

Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
Département d'Electronique et Des Télécommunications



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie
Filière : Télécommunication
Spécialité : Systèmes de télécommunications
Présenté par : ADILA Manel et KAFI Kaoutar

Thème

**Performances des algorithmes
d'estimation du canal pour
un système MIMO massif**

Soumis le: 13/10/2020

Au jury composé de :

Mr. Moad Mouhammed Esayeh	M.A.A	Président	UKMO
Mr. AOUNALLAH Naceur	M.C.B	Encadreur	UKMO
M^{me}. Hassiba louazene	M.A.B	Examinatrice	UKMO

Année universitaire : 2019-2020



Remerciements

*Ce travail de mémoire de fin d'études n'aurait pu être réalisé sans la Grace de Dieu qui nous
A donné la force et le courage*

*Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à notre encadreur, **Mr AOUNALLAH NACEUR**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.*

Un grand merci à nos parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

A nos frères et sœurs pour leur soutien.

À tous les enseignants et le personnel administratif de l'Université de Kasdi Merbah Ouargla.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Kaoutar & Manel



Dédicaces

A mes parents.

A mes frères et ma sœur.

A toute ma famille et mes amis.

Kafi kaoutar

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices

A mon père, pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordée

A mes frères, ma chère sœur et son mari

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A ma chère binôme, kaoutar.

Pour sa entente et sa sympathie.

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A toute ma famille,

A tous mes autres ami(e)s.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Adila Manel

Résumé

Depuis quelques années, on observe un développement très rapide dans le domaine des communications sans fil, ce développement, en raison du besoin d'augmentation de débit et gère un grand nombre de cas et des exigences d'utilisation tout en consommant moins d'énergie, a exigé l'apparence d'une nouvelle technologie importante dans le domaine de réseaux d'antenne qui caractéristique de la 5G, appelé MIMO massif.

Ce système consiste à combiner plusieurs antennes à la fois au lieu de mettre en place une seule antenne réceptrice-émettrice afin de renforcer le signal, réduire les interférences, augmenter la capacité et permet d'améliorer l'efficacité spectrale.

L'objectif de ce projet est d'étudier et simuler différentes techniques d'estimation du canal qui joue un rôle clé dans les performances des systèmes de communication afin de remarquer l'amélioration apportée à l'efficacité spectrale par l'utilisation de la récente technologie MIMO massif.

Mots clés : Réseaux d'antennes, MIMO massif, 5G, efficacité spectrale

Abstract

In recent years, we have observed a very rapid development in the field of wireless communication, this development, due to the need for increased speed and manages a large number of cases of use requirements while consuming less energy, demanded the appearance of an important new technology in the field of antenna array which features 5G, calling massive MIMO.

This system consists of combining several antennas at the same time instead of putting in place a single receiving-transmitting antenna in order to strengthen the signal, reduce interference, increase the capacity and improve the spectral efficiency.

The objective of this project is to study and simulate different channel estimation techniques which play a key role in the performance of communication system in order to notice the improvement brought to the spectral efficiency by the use of the recent massive MIMO technology.

Key words: array antenna, Massive MIMO, 5G, spectral efficiency.

المخلص

في السنوات الاخيرة، كان هناك تطور سريع للغاية في مجال الاتصالات اللاسلكية، وهذا التطور بسبب الحاجة الى زيادة السرعة و ادارة عدد كبير من حالات متطلبات الاستخدام مع استهلاك طاقة اقل طالب بظهور تقنية جديدة مهمة في مجال مجموعة الهوائيات التي تتميز بشبكة 5G، تدعى MIMO الهائل .

يتكون هذا النظام من الجمع بين عدة هوائيات في نفس الوقت بدلا من اعداد هوائي واحد للاستقبال والتحكم، من اجل تقوية الاشارة و تقليل التداخل و زيادة السعة و تحسين الكفاءة.

الهدف من هذا المشروع هو دراسة و محاكاة تقنيات تقدير القنوات المختلفة التي تلعب دورا رئيسيا في اداء نظام الاتصالات من اجل ملاحظة التحسن الذي تحقق في الكفاءة الطيفية من خلال استخدام احدث التقنيات تقنية MIMO الهائل.

الكلمات المفتاحية: شبكات الهوائية، تقنية MIMO الضخمة، الجيل الخامس (G5) ، الكفاءة الطيفية.

Table de matière

TABLE DE MATIERE

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DE L'ABREVIATION

AVANT PROPOS

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE 1 : La Technologie MIMO Massif	
1.1 Introduction.....	4
1.2 MIMO traditionnel.....	4
1.3 Evolution de système SISO de MIMO	4
1.3.1 Système SISO.....	5
1.3.2 Système MISO	6
1.3.3 Système SIMO	6
1.3.4 Système MIMO	7
1.4 Passage de système MIMO à MIMO massif	8
1.5 système MIMO massif.....	9
1.5.1 Beamforming	9
1.5.2 Mu-MIMO (Multi utilisateurs- MIMO).....	10
1.6 Modèle du système	10
1.7 Fonctionnement du MIMO massif	11
1.8 Caractéristiques générales des systèmes MIMO Massifs	11
1.8.1 Diversité d'un système MIMO Massif.....	11
1.8.1.1 Diversité temporelle	12
1.8.1.2 Diversité spatiale.....	12
1.8.1.3 Diversité spatio-temporelle	12
1.8.1.4 Le multiplexage spatial	12

1.8.2 Small cell et Ondes millimétriques	13
1.8.2.1 Small cell (petite cellules).....	13
1.8.2.2 Ondes millimétriques	14
1.9 Avantages et inconvénients des systèmes MIMO massifs.....	14
1.9.1 Avantages	14
1.9.2 Inconvénients	15
1.10 Comparaison entre MIMO traditionnel et MIMO massif	15
1.11 Massive MIMO préfère TDD mode.....	17
1.12 Les systèmes MIMO massifs dans le contexte 5G.....	17
1.13 Conclusion.....	18

CHAPITRE 2 : Estimation de canal

2.1 Introduction	20
2.2 Canaux sans fil	20
2.3 Modèle de système MIMO massif	21
2.4 Architecture détaillé	22
2.4.1 Transmission de données en liaison montante.....	22
2.4.2 Transmission de données en liaison descendante	23
2.4.3 Précodage	24
2.5 Estimation de canal	24
2.6 Estimation de canal pour un système TDD.....	24
2.7 Efficacité spectrale (ES).....	25
2.8 Les méthodes d'estimation du canal :	26
2.8.1 La structure générale d'estimation	26
2.8.2 L'erreur quadratique moyenne minimale (MMQE) et moindres carrés (MC).....	26
2.8.3 Poursuite de base (PB) :	27
2.8.4 Bloc de détection de support itératif (bloc-DSI) et détection de support itératif (DSI).....	28
2.9 Conclusion.....	29

CHAPITRE3 : Simulation et résultats

3.1 Introduction	31
3.2 Langage utilisé.....	31

3.3 Etapes de la simulation.....	31
3.3.1 Comparaison entre différentes méthodes d'estimation.....	31
3.3.2 L'influence de la corrélation spatiale et la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif	32
3.3.2.1 L'influence de la corrélation spatiale sur l'estimation des canaux.....	32
3.3.2.2 L'influence de la contamination des pilotes sur l'estimation des canaux	32
3.3.3 Etude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférence.....	33
3.4 Résultats de simulations	34
3.4.1 Résultat de la comparaison entre différentes méthodes d'estimation.....	34
3.4.2 Résultat de l'influence de la corrélation spatiale et la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif.....	36
3.4.2.1 résultat l'influence de la corrélation spatiale sur l'estimation des canaux	36
3.4.2.2 Résultat la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif	38
3.4.3 Résultat de l'Etude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférence.....	39
3.5 Conclusion.....	41
Références Bibliographiques.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Système SISO.....	5
Figure 1.2: Système SIMO	6
Figure 1.3: Système MISO	7
Figure 1.4: Système MIMO	8
Figure 1.5 Vitesse évolution des réseaux sans fils	8
Figure 1.6 Une illustration de MIMO massif	9
Figure 1.7 Système Massive MIMO en transmission multi-utilisateu.....	10
Figure 1.8 Le modèle du système MIMO massif	11
Figure 1.9 protocole de transmission d'un système MIMO massif	11
Figure 1.10 Réseau hétérogène composé d'une macro cellule (plus ses relais et RRH) et de plusieurs small cells permettant de soulager le trafic de données de la macro cellule.....	13
Figure 1.11 La contrainte de M et K sur TDD et FDD pour un système MIMO massif.....	18
Figure 2.1 Illustration de trois types d'effet de propagation des ondes radio....	21
Figure 2.2 Modèle de système MIMO massifs	22
Figure 2.3 Structure d'un slot et estimation de canal dans un système TDD.....	25
Figure 2.4 Block de cohérence.....	26
Figure 2.5 La structure générale d'estimation de canal.....	26
Figure 3.1 Architecture cellulaire de type hexagonal.....	33
Figure 3.2 système de coordonnées d'une grille hexagonale.....	34
Figure 3.3 comparaison des performances en termes de l'EQMN entre PB, DSI et Bloc-DSI.....	35
Figure 3.4 L'erreur quadratique moyenne normalisée à l'estimation EQMM d'un canal spatialement corrélé base sur le modèle de diffusion locale avec distribution angulaire gaussienne et écart-angulaire $\sigma=10^\circ$	36

Figure 3.5 L'erreur quadratique moyenne normalisée à l'estimation d'un canal spatialement corrélé en fonction de l'écart-type angulaire dans le modèle de diffusion locale avec distribution angulaire gaussienne.....	37
Figure 3.6 La valeur absolue du coefficient de corrélation moyenne d'antenne entre les estimations de canal de l'utilisateur désiré et un équipement utilisateur interférant qui utilise le même pilote.....	38
Figure 3.7 Efficacité spectrale, en fonction de M, avec un taux d'interférence intracellulaire très bas.....	39
Figure 3.8 Efficacité spectrale, en fonction de M, avec un taux d'interférence intracellulaire moyen.....	39
Figure 3.9 Efficacité spectrale, en fonction de M, avec un taux d'interférence intracellulaire élevé.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tab (01) : Comparaisons entre les caractéristiques des générations mobiles (l'évolution du MIMO traditionnel jusqu'au MIMO massif).....	16
---	----

LISTE DE L'ABREVIATION

3D : Troisième dimension

5G : cinquième génération

ASD: Angular Standard Deviation

BLOC-DSI: Bloc de Détection de Support Itératif

CIR: Channel Impulse Response

D-BLAST: Diagonal Bell Labs Layered Space-Time

DSI: Détection de Support Itératif

EQMM: Erreur Quadratique Moyen Minimal

FDD: Frequency Division Duplex

Gbps: Géga bit per second

IID: Independent and Identically Distributed

Hz : Hertz

LOS: Line Of Sight

MIMO : Multiple Input Multiple Output

MISO: Multiple Input Single Output

MU-MIMO: Multi-User MIMO

MASS-BS: Mass- Station de Base

MR: Maximum Ratio

MRC: Maximum Ratio Combiner

MC: Moindre Carré

PB: Poursuite de Base

RRH: Remote Radio Head

RF: Radio frequency

SISO: Single Input Single Output

SIMO: Single Input Multiple Output

SMALL-CELL: petite cellule

SNR: Signal Noise Ratio

SE: spectral Efficiency (ES: efficacité spectrale)

S: second

TDD: Time Division Duplex

UE : User Equipements

UT : User Terminal

ZF: Zero Forcing

Introduction générale

Introduction Générale

Le progrès dans les systèmes sans fil ont radicalement changé la façon dont les humains accèdent et échangent des informations. Les systèmes de communication mobile 5G (cinquième génération) émergent à grande vitesse pour répondre à un large éventail de défis apportés par la soif de nos sociétés actuelles et futures pour les communications sans fil.

L'objectif principal de notre mémoire de fin d'étude est d'étudier et simuler différentes techniques d'estimation du canal afin de remarquer l'amélioration apportée à l'efficacité spectrale par l'utilisation de la récente technologie MIMO (multiple Input Multiple Output) massif.

A la fin des années 90, les chercheurs ont proposés l'utilisation du système MIMO massif (multiples-input multiple-output) comme technique pour améliorer l'efficacité spectrale au niveau des réseaux de communication sans fils. Récemment, il a été évoqué que l'augmentation de l'efficacité spectrale pour la future génération de réseau sans fils peut être obtenu par l'utilisation d'un système ayant un grand nombre d'antenne au niveau de l'émission et de la réception. Ce système est nommé MIMO massif. En anglais massive MIMO ou Large MIMO. Cette technologie est capable d'éliminer les évanouissements rapides, les interférences et le bruit du système de communication [1].

Dans les systèmes MIMO massifs, l'estimation du canal reste le sujet le plus principal, elle permettant de connaître le canal de transmission pour le but du signal transmis soit facilement récupéré à la réception.

Notre thème est basé sur le système MIMO massif, il s'intitule « **performances des algorithmes d'estimation du canal pour un système MIMO massif** ».

Ce mémoire est organisé en 3 chapitres :

Le chapitre 1 présente les aspects généraux de la technique MIMO massif, passant par la présentation de MIMO traditionnel, leur caractéristique et ces applications qui contiennent ces avantages et inconvénients.

Le chapitre 2 montre les canaux de transmission sans fil, il présente l'architecture détaillé du système MIMO massif, l'estimation de canal qui joue un rôle important dans la transmission, une description de différentes méthodes d'estimation du canal pour le système MIMO massif.

Le chapitre 3 propose des analyses graphiques sur :

Introduction Générale

- ✚ La comparaison des performances en terme de l'erreur quadratique moyenne normalisé entre les différentes méthodes d'estimation du canal pour un système MIMO massif.
- ✚ L'impact de la corrélation spatiale de la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif.
- ✚ L'étude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférences

Enfin, avec une conclusion générale et perspective on termine notre travail.

CHAPITRE 1

La Technologie MIMO Massif

1.1 Introduction

Les systèmes MIMO sont l'un des principaux axes de développement pour augmenter les débits de communication sans fil, il sont des techniques de multiplexage utilisé dans les radars, réseaux sans fil et les réseaux mobiles permettant des transferts de données à plus longue portée et avec un débit plus élevé. Le MIMO massif, c'est le même concept, il repose sur l'usage de plusieurs antennes au niveau de l'émetteur-récepteur afin d'améliorer l'efficacité de la transmission. Massive MIMO est une technologie du futur qui fournira des réseaux large bande plus sécurisé, robuste, efficace (en terme d'énergie et d'utilisation de spectre).

1.2 MIMO traditionnel

La technologie MIMO 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'onde radioélectriques appelé trajets multiples, ou les informations transmises rebondissent sur les murs, les plafonds et d'autres objets, 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. MIMO permet à plusieurs antennes d'envoyer et de recevoir plusieurs flux spatiaux en même temps.

Grâce à MIMO, 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 de flux spatiaux, les antennes

Supplémentaires peuvent ajouter de la diversité aux récepteurs et augmenter la portées [2].

1.3 Evolution de système SISO de MIMO

Selon le nombre d'antennes existant dans les différents dispositifs d'antennes, nous pouvons distinguer plusieurs configurations (SISO (single Input Single Output), SIMO (single Input multiple Output, MISO (multiple Input Multiple Output), et MIMO (multiple Input Multiple output)).

Cependant, ces architectures utilisent des différentes fonctions pour traiter le signal telles que la technique de combinaison, le codage spatio-temporel, le multiplexage spatial etc..., dont le but est d'achever la meilleure performance possible du dispositif antenne [3].

1.3.1 Système SISO

C'est la plus simple des architectures radio peut définies en termes MIMO comme SISO – Single Input Single Output. Ce système ressemble à un canal radio standard (l'émetteur fonctionne avec une antenne comme le récepteur. Il ne nécessite aucun traitement en fonction de diversité ni aucun autre traitement). La capacité du canal SISO est donnée par :

$$C = w \log_2 \left(1 + \frac{P}{WN_0} \right) \text{ bps} \quad (1.1)$$

Ou :

P : La puissance du signal utile en Watt.

N_0 : La densité spectrale de puissance du bruit calculé en W/Hz.

W : La bande passante donnée en Hz.

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

$$C = \log_2(1 + \rho) \text{ bps} \quad (1.1)$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit (P/N_0).



Figure 1.1 Système SISO.

1.3.2 Système MISO

MISO est aussi appelé diversité d'émission. Dans ce cas, les données sont transmises en redondance à partir des deux antennes émettrices. A la réception les données sont alors seront récupérées par le traitement du signal optimal reçu (la somme des signaux des deux chemins).

La capacité du canal MISO :

$$C = \log_2\left(1 + N_t \frac{P_i}{wN_0}\right) = W \log_2\left(1 + \frac{P_i}{wN_0}\right) \text{ bps} \quad (1. 2)$$

N_t : Nombre d'antenne d'émission.

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

$$C = \log_2(1 + \rho) \text{ bps} \quad (1. 3)$$

L'équation 1.3 et 1.4 sont identiques, mais l'avantage de la technique de la MISO par rapport à la technique SISO est que dans les multi trajets, la probabilité d'évanouissement dans antennes N_t est inférieure à la probabilité d'évanouissement sur une seule antenne.



Figure 1.2 Système MISO.

1.3.3 Système SIMO

Le système SIMO utilise à l'émission une seule antenne et plusieurs antennes à la réception. Il est souvent utilisé pour lutter contre les effets de la décoloration qui se produit lors de la réception de plusieurs signaux d'un certain nombre de sources indépendantes.

La capacité du canal SIMO :

$$C = W \log_2\left(1 + N_r^2 \frac{p}{wN_0}\right) \text{ bps} \quad (1.4)$$

N_r : Le nombre d'antenne réceptrice.

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

$$C = \log_2(1 + N_r^2 \rho) \text{ bps} \quad (1.5)$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit.

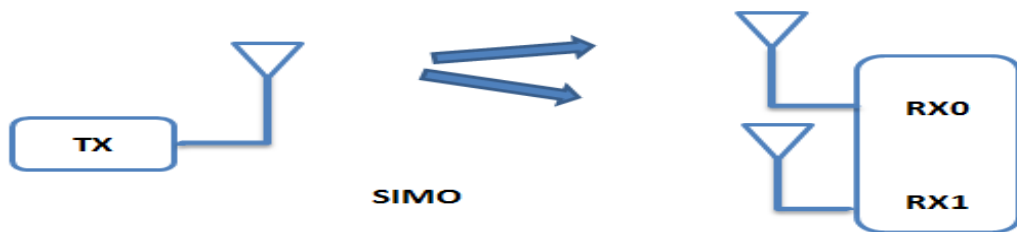


Figure 1.3 Système SIMO.

1.3.4 Système MIMO

La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) repose sur N_t antennes

De transmission et N_r antennes de réception. MIMO peut être utilisé pour améliorer la capacité des canaux ainsi que le débit de canal.

Dans le cas de la figure 1.4 ou nous avons un système MIMO à N_t émetteurs et N_r récepteur, le canal MIMO est traduit par une matrice H de taille $N \times M$ dite matrice de canal.

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_t} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{NR_1} & h_{NR_2} & \dots & h_{NR_t} \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

Un signal MIMO peut être défini par :

$$Y = HX + \eta \quad (1.7)$$

Ou :

X : la séquence émit.

Y : la séquence reçue.

η : représente le bruit qui corrompt le signal lors de la traversée du canal.

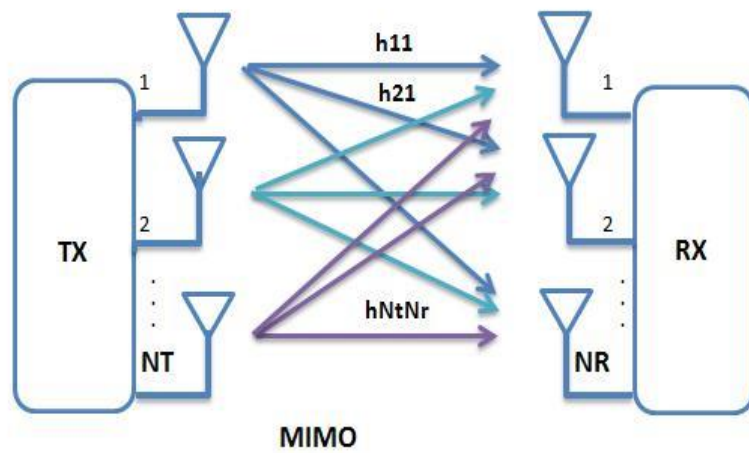


Figure 1.4 Système MIMO

1.4 Passage de système MIMO à MIMO massif



Figure 1.5 vitesse évolution des réseaux sans fils [4].

Massif ou massive MIMO est une évolution du système MIMO. C'est une forme du système MIMO multi-utilisateurs où les stations de bases et le nombre d'utilisateur sont très nombreux [3].

La **figure 1.5** montre l'évolution à partir de l'année 2002 de la vitesse des réseaux sans fil. Les systèmes MIMO massive dont le principe est d'utiliser un grand nombre d'antennes visent à améliorer encore davantage le débit de transmission jusqu'à 10 Gbps et plus.

1.5 système MIMO massif

MIMO massif est l'une des technologies clés pour la prochaine génération des réseaux sans-fil.

MIMO peut être résumé selon un principe : le multiplexage spatial MIMO consiste à utiliser simultanément les mêmes fréquences radioélectriques pour transmettre des signaux différents. Cela signifie que plusieurs antennes d'émission d'une station de base peuvent les recevoir et les diviser simultanément.

Les réseaux MIMO standard utilisent généralement deux ou quatre antennes pour transmettre les données et le même nombre pour les recevoir. MIMO massif, en revanche, est un système MIMO avec un nombre d'antennes particulièrement élevé. Il augmente le nombre d'antennes d'émission (des dizaines ou plus de 100 éléments) sur une station de base [2].

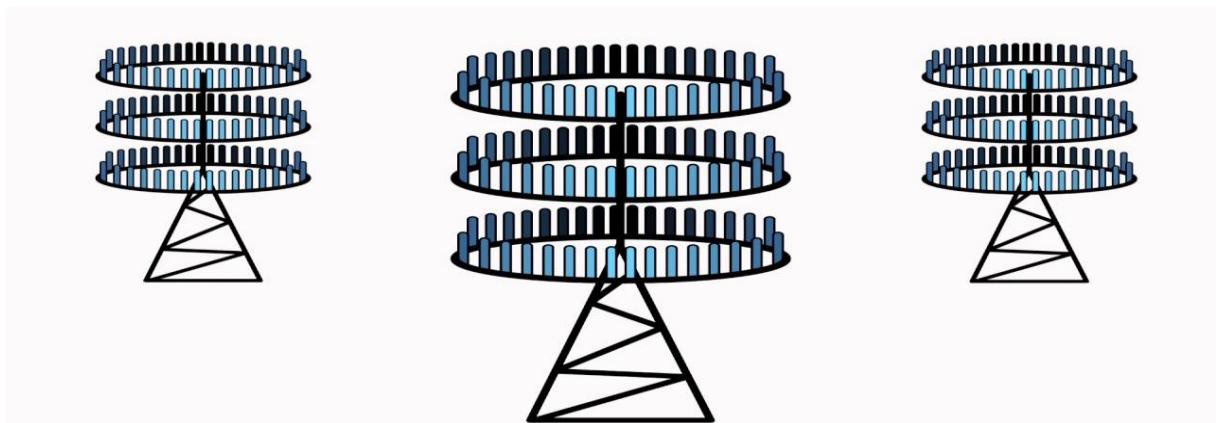


Figure 1.6 une illustration de MIMO massif.

Massive MIMO propose deux innovations principales :

1.5.1 Beamforming

Est un système de signalisation du trafic pour stations de base cellulaires qui identifie la voie de transmission de donnée la plus efficace pour un utilisateur particulier et réduit les

interférences pour les utilisateurs à proximité. Aux stations de base MIMO massives, des algorithmes de traitement du signal tracent le meilleur itinéraire de transmission par voie aérienne vers chaque utilisateur. Ils peuvent ensuite envoyer des paquets de données individuels dans des nombreuses directions différentes, en les renvoyant des bâtiments et d'autres objets selon un modèle parfaitement coordonné. En résumé, pensez à la technologie MIMO massive en tant que structure 3D (trois dimension) massive augmentant les capacités de couverture horizontale et verticale.

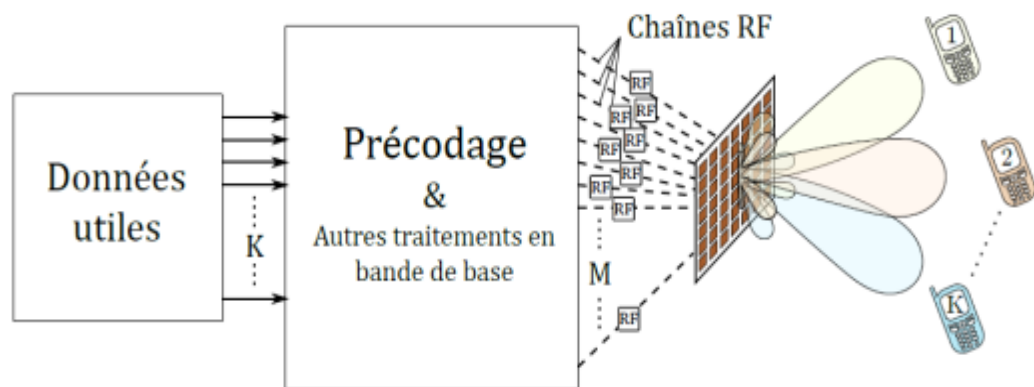


Figure1.7 système massive MIMO en transmission multi-utilisateurs [2].

1.5.2 Mu-MIMO (Multi utilisateurs- MIMO)

Augmente encore la capacité totale par station de base en permettant la communication avec plusieurs périphériques utilisant les mêmes ressources, créant ainsi un côté périphériques permet de créer des canaux virtuels MIMO à grandes échelle. La combinaison de ces deux innovations permet d'augmenter la vitesse de transmission sans fil en augmentant le nombre d'antennes de la station de base sans consommer plus de bande passante ni augmente les valeurs de modulation [5].

1.6 Modèle du système

Dans les systèmes MIMO massifs, un grand nombre d'antennes sont équipées en station de base. Le modèle de système est illustre à la figure 1.8. Le côté gauche présente le processus de liaison montante, tandis que le côté droit est un processus de liaison descendante. On peut voir sur cette image que, lorsque les utilisateurs tentent de communiquer avec la station de base, leur flux de données doit être pré-codé d'abord en fonction des informations d'état de canal obtenues, qui sont estimées par l'envoi de la séquence pilote [2].

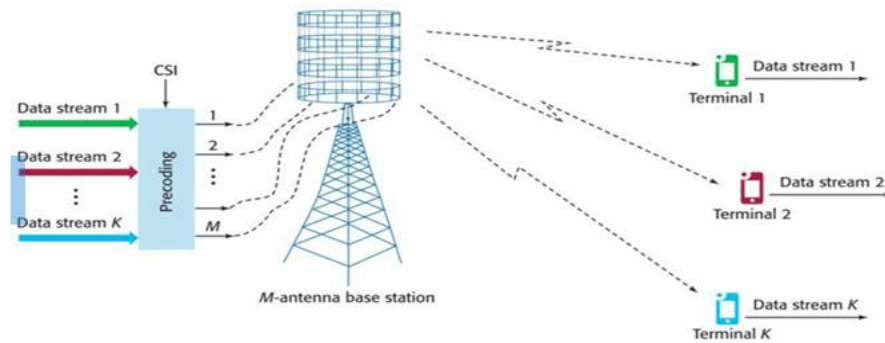


Figure 1.8 Le modèle du système MIMO massif.

1.7 Fonctionnement du MIMO massif

Dans un système MIMO massif, il est préférable d'utiliser la technique Duplex par séparation temporelle ou TDD (Time Division Duplex). Il est à savoir que pendant un intervalle de temps de cohérence, il y a trois opérations :

- Estimation de canal (y compris la formation de la liaison montante et la formation de la liaison descendante).
- La transmission de données en liaison montante ou UP Link.
- Et la transmission de données en liaison descendante ou DOWN Link.

La **figure 1.9** représente les protocoles de transmission d'une technique TDD dans un système MIMO massif [1].

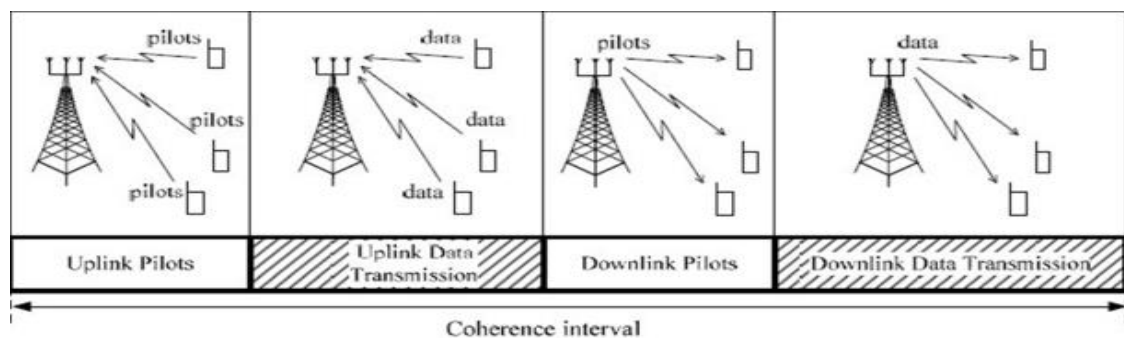


Figure 1.9 protocole de transmission d'un système MIMO massif.

1.8 Caractéristiques générales des systèmes MIMO Massifs

1.8.1 Diversité d'un système MIMO Massif

On parle d'exploitation de la diversité du canal lorsqu'on se sert de la nature dispersive du canal pour envoyer plusieurs répliques d'un même signal au récepteur. En effet, plus ce

dernier reçoit de répliques moins il y a de chances que toutes aient subi une forte atténuation et l'on améliore ainsi la qualité du lien radio. L'exploitation de la diversité du canal ne sert que lorsque le canal subit de fortes atténuations car dans le cas contraire, exploiter cette diversité ne fera qu'utiliser de la ressources spectrale, temporelle ou spatiale, ressources toutes aussi rare et précieuses, pour un gain presque inexistant. La sélectivité du canal doit donc être étudiée au préalable [6].

1.8.1.1 Diversité temporelle

Exploiter la diversité temporelle du canal consiste à envoyer plusieurs fois le même signal à des instants différents. Cela revient à répartir les données utiles dans le temps, par exemple l'aide de codage de canal et d'entrelaceur temporel, afin de pouvoir recombinaison en réception les différentes instances et reconstruire le signal utile.

Restriction : pour exploiter au mieux la diversité temporelle, il est nécessaire que deux instances du même signal soient espacées d'au moins le temps de cohérence du canal, temps pendant lequel le canal est considéré comme statique [6].

1.8.1.2 Diversité spatiale

La diversité spatiale peut être exploitée lorsqu'un signal émis de plusieurs points distincts de l'espace.

Restriction : La distance (d) entre chaque antenne d'un même réseau d'antenne doit être d'au moins une demi longueur d'onde pour que la diversité puisse être exploitée (antennes suffisamment décorréées). Le couplage entre les antennes va également dégrader les performances [6].

$$d > \lambda/2 \tag{1.8}$$

1.8.1.3 Diversité spatio-temporelle

La diversité spatio-temporelle est un exemple de combinaison de techniques de diversité. En effet, dans cette techniques en envoi des versions de signal différées dans le temps via plusieurs antennes transmetteurs .Ainsi, on atteint un niveau de diversité plus aisé [7].

1.8.1.4 Le multiplexage spatial

Le principe du multiplexage spatial est l'agencement sans redondance de la séquence d'information suivant l'axe spatiale. Le système transmet alors N_t fois plus de symboles utiles

par unité de temps qu'un système SISO. Un tel système a été proposé par Foschini en 1996, l'architecteur de premier système MIMO, est appelée D-BLAST [8].

1.8.2 Small cell et Ondes millimétriques

1.8.2.1 Small cell (petite cellules)

De nos jours, un réseau hétérogène est souvent associé aux cellules dites **Small cells** [6]. Une telle cellule a la particularité de posséder un rayon de couverture réduit et d'offrir ainsi un débit élevé à ses utilisateurs, découlant directement du fait que moins de terminaux se partagent la ressource temps/fréquence. Elle peut alors aisément être complémentaire d'une cellule à plus large couverture mais au débit moindre (macro cell). On parle d'ailleurs d'offloading des données lorsque la transmission d'information est attribuée à la small cell au lieu de macro cell. La densification des réseaux avec ces small cells rentre pleinement dans les problématiques 5G, tant pour améliorer l'efficacité énergétique (grâce au simple fait de diminuer la taille des cellules) que pour supporter les futurs besoins en débit.

Une telle densification va également nécessiter un backhaul pouvant supporter ces fortes débits, ces liens étant illustrés sur la **figure 1.10** entre la macro cell, les small cells, RRH (Remote Radio Head) et relais. L'utilisation du MIMO Massif comme backhaul sans fil (en anglais Wireless Backhaul) est une solution attrayante. Ainsi, à terme, la Station de Base (SB) de la macro cell pourra ne consacrer son activité qu'au signaling et au backhaul avec le transfert de données effectué par les small cells [3].

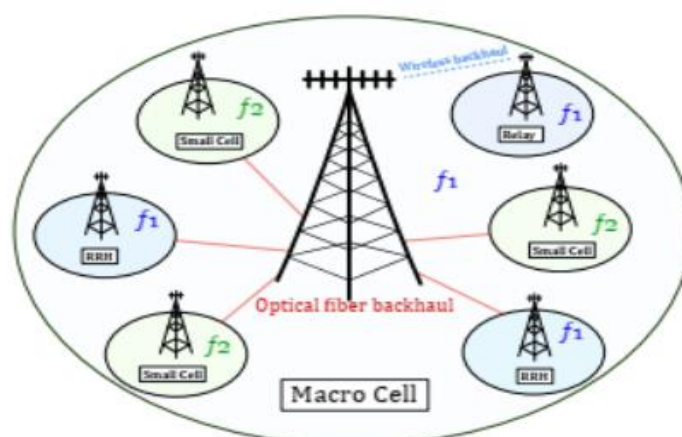


Figure 1.10 Réseau hétérogène composé d'une macro cellule (plus ses relais et RRH) et de plusieurs small cells permettant de soulager le trafic de données de la macro cellule.

1.8.2.2 Ondes millimétriques

La réduction de la taille des cellules provoquée par la densification des réseaux permet d'envisager et d'exploiter des systèmes à très haute fréquence (>6 GHz) pour de futures communications. En effet, couvrir une large zone n'est plus possible en raison de fortes pertes en espace libre à ces fréquences, mais de très larges bandes de fréquences peuvent être utilisées et ainsi permettre de découpler le débit [3].

1.9 Avantages et inconvénients des systèmes MIMO massifs

Il devient de plus en plus évident que l'obtention de tels débits passera par une nette densification des réseaux. Nous allons lister succinctement les avantages et les inconvénients d'une utilisation de ces larges réseaux d'antennes à très hautes fréquences [3].

1.9.1 Avantages

- Très faible encombrement : en effet la taille des antennes est grandement réduite ce qui permet à une Mass-BS de conserver une taille très raisonnable.
- Très larges bandes : augmenter la bande passante est un moyen direct pour augmenter la capacité d'une cellule (de 100 à 500 MHz de bande contre un maximum de 20 MHz aujourd'hui sans agrégation).
- Canaux généralement en visibilité directe (Line Of Sight (LOS)) : la réduction de la taille des cellules va augmenter la probabilité que le terminal soit en visibilité directe de la SB. Cette particularité va permettre l'utilisation de nouvelles techniques.
- **Efficacité spectrale** - Ce sujet prend de plus en plus d'importance, car nous grignotons toujours davantage du spectre électromagnétique pour divers protocoles de communication. Les gouvernements ont réservé une large bande de fréquences pour la 5G, mais ces spectres ne sont pas illimités. Le MIMO massif est en mesure d'exploiter son réseau d'antennes pour concentrer les faisceaux jusqu'aux utilisateurs individuels. Cela lui permet de proposer une efficacité spectrale 10 fois supérieure à celles des systèmes MIMO utilisés pour la 4G.
- **Efficacité énergétique** - Avec le MIMO massif, les antennes peuvent être conjuguées pour augmenter le gain de signaux transmis. Cela signifie qu'elles irradient moins d'énergie lorsqu'elles transmettent des données, améliorant l'efficacité énergétique du système.
- **Suivi des utilisateurs** - L'élément qui rend le MIMO massif si efficace énergétiquement parlant lui permet également de suivre très précisément les utilisateurs. Lorsque les faisceaux des antennes sont concentrés pour obtenir un gain élevé, leur largeur

diminue. Ainsi, la tour doit suivre chaque utilisateur avec un signal de faisceau étroit. Ce suivi fournira aux utilisateurs une connexion plus fiable et de meilleure qualité que les signaux larges qui ont été utilisés jusqu'à présent [9].

1.9.2 Inconvénients

- Forte sensibilité aux obstructions : ces fréquences ne pénètrent pas les murs et les communications peuvent subir de fortes dégradations en présence d'obstacles. Cela nécessite d'identifier des scénarios particulières.
- Pertes en espace libre : on peut écrire l'atténuation et le déphasage que provoque le canal en espace libre de la manière suivante [3]:

$$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^\gamma e^{\frac{2i\pi d}{\lambda}} \quad (1.9)$$

Avec d la distance parcourue par l'onde, λ sa longueur d'onde et γ un facteur compris entre 2 et 4 dans l'air (plus ou moins d'absorption selon les éléments météorologiques, les fréquences utilisées etc...).

- Chaîne RF et antennes couteuses : la précision nécessaire à la fabrication de tels systèmes les rend onéreux. Il faudra donc opter pour un compromis coût / performances pour rendre le système viable économiquement.
- Implémentation des filtres dans ses systèmes est complexe.
- Fournit un bruit robuste
- La complexité de la réalisation de cette technique.

1.10 Comparaison entre MIMO traditionnel et MIMO massif

Comparés au MIMO traditionnel, MIMO massif incluent :

- Amélioration de SE.
- Quantité massive de degrés de liberté dans le domaine spatial.
- Bonne performance système avec uniquement un schéma de pré-codage linéaire (simple), par ex forçage nul, transmission du rapport maximal, erreur quadratique moyenne minimale.
- Faciliter l'allocation des ressources [10].

Avec la 5G :

- Une augmentation de l'efficacité énergétique.
- Une connexion stable même en mobilité.
- Un réseau haut performances, capable de fonctionner en temps réel, avec des exigences élevées en matière de fiabilité.
- Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de la 5G et celles qui sont actuellement disponibles avec la 4G, 3G, 2G et 1G [3].

Caractéristiques	1G	2G	3G	4G	5G
Débit maximal	171.2 Kbit/s	9.6Kbit/s	1.9 Mbit/s	1 Gbit /s	20 Gbit /s
Vitesse (Km/h)	/			350	500
Latence (ms)	/		150	10	1
Efficacité énergétique du réseau	/	/	/	1X	100X
Débit sur une zone	/	/	/	0,1(Mbit/s/m ²)	10(Mbit/s/m ²)
La bande de fréquence	150Mhz	1.8Ghz	2Ghz	2 à 8 GHz	3 à 300 GHz
Accès multiple	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	OFDM	OFDM
Les technologies	Analogique	Numérique	Large bande passante CDMA, technologie IP	IP unifiée, intégration transparente des réseaux LAN/WAN/PAN et WLAN à large bande	IP unifiée, intégration transparente des réseaux LAN/WAN/PAN/WLAN à large bande et technologies avancées basées sur modulation OFDM utilisée en 5G
Service	Téléphonie mobile (voix)	Voix numérique , messagerie courte de capacité supérieure en paquets	Audio, vidéo et données intégrées de haute qualité	Accès dynamique aux informations sur les appareils portables, streaming HD, itinérance mondiale	Accès dynamique aux informations sur les appareils portables, streaming HD, toute demande des utilisateurs

Tableau 1 : Comparaisons entre les caractéristiques des générations mobiles (l'évolution du MIMO traditionnel jusqu'au MIMO massif)

1.11 Massive MIMO préfère TDD mode

En mode FDD, l'estimation de canal repose sur le nombre d'antennes M . Par contre, en mode TDD, le temps d'estimation de canal est non biaisé de M . Dans Massive MIMO, M est grande, et par conséquent, le fonctionnement TDD est préférable. Par exemple, supposons que l'intervalle de cohérence soit $T = 200$ symboles (correspondant à un temps de cohérence de 1ms et une largeur de bande de cohérence de 200 kHz). Ensuite, dans les systèmes FDD, la quantité d'antennes BS et la quantité d'UT sont limitées par $M+K < 200$, tandis que dans les systèmes TDD, la contrainte sur M et K est $2K < 200$. On peut voir sur la figure 1.11 que la place FDD est beaucoup plus petite que la région TDD. Avec TDD, l'ajout d'antennes supplémentaires n'affecte plus les sources nécessaires à l'acquisition de canal

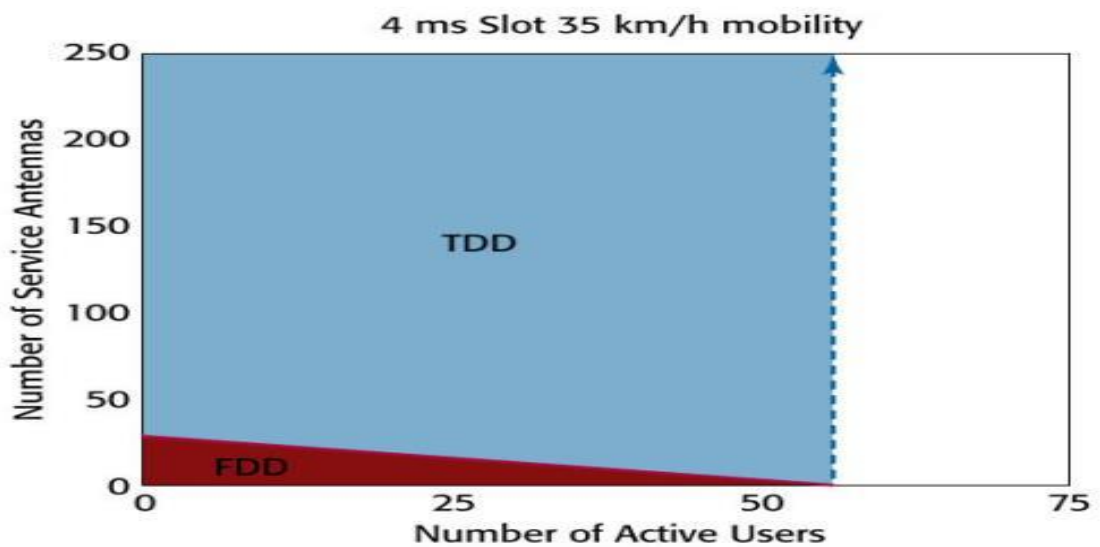


Figure 1.11 La contrainte de M et K sur TDD et FDD pour un système MIMO massif.

La **figure 1.11** montre le gain écrasant de TDD sur FDD pour les UT. L'axe vertical correspond au nombre d'antennes BS et l'axe horizontal à la quantité d'UT. L'emplacement bleu clair indique les dimensions du gadget accessibles avec TDD par rapport à la zone rouge beaucoup plus petite pour FDD [2].

1.12 Les systèmes MIMO massifs dans le contexte 5G

En suivant cette stratégie d'exploitation de la dimension spatiale, les systèmes dits MIMO massifs ont été introduits très récemment par Marzetta en 2010. Ces systèmes se basent sur l'utilisation d'un nombre d'antennes d'un ordre de grandeur largement supérieure, au moins d'un facteur 100, aux systèmes MIMO et MU-MIMO traditionnels. Les premières études théoriques montrent que ces systèmes peuvent espérer atteindre des niveaux de capacité 10

fois supérieur aux systèmes classiques, tout en permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'un ordre de 100. On comprend alors que l'approche MIMO massif est très prometteuse pour les systèmes 5G.

Dans le système de radiocommunications cellulaire, le MIMO massif est une extension du MU-MIMO dans lequel une station de base (BS) desservant une cellule ou circulent K utilisateurs mobiles, est équipée d'un réseau composé de M antennes ; M est supérieure à K et de l'ordre d'une ou plusieurs centaines. Les K terminaux utilisent alors un même bloc de ressources temps-fréquence [11].

1.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système MIMO massif qui est une évolution du système MIMO, c'est un système MIMO multi-utilisateur où les stations de base et le nombre d'utilisateurs sont très nombreux. Nous avons exposé les différentes architectures de système MIMO, le fonctionnement du système MIMO massif, leurs caractéristiques comme la diversité temporelle qui consiste à envoyer plusieurs fois le même signal à des instants différents, leur application qui contient ces avantages et inconvénients et la comparaison entre système MIMO et MIMO massif. A la fin on a vu les systèmes MIMO massifs dans le contexte 5G.

CHAPITRE 2
Estimation du canal

2.1 Introduction

Un canal de transmission est un canal aléatoire, à la fois dispersion diffraction et réflexion, ce qui conduit aux phénomènes de propagation par trajet multiples et l'effet masque. Cependant pour combattre les évanouissements, les solutions se trouvent dans les types de transmission et l'estimation du canal [3].

Dans ce chapitre nous allons faire une description des méthodes utilisées pour l'estimation de canal pour un système MIMO massif. L'estimation de canal doit être optimisée pour conserver les avantages de la technologie MIMO massif en termes de débit et de performance.

2.2 Canaux sans fil

La communication sans fil est plus souple que son homologue filaire, puisque les appareils sans fil sont autorisés à se déplacer librement. L'inconvénient est que les propriétés du canal sans fil changeront à mesure que l'utilisateur se déplace autour, ce qui rend plus difficile d'adapter la transmission, par exemple, trouver le débit de données approprié [1].

Les propriétés suivantes permettent de comprendre les canaux sans fil [1]:

- **Perte du trajet ou path loss** : lorsque les ondes radio sont émises par une antenne, ils se propagent dans toutes les directions comme l'eau d'un arroseur ferait. Par conséquent, on peut imaginer que la puissance transmise qui sera reçue.
- **Evanouissement ou Multipath propagation** : quand les ondes radio se propagent dans toutes les directions, ils vont passer par les nombreux objets dans les environs : les bâtiments, les rues, les voitures, les arbres, etc. Ces objets absorberont une partie de la puissance du signal portée par les ondes radio. En fonction de la géométrie et le matériau des objets, les ondes seront également reflétées (sur des surfaces planes), dispersées (sur des surfaces rugueuses), ou diffractée. Ces phénomènes sont illustrés dans la **figure 2.1**. L'implication est que les ondes radio transmises peuvent rebondir sur une multitude d'objets différents et arrive au niveau du récepteur. Cependant, les composants ont parcouru des distances différentes et pourraient les uns des autres. Mais tout comme les vagues d'eau sont constamment en mouvement et le changement, la propagation par trajets multiples crée des variations continues de la puissance du signal reçu. Même si l'appareil est en mouvement, d'autres objets vont se déplacer et influencent des différents chemins.

- **Ombre ou Shadowing** : dans certains environnements, il y a de grands bâtiments ou collines qui bloquent le chemin de l'émetteur vers le récepteur. Ce phénomène est appelé ombre et signifie essentiellement que la puissance reçue dans une certaine zone peut être bien pire que décrit par la perte de trajet. Par opposition à la propagation par trajets multiples, l'ombre crée des variations lentes de la puissance de signal au niveau de la réception, d'autre quitte la zone d'ombre avant que la situation s'accroît.

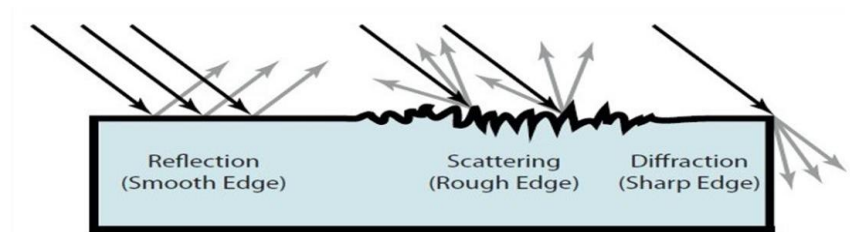


Figure 2.1 Illustration de trois types d'effet de propagation des ondes radio

- La diffraction se produit lorsque la ligne de visée entre l'émetteur et le récepteur est obstruée par un obstacle opaque dont les dimensions sont plus grandes que la longueur d'onde du signal émis.
- La diffusion se produit dans le même cas que la diffraction mais lorsque les dimensions des obstacles sont comparables à la longueur d'onde.
- La réflexion se produit lorsque l'onde émise rencontre un obstacle dont les dimensions sont comparables à la longueur d'onde. La réflexion peut avoir pour effet une augmentation ou une diminution du niveau du signal reçu. Lorsqu'il y a un grand nombre de réflexions le niveau du signal reçu peut devenir instable.

2.3 Modèle de système MIMO massif

Le modèle de système MIMO massif de la **figure 2.2** est supposé avec N_R antennes de réception et N_T antennes d'émission. Le modèle massif du système MIMO peut être exprimé comme :

$$Y(i) = H(i) s(i) + n(i) \quad (2.1)$$

Où :

$Y(i)$ Désigne le signal reçu, $H(i)$ désigne la matrice de canal, $s(i)$ désignent le signal émis, $n(i)$ est le vecteur de bruit gaussien blanc dont les éléments sont indépendants et distribués de manière identique (iid) avec une moyenne nulle et variance σ_n^2 . Simultanément, les

informations sur l'état du canal sont supposées être parfaitement connues. La distribution de Rayleigh est prise en compte [12].

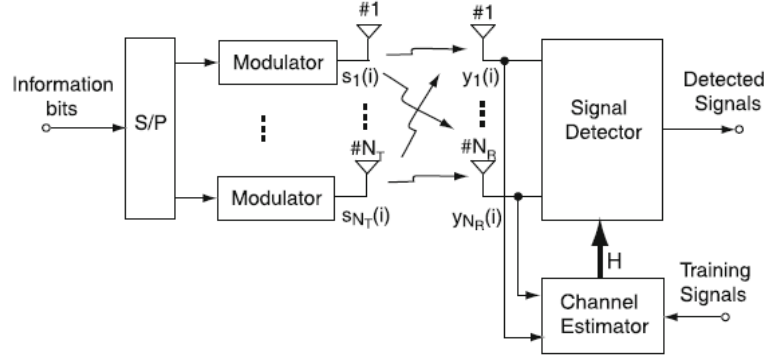


Figure 2.2 Modèle de système MIMO massifs

2.4 Architecture détaillé

2.4.1 Transmission de données en liaison montante

Une partie de l'intervalle de cohérence est utilisé pour la transmission de données au niveau de la liaison montante. Sur la liaison montante, tous les K utilisateurs transmettent leurs données à la station de base dans une même intervalle de temps. La station de base utilise ensuite les estimations de canal en même temps que la combinaison linéaire des techniques pour détecter les signaux émis par tous les utilisateurs [1].

La transmission en liaison montante est le mécanisme où un nombre K d'utilisateurs transmettent un signal à la station de base. Posons S_K , où $E\{|S_K|^2\}=1$, le signal par le K^{ème} utilisateur. Comme les K utilisateurs ont la même intervalle de temps, le vecteur de signal $M \times 1$ reçu par la station de base et la combinaison de tous les signaux transmis par tous les K utilisateurs :

$$y_{ul} = \sqrt{P_u} \sum_{K=1}^K h_K S_K + n \quad (2.2)$$

$$= \sqrt{p_u} H_s + n \quad (2.3)$$

Avec : p_u est le rapport signal sur bruit (SNR) moyen, $n \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ est le vecteur de bruit additionnel et $S \triangleq [S_1 \dots S_K]^T$ [1].

On suppose que les éléments de n sont des variables aléatoires Gaussiennes indépendantes et identiquement distribuées de moyenne nulle, de variances unitaires, et indépendantes de H . [1].

A partir du vecteur de signal y_{ul} et en connaissant les informations de l'état de canal ou CSI, la station de base détectera les signaux transmis par les K utilisateurs. Le modèle de canal (équation 2.3) est le canal à accès multiple qui a pour somme-capacité :

$$C_{ul,sum} = \log_2 \det(I_K + p_u M I_K) = K \log_2(1 + M p_u) \quad (2.4)$$

Avec K est le gain de multiplexage et M le gain matriciel. Nous pouvons voir que, nous pouvons obtenir une grande efficacité énergétique et spectrale lorsque M et K sont grand.

Sans aucune augmentation de la puissance transmise par terminal, en augmentant K et M , nous pouvons servir simultanément plusieurs utilisateurs dans la même bande de fréquence. En même temps le débit par utilisateur augmente également. De plus, en doublant le nombre d'antennes à la station de base, nous pouvons réduire la puissance d'émission de 3 dB, en maintenant la qualité de service d'origine [1].

2.4.2 Transmission de données en liaison descendante

Sur la liaison descendante, la station de base transmet des signaux à tous les K utilisateurs dans la même ressource temps-fréquence. Plus précisément, la station de base utilise les estimations de canal en combinaison avec les symboles destinés aux K utilisateurs pour créer M signaux précodés qui sont alors alimentés à M antennes. La transmission de données de liaison descendante est le scénario où la station de base transmet des signaux à tous les utilisateurs K .

On a $X \in C^{\wedge}(M \times 1)$, ou $E\{\|x\|^2\} = 1$, le vecteur du signal transmis à partir des réseaux d'antennes au niveau de la station de base. Alors, le signal reçu au $K^{i\grave{e}me}$ utilisateur est donné par la formule :

$$y_{dl,k} = \sqrt{p_d} h_K^T X + z_K \quad (2.5)$$

Où p_d est le rapport signal sur bruit (SNR) moyen et z_K est le bruit additive au $K^{i\grave{e}me}$ utilisateur [1].

2.4.3 Précodage

L'idée de base du précodage est d'utiliser une forme de connaissance du canal à l'émetteur afin de personnaliser les signaux transmis à la structure propre de la matrice canal. Le précodage permet d'améliorer la probabilité d'erreur, le taux de transmission et par conséquent la capacité du système par un partage plus efficace du canal avec les différents usagers, il permet également la suppression des interférences et en l'occurrence réduit la complexité du récepteur [3].

2.5 Estimation de canal

L'estimation du canal de transmission est un point clé les communications radio-mobiles permettant d'augmenter les performances du système de transmission grâce à la connaissance de celui-ci. Dans un environnement MIMO Massif, l'estimation du canal d'une manière plus précise est très importante car elle permet d'effectuer des traitements numériques de précodage et de beamforming pour former des faisceaux focalisant l'énergie vers, ou autour, des utilisateurs de la cellule. Une mauvaise estimation présente impact néfaste sur la capacité d'un tel système à focaliser l'énergie vers les différents utilisateurs dans la cellule.

L'estimation du canal peut être faite au niveau des terminaux utilisateurs qui remontent ensuite les informations de leurs canaux vers la Mass-BS ou alors directement au niveau de la Mass-BS [3].

2.6 Estimation de canal pour un système TDD

Dans un système TDD, les liaisons montantes et descendantes des transmissions utilisent le même spectre de fréquence, mais de différents intervalles de temps. Les canaux de liaison montante et descendante sont réciproques. Ainsi, le CSI Peut être obtenu en utilisant le schéma suivant [1]:

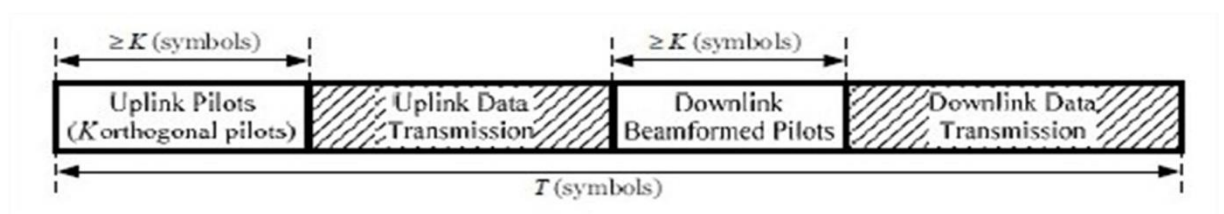


Figure 2.3 Structure d'un slot et estimation de canal dans un système TDD.

2.7 Efficacité spectrale (ES)

L'efficacité d'un système de communication était traditionnellement mesurée par l'efficacité spectrale exprimée en bit/s/Hz, qui est directement liée à la capacité du canal en bit/s. Cette métrique indique l'efficacité d'utilisation de la ressource spectrale. Ce critère renseigne sur l'efficacité d'utilisation de la bande passante et il est exprimé par le rapport entre le débit du réseau R et la bande passante du signal [3] :

$$SE = \frac{R}{B} \text{ (bit/s/Hz)} \tag{2.6}$$

Théorème 1 : Si une estimation de canal EQMM (l'Erreur Quadratique Moyen Minimale) est utilisée, la capacité de canal ergodique UL de UE, k dans la cellule j est délimitée par SE_{jk}^{UL} [bit/s/Hz] donné par [14] :

$$SE = \frac{R}{B} \text{ (bit/s/Hz)} \quad SE_{jk}^{UL} = \frac{\tau_u}{\tau_c} E\{\log_2(1 + SINR_{jk}^{UL})\} \text{ [bit/s/Hz]} \tag{2.7}$$

Théorème 2 : la capacité de canal ergodique DL de UE k dans la cellule j est délimitée par [14] :

$$SE_{jk}^{DL} = \frac{\tau_d}{\tau_c} \log_2(1 + SINR_{jk}^{DL}) \text{ [bits/s/Hz]} \tag{2.8}$$

$$\text{Où : } \tau_c = \tau_p + \tau_u + \tau_d \tag{2.9}$$

Avec :

τ_c : Le temps de cohérence

τ_p : Signaux pilotes UL

τ_u : Signaux de données UL

τ_d : Signaux de données DL

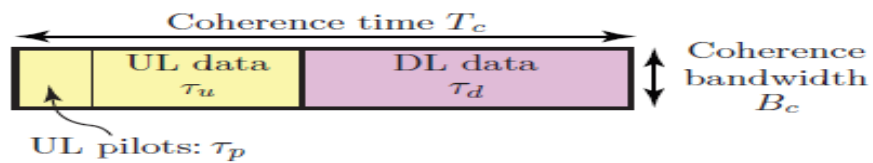


Figure2.4 Block de cohérence.

2.8 Les méthodes d'estimation du canal :

2.8.1 La structure générale d'estimation

Les techniques d'estimation ont toute la structure générale présentée à la **figure 2.5**. Les symboles transmis x_k , qui apparaissent dans les expressions de l'estimateur, sont de symboles de formation ou des variables de décision quantifiées dans un estimateur orienté vers la décision [15].

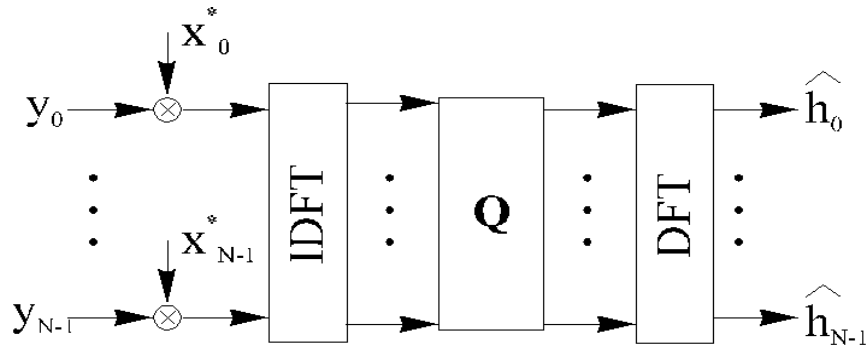


Figure 2.5 La structure générale d'estimation de canal.

2.8.2 L'erreur quadratique moyenne minimale (MMQE) et moindres carrés (MC)

Les méthodes d'estimation de canal dans le domaine fréquentiel sont les méthodes EQMM et MC, mais la méthode EQMM nécessite la connaissance à priori de la variance du bruit. La méthode MC est sensible au bruit et requiert un taux important de pilotes particulièrement dans le cas de canaux parcimonieux [16]. Si le vecteur de canal g est gaussien et n'est pas corrélé avec le bruit de canal n , l'estimation EQMM de g devient [15] :

$$\hat{g}_{MMSE} = R_{gy} R_{yy}^{-1} y \quad (2.10)$$

Ou :

$$R_{gy} = E \{ g y^H \} = R_{gg} F^H X^H \quad (2.11)$$

$$R_{yy} = E \{ y y^H \} = X F R_{gg} F^H X^H + \sigma_n^2 I_N \quad (2.12)$$

Sont la matrice de covariance croisée entre g et y et la matrice de covariance automatique de y . De plus, R_{gg} est la matrice d'autocovariance de g et σ_n^2 indique la variance du bruit $E \{ |n_k|^2 \}$. Ces deux quantités sont supposées être connues. Comme les colonnes de F sont orthonormales, \hat{g}_{MMSE} génère l'estimation MMSE de domaine de fréquence \hat{h}_{MMSE} par [15]:

$$\hat{h}_{MMSE} = F\hat{g}_{MMSE} = FQ_{MMSE}F^HX^Hy \quad (2.13)$$

Ou Q_{MMSE} peut être montré :

$$Q_{MMSE} = R_{gg}[(F^HX^HXF)^{-1}\sigma_n^2 + R_{gg}]^{-1}(F^HX^HXF)^{-1} \quad (2.14)$$

Cet estimateur de canal MMSE (2.13) à la forme indiquée dans la **figure 2.5** Si g n'est pas gaussien, \hat{h}_{MMSE} n'est pas nécessairement un estimateur de l'erreur quadratique moyenne minimale. Il s'agit toutefois du meilleur estimateur linéaire au sens de l'EQMM. Dans les deux cas (g , gaussien ou non), nous désignerons l'estimation de canal comme \hat{h}_{MMSE} .

Pour la réponse cyclique à l'impulsion g , l'estimateur MC minimise $(y - XFg)^H (y - XFg)$ et génère [15]:

$$\hat{h}_{LS} = FQ_{LS}F^HX^Hy \quad (2.15)$$

Ou :

$$Q_{LS} = (F^HX^HXF)^{-1} \quad (2.16)$$

Il convient de noter que la valeur \hat{h}_{LS} correspond également à la structure de l'estimateur de la **figure 2.5**. Depuis (2.15) se réduit à :

$$\hat{h}_{LS} = X^{-1}y \quad (2.17)$$

2.8.3 Poursuite de base (PB) :

Chen et Donoho [17] ont suggéré une méthode de décomposition basée sur une véritable optimisation globale qui est au moins théoriquement faisable, en raison des progrès récents dans la programmation linéaire. Parmi les nombreuses solutions possibles à $\phi\alpha = s$, ils en choisissent un dont les coefficients ont une norme l^1 minimale.

$$\min ||\alpha||_1 \quad \text{objet de} \quad \phi\alpha = s \quad (2.18)$$

Pour traiter les données au niveau du bruit $\sigma > 0$, elles proposent une décomposition approximative, en résolvant :

$$\min ||\phi\alpha - s||_2^2 + \lambda_n ||\alpha||_1 \quad (2.19)$$

Avec $\lambda_n = \sqrt{2 \log(\#\mathcal{D})}$ selon le nombre $\#\mathcal{D}$ de vecteur distincts dans le dictionnaire [17]

2.8.4 Bloc de détection de support itératif (bloc-DSI) et détection de support itératif (DSI).

Le pseudo code de bloc-ISD est dans l'algorithme 1 [18]:

Algorithme 1 Algorithme de Bloc-DSI

Input:

- 1) Measurements $y\Omega$,
- 2) Sensing matrix Θ .
- 1: Intialization :
 - $s = 0$ and $g: \Gamma_g^{(0)} = \emptyset$.
- 2: **While** $\text{Card}(\Gamma_g^{(s)}) < N_T L - p$ **do**
- 3: $W^s = (\Gamma_g^{(s)})^c$;
- 4: $g^{(s)} \leftarrow \min_{g(s)} \|g_W^{(s)}(s)\|_1 \quad s.t. \ y\Omega = \Theta g^{(s)} + n_\Omega$;
- 5: $v^{(s)} = \text{Sort}(g^{(s)})$;
- 6: $i \leftarrow \min i \quad s.t. \ |v^{(s)}(i+1)| / |v^{(s)}(i)| > |\tau^{(s)}|$;
- 7: $\epsilon^{(s)} = |v^{(s)}(i)|$;
- 8: $\Gamma_v^{(s)} = \{K \quad s.t. \ |v^{(s)}(k)| > \epsilon^{(s)}\}$;
- 9: $\Gamma_g^{(s)} = \{(l-1)N_t + 1 : 1 : lN_t \quad s.t. \ \text{Card}(\{(l-1)N_t + 1 : 1 : lN_t\} \cap \Gamma_v^{(s)}) > N_t/2\}$;
- 10: $s = s + 1$.
- 11: **end while**
- 12: **return** $\hat{g} = g^{(s)}$

Output:

Recovered block-sparse equivalent CIR \hat{g} .

Ou:

$|v^{(s)}(i)|$ désigne la valeur absolue du i th de $v^{(s)}$, et $\tau^{(s)} = (LN_t)^{-1} \|v^{(s)}\|_\infty$. Le plus petite i est l'indice ou « le premier saut significatif » se produit dans un vecteur ordonné $v^{(s)}$. Ensuite, nous définissons le seuil $\epsilon^{(s)} = |v^{(s)}(i)|$ à l'étape 7, puis le support de $v^{(s)}$ peut être mis à jour en fonction du seuil $\epsilon^{(s)}$ à l'étape 8 :

$$\Gamma_v^{(s)} = \{K \quad s.t. \ |v^{(s)}(k)| > \epsilon^{(s)}\} \quad (2.20)$$

Enfin, en raison de la rareté du bloc $g^{(s)}$, le support de $g^{(s)}$ peut être mis à jour à l'étape 9 :

$$\Gamma_g^{(s)} = \{(l-1)N_t + 1 : 1 : lN_t \quad s.t. \ \text{Card}(\{(l-1)N_t + 1 : 1 : lN_t\} \cap \Gamma_v^{(s)}) > N_t/2\} \quad (2.21)$$

$$\text{Card}(\{(l-1)N_t + 1 : 1 : lN_t\} \cap \Gamma_v^{(s)}) > N_t/2$$

Par rapport à l'algorithme DSI classique, la différence de bloc-DSI est la prise en compte de la sparsity de bloc de $g^{(s)}$ à l'étape 9. Pour un certain bloc de g non nul, les éléments

N_t continus de ce bloc sont supposés être non-zéros. Leur index sont censés être inclus dans $\Gamma_g^{(s)}$.

Cependant, certains index du bloc peuvent être détectés incorrectement en raison de l'impact de bruit. Néanmoins, nous pouvons déterminer si ce bloc est un bloc zéro ou un bloc non zéro en comparant le nombre d'indice inclus dans $\Gamma_g^{(s)}$ avec $N_t/2$ (la moitié de la longueur de bloc). Seulement lorsque plus de la moitié des index du bloc sont inclus dans $\Gamma_g^{(s)}$, alors tous les index N_t du bloc seront ajoutés dans $\Gamma_g^{(s)}$. Ce mécanisme, compte tenu de la rareté du bloc, devrait accroître la robustesse de la détection du support et améliorer ainsi les performances d'estimation des canaux, comme le vérifieront les résultats de la simulation dans le chapitre 3. De plus, par rapport à DSI, bloc-DSI n'ajoute que quelques opérations de comparaison, donc la complexité globale n'augmente pas beaucoup [18].

2.9 Conclusion

Un canal de transmission est un canal aléatoire, à la fois dispersion et diffraction et réfraction, ce qui conduit aux phénomènes de propagation par trajets multiples et l'effet masque.

Dans ce chapitre, on a montré une représentation de l'architecture détaillé du système MIMO massif. Puis on a passé à l'estimation de canal qui permet l'augmentation des performances du système de transmission grâce à la connaissance de celui-ci. D'un autre côté, la connaissance du canal de transmission permet le calcul de l'efficacité spectrale par le bon détecteur. Enfin, on a cité les méthodes d'estimation de canal.

CHAPITRE 3
Simulations et résultats

3.1 Introduction

La simulation est un processus qui consiste à concevoir un modèle du système étudié, mener des expérimentations sur ce modèle, interpréter les observations fournies par le déroulement du modèle et formuler des décisions relatives au système, en d'autres termes, il consiste à gérer le temps ainsi que les actions qui sont liées aux différents instant d'un système réel à faire fonctionner abstraitement le modèle qui présente ce système [20].

Dans ce chapitre, nous allons commencer par une définition de programme de simulation qui sera utilisé, puis nous présenterons la description des étapes de la simulation, finalement, nous exposons les résultats graphiques de la simulation avec une analyse des résultats obtenus, le tout clôturé par une conclusion.

3.2 Langage utilisé

Afin de réaliser les différentes simulations de notre système, nous avons eu recours aux outils du logiciel MATLAB®. Ce dernier est un langage de calcul scientifique de haute niveau et un environnement interactif pour le développement d'algorithmes, la visualisation et l'analyse des données, ou encore le calcul numérique en utilisant MATLAB, nous pouvons résoudre des problèmes de calcul scientifique plus rapidement qu'avec les langages de programmation traditionnels ; car il n'est pas nécessaire d'effectuer les tâches de programmation de bas niveau, comme la déclaration des variables, la spécification des types de données et l'allocation de la mémoire [3].

3.3 Etapes de la simulation

3.3.1 Comparaison entre différentes méthodes d'estimation

Nous évaluons, dans cette partie, la comparaison des performances en termes de l'erreur quadratique moyenne normalisée entre des différentes méthodes d'estimation de canal. On a utilisé les mêmes paramètres qui sont utilisés dans l'article [19]. Nous considérons un système MIMO massif avec des antennes $N_T = 32$, avec la bande passante du système de 50 MHz et la longueur du symbole Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) $N = 4096$. Nous adoptons le modèle de canal de l'union internationale des télécommunications Vehicular-A avec la longueur maximale de canal $L = 128$.

3.3.2 L'influence de la corrélation spatiale et la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif

Pour comprendre les propriétés de base de l'estimateur EQMM, nous allons illustrer comment la corrélation spatiale des canaux et la contamination des pilotes affecte ses performances.

Nous expliquerons également comment acquérir la chaîne statistique dans la pratique [14].

3.3.2.1 L'influence de la corrélation spatiale sur l'estimation des canaux

Dans cette section nous allons analyser les propriétés de base de l'estimation de canal qui sont mieux décrites lorsque nous considérerons l'estimation de la réponse de canal d'un UE qui a une séquence pilote unique, L'estimation n'est alors affectée que par le bruit et non par interférence.

Ces propriétés sont illustrées numériquement dans la **figure 3.4** pour les matrices de corrélation générées par le modèle de diffusion local, avec distribution angulaire gaussienne. **Figure 3.4** montre le EQMN en fonction du SNR^p (le SNR effectif) avec soit $M = 2$, $M = 10$, $M = 40$, soit $M = 100$ antennes. Les résultats sont moyennés sur différents angles nominaux uniformément répartis entre 0° et 360° tandis que l'ASD est $\sigma_\varphi = 10^\circ$ [14].

L'impact de la corrélation spatiale des canaux est étudié plus en détail dans la **figure 3.5**.

3.3.2.2 L'influence de la contamination des pilotes sur l'estimation des canaux

Nous allons maintenant illustrer les bases de la contamination pilote en considérant un scénario dans lequel deux UE utilisent la même séquence pilote. BS j estime le canal de l'UE k dans sa propre cellule, tandis que l'UE i dans la cellule l transmet le même pilote. L'interférence mutuelle que ces UE provoquent pendant le pilotage a deux conséquences principales:

- Les estimations de canal deviennent corrélées.
- La qualité de l'estimation est réduite.

La **figure 3.5** représente l'erreur quadratique moyenne normalisée à l'estimation d'un canal spatialement corrélé en fonction de l'écart-type angulaire dans le modèle de diffusion locale avec distribution angulaire gaussienne.

Pour ce cas on a pris un rapport signal/bruit $SNR = 10dB$ et un nombre d'antennes $M = 100$.

3.3.3 Etude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférence

Dans cette section, nous allons présenter une simulation de l'efficacité spectrale obtenue dans une topologie de réseau fondé sur des cellules hexagonales **figure 3.1** [1].

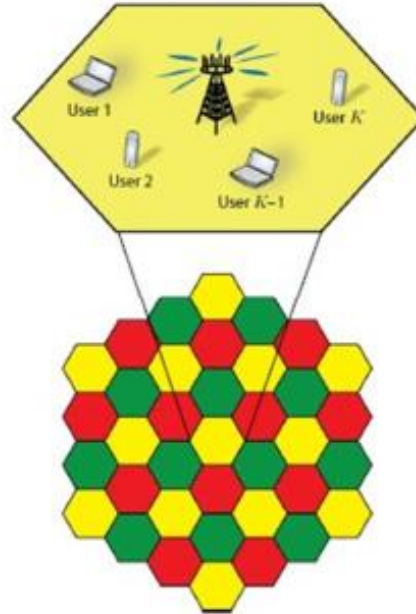


Figure 3.1 Architecture cellulaire de type hexagonal.

La grille hexagonale est infiniment large. Pour donner aux cellules les mêmes propriétés, le rayon cellulaire est noté par $r > 0$ et est la distance entre le centre et le coin de la cellule .chaque cellule est indexée par une paire d'entiers $a_j^{(1)}, a_j^{(2)} \in \mathbb{Z}$ où \mathbb{Z} est l'ensemble des entiers **figure 3.2**.

Cette paire d'entier spécifie la localisation de la station de base j :

$$b_j = \sqrt{3} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}r}{2} \\ r \\ \frac{r}{2} \end{bmatrix} a_j^{(1)} + \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix} b_j^{(2)} \in \mathbb{R}^2 \tag{3.1}$$

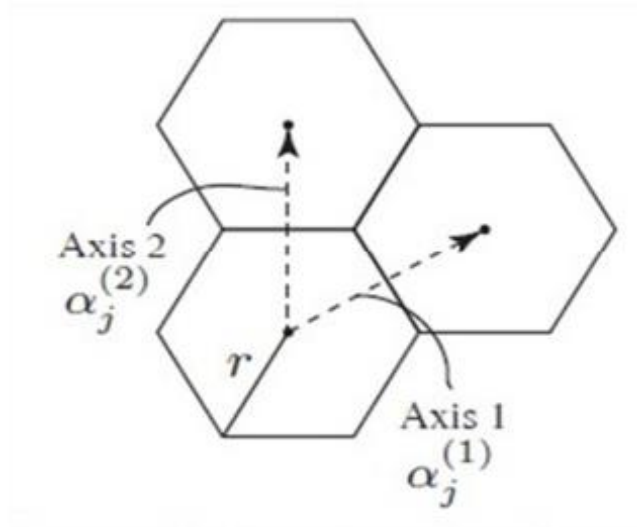


Figure 3.2 système de coordonnées d'une grille hexagonale.

Les terminaux peuvent être n'importe où dans la cellule, mais au moins à $0.14 r$ depuis la station de base. Les expressions de l'efficacité spectrale en liaison montante et descendante sont les mêmes, nous allons simuler la somme de ces deux efficacité spectrales. Dans les simulations suivantes, nous avons considéré les techniques de précodage /combinaison MR, ZF et P-ZF [1].

On a considéré trois types d'environnements de propagation avec différents sévérité de l'interférence intracellulaire [1]:

- Moyen : en plaçant les terminaux sur des emplacements uniforme dans toutes les cellules, en limitant tous les terminaux à être au moins $0.14 r$ de la station de base j .
- Bon : tous les terminaux situés dans les autres cellules sont plus éloignés de la station de base j .
- Mauvaise : tous les terminaux des autres cellules sont placés très proche de la station de base j .

Les résultats obtenus pour les trois types d'environnements de propagation sont illustrés dans la **figure 3.7**, **figure 3.8** et **figure 3.9** respectivement.

3.4 Résultats de simulations

3.4.1 Résultat de la comparaison entre différentes méthodes d'estimation

La **figure 3.3** représente l'EQMN en fonction de rapport signal/ bruit (dB)

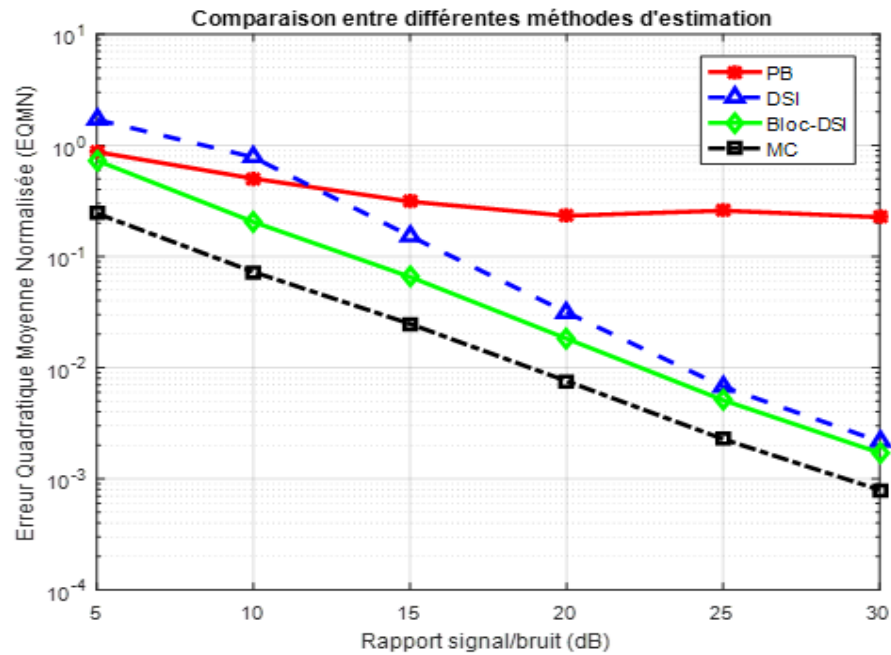


Figure 3.3 comparaison des performances en termes de l'EQMN entre PB, DSI et Bloc-DSI.

La **figure 3.3** montre la comparaison des performances de l'erreur quadratique moyenne normalisée (EQMN) entre le bloc-ISD proposé et les algorithmes classiques DSI et PB, où le nombre de pilotes est $p = 640$. De plus, la performance de l'algorithme MC exact en supposant la connaissance exacte de support des CIR équivalentes à des block-sparse est également représentée comme la borne inférieure de l'EQMN des fins de comparaison. On peut observer que block-ISD surpasse les algorithmes classiques ISD et PB. Plus précisément, block-ISD atteint un gain de plus de 4 dB de rapport signal-bruit (RSB) par rapport aux algorithmes ISD et PB lorsque l'on considère l'EQMN cible de 10^{-1} . Le gain de performance est principalement attribué à l'exploration de la faible densité de blocs inhérente à la CIR équivalente générée pour les block-sparse. Noter que block-ISD surpasse évidemment ISD lorsque le SNR n'est pas très élevé. Cela est dû au fait que block-ISD est plus capable de corriger l'erreur de détection de support causée par le bruit additif que ISD lorsque le SNR n'est pas très élevé, ce qui améliore donc la détection de support et conduit finalement à un EQMN plus faible. Pour les techniques conventionnelles d'estimation des canaux comme MC et EQMM, le nombre de pilotes P devrait être aussi élevé que $LN_T = 128 \times 32 = 4096$ pour garantir un problème surdéterminé. C'est-à-dire que block-ISD réalise une réduction substantielle de $(4096 - 640) \div 4096 = 84\%$ de frais généraux pilote par rapport à ces techniques conventionnelles d'estimation de canal sans tenir compte la rareté des canaux [19].

3.4.2 Résultat de l'influence de la corrélation spatiale et la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif

3.4.2.1 résultat l'influence de la corrélation spatiale sur l'estimation des canaux

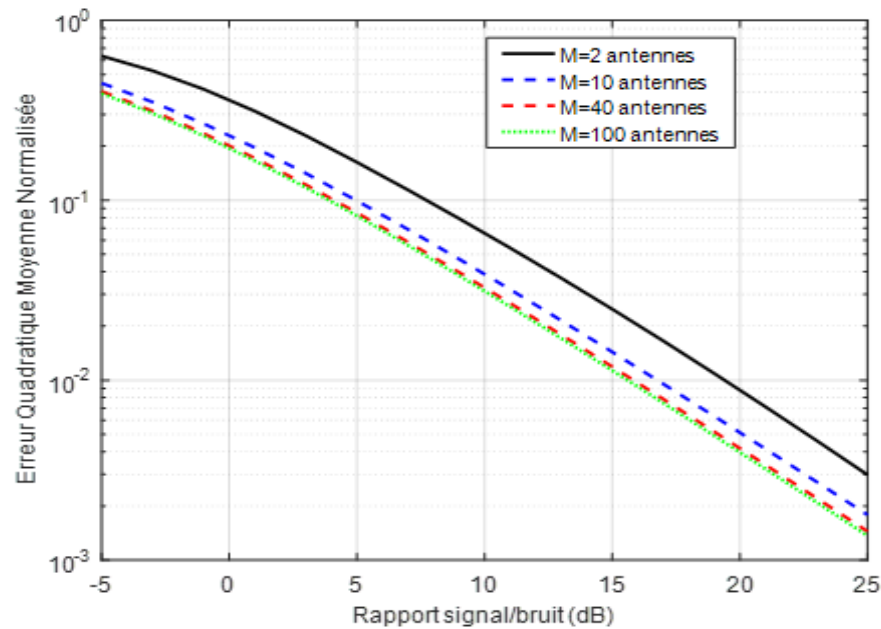


Figure 3.4 L'erreur quadratique moyenne normalisée à l'estimation EQMM d'un canal spatialement corrélé base sur le modèle de diffusion locale avec distribution angulaire gaussienne et écart-angulaire $\sigma = 10^\circ$.

La **figure 3.4** montre que l'EQMN diminue de façon monotone avec le SNR, Un EQMN d'environ 10^{-2} est obtenu à un SNR de 20 dB, ce qui signifie que la variance de l'erreur d'estimation n'est que de 1% de la variance d'origine de la chaîne. Notez que ce SNR efficace peut être obtenu en ayant un SNR nominal de 10 dB et séquences pilotes avec $\tau_p = 10$ s, donc ce n'est pas particulièrement élevé.

L'EQMN diminue également à mesure que plus d'antennes sont ajoutés, Cette propriété est due à la corrélation spatiale des canaux.

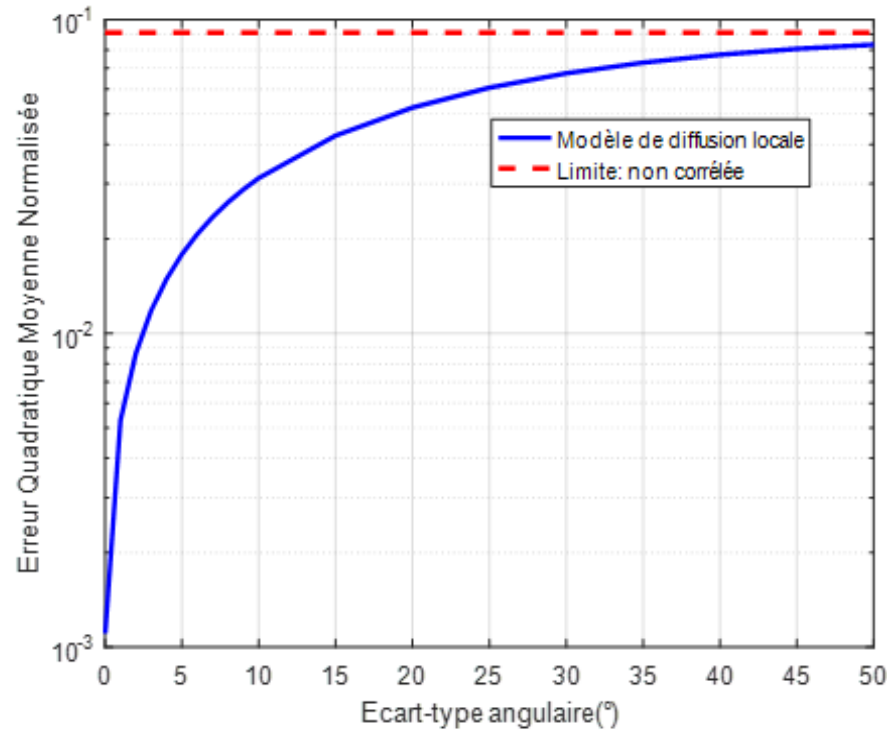


Figure 3.5 : L'erreur quadratique moyenne normalisée à l'estimation d'un canal spatialement corrélé en fonction de l'écart-type angulaire dans le modèle de diffusion locale avec distribution angulaire gaussienne.

La **figure 3.5** quand le NMSE est représenté en fonction de l'ASD σ_φ . Le SNR effectif est de 10 dB et il y a $M = 100$ antennes. Graphique **3.5** montre que l'erreur est plus petite lorsque l'ASD est petit (c.-à-d. corrélation spatiale). Cela s'explique par le fait que la plupart des chaînes la variance réside dans quelques valeurs propres lorsque σ_φ est petit, il est plus facile d'estimer des eigendirections fortes que les plus faibles. Le EQMN pour les canaux non corrélés est indiqué dans **figure 3.5** comme référence. Pour les canaux fortement corrélés spatialement, l'erreur d'estimation peut être de deux ordres de grandeur plus petite que dans le cas non corrélé, alors que cet avantage est essentiellement perdu lorsque σ_φ atteint autour de 40° [14].

3.4.2.2 Résultat la contamination des pilotes sur l'estimation du canal MIMO massif

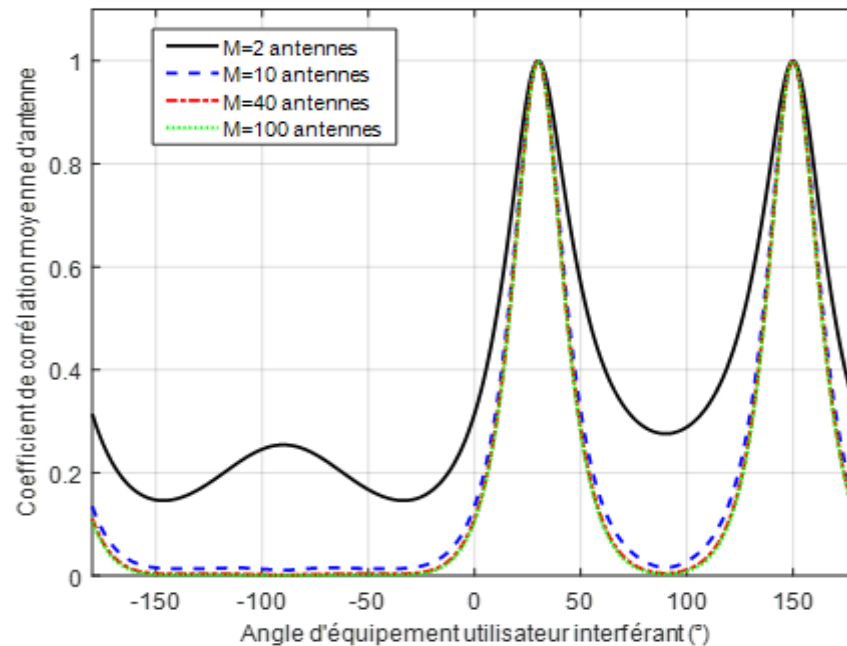


Figure 3.6 La valeur absolue du coefficient de corrélation moyenne d'antenne entre les estimations de canal de l'utilisateur désiré et un équipement utilisateur interférant qui utilise le même pilote.

La **figure 3.6** montre le coefficient de corrélation moyenne d'antenne entre les estimations de canal, lorsque le SNR effectif de l'UE souhaité est de 10 dB et que le signal est 10 dB plus faible que cela. Dans ce cas, le modèle de diffusion locale avec une distribution angulaire gaussienne est utilisé et l'équipement utilisateur désiré a un angle nominal de 30° , tandis que l'angle de l'équipement utilisateur interférant varie entre -180° et 180° .

On remarque que les angles UE jouent un rôle clé lorsque la BS est équipée de plusieurs antennes. Si les UE ont le même angle, le coefficient de corrélation est de un, ce qui signifie que les estimations sont identiques. Si l'UE angles est bien séparés, le coefficient de corrélation est plutôt proche de zéro. Cela indique que non seulement les gains moyens des canaux mais aussi la structure propre des matrices de corrélation spatiale détermine l'impact de la contamination pilote. Ceci est différent de case d'antenne unique (et cas multi antenne avec évanouissement non corrélé), dans lequel le coefficient de corrélation est égal à un, quels que soient les angles UE [14].

3.4.3 Résultat de l'Etude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférence

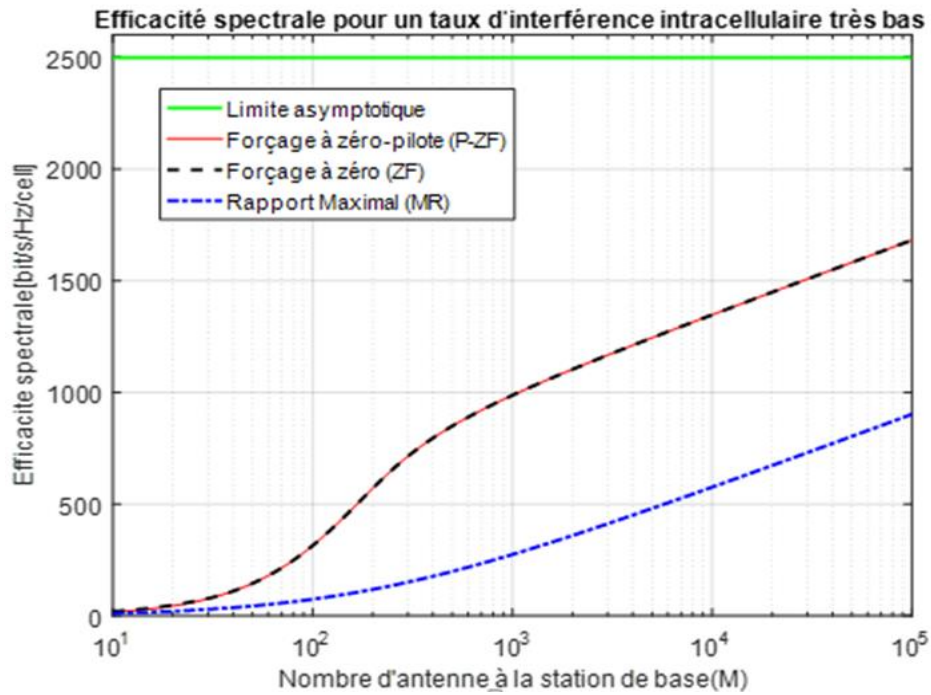


Figure 3.7 Efficacité spectrale, en fonction de M, avec un taux d'interférence intracellulaire très bas.

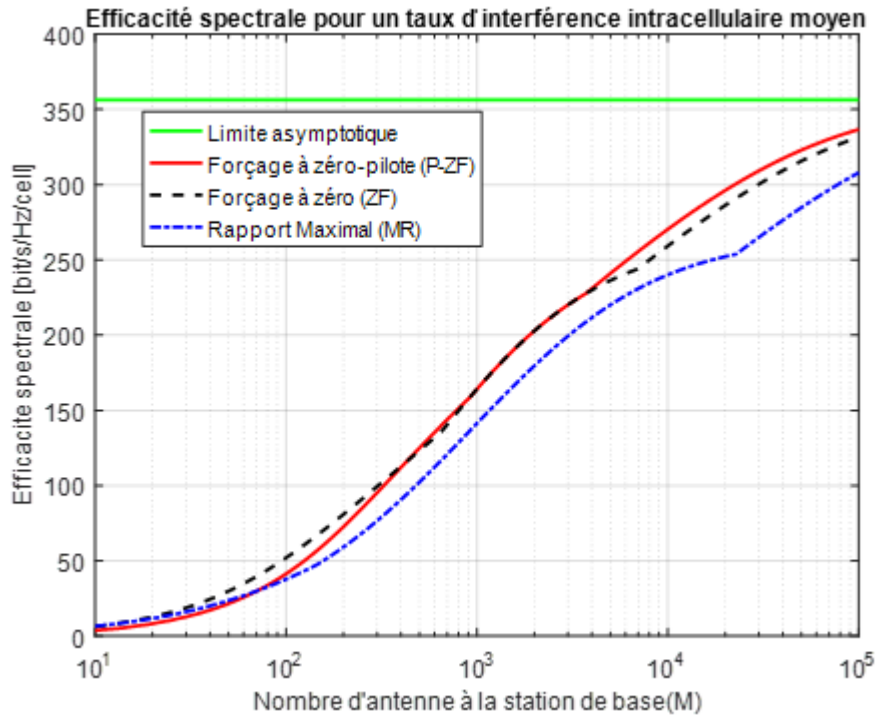


Figure 3.8 Efficacité spectrale, en fonction de M, avec un taux d'interférence intracellulaire moyen.

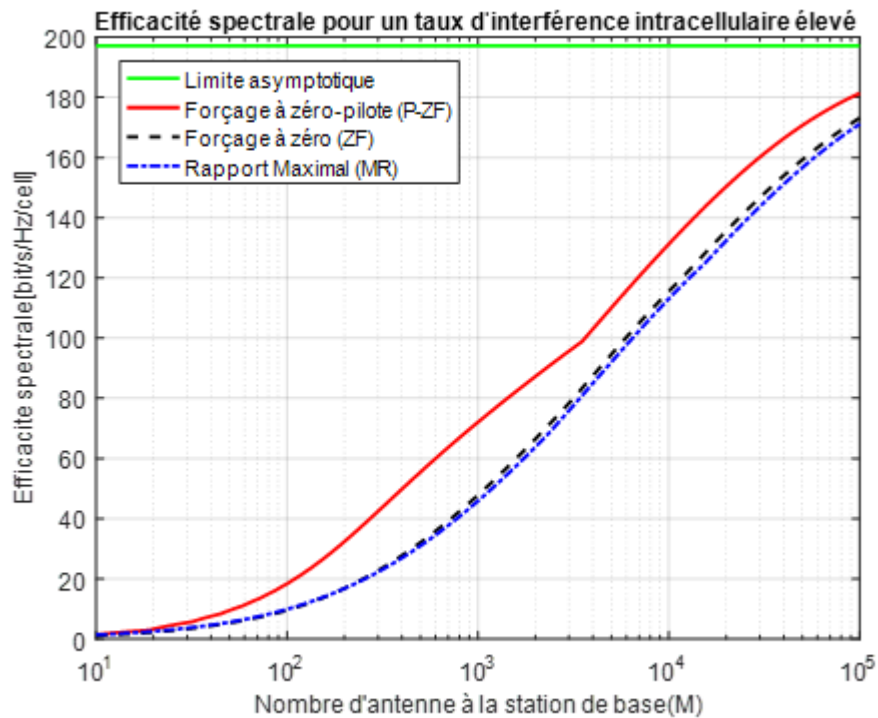


Figure 3.9 Efficacité spectrale, en fonction de M , avec un taux d'interférence intracellulaire élevé.

D'après les figures ci-dessus, on peut remarquer que les efficacités spectrales obtenues, par cellule, sont très différents entre le système ayant un taux d'interférence intracellulaire bonne et les deux autres, mauvaise et moyenne [1].

La **figure 3.7** montre l'efficacité spectrale en fonction de nombre d'antenne dans le cas d'une bonne interférence intracellulaire, les résultats montrent que les techniques de précodage ZF et P-ZF donnent essentiellement la même efficacité spectrale à celle MRC, Ces deux techniques fournissent une efficacité spectrale plus élevée par rapport MRC qui fournit l'ES le plus bas parmi tous les schémas, le gain d'atténuation d'interférence intracellulaire est très élevé.

La **figure 3.8** représente l'efficacité spectrale en fonction de nombre d'antenne dans le cas d'une interférence intracellulaire très mauvaise, et dans le cas d'interférence intracellulaire moyen.

Figure 3.9, nous notons que les efficacités spectrales obtenues sont presque les mêmes pour MRC, ZF et P-ZF ; en particulier dans la plage où le nombre d'antennes à la station de base est de $10 \leq M \leq 200$. dans tous les cas, la principale différence est remarquée quand le nombre d'antenne est très large, on a pu conclure aussi qu'il faut au moins $M = 10^5$ pour atteindre la limite asymptotique et beaucoup plus d'antenne est nécessaire dans le cas où l'interférence

Cellulaire mauvaise.

Les **figures 3.8** et **3.9** nous ont montrés la principale différence entre MRC, ZF et P-ZF au niveau des valeurs de l'efficacité spectrale. Il est nécessaire de savoir le nombre d'antenne K au niveau des terminaux et le facteur de réutilisation de pilote β utilisés. En principe, un large nombre d'antenne M implique un nombre élevé d'antennes au niveau des terminaux et un minimum de valeur du facteur β , parce que les canaux deviennent plus orthogonal avec M [1].

Le résultat confirme que l'augmentation de nombre d'antenne mener à l'augmentation du ES.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre , on a vu les résultats des différentes simulations, premièrement, après la comparaison des performance en termes de l'EQMN entre PB, ISD et bloc-ISD, on conclue que le bloc_ISD est plus capable de corriger l'erreur de détection de support causée par le bruit additif que ISD lorsque le SNR n'est pas très élevé ,ensuite, on a traité l'influence de la corrélation spatiale et la contamination des pilotes sur l'estimation du canal, la conclusion est que la corrélation spatiale des canaux peut atténuer l'impact de contamination pilote et une bonne gestion des pilotes peut fournir un efficacité spectrale élevé sur un large intervalle de charge d'utilisateurs , on a conclue par l'étude de l'efficacité spectrale pour différent niveau d'interférence, l'augmentation de nombre des antennes dans la station de base améliore l'ES.

La différence entre ZF et MR est que la combinaison par ZF peut supprime l'interférence intracellulaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ces dernières années, l'utilisation d'un grand nombre d'antennes est devenue un sujet important de recherche. Les systèmes MIMO utilisent ce concept, appelés « MIMO massifs », qui basé sur l'usage de plusieurs antennes au niveau de l'émetteur-récepteur. MIMO massifs sont l'un des principaux axes de développement pour augmenter les débits de communication sans fil.

Dans cette étude, on a parlé premièrement du système MIMO massif, qui est une évolution du système MU-MIMO passant par son évolution, en allant du cas le plus simple SISO au cas MIMO massif. Cette technologie permet une augmentation de débit et de l'efficacité spectrale, elle gère un grand nombre de cas et des exigences d'utilisateurs, elle est capable d'éliminer les évanouissent, les interférences et le bruit.

Ensuite, nous avons parlé sur les canaux sans fil, avec une description de l'architecture détaillée du système MIMO massive puis nous avons cité quelques méthodes d'estimation de canal (MMSE, LS, DSI, BLOC-DSI, MC) qui joue un rôle principale dans les performances du système.

Dans le troisième chapitre, on a utilisé une programmation MATLAB :

- ✚ Pour présenter une comparaison entre les différentes méthodes d'estimation de canal. On a vu que l'utilisation des bonnes méthodes d'estimation du canal facilite la transmission et pour empêcher la perte d'information. On a conclu que, Parmi les méthodes que nous avons cité, le bloc-DSI est la plus capable de corrigé l'erreur de détection de support causée par le bruit additif que DSI lorsque le SNR n'est pas très élevé.
- ✚ Pour étudier l'impact de la corrélation et de la contamination sur l'estimation du canal MIMO massif, on a conclu que la corrélation spatiale des canaux peut atténuer l'impact de la contamination pilote. Une bonne gestion des pilotes peut fournir une efficacité spectrale élevée sur un large intervalle de charge d'utilisateur.
- ✚ Pour l'étude de l'efficacité spectrale dans des différents environnements (moyen, bon, mauvaise), les résultats de simulation exprime que l'augmentation de nombre des antennes dans SB améliore l'efficacité spectrale, les résultats montre aussi que la combinaison par ZF peut supprimer l'interférence intracellulaire et que l'utilisation d'un grand nombre d'antenne permet d'avoir une bonne ES.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] Randriamiadana Zakasoa Arilova, « Evaluation performance d'un système MIMO massif en termes d'efficacité spectrale », Mémoire fin d'étude, Université D'ANTANANARIVO ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO, 15/12/2016
- [2] DACI Kaoutar, DOUU Warda, « Etude de massive MIMO pour 5G », Mémoire de Fin d'Etude, Université Echahid hamma Lakhdar, El-Oued 2019.
- [3] Dehemchi Marwa, Bouhafer Asma, « Etude et analyse de méthodes de beamforming pour des systèmes Multi-utilisateurs pour la 5G », Mémoire fin d'étude, Université 08 Mai 1945-Geulma. Juillet 2019.
- [4] N. Hassan, X. Fernando « MASSIVE MIMO Wireless Networks: « Overview Electronics » 2017, 6, 63; 5septembre 2017.
- [5] The Role of Massive MIMO in 5G. Michael Wang. octobre 23, 2018[en ligne]. <https://medium.com/@miccowang/the-role-of-massive-mimo-in-5g-c362e790ef61>.
- [6] Rozé, Antoine.Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs systèmes multi-utilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques ». Diss.INSA de Rennes, 2016.
- [7] Beosman Radia, Sidhou Amel « Etudes et simulation des performances des systèmes MIMO en configurations STBC et V-BLAST ».Diss. 2013.
- [8] Bendimerad.FT, Hadj.AL,Debbat.F,Djennas.SA,Benamar.A,Bahri.SM. « MIMO et accès Multiples Avancés pour Réseaux sans fil » Laboratoire de télécommunications de Telemcen(LTT), Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen.Nov2013
- [9] A. Diallo. « Systèmes multi-antennes pour diversité et MIMO », Université Nice Sophia Antipolis, 2007.
- [10] Sun, Diwei (Thèse doctorat 2017). Spectral Efficiency and Energy Efficiency in Massive MIMO Systems
- [11] Maroua Chouk, « Annulation des interférences intercellulaires pour les systèmes MIMO massif dans les réseaux hétérogènes 5G », Université LAVAL, CANADA 2019

- [12] Yigang Zhou(B), Lin Wang, Liming Zheng, and Yu Mao, « Low-Complexity Signal Detection Based on SOR Method Exploring an Efficient Relaxation Range for Massive MIMO Systems », School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, HarbinChina {zhouyg,zheng}@hit.edu.cn, hitwanglin@163.com maoyu0807@163.com
- [13] Jaouadi, Randa. « Compromis efficacité énergétique et efficacité spectrale pour les objets communicants autonomes ». Diss. Nantes, 2017
- [14] Bjornson, Emil, Jakob Hoydis, and Luca Sanguinetti. « Massive MIMO networks: Spectral, energy, and hardware efficiency » Foundations and Trends® in Signal Processing 11.3-4 (2017): 154-655.
- [15] van de Beek, J-J., Edfors, O., Sandell, M., Wilson, S. K., & Börjesson, P. O. (1995). « On channel estimation in OFDM systems ». In *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference* (Vol. 2, pp. 815-819). IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.. <https://doi.org/10.1109/VETEC.1995.504981>.
- [16] Bamba sissokho, « Gestion des interférences dans les systèmes MIMO massifs », Thèse de doctorat, Université de limoges, France 2019.
- [17] S. Chen and D. Donoho. « Basis Pursuit». Technical Report, Department of Statistics, Stanford University.
- [18] Wenqian Shen, Linglong Dai, Yi Shi, Zhen Gao, and Zhaocheng Wang Tsinghua «Massive MIMO Channel Estimation Based on Block Iterative Support Detection. », National Laboratory for Information Science and Technology (TNlist), Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China Huawei Technologies, Beijing 100095, China.
- [19] Wenqian Shen, Linglong Dai ✉, Zhen Gao and Zhaocheng Wang. « Spatially correlated channel estimation based on block iterative support detection for massive MIMO systems. ».Article in *Electronics Letters* , October 2014.
- [20] Rabhi kahina, sekkai chahinaz, « Strategie MIMO (Multiple Input Multiple Output) dans les réseaux de capteurs sans fil. », Mémoire fin d'étude, Université A/MIRA-Béjaia, 28 Septembre 2017.

Résumé

Depuis quelques années, on observe un développement très rapide dans le domaine des communications sans fil, ce développement, en raison du besoin d'augmentation de débit et gères un grand nombre de cas et des exigences d'utilisation tout en consommant moins d'énergie, a exigé l'apparence d'une nouvelle technologie importante dans le domaine de réseaux d'antenne qui caractéristique de la 5G, appelé MIMO massif.

Ce système consiste à combiner plusieurs antennes à la fois au lieu de mettre en place une seule antenne réceptrice-émettrice afin de renforcer le signal, réduire les interférences, augmenter la capacité et permet d'améliorer l'efficacité spectrale.

L'objectif de ce projet est d'étudier et simuler différente techniques d'estimation du canal qui joue un rôle clé dans les performances des systèmes de communication afin de remarquer l'amélioration apportée à l'efficacité spectrale par l'utilisation de la récente technologie MIMO massif.

Mots clés : Réseaux d'antennes, MIMO massif, 5G, efficacité spectrale

Abstract

In recent years, we have observed a very rapid development in the field of wireless communication, this development, due to the need for increased speed and manages a large number of cases of use requirements while consuming less energy, demanded the appearance of an important new technology in the field of antenna array which features 5G, calling massive MIMO.

This system consists of combining several antennas at the same time instead of putting in place a single receiving-transmitting antenna in order to strengthen the signal, reduce interference, increase the capacity and improve the spectral efficiency.

The objective of this project is to study and simulate different channel estimation techniques which play a key role in the performance of communication system in order to notice the improvement brought to the spectral efficiency by the use of the recent massive MIMO technology.

Key words: array antenna, Massive MIMO, 5G, spectral efficiency.

المخلص

في السنوات الاخيرة، كان هناك تطور سريع للغاية في مجال الاتصالات اللاسلكية وهذا التطور، بسبب الحاجة الى زيادة السرعة و ادارة عدد كبير من حالات متطلبات الاستخدام مع استهلاك طاقة اقل، طالب بظهور تقنية جديدة مهمة في مجال مجموعة الهوائيات التي تتميز بشبكة 5G ،تدعى MIMO الهائل .

يتكون هذا النظام من الجمع بين عدة هوائيات في نفس الوقت بدلا من اعداد هوائي واحد للاستقبال والتحكم، من اجل تقوية الاشارة و تقليل التداخل و زيادة السعة و تحسين الكفاءة.

الهدف من هذا المشروع هو دراسة و محاكاة تقنيات تقدير القنوات المختلفة التي تلعب دورا رئيسيا في اداء نظام الاتصالات من اجل ملاحظة التحسن الذي تحقق في الكفاءة الطيفية من خلال استخدام احدث التقنيات تقنية MIMO الهائل.

الكلمات المفتاحية: شبكات الهوائية، تقنية MIMO الضخمة، الجيل الخامس (G5) ، الكفاءة الطيفية.