



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Lakhder d'El-Oued Hamma Université Echahid
Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie
Filière: Télécommunication
Spécialité: Systèmes de Télécommunication

Thème

Étude et simulation de la bande 28 GHz avec MIMO
dans la ville d'El Oued

Réalisé par:

❖ **ABDALLAOUI Chourouk**

❖ **MESBAHI Bouchra**

Soutenu en Septembre 2020 devant le jury composé de :

Mr. BOULILA Mouhamed

Maitre de conférences "A"

Président

Mr. GHENDIR Saïd

Maitre de conférences "B"

Examineur

Mr. AJGOU Riadh

Maitre de conférences "A"

Rapporteur

Année Universitaire: 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au sein du
Faculté de Technologie de L'Université Echahid Hamma Lakhdar. El
Oued.*

*Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le
courage et la volonté pour accomplir ce travail*

*Je remercie mon encadreur le Mr. AJGOU Riadh, pour avoir dirigé ce
travail, pour son aide immense, pour sa simplicité et ses valeurs uniques
qui m'ont toujours soutenue dans les moments les plus difficiles, il m'a
toujours reçu avec sympathie et il a mis son temps et ses connaissances à
ma disposition, il a suivi et encouragé les nombreuses corrections
jusqu'à l'achèvement de ce travail veuillez trouver ici l'expression de ma
reconnaissance.*

*Et je lui exprime particulièrement tout ma reconnaissance pour
m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ses qualités
humaines et sa constante disponibilité. L'Université Echahid Hamma
Lakhdar El Oued d'avoir accepté de faire partie du Jury.*

Mes remerciements à :

Toutes nos gratitude à nos enseignants.

Et nos amis.

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
travail.*

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma Mère,

A mon Père,

A mes frères

Et à tous mes Amis

Merci à tous.

Bouchra

إهداء:

بعد مسيرة دراسية حملت في طياتها الكثير من الصعوبات والمشقة والتعب

اليوم نقطف ثمرها والحمد لله

اهدي ثمة هذا العمل المتواضع أولاً الى روح ابي الراحل فلقد كان لي السراج الذي

أنار درب حياتي وألهمني الصمود والتحدي لبلوغ مقاصدي رحمة الله عليك أي

إلى أُملي في الحياة وقرة عيني وسر نجاحي أُمي الغالية ادامها الله وأطال في عمرها

وإلى كل من ساندني اختي وإخوتي الذين وقفوا بجاني

شكري وثنائي لأساتذتي ولجميع من ساندني طيلة هذه السنوات.

عروء

Résumé:

Le réseau cellulaire de la cinquième génération (5G) est la prochaine cellular mobile où utilise les bandes de fréquences millimétrique (mmWave) la bande de fréquences de 28 GHz est l'une des bandes candidate à utiliser par la 5G. La ligne de visée (LOS) est une ligne directe entre l'émetteur et le récepteur radio, ce type de scénario (LOS) entre dans les études de nombreux types de transmissions radio. L'étude de la bande 28 GHz se fera en environnement LOS et NLOS et le nombre d'élément d'antenne dans le cas du scénario de microcellule Urbaine pour la ville d'El-Oued. Ce travail aborde également les performances de propagation radio en termes de retards temporels (Root Mean Square – RMS), puissance reçue, angle de départ (angle of departure-AoD) et angle d'arrivée (angle of Arrival- AoA) en azimut et en élévation et chemin perdu.

Mots clés: ondes millimétriques , perte de chemin, MIMO, AoD, Modèle de canal.

ملخص :

تعتبر الشبكة الخلوية من الجيل الخامس (5G) هي الاتصال الخلوي المتنقل التالي حيث تعمل بترددات موجة ملليمتر (مم). يعد النطاق الترددي 28 جيجا هرتز أحد المرشحين الأقوياء لاتصالات الموجات المليمترية التي سيستخدمها الجيل الخامس. خط البصر (LOS) هو خط مباشر بين جهاز الإرسال والاستقبال اللاسلكي وتعتمد عليه أنواع كثيرة من الإرسال اللاسلكي. سيتم إجراء دراسة النطاق 28 GHz في بيئة LOS و NLOS وعدد عناصر الهوائية في حالة سيناريو الخلية الصغيرة الحضرية لمدينة الوادي (الجزائر). يتناول هذا العمل أيضًا أداء الانتشار الراديوي من حيث التأخيرات (مربع متوسط الجذر - RMS) ، والمسار المفقود ، والقدرة المستقبلية ، وزاوية المغادرة (AoD) وزاوية الوصول (AoA) في السمات. وفي الارتفاع.

الكلمات المفتاحية : موجات المليمترية، خسارة المسير، MIMO، AoD ، نموذج القناة.

ABSTRACT:

The fifth generation (5G) of cellular network is the next mobile cellular communication where it operates at millimeter wave frequencies (mmWave). The 28 GHz frequency band is one of the serious candidates for mmWave communication to be used by the 5th generation. Line of Sight (LOS) is a direct line between the radio transmitter and receiver and many types of radio transmissions depend on it. The study of the 28 GHz band will be done in LOS, NLOS environment and the number of antenna elements in the case of the Urban Microcell scenario for the city of EL Oued (Algeria). This work also discusses the radio propagation performance in terms of time delays (Root Mean Square – RMS), lost path, and received power, angle of departure (AoD) and angle of arrival (AoA) in azimuth and elevation.

Keywords: mmWave , path loss, MIMO, AoD, Channal Modal.

Sommaire

Remerciements	
Résumé	i
Sommaire	ii
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vii
Listes des acronymes et abréviations	ix
Introduction générale	1

Chapitre I: Enjeux de la 5G

I.1 Introduction.....	4
I.2 Pourquoi la 5G	4
I.3 Objectifs de la 5G.....	6
I.4 Familles d'usages de la 5G	7
I.5 Différentes exigences de la 5G	8
I.5.1. Très hauts débits ou débit crête par utilisateur.....	9
I.5.2 Efficacité énergétique	10
I.5.3 Capacité de trafic par zone.....	10
I.5.4 Efficaces spectral.....	11
I.5.5 Mobilité.....	12
I.5.6 Densité de connexion	12
I.5.7 Débit moyen par utilisateur.....	12
I.5.8 Latence.....	13
I.6 Spectre pour la 5G.....	13
I.7 Conclusion	14

Chapitre II: Technologie massive MIMO de la 5G

II.1 Introduction	16
II.2 MIMO traditionnel.....	16
II.3 Principe de la technologie MIMO.....	17
II.4 Types de MIMO.....	18
II.4.1 Système SISO	19
II.4.2 Système SIMO	20
II.4.3 Système MISO	20
II.5 Système Massive MIMO	21
II.6 Types Massive MIMO	21
II.6.1 Single-User MIMO	27
II.6.2 Multi-User Massive MIMO.....	25
II.6.3 MU- Massive MIMO avec Multi-Cell scénario	25
II.6.4 Massive MIMO distribuée.....	26
II.7 Caractéristique générales des systèmes Massive MIMO	24

II.7.1 Préférence du schéma TDD en Massive MIMO	24
II.7.2 Évolutivité	27
II.8 Comparaison entre MIMO traditionnel et massive MIMO	28
II.9 Avantages de massive MIMO	28
II.10 Conclusion	29

Chapitre III: Ondes millimétriques (mm Wave) pour la 5G

III.1 Introduction	31
I.III.2 Histoire et vue d'ensemble des ondes millimétriques	31
III.3 Ondes millimétriques	32
III.3.1 Définition Ondes millimétriques	32
III.3.2 Bandes millimétriques (mmWave)	33
III.3.3 Utilisation des fréquences des ondes millimétriques	34
III.3.4 Avantage des ondes millimétriques	35
III.3.5 Inconvénients des ondes millimétriques	35
III.4 Caractérisation des ondes millimétriques	36
III.4.1 Facteurs de perte de propagation en ondes millimétriques	36
III.4.2 Propagation d'espace libre	37
III.4.3 Pertes atmosphériques	38
III.5 Antennes à ondes millimétriques	39
III.5.1 Perte de chemin et directivité d'antenne	39
III.5.2 Largeur de faisceau de l'antenne	39
III.5.3 Gain maximal possible pour le facteur de qualité "Q"	40
III.5.4 Formation du faisceau de l'Antenne	42
III.5.5 Polarisation	43
III.6 Aperçu des modèles de perte de trajets	44
III.7 Conclusion	46

Chapitre IV: Simulation et Résultats

IV.1 Introduction	48
IV.2 Logiciel et model utilisé	48
IV.3 Procédure de calcul de l'affaiblissement sur le trajet	48
IV.4 Simulateur de canal NYUSIM 5G	49
IV.4.1 Réseaux D'ANTENNES MIMO pour TX et RX	49
IV.4.2 Paramètres d'entrée	49
IV.5 Étude de la nature du climat dans El Oued	56
IV.6 Répartition de la pression barométrique pour la ville d'El-Oued	57
IV.7 Analyse de MIMO pour l'environnement NLOS en utilisant la Microcellule Urbaine pour la ville d'ElOued	56
IV.7.1 Analyse de MIMO en utilisant différentes distances de séparation T-R	58
IV.7.2 Analyse de MIMO 4*4 en utilisant différentes distances de séparation T-R et température pour l'environnement NLOS	61
IV.8 Analyse de MIMO pour l'environnement LOS pour la ville d'EL Oued en utilisant la microcellule urbaine	63

IV.8.1 Analyse de MIMO en utilisant différentes distances de séparation T-R pour l'environnement LOS.....	63
IV.8.2 Analyse de MIMO 4*4 en utilisant différentes distances de séparation T-R et température pour l'environnement LOS	67
IV.9 AoA, AoD et PDP pour MIMO 4 * 4 en utilisant différentes conditions	70
IV.9.1 Spectre de puissance des lobes AOA et AOD pour l'environnement NLOS.....	70
IV.9.2 Spectre de puissance des lobes AOA et AOD pour l'environnement LOS	72
IV.9.3 Profil de retard de puissance omnidirectionnel et directionnel pour les systèmes NLOS et LOS à 28 GHz à une température de 22.7C°	74
IV.9.4 Profil de retard de puissance directionnel et directionnel pour NLOS et LOS 28 GHz à 22.7C°	76
IV.9.5 Perte de trajets	76
IV.10 Conclusion.....	78
Conclusion Générale	80
Bibliographie.....	81

Liste des figures

Figure I.1 Évolution des réseaux mobiles.....	5
Figure I.2 Les trois cas d'utilisation de la 5G.....	8
Figure I.3 Comparaison des différentes exigences de la 5G par rapport à la 4G.....	9
Figure I.4 Fonctionnalités de cinquième génération.	13
Figure II.1 Principe de la technologie MIMO.....	17
Figure II.2 Différentes configuration des antennes multiples.....	18
Figure II.3 SISO - Single Input Single Output.....	19
Figure II.4 SIMO - Single Input Multiple Output.....	20
Figure II.5 MISO - Multiple Input Single Output.....	21
Figure II.6 Vue typique d'un réseau MIMO.....	22
Figure II.7 Beamforming.	23
Figure II.8 Single-User Massive MIMO.	24
Figure II.9 Système MU-MIMO massif.	25
Figure II.10 La BS dans la l-ième cellule et le k-ième UT dans la j-ième cellule.	26
Figure II.11 Modèle du système massive MIMO.	27
Figure III.1 Utilisation du spectre dans les bandes d'ondes millimétriques.	33
Figure III.2 Différent facteurs qui influençant la propagation des ondes millimétriques.	37
Figure III. 3 Absorption atmosphérique moyenne des ondes millimétriques.	38
Figure III.4 Modèle de trajet de canal.	39
Figure III.5 Beamwidth dans un modèle de puissance normalisé (l'échelle radiale est logarithmique).	40
Figure III.6 Système de coordonnées sphériques (r, θ, ϕ).	42
Figure.III.7 (a) Direction de la polarisation de référence. (b) Direction de la polarisation croisée (Ludwig 3).	44
Figure IV.1 Interface utilisateur graphique de NYUSIM.	50
Figure IV.2 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 22.7C°.	72
Figure IV.3 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 10 C°.	72
Figure IV.4 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 34 C°.	72
Figure IV.5 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 34 C°.	73
Figure IV.6 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 10 C°.	73
Figure IV.7 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 34 C°.	74
Figure IV.8 PDP omnidirectionnel pour environnement NLOS 28 GHz.....	75
Figure IV.9 PDP omnidirectionnel pour environnement LOS 28 GHz.	75
Figure IV.10 PDP directionnel pour environnement NLOS 28 GHz.....	76
Figure IV.11 PDP directionnel pour environnement LOS 28 GHz.	76
Figure IV.12 Perte de trajet omnidirectionnelle et directionnelle pour NLOS 28 GHz.....	77

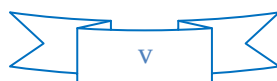


Figure IV.13 Perte de trajet omnidirectionnelle et directionnelle pour LOS 28 GHz.....	77
--	----

Liste des tableaux

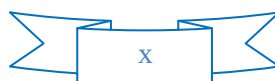
Tableau I.1 Evolution des réseaux mobiles.	6
Tableau II.1 Comparaison entre MIMO traditionnel et Massive MIMO.	28
Tableau III.1 Les bandes millimétriques proposées par ITU.....	34
Tableau IV.1 Statistiques climatiques sur une période de 20 ans.	57
Tableau IV.2 Pression atmosphérique moyenne de la ville d'El-Oued	57
Tableau IV.3 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 100 m de distance , pour l'antenne omnidirectionnelle).	59
Tableau IV.4 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne directionnelle).	59
Tableau IV.5 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).	59
Tableau IV.6 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne directionnell).	60
Tableau IV.7 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).	60
Tableau IV.8 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne directionnelle).	60
Tableau IV.9 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 34 C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).	62
Tableau IV.10 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz 34 C°, pour l'antenne directionnelle).	62
Tableau IV.11 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 10C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).	63
Tableau IV.12 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz 10C°, pour l'antenne directionnelle).	63
Tableau IV.13 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).	65
Tableau IV.14 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne directionnelle).	65

Tableau IV.15 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scenario LOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).	65
Tableau IV.16 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne directionnelle).	66
Tableau IV.17 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scenario LOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).	66
Tableau IV.18 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne directionnelle).	66
Tableau IV.19 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 10 C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).	68
Tableau IV.20 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz 10C°, pour l'antenne directionnelle).	68
Tableau IV.21 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 22.7 C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).	69
Tableau IV.22 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz 22 C°, pour l'antenne directionnelle).	69

Listes des acronymes et abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
IoT	Internet of Things
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CDMA	Code Division Multiple Access
3GPP	3rdGeneration Partnership Project
NGMN	Next Generation Mobile Networks
Mmtc	Massive Machine Type Communications
Urlc	Ultra-Reliable Low-Latency Communication
ITU	Union Internationale des Télécommunications
ITU-R	International Télécommunications Union Radiocommunication
IMT	International Mobile Telecommunications
Embb	Enhanced Mobile Broadband
RAN	Radio Access Network
IdO	Internet des Objets
TDD	Time Division Duplexing
FDD	Frequency Division Duplexing
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi-User MIMO
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SISO	Single Input Single Output
SIMO	Single Input Multiple Outputs.
MISO	Multiple Input Single Output
SU-MIMO	Single User MIMO
AWGN	Additive White Gaussian Noise

BS	Base Station
RF	Radio Frequency
Wi-Fi	Wireless Fidelity
mm Wave	Des Ondes Millimétriques
FCC	Fédéral Communications Commission
FSPL	Free-Space Path Loss
UHDV	Ultra High Définition Vidéo
HDTV	High-Definition Television
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
TNT	Télévision Numérique Terrestre
SEE	Société de l'Electricité, de l'Electronique
LOS	Line Of Sight
NLOS	Non Line Of Sight
LAN	Local Area Network
ISI	Inter Symbol Interference
PDP	Power Delay Profile
AoA	Angle of Arrival
AoD	Angle of Departure
UMi	Urban Micro Cell
UMa	Urban Macro Cell
RMa	Rural Macro Cell
RMS	Root-Mean-Square
UE	User Equipment
CSI	Channel State Information
SSCM	Statistical Spatial Channel Mode
HPBW	Half Power Beamwidth
URA	Uniform Rectangular Array
ULA	Uniform Linear Array
CIR	Channel Impulse Response
PLE	Path Loss Exponent
PL	Path Loss
P_r	Puissance reçue



Hz	Hertz
KHz	Kilo Hertz
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz
mm	Millimeter
cm	Centimeter
m	Meter
mbar	Millibar
dB	Decibel

Ce travail de thèse s'intéresse à l'étude des ondes millimétriques (mmWave) dans le réseau mobile de cinquième génération (5G). Plus précisément on étudie la bande de fréquence 28 GHz pour le cas du MIMO (Multi Input Multi Output) à l'aide de simulations NYUSIM développées par des chercheurs de l'Université de New York dont plusieurs scénarios sont adoptés. [1]

Les systèmes cellulaires de cinquième génération (5G) ont tendance à fonctionner dans la gamme de fréquences des ondes millimétriques dont les bandes de mmWave couvrent la gamme de fréquences de 30 GHz et 300 GHz. Cependant, les industries souvent appelées mmW avec bandes comme toute fréquence allant de 10 GHz à 300 GHz.[2] Les fréquences mmWave ont des longueurs d'onde beaucoup plus petites, allant de 1 mm à 10 mm, à peu près la taille d'un clou humain, les systèmes d'entrée multiples (MIMO) peuvent grandement améliorer la qualité de transmission en exploitant la dimension spatiale, et l'un de ses avantages également en termes de performances est l'augmentation significative du nombre d'antennes sur systèmes MIMO.

Problématique et motivation

La 5G est une technologie mobile en évolution qui prend de nouvelles fonctions. Il est construit pour répondre aux énormes demandes de communication et pour prendre en charge de nouvelles applications grâce à un flux de données très élevé (plusieurs gigaoctets), une interaction élevée (temps d'attente court de quelques millisecondes) et une grande fiabilité. Bien que les ondes millimétriques soient candidates pour cette nouvelle technologie, une étude des problèmes que subir ces ondes est nécessaire. Parmi les problèmes usuels auxquels les ondes millimétriques peuvent être confrontées sont la pluie, température, humidité, pression ainsi de nombreux autres facteurs (le nombre antennes à utiliser,...) dont, les mmWave se limitent principalement à la transmission sur de courtes distances, généralement à des distances inférieures à un kilomètre.

Afin d'étudier l'effet de ces facteurs, ce travail propose une investigation approfondie sur les performances de la bande 28 GHz en différent scénarios.

Organisation de mémoire

Ce travail est organisé en quatre chapitres dont:

Le premier chapitre donne un aperçu sur la 5G comme dont on a décrit l'objectif de la 5G face aux précédentes générations des réseaux mobiles. On a illustré la nécessité d'une nouvelle génération (5G) duquel un nombre croissant de demandes des consommateurs pour des débits de données plus élevés avec une meilleure fiabilité et une consommation d'énergie inférieure a conduit à la naissance d'une nouvelle génération de communications mobiles 5G.

Dans le chapitre deuxième, nous avons donné un aperçu de la technologie massive MIMO. Du MIMO conventionnel aux futurs réseaux 5G, MIMO massif est l'une des technologies candidates les plus prometteuses pour la future communication en raison de sa capacité à atteindre un rendement élevé et une efficacité énergétique/spectrale remarquable.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les ondes millimétriques prometteuses proposés par l'ITU (union internationale de télécommunications) et par d'autres travaux de recherche. On a illustré les différents facteurs influençant la propagation des ondes millimétriques notamment les phénomènes atmosphérique, l'environnement LOS/NLOS..... D'autres parts les modèles de propagation proposés dans la littérature par plusieurs chercheurs sont explorés.

Dans le dernier chapitre, l'effet des facteurs naturels sur les ondes millimétriques à une fréquence de 28 GHz mmWave a été étudié pour différents scénarios à l'aide de modèles de canaux NYUSIM développés par des chercheurs de l'Université de New York (NYU).

Chapitre I:

Enjeux De La 5G

Chapitre I:

Enjeux de la 5G

I.1 Introduction

La « 5G » est une nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile. Cette technologie de télécommunication sans fil promet une révolution dans le monde de la communication. Des véhicules autonomes, des robots chirurgicaux, les drones, « l'Internet des Objets » (Internet of Things ou IoT) devront se mettre à cette technologie, le nouveau standard 5G ne s'intéresse pas uniquement à l'accroissement des débits mais plutôt à être un système puissant et fiable.

L'objectif de la 5G consiste à faire évoluer les réseaux de la 4G pour répondre aux différents besoins: augmenter les débits pour les usages courants de la mobilité, une latence de 1 ms ou moins, supporter des communications à basse consommation d'énergie et longue portée pour les objets. La première partie de ce chapitre est consacré à la description de l'objectif de la 5G face aux précédentes générations des réseaux mobiles.

I.2 Définition la 5G

Les précédentes générations de réseaux mobiles avaient toujours pour ambition d'améliorer la vitesse des données afin de répondre à une demande de ressources toujours plus forte, à des services de plus en plus exigeants en termes de débits. Et chaque génération a pu développer de nouvelles technologies pour anticiper les besoins des utilisateurs.

La première génération (1G) est un système à fonctionnement analogique avec un multiplexage de type fréquentiel (FDMA). Elle était utilisée pour le service vocal public avec une capacité en termes d'abonnés et de trafic faible.

La deuxième génération (2G) repose sur une technologie entièrement numérique avec implémentation des techniques de multiplexage fréquentiel (FDMA), et découpage temporel des canaux disponibles (TDMA), pour une vitesse améliorée autour de 64Kbps. En plus des services de la première génération, la 2G permet de prendre en charge la messagerie texte.

Par la technologie de commutation de paquets, le système sans fil de la troisième génération (3G) fournit des débits jusqu'à 2Mbps.

Concernant la 4G, les technologies OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) qui est un procédé de codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses et CDMA (Code Division Multiple Access) qui est un système de codage des transmissions, utilisant la technique d'étalement de spectre ont été introduites pour offrir aux consommateurs des débits allant jusqu'à 100 Mbps.

Mais vu la demande croissante de données pour les Smartphones avec l'essor de nouvelles applications, et surtout l'arrivée de la réalité virtuelle, seul le nouveau standard 5G pourra assurer ce nouveau type de connectivité entre les personnes et les objets dans un environnement placé sous le signe de l'intelligence et des connexions, montré dans la figure I.1.[3]

Ce développement sera suivi en parallèle d'une croissance exponentielle du volume des données mobiles échangées. Par exemple, des millions de voitures connectées seront en circulation et le moindre problème de réseau pourrait avoir des incidences très graves.

C'est la raison pour laquelle l'objectif de la 5G n'est pas seulement de répondre aux besoins d'aujourd'hui mais à ceux de demain afin d'être un réseau qui ne craint ni la surcharge, ni l'évolution et qui s'adapte à de nouveaux usages.

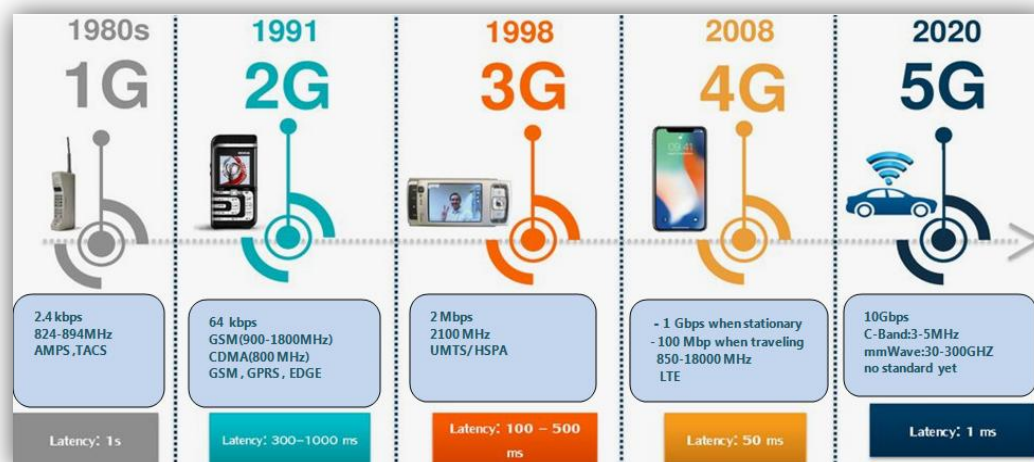


Figure I.1 Évolution des réseaux mobiles. [4]

La 5G permettra aussi d'être plus rapide pour garantir que des données seront correctement transmises dans un intervalle de temps extrêmement faible mais également sans failles.

La combinaison des deux permettra de traiter des applications jugées jusqu'alors trop sensibles pour la mobilité: voitures connectées, équipements de santé, applications industrielles. L'évolution des réseaux mobiles sont présentés dans tableau I.1.

Performances/Génération	1G	2G	3G	4G	5G
Date approximative de deployment	Années 1980	Années 1990	Années 2000	Années 2010	Années 2020
Vitesse de téléchargement théorique	2.4 Kbit/s	64 Kbit/s	2Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Temps de latence	Sans objet	629 ms	212 ms	60-98 ms	<1 ms

Tableau I.1 Evolution des réseaux mobiles.

I.3 Objectifs et standards de la cinquième génération de réseau mobile (la 5G)

Les principaux industriels et opérateurs du secteur des communications sans fil élaborent actuellement les objectifs et standards de la cinquième génération de réseau mobile (la 5G).

L'étape de standardisation démarrée au sein de différents consortiums d'opérateurs et industriels (3GPP – 3rdGenerationPartnership Project ,NGMN–Next Generation Mobile Networks...) permettra de mettre en place une réglementation à l'horizon 2020.

Le premier objectif à atteindre concerne le débit montant et descendant alloué à chaque utilisateur afin d'assurer un accès internet haut débit depuis un smart phone ou tablette.

Dans un contexte d'utilisation en mobilité faible ou nulle, le débit visé en bord de cellule par utilisateur est supérieur à 100 Mbit/s et le débit maximum par utilisateur devra dépasser les 10 Gbit/s.

Dans un cas d'utilisation en forte mobilité (par exemple, dans le cas de communications entre véhicules), l'amélioration de l'architecture du réseau devra notamment permettre de réduire la latence de la communication.

L'objectif est d'obtenir un délai de transmission inférieur à 10 ms. Pour d'autres applications de l'IoT (télémédecine, sécurité...), un haut niveau de fiabilité sera également requis.

Des modifications majeures dans l'architecture du réseau et l'apport de nouvelles technologies sans fil seront requises dans les réseaux 2G/3G/4G actuels pour atteindre ces objectifs.

Le coût et la consommation énergétique des éléments constituant ce nouveau réseau et les terminaux mobiles associés seront des points décisifs pour parvenir à une solution viable du point de vue économique. [5]

I.4 Familles d'usages de la 5G

A moyen terme (c'est-à-dire jusqu'en 2020 environ) et au-delà, le développement futur des IMT-2020 va sans doute évoluer en fonction des exigences du marché. En étudiant les différents cas d'utilisation et les besoins des usagers, trois grandes catégories d'usages ont été regroupées:[6] [7][8]

- Les communications massives de type machine (mMTC – Massive Machine Type Communications) : l'automatisation des processus industriels avec les communications massives de type machine sont des exemples de cas d'utilisations qui seront possibles dans les futurs systèmes 5G. Ce scénario d'utilisation nécessite une bonne qualité de service en termes de réduction de la consommation énergétique, de bonne connectivité ainsi qu'une grande fiabilité.
- La large bande mobile évolué (eMBB – Enhanced Mobile Broadband): dans les grands centres urbains avec une forte densité d'utilisateurs, on assiste de plus en plus à une forte demande à l'accès aux contenus, services et données multimédias. Cette demande va entraîner des exigences en termes de bande passante, ce qui va conduire à la large bande mobile évolué. Cette utilisation englobe aussi des exigences en termes de couvertures et de très haut débit mobile constant quel que soit le contexte de réception.
- Communications ultra-fiables à très faible latence (uRLLC – Ultra-Reliable and Low Latency Communications): ce scénario d'utilisation sera très important dans les futures applications nécessitant une très grande réactivité en même temps qu'une transmission extrêmement fiable. Des besoins qui se retrouvent principalement dans les transports autonomes, dans la numérisation de l'industrie, dans la chirurgie à distance, et dans les réseaux électriques intelligents.

La Figure I.2 présente le résumé des trois cas d'utilisation de la 5G dans les différents domaines d'applications.

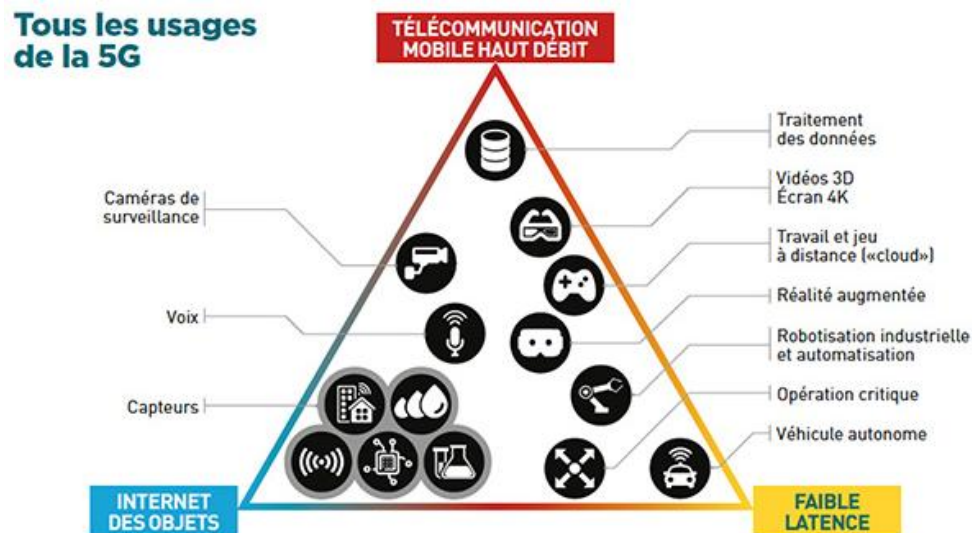


Figure I.2 Les trois cas d'utilisation de la 5G. [6]

I.5 Différentes exigences de la 5G

Les membres de l'ITU (Union Internationale Des Télécommunication), au nombre desquels de grands acteurs du secteur, des forums de l'industrie, des organisations de normalisation nationales et régionales, des régulateurs, des opérateurs de réseau, des équipementiers ainsi que des représentants d'universités et d'instituts de recherche et des Etats Membres, se sont réunis dans le cadre des activités du groupe de travail et ont mené à son terme une série d'études relatives aux principales exigences concernant la qualité de fonctionnement des technologies 5G et des domaines d'application des systèmes IMT-2020 en fonction des trois catégories d'usages cités dans le paragraphe précédent. [9] [10] Il est nécessaire de collecter et d'accepter les exigences pour avoir une idée précise des caractéristiques des systèmes, des utilisateurs et de l'exploitation. Les principales exigences des futures systèmes IMT-2020 sont décrites dans la recommandation ITU-R M.2083-0. [6]

La Figure I.3 présente un résumé d'une étude comparative de ces exigences de la 5G par rapport à celles de la 4G. On note que le changement de certaines de ces exigences ne sera pas trop significatif car le réseau actuel a déjà apporté quelques solutions.

En revanche, les exigences comme la capacité de trafic par zone, l'efficacité énergétique et les débits de données de crête devront connaître d'énormes progrès dans l'IMT-2020.

Ce qui montre que l'arrivée de la prochaine génération de réseaux mobiles ne va pas seulement se limiter à la vitesse pour soutenir la demande croissante comme le faisaient les générations précédentes.

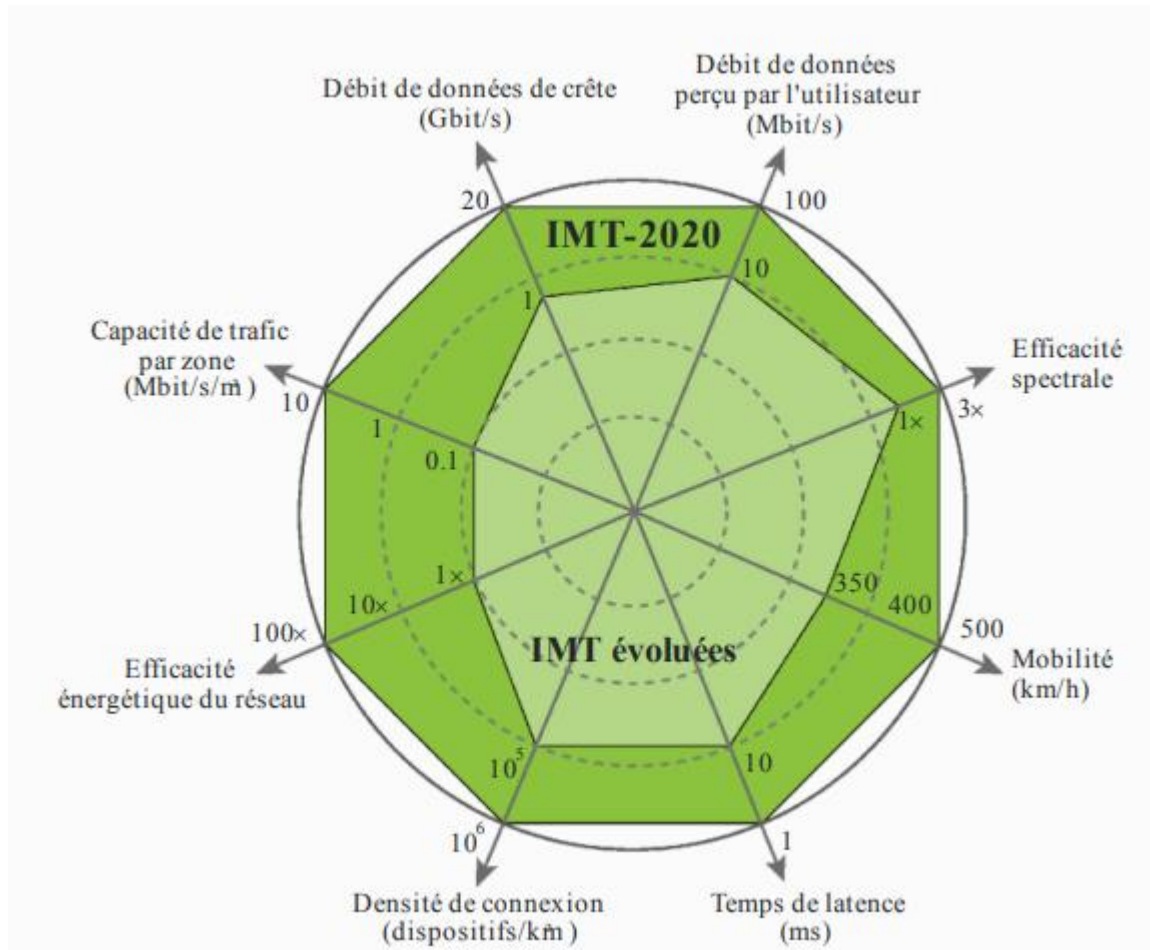


Figure I.3 Comparaison des différentes exigences de la 5G par rapport à la 4G. [11]

I.5.1 Très hauts débits ou débit crête par utilisateur

C'est une exigence qui est définie surtout à des fins d'évaluation dans les catégories d'usages d'eMBB. Elle est définie comme étant le débit de données maximal théoriquement réalisable qui peut être assigné à une seule station mobile en supposant des conditions sans erreur lorsque toutes les ressources radio disponibles sont utilisées pour la liaison correspondante (c'est-à-dire excluant les ressources radio utilisées pour la synchronisation de la couche physique, les signaux de référence ou les pilotes, les bandes de garde et les garanties). [12]

Le débit total de donnée R est déterminé dans une bande passante en fonction de l'efficacité spectrale.

$$R = \sum_{i=1}^q W_i \times SE_{pi} \quad (I.1)$$

W_i : bande passante d'un canal.

SE_{pi} : efficacité spectrale de crête dans cette bande.

Selon les objectifs de la 5G, les exigences minimales pour le débit de données de pointe sont les suivantes. [12]

- Le débit de crête de la liaison descendante est de 20 Gbit /s.
- Le débit de pointe de la liaison montante est de 10 Gbit/s.

I.5.2 Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est définie comme étant le nombre de bits transmis par Joule d'énergie et elle comporte deux aspects:

- Côté réseau, l'efficacité énergétique correspond à la quantité de bits d'information reçue ou transmise par les utilisateurs, par unité de consommation d'énergie du réseau d'accès radioélectrique (RAN) (en bit/joule).
- Côté dispositif, l'efficacité énergétique correspond à la quantité de bits d'information par unité de consommation d'énergie du module de communication (en bit/joule).

L'efficacité énergétique devrait être considérablement améliorée par rapport à la 4G afin d'augmenter la durée de vie des batteries des objets connectés (batteries pouvant être jusqu'à 100 fois moins énergivores). [12]

Tous les efforts doivent être faits sur l'optimisation énergétique afin d'avoir un bon gain d'énergie sans dégrader la performance du réseau et des dispositifs. Mais la technologie devrait permettre une flexibilité native pour l'opérateur dans le but de configurer un compromis entre l'efficacité énergétique et la performance lorsque cela est justifié. Un compromis entre l'efficacité énergétique du réseau et la consommation énergétique des objets connectés peut se rapporter à deux cas de figures:

- a) Une bonne efficacité d'énergie en cas de transmission de données.
- b) Une faible consommation d'énergie en cas d'absence de données.

I.5.3 Capacité de trafic par zone

La capacité de trafic par zone est définie comme étant le débit total de trafic fourni par zone géographique (en Mbit/s/m²). [12]

I.5.4 Efficaces spectral

Les zones urbaines et les grands lieux très denses tels que les concerts et les stades sont les meilleurs candidats à la densification du réseau en raison de la forte concentration d'utilisateurs. Par exemple, la densité d'utilisateurs dans un stade peut aller jusqu'à 2 millions/Km² soit deux utilisateurs par m².

Même si seulement 10% des utilisateurs sont actifs, le réseau doit être en mesure de supporter 200 000 utilisateurs actifs/Km². Pour supporter ce trafic de manière abordable, la 5G doit fournir des solutions permettant une prolifération de capacité de 1.000 à 10.000 fois dans des endroits de forte demande. Ceci est considéré comme l'exigence la plus importante et l'une des plus difficiles pour les futurs réseaux.

Le futur environnement des systèmes de télécommunications risque d'être très dense et surtout hétérogène mais devrait être capable d'héberger les trois catégories d'usages cités précédemment mais aussi d'avoir une transmission efficace afin de permettre d'accéder à de nombreux services partout et à tout moment.

La transmission des données et des applications multimédia nécessite une haute efficacité spectrale. Cette dernière est définie comme étant la quantité de données binaires (bits) pouvant être transférée durant une seconde sur une largeur de bande de 1 Hz (mesurée en bit / s / Hz / cellule).

[12]

Les améliorations de l'efficacité du spectre devraient s'appliquer à la fois aux cellules de petite et de grande taille, dans les bandes de fréquences basses et hautes, dans les scénarios de mobilité élevée et faible.

La mesure théorique de l'efficacité η est donnée par l'équation suivante. [12]

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N X^i}{T \cdot \omega \cdot M} \quad (\text{I.2})$$

X^i : représente le nombre de bits correctement reçus par utilisateur dans une liaison montant i ou dans une liaison descendante i dans un système comportant un nombre N populations d'utilisateurs et M cellules.

ω : désigne la largeur de bande du canal de transmission.

T : le temps nécessaire pour que les bits d'informations puissent être reçus par l'utilisateur.

Cette exigence est définie principalement à des fins d'évaluation dans le scénario d'utilisation d'eMBB. Les exigences minimales pour les efficacités spectrales pour l'ITM-2020 sont les suivantes :

- L'efficacité spectrale de pic de la liaison descendante est de 30 bits / s / Hz.
- L'efficacité spectrale de crête de la liaison montante est de 15 bits / s / Hz.

I.5.5 Mobilité

Le maintien d'un très bon niveau de qualité de service dans le contexte d'une mobilité à grande vitesse est une exigence indispensable pour la 5G et surtout pour le développement des voitures autonomes. Il existe 4 différentes classes de mobilité, chacune des classes de mobilité est prise en charge si le lien du canal de trafic peut être maintenu lorsque l'utilisateur se déplace à la vitesse maximale dans cette classe de mobilité.

- 1 - Stationnaire : 0 km / h
- 2 - Piéton : 0 km / h à 10 km / h
- 3 - Véhicule : 10 km / h à 120 km / h
- 4 - Véhicule à grande vitesse : de 120 km / h à 500 km /h

I.5.6 Densité de connexion

La densité de connexion est la capacité à soutenir la livraison réussie d'un message d'une certaine taille dans un laps de temps, même dans des endroits très denses comme une gare, un stade de football,... etc. Contrairement à la 4G qui n'offrait que des milliers de connexions par kilomètres carré, la 5G va multiplier ce chiffre par un facteur dix afin d'atteindre un million de connexions par kilomètre carré. [12]

I.5.7 Débit moyen par utilisateur

Le débit de données par utilisateur est défini comme étant le débit moyen de l'utilisateur c'est à dire le nombre de bits correctement reçus par les utilisateurs. La valeur moyenne des débits par utilisateur varie selon les zones géographiques : [12]

- Des débits +100 Mbps devraient généralement être réalisables dans les environnements urbains et suburbains.
- Des débits de données d'au moins 10 Mbps devraient être accessibles presque partout, y compris dans les zones rurales peu peuplées des pays développés et des pays en développement.

I.5.8 Latence

Cette exigence est définie comme étant le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers un réseau. L'arrivée de ce nouveau standard devrait permettre un temps de latence ultra-court, équivalant à moins d'un dixième du temps de latence des systèmes de communication actuels. Une latence très faible sera motivée par le besoin de supporter de nouvelles applications. Certains cas d'utilisation de la 5G envisagés, tels que des voitures connectées et autonomes, des services d'urgence, des drones connectés, des opérations médicales à distance....etc. peuvent nécessiter une latence beaucoup plus faible que ce qui est possible avec les systèmes de communication mobiles d'aujourd'hui.

Face à ces exigences, différentes technologies ont suscité un certain engouement dans la communauté scientifique la figure I.4. Les principales technologies qui ont été retenues comme candidate idéale sur la couche physique pour répondre aux exigences de la 5G sont : le Full duplex, le Massive MIMO et les Small cellas dans les bandes de fréquences millimétriques. [13]

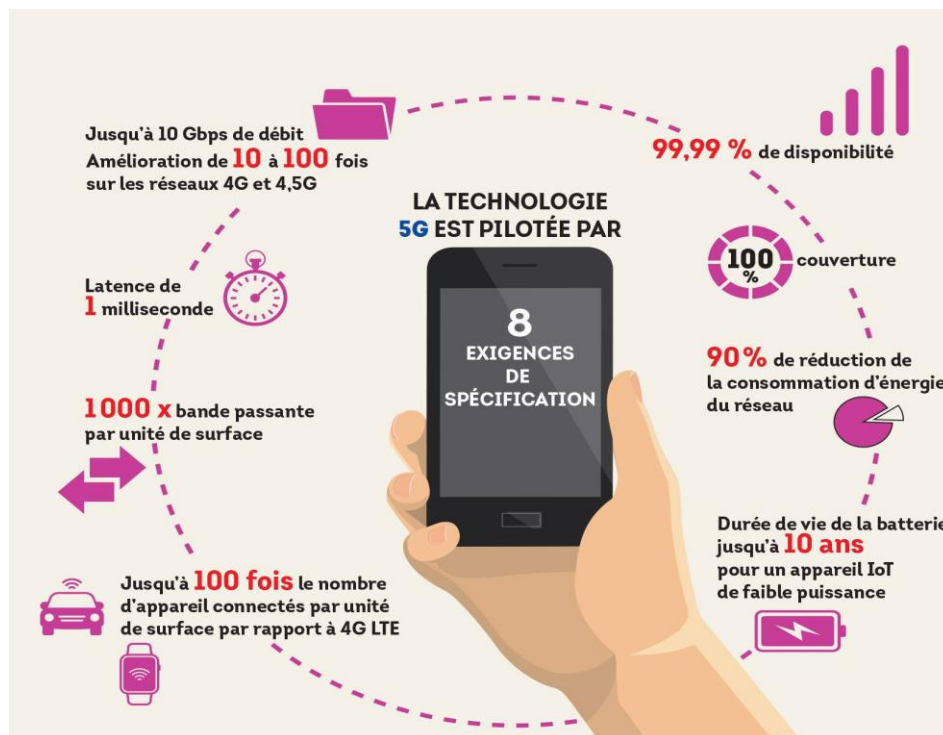


Figure I.4 Fonctionnalités de cinquième génération.

I.6 Spectre pour la 5G

La 5G a besoin de quantités significatives de nouvelles fréquences mobiles harmonisées, la défragmentation et la libération de bandes de premier choix devraient donc être une priorité. Les régulateurs devraient viser à mettre à disposition 80-100 MHz de fréquences contiguës dans les bandes intermédiaires de premier choix pour la 5G (c.-à-d. 3,5 GHz) et environ 1 GHz par opérateur dans les bandes millimétriques (c.-à-d. 26/28 GHz).

La 5G a besoin de fréquences dans trois plages de fréquences clés pour proposer une large couverture et couvrir tous les cas d'utilisation. Les trois plages sont : En-dessous de 1 GHz, 1-6 GHz et au-dessus de 6 GHz :

- ❖ Les fréquences en-dessous de 1 GHz permettent une large couverture dans les zones urbaines, suburbaines et rurales, et aident à mettre en place des services Internet des Objets (IdO).
- ❖ La plage 1-6 GHz propose un bon mélange d'avantages en termes de couverture et de capacité. Ceci comprend les fréquences de la plage 3,3-3,8 GHz qui sont prévues pour constituer la base de nombreux services 5G initiaux.

Elle comprend d'autres bandes pouvant être assignées ou réaffectées à la 5G dont 1800 MHz, 2,3 GHz et 2,6 GHz etc. Sur le long terme, il faudra plus de fréquences pour maintenir la qualité de service de la 5G et répondre à la croissance de la demande dans les bandes entre 3 et 24GHz.

- ❖ Les fréquences au-dessus de 6 GHz sont nécessaires pour permettre les ultra-hauts débits envisagés pour la 5G. Actuellement les bandes 26 GHz et/ou 28 GHz recueillent le plus de soutien international dans cette plage. Une priorité clé de la Conférence Mondiale des Radiocommunications de l'ITU en 2019 (CMR-19) portera sur la réalisation d'un accord international sur les bandes 5G au-delà de 24 GHz.

I.7 Conclusion

Avec les exigences croissantes des abonnés, la 4G sera définitivement remplacée par la 5G les premiers déploiements 5G offriront des performances en progression mais dans la continuité de ce qu'offrira alors la 4G qui aura évolué en parallèle (4.5G, 4.9G) les performances continueront d'augmenter avec l'introduction progressive de technologies de rupture, comme par exemple l'utilisation de fréquences millimétriques, la technologie massive MIMO, une telle arrivée progressive serait tout à fait similaire à ce qui s'est déroulé pour l'introduction de la 4G, dont les performances des premiers déploiements étaient sensiblement similaires aux réseaux 3G alors en place.

Chapitre II:

Technologie massive MIMO de la 5G

Chapitre II:

Technologie massive MIMO de la 5G

II.1 Introduction

Le but de chapitre actuel est de présenter les réseaux MIMO (Multiple Input Multiple Output) massifs connus sous le nom de Massive MIMO. Cette technologie émergente se présente comme l'une des méthodes les plus prometteuses pour les systèmes révolutionnaires de la cinquième génération des réseaux mobiles (5G) et de l'internet des objets. [14]

L'objectif de cette technologie est d'augmenter les avantages des systèmes MIMO traditionnels. Elle se réfère à un scénario selon lequel des composants technologiques spécifiques permettent le déploiement rentable des systèmes cellulaires exploitant des centaines d'antennes dans les stations de base cellulaires. Cette technique est une approche pour augmenter la capacité du canal et pour fournir des gains élevés de multiplexage et de diversité dans les directions de liaison montante et de liaison descendante. Ces performances vont dépendre fortement du nombre d'antennes dans la station de base par rapport aux nombres d'utilisateurs.

II.2 Les systèmes MIMO

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'ondes radioélectriques appelé trajets multiples, où 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 portée. [15]

II.3 Principe du MIMO

La technologie permet de régler ce problème. Le principe de la technologie MIMO consiste à émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différentes. A la réception aussi et avec un certain nombre d'antennes et des traitements adéquats, il s'agit de simuler cette réception dans une même bande de canaux différents. [16][17] La Figure II.1 présente le principe de la technologie MIMO.

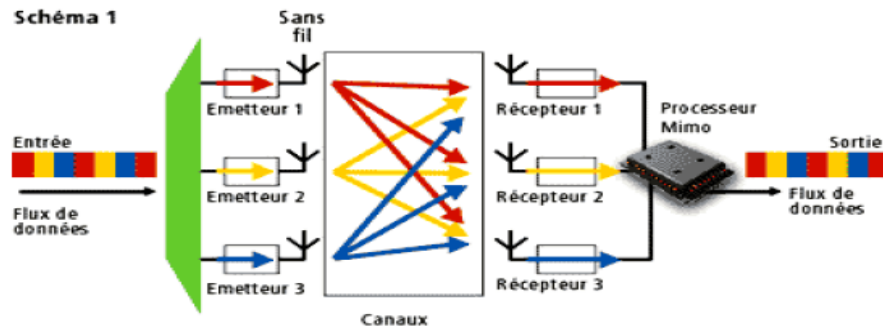


Figure II.1 Principe de la technologie MIMO. [18]

Le flux est divisé en différents flux de même fréquence qui sont envoyés à travers 3 émetteurs à 3 récepteurs. L'algorithme permet ensuite d'identifier les différents flux en vue de les restituer en un seul flux. Cet algorithme utilise la réflexion des signaux sur les murs, le sol, ... etc.

Alors que ces réflexions pourraient être considérées comme mauvaises, la technologie MIMO profite de ces différents canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données.

On peut considérer trois catégories de MIMO:

✓ Diversité spatiale MIMO

On transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Cela permet d'augmenter le ratio S/B (grâce au gain de diversité) de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous canaux MIMO soient de corrélés les uns des autres. [17]

✓ Multiplexage spatial MIMO

Chaque message est découpé en sous messages.

On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont rassemblés pour reformer le message entier d'origine.

Comme pour la diversité MIMO, les sous-canaux de propagation doivent être corrélés.

Le multiplexage MIMO permet d'augmenter les débits de transmission (grâce au gain de multiplexage). Les techniques de diversité et de multiplexage MIMO peuvent être conjointement appliquées.

Par exemple pour un système MIMO 5 x 5 (c'est-à-dire 5 antennes d'émission et 5 antennes de réception), on peut configurer un sous-système MIMO 2 x 3 pour faire du multiplexage et un sous-système MIMO 3 x 3 pour faire de la diversité MIMO. [16][19]

II.4 Types de MIMO

Il existe quatre modèles de configuration d'antenne de base qui incluent une entrée unique à sortie unique (SISO) où l'émetteur et le récepteur du système radio n'ont qu'une seule antenne chacun, ensuite est la sortie unique à entrées multiples (SIMO) où le récepteur a plusieurs antennes mais l'émetteur n'a qu'une seule antenne suivie par une entrée unique à sortie multiple (MISO), ici l'émetteur a plusieurs antennes et le récepteur n'a qu'une seule antenne. Enfin plusieurs entrées multiples sorties (MIMO), ce qui signifie que l'émetteur et le récepteur ont plusieurs antennes. C'est comme indiqué ci-dessous sur la figure II.2.

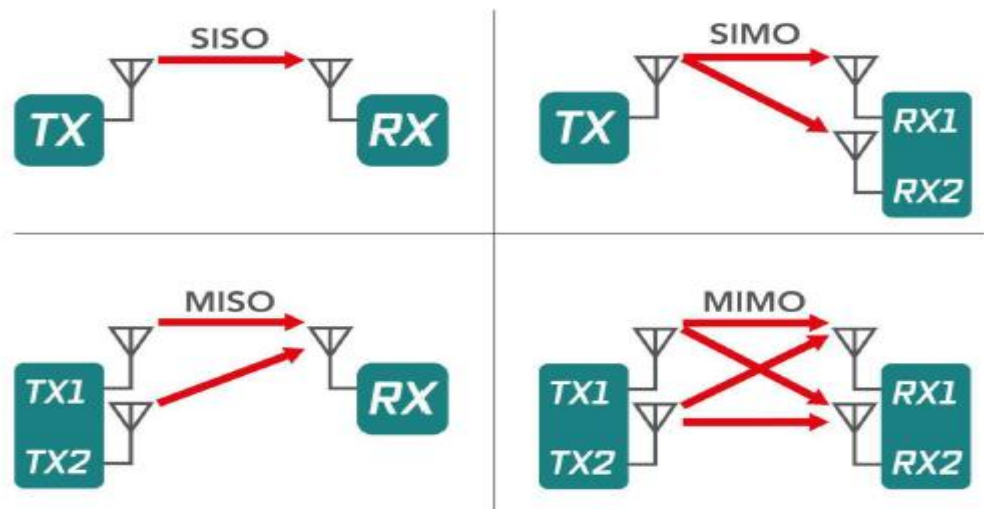


Figure II. 2 Différentes configurations des antennes multiples. [20]

Le terme MU-MIMO est également utilisé pour une version pour plusieurs utilisateurs des différentes formes de technologie d'antenne se rapportant à une ou plusieurs entrées et sorties. Ceux-ci sont liés à la liaison radio. De cette manière, l'entrée est l'émetteur lorsqu'elle est transmise dans la liaison ou le chemin du signal et la sortie est le récepteur, elle se trouve à la sortie de la liaison sans fil. Par conséquent, les différentes formes de liaisons à une / plusieurs antennes sont définies ci-dessous.

II.4.1 Système SISO

La forme la plus simple de liaison radio peut être définie en termes MIMO en tant que SISO - Single Input Single Output. Cet émetteur fonctionne avec une antenne, tout comme le récepteur. Comme présentée dans la figure II.3.



Figure II.3 SISO - Single Input Single Output.

L'avantage d'un système SISO est sa simplicité. SISO n'exige aucun traitement en termes des diverses formes de diversité pouvant être utilisées. Toutefois, les performances du canal SISO sont limitées. Les interférences et les évanouissements auront plus d'impact sur le système qu'un système MIMO utilisant une certaine forme de diversité, et la capacité du canal est limitée par la loi de Shannon - le débit dépend de la largeur de bande du canal et du rapport signal sur bruit.

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad [\text{bit/s}] \quad (\text{II. 1})$$

Où :

P : La puissance du signal utile en Watt.

N₀ : 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:

$$C = W \log_2 (1 + SNR) \quad [\text{bit/s}] \quad (\text{II. 2})$$

Avec **SNR** est le rapport signal sur bruit.

II.4.2 Système SIMO

La version SIMO ou MIMO à sorties multiples et à entrée unique se produit lorsque l'émetteur a une seule antenne et que le récepteur dispose de plusieurs antennes. Comme présentée dans la figure II.4. 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 de lutter contre les effets des évanouissements. Il est utilisé depuis de nombreuses années avec les stations d'écoute / réception à ondes courtes pour lutter contre les effets des évanouissements et des interférences ionosphériques.

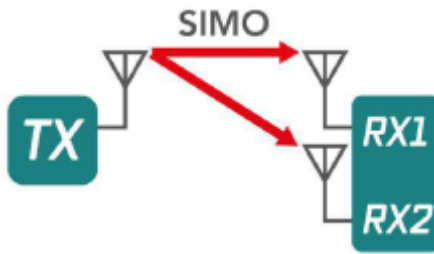


Figure II.4 SIMO - Single Input Multiple Outputs.

SIMO présente l'avantage d'être relativement facile à mettre en œuvre, bien que le traitement soit nécessaire dans le récepteur. L'utilisation de SIMO peut être tout à fait acceptable dans de nombreuses applications, mais lorsque le récepteur est situé sur un appareil mobile tel qu'un combiné de téléphone portable, les niveaux de traitement peuvent être limités par la taille, le coût et la charge de la batterie.

II.4.3 Système MISO

MISO est également appelé diversité de transmission. Dans ce cas, les mêmes données sont transmises de manière redondante à partir des deux antennes émettrices (La Figure II.5). Le récepteur est alors capable de recevoir le signal optimal qu'il peut ensuite utiliser pour extraire les données requises.

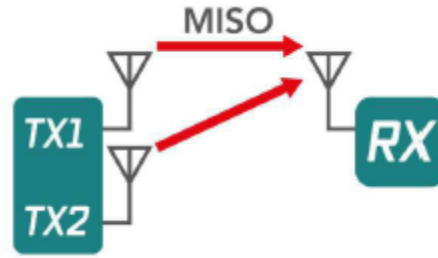


Figure II.5 MISO - Multiple Input Single Output.

L'une des idées fondamentales du traitement du signal spatio-temporel des systèmes sans fil MIMO, dans laquelle le temps est complété par la dimension spatiale inhérente à l'utilisation de plusieurs antennes réparties dans l'espace, c'est-à-dire l'utilisation de plusieurs antennes situées à différents points. En conséquence, les systèmes sans fil MIMO peuvent être considérés comme une extension logique des antennes intelligentes utilisées depuis de nombreuses années pour améliorer la technologie sans fil.

On le trouve entre un émetteur et un récepteur, le signal peut emprunter plusieurs chemins. De plus, en déplaçant les antennes même sur une petite distance, les chemins utilisés changeront. La variété de chemins disponibles résulte du nombre d'objets apparaissant sur le côté ou même dans le chemin direct entre l'émetteur et le récepteur. Auparavant, ces chemins multiples ne servaient qu'à introduire des interférences. En utilisant MIMO, ces chemins supplémentaires peuvent être utilisés avantageusement. Ils peuvent être utilisés pour renforcer la liaison radio en améliorant le rapport signal sur bruit ou en augmentant la capacité de données de la liaison.

II.5 Massive MIMO

Dans le domaine de la communication numérique, les systèmes à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) constituent l'un des jalons techniques les plus importants des communications sans fil. Les systèmes MIMO sont définis comme des systèmes complexes qui contiennent plusieurs antennes d'émission et plusieurs antennes de réception. En général, de nombreuses études montrent que les systèmes MIMO ont la capacité de fournir une capacité très élevée qui dans la plupart des cas augmente de façon approximativement linéaire avec le nombre d'antennes. [21][22] Jusqu'à présent, différents types d'architectures MIMO ont également été mis en œuvre par les entreprises industrielles concernées pour le marché des communications sans fil. Un exemple de réseau MIMO est montré à la figure II.6.

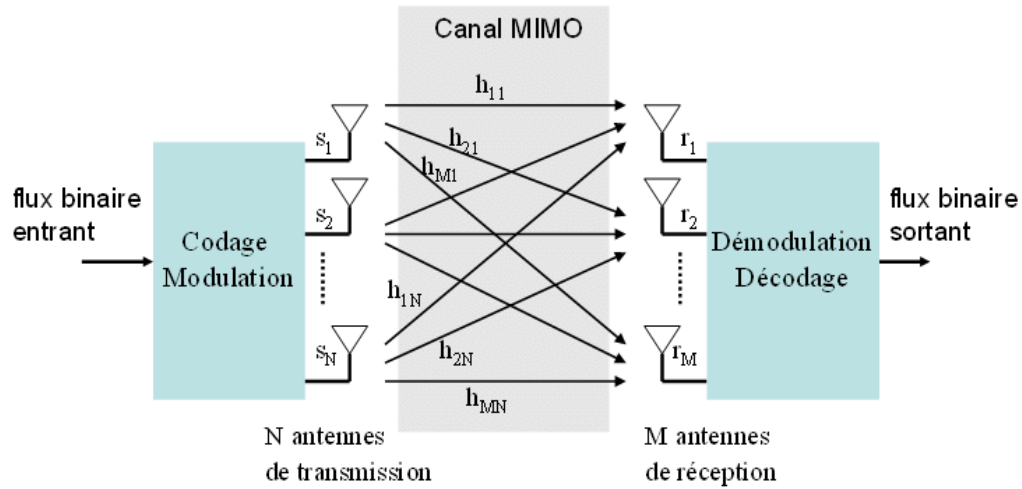


Figure II.6 Vue typique d'un réseau MIMO. [23]

- Nous considérons maintenant un lien MIMO où l'émetteur et le récepteur sont équipés de N et M antennes respectivement comme illustré dans la figure II.6.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & \ddots & \ddots & h_{2M} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix}$$

- h_{NM} est le gain complexe du canal entre la N^{ème} antenne émettrice et la M^{ème} antenne réceptrice.
- $\mathbf{H}$ est la matrice $M \times N$ du canal.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (\text{II. 3})$$

Avec $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$ et $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$

- Décomposition propre de $\mathbf{H}$:

$$\mathbf{H} = \mathbf{D}\mathbf{U}\mathbf{V}^* \quad (\text{II. 4})$$

$N \times M$
 $N \times m$
 $m \times m$
 $m \times M$

Avec $m = \min(M, N)$

- $\mathbf{U}$ et $\mathbf{V}$ sont des matrices unitaires ($\mathbf{U}\mathbf{U}^H = \mathbf{V}\mathbf{V}^H = \mathbf{I}$).
- $\mathbf{D}$ est une matrice diagonale dont les éléments non nuls sont les valeurs propres de $\mathbf{H}$.
- La capacité d'un canal MIMO est alors :

$$\mathbf{C} = \sum_{i=1}^m \mathbf{C}_i \quad (\text{II. 5})$$

$$C = \sum_{i=1}^m \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{M} |\lambda_i|^2 \right) [\text{bit/sec/Hz}] \quad (\text{II. 6})$$

Massive MIMO propose trois innovations majeures:

✓ **MIMO - Beamforming (formation de faisceau)**

Le réseau d'antennes MIMO est utilisé pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé). La figure II.7 illustre les techniques de beamforming .

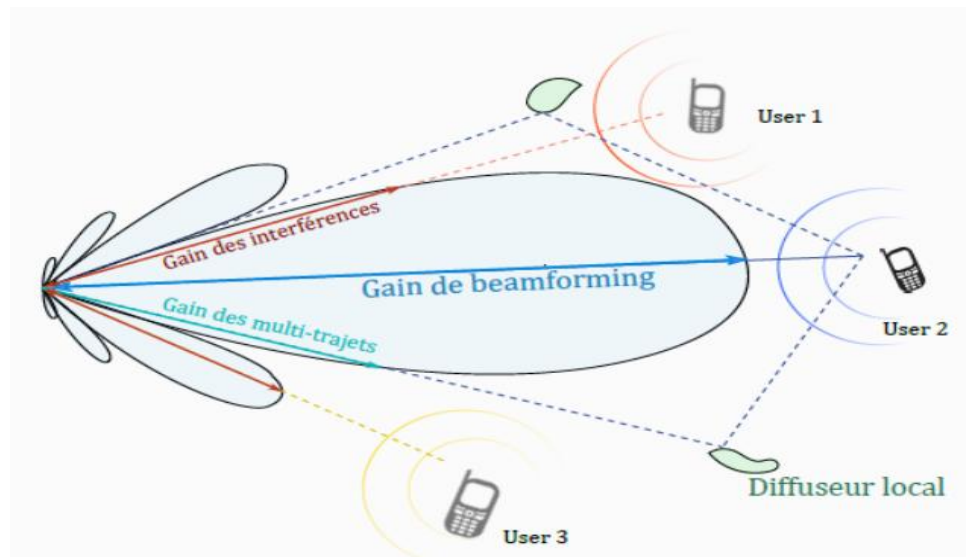


Figure II.7 Beamforming.

✓ **Réseaux à Petites Cellules**

A l'heure actuelle, les femto-cellules (petites cellules permettant une extension du réseau dans des zones sans couverture pour des utilisations privées) sont utilisées pour combler les excès de demande en débit dans le réseau et les couvertures en intérieur. Toute fois, leur réel potentiel, à savoir fournir de hauts débits en intérieur aussi bien qu'en extérieur de manière économiquement et énergétiquement efficace, n'est toujours pas adéquatement exploité. Aujourd'hui, les opérateurs qui

fournissent à la fois réseaux fixes et mobiles possèdent un avantage majeur pour un déploiement rentable de réseaux denses de petites cellules.

Afin de répondre à la nécessité de disposer de très haut-débit sur un territoire de plus en plus large.

✓ MU-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 périphérique pratiquement unifié. L'utilisation simultanée des antennes de plusieurs périphériques permet de créer des canaux virtuels MIMO à grande 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 augmenter les valeurs de modulation. [24]

II.6 Types Massive MIMO

II.6.1 Single-User MIMO

Le MIMO mono-utilisateur (SU-MIMO) est une technologie multi-émettrice et réceptrice pour la communication sans fil qui alloue la bande passante d'un point d'accès sans fil à un seul appareil (La Figure II.8).

SU-MIMO est généralement comparé à la différence de MIMO Multi-Utilisateurs (MU-MIMO) Un inconvénient potentiel de l'utilisation de SU-MIMO par rapport à une autre stratégie telle que MIMO multi-utilisateurs est uniquement capable d'envoyer des données à un seul appareil à la fois. SU-MIMO nécessite également des technologies de transmission et de réception pour soutenir MIMO pour fonctionner. De plus, les deux appareils doivent utiliser plusieurs antennes, ce qui peut être un fardeau pour les petits appareils.

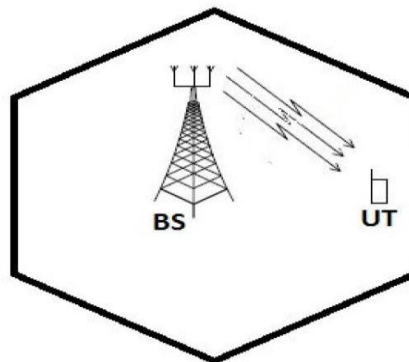


Figure II.8 Single-User Massive MIMO.

$$\mathbf{Y} = \sqrt{P_u} \mathbf{h} \mathbf{s} + \mathbf{W} \quad (\text{II. 7})$$

Notons par P_u , le SNR de la liaison montante, par $\mathbf{h}$, le vecteur de réponse du canal, par $\mathbf{s}$, le vecteur du symbole et par $\mathbf{w}$, le vecteur de bruit AWGN.

II.6.2 Multi-User Massive MIMO

Le MIMO multi-utilisateurs (MU-MIMO) est un ensemble de technologies à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO) pour la communication sans fil, dans lequel un ensemble d'utilisateurs ou de terminaux sans fil, chacun avec une ou plusieurs antennes. Comme le montre la figure II.9, communiquent entre eux. En revanche, le MIMO mono-utilisateur considère un émetteur multi-antennes unique communiquant avec un récepteur multi-antennes unique. De la même manière que l'OFDMA ajoute des capacités d'accès multiple (multi-utilisateurs) à OFDM MU-MIMO ajoutent des capacités d'accès multiple (multi-utilisateurs) à MIMO. MU-MIMO a été étudié depuis le début de la recherche sur la communication multi-antenne.

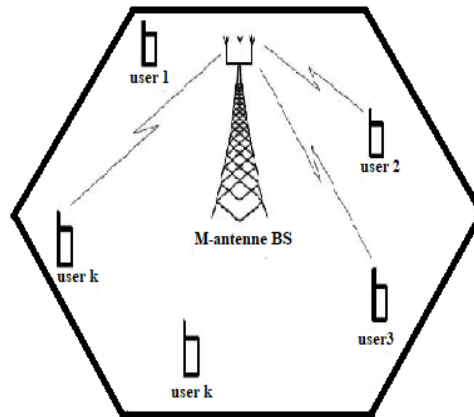


Figure II.9 Système MU-MIMO massif.

M-antennes de BS dessert K simple antenne UT

II.6.3 MU- Massive MIMO avec Multi-Cell scénario

Nous envisageons la restriction des systèmes MIMO multiutilisateurs cellulaires non coopératifs alors que M grandit sans limite. Pour une seule cellule, aussi bien que pour la MIMO multi-cellule, le fait de laisser M augmenter sans limite a pour effet final de faire disparaître le bruit thermique et l'évanouissent de Rayleigh à petite échelle. Toutefois, l'interférence de cellules distinctes due à une contamination pilote persistera avec plusieurs cellules. L'idée de pollution pilote est nouvelle dans un contexte cellulaire MU-MIMO et est illustrée à la figure II.10 suivante. Cependant, l'habitude de poser un problème dans le contexte de la CDMA généralement sous le titre

de « contamination pilote ». L'estimation de canal calculée à l'aide de la station de base dans la cellule l'est contaminée par la transmission pilote de la cellule j.

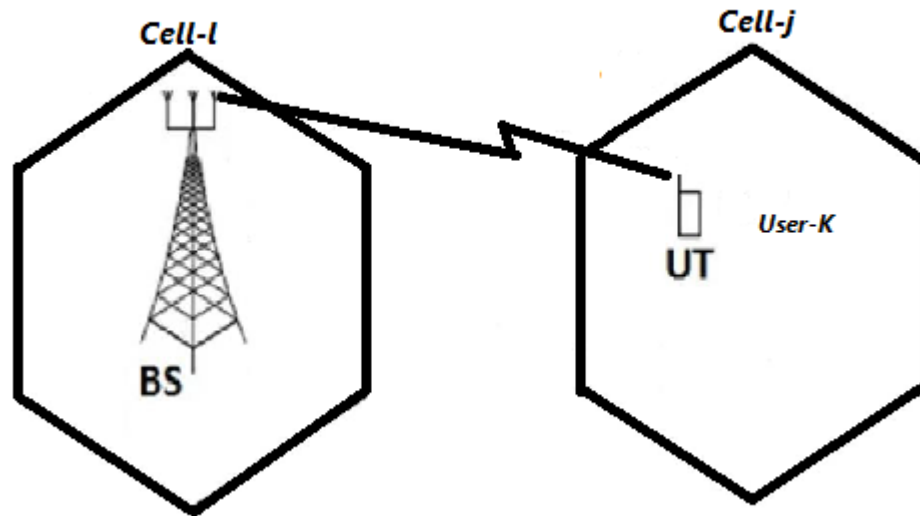


Figure II.10 La BS dans la $l^{\text{ième}}$ cellule et le $k^{\text{ième}}$ UT dans la $j^{\text{ième}}$ cellules. [25]

II.6.4 Massive MIMO distribuée

Le massive MIMO distribué peut être traité comme un cas distinct de MU-MIMO pour fournir en plus une plus grande capacité du système en utilisant des antennes déployées dispersées pour transmettre et recevoir des signaux. Un schéma de massive MIMO décaissé consiste à permettre la coopération entre les BS dans des cellules distinctes, ce qui réduit les interférences entre les cellules. Cependant, la synchronisation se transforme en un problème par excellence même pour les antennes distribuées sur la même BS. Dans certains cas, la quantité massive d'antennes à la station de base peut en outre être positionnée dans des endroits uniques (par exemple, sur le dessus des bâtiments). Dans ce cas, la synchronisation est un problème, et le frontal RF peu coûteux peut également introduire des problèmes plus importants, la figure II.11 représente le modèle du système de MIMO massif.

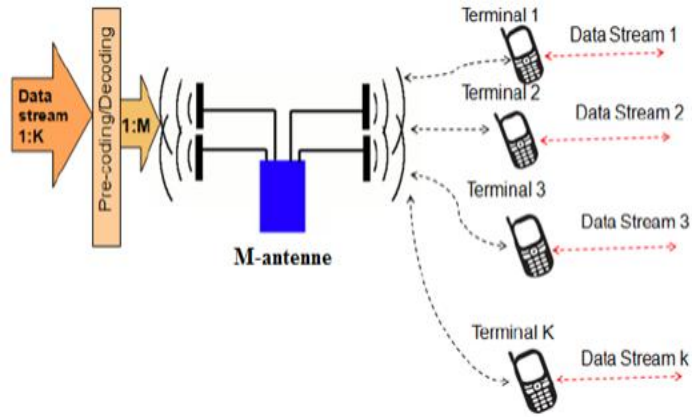


Figure II.11 Modèle du système massive MIMO. [26]

II.7 Caractéristique de Massive MIMO

Le système massive MIMO est une forme de structures multi-utilisateurs MU-MIMO où la variété des antennes BS et le nombre d'utilisateurs sont énormes. Dans ce système des milliers d'antennes BS desservent simultanément des dizaines ou des centaines d'utilisateurs avec les mêmes ressources en fréquence. On peut donner quelques points importants dans les systèmes massive MIMO.

II.7.1 Préférence du schéma TDD en Massive MIMO

Dans la plupart des études proposées, le schéma TDD (Time Division Duplexing) est préféré à celui du FDD (Frequency Division Duplexing) en massive MIMO. En utilisant la technique FDD (une bande pour l'UL et une autre pour le DL), la période d'estimation du canal en DL dépend du nombre d'antennes M à la BS.

En revanche, en utilisant le schéma TDD (une seule bande), l'estimation se fait uniquement en uplink, et la période d'estimation (nombre de pilotes nécessaires) ne dépend donc pas du nombre d'antennes M . Si on veut avoir un grand nombre d'antennes M à la BS, il y a avantage à utiliser le schéma TDD en massive MIMO.

II.7.2 Évolutivité

En TDD donc, la BS réalise une estimation du canal lors de la liaison montante (uplink). Le temps requis pour l'estimation de canal ne dépend pas du nombre d'antennes BS.

Par conséquent, ce nombre peut être rendu aussi grand que possible sans extension dans la période d'estimation de canal (nombre de pilotes) [27].

C'est l'évolutivité non limitée du nombre d'antennes de la station de base en TDD.

II.8 Comparaison entre MIMO traditionnel et MIMO massif

Dans le 3GPP, la technologie MIMO évolue généralement avec le développement du MIMO mono-utilisateur, du MIMO multi-utilisateur et du MIMO réseau. Par rapport à la technologie traditionnelle MIMO, les performances de la technologie massive MIMO se reflètent dans de nombreux aspects. La comparaison des performances entre le MIMO traditionnel et le Massive MIMO sont présentées dans le tableau II.1.

Contenu technologique	MIMO traditionnel	Massive MIMO
Le numéro d'antenne	≤ 8	≥ 100
Valeur du domaine angulaire du canal	Incertain	Certain
Matrice des canaux	Faible exigence	Exigence élevée
Capacité du canal	Faible	Haute
Gain de diversité	Faible	Haute
Stabilité des liens	Faible	Haute
Résistance au bruit	Faible	Haute
Résolution de la baie	Faible	Haute
Corrélation d'antenne	Faible	Haute
Couplage	Faible	Faible
Pollution des pilotes	Non	Oui

Tableau II.1 Comparaison entre MIMO traditionnel et Massive MIMO.

II.9 Avantages des systèmes Massive MIMO

L'avantage d'un réseau MIMO par rapport à un réseau régulier est qu'il peut multiplier la capacité d'une connexion sans fil sans nécessiter plus de spectre. Les rapports indiquent des

améliorations considérables de la capacité et pourraient potentiellement rapporter jusqu'à 50 fois plus à l'avenir. Plus l'émetteur / récepteur est équipé d'antennes, plus les trajets de signal sont possibles et meilleures sont les performances en termes de débit de données et de fiabilité de liaison.

Un réseau massive MIMO sera également plus réactif aux appareils émettant dans des bandes de fréquences plus élevées, ce qui améliorera la couverture. En particulier, cela aura des avantages considérables pour obtenir un signal fort à l'intérieur (bien que les fréquences plus élevées de la 5G aient leurs propres problèmes à cet égard). Le plus grand nombre d'antennes dans un réseau massive MIMO le rendra également beaucoup plus résistant aux interférences et au brouillage intentionnel que les systèmes actuels qui n'utilisent qu'une poignée d'antennes.

Il convient également de noter que les réseaux massifs MIMO utiliseront la technologie de formation de faisceau, permettant une utilisation ciblée du spectre. Les réseaux mobiles actuels sont plutôt stupides dans la façon dont ils répartissent un seul pool de spectre entre tous les utilisateurs à proximité, ce qui se traduit par un goulot d'étranglement des performances dans les zones densément peuplées. Avec massive MIMO et la formation de faisceaux, un tel processus est géré de manière beaucoup plus intelligente et efficace, de sorte que les vitesses de données et la latence seront beaucoup plus uniformes sur le réseau.

II.10 Conclusion

Les principes MIMO standard sont déjà utilisés dans plusieurs normes Wi-Fi et 4G, Massive MIMO entrera vraiment en jeu une fois la 5G arrivée. En effet, il est largement attendu que Massive MIMO soit un catalyseur clé et un composant fondamental de la 5G.

La capacité massive de MIMO à servir simultanément plusieurs utilisateurs - et plusieurs appareils - dans une zone condensée tout en maintenant des débits de données rapides et des performances constantes en fait la technologie parfaite pour répondre aux besoins de la prochaine ère 5G.

Chapitre III:

Ondes Millimétriques (mm Wave) pour la 5G

Chapitre III:

Ondes millimétriques (mm Wave) pour la 5G

III.1 Introduction

Les systèmes cellulaires de la cinquième génération (5G) devraient utiliser un spectre supplémentaire au-delà des bandes sans fil traditionnelles qui peuvent prendre en charge davantage de trafic de données pour divers services multimédias. Les bandes mmWave couvrent la gamme de fréquences de 30 GHz et 300 GHz. Cependant, les industries souvent appelées les bandes mmWave comme toute fréquence allant de 10 GHz à 300 GHz, qui sont susceptibles de prendre en charge les connexions sans fil à vitesse de (Gbps) en raison de la disponibilité de larges bandes de spectres. Par conséquent, un certain nombre de groupes ont développé des modèles de canaux mmWave.

Nous nous concentrons sur la caractérisation du canal à 28 GHz, qui est considéré comme l'un des principaux candidats pour de tels systèmes 5G, car de nombreux bancs d'essai existent pour cette bande, et la Fédéral Communications Commission (FCC) aux États-Unis dans une décision récente a attribué cette bande pour une utilisation en 5G. Car de la perte de trajet en espace libre (Free-Space Path Loss ou FSPL) augmente avec la fréquence lorsqu'on suppose une antenne à gain constant.

[28]

Dans chapitre, nous présentons les ondes millimétriques prometteuses proposés par l'ITU (union internationale de télécommunications) et par d'autres travaux de recherches. On a illustré les différents facteurs influençant la propagation des ondes millimétriques notamment les phénomènes atmosphérique, l'environnement LOS/NLOS. D'autres parts les modèles de propagation proposés dans la littérature par plusieurs chercheurs sont explorés et analysés.

III.2 Histoire et vue d'ensemble des ondes millimétriques

L'intérêt pour les hautes fréquences n'est pas nouveau, mais il est devenu l'objet d'une attention intense depuis la fin du 20th siècle dans des domaines tels que la communication cellulaire, le radar et de grandes quantités de transmission de données. La demande croissante d'applications de systèmes de communication qui traitent des applications vocales, multimédias et Internet haute vitesse nécessitent des solutions de plus en plus efficaces. En particulier, les bandes de fréquences plus élevées sont préférées car ces bandes plus élevées sont considérées comme moins encombrées dans le spectre et peuvent fournir plus de bande passante. [29]

Les ondes millimétriques sont capables de transmettre des débits de données numériques élevés, contrairement aux débits de données sans fil dans les bandes micro-ondes, qui sont limités à environ 1 Giga bit par seconde (Gbps). Les débits de données dans les bandes d'ondes millimétriques peuvent atteindre 10 Gbit / s ou plus. [30]

La nécessité de services à haute intégrité et à haut débit devrait augmenter dans un avenir prévisible, en particulier dans la bande V (la bande de fréquences entre 40 et 75 GHz) et la bande W (75 à 111 GHz). [31]

Ce spectre peut ne pas être utile pour tous les types d'applications sans fil. Peut-être que sa limitation peut être un défi. Selon les lois de la physique, plus la longueur d'onde est courte, plus la plage de propagation en termes de puissance est courte. [30]

III.3 Ondes millimétriques

III.3.1 Définition Ondes millimétriques

Les réseaux sans fil ont aujourd'hui un problème: de nombreuses personnes et outils consomment plus de données qu'auparavant. Mais il est toujours encombré sur le même spectre de fréquences radio que le téléphone mobile fonctionne toujours.

Une façon de contourner ce problème consiste simplement à transmettre des signaux sur une toute nouvelle parcelle de spectre et cela n'a jamais été utilisé pour le service mobile.

C'est la raison d'expérimenter la diffusion sur des ondes millimétriques, qui utilisent des fréquences plus courtes que les ondes radio utilisées depuis longtemps sur les téléphones portables.

Les ondes millimétriques sont transmises à des fréquences comprises entre 30-300 GHz contre moins de 6 GHz qui étaient utilisé pour les téléphones mobiles dans le passé.

Ils sont appelés ondes millimétriques. Parce que sa longueur est comprise entre (1-10) millimètres, par rapport aux ondes radio, qui desservent aujourd'hui les smart phones, car elles mesurent dix centimètres de longueur.

Jusqu'à présent, seuls les utilisateurs de systèmes radar et satellite utilisent des ondes millimétriques pour des applications réelles. Maintenant, certains utilisateurs de téléphones portables ont commencé à l'utiliser pour transmettre des données entre des points fixes tels que: deux stations. Mais utiliser des ondes millimétriques pour connecter les utilisateurs de téléphones aux stations à proximité est une toute nouvelle approche.

III.3.2 Bandes millimétriques (mmWave)

Avec la croissance explosive de la demande de trafic de données mobile, la contradiction entre les exigences de capacité et la pénurie de spectre devient de plus en plus importante. Le goulot d'étranglement de la largeur de bande devient un problème clé des réseaux mobiles 5G.

Les communications à ondes millimétriques (mmWave) ont été proposées comme une partie importante du réseau mobile 5G pour fournir des services de communication multi-gigabit tels que la télévision haute définition (HDTV) et la vidéo ultra haute définition (UHDV). La plupart des recherches actuelles se concentrent sur la bande de 28 GHz, la bande de 39 GHz, la bande de 60 GHz et la bande E (E-band) (71-76 GHz et 81-86 GHz).

L'utilisation des bandes millimétriques constitue l'une des technologies de rupture de la 5G. Les bandes millimétriques n'ont encore jamais été prises en compte pour le déploiement des réseaux mobiles pour des raisons de maturité technologique et de qualité de propagation. Les bandes millimétriques offrir la réserve de spectre et leur utilisation permettrait d'atteindre les très hauts débits attendus avec la 5G. En contrepartie, leur utilisation impose le développement de toutes les technologies nécessaires, miniaturisées, à bas coût et avec une consommation énergétique compatible avec des terminaux portables (amplificateurs, codeurs, traitement de signal, antennes). En particulier, à cause de la faible qualité de propagation des ondes millimétriques, chaque cellule aura une couverture réduite, ce qui nécessitera la mise en place de techniques de beamforming, pour mieux focaliser l'énergie transmise par les antennes. La Figure III.1 illustre l'utilisation du spectre dans les bandes d'ondes millimétriques.

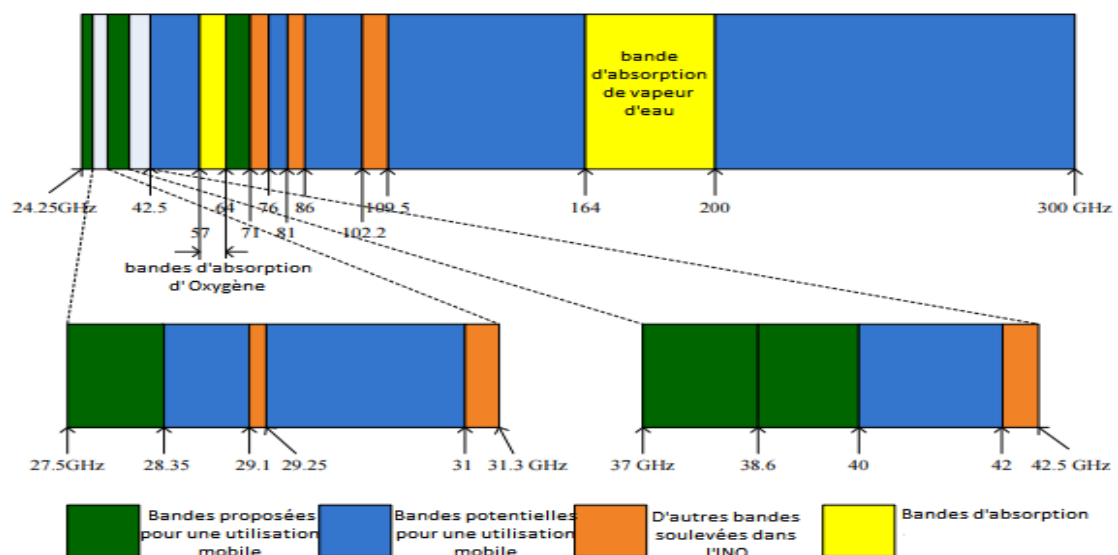


Figure III.1 Utilisation du spectre dans les bandes d'ondes millimétriques. [32]

Dans ce tableau représente les bandes d'ondes millimétriques proposées par l'ITU

Bandes d'ondes millimétriques	
24.25 – 27.5 GHz	31.8–33.4 GHz
37–40.5 GHz	40.5–42.5 GHz
45.5–50.2 GHz	50.4–52.6 GHz
66 –76 GHz	81 – 86 GHz

Tableau III.1 Les bandes millimétriques proposées par ITU.

III.3.3 Utilisation des fréquences des ondes millimétriques

La 5G utilise les très hautes fréquences (mmWaves), dont on a cinq bandes seront utilisées : quatre sans licence et une sous licence. La bande Local Multipoint Distribution Service (LMDS) agréée offre environ 1,5 GHz de bande passante entre 27,5-31,5 GHz.

Une deuxième bande de 7 GHz qui fonctionnera dans la gamme 57-64 GHz est déjà utilisée pour certains équipements Wi-Fi. Enfin, la bande dite « E-Band » est composée de trois segments de bande passante totalisant 12.9 GHz, elle est également sans licence. Ce qui distingue ces bandes à haute fréquence des autres est leur vitesse. Si le codage des signaux radio est approprié, les vitesses 5G seront mille fois plus rapides que celles des générations précédentes de téléphonie mobile.

L'utilisation de telles longueurs d'ondes courtes pose plusieurs défis techniques. Ceux-ci, à leur tour, conduiront à la mise en place d'une architecture apte à supporter leur utilisation.

➤ Absorption d'eau et d'oxygène

Ces hautes fréquences sont vulnérables elles sont absorbées par l'humidité de l'air et certaines le sont par l'oxygène. Les fréquences 22 et 183 GHz peuvent être absorbées par l'eau; les fréquences 60 et 118 GHz par l'oxygène lui-même. En d'autres termes, s'il pleut, les communications mobiles utilisant des fréquences 5G peuvent être interrompues ou leur qualité peut être dégradée.

➤ Incapacité à pénétrer

Ces ondes à haute fréquence (mmWaves) ne sont pas en mesure de traverser les murs des bâtiments ou une végétation dense (forêt et même une simple rangée d'arbres). En conséquence, si l'actuelle infrastructure physique de la 3G / 4G était réutilisée telle quelle pour la 5G, rien ne fonctionnerait parce que ces ondes se comportent différemment. Concrètement, cela veut dire que la distance minimale à prévoir entre l'antenne-relais cellulaire et le récepteur de l'utilisateur (le téléphone mobile) doit être considérablement réduite. Ces faiblesses conduisent à une nouvelle architecture de l'infrastructure et du réseau 5G, cette nouvelle architecture définit également le contexte de la propagation de nouveaux modèles de gestion et d'activités, non seulement pour les consommateurs, mais aussi pour les opérateurs. [33]

III.3.4 Avantage des ondes millimétriques

Ces ondes ont plusieurs avantages. Le premier d'entre eux est évidemment la quantité de spectre disponible. Comme nous avons eu l'occasion de l'évoquer lors de la mise en vente des fréquences de 800 MHz et 700 MHz pour la 4G, ces bandes sont déjà bien encombrées et il a fallu revoir l'attribution des blocs dédiés à la TNT pour faire de la place aux opérateurs de téléphonie mobile. Ces derniers ont chacun des blocs de quelques dizaines de MHz au mieux, insuffisants pour proposer des débits de plusieurs Gb/s par exemple, et il n'est évidemment pas possible d'étendre le spectre à l'infini.

Seule solution pour trouver de larges blocs disponibles : monter en fréquence. Il est en effet plus facile de trouver plusieurs centaines de MHz disponibles sur des fréquences de plusieurs dizaines de GHz, et c'est justement le cas des ondes millimétriques. Pour résumer, «plus la fréquence porteuse d'un système sera élevée, plus la bande passante disponible alentour sera potentiellement importante», les rendant particulièrement intéressantes pour les transmissions haut débit. Avec l'explosion des demandes de ces dernières années, la disponibilité de la bande passante prend de l'importance.

III.3.5 Inconvénients des ondes millimétriques

Néanmoins, cette montée en fréquence n'est pas sans conséquences, quel que soit le domaine d'utilisation. Comme nous avons eu l'occasion de l'évoquer avec la 4G, plus la fréquence est haute moins la portée et la pénétration dans les bâtiments sont élevées. C'est d'ailleurs ce qui a poussé les

opérateurs à investir davantage sur les 700/800 MHz, souvent qualifiées de fréquences en « or », que sur les 2 600 MHz.

Comme l'explique l'association SEE (Société de l'Electricité de l'Electronique) [34] les ondes millimétriques doivent « composer avec la forte atténuation par les murs, les feuillages et les gaz de l'atmosphère. En particulier, les signaux aux alentours de 60 GHz correspondent à une fréquence de résonance de la molécule O_2 et sont sévèrement atténués ». Bref, un peu de pluie ou des nuages menaçants et les données partent à l'eau.

La SEE ajoute que la vapeur d'eau présente également des pics d'absorption, mais plutôt pour les fréquences entre 20 et 30 GHz. L'association conclut donc que « les ondes millimétriques sont donc a priori limitées aux transmissions à courte distance, typiquement sur des distances inférieures à 1 km ».

III.4 Caractérisation des ondes millimétriques

III.4.1 Facteurs de perte de propagation en ondes millimétriques

Outre la perte d'espace libre, qui est la principale source de perte de transmission, il existe également des facteurs de perte d'absorption, tels que les pertes gazeuses et les pertes dues à la pluie (ou à d'autres micro météores) dans le milieu de transmission. Les facteurs qui affectent la propagation des ondes millimétriques sont indiqués dans la figure III.2.

Les pertes atmosphériques signifient que les pertes de transmission se produisent lorsque des ondes millimétriques traversant l'atmosphère sont absorbées par des molécules d'oxygène, de vapeur d'eau et d'autres constituants atmosphériques gazeux. Ces pertes sont plus importantes à certaines fréquences, coïncidant avec les fréquences de résonance mécanique des molécules de gaz. [35]

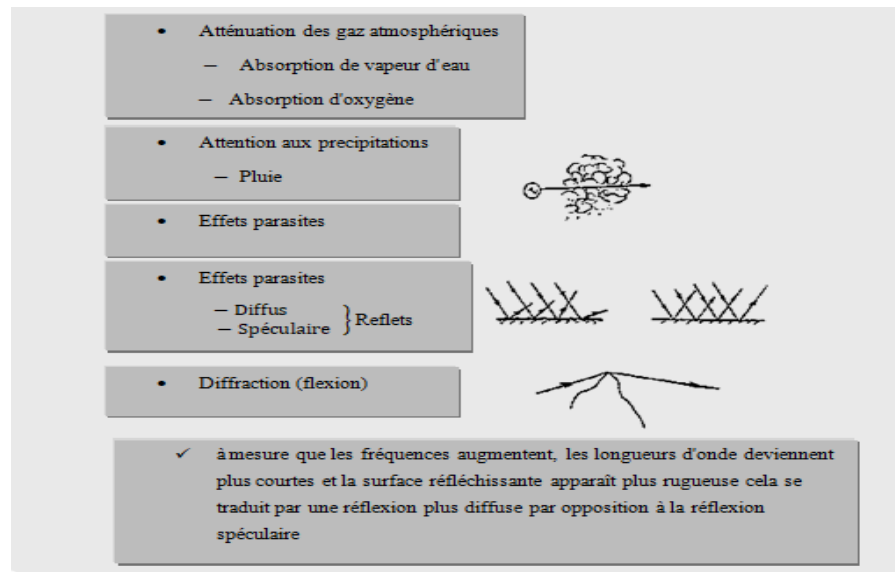


Figure III.2 Différent facteurs qui influençant la propagation des ondes millimétriques. [36]

III.4.2 Propagation d'espace libre

Comme pour toutes les ondes électromagnétiques qui se propagent, pour les ondes millimétriques dans l'espace libre, la densité de flux de puissance tombe comme le carré de la plage. Pour un doublement de la portée, la densité de flux de puissance à l'antenne du récepteur est réduite d'un facteur quatre. Cet effet est dû à la propagation sphérique des ondes radio pendant leur propagation. La dépendance en fréquence et en distance de la perte entre deux antennes isotropes peut être exprimée en nombres absolus par (en dB):

$$L_{\text{freespace}} = 20 \log_{10} \left(4\pi \frac{R}{\lambda} \right) \text{ [dB]} \quad (\text{III.1})$$

L_{free space}: la perte d'espace libre.

R: la distance entre les antennes d'émission et de réception.

λ: la longueur d'onde de fonctionnement.

Cette équation décrit la propagation des ondes en visibilité directe dans l'espace libre. Cette équation montre que la perte d'espace libre augmente lorsque la fréquence ou la plage augmente. Ainsi, la perte d'espace libre des ondes millimétriques peut être assez élevée, même sur de courtes distances.

Cela indique que le spectre à ondes millimétriques est mieux utilisé pour les liaisons de communication à courte distance. L'équation de Friis (1946) donne une expression plus complète pour tous les facteurs de l'émetteur au récepteur (en tant que rapport, unités linéaires).

$$P_{RX} = P_{TX} G_{RX} G_{TX} \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2 L} \quad (\text{III.2})$$

Où G_{TX} = gain d'antenne de l'émetteur, G_{RX} = gain d'antenne du récepteur, λ = longueur d'onde (dans les mêmes unités que R), R = distance en ligne de visée (LOS) séparant les antennes d'émission et de réception et L = facteur de perte du système (≥ 1). [35]

III.4.3 Pertes atmosphériques

Les pertes de transmission se produisent lorsque des ondes millimétriques voyageant dans l'atmosphère sont absorbées par des molécules d'oxygène, de vapeur d'eau et d'autres constituants atmosphériques gazeux. Ces pertes sont plus importantes à certaines fréquences, coïncidant avec les fréquences de résonance mécanique des molécules de gaz.

Les résonances H_2O et O_2 ont été étudiées de manière approfondie dans le but de prédire les caractéristiques de propagation des ondes millimétriques. La Figure III.3 montre un graphique élargi de l'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence à des altitudes de 4 km et au niveau de la mer, pour une teneur en eau de 1 et 7,5 g / m³ respectivement (la première valeur représente l'air relativement sec tandis que la dernière valeur représente 75% d'humidité pour une température de 10C°).

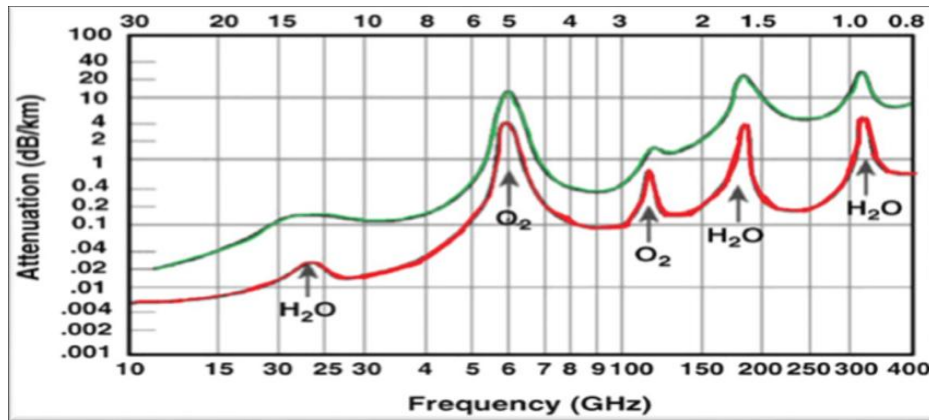


Figure III.3 Absorption atmosphérique moyenne des ondes millimétriques. [37]

III.5 Antennes à ondes millimétriques

III.5.1 Perte de chemin et directivité d'antenne

Pour un réseau local sans fil (LAN), il est généralement supposé que le signal arrivant au récepteur consiste en de nombreuses copies du signal porteur d'informations, qui ont été générées par la diffusion et d'autres processus environnementaux. Chaque chemin aura un retard spécifique, et les heures d'arrivée varient selon les dimensions de l'environnement.

Pour un chemin spécifique, comme le montre la figure III.4, le profil de retard du canal est déterminé par le temps de retard, le gain de trajet et la phase de chaque trajet. Afin de réduire l'effet de trajets multiples, il est habituel de recevoir chaque trajet et son décalage temporel correspondant

(Et / ou décalage de phase) afin d'optimiser la puissance reçue et de réduire la distorsion du signal. Il est généralement nécessaire de réduire les effets des principaux trajets, qui ont le plus de puissance.

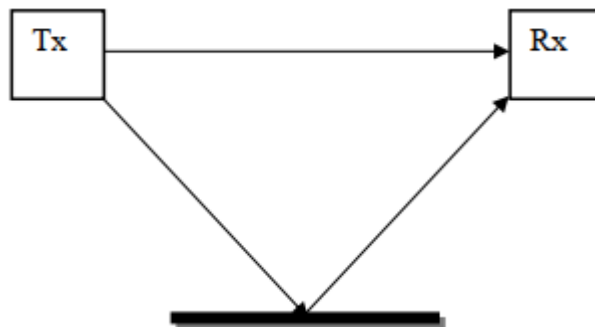


Figure III.4 Modèle de trajet de canal. [35]

III.5.2 Largeur de faisceau de l'antenne

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est essentiellement la transformée de Fourier (espace linéaire à angle) de sa fonction d'éclairage d'ouverture. Dans une coupe de diagramme de rayonnement contenant la direction du maximum d'un lobe, l'angle entre les deux directions dans lequel l'intensité de rayonnement (puissance) est la moitié de la valeur maximale est appelé demi puissance largeur de faisceau (HPBW) (voir figure III.5). Ceci est également communément appelé le 3 dB La largeur de faisceau d'une antenne est une mesure de sa directivité et est généralement définie par les angles où le motif tombe à la moitié de sa valeur de crête, connus sous le nom de points à 3 dB. Pour une antenne à ouverture circulaire de diamètre D , si l'antenne est uniformément.

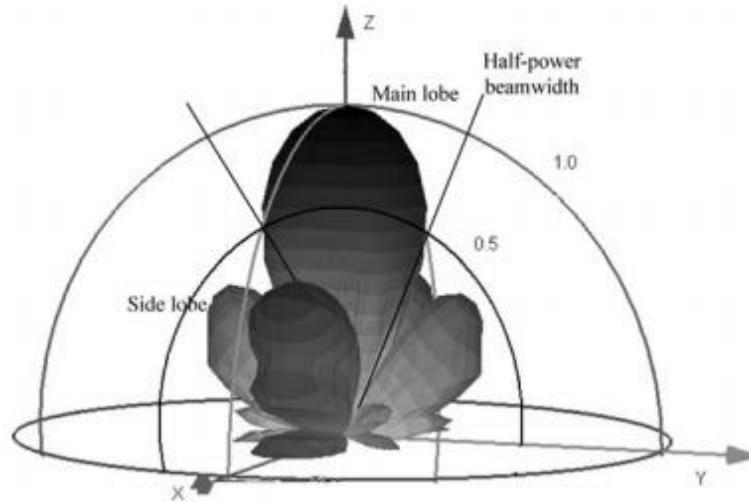


Figure III.5 Beamwidth dans un modèle de puissance normalisé (l'échelle radiale est logarithmique). [35]

III.5.3 Gain maximal possible pour le facteur de qualité “Q”

Le facteur de qualité Q d'une antenne est un paramètre global important spécifiant les performances de l'antenne et les limitations physiques inhérentes à la taille de l'antenne.

En particulier, une valeur élevée de Q signifie que de grandes quantités d'énergie réactive sont stockées dans la zone proche du champ.

Cela implique à son tour des courants importants, des pertes ohmiques élevées, une bande passante étroite et une grande sensibilité aux fréquences. La connaissance de la qualité de l'antenne Q conduit à une évaluation raisonnablement définie des performances de l'antenne en raison de ses implications physiques plus claires.

Dans les applications à ondes millimétriques, nous devons maximiser le gain d'antenne et la bande passante (c'est-à-dire pour minimiser le facteur de qualité Q pour une antenne sans perte à Q élevé) simultanément.

Par conséquent, il est important d'optimiser le rapport gain / Q dans la conception de l'antenne. Il est clair que l'optimisation du rapport gain / Q produira un Q minimisé plus grand que le minimum Q possible, car il exige que le gain soit maximisé en même temps.

$$Q = \frac{\omega w_1}{P_1} \quad (\text{III.3})$$

Où

W_1 : est l'énergie moyenne stockée dans le réseau dans le temps.

P_1 : est la puissance dissipée dans un réseau électrique.

Lorsque le réseau n'est pas résonnant, l'énergie magnétique moyennée dans le temps stockée dans le réseau n'est pas la même que l'énergie électrique moyennée dans le temps.

L'impédance d'entrée est proportionnelle à $P + 2j\omega(W_m - W_e)$.

Où W_m et W_e sont respectivement l'énergie magnétique et électrique moyenne dans le temps stockée dans le réseau. Pour rendre l'impédance d'entrée résistive, un stockage d'énergie supplémentaire doit être ajouté afin que l'énergie réactive nette disparaisse. S'il est maintenant convenu que le réseau doit toujours être exploité avec un élément réactif idéal sans perte supplémentaire, de sorte que l'impédance d'entrée est purement réelle, alors le Q du réseau résultant est défini comme.

$$Q = \frac{2\omega W_2}{P} \quad (\text{III.4})$$

Où W_2 est le plus grand de W_m où W_m et P est la dissipation de puissance dans le réseau électrique d'origine non réglé. Par conséquent, l'antenne est normalement accordée à la résonance par l'ajout d'un élément réactif. Si l'élément réactif ajouté ne dissipe aucune énergie, le Q du système résultant est alors donné par l'équation III.4. Par conséquent, cette dernière équation peut être considérée comme la limite supérieure du Q d'un système d'antenne accordé à la résonance par l'ajout d'un seul élément réactif. Toute perte dans l'élément de réglage réduirait le Q en dessous de la valeur donnée par l'équation III.4. Le paramètre défini par (Eq III.4) sera appelé la qualité d'antenne Q , même si dans le sens habituel du réseau, c'est le Q qui résulte uniquement lorsque l'antenne est réglée sur la résonance par un élément réactif idéal.

Des intensités de champ extrêmement importantes ont pu être trouvées en regardant le champ à proximité d'un radiateur à gain élevé et de petite taille. Dans une antenne physique, cela entraînerait une perte de chaleur prohibitive. Dans une antenne sans perte idéale, cela se traduirait par de grandes densités d'énergie, et donc un Q élevé dans l'antenne. On se demande si la distribution de courant requise pourrait être obtenue dans la pratique, car elle est déterminée par la solution à un problème de valeur limite. En supposant que la géométrie et l'excitation de l'antenne sont arbitraires, de nouvelles limites supérieures peuvent être dérivées pour une antenne directionnelle dans cette situation générale.

En utilisant le système de coordonnées sphériques (r, θ, ϕ) (voir figure .III.6), le champ externe à une sphère contenant toutes les sources peut être étendu en termes de fonctions d'onde sphériques .[38]

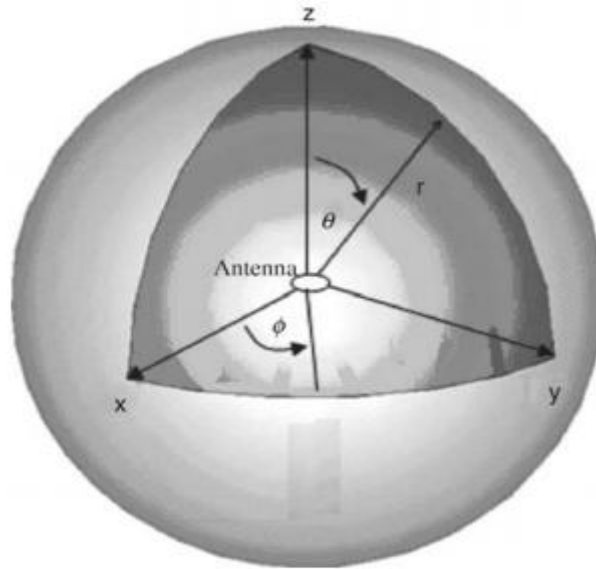


Figure III.6 Système de coordonnées sphériques (r , θ , ϕ). [35]

III.5.4 Formation du faisceau de l'Antenne

Les évanouissements à trajets multiples se présentent comme des retards qui diffèrent de $\lambda/2$, et les évanouissements sélectifs en fréquence sont un phénomène naturel. Ainsi, les signaux multitrajets donnent lieu à des interférences inter symboles (ISI).

Lorsque le débit de données augmente, la longueur du symbole diminue.

Si la propagation du retard sur plusieurs trajets est supérieure à des dizaines de la longueur du symbole, la complexité d'égalisation augmente significativement. Pour surmonter ce problème, une antenne à faisceau dirigé réduit l'étendue spatiale du signal, ce qui améliore le profil de trajets multiples. La directivité de l'antenne réduit ainsi l'effet d'évanouissement par trajets multiples pour limiter le problème ISI.

Pour un élément d'antenne unique avec un gain d'antenne de plus de 30 dBi avec une largeur de faisceau à mi-puissance d'environ 6.5° [35], une liaison de communication fiable est difficile à établir même pour un LOS à 60 GHz. Cela, comme nous l'avons vu, est dû au mouvement des personnes, qui peuvent facilement bloquer et atténuer un tel signal à faisceau étroit. Pour surmonter ce problème, un réseau d'antennes à faisceau commuté ou un réseau d'antennes adaptatif est nécessaire pour effectuer une recherche ou une formation de faisceau, afin de capturer le chemin de signal disponible. Le réseau est ensuite nécessaire pour suivre le chemin du signal soit en continu ou périodiquement, selon la stationnarité du lien.

Un paramètre majeur utilisé pour décrire les performances de la liaison est le nombre d'éléments d'antenne nécessaires pour obtenir le gain d'antenne prévu. Nous pouvons séparer cette

considération du gain du tableau, qui fait référence à l'amélioration des performances en termes de SNR pour une seule antenne. D'autre part, le gain du réseau d'antennes peut être décrit comme le produit de la directivité et de l'efficacité du réseau. Nous nous intéressons également à la résolution angulaire ou à la largeur de faisceau de ces antennes, car cela définit le nombre de trajets multiples que l'antenne voit dans un environnement de diffusion. [35]

III.5.5 Polarisation

L'énergie rayonnée par toute antenne est véhiculée par une onde électromagnétique transversale composée de champs électriques et magnétiques. Ces champs sont orthogonales entre elles et également orthogonales à la direction de propagation. Le champ électrique de l'onde électromagnétique est utilisé pour définir le plan de polarisation de l'onde et, par conséquent, décrire l'état de polarisation de l'antenne.

La «définition Ludwig 3» est couramment utilisée pour décrire les diagrammes d'antenne.[39]

Dans cette définition, la polarisation de référence et la polarisation croisée sont définies comme paramètres mesurés lorsque les diagrammes d'antenne sont pris de la manière habituelle comme illustré la figure III.7 On dit que cette onde est polarisée linéairement, c'est-à-dire que le vecteur de champ électrique est confiné à un seul plan. Deux ondes indépendantes polarisées linéairement à la même fréquence peuvent donc exister et se propager le long du même chemin.

Cette fonctionnalité a été utilisée pour de nombreux des décennies dans les liaisons en espace libre, qui utilisent la réutilisation des fréquences afin de doubler la capacité d'une liaison pour une bande passante donnée. Dans ce cas, chaque polarisation transporte des informations différentes et est transmise et reçue indépendamment. Dans les cas où l'orientation angulaire relative de l'émetteur et du récepteur n'est pas définie, l'utilisation de deux polarisations linéaires devient un problème, l'alignement du récepteur et de l'émetteur étant essentiel. Des systèmes ont été déployés dans lesquels le contrôle dynamique du récepteur est atteint en utilisant la polarisation linéaire incidente, lorsque les deux polarisations portent la même information et que les deux composants possèdent une relation de phase spécifique l'une avec l'autre.

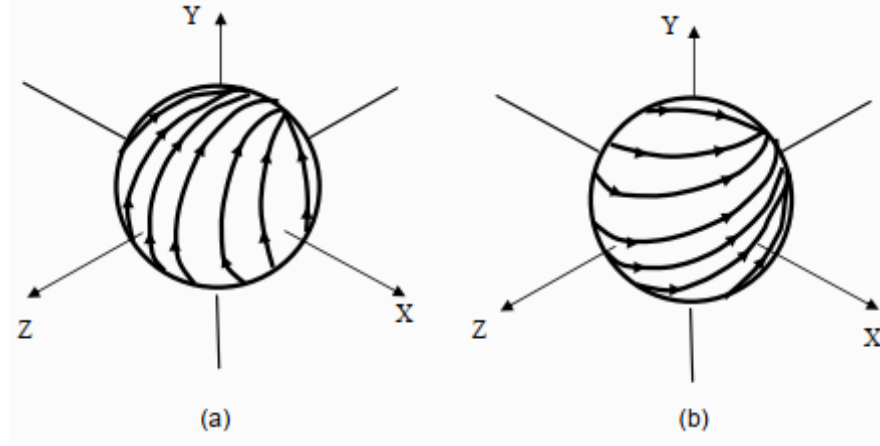


Figure III.7 (a) Direction de la polarisation de référence. [35]

(b) Direction de la polarisation croisée (Ludwig 3).

III.6 Aperçu des modèles de perte de trajet

Dans cette section, nous passons en revue quatre modèles d'affaiblissement, à savoir le modèle d'interception flottante à fréquence unique (FI), le modèle de distance de référence en espace libre à fréquence unique de rapprochement (CI), le modèle CI multifréquence avec un terme dépendant de la fréquence (CIF) et le modèle alpha-bêta-gamma multifréquence (ABG).

Le premier modèle est le modèle à utilisé dans cette étude: **NYUSIM [1]**, utilise le modèle de perte de trajet de distance de référence en espace libre CI avec une distance de référence de 1 m, tout en considérant un facteur d'atténuation atmosphérique supplémentaire et exprimé comme: [40]

$$PL^{CI}(f, d)[dB] = FSPL(f, 1m)[dB] + 10n \log_{10}(d) + AT[dB] + x_{\sigma}^{CI} \quad (III. 5)$$

Où: $d \geq 1m$, f désigne la fréquence porteuse en GHz, d est la distance de séparation TR 3D

n représente l'exposant de perte de trajet (PLE), terme d'atténuation AT causé par l'atmosphère, x_{σ}^{CI} est une variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle avec un écart type σ en dB, et $FSPL(f, 1m)$ désigne la perte sur le trajet de l'espace libre en dB à une distance de séparation TR de 1m à la fréquence porteuse f , la formule de perte de trajet CI est un processus individuel qui s'applique dans le modèle de canal NYUSIM exprimé comme:

$$FSPL(f, 1m)[dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f \times 10^9}{c} \right) = 32.4[dB] + 20 \log_{10}(f) \quad (III. 5. 1)$$

Où C est la vitesse de la lumière dans le vide et f est en GHz. Le terme AT est caractérisé par:

$$AT[dB] = \alpha[dB/m] \times d[m] \quad (\text{III. 5. 2})$$

Où α est le facteur d'atténuation en dB/m pour la gamme de fréquences de 1 GHz à 100 GHz, qui contient les effets d'atténuation collectifs de l'air sec, de la vapeur d'eau, de la pluie et du brouillard.

Le paramètre est la distance de séparation 3D T-R dans (1).

Le deuxième modèle est un modèle CI multifréquence avec un terme dépendant de la fréquence (CIF) et est défini comme : [41]

$$PL^{CIF}(f, d) = FSPL(f, d_0) + 10\beta \left(1 + b \left(\frac{f - f_0}{f_0} \right) \right) \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma}^{CIF}, \quad d \geq d_0 \quad (\text{III. 6})$$

Où $PL^{CIF}(f, d)$ représente la perte de trajet en dB sur la fréquence et la distance, $d_0 = 10$ cm β désigne le PLE, b représente la dépendance linéaire en fréquence de la perte de trajet sur la moyenne pondérée de toutes les fréquences, et f_0 est une fréquence de référence et il fonctionne comme un point de référence pour la dépendance linéaire en fréquence du PLE.

La fréquence de référence f_0 est calculée comme suit : $f_0 = \sum_{k=1}^N f_k N_k / \sum_{k=1}^N N_k$, où N est le nombre de points de balayage de fréquence, N_k est le nombre d'instantanés de réponse en fréquence dans le temps correspondant à la fréquence f_k . La décoloration des ombres à grande échelle est caractérisée par X_{σ}^{CIF} .

Les paramètres β , b et σ sont estimés par la méthode d'ajustement linéaire.

Le troisième modèle est l'interception flottante monofréquence (FI, alpha bêta ou le projet de partenariat de 3rd génération 3GPP) modèle défini comme : [42]

$$PL^{FI}(d) = \alpha + 10\beta \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma}^{FI}, \quad d \geq d_0 \quad (\text{III. 7})$$

Où $PL^{FI}(d)$ est l'affaiblissement sur le trajet en dB en fonction de d , α est une intersection flottante en dB qui représente l'affaiblissement sur le trajet en espace libre à $d_0 = 10$ cm, d_0 est une distance de référence, β est l'exposant de l'affaiblissement sur le trajet (PLE) qui caractérise la dépendance de l'affaiblissement sur le trajet d , et X_{σ}^{FI} est l'évanouissement d'ombre à grande échelle qui peut être modélisé comme une variable aléatoire distribuée gaussienne à moyenne nulle avec écart type σ (en dB). Pour estimer les paramètres du modèle de perte de chemin, β et σ , l'ajustement linéaire des moindres carrés est effectué à travers les ensembles de données de perte de chemin mesurés de telle sorte que l'écart quadratique moyen (RMS) par rapport à la perte de chemin moyenne soit minimisé.

Le modèle FI est utilisé dans le WINNER II et le 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Des moindres carrés. Enfin, le modèle multi-fréquence alpha-bêta-gamma (ABG) est définie comme : [42]

$$PL^{ABG}(f, d) = \alpha + 10\beta \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{f}{1\text{GHz}}\right) + X_{\sigma}^{ABG}, d \geq d_0 \quad (\text{III.8})$$

Où α est l'interception flottante pour la perte sur le trajet en dB, $d_0 = 10$ cm, β désigne le PLE, γ montre la dépendance de la perte sur le trajet sur la fréquence, f est la fréquence porteuse en GHz et X_{σ}^{ABG} représente l'évanouissement d'ombre à grande échelle.

Les paramètres α, β, γ et σ sont estimés par la méthode d'ajustement linéaire des moindres carrés.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons un aperçu général de l'utilisation de la communication mobile à ondes millimétriques et de la façon dont les systèmes cellulaires 5G peuvent surmonter les problèmes liés aux générations précédentes de systèmes de communication et ont évolué pour devenir le système le plus prometteur. Étant donné le besoin mondial de spectre cellulaire et la quantité relativement limitée de recherches effectuées sur les communications mobiles à ondes millimétriques, le fait que la large bande passante disponible aux fréquences millimétriques se traduit par un taux de transmission des données très élevé; contribue également à minimiser le temps dont un nœud a besoin pour rester en mode de transmission et, par conséquent, minimise la possibilité que sa transmission soit détectée.

La sécurité et la fiabilité fournies sont assez énormes. Par conséquent, compte tenu de tous les facteurs indiqués ci-dessus, ces fréquences d'ondes millimétriques vont servir les générations futures de communications sans fil, 28 GHz est la fréquence actuelle qui a une faible atténuation de la pluie et une atténuation atmosphérique.

Chapitre IV :

Simulation et Résultats

Chapitre IV

Simulation et Résultats

IV.1 Introduction

Une modélisation et une simulation précise des canaux sont indispensables pour les systèmes de communication à large bande à ondes millimétriques qui utilisent des réseaux d'antennes à faisceau étroit et orientables électriquement. NYUSIM est un simulateur de canal à ondes millimétriques (mmWave) qui réalise des modèles de canaux basés sur des mesures réelles dont ce simulateur utilise le modèle de distance de référence en espace libre proche (CI), les modèles de canal doivent mettre en œuvre une cohérence spatiale qui garantit des réponses de canal corrélées sur des périodes de temps et de distance courtes.

La capacité d'incorporer la cohérence spatiale dans les simulateurs de canaux sera essentielle pour explorer la capacité de former et de déployer une formation de faisceau massive à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO) et multi-utilisateurs dans les systèmes de communication mobile de nouvelle génération (5G et au-delà).

L'extension de cohérence spatiale permettra ainsi à NYUSIM de générer des évolutions réelles des caractéristiques temporelles et spatiales des réponses impulsionnelle CIR (Channel Impulse Response) des canaux large bande pour les utilisateurs mobiles en mouvement, ou pour les utilisateurs multiples proches les uns des autres.

IV.2 Logiciel et model utilisé

Dans notre étude de canal 28GHz on a utilisé MATLAB 2016 dont le model adopté est CI (close-In) utilisé par le simulateur NYUSIM destiné pour les nouvelle générations.

IV.3 Procédure de calcul de l'affaiblissement sur le trajet

A partir de [43] et [44], la perte de chemin peut être dérivée pour inclure la dépendance à la fréquence comme :

$$\overline{PLM}(d_0 f)(dB) = a + \bar{\beta} \cdot 10 \log_{10}(d_0) + \gamma \cdot 20 \log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right) \quad (IV.1)$$

Où γ représente un facteur de dépendance à la fréquence et f/f_c est le rapport de l'écart de fréquence à la fréquence porteuse. $\bar{\beta}$ représente une régression linéaire extraite la mieux ajustée à (eq 1) en utilisant des valeurs de perte de trajet qui sont calculées à partir des PDP intégrant chaque point pour obtenir la puissance du signal reçu à chaque emplacement et AOD, puis en normalisant la puissance transmise de 30 dBm.

L'approche utilisée pour calculer $\bar{\beta}$ peut être décrit par :

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_i^n (d_i - \bar{d}_0) \times (PLM_i - \overline{PLM})}{\sum_i^n (d_i - \bar{d}_0)^2} \quad (IV.2)$$

Qui est une adaptation du travail trouvé dans [45] où d_i est la distance (en échelle dB) de la mesure des PDP pour un emplacement AOD et RX donné. $\bar{d}_0$ est la distance moyenne pour tous d_i de la valeur simulée, et PLM est la perte de trajet moyenne pour l'ensemble de données.

De plus, ici, α représente une interception flottante et peut être déterminé par :

$$\alpha(dB) = \overline{PLM}(dB) - \bar{\beta} \cdot 10 \log_{10}(d_0) \quad (IV.3)$$

Pour la régression linéaire, la valeur de α et $\bar{\beta}$ est résolue sous forme parallèle (eq IV.2) et (eq IV.3).

IV.4 Simulateur de canal NYUSIM 5G

IV.4.1 Réseaux d'antennes MIMO pour TX et RX

Dans NYUSIM, les réseaux d'antennes, tels que les réseaux linéaires uniformes (ULA) et les réseaux Rectangulaire Uniforme. (URA) peuvent être équipés à la fois au niveau de la BS et de l'équipement d'utilisateur. Les entrées de la matrice "H" pour les canaux MIMO sont obtenues en étendant le CIR omnidirectionnel sur le réseau d'antennes de TX / RX.

IV.4.2 Paramètres d'entrée

Il y a 30 paramètres d'entrée dans le simulateur de canal, qui sont regroupés en deux catégories principales: **paramètres de canal** et **propriétés d'antenne**, comme indiqué sur l'interface graphique de la figure IV.1 Le panneau de paramètres de canal contient 18 paramètres d'entrée fondamentaux sur le canal de propagation, comme énumérés et expliqués ci-dessous:

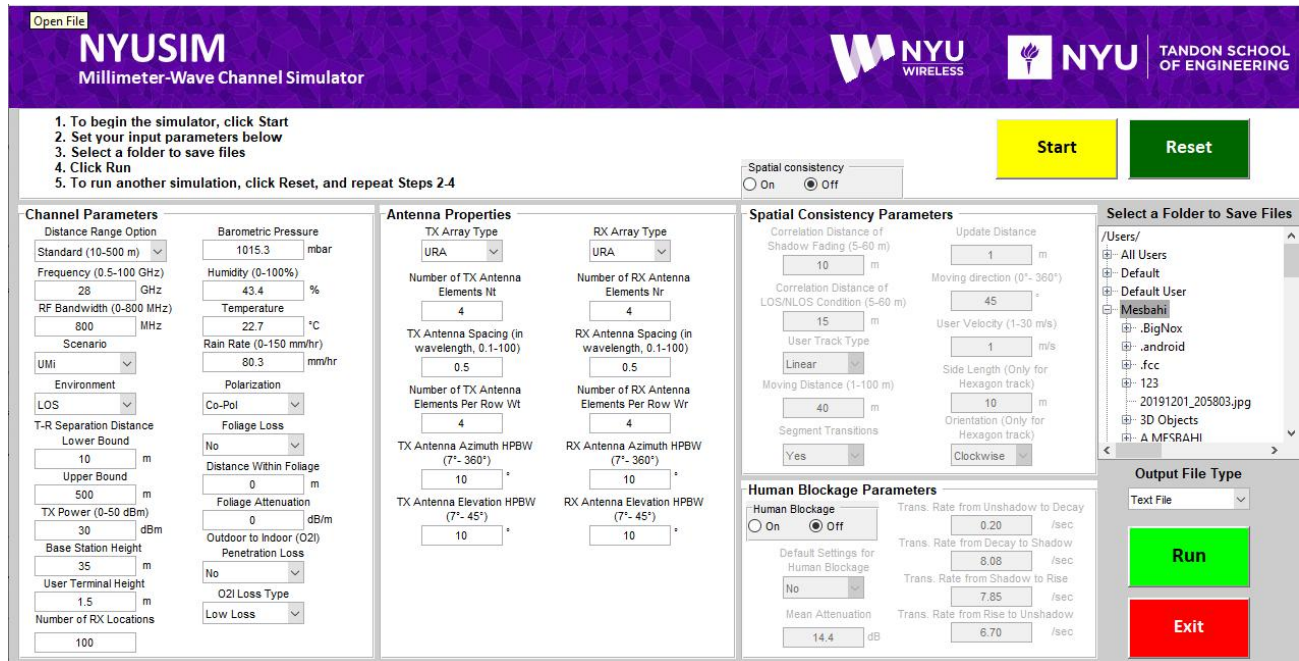


Figure IV.1 Interface utilisateur graphique de NYUSIM.

IV.4.2.1 Option de plage de distance

Paramètre sélectionnable indiquant la plage de distance.

Deux options, «Standard (10-500 m)» et «Extended (10-10 000 m)», sont applicables.

Le réglage par défaut est «Standard (10-500 m)».

IV.4.2.2 Fréquence (GHz)

Paramètre modifiable désignant la fréquence porteuse en GHz.

La valeur par défaut est 28 (GHz), et elle peut varier de 0,5 à 100 (GHz).

IV.4.2.3 Bande passante RF (MHz)

Paramètre modifiable désignant la bande passante RF du signal transmis en MHz.

La valeur par défaut est 800 MHz, et elle peut varier de 0 à 800 MHz.

Comme le simulateur a été développé à partir de mesures réelles obtenues avec une bande passante RF de 800 MHz, il ne peut être réduit qu'à partir de 800 MHz.

IV.4.2.4 Scénario

Paramètre sélectionnable indiquant le scénario.

Trois options, «UMi», «UMa» et «RMa», sont applicables.

IV.4.2.5 Environnement

Paramètre sélectionnable désignant l'environnement, LOS ou NLOS.

Le paramètre par défaut est LOS.

IV.4.2.6 Limite inférieure de la distance de séparation T-R (m)

Paramètre modifiable indiquant la plus petite distance entre le TX et le RX en mètres avec au plus une décimale.

IV.4.2.7 Limite supérieure de la distance de séparation T-R (m)

Paramètre modifiable indiquant la plus grande distance entre le TX et le RX en mètres avec au plus une décimale.

IV.4.2.8 Puissance d'émission (dBm)

Paramètre modifiable indiquant la puissance d'émission en dBm.

La valeur par défaut est 30 (dBm) et peut être définie sur n'importe quelle valeur comprise entre 0 et 50 (dBm).

IV.4.2.9 Hauteur de la station de base (m)

Paramètre modifiable indiquant la hauteur de la station de base en m.

La valeur par défaut est 35 (m) et peut être définie sur n'importe quelle valeur comprise entre 10 et 150 (m). Cette hauteur de station de base ne s'applique qu'à la modélisation RMa et est ignorée pour les autres scénarios.

IV.4.2.10 Pression barométrique

Paramètre modifiable désignant la pression barométrique en mbar utilisée pour évaluer la perte du trajet de propagation induite par l'air sec.

La valeur par défaut et typique est 1013,25 mbar (millibar) (c'est-à-dire nominale pour le niveau de la mer) et peut aller de 10–5 à 1013,25 (mbar). [46]

IV.4.2.11 Humidité

Paramètre modifiable désignant l'humidité relative en pourcentage utilisée pour évaluer la perte sur le trajet de propagation induite par la vapeur. La valeur par défaut est 50 (%) et peut être définie sur n'importe quel nombre compris entre 0 et 100(%).

IV.4.2.12 Température

Paramètre modifiable indiquant la température en degrés Celsius utilisé pour évaluer l'affaiblissement sur le trajet de propagation induit par la brume / le brouillard.

La valeur par défaut et typique est 20 C° et peut aller de -100 à 50 C°.

IV.4.2.13 Taux de pluie

Paramètre modifiable indiquant le taux de pluie en mm / h. Utilisé pour évaluer l'affaiblissement sur le trajet de propagation induit par la pluie. La valeur par défaut est 0 (mm / h) et la plage typique est de 0 à 150 (mm / h).

IV.4.2.14 Polarisation

Paramètre sélectionnable indiquant la relation de polarisation entre les antennes TX et RX ou les réseaux d'antennes.

Le paramètre par défaut est Co-Pol (co-polarisation) et peut être modifié en X-Pol (polarisation croisée).

La discrimination de polarisation croisée (XPD) peut varier de 5 dB à 27 dB, selon la fréquence et l'environnement.

Dans ce simulateur, pour Co-Pol, aucune perte supplémentaire ne sera ajoutée à la perte de chemin, tandis qu'une perte supplémentaire de 25 dB sera ajoutée à la perte de chemin pour X-Pol en raison de l'inadéquation de la polarisation.

Pour des informations plus détaillées, veuillez-vous référer à. [47]

IV.4.2.15 Perte de feuillage

Paramètre sélectionnable indiquant si la perte de feuillage sera prise en compte ou non dans la simulation.

Le paramètre par défaut est Non (ce qui implique que la perte de feuillage ne sera pas prise en compte) et peut être modifié sur Oui (ce qui signifie que la perte de feuillage sera prise en compte).

IV.4.2.16 Distance dans le feuillage

Paramètre modifiable représentant la distance en mètres que le signal transmis parcourt dans le feuillage.

La valeur par défaut est 0 et peut être définie sur n'importe quel nombre non négatif inférieur à la limite inférieure de la distance de séparation T-R.

IV.4.2.17 Atténuation du feuillage

Paramètre modifiable indiquant la perte de propagation induite par le feuillage en dB / m.

La valeur par défaut est 0,4 (dB / m).

IV.4.2.18 Nombre d'emplacements RX

Un paramètre modifiable indiquant le nombre d'emplacements RX. Il peut s'agir de n'importe quel nombre entier positif.

La valeur par défaut est 1 et peut être définie sur n'importe quel entier compris entre 1 et 10 000.

➤ Le panneau Propriétés de l'antenne contient 12 paramètres d'entrée liés aux réseaux d'antennes TX et RX, comme indiqué et expliqué ci-dessous:

1. Type de matrice TX/RX

Un paramètre sélectionnable indiquant le type de réseau d'antennes TX/RX. Le paramètre par défaut est ULA et peut être modifié en URA.

2. Nombre d'éléments d'antenne TX N_t

Un paramètre modifiable indiquant le nombre total d'éléments d'antenne TX dans le réseau.

La valeur par défaut est 1 et peut être définie sur n'importe quel entier compris entre 1 et 128.

3. Nombre d'éléments d'antenne RX Nr

Un paramètre modifiable indiquant le nombre total d'éléments d'antenne RX dans le réseau.

La valeur par défaut est 1 et peut être définie sur n'importe quel entier compris entre 1 et 64.

4. Espacement des antennes TX/RX (en longueur d'onde)

Un paramètre modifiable indiquant l'espacement entre les antennes TX adjacentes dans le réseau en termes de longueur d'onde porteuse.

La valeur par défaut est 0.5, et peut être définie sur n'importe quel nombre positif avec jusqu'à une décimale de 0.1 à 100. Notez qu'un espacement d'antenne plus important entraîne une corrélation spatiale plus faible, d'où un taux réalisable plus élevé.

De plus, aucun couplage mutuel d'antenne n'est considéré pour des raisons de simplicité, résultent en un taux réalisable plus optimiste pour des antennes rapprochées (par exemple, moins de 0.5 espacement de longueur d'onde).

5. Nombre d'éléments d'antenne TX par ligne de poids

Un paramètre modifiable indiquant le nombre d'antennes TX dans une dimension lorsque le type de réseau TX est ULA ou URA, ce qui devrait diviser le nombre d'éléments d'antenne TX. La valeur par défaut est 1.

6. Nombre d'éléments d'antenne RX par ligne Wr

Un paramètre modifiable indiquant le nombre d'antennes RX dans une dimension lorsque le type de réseau RX est ULA ou URA, ce qui devrait diviser le nombre d'éléments d'antenne RX. La valeur par défaut est 1.

7. Antenne TX Azimut HPBW (degrés)

Un paramètre modifiable indiquant l'azimut HPBW de l'antenne TX (réseau) en degrés.

La valeur par défaut est 10 ° et peut être réglée sur n'importe quelle valeur comprise entre 7° et 360° (puisque la plus petite HPBW d'azimut des antennes utilisées dans les mesures pour le simulateur était de 7 °).

8. TX Antenna Elevation HPBW (degrés)

Un paramètre modifiable indiquant l'élévation HPBW de l'antenne TX (réseau) en degrés.

La valeur par défaut est 10 °, et peut être réglée sur n'importe quelle valeur de 7 ° à 45 ° (puisque la plus petite élévation HPBW des antennes utilisées dans les mesures pour le simulateur était de 7 °).

9. Antenne RX Azimut HPBW (degrés)

Un paramètre modifiable dénotant l'azimut HPBW de l'antenne RX (réseau) en degrés.

La valeur par défaut est 10 ° et peut être définie sur n'importe quelle valeur comprise entre 7° et 360°.

10. Élévation de l'antenne RX HPBW (degrés)

Un paramètre modifiable indiquant l'élévation HPBW de l'antenne RX (réseau) en degrés. La valeur par défaut est 10 ° et peut être définie sur n'importe quelle valeur comprise entre 7° et 45°.

Le diagramme d'antenne utilisé a la forme suivante:

$$G(\phi, \theta) = \max \left(G_0 e^{-\alpha \phi^2 - \beta \theta^2}, \frac{G_0}{100} \right) = \frac{4 \ln(2)}{\phi_{3dB}^2}, \beta = \frac{4 \ln(2)}{\theta_{3dB}^2}, G_0 = \frac{41253 \eta}{\theta_{3dB} \phi_{3dB}} \quad (\text{IV.4})$$

où (ϕ, θ) désignent les décalages d'azimut et d'angle d'élévation par rapport à la direction de visée en degrés, G_0 est le gain directif maximal (gain de visée) en unités linéaires, $(\theta_{3dB}, \phi_{3dB})$ représentent les HPBW d'azimut et d'élévation en degrés, (α, β) sont des paramètres qui dépendent des valeurs HPBW, et $\eta = 0.7$ est une efficacité d'antenne moyenne typique.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne de site cellulaire sectorisé a été utilisé, où le diagramme de rayonnement azimutal est modélisé comme un cardioïde donné par:

$$r(\theta) = \alpha \left[1 + \sin \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (\text{IV.5})$$

Où r est le gain de l'antenne à l'angle d'azimut θ par rapport à son lobe maximal et est un facteur d'échelle. Le diagramme de rayonnement d'élévation est une ellipse avec la station de base en un point focal : [48]

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (\text{IV.4})$$

Un modèle de diagramme d'antenne sectoriel a été introduit, où des gains de directivité constants sont supposés pour le lobe principal et le côté.

IV.5 Étude de la nature du climat dans El Oued

Le climat dominant d'El Oued est de type désertique, et est à 390 km de la mer et l'altitude moyenne de la région est de 80 mètres.

La température moyenne en été atteint 34°C et peut parfois dépasser 50°C là où le sable est presque enflammé, et en hiver la température moyenne est de 10°C , et quand il fait trop froid, surtout la nuit, elle tombe en dessous de zéro, Et la pluie est rare et rare en raison de la distance de la région aux mers, et la moyenne annuelle des précipitations dans la région est de 80,3 mm.

La région d'El Oued est également caractérisée par un mouvement d'air actif (vent) tout au long de l'année.

La végétation est caractérisée par la sécheresse et le sable abondant, cependant il existe diverses plantes naturelles avec de longues racines qui poussent dans les vallées et au bord des dunes de sable.

Le Tableau IV.1 résume les statistiques climatiques sur une période de 20 ans à El Oued.

L'année	Température annuelle moyenne: ($^{\circ}\text{C}$)	Température maximale moyenne annuelle: ($^{\circ}\text{C}$)	Température minimale moyenne annuelle: ($^{\circ}\text{C}$)	Humidité moyenne annuelle: (%)	Précipitations annuelles totales: (mm)	Visibilité moyenne annuelle: (Km)	Vitesse annuelle moyenne du vent (Km / h):
2000	22.4	29.0	15.6	46.6	35.81	9.7	10.5
2001	23.4	29.8	16.6	44.3	-	9.8	12.7
2002	-	-	-	-	-	-	-
2003	22.7	29.0	16.3	48.6	109.47	9.4	12.1

2004	22.1	29.1	15.5	49.2	350.01	9.4	12.4
2005	-	-	-	-	-	-	-
2006	22.6	29.6	15.7	46.3	80.53	9.5	8.8
2007	22.3	29.5	15.4	42.5	56.90	9.4	10.4
2008	22.6	29.3	16.0	43.8	32.01	9.5	9.4
2009	22.3	29.2	15.6	45.7	193.55	9.8	-
2010	23.1	29.9	16.2	40.8	50.28	9.8	-
2011	22.5	29.2	15.5	44.2	30.73	9.8	8.0
2012	22.9	29.9	15.6	39.6	23.62	10	-
2013	22.7	29.6	15.8	42.6	32.27	9.5	8.2
2014	23.3	30.3	16.5	43.3	26.67	9.2	0.0
2015	22.5	29.4	15.6	46.8	50.04	9.3	3.6
2016	23.3	30.1	16.4	42.7	-	9.2	9.2
2017	22.5	28.8	15.9	45.7	-	9.1	11.6
2018	23.0	29.5	16.5	44.2	-	8.7	12.4
2019	23.0	29.5	16.2	42.5	-	9.2	12.2

Tableau IV.1 Statistiques climatiques sur une période de 20 ans. [49]

IV.6 Répartition de la pression barométrique pour la ville d'El-Oued

La pression barométrique, également connue sous le nom de pression atmosphérique, est le poids de chaque molécule d'air au-dessus de nous, atteignant tout le chemin jusqu'au bord de l'espace. La pression barométrique peut affecter une variété de choses dans notre environnement. Ceux-ci peuvent inclure la teneur en oxygène de nos océans, lacs et rivières, les niveaux d'eau, notre santé et les conditions météorologiques. La pression barométrique jouant un rôle si important dans notre vie quotidienne, nous utilisons des dispositifs appelés baromètres pour nous tenir informés des changements de pression barométrique. En analysant les données de 12 mois en 2019 indiqué dans le tableau IV.2, la pression atmosphérique moyenne de la ville d'El-Oued était de 1015.3 mbar.

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Jui.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	1017.8 Mbar	1023 Mbar	1019.7 mbar	1011.5 Mbar	1012.7 Mbar	1011.6 mbar	1011.2 Mbar	1012.3 Mbar	1014.9 Mbar	1015.9 Mbar	1014 mbar	1019.4 Mbar

Tableau IV.2 Pression atmosphérique moyenne de la ville d'El-Oued. [49]

IV.7 Analyse de MIMO pour l'environnement NLOS en utilisant la Microcellule Urbaine pour la ville d'EL Oued

IV.7.1 Analyse de MIMO en utilisant différentes distances de séparation T-R

La technique des MIMO (Multiple-input multiple-output) a été utilisée dans les communications sans fil modernes pour améliorer la fiabilité et la capacité. Les multiples antennes d'un système MIMO peuvent être déployées de différentes manières. Le choix de l'élément d'antenne approprié pour le MIMO est important pour obtenir une meilleure puissance reçue et moins d'affaiblissement du trajet pour une distance spécifique.

Pour évaluer le nombre d'éléments d'antenne appropriés pour le MIMO, dans un premier temps, nous calculons les données : Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS pour la ville d'EL Oued dans l'environnement NLOS en utilisant les paramètres cités ci-dessous (taux moyen des précipitations, pression, température,...). Les tableaux IV.3 et IV.4 concernent une distance de séparation T-R de 100 m, puis les tableaux IV.5 et IV.6 concernent une distance de 300 m et enfin les tableaux IV.7 et IV.8 concernent une distance de 500 m respectivement pour une antenne omnidirectionnelle et directionnelle.

Dans notre étude, on a pris les paramètres suivants :

- ✓ Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued: 80.3mm / h.
- ✓ Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- ✓ Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- ✓ Température: 22.7 C°.
- ✓ Nombre d'emplacements de récepteur: 100.
- ✓ Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- ✓ Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- ✓ Type de réseau: Réseau d'antenne Rectangulaire Uniforme (URA).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Puissance reçue (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	3.6	132.7	-102.7	14.2
3*3	3.6	124.7	-94.7	10.4
4*4	3.6	125.8	-95.8	8.8
5*5	3.7	112.5	-82.5	17.4
6*6	3.9	101.8	-71.8	17.7
7*7	3.8	110.7	-80.7	27.5

Tableau IV.3 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	3.9	137.6	-58.4	0.4
3*3	3.9	128.8	-49.6	0.7
4*4	3.7	127.0	-47.7	0.3
5*5	4.2	118.4	-39.2	1.9
6*6	4.4	106.9	-27.7	0.4
7*7	3.9	113.1	-33.9	1.7

Tableau IV.4 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	38	108.6	-78.6	29.4
3*3	3.7	117.5	-87.5	16.2
4*4	3.7	113.6	-83.6	10.1
5*5	3.6	142.3	-112.3	14.6
6*6	3.6	150.6	-120.6	20.3
7*7	3.7	151.3	-121.3	41.4

Tableau IV.5 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	4.1	112.2	-72.2	9.8
3*3	3.9	120.5	-41.3	1.5
4*4	4.0	117.3	-38.1	0.2
5*5	3.7	143.9	-64.6	2.3
6*6	3.8	155.1	-75.9	5.0
7*7	3.7	152.2	-73.0	11.0

Tableau IV.6 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	3.7	161.5	-131.5	14.7
3*3	3.6	148.5	-118.5	9.3
4*4	3.6	128.6	-98.6	6.5
5*5	3.7	155.0	-125.0	11.0
6*6	3.6	150.7	-120.7	14.9
7*7	3.7	161.6	-131.6	21.7

Tableau IV.7 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	3.9	166.3	-87.1	0.6
3*3	3.8	151.3	-72.1	1.2
4*4	4	134.7	-55.5	0.2
5*5	3.8	158.7	-79.5	0.8
6*6	3.9	156.8	-77.6	5.0
7*7	3.8	163.5	-84.3	0.4

Tableau IV.8 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

L'analyse des résultats ci-dessus nous permet de remarquer que le MIMO avec élément d'antenne 4×4 donne moins de perte de trajet, une meilleure puissance reçue et moins de propagation du retard RMS (Root-Mean-Square). Et nous pouvons également dire que l'affaiblissement sur le trajet directionnel et le PLE directionnel seront toujours plus importants (c'est-à-dire qu'un canal directionnel est plus déficitaire) que dans le cas omnidirectionnel. Nous effectuons ce calcul pour une distance de séparation T-R de 100 m, 300 m et 500 m.

Et chacune des simulations MIMO 4×4 nous donnera de bon résultats en comparaison avec d'autres éléments d'antenne MIMO.

IV.7.2 Analyse de MIMO 4×4 en utilisant différentes distances de séparation T-R et température pour l'environnement NLOS

Parce que la ville d'El Oued est une région où règne le climat désertique, la saison ne reste pas toujours la même dans l'année. Les jours ensoleillés (en été), la température augmentera d'environ 30°C à parfois 50°C , selon les enregistrements des années passées. Ce serait une moyenne de 34°C à ce moment-là.

Par conséquent, nous calculons maintenant les données pour l'environnement NLOS à 34°C avec 0 mm / h (Taux de pluie).

- ✓ Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued : 0 mm / h.
- ✓ Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- ✓ Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- ✓ Température: 34°C .
- ✓ Nombre d'emplacements récepteurs: 100
- ✓ Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- ✓ Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- ✓ Type de réseau: Réseau Rectangulaire Uniforme.

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	3.6	130.3	-102.4	10.7
300	3.5	147.3	-117.3	3.6
500	3.5	154.8	-124.8	18.4

Tableau IV.9 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 34C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	3.6	132.4	-53.2	1.0
300	3.6	149.4	-70.2	0.7
500	3.6	157.8	-78.6	2.0

Tableau IV.10 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz 34C°, pour l'antenne directionnelle).

Le Tableau IV.9 montre les paramètres du canal, en particulier l'exposant de perte de trajet, la puissance reçue et l'étalement du retard efficace pour l'antenne omnidirectionnelle et le tableau IV.10 pour l'antenne directionnelle. Il est vrai qu'à une température de 34C°, avec l'augmentation de la distance entre l'émetteur et le récepteur, l'affaiblissement moyen sur le trajet augmente et le signal reçu diminue mais un RMS (retard) modérément dans le cas de 100 m pour tant pour l'antenne omnidirectionnelle que pour l'antenne directionnelle.

Et on peut dire qu'à haute température, l'antenne 4 * 4 MIMO donnera de meilleurs résultats à courte distance.

➤ Comme nous l'avons dit précédemment, l'état d'El-Oued est caractérisé par un climat désertique, et en hiver la température moyenne est généralement autour de 10C°, et il n'y a pas de fortes pluies.

Par conséquent, nous utilisons actuellement une température de 10C° degrés pour calculer les données:

- Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued : 0 mm / h.
- Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- Température: 10 C°.
- Nombre d'emplacements récepteurs: 100.

- Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- Type de réseau: Réseau Rectangulaire Uniforme.

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	3.6	132.3	-102.3	34.5
300	3.5	147.3	-117.3	29.3
500	3.5	154.5	-124.5	14.7

Tableau IV.11 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz à 10 C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	3.6	133.8	-54.6	5.4
300	3.6	150.7	-71.5	3.8
500	3.6	159.3	-80.1	0.6

Tableau IV.12 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario NLOS 28 GHz 10C°, pour l'antenne directionnelle).

Ainsi, à partir des tableaux IV.11et IV.12, nous pouvons dire que lorsque la température est basse et qu'il n'y a pas de précipitations, l'antenne MIMO 4*4 donnera un résultat nettement meilleur lorsque la distance de séparation T-R est proche de 100 m. Donc, avec la baisse de la température, nous devons également réduire la distance entre l'émetteur et le récepteur pour obtenir un meilleur rendement.

Notez qu'à une température plus basse, le délai de propagation RMS augmente.

IV.8 Analyse de MIMO pour l'environnement LOS pour la ville d' EL Oued en utilisant la microcellule urbaine

IV.8.1 Analyse de MIMO en utilisant différentes distances de séparation T-R pour l'environnement LOS

L'industrie de la téléphonie mobile a trouvé un avantage à décrire séparément la perte de trajets pour les conditions LOS et NLOS. Par conséquent, des modèles pour la probabilité de perte

de trajets sont nécessaires, c'est-à-dire des modèles statistiques pour prédire la probabilité qu'une UE (User Equipment) se trouve dans une zone de perte de trajets claire de la station de base (BS) ou dans une zone de perte de trajets nulle en raison d'obstructions. La propagation des LOS offrira des performances plus fiables dans les communications en ondes millimétriques par rapport aux conditions NLOS, étant donné la plus grande perte de diffraction à des fréquences plus élevées et étant donné l'exposant de perte de trajet plus important ainsi que de la variance d'ombrage (masquage) accrue dans les NLOS par rapport aux LOS. La probabilité de LOS est modélisée en fonction de la distance de séparation TX-RX (T-R) et est indépendante de la fréquence, car elle est uniquement basée sur la géométrie et la disposition d'un environnement ou d'un scénario. [50]

Donc, maintenant nous calculons les données pour la ville d'EL Oued dans un environnement LOS à une condition mentionnées ci-dessous. Ici, nous choisissons la saison estivale (l'été) où il n'y a pas de pluie et où la température augmente jusqu'à une moyenne de 34°C en utilisant le MIMO.

Les conditions de LOS sont :

- ✓ Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued : 0 mm / h.
- ✓ Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- ✓ Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- ✓ Température: 34 C°.
- ✓ Nombre d'emplacements récepteurs: 100
- ✓ Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- ✓ Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- ✓ Type de réseau: Réseau Rectangulaire Uniforme.

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.3	94.0	-64.0	22.0
3*3	2.4	86.2	-56.2	17.4
4*4	2.2	100.9	-70.9	8.3
5*5	2.3	93.9	-63.9	12.9
6*6	2.4	87.6	-57.6	17.3
7*7	2.4	87.8	-57.8	20.8

Tableau IV.13 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.6	97.9	-18.7	8.8
3*3	2.7	89.7	-10.5	2.2
4*4	2.3	102.4	-23.2	0.1
5*5	2.7	99.3	-20.0	12.0
6*6	2.8	92.7	-13.5	11.5
7*7	2.7	91.9	-12.7	10.2

Tableau IV.14 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 100 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.2	114.6	-84.8	19.2
3*3	2.4	87.4	-57.4	17.5
4*4	2.2	98.6	-68.6	13.1
5*5	2.3	92.5	-62.5	14.5
6*6	2.4	85.9	-55.9	19.9
7*7	2.3	93.2	-63.2	24.0

Tableau IV.15 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.3	117.5	-38.3	2.3
3*3	2.5	89.1	-9.9	0.9
4*4	2.3	100.1	-20.9	0.4
5*5	2.7	98.4	-19.2	0.2
6*6	2.6	87.9	-8.7	6.4
7*7	2.6	97.8	-18.6	0.2

Tableau IV.16 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 300 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.2	118.9	-88.9	17.2
3*3	2.2	117.1	-87.1	14.2
4*4	2.2	110.3	-80.3	6.2
5*5	2.2	117.5	-87.5	18.4
6*6	2.2	118.2	-88.2	20.6
7*7	2.2	118.3	-88.3	17.5

Tableau IV.17 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne omnidirectionnelle).

MIMO utiliser	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
2*2	2.2	120.3	-41.1	0.3
3*3	2.2	118.9	-39.7	0.3
4*4	2.3	113.1	-33.9	0.3
5*5	2.4	122.8	-43.6	5.0
6*6	2.2	119.2	-40.0	0.2
7*7	2.3	122.8	-43.6	1.1

Tableau IV.18 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 500 m de distance, pour l'antenne directionnelle).

Dans l'environnement LOS, la sélection de l'élément d'antenne approprié pour le MIMO n'est pas si facile. Dans cet environnement, la valeur de l'affaiblissement sur le trajet, la puissance reçue montre une fluctuation pour différents types de MIMO. Mais après cela, nous pouvons dire que les antennes MIMO 4*4 montrent à nouveau une puissance moyenne mieux reçue, moins de perte de trajet et moins de retard RMS. Lorsque nous augmentons l'élément d'antenne, il faut faire face à certains problèmes. Par exemple, le premier est essentiel pour que l'émetteur puisse acquérir les informations sur l'état du canal CSI (Channel State Information) afin de profiter pleinement du gain de capacité offert par les systèmes MIMO, en particulier pour les scénarios multi-utilisateurs. Cependant, à mesure que le nombre d'antennes augmente, les frais généraux liés à l'acquisition de CSI augmentent en conséquence. Ce problème peut être partiellement résolu dans un système de duplexage par répartition dans le temps (TDD) qui réduit la surcharge de CSI en utilisant la réciprocité du canal.

Et puis un autre problème majeur, à savoir que la complexité du précodage et de la détection augmentera avec le nombre d'antennes. Lorsque le nombre d'antennes d'émission est beaucoup plus important que le nombre d'antennes de réception, de simples précodeurs et détecteurs linéaires suffisent pour offrir des performances presque optimales. Cependant, lorsque le nombre d'antennes d'émission est comparable ou inférieur au nombre d'antennes de réception, la conception de précodeurs et de détecteurs d'une complexité raisonnable devient plus difficile.

On peut donc dire que c'est la raison pour laquelle les grands types d'antennes MIMO donnent de moins bons résultats.

IV.8.2 Analyse de MIMO 4*4 en utilisant différentes distances de séparation T-R et température pour l'environnement LOS

Nous calculons maintenant des données pour l'environnement LOS à une température de 10C° avec 0 mm / h (taux de pluie).

Les paramètres qui sont prises en compte dans ces scénarios évoqués sont :

- ✓ Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued : 0 mm / h.
- ✓ Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- ✓ Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- ✓ Température: 10 C°.

- ✓ Nombre d'emplacements récepteurs: 100
- ✓ Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- ✓ Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- ✓ Type de réseau: Réseau Rectangulaire Uniforme.

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	2.2	105.4	-75.4	16.6
300	2.2	114.9	-84.9	8.5
500	2.1	119.3	-89.3	16.9

Tableau IV.19 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 10C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	2.4	109.6	-30.4	0.8
300	2.4	119.9	-40.7	0.4
500	2.4	125.2	-46.0	0.9

Tableau IV.20 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz 10 C°, pour l'antenne directionnelle).

Dans ces conditions d'environnement LOS, il affiche un résultat progressif . Les résultats des simulations pour les trois cas de distance RX-TX (100, 300, 500) ont montré que la distance 100 donnait de meilleurs résultats concernant PL (perte de chemin) mais un RMS (retard) modérément élevé par rapport au cas de 300m qui a donné moins de RMS tandis que la distance de séparation de 500 m a montré de mauvais résultats que ceux pour RMS ou PL.

Et n'est également pas différent de l'environnement NLOS. Dans un environnement NLOS, lorsque la température est basse et qu'il n'y a pas de pluie, l'antenne MIMO 4 * 4 affichera probablement un meilleur résultat lorsque la distance de séparation TR est proche de 100 m.

Donc, maintenant avec 22.7C° et 80.3 mm / h taux de pluie auquel le calcul pour l'environnement LOS est effectué.

- ✓ Taux moyen des précipitations pour la ville d'EL Oued : 80.3 mm / h.

- ✓ Pression barométrique moyenne pour la ville d'EL Oued: 1015.3 mbar.
- ✓ Humidité moyenne pour la ville d'EL Oued: 43.4%.
- ✓ Température: 22.7 C°.
- ✓ Nombre d'emplacements récepteurs: 100
- ✓ Scénario: Micro Cellule Urbaine.
- ✓ Puissance de l'émetteur: 30 dBm.
- ✓ Type de réseau: Réseau Rectangulaire Uniforme.

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	2.3	106.6	-76.6	24.8
300	2.3	119.1	-89.1	16.7
500	2.4	126.1	-96.1	23.0

Tableau IV.21 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du délai RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz à 22.7C°, pour l'antenne omnidirectionnelle).

Séparation T-R en m	PLE	PL (dB)	Pr (dBm)	RMS retard de propagation (ns)
100	2.4	108.7	-29.5	0.8
300	2.5	122.3	-43.1	1.2
500	2.6	130.6	-51.4	0.8

Tableau IV.22 Perte de trajet, puissance reçue et propagation du retard RMS, (pour le scénario LOS 28 GHz 22.7 C°, pour l'antenne directionnelle).

Dans l'environnement LOS, il n'y a pas beaucoup d'impact de la pluie sur les communications sans fil que ces flux fourniront. Et à une distance aussi courte que 100 mètres, il y a une antenne 4 * 4 MIMO qui donnera de bons résultats..

Les résultats de simulations pour les trois cas de distance RX-TX (100, 300, 500) illustrés dans des tableaux ci-dessus (IV.19, IV.20, IV.21), ont montré que la distance 100 donnait de meilleurs résultats concernant PL (perte de chemin) mais un RMS (retard) élevé par rapport au cas de 300 m qui a donné moins de RMS tandis que la distance de séparation de 500 m a montré de mauvais résultats que ceux pour RMS ou PL pour les antennes directionnelle et omnidirectionnelle.

Notez que dans un environnement LOS, la perte de chemin (PL) et la puissance reçue (P_r) sont meilleures que la perte dans l'environnement NLOS. Par conséquent, nous pouvons prouver et garantir que l'antenne MIMO 4×4 montre clairement un bon résultat, en particulier sur de courtes distances pour les environnements LOS et NLOS, et les antennes directionnelles et omnidirectionnelles.

IV.9 AoA, AoD et PDP pour MIMO 4×4 en utilisant différentes conditions

La simulation du modèle sélectionné (le modèle CI) avec différents choix de paramètres est effectuée dans cette section. Il convient de noter que la modélisation statistique des canaux se concentre sur l'extraction de modèles à partir du spectre de puissance mesuré en azimuth et en élévation en utilisant des prédictions de traçage de rayons 3D et en générant les données requises lorsque les mesures ne sont pas disponibles. [51] Pour la simulation, des hypothèses ont été faites pour les propriétés du canal et de l'antenne.

Pour simuler un environnement NLOS et LOS dans une ville d'El Oued, les paramètres du canal ont été générés pour correspondre aux variables environnementales moyennes. Par exemple, la pression atmosphérique moyenne dans la région d'El Oued est de 1015,3 mbar, la température moyenne est de 22,7 ° C et l'humidité moyenne est fixée à 43,4%.

Combinées aux paramètres de canal pour la 5G, les fréquences simulées étaient de 28 GHz avec une bande passante RF de 800 MHz. Pour un utilisateur normal, les différentes distances de séparation TX–RX sont 100 m, 300 m, 500 m avec un angle de réception de co-polarisation (idéal)

Les paramètres d'antenne utilisés ont été fixés à des valeurs standard afin que les simulations restent constantes et indépendantes des antennes. Les types de réseaux TX et RX ont été définis sur URA (Uniform Rectangular Array) pour un débit plus élevé. L'espacement des antennes a été réglé à 0.5λ afin qu'il n'y ait aucune chance qu'un récepteur soit hors de portée et l'azimut et l'élévation fixés à 10° pour que les faisceaux d'azimut et d'élévation puissent être utilisés.

IV.9.1 Spectre de puissance des lobes AOA et AOD pour l'environnement NLOS

On observe un niveau de puissance similaire pour les spectres de puissance des lobes AOA et AOD à 28 GHz. Les retards de puissance par trajets multiples ont été considérés comme une fonction de l'angle azimutal pour TX et RX.

La puissance reçue est représentée sur des diagrammes polaires pour les deux bandes de fréquences de 28 GHz, comme les montrent les figures IV.2, IV.3 et IV.4 respectivement.

Chaque rayon représente la hauteur d'un 3 lobe, chaque lobe représentant un chemin de propagation potentiel. AOA et AOD peuvent être définis comme $\bar{\theta}$ qui représente un angle de braquage moyen pondéré en fonction de la puissance (angle de poussée).

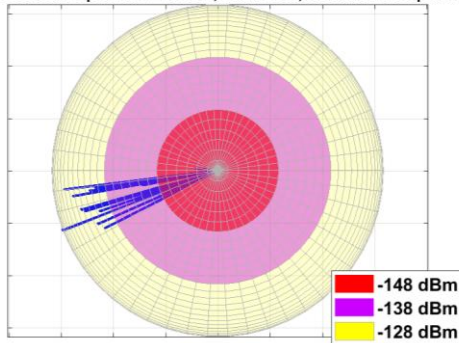
Peut être utilisé dans chaque lobe pour définir une direction D'arrivée / départ d'énergie calculé par,

$$\bar{\theta} = \frac{\sum_k P(\theta_k) \theta_k}{\sum_k P(\theta_k)} \quad (\text{IV. 5})$$

Où k est l'indice de l'angle de braquage, en degrés, à l'intérieur d'un lobe et $P(\theta_k)$ est la puissance reçue en θ_k . Étant donné que les résultats et les valeurs des deux ensembles de données sont générés de manière aléatoire pour des distances différentes, il est possible de simuler précisément un scénario à l'aide du 3D SSCM (Statistical Spatial Channel Mode). La valeur moyenne d'un ensemble de rayons AOA / AOD, c'est-à-dire de lobes, si elle est mesurée ou simulée dans / pour une zone environnante, devrait renvoyer une distribution uniforme entre 0 et 360 °. Comme le montrent les Figures IV.2, IV.3 et IV.4, les spectres de puissance des lobes AOA / AOD semblent similaires et étroitement liés. Les similitudes des spectres de puissance peuvent être attribuées à la puissance émise qui est fixée à 30 dBm dans tous les cas, et ne dépend pas de la fréquence de transmission.

a) Dans une température de 22.7C° avec un taux de pluie de 80.3 mm / h dans une distance de séparation T-R de 300 m

3-D AOA Power Spectrum - 28 GHz, UMi NLOS, 300.0 m T-R Separation



3-D AOD Power Spectrum - 28 GHz, UMi NLOS, 300.0 m T-R Separation

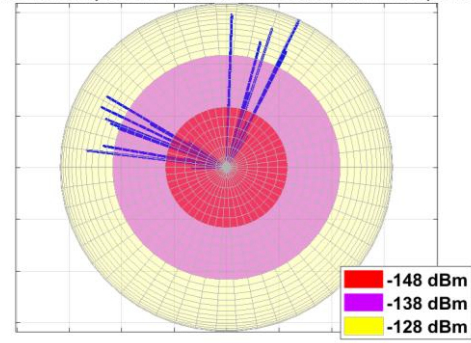


Figure IV.2 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 22.7C°.

b) Dans une température de 10C° sans taux de pluie dans une distance de séparation T-R de 300 m

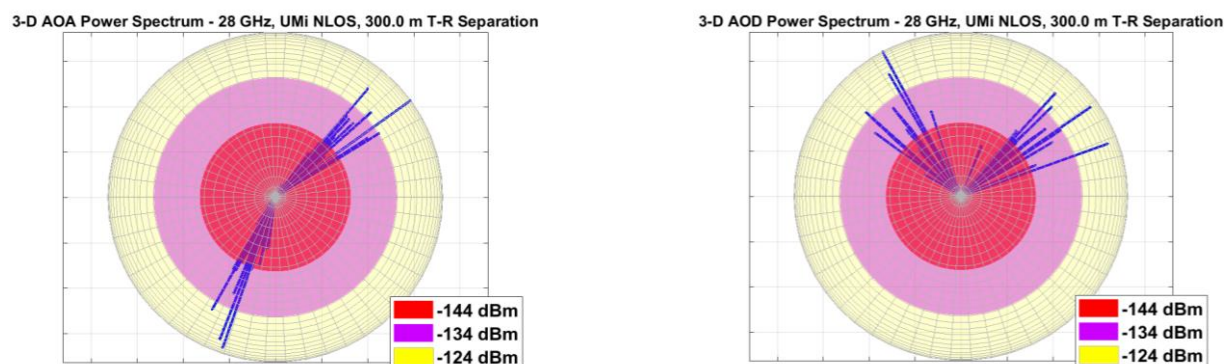


Figure IV.3 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 10C°.

c) Dans une température de 34C° sans taux de pluie dans une distance de séparation T-R de 500 m

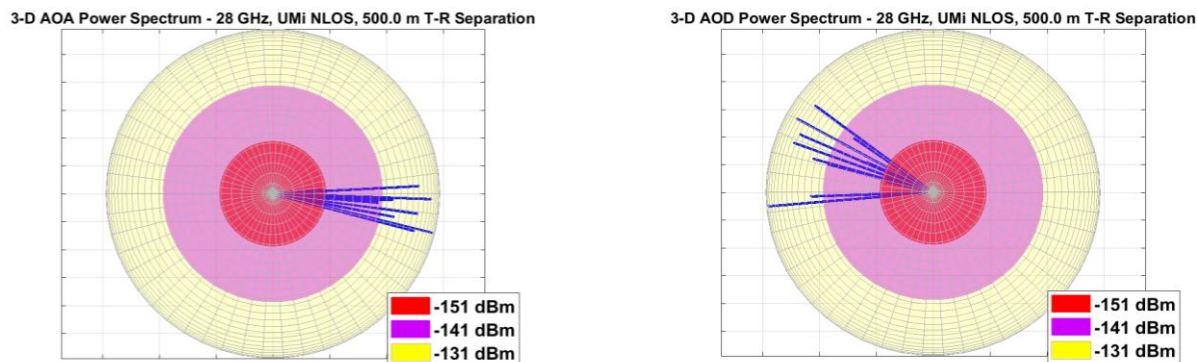


Figure IV.4 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz à 34C°.

IV.9 .2 Spectre de puissance des lobes AOA et AOD pour l'environnement LOS

a) Dans une température de 34°C sans taux de pluie dans une distance de séparation T-R de 500 m

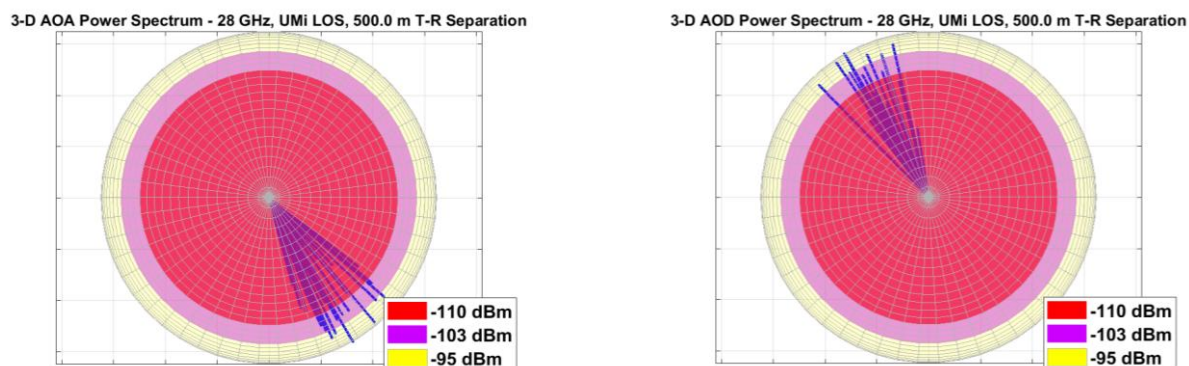


Figure IV.5 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 34°C .

b) Dans une température de 10°C sans taux de pluie dans une distance de séparation T-R de 100 m

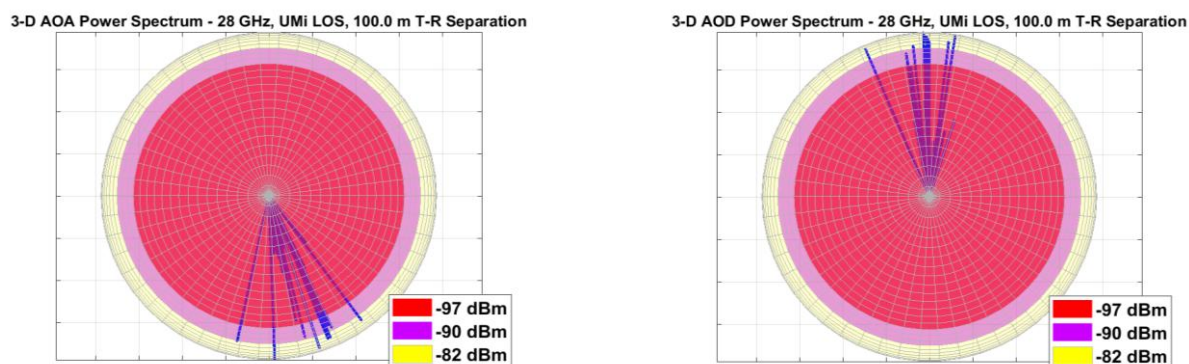


Figure IV.6 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 10°C .

c) Dans une température de 22.7°C avec 80.3mm / h taux de pluie dans une distance de séparation T-R de 100 m

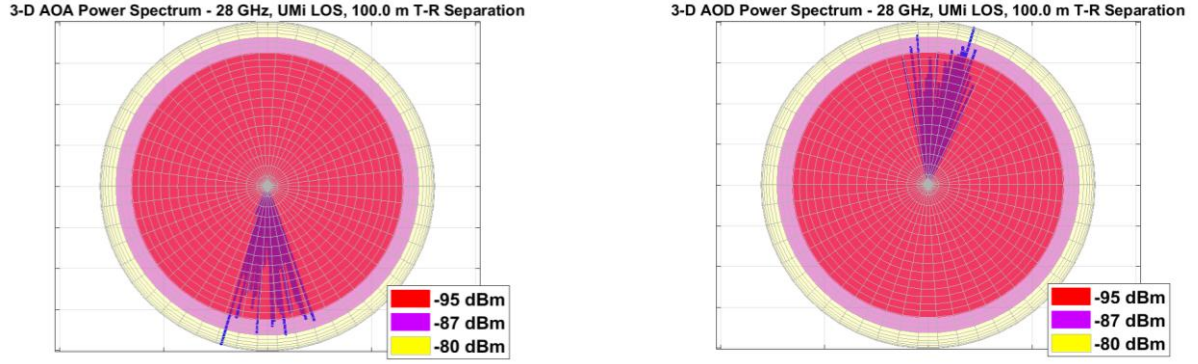


Figure IV.7 Spectre de puissance AoD et AoA pour 28 GHz 34C°.

Tant pour l'environnement NLOS que LOS, l'AOA et l'AOD peuvent représenter un angle de pointage moyen pondéré par la puissance (angle de direction). Il peut être utilisé sur chaque lobe pour identifier une seule direction d'arrivée / départ de l'énergie. La valeur moyenne pour un ensemble de rayons AOA / AOD, c'est-à-dire les lobes, si elle est mesurée ou simulée dans / pour une zone environnante, doit renvoyer une distribution uniforme entre 0° et 360°. Comme le montrent respectivement les points IV.5, IV. 6 et IV.7, les spectres de puissance des lobes AOA / AOD semblent similaires et étroitement liés.

Les similitudes des spectres de puissance peuvent être attribuées à la puissance émise qui est fixée à 30 dBm dans tous les cas, et ne dépend pas de la fréquence d'émission.

IV.9.3 Profil de retard de puissance omnidirectionnel et directionnel pour les systèmes NLOS et LOS à 28 GHz à une température de 22.7C°

Afin de comprendre pleinement le canal, sa propagation doit être examinée. Le plus souvent, la propagation est décrite par la superposition de multiples les ondes progressives, où chaque onde incidente au récepteur est décrite par son trajet amplitude (tension), retard, AOD et AOA. A partir de ces composantes, une double direction, c'est-à-dire que la réponse impulsionnelle du canal omnidirectionnel et invariant dans le temps CIR (channel impulse response) peut être calculée par:

$$h_{omni}(t, \bar{\theta}, \bar{\phi}) = \sum_{k=1}^N a_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \cdot \delta(\bar{\theta} - \bar{\theta}_k) \cdot \delta(\bar{\phi} - \bar{\phi}_k) \quad (\text{IV. 6})$$

Où a_k , θ_k et τ_k sont respectivement l'amplitude, la phase et le délai de propagation du K composante multivoie $\bar{\theta}_k$ et $\bar{\phi}_k$.

K: N représente le nombre total de voies résolubles, et $\delta()$ est la fonction Dirac-delta.

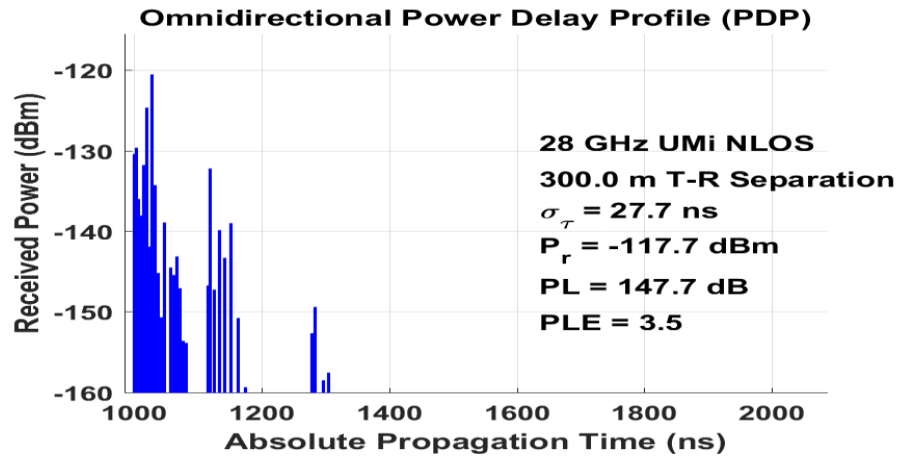


Figure IV.8 PDP omnidirectionnel pour environnement NLOS 28 GHz.

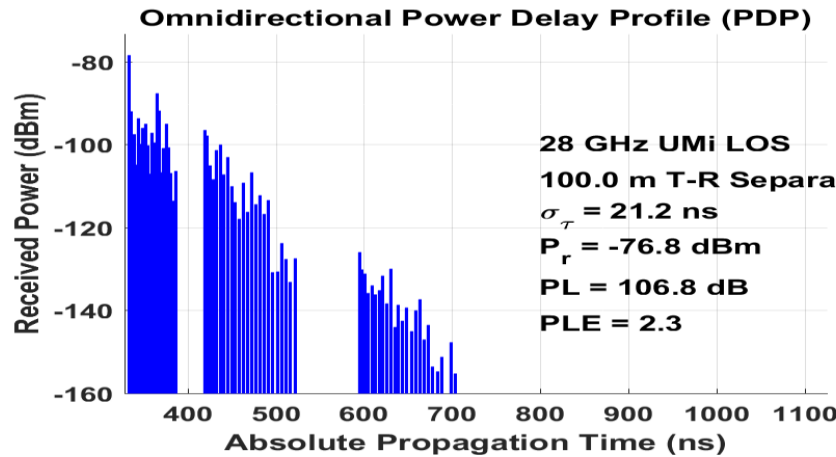


Figure IV.9 PDP omnidirectionnel pour environnement LOS 28 GHz.

Les bandes de 28 GHz se sont avérées similaires dans leurs délais de propagation en raison de leurs distances de séparation similaires. À mesure que les distances de séparation augmentaient en simulation, le temps de propagation absolu augmentait également. Les légères différences d'atténuation peuvent être notées entre les deux distances de séparation dans l'environnement LOS et NLOS, et on soupçonne que, selon [52], un facteur d'ombrage a pu entrer en jeu, ce qui indique une plus grande variabilité de l'ombrage à des fréquences d'ondes millimétriques plus élevées. L'augmentation de l'effet d'ombrage peut être attribuée à une augmentation de la diffusion diffuse, à une perte de diffraction et à des réflexions plus faibles.

IV.9.4 Profil de retard de puissance directionnel et directionnel pour NLOS et LOS 28 GHz à 22.7C°

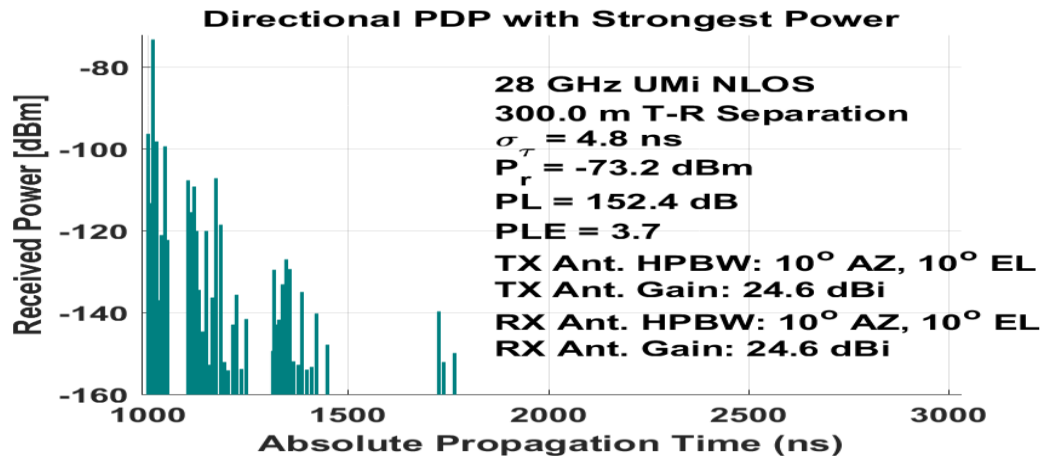


Figure IV.10 PDP directionnel pour environnement NLOS 28 GHz.

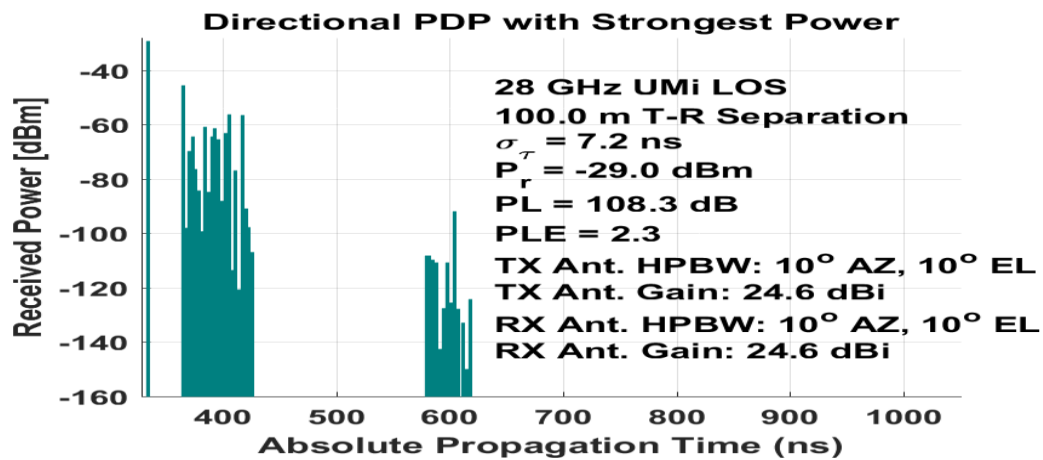


Figure IV.11 PDP directionnel pour environnement LOS 28 GHz.

La PDP directionnelle avec la plus forte puissance dans les bandes LOS et NLOS de 28 GHz est présentée en chiffres IV.10 et IV.11. Il montre qu'en LOS la puissance reçue du PDP diminue après environ 600 ns, alors que dans la NLOS, elle diminue après environ 1700 ns.

IV.9.5 Perte de trajets

La perte de trajets peut être due à divers phénomènes comme la perte de trajets en espace libre, la réflexion, la diffraction, l'évanouissement, l'ombrage, etc. Il existe un grand nombre d'analyses théoriques sur l'estimation des exposants de la perte de trajets, sans tenir compte des mesures pratiques et des conditions environnementales.

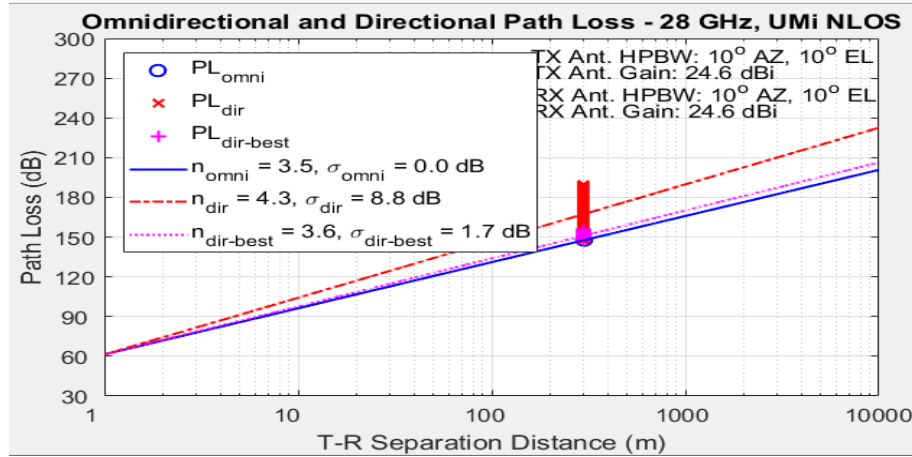


Figure IV.12 Perte de trajet omnidirectionnelle et directionnelle pour NLOS 28 GHz.

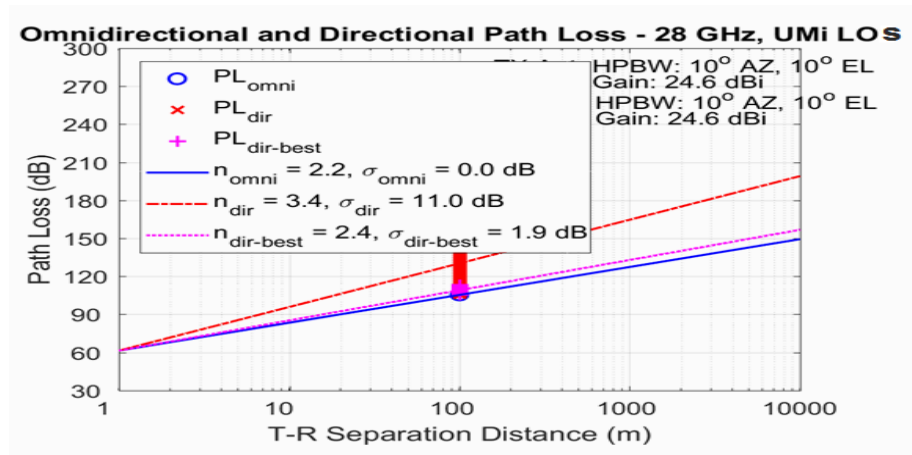


Figure IV.13 Perte de trajet omnidirectionnelle et directionnelle pour LOS 28 GHz.

Le diagramme de dispersion montre les valeurs d'affaiblissement omnidirectionnel et directionnel générées pour les scénarios UMi LOS et NLOS à 28 GHz, avec une distance T-R d'environ 300 m pour NLOS, et d'environ 100 m pour LOS. L'affaiblissement sur le trajet diffusé est compris entre 90 et 160 dB pour les deux scénarios.

Il montre également l'exposant d'affaiblissement sur le trajet et l'écart-type d'affaiblissement de l'ombre, la meilleure direction à partir de laquelle un signal fort est reçu. L'affaiblissement directionnel du chemin et l'exposant d'affaiblissement directionnel du chemin sont plus élevés.

Car le canal directionnel présente plus de pertes que le canal omnidirectionnel. Ceci est dû au fait que l'antenne directionnelle filtre les MPC et reçoit peu de MPC d'une direction spécifique. Les HPBW en élévation et en azimuth de l'antenne sont réglés à 10° au niveau de l'émetteur et du

récepteur. Les résultats pour la PLE et l'évanouissement d'ombre sont en accord avec les résultats mesurés dans. [53]

IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre, la modélisation du canal de la communication cellulaire 5G mmWave pour microcellule urbaine est simulée en condition LOS et NLOS à une fréquence de fonctionnement de 28 GHz avec plusieurs éléments d'antenne au niveau de l'émetteur et du récepteur. Différents paramètres affectant le canal ont été pris en compte dans la simulation à l'aide du logiciel NYUSIM développé à NYUWireless. La réponse impulsionnelle de canal est générée pour différentes simulations à différentes séparations d'émetteur et de récepteur.

Les paramètres de canal tels que les spectres de puissance AoA / AoD, le profil de retard de puissance directionnel, le profil de retard de puissance omnidirectionnel à différents éléments d'antenne sont enregistrés. Un diagramme de dispersion de la perte de chemin en fonction de la distance pour la direction omnidirectionnelle, directionnelle et la meilleure direction est également produit avec différents paramètres statistiques tels que la perte de chemin, l'exposant de perte de chemin et l'écart type. Ce chapitre décrit également la sélection appropriée de l'élément d'antenne pour MIMO dans la communication mobile cellulaire 5G à une fréquence de 28 GHz. Cette partie décrit également la communication en environnement NLOS et LOS. Et aussi après cela, la perte de chemin et la dispersion temporelle estimées pour les canaux 5G à une fréquence de 28 GHz pour LOS et NLOS.

Les environnements seront également discutés en fonction de différents paramètres. Une étude comparative des performances LOS et NLOS dans la bande 28 GHz pour les réseaux sans fil à ondes millimétriques a été discutée, y compris les performances pour le retard temporel, la puissance reçue, l'azimut AoD, l'élévation AoD, l'azimut AoA, l'élévation AoA, le chemin perdu et le RMS retard dans les environnements LOS et NLOS. Le retard de temps dans LOS est fortement fluctuant alors que le retard de temps dans NLOS est plus stable.

Conclusion Générale

Malgré les capacités uniques des technologies utilisées par les ondes millimétriques pour fournir des modèles de propagations pour les prochaines générations de systèmes de communication sans fil, ces technologies sont encore confrontées à de nombreux défis qui entravent leur utilisation pratique, en particulier dans les systèmes de communication cellulaires.

On s'attend à ce que la technologie de communication à ondes millimétriques soit l'une des solutions de rechange qui changeront radicalement la conception et les performances du système de communication pour les générations futures en raison de la grande largeur de la bande de fréquences. Cette étude comprenait l'examen des problèmes les plus importants liés aux caractéristiques de la propagation des ondes millimétriques notamment les distance de trajet parcouru par l'onde en présence des phénomènes naturels.

Dans ce travail, la modélisation de canal pour la communication cellulaire 5G mmWave d'une microcellule urbaine dans le cas de LOS/NLOS est simulée à une fréquence de fonctionnement de 28 GHz pour différents nombre d'éléments d'antenne au niveau de l'émetteur et du récepteur (MIMO). Les différents paramètres affectant le canal ont été pris en compte dans la simulation à l'aide du modèle NYUSIM. L'étude du canal 28 GHz est étudiée pour le cas de différents distance entre l'émetteur et le récepteur dont, les paramètres de canal tels que les spectres de puissance AoA / AoD ... etc. sont enregistrés et discutées.

A la fin de notre étude on propose comme solutions importantes l'utilisation des techniques de formation de faisceaux (beamforming) en combinaison avec la technologie MIMO.

Bibliographie

- [1] Sun, Shu. "NYUSIM User Manual" New York University and NYU WIRELESS (2017).
- [2] millimeter-wave frequencies,” in 2015 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2015), 2015, pp 3948– 3953.
- [3] Ngom, A. (2019). Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables ou" Small Cells" pour le standard 5G (Doctoral dissertation, Côte d'Azur).
- [4] <https://rdc-eveil.info/hasard-ou-coincidence-entre-le-corona-virus-et-le-deploiement-de-la-5g-du-reseau-mobile/>consulté le29\09\2020 20 :21.
- [5] Bisognin, Aimeric. Évaluation de technologies organiques faibles pertes et d'impression plastique 3D afin de contribuer au développement de solutions antennaires innovantes dans la bande 60 GHz–140GHz. Université Nice Sophia Antipolis, 2015.
- [6] International Telecommunications Union Radiocommunication Sector (ITU-R), “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 andbeyond,” 2015.
- [7] P. P. Fellow, K. F. Trillingsgaard, and S. Member, “5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC : A Communication-Theoretic View,” ArXiv e-prints, 2016.
- [8] Ericsson, “5G systems: 5G for humans and machines: use cases and requirements,”White Pap., vol. 284, no. rev B, pp. 3–5, 2017.
- [9] D. Number, P. Name, and T. I. Society, “Scenarios, requirements and KPIs for 5Gmobile and wireless system Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile andwireless system,” 2013.
- [10] https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-F.pdf
- [11] NGMN 5G Alliance, “5G White Paper,” Deliverable, 2015.

- [12] 5G white paper, “5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies,” Deliverable, vol. 2.0, pp. 10–14, 2016.
- [13] J. G. Andrews et al., “What Will 5G Be ?” vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014.
- [14] CHALLITA, Frédéric, MARTINEZ-INGLES, Maria-Teresa, LIÉNARD, Martine, et al. Line-of-Sight Massive MIMO Channel Characteristics in an Indoor Scenario at 94 GHz. IEEE Access, 2018, vol. 6, p. 62361-62370.
- [15] Study Paper on: Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Technology.
- [16] B. Benadda, F.T. Bendimerad, — Quadratic error optimization algorithm applied to 3D space distributed array sensors, Journal of Applied Sciences Research, 5(10), pp.1320-1324, 2009.
- [17] I.Ouachani, —Performance analysis of communication systems wireless operator Micro and Macro Diversity, University of Paris XI Rosary, Discipline: Automatic and Signal Processing, June 28, 2005.
- [18] AZZEDDINE, S. (2018). *Association MIMO et Accès Multiples Avancés pour Réseaux Sans Fil* (Doctoral dissertation).
- [19] B. A. Bjerke and J. G. Proakis, — Multiple antenna diversity techniques for transmission over fading channels, In IEEE Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), volume 3, pages 1038–1042, New Orleans (LA), USA, September 21-24 1999.
- [20] <https://maytinhlion.com/mimo-la-gi-vi-sao-no-giup-ban-vao-wi-fi-nhanh-hon-dinh-hon/> consulté le 28\09\2020.
- [21] C. Du, J. S. Thompson and Y. Petillot, "Predicted Detection Performance of MIMO Radar," in IEEE Signal Processing Letters, vol. 15, pp. 83-86, 2000.
- [22] S. N. Sur, R. Bera and B. Maji, “Capacity Analysis of MIMO in Non-Uniform Nakagami Channel with Linear Receiver”. IETE Journal of Research, vol. 63, pp.795-804, May 2017.

- [23] Saïdi, Taofik, Sébastien Roy, and Olivier Sentieys. "Prototype MIMO temps réel pour l'UMTS." 2005.
- [24] The Role of Massive MIMO in 5G. Michael Wang. Oct 23, 2018 [Enligne]. <https://medium.com>, 06/06/2020, 11:08.
- [25] Li, K., Song, X., Ahmad, M. O., & Swamy, M. N. S. (2014). An improved multicell MMSE channel estimation in a massive MIMO system . *International Journal of Antennas and Propagation*, 2014.
- [26] Hassan, N., & Fernando, X. (2017). Massive MIMO wireless networks: An overview. *Electronics*, 6(3), 63.
- [27] A. Diallo. "Systèmes multi-antennes pour diversité et MIMO". Université Nice Sophia Antipolis, 2007.
- [28] Ko, J., Cho, Y. J., Hur, S., Kim, T., Park, J., Molisch, A. F., & Cho, D. H. (2017). Millimeter-wave channel measurements and analysis for statistical spatial channel model in in-building and urban environments at 28 GHz. *IEEE Transactions on Wireless Communications*.
- [29] C. E. CABADO, "Dynamic microscale Rain Structures and their application to millimetre wave radio communication systems," Ph.D. dissertation, Dept. Electronic and Computer. Eng., University of Portsmouth, Portsmouth, UOP, 2004.
- [30] L. Frenzel (2013, Mar. 6). "Millimetre Waves Will Expand The Wireless Future". *Electronic design*.
- [31] K. Huang and Z. Wang, *Millimetre wave communication systems*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
- [32] Xiao, Ming, et al. "Millimeter wave communications for future mobile networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 35.9 (2017): 1909-1935».

- [33] Roche, E. M., & Townes, W. (2018). La prochaine génération de téléphonie mobile (5G) et ses implications (Infrastructure, Réglementation). Netcom. Réseaux, communication et territoires, (32-1/2), 139-162.
- [34] <https://www.see.asso.fr/>consulté le 25/06/2020 20 :21.
- [35] Huang, K. C., & Wang, Z. (2011). Millimeter wave communication systems (Vol. 29). John Wiley & Sons.
- [36] Marcus, M., & Pattan, B. (2005). Millimeter wave propagation: spectrum management implications. *IEEE Microwave Magazine*, 6(2), 54-62.
- [37] Alsarhan, Yazeed Mohammad Asri. "Terrestrial Millimetre Line-of-Sight Link Design at 45 GHz."
- [38] R. F. Harrington, "On the gain and beamwidth of directional antennas." IRE Trans. Antennas Propag.
- [39] A. C. Ludwig, "The definition of cross polarization." IEEE Trans. Antennas Propag.
- [40] ZEKRI, A. B., & AJGOU, R. (2019, November). Study of mmWave channels for different scenarios. In 2019 6th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA) (pp. 1-6). IEEE.
- [41] Rappaport, Theodore S., et al. "Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks—With a focus on propagation models." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 65.12 (2017): 6213-6230.
- [42] Cheng, Chia-Lin, Seunghwan Kim, and Alenka Zajić. "Comparison of path loss models for indoor 30 GHz, 140 GHz, and 300 GHz channels." 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) . IEEE, 2017.
- [43] J. Keignart, J. Pierrot, N. Daniele, A. Alvarez, M. Lobeira, J. Garcia, G. Valera, and R. Torres, "Ucan report on uwb basic transmission loss," Tech. Rep. IST-2001-32710 UCAN, 2003.

- [44] S. Piersanti, L. A. Annoni, and D. Cassioli, “Millimeter waves channel measurements and path loss models,” in *Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 4552–4556.
- [45] N. L. Johnson, S. Kotz, and N. Balakrishnan, *Discrete multivariate distributions*. Wiley New York, 1997, vol. 165.
- [46] H. J. Liebe, G. A. Huord, and M. G. Cotton, “Propagation modeling of moist air and suspended water/ice particles at frequencies below 1000 GHz,” *AGARD Conference Proceedings* 542, May 1993.
- [47] T. S. Rappaport and S. Deng, “73 GHz wideband millimeter-wave foliage and ground reflection measurements and models,” in *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, pp. 1238–1243.
- [48] Sun, S., MacCartney, G. R., Samimi, M. K., & Rappaport, T. S. (2015, December). “Synthesizing omnidirectional antenna patterns, received power and path loss from directional antennas for 5G millimeter-wave communications“. In *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 1-7). IEEE.
- [49] <https://www.tutiempo.net/clima/2018/ws-605590.html>.»consulté le 04/07/2020 .
- [50] W. Roh, et al, “Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, pp. 106–113, Feb. 2014.
- [51] S. Sun et al., “MIMO for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both?” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 12, pp. 110–121, Dec. 2014.
- [52] G. R. MacCartney, T. S. Rappaport, S. Sun, and S. Deng, “Indoor office wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models at 28 and 73 ghz for ultra-dense 5g wireless networks,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2388–2424, 2015.

[53] Sun, S., MacCartney, G. R., Samimi, M. K., & Rappaport, T. S. (2015, December). Synthesizing omnidirectional received power and path loss from directional measurements at millimeter-wave frequencies. In 2015 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2015) (pp. 3948-3953).

[54] ZEKRI, Abdelbasset Bedda, AJGOU, Riadh, CHEMSA, Ali, *et al.* Analysis of Outdoor to Indoor Penetration Loss for mmWave Channels. In : *020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*. IEEE, 2020. p. 74-79.

[55] ZEKRI, Abdelbasset BEDDA et AJGOU, Riadh. Study of mmWave channels for different scenarios. In : *2019 6th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*. IEEE, 2019. p. 1-6.

[56] ZEKRI, Abdelbasset Bedda, AJGOU, Riadh, et HETTIRI, Messaoud. Impact of Azimuth and Elevation Half Power Beam Width on Human Blockage scenarios in mmWave Channels. In : *020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*. IEEE, 2020. p. 41-45.