتصالات وصولاً إلى التجارة والصناعة وحتى الامن والصحة مع الجيل شبكة 5G. الهدف من هذه الدراسات هو الاستجابة لرغبة العميل في الحصول على جودة خدمة جيدة بالإضافة إلى معدلات بت عالية، وتقديم الخدمة الى اقصى حد ممكن من خلال زيادة قدرة النظام باستخدام العديد من التقنيات الجديدة. تنقسم هذه العملية إلى 3 خطوات أساسية. أولاً، تقدير القناة Estimation du canal، وهي تقنية تسمح بمعرفة معاملات القنوات الفرعية المختلفة ومن ثم معرفة قناة الإرسال الخاصة بنا بطريقة يمكن استرداد المعلومات بسهولة، كما تساعد أيضاً على تقليل تأثير القناة متعددة الموجات الحاملة. multi porteuses ثانياً، يقدم استخدام MIMO Masfie الحل الأمثل لتحقيق سعة النظام الضخمة المطلوبة، سرعة النقل العالية. أخيراً، يتم استخدام تقنيات Beamforming لإزالة وحل العديد من العوائق الفنية التي تواجه تنفيذ نظام MIMO Massif. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو مناقشة الخوارزميات تقدير القنوات المختلفة من أجل تحديد تقنيات التقدير المثلى المناسبة.

الكلمات المفتاحية : 5G,beamforming ,antennes intelligentes, MIMO massif estimation du canal

## Liste des abréviations

**2D** two dimensions

**3D** three dimensions

**3GPP** 3rd Generation Partnership Project

**5G** 5ème Generation

**5GC** 5eme generation

**ADC** analogic digital conversion

**ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line

**AFB** Analysis Filter Bank

**AMF** Access and Mobility Management Function

**AWGN** Additive white Gaussian noise

**BER** Bit Error Rate

**BF** adaptive two-dimensional

**BS** Base Station

**CB** Coherent Band

**CN** Core Network

**CNA** Conversion Numérique Analogique

**CP** Cyclic prefix

**CPU** central process unit

**CRE** cell radio extension

**CSI** Channel State Information

**D2D** devise tow devise

**DoF** Degrees of Freedom

**eNB** Evolved Node B

**FBMC** Filter Bank based Multi Carrier

**FD** frequency domain

**FFT** Fast Fourier Transform

**GFDM** Generalized Frequency Division Multiplexing

**gNB** next Generation Node Base Station

**HetNet** Heterogeneous Network

**ICI** Inter Carrier Interference

**IES** interference entre symbols

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IFFT** Inverse Fast Fourier Transform IG guard interval

**IOT** Internet of Things

**IP** Internet Protocol

**LOS** line-of-sight

**LTE** Long Term Evolution

**LTE-A** Long Term Evolution Advanced  
**MeNB** mobile Evolved Node B  
**MMSE** Minimum Mean Square Error  
**MIMO** Multiple Input Multiple Output  
**MISO** Multiple-Input Single- Output  
**mmWave** millimeter Wave  
**MTC** Multi-Tone Channel  
**MS** Mobil Station  
**MUE** Maco User Equipment  
**MU-MIMO** Multi-Utilisateur Multiple Input Multiple Output  
**NAS** Non-access stratum  
**NG-RAN** Next Generation RAN  
**NLOS** Non Line Of Sight  
**NR** number request  
**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
**PPN** Published Polyphase Network  
**QAM** Quadrature Amplitude Modulation  
**QoS** Quality of Service  
**RAN** Radio Access network  
**RF** Radio Frequency  
**RSRP** Reference Signals Received Power  
**SB** Station de Base  
**SBA** Switched Beam Systems  
**SE** signal emission  
**SeNB** signal Evolved Node B  
**SIMO** Single-Input Multiple-Output  
**SISO** Single-Input Single-Output  
**SINR** Signal to Interference plus Noise Ratio  
**SUE** Small User Equipment  
**SMF** Session Management Function  
**SNR** Signal to Noise Ratio  
**SU-MIMO** Single-User Multiple Input Multiple Output  
**TCP** Transmission Control Protocol  
**TS** signal time  
**UE** User Equipment  
**UFMC** Universal Filtered Multi-Carrier  
**UPF** User Plane Function  
**WI Max** Worldwide Interoperability for Microwave access  
**Wi-Fi** Wireless Fidelity  
**ZF** Zero Forcing

## Table des matières

Remerciement

Résumé

Introduction générale.....1

### Chapitre1: Généralité sur les systèmes MIMO et MIMO Massifs

1.1 Introduction .....2

1.2 Les systèmes MIMO .....2

1.2.1 Les techniques de diversité .....3

1.2.2 Les type de systèmes MIMO.....4

1.2.3 Domaine d'application .....6

1.3 Les systèmes MIMO massifs.....6

1.3.1 Les Types de MIMO massive .....7

1.3.2 Les avantages du MIMO massif.....9

1.3.3 Domaine d'application .....9

1.3.3.1 Réseaux homogènes .....9

1.3.3.2 Réseau hétérogène .....10

1.4 Comparaison entre MIMO et MIMO massif .....11

2.5 Conclusion .....12

### Chapitre2 : Modulation multi porteuses OFDM et Caractéristiques des canaux de transmission

2.1 Introduction .....13

2.2 Principe Modulation multi porteuses OFDM .....13

2.2.1 Émission (modulation) .....14

2.2.2 Réception (démodulation) .....15

2.3 Type du Modulation multi porteuses .....16

2.3.1 Modulation OFDM .....16

2.3.2 Modulation FBMC .....17

2.3.3 Modulation UFMC .....18

2.3.4 Modulation GFDM .....19

2.4 L'avantage de L'OFDM .....20

2.5 Caractéristiques des canaux de transmission .....21

2.5.1 Les phénomènes liés aux canaux sans fil .....21

2.5.1.1 Le bruit .....21

2.5.1.2 Les évanouissements .....21

2.5.2.3 Réfraction/ réflexion .....22

2.5.2.4 La diffraction .....22

2.5.2.5 La diffusion .....22

2.5.2.6 Les trajets multiples .....22

2.5.2.7 L'effet Doppler .....23

2.6 Les modèles de canaux de transmission .....23

2.6.1 Canal MIMO .....23

2.6.2 Canal de Rayleigh .....24

2.6.3 Canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN) .....24

2.6.4 La distribution de Rice .....25

2.7 La sélectivité d'un canal de transmission .....	25
2.7.1 Canal non sélectif en fréquence .....	25
2.7.2 Canal sélectif en fréquence .....	26
2.8 Conclusion .....	26

### **Chapitre3 : Systèmes MIMO Massifs basé sur OFDM et méthodes de Beamforming Pour la 5G**

3.1 Introduction .....	27
3.2 Architecture 5G .....	27
3.2.1 MIMO massif le candidat de 5G .....	28
3.2.2 Avantages de 5G .....	29
3.2.3 Domaine d'application du 5G .....	29
3.2.4 Grande bande passante et réseaux d'antennes .....	31
3.3 Caractéristiques du système MIMO Massif .....	31
3.3.1 Petit cellule .....	31
3.3.2 Ondes millimétriques (mmWave) .....	32
3.4 Antennes et propagation .....	32
3.4.1 Antennes intelligentes .....	33
3.4.1.1 Systèmes d'antennes à faisceau SBA .....	33
3.4.1.2 Antennes adaptatives .....	33
3.5 Formation de faisceaux et couverture mobile 5G .....	34
3.5.1 Formation de faisceau hybride (HYBERD BEAMFORMING) .....	35
3.6 Précodage hybride .....	35
3.6.1 Zéro Forcing (ZF) .....	36
3.6.2 Formation de faisceaux coordonnée (CoordinatedBeamforming) .....	37
3.7 Combinaison entre MIMO massif et formation faisceaux .....	37
3.8 Conclusion .....	38

### **Chapitre4 : Simulation et interprétation Des résultats**

4.1 Introduction .....	39
4.2 Définition des performances .....	39
4.2.1. Le taux d'erreur binaire (BER) .....	39
4.2.2 Rapport signal sur bruit (SNR) .....	39
4.3 Simulations et discussion des résultats .....	39
4.3.1 Impact de la variation du nombre d'antennes dans système MIMO massifs et MIMO .....	39
4.3.2 Effet de Formation de faisceaux ( Beamforming) dans un canal Rayligh .....	40
4.3.3 Simulation comparative enter modulation FBMC et OFDM .....	43
4.4. Beamforming .....	45
4.4.1 Critères de Beamforming .....	45
4.4.2 Simulation de performance d'un système MIMO Massif .....	46
4.5 Conclusion .....	48
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliographie</b>	

## Liste des figures

<b>Fig.1. 1.</b> Schéma du principe de la technique MIMO .....	3
<b>Fig.1. 2.</b> (a) Diversité temporelle, (b) Diversité fréquentielle .....	4
<b>Fig.1. 3.</b> Diversité spatiale .....	4
<b>Fig.1. 4.</b> Système SISO .....	4
<b>Fig.1.5.</b> Système SIMO .....	5
<b>Fig.1. 6.</b> Système MISO .....	5
<b>Fig.1. 7.</b> Système MIMO .....	5
<b>Fig.1. 8.</b> Les systèmes MIMO massive .....	7
<b>Fig.1. 9.</b> MIMO mono-utilisateur .....	7
<b>Fig.1. 10.</b> Massive MIMO multi-utilisateurs .....	8
<b>Fig.1. 11.</b> MU- Massive MIMO avec scénario Multi-Cell .....	9
<b>Fig.1. 12.</b> Formation de faisceaux (Beamforming) adaptatif .....	10
<b>Fig.1. 13.</b> Backhaul sans fil .....	10
<b>Fig.1. 14.</b> Cellule dynamique .....	11
<b>Fig.2.1.</b> Schéma de principe d'un modulateur OFDM .....	14
<b>Fig.2.2.</b> Schéma de l'émission chaîne OFDM .....	15
<b>Fig.2.3.</b> Schéma de réception chaîne OFDM .....	15
<b>Fig.2. 4.</b> Spectre modulation OFDM .....	17
<b>Fig.2. 5.</b> Schéma représente modulation FBMC .....	18
<b>Fig.2. 6.</b> Schéma représente modulation UFMC .....	19
<b>Fig.2. 7.</b> Schéma représente modulation OFDM .....	20
<b>Fig.2. 8.</b> Evanouissement à petite échelle et grande échelle .....	22
<b>Fig.2. 9.</b> Le phénomène du trajet multiple .....	23
<b>Fig.2.10.</b> Modelé d'un canal de Rayleigh .....	24
<b>Fig.2. 11.</b> Canal AWGN .....	25
<b>Fig.2. 12.</b> Canal non sélective en fréquence .....	26
<b>Fig.2. 13.</b> Canal sélective en fréquence .....	26
<b>Fig.3. 1.</b> Architecture du 5G .....	28
<b>Fig.3. 2.</b> Schéma représente 5G avec le MIMO massive. ....	28
<b>Fig.3. 3.</b> Ville intelligente .....	29
<b>Fig.3. 4.</b> Domaine de médecine .....	30
<b>Fig.3. 5.</b> Domaine d'automatisation de l'industrie .....	31
<b>Fig.3. 6.</b> Les petites cellules .....	32
<b>Fig.3. 7.</b> Les ondes millimétriques.....	32
<b>Fig.3. 8.</b> Antennes intelligentes .....	33
<b>Fig.3. 9.</b> Schéma des antennes adaptatives .....	34
<b>Fig.3. 10.</b> Schéma de formation faisceaux hybride .....	35
<b>Fig.3. 11.</b> Les techniques hybrides .....	35
<b>Fig.3. 12.</b> Forcagenull .....	36
<b>Fig.3. 13.</b> Formation de faisceaux coordonnée .....	37
<b>Fig.4. 1.</b> L'effet de changement type d'antenne MOMO/ MIMO Massive .....	40
<b>Fig.4. 2.</b> La courbe de BER en fonction de $E_b/N_0$ pour la modulation 64-QAM et canal de Rayleigh .....	41

<b>Fig.4. 3.</b> La courbe de BER en fonction de $E_b/N_0$ pour la modulation 16-QAM et canal de Rayleigh .....	42
<b>Fig.4. 4.</b> Une transmission BPSK sur un canal Rayleigh multi-antennes .....	43
<b>Fig.4. 5.</b> Spectre de Modulation FBMC pour 8 sous canaux .....	44
<b>Fig.4. 6.</b> Spectre de Modulation OFDM pour 8 sous canaux .....	44
<b>Fig.4.7</b> Performances des critères de Beamforming.....	45
<b>Fig4.8</b> Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de $N=20, M=20$ ...	46
<b>Fig4.9</b> Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de $N=40, M=40$ ...	47
<b>Fig4.10</b> Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de $N=80, M=80$ ...	47

## Liste des tableaux

<b>Tableau.1.1</b> Comparaison entre MIMO et MIMO massif .....	<b>11</b>
<b>Tableau.4.1.</b> représente du paramètre du BER par rapport d' $E_b/N_0$ Dans différentes nombre De canal et la beamforming .....	<b>42</b>

# **Introduction général**



## Introduction général

La cinquième génération (5G) est considérée à la fois comme une révolution et un développement technologique. Une évolution technologique dans le domaine des communications sans fil, car elle dépend de la transmission d'informations à haut débit et à haute efficacité spectrale. Et une très faible consommation d'énergie basée sur des technologies très avancées, y compris d'énormes systèmes MIMO massifs avec la participation de la vitesse et de la transmission radio. Les données circulent vers deux ou plusieurs appareils mobiles. La technologie MIMO permet un transfert de données à longue portée et La formation de faisceaux est au cœur des systèmes de communication sans fil modernes tels que la 5G, LTE et WLAN, et est utilisée dans les réseaux de capteurs, les radars, les sonars, l'imagerie médicale et les systèmes audio. La robustesse du signal est un facteur important lors de la propagation à travers l'interface air. Pour ce faire, la bande de fréquences attribuée est divisée en un ensemble de sous-bandes convergentes et étroites (sous-porteuses). Chaque vecteur est formé individuellement avec une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT) et pour atteindre des débits de données plus élevés en utilisant des ondes millimétriques.[1]

Le réseau de cinquième génération est considéré comme une révolution dans le domaine industriel en reliant la communication entre les machines (M2M) et en facilitant le contrôle à distance des machines. Dans le domaine médical, il a fait une grande fortune ces derniers temps grâce au diagnostic médical à distance. Son développement a connu un très haut débit et un flux internet. (20 Go), ce qui a amélioré la qualité du son et de l'image, en particulier dans les émissions en direct et les jeux électroniques.

Notre travail est divisé en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous décrivons les grands réseaux MIMO et les immenses réseaux MIMO, et parlons des domaines d'application et de ces avantages.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les technologies dites multi-porteuses qui consistent à transmettre des données numériques, à écrire les caractéristiques des canaux de transmission avec une présentation sur le support du canal de transmission.

Dans le chapitre trois, nous voyons les objectifs de la cinquième génération et nous présentons la technologie de modulation de masse et la technologie MIMO.

Dans le dernier chapitre, nous avons simulé les deux chaînes de contact et comparé leurs BER en fonction du SNR. Pour développer cette activité nous avons utilisé MATLAB, un outil de programmation informatique

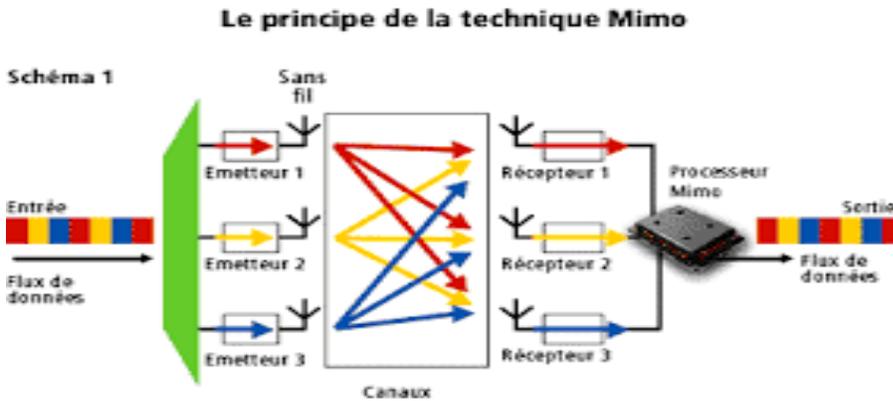
**Chapitre 1**  
**Généralité sur les systèmes**  
**MIMO et**  
**MIMO Massifs**

## 1.1 Introduction :

**1.2** Dans ce chapitre, nous présentons les énormes réseaux MIMO (Multiple Input Multiple Output) et les réseaux MIMO massifs. Cette technologie, nous parlons des domaines d'application et des avantages, et voir l'impact de cette La méthode dans les systèmes révolutionnaires 5G pour les réseaux mobiles (5G) et l'Internet des objets. Ainsi que ce qui est requis dans le développement de systèmes de communication modernes, solides et fiables.

## 1.2 Les systèmes MIMO :

La technologie MIMO (Multi-Input Multiple-Output), est une technologie typique du domaine spatial, a un vaste potentiel pour fournir des débits d'information élevés et améliorer la fiabilité du système, et a donc été adoptée dans les réseaux cellulaires de quatrième génération (4G). Cependant, pour satisfaire la haute efficacité spectrale, l'efficacité énergétique ainsi que les exigences de fiabilité des réseaux cellulaires de cinquième génération (5G), et est une technologie sans fil qui utilise plusieurs émetteurs et récepteurs pour transférer plus de données en même temps. La technologie MIMO tire parti d'un phénomène d'ondes radioélectriques appelé trajets multiples (canal multi trajet), où les informations transmises rebondissent sur les obstacles comme les murs, atteignant l'antenne de réception plusieurs fois sous différents angles et à des moments légèrement différents. Elle exploite le comportement par trajets multiples en utilisant plusieurs émetteurs et récepteurs intelligents avec une dimension spatiale supplémentaire pour augmenter considérablement les performances et la portée. Les antennes fonctionnent plus intelligemment en leur permettant de combiner des flux de données provenant de différents chemins et à différents moments pour augmenter efficacement la puissance de capture du signal du récepteur. Les antennes intelligentes utilisent la technologie de la diversité spatiale, qui permet de tirer le meilleur parti des antennes excédentaires. S'il y a plus d'antennes que. [2]



**Fig.1. 1.** Schéma du principe de la technique MIMO

### 1.2.1 Les techniques de diversité :

La principale source de perturbation, à laquelle le signal est soumis lors de sa propagation, est le canal. En raison du phénomène de propagation par trajets multiples, le signal est exposé à une fréquence aléatoire, les systèmes de diversité bénéficient de ces types de propagation pour améliorer les performances du système, Pour implémenter ces améliorations, les systèmes MIMO utilisent des technologies :

**.Diversité spatiale** : également connue sous le nom de diversité d'antenne, la transmission est basée sur les antennes multiples au niveau d'émission et de réception espacées d'au moins la moitié de la longueur d'ondes pour avoir en corrélation entre l'évanouissement.

**.Diversité des fréquences** : cette technique nécessite la transmission du même signal sur différentes fréquences, ici les copies de signal transmises de sur différentes fréquences porteuses.

**.Diversité temporelle** : lorsque le même signal est séparé par le temps de cohérence du canal, il est possible de profiter de la diversité temporelle. (Décalage temporel entre les signaux).

**.Diversité polarimétrie** : elle utilise les signaux transmis simultanément par les mêmes antennes sur des polarisations orthogonales qui sont souvent affectées différemment par le milieu de propagation. [3]

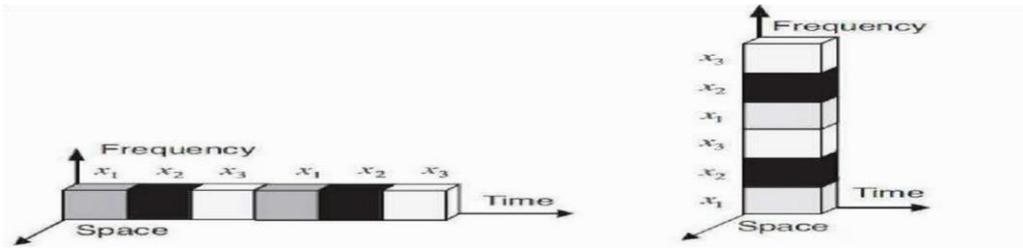


Fig.1. 2. (a) Diversité temporelle, (b) Diversité fréquentielle (b). [3]

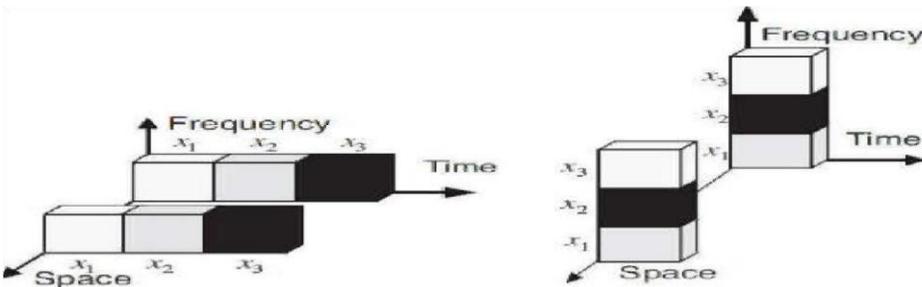


Fig.1. 3. Diversité spatiale

1.2.2 Les type de systèmes MIMO :

Il Ya quatre modèles de configuration d’antenne sont :

- **SISO - Single Input Single Output** : une seule antenne de l’émission et la réception c’est la forme utilise dans la lisions radio.



Fig.1. 4. Système SISO.

- **SIMO - Entrée unique Sortie multiple** : une seule antenne de l’émission et plusieurs d’antennes a la réception, Ceci est également appelé réception de la diversité. Il est souvent utilisé pour permettre à un système récepteur recevant des signaux provenant de plusieurs sources indépendantes



Fig.1. 5. Système SIMO.

- **MISO - Sortie unique à entrées multiples** : une seule antenne dans la réception et plusieurs d'antenne de l'émission, à partir des deux antennes émettrices. Le récepteur est alors capable de recevoir le signal optimal qu'il peut ensuite utiliser pour extraire les données requises.



Fig.1. 6. Système MISO.

- **MIMO - Entrée multiple Sortie multiple** : MIMO est une technologie d'antenne radio qui utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur pour permettre à une variété de chemins de signaux de transporter les données, en choisissant des chemins séparés pour chaque antenne. [4]

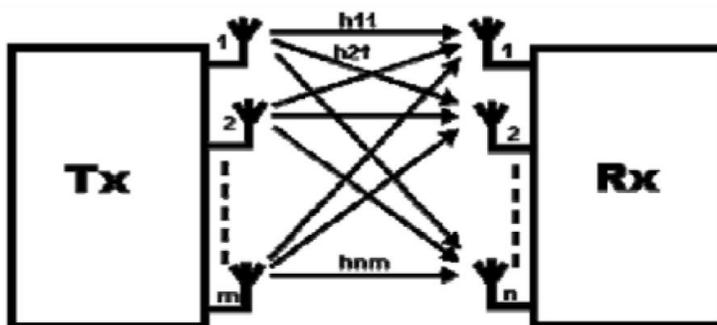


Fig.1. 7. Système MIMO.

### 1.2.3 Domaine d'application :

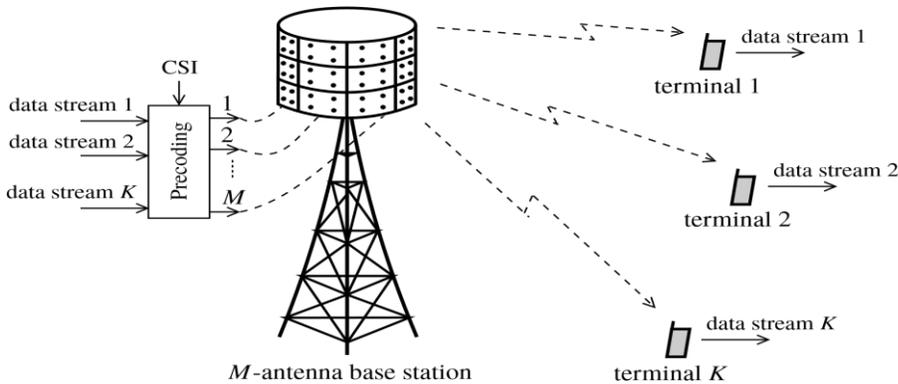
- Les systèmes d'antenne à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) sont utilisés dans la norme sans fil, y compris norme wifi (IEEE 802.11n, 802.11ac) wimax(IEEE 802.16 ) 3GPP LTE et LTE Advanced mobile systèmes.
- La technique prend en charge un débit de données amélioré, même sous conditions de brouillage, évanouissement du signal et trajets multiples.
- La demande de plus les débits de données sur de plus longues distances a été l'une des principales motivations derrière le développement du multiplexage par répartition orthogonale de fréquence MIMO (OFDM) systèmes de communication

### 1.3 Les systèmes MIMO massifs :

Les systèmes MIMO massive est technologie parmi de utilisé dans Les nouveaux systèmes de communication, comme l'internet des objets(IOT) et cinquième génération (5G), Massive MIMO est un système MIMO avec un nombre d'antennes particulièrement élevé. Massive MIMO augmente le nombre d'antennes d'émission (des dizaines ou plus de 100 éléments) sur une station de base. Basée sur l'usage de centaines d'antennes interférant entre elles. C'est une des techniques candidates pour la [5G](#) et pour succéder à la 4G [LTE](#) et [LTE-A](#), la mobilité afin de s'assurer que l'expérience suit l'utilisateur, un temps de réponse de transmission réduite pour la réalité augmentée et l'internet tactile.

En tant que les techniques MIMO sont potentielle Est une technologie parmi capables d'augmenter linéairement la capacité ou de diminuer la puissance d'émission en augmentant proportionnellement le nombre d'antennes. Par conséquent, le concept de systèmes MIMO massifs a attiré une attention considérable de la recherche et a été considéré comme une technique prometteuse pour les réseaux de communications sans fil de prochaine génération.

[5]

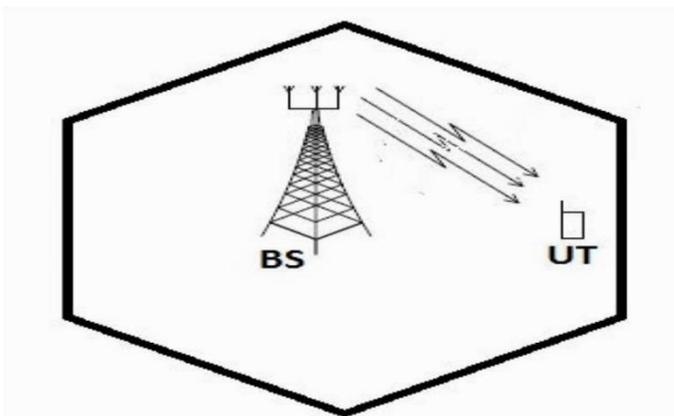


**Fig.1. 8.** Les systèmes MIMO massive

**1.3.1 Les Types de MIMO massive :**

- **Single-User MIMO :**

Elle présente les avantages de la perpendicularité du canal si les conditions de propagation du canal sont valables. Cependant, les canaux SU-MIMO peuvent être connectés de manière inhabituelle en raison de la courte distance des antennes latérales. [6]

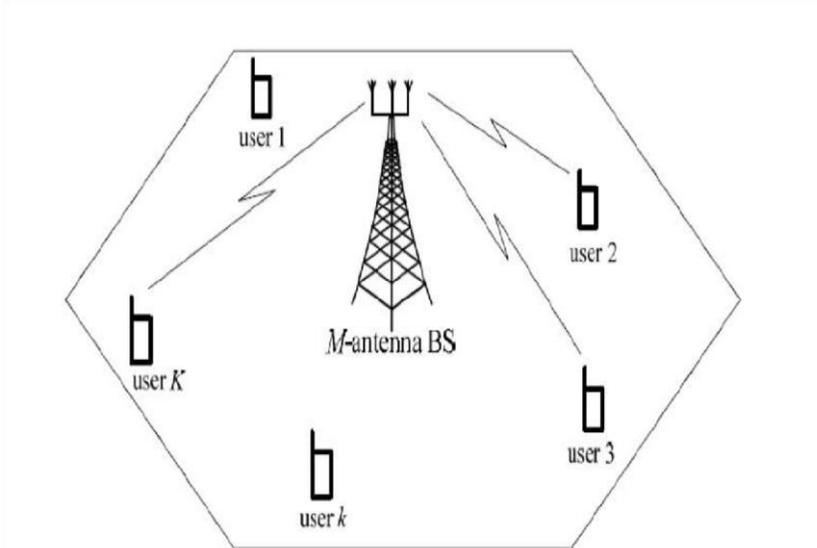


**Fig.1. 9.** MIMO mono-utilisateur

-

- **Multi-User Massive MIMO :**

Il augmente la capacité totale de chaque station de base en permettant la communication avec plusieurs périphériques en utilisant les mêmes ressources. La combinaison de ces deux innovations peut augmenter la vitesse de transmission sans fil en augmentant le nombre d'antennes de station de base sans consommer plus de bande passante ou augmenter les valeurs de modulation. [6]

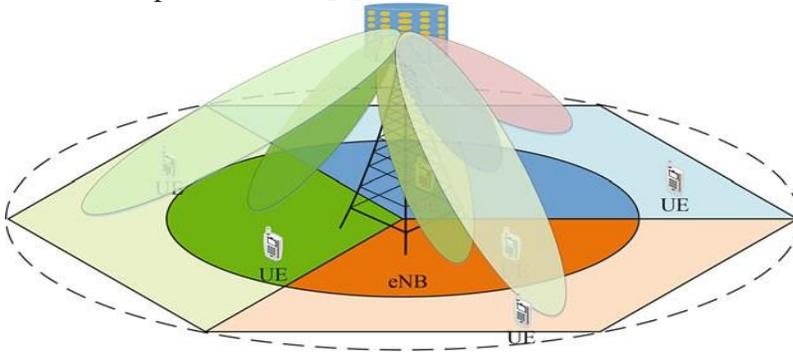


**Fig.1. 10.** Massive MIMO multi-utilisateurs

- **MU- Massive MIMO avec Multi-Cell scénario :**

Nous considérons maintenant le scénario multicellulaire, où il y a des cellules  $L$  et le BS dans chaque cellule transmet des informations et de l'énergie aux utilisateurs d'informations et aux utilisateurs d'énergie, respectivement, dans sa cellule. Avec un CSI (Informations sur l'état du canal) estimé, la contamination pilote peut être éliminée pour les utilisateurs d'informations par codage conjoint. D'un autre côté, en raison de l'orthogonalité asymptotique des vecteurs de canal dans différentes cellules, il n'y a pas de différence entre les utilisateurs d'informations unicellulaires et multicellulaires avec un CSI parfait. Par conséquent, dans le cas multicellulaire, les utilisateurs d'informations sont traités de la même manière que dans le cas

monocellulaire, et les allocations de puissance avec un CSI parfait et un CSI estimé sont données respectivement. [7]



**Fig.1. 11.** MU- Massive MIMO avec scénario Multi-Cell

### 1.3.2 Les avantages du MIMO massif :

Les principaux avantages des systèmes Massive MIMO peuvent comme suit :

- Gain d'efficacité spectrale élevé.
- Gain d'efficacité énergétique élevé.
- Traitement simple.
- Augmentation du débit de données.
- Augmentation du rapport signal sur bruit de liaison de base.
- Renforcement des canaux

### 1.3.3 Domaine d'application :

En pratiqué le système MIMO massive sur deux réseaux important sont réseaux homogènes, réseaux hétérogène.

#### 1.3.3.1 Réseaux homogènes :

##### Sectorisation multicouche :

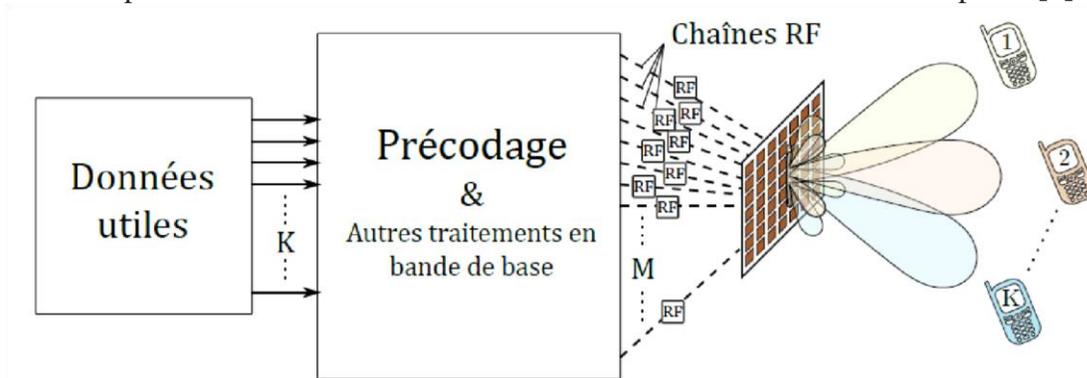
Si on augmenta du nombre d'UE et de leur télé-traffic transporté dans les environnements urbains, une capacité de système accrue est nécessaire pour répondre aux besoins des clients.

les techniques de sectorisation sont utilisées pour fournir des services à une population

croissante, qui se divise simplement en plusieurs secteurs, augmentant ainsi la capacité du réseau. [8]

### Formation de faisceaux (Beamforming) adaptatif :

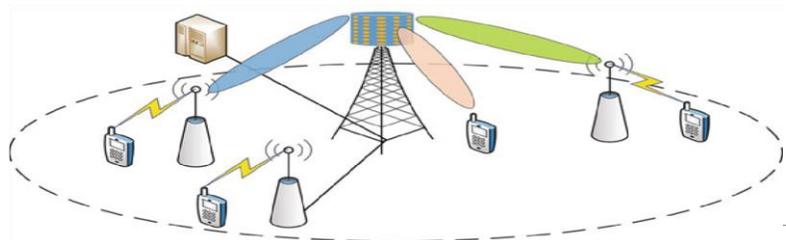
Les BF fixes sont appelés ainsi parce que les poids qui multiplient les signaux à chaque élément de l'AA restent inchangés pendant le fonctionnement. En revanche, les poids d'un BF adaptatif sont mis à jour en continu sur la base des signaux reçus afin de supprimer les interférences spatiales. Ce processus peut être effectué dans le domaine temporel (TD) ou le domaine fréquentiel (FD). Comparé au BF adaptatif bidimensionnel (2D), un BF 3D peut avoir plus de souplesse dans la réutilisation des ressources radio dans le domaine spatial. [9]



**Fig.1. 12.** Formation de faisceaux (Beamforming) adaptatif

### 1.3.3.2 Réseau hétérogène :

**Backhaul sans fil :** Backhaul sans fil Le HetNet avec de petites cellules denses a été considéré comme une architecture de conception très prometteuse en termes d'énergie. L'énorme MIMO dans MeNB, qui a un DoF élevé, est utilisé pour prendre en charge plusieurs connexions sans fil dans HetNet, le même spectre peut être réutilisé entre les connexions sans fil, l'accès aux UE de cellules totales (MUE) et les UE de petites cellules (SUE). [10]



**Fig.1. 13.** Backhaul sans fil

**Cellule dynamique :**

Fournit parce que la force du signal reçu (RSRP) obtenue à partir de MeNB est principalement celle de SeNB dans les HetNets, il est possible que plus d'UE soient connectés à MeNB, ce qui conduit à une possible distribution de déséquilibre entre les grandes cellules et les petites cellules. technique Cell Extensions (La CRE) peut être utilisée pour charger le tramway du total aux petites cellules et convient pour équilibrer les tramways entre les grandes et les petites cellules de la travée [11]

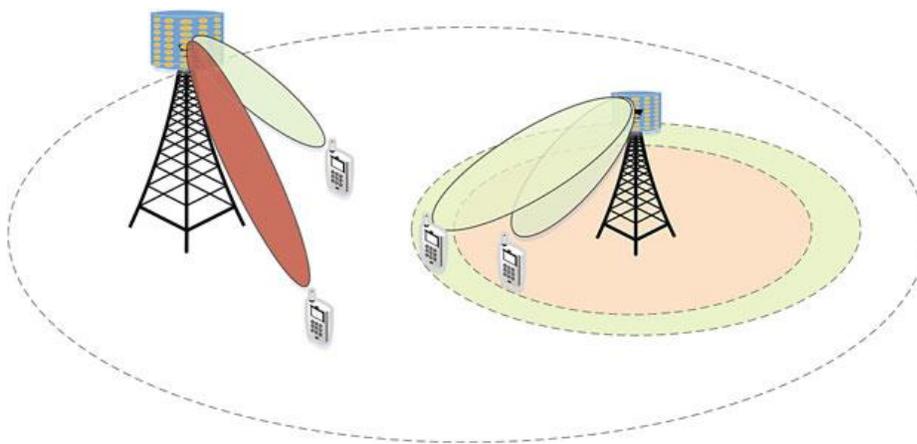


Fig.1 .14. Cellule dynamique

**1.4 Comparaison entre MIMO et MIMO massif :**

Systèmes MIMO	Systèmes MIMO massif
<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisée dans les <a href="#">radars</a>, <a href="#">réseaux sans fil</a> et les <a href="#">réseaux mobiles</a></li> <li>- utilisées au niveau de l'émetteur (généralement 2 à 8 antennes) ou du récepteur (2 à 4 antennes)</li> <li>- d'améliorer la qualité du <a href="#">rapport signal sur bruit</a> (SNR) et le débit de transmission</li> <li>- principalement utilisée dans les normes Wi-Fi, WiMax et les normes de téléphonie, <a href="#">LTE</a> et <a href="#">LTE Advanced</a>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Amélioration de SE</li> <li>- utilisée dans les systèmes réseaux développe 5G, IOT.</li> <li>- utilisées au niveau de l'émetteur et récepteur (10à 100) antennes.</li> <li>- mesure et modélisation Estimation de canal Algorithmes</li> <li>-Quantité massive de degrés de liberté dans le domaine spatial</li> <li>-Bonnes performances système avec uniquement un schéma de pré-codage linéaire</li> </ul>

Tab 1.1 Comparaison entre MIMO et MIMO massif

## 2.5 Conclusion :

En passant dans ce chapitre la technologie MIMO et MIMO massifs aussi que les domaines d'application de systèmes MIMO (WIFI, WIMAX, LTE) en autre cotée la technologie MIMO massifs est applicable système communication développée (5G, IOT).

En regardant aussi les différentes architectures pour chaque système et remarquant que le système MIMO améliore le rapport signal sur bruit et le débit de transmission, est une technologie sans fil qui utilise plusieurs émetteurs et récepteurs pour transférer plus de données en même temps sachant qu'il pratique 4 types de diversité (temporelle, fréquences, polarimétrie, spatiale)

En parallèle les systèmes MIMO massifs sont potentiellement une technologie parmi celles capables d'augmenter linéairement la capacité ou de diminuer la puissance d'émission en augmentant proportionnellement le nombre d'antennes sont le futur de réseaux sans fil.

**Chapitre 2**  
**Modulation multi porteuses**  
**OFDM et**  
**Caractéristiques des canaux**  
**de transmission**

## 2.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter Les techniques qu'on appelle multi porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonaux les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de Fourier rapide(FFT).

Le multiplexage en fréquence est bénéfique pour les transmissions dans des canaux sélectifs en fréquence qui comportent des trajets multiples. C'est pourquoi on trouve cette technique dans les normes, de communications numériques hauts débits (ADSL Asynchrones Digital Subscriber Line) sur la boucle locale téléphonique, ainsi que dans l'étude des normes de communications pour réseaux 1. Suivant les applications, cette technique se nomme OFDM (Orthogonal Frequency Division modulation).et nous parle aussi des techniques applicables dans La nouvelle génération de réseau (5G, IOT, LTE) ce FBMC (La banque de filtres multi carrier) et Multiplexage par répartition en fréquence généralisé (GFDM), Le système Universel Filtered Multi Carrier (UFMC).

En suit Nous d'écrivons les caractéristiques et les notions associées a un canal radio mobile, puis nous d définissons quelques canaux de transmission fondamentaux utilisés dans les systèmes MIMO, a` savoir le canal AWGN .Canal MIMO .La distribution de Rice et le canal de Rayleigh. Ce dernier est considéré le mieux adapté aux communications radio-mobiles dans un environnement multi-trajets.

## 2.2 Principe Modulation multi porteuses OFDM :

Le principe est d'envoyer des données numériques en parallèle avec ses données fortement modifiées Le nombre de transporteurs à basse vitesse. Dans un système de transmission de données série traditionnel, les codes sont envoi séquentiel : toutes les données sont autorisées à fonctionner sur toute la plage Bande passante disponible.

Le principe revient à OFDM pour améliorer la bande passante disponible. La réalisation de ce concept implique un temps de garde entre les symboles OFDM ou l'hypothèse que la durée du symbole est significativement supérieure à la dispersion temporelle du canal. Le nombre de sous-porteuses  $N_c$  doit être suffisamment choisi pour assurer un évanouissement non sélectif de la fréquence sur chaque sous-canal. L'application de symboles orthogonaux, par exemple, la liaison descendante d'un système cellulaire garantit qu'il n'y a pas d'interférence d'accès multiple dans un canal idéal et un minimum d'interférence d'accès multiple dans le canal de fuite. [12]

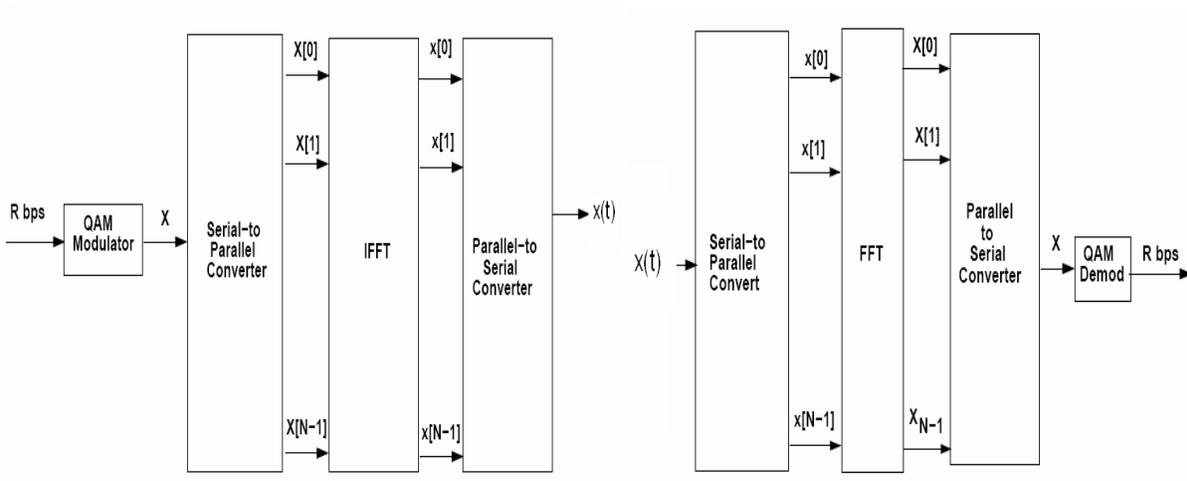


Fig.2.1 Schéma de principe d'un modulateur OFDM.

2.2.1 Émission (modulation)

La figure décrit le schéma de principe d'un modulateur OFDM en bande de base après un codage Bit/Symboles des bits à transmettre, les symboles complexes  $\{X_l\}_{l=1,2,\dots}$  sont successivement regroupés par blocs de N (conversion série/parallèle), mis en forme sur une durée T (forme d'onde  $g(t)$ ) puis envoyés sur les N porteuses

le signal OFDM généré s'écrit :

$$s_i(t) = \sum_{n=-N/2}^{N-1} X_n g(t - iT - T/2) e^{j2\pi f_n t} \tag{2.1}$$

Avec  $n = -N/2$

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n(t) \cos(2\pi f_n t) \tag{2.2}$$

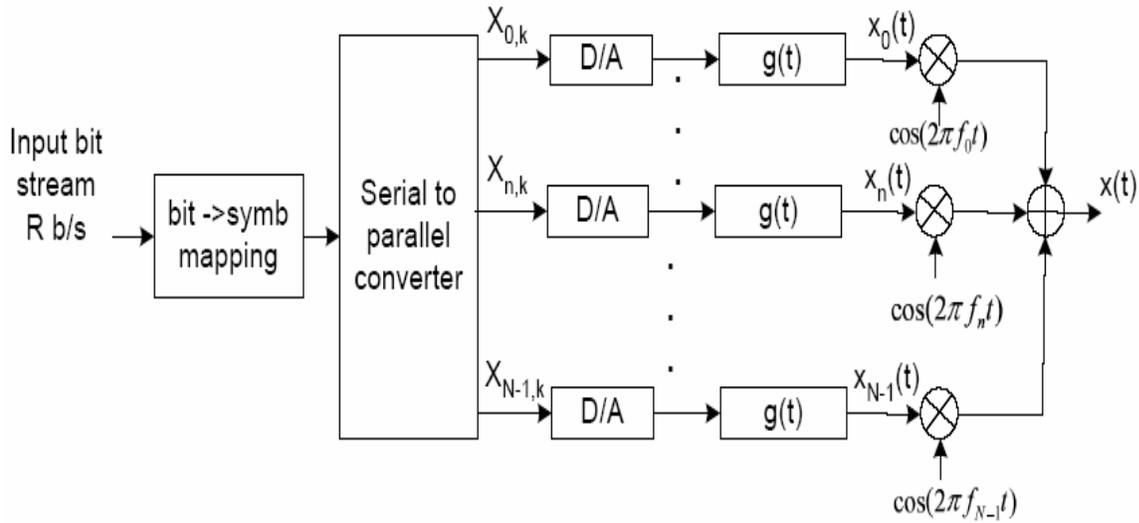


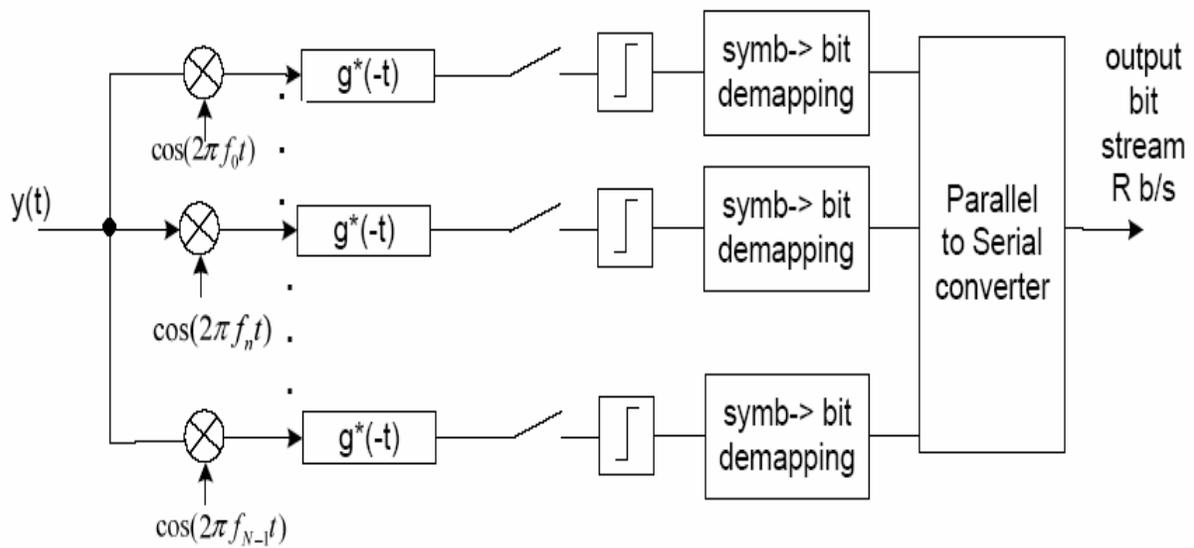
Fig.2.2 schéma de l'émission chaîne OFDM

2.2.2 Réception (démodulation) :

Le signal parvenant au récepteur s'écrit, sur une durée symbole  $T_s$  :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k(t) e^{2j\pi(f_k + T_s)t} \quad (2.3)$$

$H_k(t)$  est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence  $f_k$  et au temps  $t$ . Cette fonction varie lentement et on peut la supposer constante sur la période  $T_s$  ( $T_s \ll 1/B_d$ ).



**Fig.2.3** schéma de réception chaîne OFDM

## 2.3 Type du Modulation multi porteuses :

### 2.3.1 Modulation OFDM:

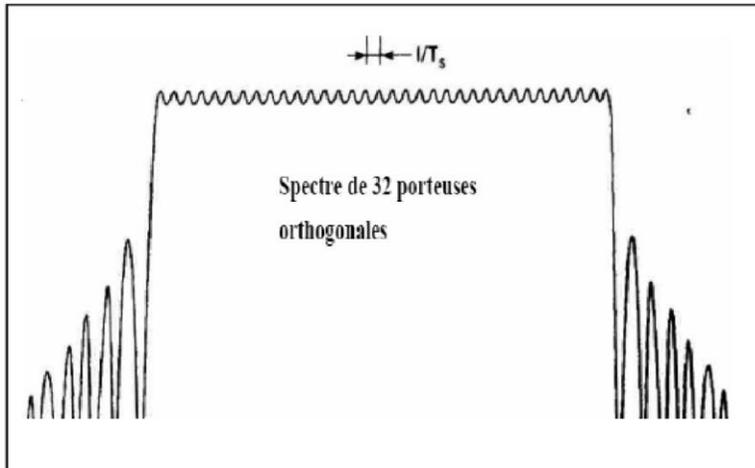
Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), la technique de modulation multi porteuse la plus efficace du spectre, a été récemment proposée pour surmonter les inconvénients effets des canaux de communication, L'OFDM technique Transforme un canal à large bande hautement sélectif en un grand nombre de tranches à bande étroite non sélectives qui sont multiplexés en fréquence. Le durée du symbole étendue ainsi que l'emploi de le principe consiste à adapter le schéma de modification et à Puissance de transmission au comportement de canal de transmission de fréquence sélectif. Lequel, Il a lieu sous des restrictions de débit de données constantes ou un taux d'erreur binaire acceptable. L'énergie est transférée vers la sous-porteuse en fonction de différents critères, par exemple Non. La capacité du canal ou BER diminue à un débit de données donné. Pendant ce temps, un algorithme est tenté pour atteindre un BER Target spécifique Imposer un taux de transfert de données fixe. Mais le canal La capacité n'est pas utilisée pour allouer des bits de données, mais à la place des seuils SNR sont entrés Dérivé d'un BER cible spécifique. De plus, la force est supposée égale Réparti entre toutes les filiales de transport

La procédure comprend les étapes suivantes :

- Le motif de modulation est attribué à chaque sous-porteuse en fonction des seuils du rapport signal / bruit (SNR). Ces seuils SNR sont dérivés des courbes BER (AWGN) du

canal Des schémas d'ajustement ont été utilisés pour atteindre BER Target. La sous-porteuse qui a SNR a la plus petite distance.

- Si le débit de données obtenu est inférieur à la valeur cible, le BER sera finalement autorisé Soyez supérieur à BER Target. [13]



**Fig.2. 4.** Spectre modulation OFDM

### 2.3.2 Modulation FBMC :

La banque de filtres multi carrier est un développement de l'OFDM. Utilisation de banques de filtres qui sont implémentées, généralement en utilisant des techniques de traitement de signal numérique FBMC.

Les techniques FBMC ont le potentiel d'améliorer les performances de synchronisation des réseaux conventionnels et d'ajouter de nouvelles fonctionnalités. Ils sont une technologie habilitante pour le déploiement efficace et l'acceptation de réseaux opportunistes, mais avec une puissance d'émission inférieure. [14]

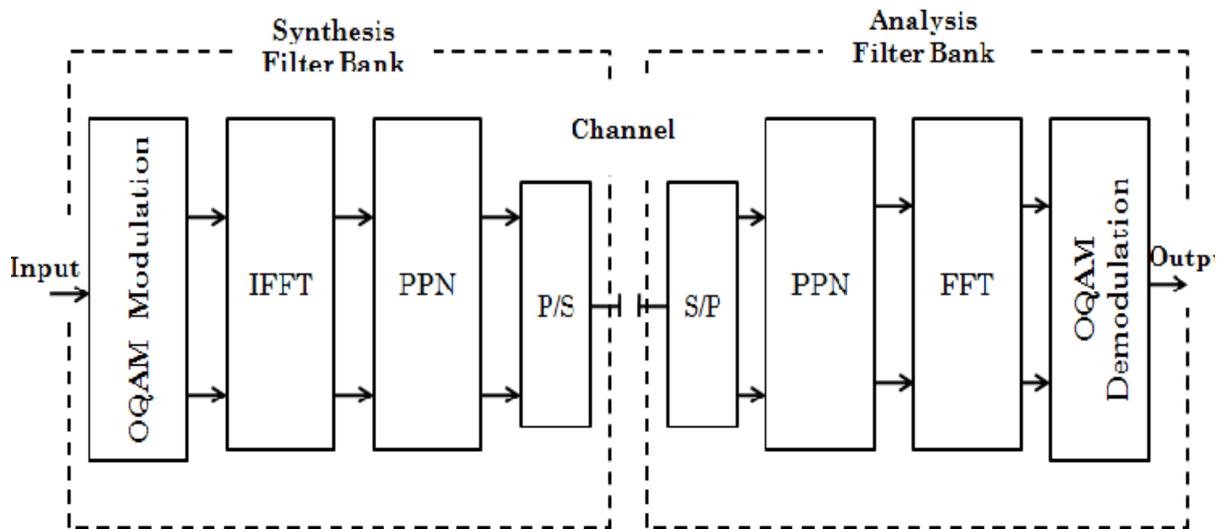


Fig.2. 5. Schéma représente modulation FBMC

### 2.3.3 Modulation UFMC :

Le système Universal Filtered Multi Carrier (UFMC) met en évidence les avantages d'une nouvelle méthode de modulation pour les systèmes de communication sans fil de cinquième génération (5G) émergents. En conséquence, d'autres schémas d'accès multiple sont à l'étude.

Le moyen de surmonter les limites connues de l'OFDM est la technique UFMC. Cependant, ces avantages vont de pair avec une augmentation de la complexité au niveau de l'émetteur provoquée par la mise en œuvre d'un filtre et l'application d'une FFT pour chaque sous-bande, tandis qu'au niveau du récepteur, il est nécessaire de doubler la taille de la FFT mise en œuvre. Il faut ensuite trouver des solutions peu complexes. La forme d'onde UFMC et l'élagage FFT ont été largement étudiés récemment, mais séparément.

La technologie UFMC est une forme d'onde prometteuse de faible complexité qui fournit

Une propriété quasi orthogonale entre les sous-porteuses. De plus, il peut offrir de bien

Meilleures performances d'émission hors bande qu'un système de multiplexage par répartition

Orthogonale de la fréquence (OFDM).

UFMC promet d'être l'une des meilleures technologies candidates pour la prise en charge de

La couche physique du réseau mobile sans fil de prochaine génération. [15]

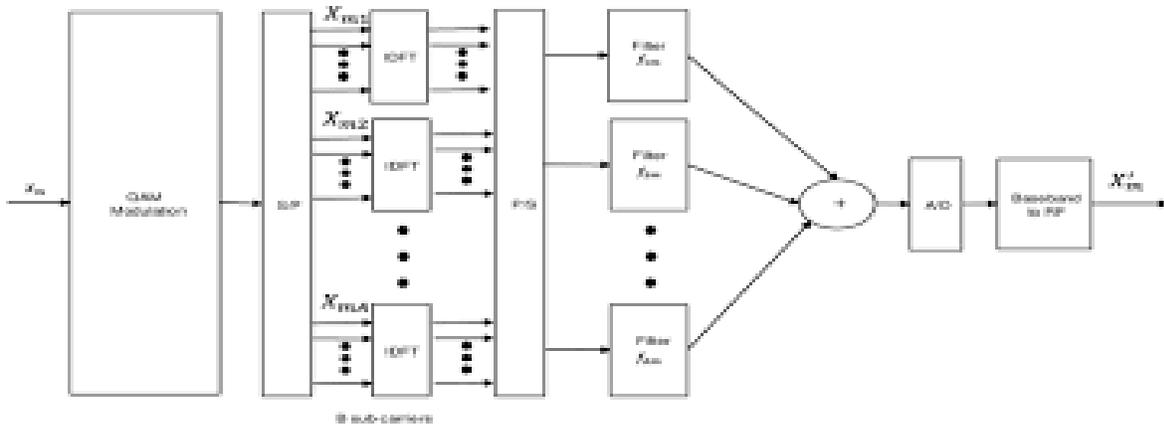


Fig.2. 6. Schéma représente modulation UFMC

### 2.3.4 Modulation GFDM :

Multiplexage par répartition en fréquence généralisé (GFDM) est un schéma multi-porteur non orthogonal qui fournit une mise en forme d'impulsion flexible. Ceci est attrayant pour divers des applications telles que les communications de machine à machine ou radio cognitive. La flexibilité supplémentaire est cependant échangée pour les interférences auto-crées qui dégradent les performances BER. Avec GFDM, nous proposons une généralisation de l'OFDM, qui introduit des degrés de liberté supplémentaires lors du choix des paramètres système. Le nouveau régime offre plus de flexibilité en ordonner les données dans un bloc temps-fréquence bidimensionnel structure, introduisant une mise en forme d'impulsion flexible pour l'individu sous-porteuses et potentiellement réduire la quantité de CP lorsque par rapport à la quantité de

données utiles, tout en fournissant des moyens pour une égalisation efficace en une seule pression de fréquence domaine. Une technique appelée morsure de queue est utilisée pour éliminer le besoin de périodes de garde supplémentaires qui seraient nécessaire dans un système conventionnel, afin de compenser filtrer les queues et empêcher le chevauchement des symboles suivants. [16]

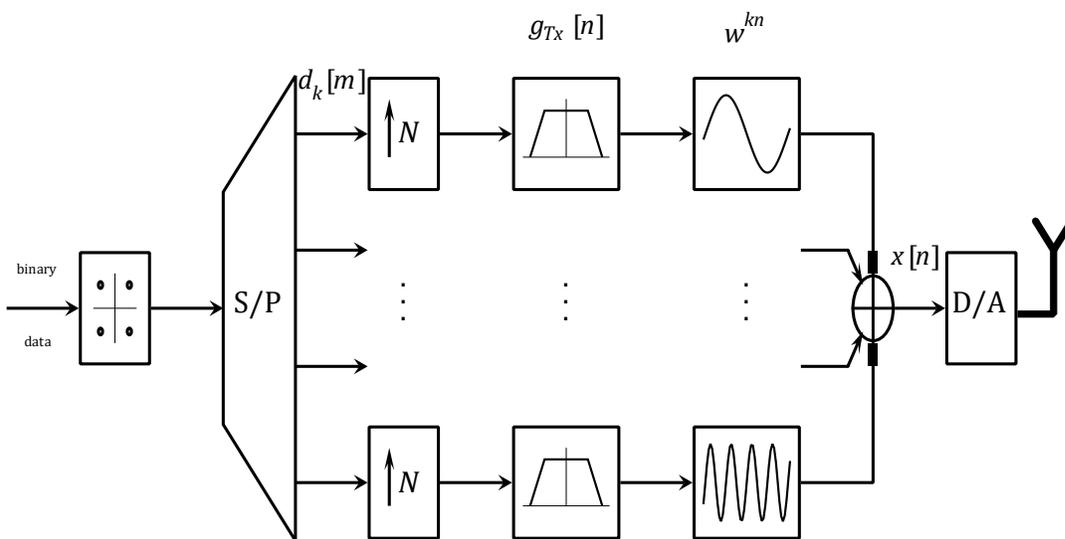


Fig.2. 7. Schéma représente modulation OFDM

## 2.4 L'avantage de L'OFDM :

L'efficacité de l'utilisation de la bande passante de fréquence et des évanouissements sélectif de forte capacité, et réduire la complexité Les techniques OFDM ont une très grande flexibilité dans l'allocation de bit/débit dans des contextes multi utilisateurs Utilisation optimale de la bande de fréquence allouée par orthogonal des porteuses ne nécessite pas d'égalisation mais une simple estimation périodique de la réponse du canal permet de s'affranchir des multi-trajets en liant les éléments statistiquement indépendants la multiplicité de la modulation est basée sur un

algorithme bien connu et peu complexe la FFT. [17]

## 2.5 Caractéristiques des canaux de transmission :

### 2.5.1 Les phénomènes liés aux canaux sans fil :

Un canal est un médium physique qui est utilisé pour la transmission d'un signal de la source vers la destination par le biais des ondes électromagnétiques. Quel que soit le mode de transmission, il y a toujours des phénomènes aléatoires non prévisibles qui affectent le signal transmis avant d'atteindre la réception, ces phénomènes constituent en générale des perturbations, tels que le bruit et les évanouissements.

Les ondes radio dans les systèmes de communications se propagent entre une station de base (BS) et une station mobile (MS) selon les trois mécanismes suivants : la réflexion sur les grandes surfaces lisses, la diffraction sur des arêtes aiguës et la diffusion sur des surfaces rugueuses. [18]

#### 2.5.1.1 Le bruit :

Le bruit est un signal parasite, aléatoire et indésirable qui est un signal utile. C'est l'un des problèmes de transmission les plus courants. Il est créé par les composants internes du système de communication et principalement par le biais du bloc radiofréquence. [19]

#### 2.5.1.2 Les évanouissements:

Le signal de l'antenne est réparti soit dans toutes les directions, soit dans un ensemble de directions très fines. Le signal émis est soumis à des réflexions, à la réfraction ou à la dispersion autour d'obstacles dans l'environnement de propagation entre la source et la destination. La perte de puissance rencontrée par une connexion sans fil est due à diverses raisons. Il existe deux types d'évanouissements, définis comme suit :

- **L'évanouissement à grande échelle :**

Représentent les atténuations de la puissance moyenne du signal résultant du mouvement sur de grands espaces. Il est défini par la loi suivante : [20]

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda c}{4\pi d} \right)^2 G_r G_t \quad (2.4)$$

**Avec :**

$P_t$  : est la puissance rayonnée émise.

$P_r$  : est la puissance reçue.

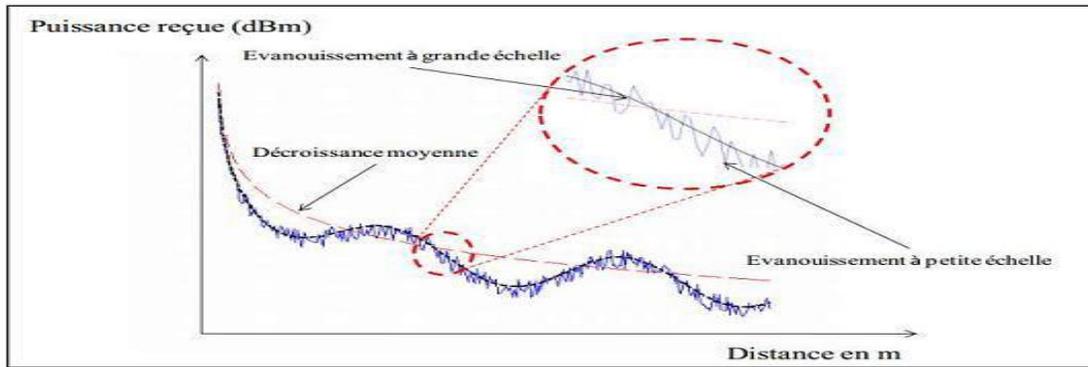
$\lambda c$  : est la longueur d'onde de la fréquence porteuse.

$G_t$  et  $G_r$  : sont les gains d'antennes de l'émetteur et du récepteur respectivement.

$d$  : est la distance entre les deux antennes d'émission et de réception

- **L'évanouissement à petite échelle :**

L'origine de ces phénomènes est liée à la présence d'objets de natures, de dimensions et de positions variables au sein du canal. Dans cette configuration, l'onde utilise pour se propager les phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction et diffusion. [21]



**Fig.2. 8.** Evanouissement à petite échèle et grande échèle.

### 2.5.2.3 Réfraction/ réflexion :

La réflexion survient lorsqu'une onde électromagnétique frappe une surface lisse de très grandes dimensions par rapport à sa longueur d'onde  $\lambda$  telle que les murs, les bâtiments, le sol. [22]

### 2.5.2.4 La diffraction :

Se produit lorsque l'onde rencontre un objet ayant des dimensions petites par rapport à la longueur d'onde et dont les caractéristiques physiques le rendent imperméable aux ondes électriques ou lorsque l'objet a des arêtes vives. [23]

### 2.5.2.5 La diffusion :

La diffusion apparaît s'il existe sur le trajet de l'onde un regroupement très dense d'objets de dimensions du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. La diffusion est le cas limite de la réflexion pour laquelle aucune direction privilégiée ne peut être identifiée. [24]

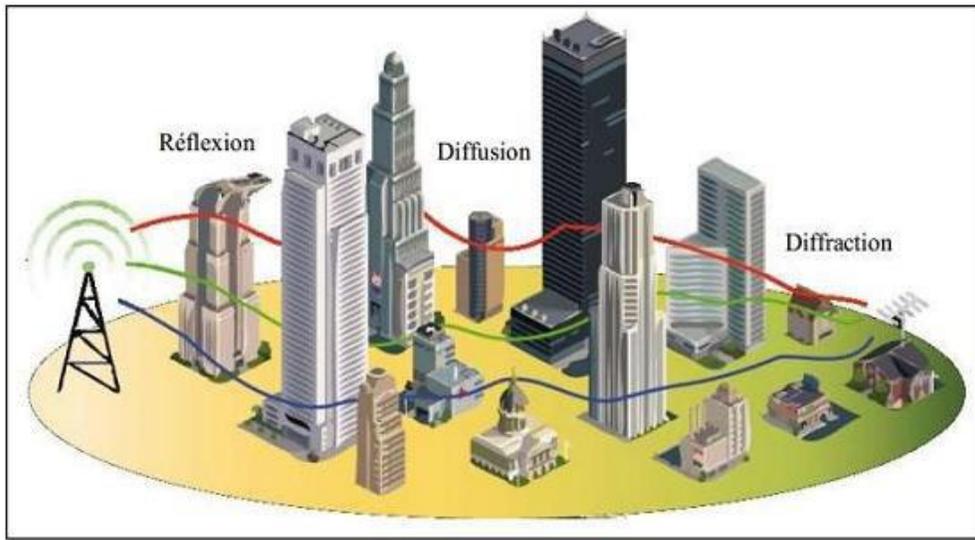
### 2.5.2.6 Les trajets multiples :

Nous avons vu que lors de la propagation d'une onde électromagnétique, celle-ci est sujette à un grand nombre d'interactions avec l'environnement. Multiples trajets qui provoquent des évanouissements Par contre, ces multiples trajets sont très utiles pour les conditions des canaux MIMO qu'ils exploitent pour obtenir de bonnes performances en termes de capacité. La relation entre le signal émis et reçu s'écrit : [25]

$$r(t) = \sum_{i=1}^n c_i s(t - \tau_i) + n(t) \quad (2.5)$$

Avec :

- $s(t)$  : le signal émis.
- $n(t)$  : un bruit additif.
- $r(t)$  : le signal reçu.
- $c_i$  : le gain complexe du trajet  $i$ .
- $\tau_i$  : le retard du trajet  $i$ .



**Fig.2. 9.** Le phénomène du trajet multiple

### 2.5.2.7 L'effet Doppler :

Il s'agit d'un phénomène créé par la mobilité d'un émetteur-récepteur ou d'un objet environnant qui se déplace à une certaine vitesse. [26]

. La valeur de ce décalage est obtenue par :

$$F_d = f_t(v/c)\cos(\theta) \quad (2.6)$$

Avec :

$v$  : la vitesse du mobile.

$f_t$  : la fréquence de travail.

$c$  : la célérité de la lumière.

$\theta$  : l'angle formé par la direction de la vecteur vitesse du mobile avec celui du vecteur de propagation de l'onde transmise.

## 2.6 Les modèles de canaux de transmission :

Il existe une plusieurs de model de canaux, Dans le cadre de notre projet de fin d'étude nous Intéressons aux model de canaux suivants :

### 2.6.1 Canal MIMO :

Canal MIMO est un système contient plusieurs émetteur et récepteur sont composés de plusieurs antennes. Pour un canal avec  $N_T$  antennes émettrices et  $N_R$  antennes réceptrices, le canal est représenté par une matrice complexe  $H$  traduisant la dimension spatiale. La relation entre les entrées  $X$  et les sorties  $Y$  du système MIMO alterné par un bruit  $B$ . la relation devient : [27]

$$Y = XH + B \quad (2.7)$$

La matrice  $H$  du canal MIMO, elle est définie par :

$$H = \begin{bmatrix} h_{00}(t, 2) & h_{01}(t, 2) & \dots & h_{0,N_t-1}(t, 2) \\ h_{10}(t, 2) & h_{11}(t, 2) & \dots & h_{1,N_t-1}(t, 2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_t-1,0}(t, 2) & h_{N_t-1,1}(t, 2) & \dots & h_{N_t-1,N_t-1}(t, 2) \end{bmatrix}. \quad (2.8)$$

**2.6.2 Canal de Rayleigh :**

L'évanouissement de Rayleigh est principalement due à la réception de propagation par trajets multiples. L'absence d'un chemin direct (LOS) entre l'émetteur et le récepteur provoque l'atténuation des objets dans l'environnement, la réflexion, réfraction et diffraction. Dans ce cas, le signal complexe, Reçu est constitué d'un grand nombre de trajets indirects (NLOS) ayant des amplitudes et Phases aléatoires, indépendants et uniformément distribués. L'enveloppe de ce signal suit une, Loi de Rayleigh définie par l'équation suivante : [28]

$$P_x(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)}. \quad (2.9)$$

$$E(x) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}.$$

$$Var(x) = \left(\frac{4 - \pi}{2}\right) \sigma^2. \quad (2.10)$$

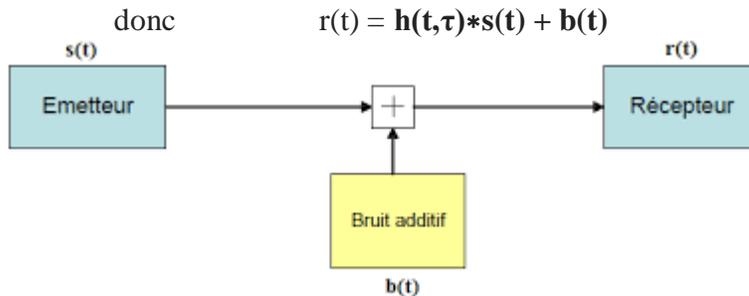


Fig.2. 10. Modelé d'un canal de Rayleigh

**2.6.3 Canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN) :**

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG, AWGN en anglais ‘ Additive White Gaussian Noise). Ce bruit modélise à la fois les bruits d'origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d'origine externe (bruit d'antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu'il représente une transmission quasi-parfaite de l'émetteur au récepteur. Le signal reçu s'écrit alors sous la forme : [29]

$$H(t)=A(\theta)+N(t) \dots\dots\dots(2.10)$$

Où,  $A()$  est le vecteur de la matrice et  $N(t)$  est AWGN avec densité spectrale de puissance moyenne et bilatérale nulle donnée par  $N_0/2$ .

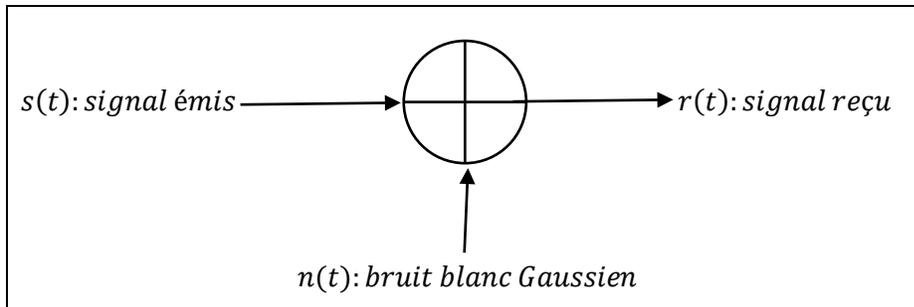


Fig.2. 11. Canal AWGN

#### 2.6.4 La distribution de Rice :

Se produit quand un trajet puissant existe en plus des trajets dispersés de puissance plus faible. Elle est définie à partir de deux paramètres, le premier paramètre c'est l'amplitude ou l'enveloppe, de la composante principale nommés et l'écart-type  $\sigma$ .

$$P_x(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2+s^2}{2\sigma^2}\right)} I_0\left(\frac{sx}{\sigma^2}\right). \quad (2.11)$$

Où  $x$  représente la fonction de Bessel modifiée de première espèce d'ordre 0.

$$E(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} |\sigma| L_{1/2}^2\left(-\frac{s^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.12)$$

$$\text{Var}(x) = s^2 + 2\sigma^2 - \frac{\pi\sigma^2}{2} L_{1/2}^2\left(-\frac{s^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.13)$$

Lorsque  $s$  tend vers 0, la composante forte est éliminée. Par conséquent, la distribution de Rice tend vers la distribution de Rayleigh ce qui en fait un cas particulier. [30]

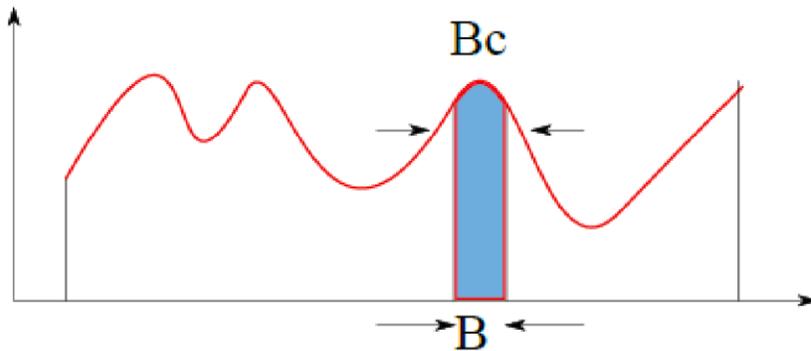
### 2.7 La sélectivité d'un canal de transmission :

L'idée de sélectivité de canal est relative et dépend de la bande passante du signal  $B$  et de l'étalement de la bande de cohérence du canal étalé  $B_c$  défini comme l'inverse du temps de retard de retard maximum  $T_M$ , en comparant le retard total des multiples trajets vus par le récepteur du signal transmis avec la période du symbole  $T_s$ , on peut classer les canaux En deux types. Le canal sélectif en fréquence et le canal non sélectif en fréquence. [31]

#### 2.7.1 Canal non sélectif en fréquence :

Fréquence de canal non optionnelle Cette fois, la plage du signal est très petite par rapport à la plage cohérente on dit que le canal n'est pas élu à la fréquence. Cela signifie que tout Les

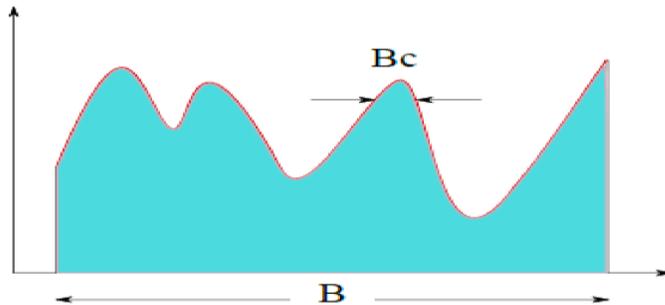
composantes spectrales du signal transmis sont affectées de la même manière par le canal. De plus, la nature de l'atténuation visuelle suppose différentes antennes de réception Indépendant et suit la distribution de la loi Rayleigh.



**Fig.2. 12.** Canal non sélectif en fréquence

### 2.7.2 Canal sélectif en fréquence :

Le canal serait sélectif pour la fréquence lorsque le signal transmis  $x(t)$  occupe une bande Fréquence supérieure à la plage de cohérence du canal de propagation. Dans ce cas, les composantes égales de la valeur  $(t)$  s sont séparées de la plage de cohérence.



**Fig.2. 13.** Canal sélectif en fréquence

## 2.8 Conclusion :

La modulation OFDM multi-porteuse, est démontrée comme une technique d'implémentation simple et capable de réduire les effets néfastes du canal sur le signal d'étalement. De plus, son association avec la technologie de transmission MIMO améliore les performances de liaison dans les réseaux sans fil.



**Chapitre 3**  
**Systemes MIMO Massifs basé**  
**sur OFDM**  
**Et méthodes de Beamforming**  
**Pour la 5G**

### 3.1 Introduction :

Nous avons donné dans le chapitre précédant les différentes canaux de transmission et sont caractéristiques , en plus de la modulation multi porteuses .Dans ce chapitre nous allons donner les objectifs de la cinquième génération concernant la transmission de l'information numérique à des débits plus élevés et pour une qualité de service de plus en plus exigeante ainsi pour la résolution de problème de limitation de capacité des réseaux par rapport à la bande passante où à la puissance d'émission. La 5G emploie un nouveau système de transmission qui est représenté par le MIMO Beamforming qui comporte deux technologies. MIMO Massif qui repose sur l'installation de plusieurs antennes soit à l'émission où à la réception et qu'offre une efficacité spectral plus élevée que celle des systèmes mono-antenne, ce système assure aussi une augmentation de la capacité du réseau ; Et grâce à l'association du Beamforming qui focalise presque la totalité de la puissance émise vers le récepteur concerné, ce système devient plus robuste aux évanouissements du canal de transmission en améliorant donc la qualité de transmission.

### 3.2 Architecture 5G :

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G (NR), et / ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport sous-jacents TCP / IP, qui prend en charge les fichiers QoS. [32]

- **L'accès radio 5G :**

L'accès sans fil 5G consiste en des stations de base de nouvelle génération qui forment le nœud d'une connexion de téléphone portable avec le réseau central 5G (5GC) Les téléphones portables UE communiquent avec les stations de base via une liaison radio 5G. La connexion est en 5G, appelée la station de base gNB, La fonctionnalité de la station de base gNB est très similaire à celle de l'entité eNB. Cependant, les différences concernent la gestion de la QoS. [33]

- **Le cœur réseau 5G (5GC). Core network(CN) :**

Représente La nouvelle interface entre RAN et CN est une interface logique point à point qui prendra en charge le contrôle et la séparation au niveau de l'utilisateur. Il doit être ouvert et résister au récepteur, et sera séparé dans les variantes possibles du déploiement RAN. Cette interface est utilisée pour gérer le contexte d'équipement utilisateur entre les réseaux centraux, les réseaux d'accès et le transport de messages NAS. L'objectif est que la nouvelle interface permette le développement indépendant des réseaux centraux et des réseaux d'accès et permette la fonctionnalité CN radioactive. Les mêmes principes sont également suivis dans la version, où les nouveaux nœuds RAN sont appelés Gigabit NodeB (gNB) et liés aux eNB. Ces nœuds utilisent l'interface de nouvelle génération (NG) pour se connecter aux fonctions CN, telles que les fonctions de gestion de session AMF et UPF et SMF1. GNB a des fonctions similaires à celles des ajustements appropriés requis en raison de l'introduction de nouvelles fonctions CN. Une représentation graphique comme suit : [34]

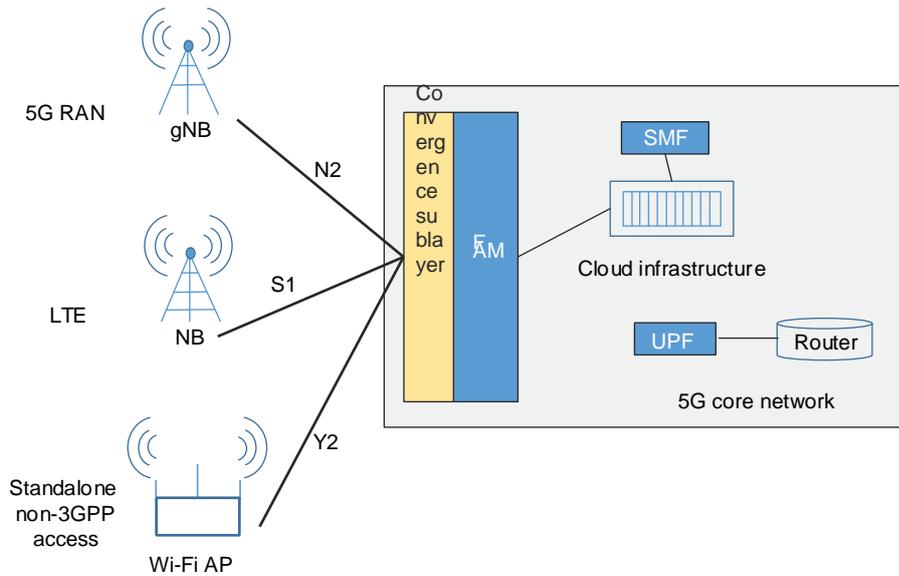


Fig.3. 1. Architecture du 5G.

### 3.2.1 MIMO-MASSIVE le candidat de 5G :

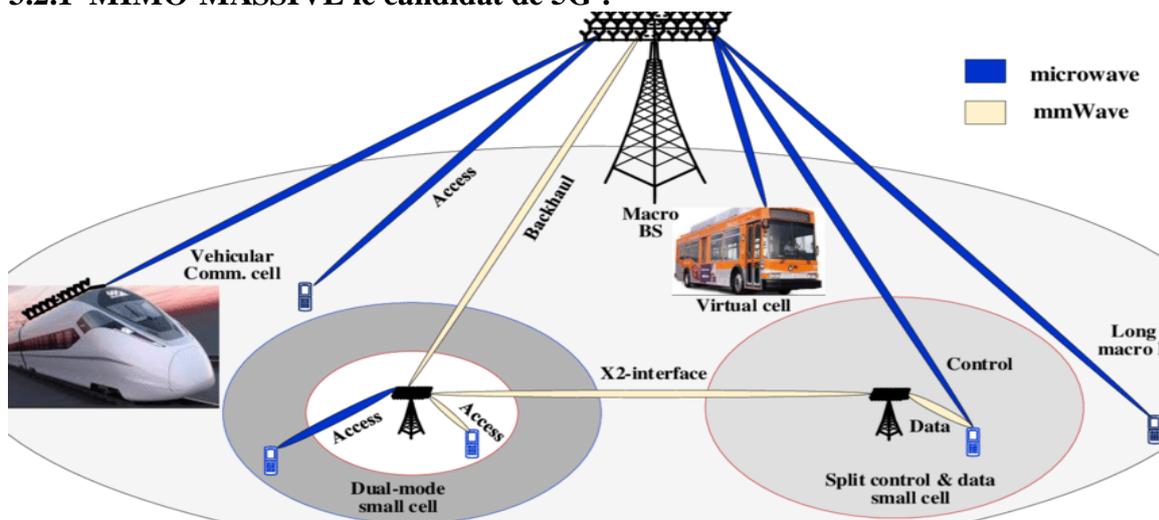


Fig.3. 2. Schéma représente 5G avec le MIMO massive.

Une architecture candidate pour le réseau 5G massif basé sur MIMO mmWave est illustrée à la figure. L'architecture est un réseau cellulaire HetNet à plusieurs niveaux composé de la microcellule et de la petite cellule, BS, tous avec MIMO,  $\mu$ Wave et mmWave massifs capacités de communication. Il présente plusieurs scénarios qui font l'objet de recherches en cours pour atteindre les objectifs de la 5G. Certains de ces scénarios sont mis en évidence comme suit:

- Fractionner le cadre de contrôle et de plan de données où les signaux de commande sont gérés par le  $\mu$ Wave longue portée massive MIMO Microcell BS (pour une mobilité efficace et autres signaux de commande) pendant que les signaux de données sont manipulés par les petites cellules massives MIMO mmWave pour une capacité élevée.
- Petites cellules à proximité des utilisateurs sont servies par des liens d'accès mmWave tandis que les utilisateurs plus éloignés sont servis à la fréquence  $\mu$ Wave bande, servant ainsi de cellule dynamique et émulant le concept de «respiration cellulaire» des anciens réseaux.
- Communication véhiculaire où la macro cellule  $\mu$ Wave Les BS sert les utilisateurs à longue portée et très mobiles.

• Cellules virtuelles dans lesquelles un utilisateur, en particulier un utilisateur en périphérie de cellule, choisit son BS de desserte sans être contraint d'être servi uniquement par la BS la plus proche comme dans l'ancien utilisateur approche d'association et de transfert basée sur la couverture zone.

Cette architecture met donc en évidence de nombreux opportunités en termes de scénarios possibles, de cas d'utilisation et applications. Certaines de ces possibilités ont été envisagées Dernièrement pour les systèmes hérités. Cependant, le mmWave massif Les réseaux 5G basés sur MIMO présentent un plus grand potentiel de réalisation leur.[35]

### 3.2.2 Avantages de 5G :

- Efficacité spectrale de pointe, définie comme le débit de données maximal dans des conditions idéales normalisées par la bande passante du canal,
- une amélioration des capacités de connectivité avec beaucoup plus d'utilisateurs qui pourront se connecter en même temps, tout en conservant une connexion de qualité.
- de réduction en utilisation énergie du réseau, jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie.
- l'amélioration de la vitesse de transmission des données et meilleurs débit, la vitesse de transmission des données est double par rapport à les autres générations.

### 3.2.3 Domaine d'application du 5G :

- **Ville intelligente :**

L'idée principale derrière le concept de Smart City est d'exploiter la communication sans fil des appareils mMTC et IoT, pour améliorer la qualité globale de la vie urbaine. Cette amélioration peut se manifester de diverses manières, par exemple, par une utilisation plus efficace des services publics, une meilleure santé et des réseaux sociaux. soins, ou encore des transports publics plus rapides



Fig.3. 3. Ville intelligente.

- **Télémédecine :**

Il existe déjà des applications de télémédecine qui ont permis de faciliter l'accès aux soins pour un grand nombre de patients, par exemple, il est possible de mener une première consultation en ligne et d'obtenir des médicaments prescrits. Dans les interventions et opérations très complexes, il est en effet possible de faire appel à des experts qui ne sont pas au même endroit que le médecin traitant. La procédure en question peut être diffusée en direct et le spécialiste des contacts en ligne peut fournir de précieux conseils à un médecin., Afin d'améliorer l'accès aux soins de santé pour tous et de sauver des vies.



**Fig.3. 4.** Domaine de médecine.

- **Automatisation de l'industrie :**

Il indique les usines du futur. Comprend des connexions directes d'appareil à appareil (D2D) entre les machines ainsi que point d'accès aux connexions des machines.

Services en usine dont les exigences dépendent de la CPU spécifique la gamme en termes de Latence, qui nécessite une très grande fiabilité dans tous les cas. [36]



Fig.3. 5. Domaine d'automatisation de l'industrie.

### 3.2.4 Grande bande passante et réseaux d'antennes :

Les avantages du de réseaux 5G déploiement dans les ondes millimétrique (mmWave )réside dans la grande bande passante qu'ils peuvent économiser en même temps, les bandes millimétrique entraînent également une perte de propagation importante qui nécessite une vaste

Gamme de réseaux d'antennes de grande taille pour compenser.

Le principal effet des grandes bandes passantes et des réseaux d'antennes de grande taille est qu'ils offrent une précision plus fine à la fois dans les champs temporels et spatiaux,[37]

### 3.3 Caractéristiques du système MIMO Massif :

#### 3.3.1 Petit cellule :

Un dispositif qui fournit une augmentation de l'efficacité spectrale de la région d'une part, et d'autre part, en réduisant la taille de la cellule car il fournit une diminution du nombre d'utilisateurs par cellule en raison du rétrécissement des cellules davantage par utilisateur.Cette cellule se caractérise par la présence d'un petit rayon, offrant ainsi une grande vitesse à ses utilisateurs. Nous parlons également de dumping de données lorsque le transfert d'informations est défini sur la petite cellule plutôt que sur la cellule totale. L'intensité desréseaux s'adapte parfaitement à ces petites cellules.

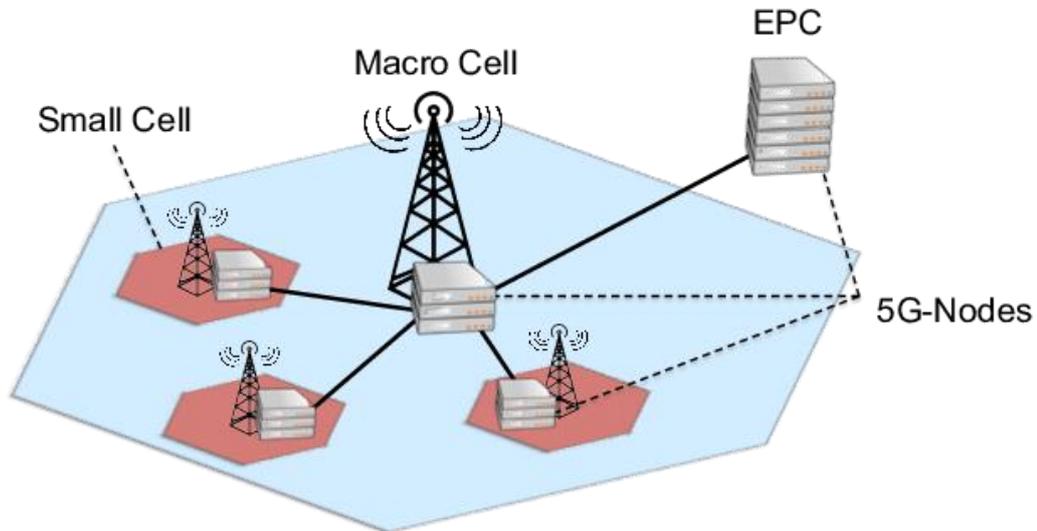


Fig.3. 6. Les petites cellules

### 3.3.2 Ondes millimétriques (mmWave) :

Les ondes millimétriques sont des ondes radio couvrant les fréquences de 6 à 300 GHz. Utilisé pour la couverture extérieure de réseaux denses tels que la portée jusqu'à 200 à 300 mètres, et chaque cellule aura une couverture réduite, ce qui nécessite la mise en œuvre de techniques de "formation de faisceaux"[38]

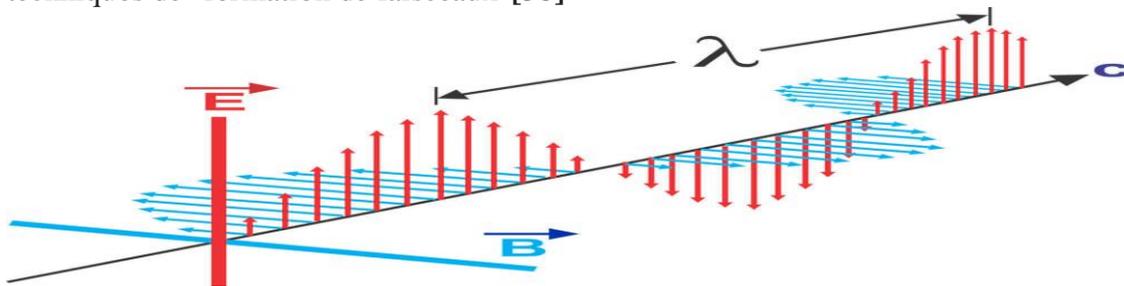


Fig.3. 7. Les ondes millimétriques

### 3.4 Antennes et propagation :

Une antenne sert d'interface entre une onde guidée et une onde en espace libre. L'une des caractéristiques les plus importantes d'une antenne est sa propriété directionnelle, c'est-à-dire sa capacité à concentrer la puissance rayonnée dans une certaine direction ou à recevoir la puissance d'une direction préférée. La propriété directionnelle d'une antenne est caractérisée en termes de motif qui s'applique à l'antenne en tant qu'émetteur ou en tant que récepteur en voir Antennes intelligentes basées sur les réseaux d'antennes (linéaires, planaires, circulaires...) qui offrent la combinaison dynamiques les différents signaux et l'optimisation des bilans de liaison ; plus la possibilité de les orientés vers des directions privilégiées selon la direction de mouvement du mobile pendant la communication pour but de limiter les interférences avec les signaux voisins. [39]

### 3.4.1 Antennes intelligentes :

L'importance de ce système est une réaction automatique à sa capacité, en temps réel, à Modulation du canal de propagation, elle réduit les niveaux des lobes latéraux Il est situé dans la direction de chevauchement, tout en gardant le lobe principal dans une direction utile Ces systèmes reposent généralement sur une combinaison d'antennes et d'un processeur de réception adaptatif Les éléments de pesée en temps réel. Ces systèmes dépendent du réseau et des antennes du processeur Un récepteur adaptatif en temps réel qui attribue des poids aux éléments d'antenne de ce réseau Améliorer le signal de sortie selon des algorithmes de contrôle prédéfinis. Il existe deux types de systèmes des antennes intelligentes, Systèmes d'antennes à faisceaux commutés SBA, Antennes adaptatives Les deux types de systèmes permettent d'augmenter le gain en fonction de la localisation de l'utilisateur.



Fig.3. 8. Antennes intelligentes.

$$s(t) = m(t) \cos(\omega_p t + \phi) \quad (3.1)$$

$s(t)$  signal reçu

$m(t)$  constitue l'enveloppe du signal modulé et contient toute les informations. De façon à ne pas faire apparaître la fréquence porteuse.

L'enveloppe complexe est définie par l'équation :

$$s(t) = \Re\{s(t) \exp(j\omega_p t)\} \quad (3.2)$$

#### 3.4.1.1 Systèmes d'antennes à faisceau SBA :

C'est un système composé de plusieurs symtômes fixes d'une grande sensibilité Directions spécifiques Le système à faisceau commuté est constitué d'un réseau d'antennes associé à une formation de réseau Faisceau.

#### 3.4.1.2 Antennes adaptatives :

Les antennes adaptatives peuvent être définies comme des antennes réseau avec traitement Un signal qui peut ajuster dynamiquement son diagramme de rayonnement pour s'adapter au bruit ,Se chevauchent et se répartissent sur plusieurs chemins. Il est utilisé pour améliorer la relation[40] :

Signal / bruit + interférence (SINR) à la réception.

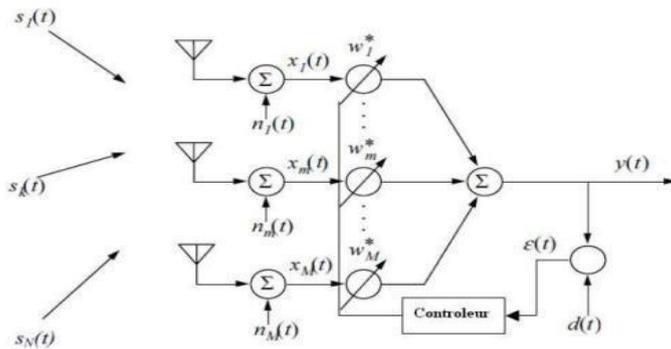


Fig.3. 9. Schéma des antennes adaptatives

Le signal de sortie de système s'écrit comme suit :

$$Y(t) = [W_1, W_2, \dots, W_n] \cdot \begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ \vdots \\ X_N(t) \end{bmatrix} = W^H(t) \cdot X(t). \quad (3-3)$$

Le signal sur le nème élément est où « e » le diagramme élémentaire :

$$Y(t) = \sum_{n=1}^N e W_n \exp [j(\omega t + (2\pi d(n-1)/n) \sin\theta_s)]. \quad (3-4)$$

$$X_n(t) = e \cdot \exp [j(\omega t + \varphi_n)].$$

$$\varphi_n = [2\pi d(n-1)/n] \sin\theta_s.$$

Avec:

### 3.5 Formation de faisceaux et couverture mobile 5G :

Avec l'augmentation de la fréquence porteuse, la taille physique d'un élément d'antenne peut être réduite en raison de la diminution de la longueur d'onde. Par conséquent, en conservant la taille de l'antenne, le nombre d'antennes

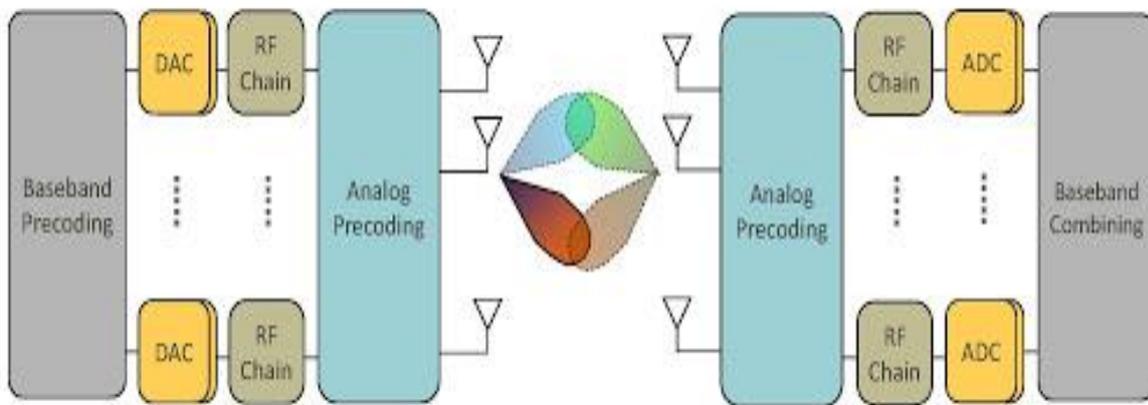
Les éléments peuvent être augmentés, résultant en un gain de formation de faisceau plus élevé. Cependant, comme la perte de propagation augmente également sur la fréquence, il n'est pas évident que le gain de formation de faisceau soit suffisant pour compenser la perte de propagation. En théorie, la relation entre le gain de puissance G (gain) d'une antenne, la surface effective d'antenne A et la longueur d'onde  $\lambda$  est :

La longueur d'onde étant inversement proportionnelle à la fréquence porteuse, le gain d'antenne en dB croît sur la fréquence f selon la formule suivante lorsque (A) est fixe:

le gain d'antenne augmente logarithmiquement avec la fréquence porteuse lorsque la taille de l'antenne reste inchangée. Cependant, les principaux composants de propagation dépendants de la fréquence dans les scénarios extérieurs à intérieur peuvent augmenter plus rapidement sur la fréquence que le gain d'antenne. il est indiqué que la perte de pénétration du bâtiment en décibels (dB) augmente linéairement sur la fréquence.

**3.5.1 Formation de faisceau hybride (HYBERD BEMFORMING) :**

Modification du faisceau hybride en raison du grand nombre d'antennes dans les réseaux d'émetteurs et de récepteurs nécessaires pour permettre la communication mmW et alimenter chaque antenne vers une chaîne d'émetteur et de récepteur radiofréquence (RF) distincte avec un transformateur de haute précision, ce qui impose des exigences aux CNA de l'émetteur et aux convertisseurs numériques analogiques (ADC) du récepteur Pour travailler à une fréquence d'échantillonnage élevée. L'architecture de modulation de faisceau hybride utilisant moins de chaînes de radiofréquences, et les convertisseurs ultérieurs, a reçu beaucoup d'attention en tant que solution particulièrement prometteuse pour les scénarios mmWave, avec une modulation de faisceau hybride, le nombre de canaux RF NRF est inférieur au nombre d'antennes dans le réseau, en divisant le processus de formation de faisceau Entre le champ RF analogique et la bande de base numérique, au détriment des degrés de liberté inférieurs pour le traitement numérique de la bande de base,[41]



**Fig.3. 10.** Schéma de formation faisceaux hybride.

**3.6 Pré codage hybride :**

Dans un système MIMO massif avec plus de 100 antennes appliquées à la station de base, il est presque impossible d'obtenir ce nombre de canaux RF en raison du coût élevé et de la consommation d'énergie excessive. Plus précisément, lorsque la bande passante de transmission est très grande, la consommation d'énergie des convertisseurs ADC sera très élevée. Ainsi, l'utilisation d'un grand nombre de chaînes radiofréquences en parallèle semble plus compliquée. Pour résoudre ce problème, des systèmes dits hybrides ont vu le jour et ont été identifiés comme des solutions adaptées pour contourner ces difficultés. Les technologies hybrides visent à réduire le nombre de chaînes de radiofréquences, réduisant ainsi la complexité de conception, tout en conservant le même grand nombre d'antennes nécessaires pour obtenir un gain de formation de faisceau élevé.[42]

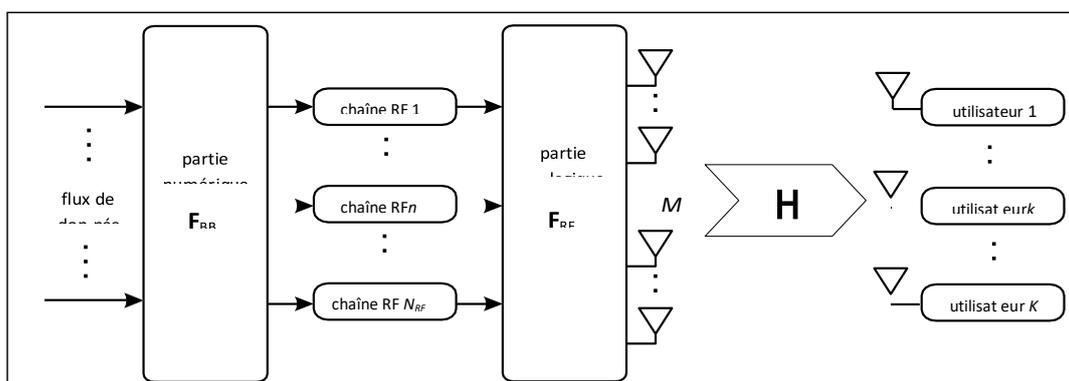


Fig.3. 11. Les techniques hybrides.

### 3.6.1 Zéro Forcing (ZF) (Forçage nul):

La technique de forçage à zéro est la technique de détection de MIMO Massifs, où la matrice de filtrage est construite en utilisant le critère basé sur la performance ZF.

Le ZF, illustré à la figure, est un pré codeur annulant les interférences inter-utilisateurs (interférences produites par une transmission MU-MIMO) et donc qui maximise le SIR

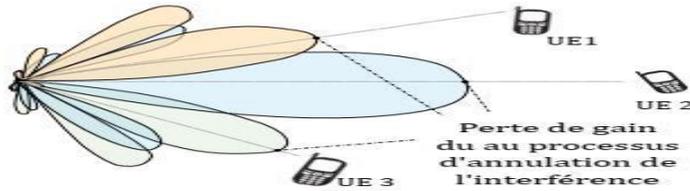


Fig.3.12.Forçage nul

Formelinéairedevenanttrèscomplexe,l'écriturematricielleestpréférablepourplusdelisibilité. Soit

$$W^{(ZF)} = H^H (HH^H)^{-1}. \quad (3.5)$$

Les expressions de la partie utile et la partie interférente liées au pré codage zéro forcing sont données par :

$$U_k^{(ZF)} = \sqrt{\eta \beta_k S_k}. \quad (3.6)$$

$$E \left[ |U_k^{(ZF)}|^2 \right] = \beta_k \frac{K}{M - K} \rightarrow_{M \gg N} \beta_k \frac{M}{K}. \quad (3.7)$$

$$Si \ (HH^H)^{-1}, \quad \textit{inversible} \quad (3.8)$$

$$SNR_k^{(u)} = \frac{E[|S_k|^2]}{E[T_r(W_u^H W_u)] \sigma^2}. \quad (3.9)$$

L'estimation du signal x est donnée par :

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{ZF} &= W_{ZF} Y, \\ &= X + (H^H H)^{-1} H^H Z, \\ &= X + \tilde{Z}_{ZF}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Bien que très performant, la complexité apportée par l'inversion matricielle (HH) est élevée et croît avec M. Le ZF permet donc bien d'annuler les interférences et cela au détriment du gain de beamforming qui est d'autant plus faible qu'il y a d'interférences à annuler.[43]

### 3.6.2 Formation de faisceaux coordonnée ( Coordinated Beamforming) :

Cette technique, illustrée à la figure si décus, permet à travers cette communication intercellulaire, la modification du diagramme de rayonnement de chaque station de base pour créer un nul de rayonnement vers l'utilisateur profitant des mêmes ressources (temporelles/fréquentielles) dans la/les cellule(s) adjacente(s), tout en offrant un maximum de rayonnement vers l'utilisateur cible.[44]

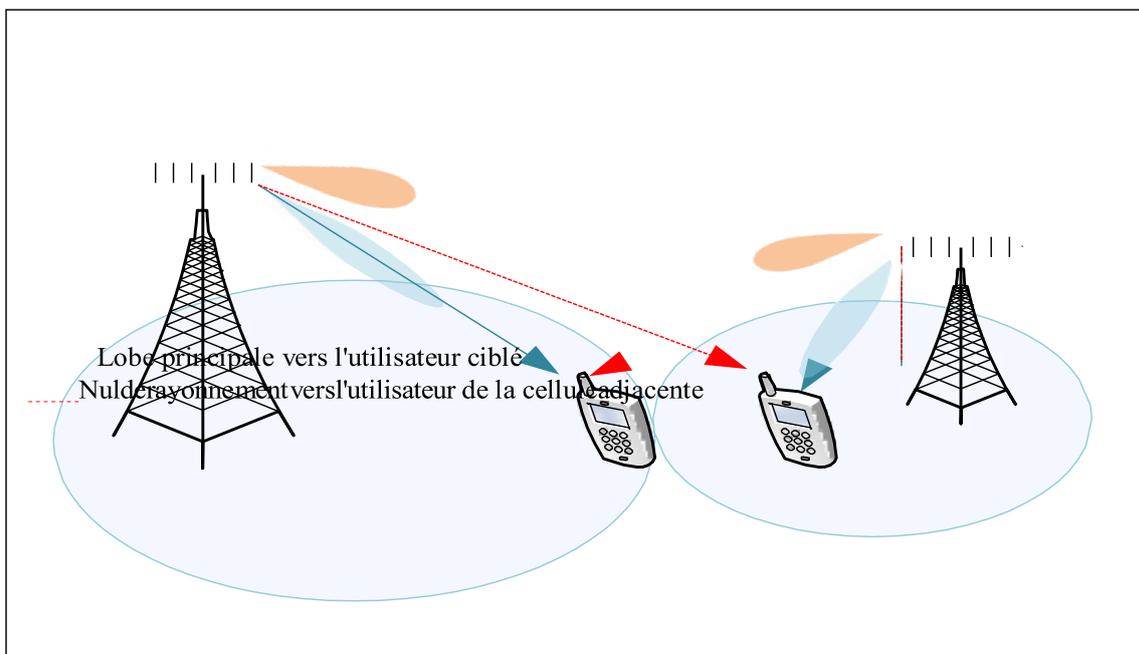


Fig.3. 13 Formation de faisceaux coordonnés

### 3.7 Combinaison entre MIMO massif et formation faisceaux :

Un système MIMO, c'est un système comprenant un grand nombre d'antennes, ce nombre d'antennes aide à augmenter le débit de données et l'efficacité du spectre d'antennes, et le spectre d'ondes millimétriques à haute capacité sont des synonymes de 5G. Mais au-delà des antennes et du spectre, des techniques de traitement du signal avancées telles que la formation de faisceaux sont essentielles à la fourniture de la 5G. L'objectif de la technologie de formation de faisceaux est une technologie associée à un dispositif d'antenne réseau, des travaux de formation de faisceaux sur la combinaison des signaux d'un ensemble de sources élémentaires, permet de former un ou plusieurs diagrammes de

rayonnement. Beamforming est une technique de traitement des signaux utilisés pour les systèmes de transmission sans fil haut débit.[45]

### 3.8 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons vu que nous avons introduit un système multi-MIMO massif qui s'adapte mieux à l'environnement NLOS et fonctionne bien dans un environnement multi-chemins, et nous avons révélé les différentes architectures telles que les technologies spatiales qui permettent de maximiser la capacité du système, puis nous voyons son antenne intelligente qui sont des critères Nous avons énuméré les différentes technologies de formation de faisceaux qui constituent l'une des applications possibles des antennes intelligentes.

Enfin, nous avons vu la relation entre Massive MIMO et Beamforming pour maximiser le rapport signal sur bruit ainsi que le gain d'émission et de réception, afin de démontrer la limitation du système de multiplexage d'antenne à grande vitesse.

**Chapitre 4**  
**Simulation et interprétation**  
**Des résultats**

### 4.1 Introduction :

Dans Ce chapitre est consacré aux résultats obtenus lors de nos simulations, Nous proposons dans le cadre de cette simulation, l'utilisation du langage Matlab, c'est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The Math Works, 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 allons faire des simulations sous l'environnement MATLAB pour comparer les performances des systèmes MIMO massif et MIMO comparer la variation des antennes et Clarifier le rôle de beamforming avec les canaux de transmission et faire comparaison entre la modulation OFDM et FBMC.

### 4.2 Définition des performances :

#### 4.2.1. Le taux d'erreur binaire (BER) :

Est un paramètre reconstitue le paramètre primaire décrivant la qualité de la transmission numérique. Il se définit comme le rapport entre les bits erronés et le nombre total de bits reçus. Ce taux détermine le nombre d'erreurs apparues avant la modulation et juste après la démodulation s'exprime en puissance négative il augmente à cause des perturbations : pointage incorrect d'une antenne, longueur de canal. On exprime comme suit :

$$\text{BER} = \text{Nombre de bit erronés} / \text{Nombre bits total} \dots\dots\dots (4.1)$$

#### 4.2.2 Rapport signal sur bruit (SNR) :

Ce terme fait référence au signal démodulé perçu après le processus de démodulation. Le bruit total est celui extrait du réseau de transmission plus le bruit intégré au signal de modulation sous la forme de bruit d'amplitude, de bruit phase et d'interférence inter symboles ainsi que d'autres dégradations de la modulation

$$S/N(\text{dB}) = 10 \text{ Log}(P_s/P_n) \dots\dots\dots (4.2)$$

Avec :

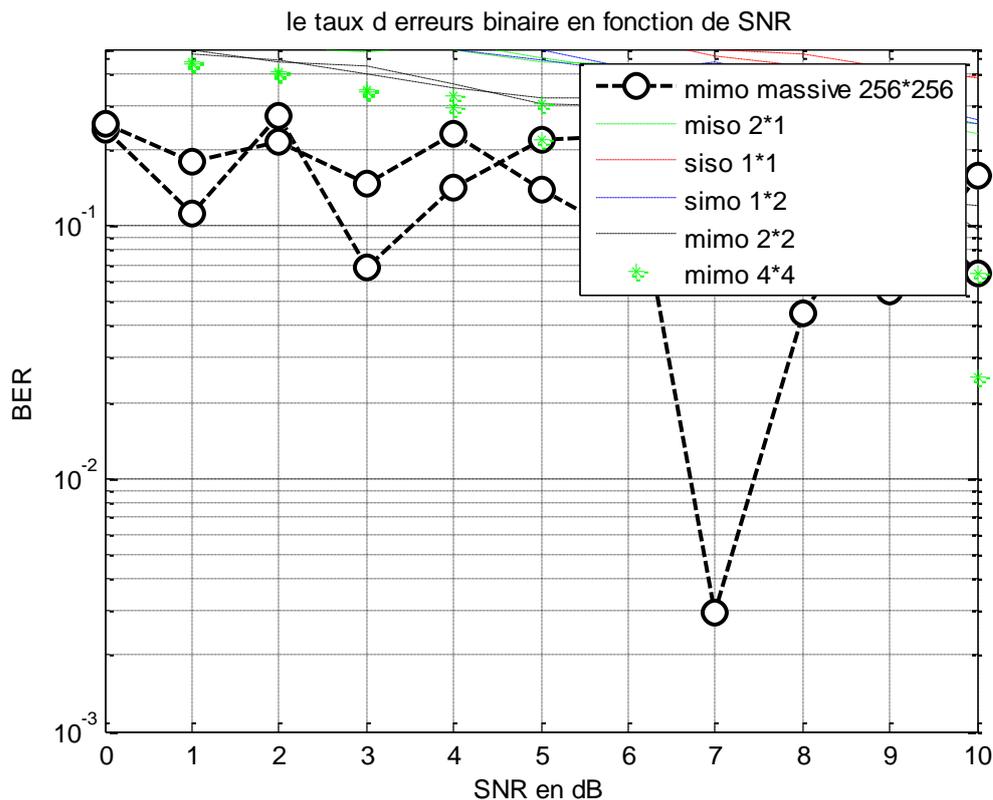
$P_s$ : la puissance du signal en watt

$P_n$  : la puissance du bruit en watt

### 4.3 Simulations et discussion des résultats :

#### 4.3.1 Impact de la variation du nombre d'antennes dans système MIMO massifs et MIMO :

Les systèmes MIMO Massifs représentent une solution optimale pour la transmission à travers des réseaux 5G, ils donnent la possibilité d'achever l'efficacité spectrale désirée ainsi que l'efficacité énergétique et plus important la réponse à demandes croissantes des grands débits. Le MIMO Massif est un sujet d'actualité, dont nous présentons le minimum pour montrer l'intérêt de ce système. Afin de pouvoir simuler les performances de ses algorithmes de détection de deux types classique et avancé en termes de BER on fonction SNR. La figure (4.1) représente la détection du SNR en fonction de BER, en utilisent 256 antennes à l'émission et de réception dans les systèmes MIMO massive et 4 antennes émettrice et réceptrice dans les systèmes MIMO et vu les systèmes Siso, Simo, Miso .



**Fig.4. 1.** L'effet de changement type d'antenne MOMO/ MIMO Massive

Après le résultat nous concluons que :

Les systèmes MIMO massive sont plus efficaces car le BER diminue et le SNR plus élevé lorsque le nombre d'antennes augmente, ce qui implique l'importance des antennes intelligentes dans les 5 générations, par rapport aux autres systèmes.

#### 4.3.2 Effet de Formation de faisceaux ( Beamforming) dans un canal Rayleigh :

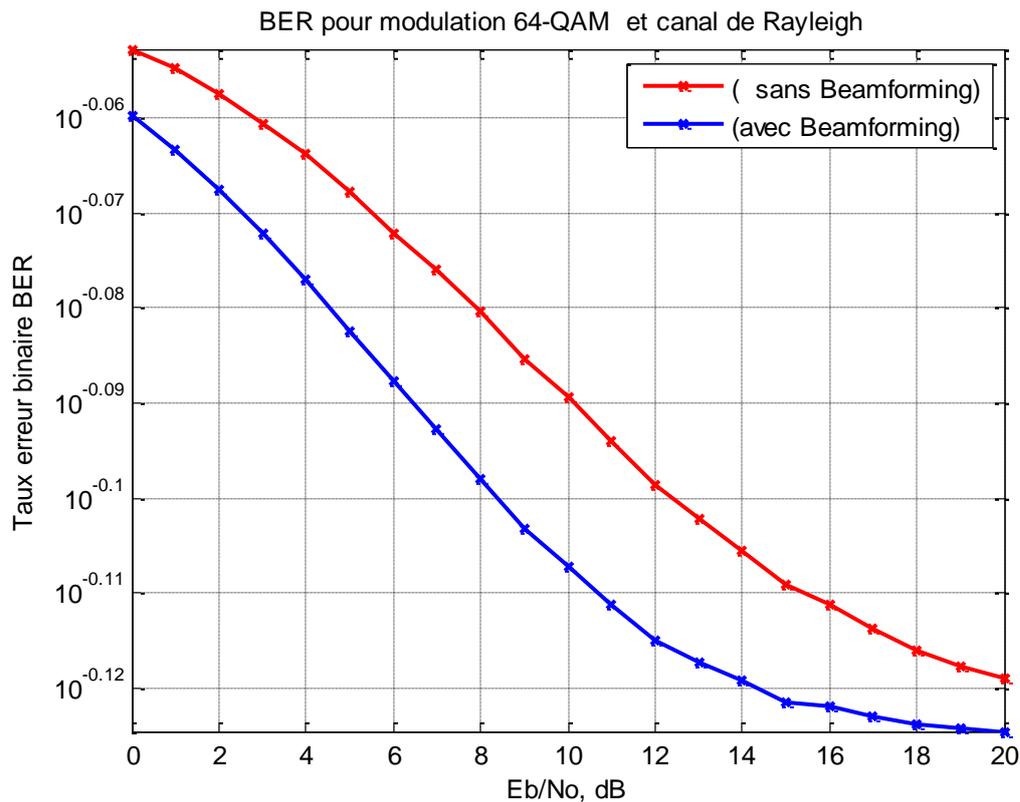
Le beamforming est une technique de filtrage spatial qui offre l'habileté de réduction des interférences. On va analyser et simuler la performance de cette technique en évaluant les résultats de simulation de transmission avec et sans beamforming, plus l'étude des différents paramètres qui affectent sa performance en termes de BER avec la variance de canaux de transmission et le rapport  $E_b/N_0$ .

##### ➤ Systèmes Mono-canal :

La figure (4.2) représente une transmission de  $10^6$  bits par une modulation 64-QAM sur un canal Rayleigh mono-antenne, sans beamforming et avec beamforming.

-Pour la transmission sans beamforming on remarque que le BER diminue lentement avec la progression de  $E_b/N_0$  jusqu'à atteindre son minimum  $10^{-11}$  à  $E_b/N_0 = 14$  dB.

Pour la transmission avec beamforming nous remarquons que la performance du canal est meilleure que la précédente par une réduction du BER très importante par rapport au premier, tel que le BER atteint une valeur de  $10^{-12}$  pour un  $E_b/N_0 = 14$  dB.



**Fig.4. 2.** La courbe de BER en fonction de Eb/N0 pour la modulation 64-QAM et canal de Rayleigh

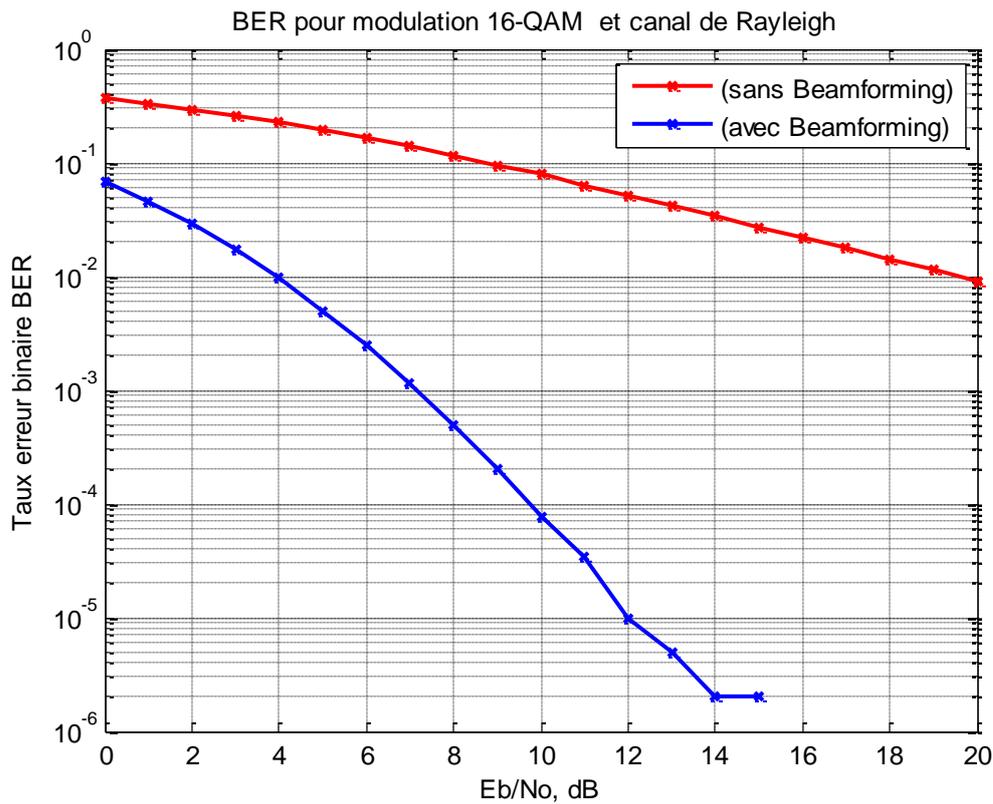
Après le résultat on conclure que La technique de beamforming diminue le BER et augmente le rapport Eb/N0 est plus importante pour la nouvelle technologie de transmission numérique parce que elle donne une bonne qualité et améliorer.

➤  **Systèmes Multicanal :**

La figure (4.3) représente une transmission de 10<sup>6</sup> bits par une modulation 16-QAM sur un canal Rayleigh Multi-antenne sans beamforming et avec elle et nous augmenter les nombres des canaux de transmission.

-Pour la transmission sans beamforming on remarque que le BER diminue lentement avec la progression du Eb/N0 jusqu'il atteinte son minimum 10<sup>-1.3</sup> a Eb/N0= 14 dB.

Pour la transmission avec beamforming nous remarquons que le performance du canal est mieux que le précédent par une réduction du BER très important par rapport au premier, tel que le BER atteinte une valeur de 10<sup>-6</sup> pour un Eb/N0 =14 dB.



**Fig.4. 3.** La courbe de BER en fonction de  $E_b/N_0$  pour la modulation 16-QAM et canal de Rayleigh

En conclure que si on va augmenter le nombre de canaux de transmission le BER sera diminué dans un system Multi-canal par rapport un system mono-canal car l'interférence et le bruit ils devaient minimal donc ont gagné un donnes sans erreur.

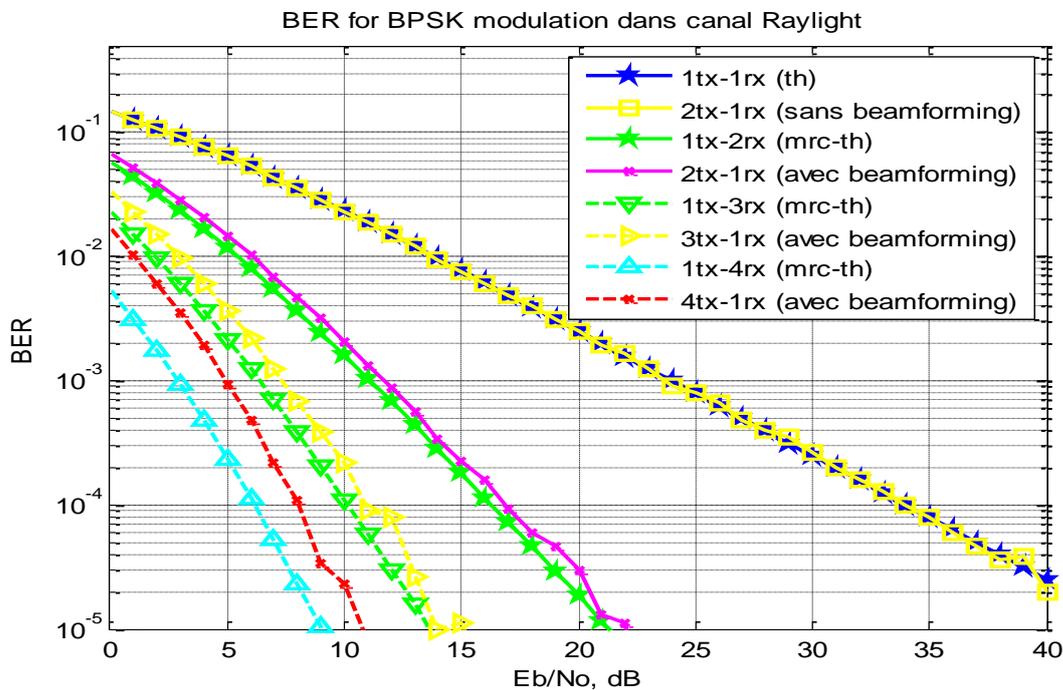
		Nbre de bit	de BER	$E_b/N_0$
Mono-canal	64-QAM	Avec beamforming	$10^6$	$10^{-12}$ 14
		Sans beamforming	$10^6$	$10^{-11}$ 14
Multi-canal	16-QAM	Avec beamforming	$10^6$	$10^{-6}$ 14
		Sans beamforming	$10^6$	$10^{-1.3}$ 14

**Tableau.4.1.** représente du paramètre du BER par rapport d' $E_b/N_0$  Dans différents nombre de canal et la beamforming

➤ Une transmission BPSK sur un canal Rayleigh multi-antennes

La figure (4.4) représente une transmission BPSK sur un canal Rayleigh multi-antennes, pour huit cas : -La première et la troisième et 5ème 7ème est la présentation théorique. La deuxième une transmission avec multi-antennes sans beamforming.

Le 4ème et 6ème 8ème une transmission avec multi-antennes en appliquant le beamforming.



**Fig.4.** Une transmission BPSK sur un canal Rayleigh multi-antennes

Nous remarquons dans les cas théorique que le nombre de canaux est diminué le BER dans ces cas avec l'augmentation de nombre de canaux 1rx-1tx BER=10-2.8 avec Eb/N0=20Db 1rx-2tx BER=10-4.8 avec Eb/N0=20dB, 1rx-3tx BER=0 avec Eb/N0=20dB, 1rx-4tx BER=0 avec Eb/N0=20dB (cas parfaite).

Mais dans un transmission avec multi-antennes sans beamforming et le même que le cas théorique 1rx-2tx BER=10-4.8 avec Eb/N0=20dB. rein changement sans technique beamforming.

Dans une transmission avec multi-antennes en appliquant le beamforming. 2rx-1tx BER=10-4.9 avec Eb/N0=20dB

3rx-1tx BER=0 avec Eb/N0=15dB, 4rx-1tx BER=10-5 avec Eb/N0=10dB

Donc après ces résultat nos constate que la technique beamforming est efficace dans système transmission multi canal développe .

#### 4.3.3 Simulation comparative enter modulation FBMC et OFDM :

Dans cette partie, nous présentons les résultats numériques illustrant la performance du la modulation FBMC et systèmes OFDM dans un canal AWGN avec M = 8 porteuses de transmission. On voir la différence entre la modulation OFDM et FBMC réside dans la propriété de la fuite spectrale.

➤ Pour modulation FBMC :

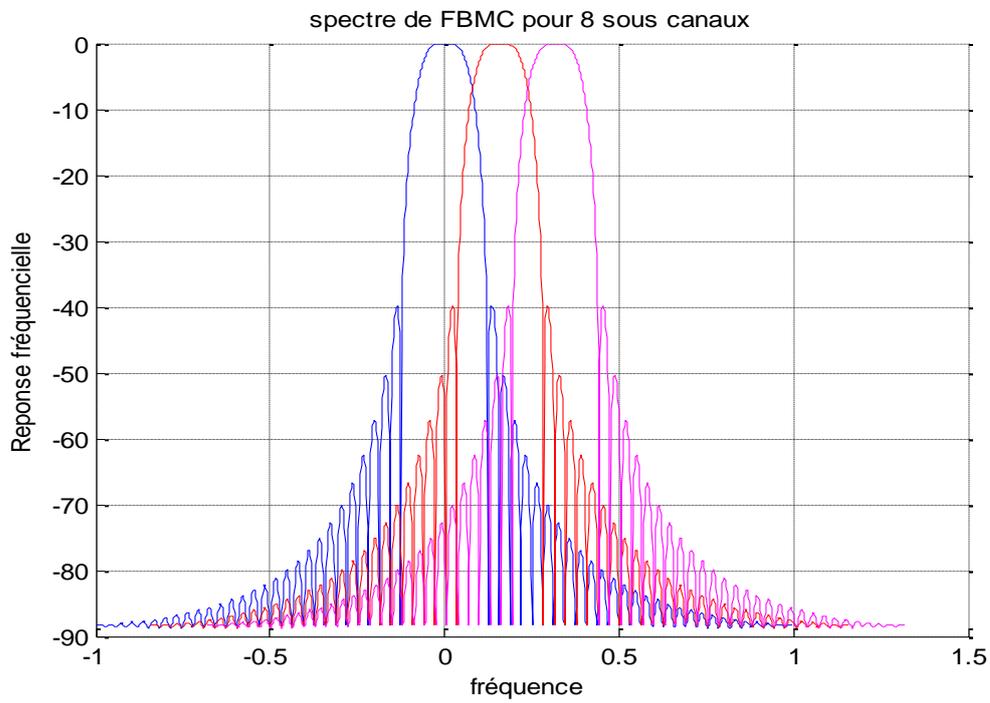


Fig.4. 5. Spectre de Modulation FBMC pour 8 sous canaux

➤ Pour modulation OFDM :

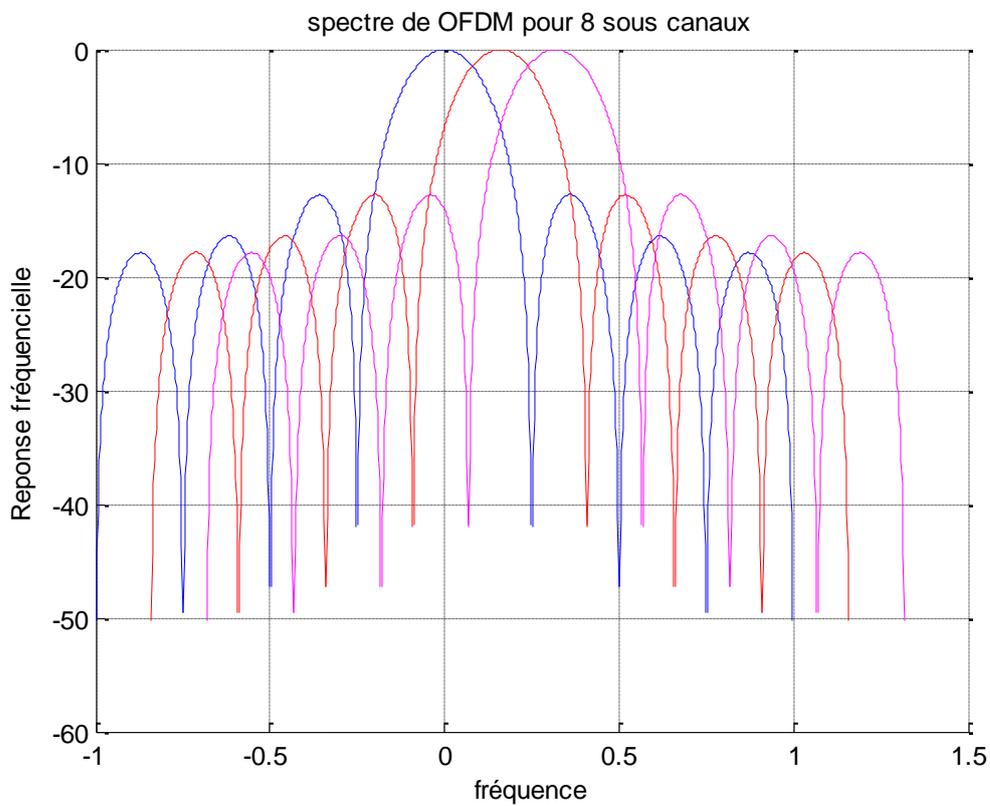


Fig.4. 6. Spectre de Modulation OFDM pour 8 sous canaux

### Commentaire :

Après la figure (4.6) Il peut être observé que la modulation OFDM possède des lobes latéraux importants, qui imposent des contraintes d'orthogonalité stricte pour toutes les sous-porteuses. Au contraire, la figure (4.5) pour la modulation FBMC a des lobes latéraux négligeables dans le domaine fréquentiel. Avec une fuite spectrale très limitée, une analyse spectrale de haute résolution et de faibles interférences sur les bandes de fréquences adjacentes peuvent être atteinte le spectre du FBMC est plus localiser que le spectre du OFDM au domaine fréquentiel et temporel Nous observons que la largeur des lobes latéraux du spectre OFDM est toujours supérieure à celle du spectre FBMC. L'OFDM utilise le préfixe cyclique (CP) ou un intervalle de garde (IG) avec un filtre rectangulaire en forme d'impulsion et un niveau très élevé des lobes latéraux entrainant une fuite de puissance entre les différentes sous-porteuses par contre la FBMC a une efficacité spectrale plus élevée car ils ne nécessitent pas de préfixe cyclique (CP). De plus ce système a des lobes latéraux spectraux plus faibles en raison de l'utilisation des filtres bien conçu.

## 4.4 Beamforming :

### 4.4.1 Critères de Beamforming :

La figure 4.7 nous renseigne sur les performances des critères de Beamforming. Etant donné son importance, cette simulation a été réalisée en envoyant quatre fois plus de bits que pour les autres simulations.

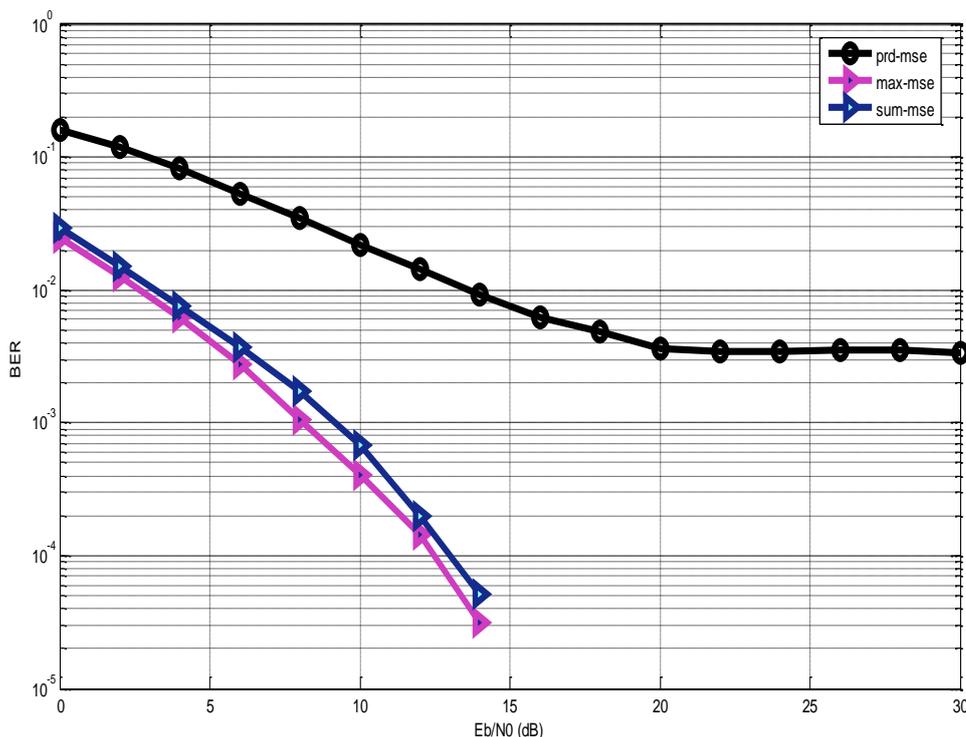


Fig.4.7 Performances des critères de Beamforming

### Observations :

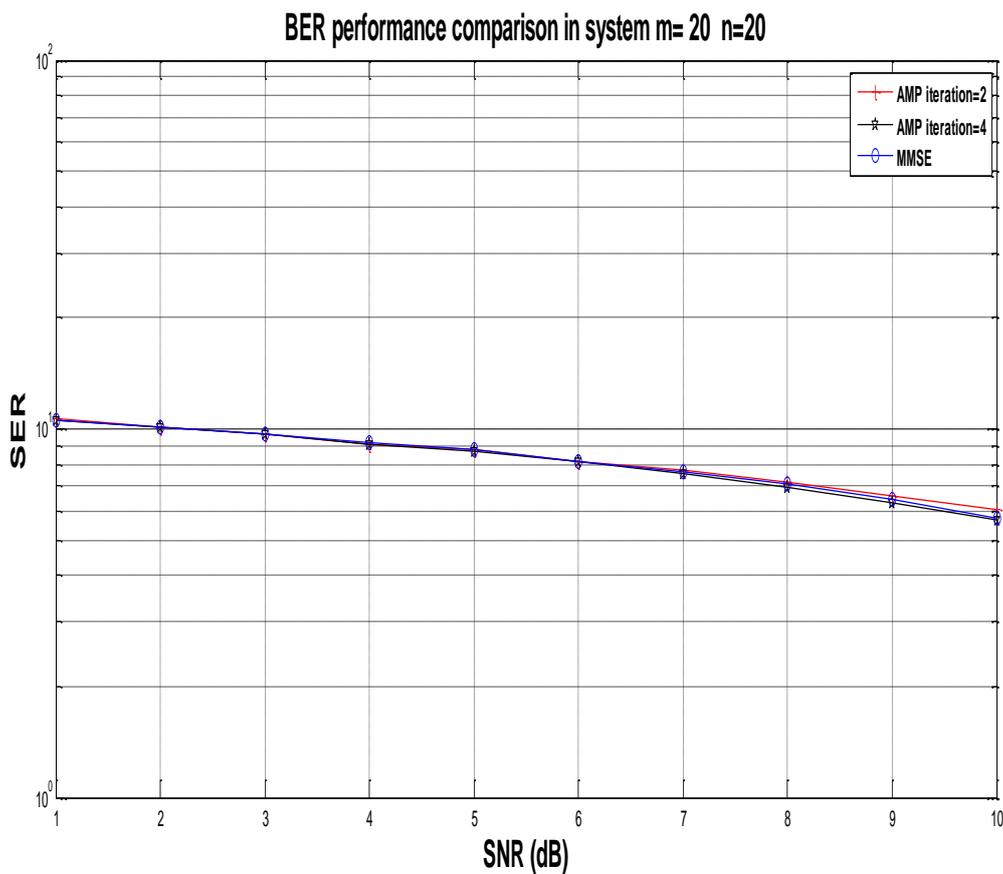
Comme on voit sur la figure 4.7, le critère max-mse est le meilleur des critères. Néanmoins, on constate que le critère sum-mse en est très proche pour des BER < 10<sup>-2</sup>. Pour des BER > 10<sup>-2</sup>, le critère max-mse est moins bon que les critères sum-mse, le critère max-mse est par

contre nettement meilleur que ces deux critères. De par l'allocation uniforme de puissance qu'il réalise, le critère prod-sinr a de très mauvaises performances par rapport aux critères mentionnés jusqu'ici.

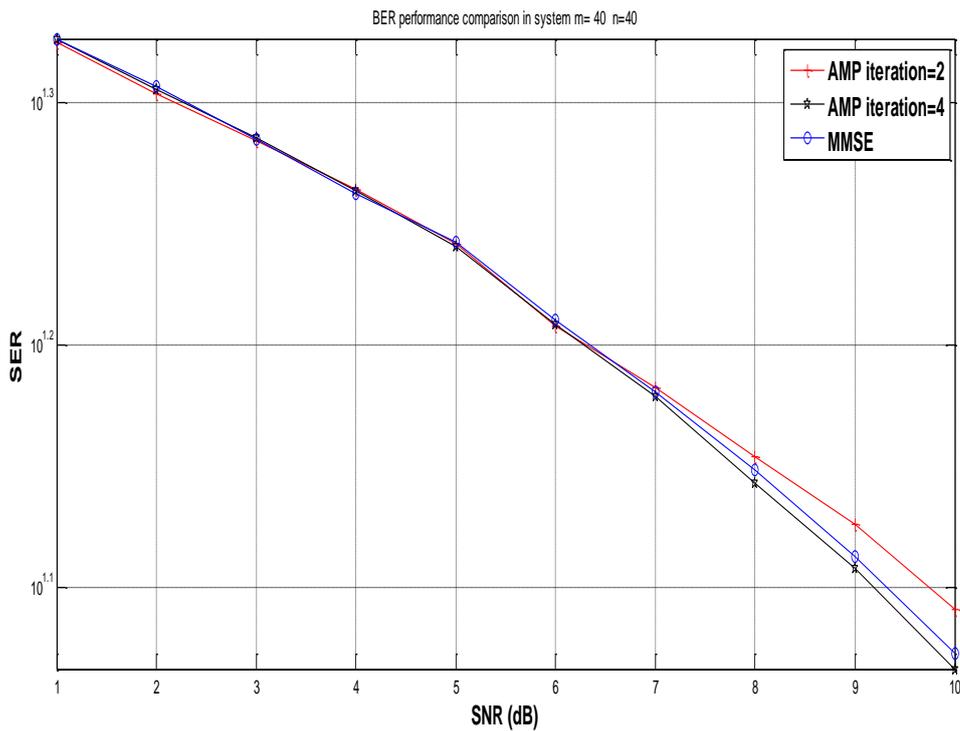
### 4.4.2 Simulation de performance d'un système MIMO Massif

Les systèmes MIMO Massifs indique un aboutissement optimal pour la transmission à travers des réseaux 5 G, ils donnent la possibilité de parfaire l'efficacité spectrale désirée ainsi que l'efficacité énergétique et plus important la réponse à demandes graduelles des grands débits.

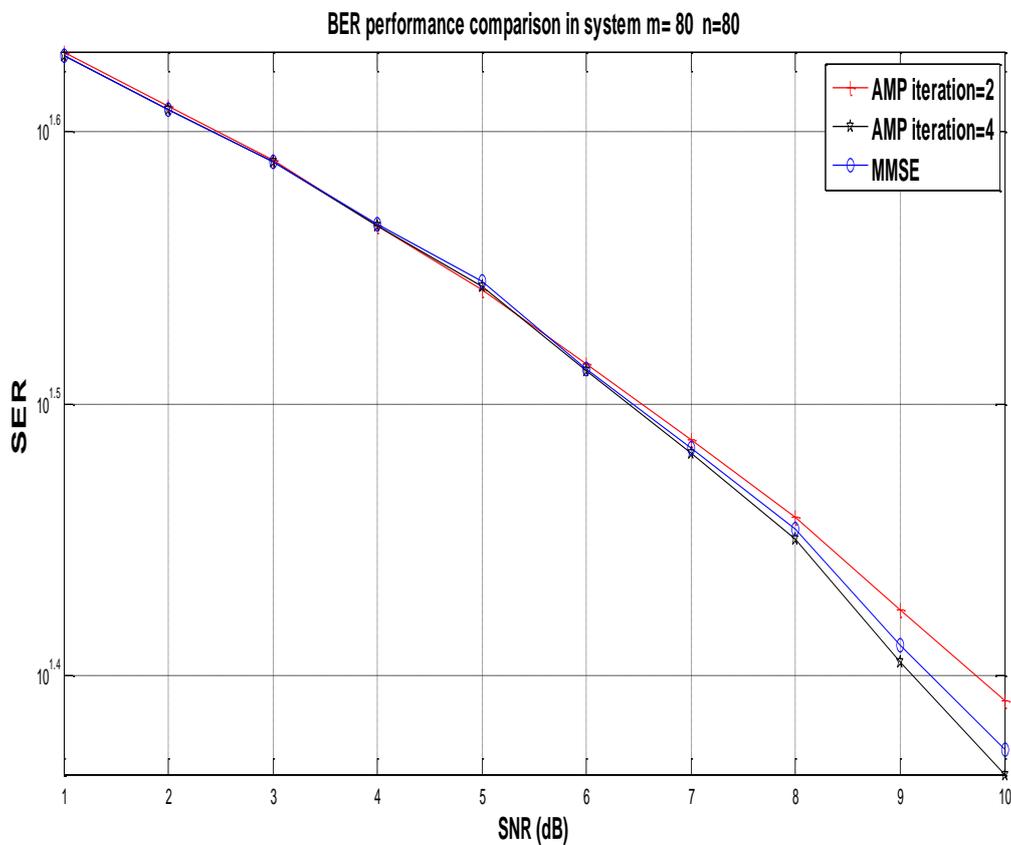
La figure suivant représente 3 méthodes de détections classiques (MMSE) en fonction de BER, en utilisant 20,40 antennes à la réception et 8 pour la transmission avec une modulation 16 QAM.



**Figure 4.8** Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de N=20,M=20.



**Figure 4.9** Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de  $N=40, M=40$ .



**Figure 4.10** Méthodes de détections classiques pour les systèmes massifs MIMO de  $N=80, M=80$ .

Cette simulation nous calcule le taux d'erreur binaire en fonction de Signal sur Bruit pour différent valeur du SNR on aura un taux d'erreur binaire qui doit diminuer en augmentant le nombre d'antennes a la réception et aussi en diminuant le nombre de symbole à transmettre.

les figures (4.8),(4.9),(4.10) , compare les performances (TEB, "Taux d'Erreur Binaire ") d'un système MIMO massifs (  $N_t, N_r$  ) de différents nombre antenne avec trois méthode AMP iter=2, AMP iter=4, MMSE, qui est une transmission traditionnelle sans diversité spatiale (  $N_t = N_r = 20, 40, 80$  ). Elle est le résultat d'une simulation rappelons que la puissance totale utilisée est la même dans les trois systèmes, la comparaison est donc équitable. On voit une nette amélioration des performances, en particulier dans le cas MIMO massifs de  $n=m=80$ .

### 4.5 Conclusion :

À partir des résultats de simulation effectuée nous pouvons conclure que le système MIMO massif est plus efficace et plus important la réponse à demandes croissantes des grands débits de transmission par rapport les system MIMO traditionnel.

Nous constat que la technique de beamforming améliore la qualité et la performance transmission des données.

A fin nous vu la modulation FBMC est plus complexe par rapport à la modulation OFDM parce que le spectre du FBMC est plus localisé que le spectre de l'OFDM au domaine fréquentiel Les résultats montre aussi que la modulation FBMC permet d'obtenir de meilleures qualités du signal à la réception en réduisant le phénomène d'interférence entre symboles.

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Avec la croissance rapide et le développement du système de communication ces dernières années dans le monde. Par conséquent, toute la recherche et le développement dans ce domaine se sont concentrés sur l'amélioration des performances du système de communication dans tous les domaines.

Ce travail a été dédié à la fin de l'étude à une étude Sous-estimation des IES dans les réseaux 5G par MIMO massif avec OFDM.

En premier chapitre, Nous avons mené une étude sur les systèmes MIMO traditionnel et les systèmes MIMO massif, et faire explication pour chaque système avec son caractéristiques et les Domaines d'utilisation Enfin nous avons fait la comparaison entre les deux.

Dans le deuxième chapitre, Dans la première partie nous avons défini le principe de modulation multi porteuses OFDM avec montrant la partie d'émission et la partie réception et A la fin en fait détermine des types du modulation nouvelles utilise dans la chaîne de transmission , Dans la deuxième partie du chapitre, nous avons décrit les caractéristiques des canaux de transmission en identifiant les phénomènes affectant le chemin des fréquences dans le canal et leurs résultats négatifs ou positifs dans la transmission d'informations vers le récepteur en mentionnant les différents types de canaux utilisés dans la génération actuelle.

En troisième chapitre, nous avons présente un système multi-MIMO massif qui s'adapte mieux à et fonctionne bien dans un environnement multi-chemins, et nous avons révélé les différentes architectures telles que les technologies spatiales qui permettent de maximiser la capacité du système, puis nous voyons son antenne intelligente qui sont des critères Nous avons énuméré les différentes technologies de formation de faisceaux qui constituent l'une des applications possibles des antennes intelligentes.

Dans le quatrième chapitre, la partie de simulation nous avons fait différentes simulation sous environnement MATLAB et les différentes performances dans les systèmes des antennes nous faisons une comparaison entre le MIMO traditionnel et le MIMO massif

Ce travail nous a permis de mieux comprendre l'effet de la méthode de beamforming dans le canal de Rayleigh avec le cas du plusieurs canaux et mono canal et la transmission BPSK sur un canal Rayleigh multi-antennes nous conclure que cette méthode est le futur de la 5eme génération

Afin du chapitre, nous vu la modulation FBMC qui permet d'obtenir de meilleures qualités du signal à la réception en réduisant le phénomène d'interférence entre symboles que la modulation OFDM

# Bibliographie

- [1] MarwaChouk /Annulation des interférences inter-cellulaires pour les systèmes MIMO massif dans les réseaux hétérogènes 5G/université Laval canada /2019-10-18.
- [2] FEROUANI Souhila. Etude et implémentation d'un système MIMO dans un contexte OFDM. , mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, 2010
- [3] Hamid Ait T Aleb, " MIMO-OFDM pour les communications sans-fil dans les mines souterraines", Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, AOÛT 2017
- [4]Benosman. Radia. Sidhoum. Amel. "Études et simulation des performances des systèmes MIMO en configurations STBC et V-BLAST". Diss. 2013.
- [5] [7][38]Fundamentals of Massive MIMO by Thomas L. Marzetta, Erik G. Larsson, Hong Yang, HienQuoc Ngo (z-lib.org)
- [6] Jiang, Xiwen. "Massive MIMO: turning concept into reality by exploiting the channel reciprocity". Diss. Université Côte d'Azur, 2017
- [8] [9] [10] Y. Chen, S. Zhang, S. Xu, G.Y. Li, Fundamental trade-offs on green wireless networks. IEEE Commun. Mag. **49**(6), 30–37 (2011)
- [11] G. Golden, C. Foschini, R. Valenzuela, P. Wolniansky, Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST space-time communication architecture. Electron.Lett.**35**(1), 14–16 (1999)
- [12] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, and Chung G Kang. MIMOOFDM wireless communications with MATLAB. John Wiley & Sons, 2010.
- [13][17][31]Toon van Waterschoot, Vincent Le Nir, Jonathan Duplicy “Analytical Expressions for the Power Spectral Density of CP-OFDM and ZP-OFDM Signals”, Member, IEEE, and Marc Moonen, Fellow, IEEE.
- [14] Benyahiahafsa ,Cherifiwafa Mémoire, ‘’étude des techniques MIMO à base de FBMC pour la 5G’’ – juin/2017.
- [15] UFMC The 5G Modulation Technique P. Naga Rani,Pursuing M. Tech (ECEDECS)D.M.S.S.V.H College of Engineering, Machilipatnam, Andhra Pradesh, India,et Dr. Ch. Santhi Rani, Prof & Head, Department of ECE, D.M.S.S.V.H College of Engineering, Machilipatnam, Andhra Pradesh, India.
- [16] R. Datta, N. Michailow, M. Lentmaier, and G. Fettweis, “GFDM Interference Cancellation for Flexible Cognitive Radio PHY,” submitted to VTC Fall 2012.

## Bibliographie

---

[18] [19] [20] [21] Belahammou. Oussama, Bassa. Allaeddine. "Performance d'un Système de Communication OFDM". Université KasdiMerbah Ouargla Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication Département d'Electronique et de Telecommunications.2016-2017

[22] [23] [24] [25] [26] DAOUD, Khedidja. "Simulation Comparative Des Techniques FBMC et OFDM pour les réseaux 5G". l'université de Tlemcen, Faculté de Technologie, Département de Télécommunications .2016.

[27] [28] [29] [30] Babu, A. Sudhir, and Dr KV SambasivaRao. "Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician fading channels under various modulation schemes." International Journal of Computer Applications 26.9 (2011): 23-28

[32] [33] [34][45] 5G System Design Architectural and Functional Considerations and Long Term Research by Patrick Marsch et al. (eds.) (z-lib.org)

[35] [36] A. Adhikary, H. Dhillon et G. Caire, "Massive-MIMO Meets HetNet : Interference Coordination Through Spatial Blanking," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 33, no. 6, pp. 1171-1186, 2015

[37] mémoire, 'HACINI Khaled,ABADELIA Anes', Egaliseur LTE-LMS avec différentes modulations,2019,univ Guelma

[39] [40] Antennas and Wave Propagation by Harish, A.R. Sachidananda, M.

[41] [42] [43] Rozé, Antoine. "Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs systèmes multiutilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques". Diss. INSA de Rennes, 2016.

[44] Ali. Ehab, et al. "Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research". Frontiers of Information Technology&Electronic Engineering 18.6 (2017): 753-772.