



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Télécommunication

Spécialité: Systèmes de Télécommunication

Réalisé par: NESRI Soundous, N'DIAYE Kouby Moussa

**Etude et simulation de la couverture de 100GHz
à la ville d'el-oued avec la technique du
Ray Tracing**

Thème

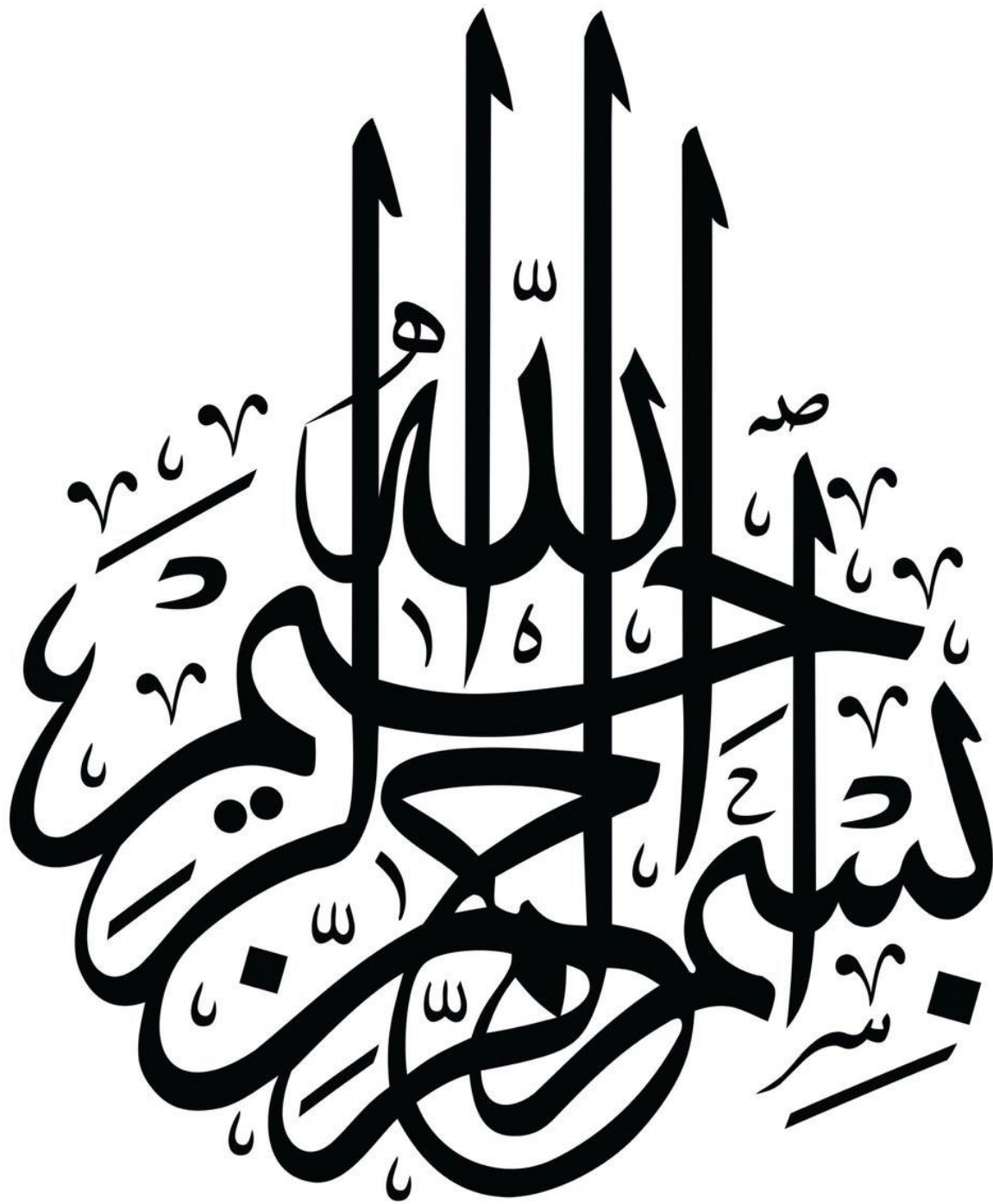
Devant le jury composé de:

Mr. Chemsali
Mr. Hettiri Messaoud
Mr. Aïgou Riadh

Université Echahid Hamma Lakhdar
Université Echahid Hamma Lakhdar
Université Echahid Hamma Lakhdar

Président
Examineur
Encadreur

2023-2024



Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé, la force Et le courage de mener à terme ce présent travail.

Nous témoignons toute notre reconnaissance et notre profonde gratitude particulièrement à notre encadreur, Dr. Riadh Ajghou ,pour avoir accepté d'encadrer ce travail, nous le remercions de nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillés.

Nous tenons à remercier aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation au département de Technologie.



Dédicace

On dédie ce modeste travail :

Aux deux personnes qui nous sont chères, nos chers pères et nos chères mères, Source de vie d'Amour et d'affection, pour leurs prières, leurs sacrifices, et surtout leur tendresse, qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon Amour,

À nos chers frères et sœurs Pour leur soutien moral, leurs aides et supports dans les moments difficiles et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

À Nos chers ami(e)s, et enseignants.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé : Les techniques Ray tracing ont gagné un grand intérêt et sont devenus populaires. Ils ont été adoptés dans plusieurs standards de communications sans fils.

Dans ce projet, il est nécessaire d'analyser la couverture de 100 Ghz dans la ville d'El Oued en utilisant la méthode du Ray Tracing dans un scénario urbain. La méthode de lancer de rayons peut nous permettre d'analyser des situations urbaines pour les applications 5G tout en intégrant des éléments tels que l'inclusion de rayons. L'influence des constructions. Dans cette étude, notre attention est portée sur l'implantation de réseaux d'antennes sur les cartes et l'analyse des performances de l'antenne, en prenant également en considération les effets de propagation. Autrement, il faudra élaborer des antennes et des réseaux d'antennes et les intégrer plus tôt dans le système. Des exemples concrets nous enseigneront comment débiter rapidement l'étude et la visualisation de scénarios de propagation RF.

Mots clés: 5G; Ondes millimétriques; affaiblissement parcourt; Ray tracing.

ملخص

اكتسبت تقنيات تتبع الأشعة اهتمامًا كبيرًا وأصبحت شائعة. وقد تم اعتمادها في العديد من معايير الاتصالات اللاسلكية. في هذا المشروع، من الضروري تحليل تغطية 100 جيجا هرتز في مدينة الوادي باستخدام طريقة تتبع الأشعة في سيناريو حضري. يمكن أن تسمح لنا طريقة تتبع الشعاع بتحليل المواقع الحضرية لتطبيقات الجيل الخامس مع دمج عناصر مثل تضمين الشعاع. تأثير الإنشاءات. في هذه الدراسة، تركز اهتمامنا على تنفيذ صفائف الهوائي على الخرائط وتحليل أداء الهوائي، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثيرات الانتشار. وبخلاف ذلك، سيتعين تطوير الهوائيات ومصفوفات الهوائي ودمجها في النظام في وقت مبكر. ستعلمنا الأمثلة الملموسة كيفية البدء بسرعة في دراسة وتصور سيناريوهات انتشار الترددات اللاسلكية.

كلمات المفتاحية: الجيل الخامس، الموجات المليمترية، فقدان المسار، تعقب الشعاع

Abstract

Ray tracing techniques have gained great interest and become popular. They have been adopted in several wireless communications standards. In this project, it is necessary to analyze the 100 GHz coverage in the city of El Oued using the Ray Tracing method in an urban scenario. The ray tracing method can allow us to analyze urban situations for 5G applications while integrating elements such as ray embedding.

The influence of constructions. In this study, our attention is focused on the implementation of antenna arrays on the maps and the analysis of the antenna performance, also taking into consideration the propagation effects. Otherwise, antennas and antenna arrays will have to be developed and integrated into the system earlier. Concrete examples will teach us how to quickly begin studying and visualizing RF propagation scenarios.

Keywords: 5G; Millimeter wave; attenuation parcourt; Ray tracing

Sommaire

Remerciements	III
Dédicace	IV
Abstract	I
Sommaire	II
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Listes des acronymes et abréviations	VII
Introduction générale	3
I. Chapitre I Généralités sur la 5G	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 Qu'est-ce que la 5G ?	4
I.3 L'objectif de la 5G.....	4
I.4 Evolutions du réseau mobile	5
I.5 Analyse statistique des canaux d'ondes millimétriques 5G/6G	6
I.6 Cas d'utilisation	7
I.6.1 Cas d'utilisation de l'Internet mobile	7
I.6.2 Cas d'utilisation de l'Internet des objets	8
I.7 Architecture du réseau 5G.....	9
I.8 Les familles d'usage.....	12
I.8.1 MMTC-Massive Machine Type Communications	12
I.8.2 MBB-Enhanced Mobile Broadband:	12
I.8.3 URLLC-Ultra-reliable and Low Latency Communications	12
I.9 Spectre et bandes de fréquence de la 5G.....	13
I.10 Type de modulation	14
I.11 Structure de trame.....	14
I.12 Les technologies utilisées dans la 5G	15
I.12.1 Ondes millimétriques	15
I.12.2 Massive MIMO.....	16
I.12.3 Massive MIMO :.....	19
I.12.4 Formation de faisceaux (Beamforming)	20
I.12.5 Réseau à petites cellules (Small Cell Network).....	20
I.12.6 Méthodes duplex.....	21
I.12.7 Multiplexage NOMA (Accès non Orthogonal)	22
I.12.8 CloudRAN (C-RAN)	22

sommaire

I.13	Les techniques de modulation en 5G	23
I.13.1	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	23
I.13.2	SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)	23
I.14	Conclusion	24
II.	Chapitre II Caractéristique des canaux radios.....	25
II.1	Introduction.....	26
II.2	Description des phénomènes physiques dans un canal radio	26
II.2.1	Les mécanismes de propagation	27
II.3	Canal de propagation	31
II.3.1	Propagation en espace libre	31
II.3.2	Propagation par trajets multiples	32
II.3.3	Principales dégradations de la propagation	33
II.4	Modélisation du canal de propagation	33
II.4.1	Réponse impulsionnelle	33
II.5	Paramètres de caractérisation d'un canal	35
II.5.1	Les paramètres de dispersion temporelle (delay spread) T_m	35
II.5.2	Bande de cohérence (<i>coherence bandwidth</i>) B_c	36
II.5.3	Étalement Doppler (<i>Doppler spread</i>) BD	36
II.5.4	Temps de cohérence (coherence time) T_c	37
II.6	Modèle de propagation de canal.....	37
II.6.1	Modèle déterministe du canal	37
II.6.2	Modèle statistique de canal	37
II.7	Conclusion	38
III.	Chapitre III Analyse de la couverture par la technique ray tracing.....	39
III.1	Introduction	40
III.2	Ray Tracing	40
III.3	Simulation.....	41
III.3.1	Importer et visualiser les données de bâtiments 3D dans Site Viewer.....	41
III.3.2	Différents types d'antennes et scénarios d'installation	42
III.4	Utilisation de la technique de formation de faisceau	46
III.4.1	Créer un site de station de base dans la bande 100 GHz	46
III.4.2	Création des sites récepteurs	48
III.4.3	Obtention d'une visibilité directe des antennes	49
III.5	Déterminer la couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D	50
III.5.1	Définir le site de l'émetteur	50
III.5.2	Zone couverte par l'émetteur	52
III.6	Modélisation de diffusion LoS and NLoS	53
III.6.1	Ligne de mire (LOS)	53

sommaire

III.6.2	Sans visibilité directe (NLOS)	54
III.7	Analyse de la puissance du signal et effet des matériaux.	55
III.7.1	Dans le cas idéal	55
III.7.2	Dans le Cas matériaux réaliste	55
III.8	Conclusion	56
IV.	Conclusion générale	57
	Conclusion Générale	58
	Références	59

Liste des tableaux

Liste des figures

Figure I-1.Evolution du reseau mobile	6
Figure I-2.Vision globale de la 5G	7
Figure I-3.2010-2030 croissances du trafic de données mobile	8
Figure I-4.2010-2030 croissances des connexion IoT	9
Figure I-5.Architecture du réseau 5G	Erreur ! Signet non défini.
Figure I-6.Modes de déploiement autonome (a) et non-autonome (b) du réseau 5G	12
Figure I-7.Spectre de fréquence spécifié pour la 5G	13
Figure I-8.Organisation des trames dans la 5G	15
Figure I-9.Le principe de Mimo	16
Figure I-10.SISO - Single Input Single Output	17
Figure I-11.SIMO - Single Input Multiple Output	18
Figure I-12.MISO - Multiple Input Single Output	18
Figure I-13.MIMO- Multiple Input Multiple Output	19
Figure I-14.Une illustration de MIMO massive	19
Figure I-15.Illustration de beamforming	20
Figure I-16.différence entre TDD, FDD ET full duplex [11]	22
Figure I-17.Architecture C-RAN pour les réseaux 5G[14]	23
Figure II-1.Environnement et mécanismes de propagation.....	27
Figure II-2.Fluctuations à petite et à grande échelles de la réponse du canal	28
Figure II-3. Classification des évanouissements du canal	30
Figure II-4.Interaction de l'onde électromagnétique avec son milieu.	31
Figure II-5.Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile	31
Figure II-6.Les différents mécanismes de propagation.....	32
Figure II-7.Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile	34
Figure II-8.Propagation multi-trajets NLOS.	34
Figure II-9.Propagation multi-trajets LOS.....	35
Figure III-1.Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued	42
Figure III-2.Impédance en fonction de la fréquence.....	43
Figure III-3.Elément d'antenne dipôle.....	44
Figure III-4.Matrice linière d'une antenne dipôle	45
Figure III-5.Couverture de l'antenne en 3D.....	46
Figure III-6.Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued	47
Figure III-7.Les sites des récepteurs et de l'émetteur	48
Figure III-8.trajets entre TX et RX.....	49
Figure III-9.trajets entre TX et RX.....	50
Figure III-10.Couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D	51
Figure III-11.Zone couverte par l'émetteur	53
Figure III-12. Carte de couverture pour la propagation en visibilité directe.....	54
Figure III-13.Trajet entre TX et RX	55

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1.Description des fonctions du réseau 5G.....	11
Tableau III.1.les manières d'un rayon interagit avec l'environnement[28]	41
Tableau III.2.Table d'information de site de l'émetteur.....	51

Liste des acronymes et abréviations

Listes des acronymes et abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3D	Tridimensionnel
3G	Troisième Génération
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
AMF	Access and Mobility Management Function
BC	Coherence bandwidth
C-RAN	Cloud Radio Access Networks
D2D	Device-to-Device
FDD	Frequency Division Duplexing
FWA	Fixed Wireless Access
GHZ	Gigahertz
GNB	gNodeB (Next Generation Node B)
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communication
IOT	Internet of things
IOV	Internet of vehicles
LOS	Line Of sight
LTE	Long Term Evolution
MBB	Mobile Broadband
MHz	Megahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMIC	Mobile Mutual Information Content
ng-eNB	Next Generation eNodeB
NG-RAN	Next Generation Radio Access Network

Liste des acronymes et abréviations

NLOS	No Line Of Sight
NR	New Radio
NSA	Non-Stand Alone
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OMA	Orthogonal Multiple Access
PL	Path Loss
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RAN	Radio Access Networks
RF	Radio Frequency
RT	Ray Tracing
S	Seconde
SBR	Spectral Band Replication
SDMA	Space Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplexing
T_m	L'étalement temporel
UHD	Ultra haute definition
UI	User Interface
UPF	User Plan Function
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication
WIFI	Wireless Fidelity

Introduction générale

Introduction générale

Les communications sans fil ont connu une croissance rapide au cours des dernières décennies, encouragée par la demande croissante en débit, la mobilité des appareils et la congestion spectrale. Ces besoins ne sont plus satisfaits par les anciens systèmes, qui sont restreints par leur sélectivité en fréquence et par les multiples chemins de propagation des signaux. Le ray tracing, une technique essentielle pour modéliser la propagation des ondes électromagnétiques dans différents environnements, est intégré dans la nouvelle génération (5G). Il est essentiel d'adopter cette approche pour concevoir et optimiser les réseaux de communication, qu'ils soient filaires ou sans fil.

Dans le premier chapitre, intitulé " Généralités sur la 5G", nous allons examiner de manière approfondie les bases théoriques, les objectifs et les applications de la technologie 5G. Nous examinerons les principales caractéristiques de la 5G, comme sa rapidité, sa faible latence et sa capacité à accueillir de nombreuses applications, tout en soulignant les progrès considérables par rapport aux générations précédentes de réseaux mobiles.

Dans le chapitre suivant, intitulé « Caractéristiques des canaux radios », l'accent sera mis sur les caractéristiques techniques de la transmission des ondes électromagnétiques dans les secteurs sans fil. Les mécanismes de propagation, les modèles de canal et les paramètres de caractérisation essentiels pour la conception et l'optimisation des réseaux de communication seront étudiés en détail.

Enfin, le dernier chapitre, "Analyse de la couverture par la technique du ray tracing", aborde l'utilisation du ray tracing, une méthode connue pour sa précision dans la simulation des ondes électromagnétiques. Grâce à MATLAB, nous étudions la propagation des ondes radio dans des environnements urbains en réalisant une représentation en 3D. La qualité des communications sans fil est évaluée en analysant les trajectoires des faisceaux entre les antennes émettrices et réceptrices, en particulier à des fréquences élevées. Il se concentre sur la mise en place et l'étude des performances des antennes, en incluant les données de propagation par ray tracing. L'importation de données de bâtiments en 3D, l'étude de différents types d'antennes, la cartographie de la couverture et l'évaluation des effets de propagation sur les liaisons TX-RX sont des étapes pratiques. Finalement, nous élaborons un nouveau système qui utilise la formation de faisceaux afin d'améliorer la couverture et le suivi des utilisateurs.

En résumé, ce mémoire s'engage à offrir une vision approfondie de la technologie à haute fréquence et de son potentiel pour les réseaux de communication sans fil.

Chapitre I
Généralités sur la
5G

I.1 Introduction :

Depuis une trentaine d'années, les réseaux mobiles ont connu de nombreuses transformations. Grâce à ces avancées technologiques, de plus en plus de services sont offerts aux divers utilisateurs avec des débits croissants. Tandis que la 4G est en train d'être mise en place, la 5G, encore en cours de recherche, représente l'avenir des réseaux mobiles.

Toutes les technologies de la cinquième génération (5G) sont présentées comme ayant pour objectif d'améliorer l'efficacité spectrale en transmettant davantage de contenus avec un débit plus élevé. L'objectif principal de la 5G est de résoudre les problèmes de saturation de la 4G en milieu urbain et de favoriser la transition numérique de l'industrie et des services. Elle repose sur diverses avancées importantes qui contribuent à améliorer la connectivité et la fiabilité, d'accroître les vitesses de transfert d'information et de diminuer le temps de latence (le temps nécessaire pour la transmission des données) à environ une milliseconde. Il est possible que l'architecture des réseaux évolue afin de satisfaire une demande croissante en matière de qualité de service, de fiabilité et de rapidité. Dans ce chapitre on va étudier la 5G sous tous ses aspects. Son objectif, cas d'utilisation et leurs exigences.

I.2 Qu'est-ce que la 5G ?

La 5G représente une avancée majeure dans les réseaux sans fil, offrant une vitesse de téléchargement plus rapide, une connectivité étendue et une latence quasiment inexistante. Bien qu'elle ne soit pas considérée comme un changement de génération, elle introduit le concept d'une technologie d'accès radio de prochaine génération. Pour être classée comme 5G, une technologie doit respecter certaines normes, telles qu'un débit de données allant jusqu'à 10 Gbit/s, une latence d'1 milliseconde, une bande passante 1000 fois supérieure par unité de surface, jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface par rapport à la 4G LTE, une disponibilité de 99,999%, une couverture de 100%, une réduction de la consommation d'énergie du réseau de 90%, et jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils IoT à faible consommation. [1]

I.3 L'objectif de la 5G :

La 5G a plusieurs objectifs, notamment d'éviter la saturation des réseaux 4G, d'augmenter les débits et la capacité des réseaux, de réduire le temps de latence, de permettre une connectivité ultra-élevée, de préparer l'avènement de l'internet des objets, et de soutenir un nombre très important de connexions mobiles, multipliant par 10 le nombre d'objets connectés

simultanément au réseau 1 2 3. Elle vise également à offrir un débit comparable à la fibre, une latence quasi- nulle et une réactivité accrue, ce qui est crucial pour l'émergence de nouveaux services tels que les véhicules autonomes ou la télémédecine 3. En outre, la 5G est conçue pour permettre à des configurations de réseaux virtuels simples d'obtenir un meilleur alignement des coûts du réseau par rapport aux besoins. En résumé, les principaux objectifs de la 5G sont d'améliorer les performances des réseaux mobiles, de soutenir de nouveaux services et applications, et de répondre à la demande croissante en connectivité.

I.4 Évolutions du réseau mobile :

Depuis la première génération (1G) en 1980, les systèmes de communication sans fil ont connu une évolution grâce à l'intégration de la structure cellulaire et à la capacité de mobilité. La deuxième génération (2G) a permis la transmission de données et l'émergence de nouveaux services tels que la navigation en ligne et le streaming vidéo, tout comme le GSM en 1990. Les systèmes de troisième génération (3G) ont vu le jour avec des débits allant jusqu'à 2 Mbps, puis les systèmes de quatrième génération (4G) avec des débits allant jusqu'à 1 Gbps. Toutefois, l'augmentation du trafic impose maintenant le passage à la 5G, mise en place depuis 2020, avec des débits théoriques de plusieurs centaines de mégaoctets par seconde, ce qui favorise l'adoption de nouvelles technologies comme celles-ci ,Avec des vitesses théoriques de plusieurs centaines de mégaoctets par seconde, cela encourage l'adoption de nouvelles technologies comme la télémédecine et l'Internet des objets. Les débits théoriques de la 6G, prévus pour 2030, sont jusqu'à 100 fois supérieurs à ceux de la 5G, avec des caractéristiques comme la création d'hologrammes depuis un smartphone et la communication multisensorielle.

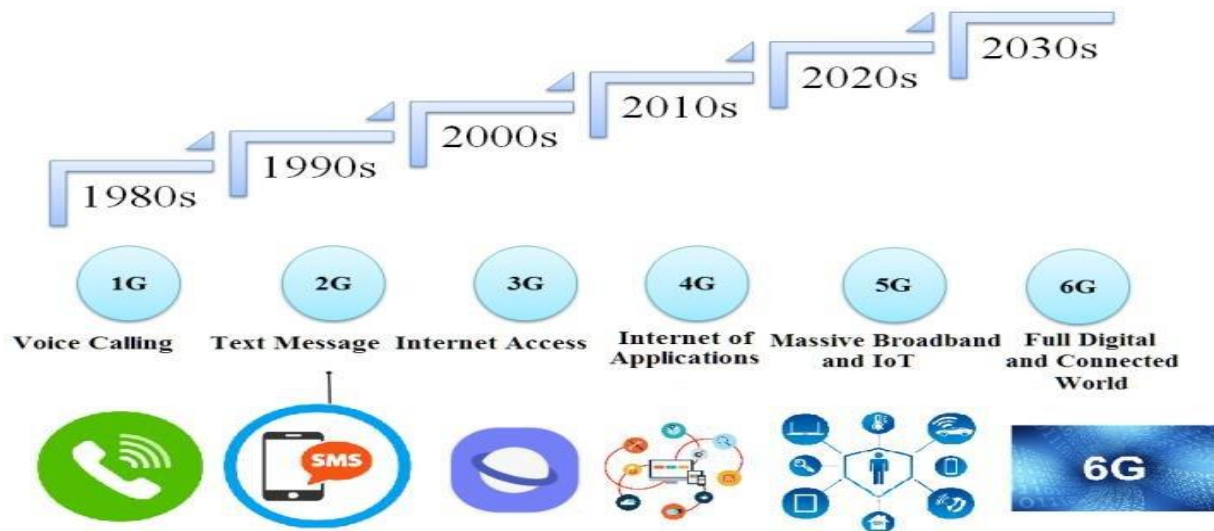


Figure I-1. Evolution du réseau mobile[1]

I.5 Analyse statistique des canaux d'ondes millimétriques 5G/6G :

Sans attendre le lancement des réseaux mobiles 5G dans le monde, la concurrence pour la 6G a déjà commencé. On promet aux chercheurs une technologie 6G qui amplifierait encore les avantages de la 5G pour un débit de données plus élevé, davantage d'appareils connectés et un réseau plus sécurisé avec une consommation d'énergie moins intensive. En termes de débits de données, si la 5G fait entrer les terminaux utilisateurs sans fil dans l'ère du gigabit, la 6G nous propulsera mille fois plus vite, à des vitesses atteignant 1 téraoctet/seconde. Les ondes millimétriques (mmWaves) et térahertz ont été approuvées respectivement pour les systèmes 5G et 6G. L'un des principaux défis du déploiement des technologies 5G/6G est le spectre à adopter, ce qui implique la nécessité d'étudier les propriétés des chaînes. En fait, les ondes millimétriques sont adoptées par la 5G cependant, les expériences jusqu'à présent se sont concentrées sur les fréquences inférieures à 100 [GHz], le travail principal a été concentré dans les bandes inférieures à 60 [GHz], ou au maximum 95 [GHz] . D'autre part, la Fédéral

Communications Commission des États-Unis (USFCC) conseille l'utilisation des bandes de 95 [GHz] à 3 THz pour la 6G. Dans ces bandes de hautes fréquences, de nombreuses recherches sont en cours pour atteindre des débits extrêmement élevés dépassant plusieurs Gbps. Cependant, les bandes mmWaves sont confrontées à certains phénomènes de propagation tels que l'absorption atmosphérique, la perte de pénétration, le blocage humain et par les bâtiments, la diffusion diffuse provenant de matériaux grossiers, l'ombre, la perte de réflexion et la perte

due à la réflexion. Pour la propagation des ondes mm, la ligne de visée (LOS) peut être prédite, tandis que la non-LOS (NLOS) est également vue pour l'obstacle réel. [2]

I.6 Cas d'utilisation :

La 5G pénétrera dans chaque élément de notre future société et créera un écosystème d'information multidimensionnel et utile, (voir la figure I.1). Elle va briser la limite de temps et d'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive, et réduira également la distance entre les êtres humains et les choses, et mettra en œuvre une intégration transparente pour parvenir à une interconnexion facile et intelligente entre les personnes et toutes les choses. La 5G nous permettra de réaliser la vision : « L'information est à portée de main et tout restera en contact ». De nombreux cas d'utilisation sont proposés par différentes organisations. L'internet mobile et l'internet des objets (IoT) sont les deux principaux moteurs du développement futur des communications mobiles.[3]



Figure I-2. Vision globale de la 5G

I.6.1 Cas d'utilisation de l'Internet mobile :

L'internet mobile révolutionne le modèle commercial traditionnel des communications mobiles, offrant des expériences utilisateur inégalées et impactant profondément tous les aspects du travail et de la vie quotidienne. Il favorise une évolution constante dans la façon dont l'information est échangée entre les individus, offrant une expérience ultime grâce à une gamme de services plus immersifs, notamment la vidéo UHD immersive, la réalité augmentée et virtuelle, le partage de vidéos et de photos en temps réel, les jeux en ligne, le cloud mobile, l'internet tactile, l'informatique à distance, la connectivité 3D pour les avions et les drones, les

robots collaboratifs, les services de diffusion d'actualités et les bureaux intelligents. Le développement continu de l'Internet mobile entraînera une croissance exponentielle du trafic mobile comme présenté sur la Figure I.3, ouvrant la voie à de nouvelles mises à niveau technologiques et une révolution dans l'industrie des télécommunications. [3]

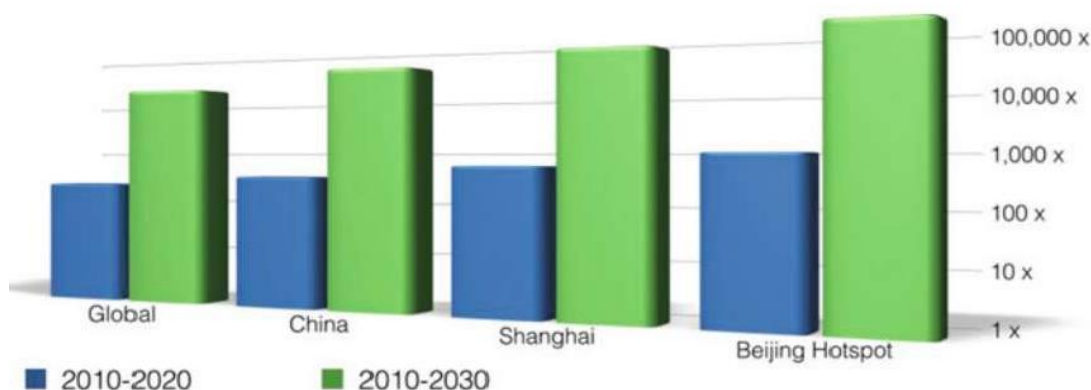


Figure I-3.2010-2030 croissances du trafic de données mobile

I.6.2 Cas d'utilisation de l'Internet des objets :

L'internet des objets (IoT) a élargi considérablement le champ d'application des services de communications mobiles, passant de la simple communication entre individus à l'interconnexion entre les appareils intelligents et entre les humains et les objets. Cela permet aux technologies de communications mobiles de s'intégrer à des industries et des domaines plus vastes. Des applications telles que la santé mobile, l'Internet des véhicules (IoV), la domotique, le contrôle industriel et la surveillance environnementale stimuleront la croissance explosive des applications IoT, facilitant la connexion de centaines de milliards d'appareils à un réseau et créant ainsi un véritable "Internet de tout" comme illustre la figure I.4. Cela entraînera l'émergence d'industries nouvelles et de taille considérable, insufflant une vitalité sans précédent aux communications mobiles.

Cependant, le déploiement massif d'appareils interconnectés et la diversité des services IoT poseront également de nouveaux défis aux communications mobiles. Les cas d'utilisation potentiels de l'IoT comprennent la surveillance des réseaux intelligents et des infrastructures critiques, le suivi environnemental, l'agriculture intelligente, les compteurs intelligents, les services de télémédecine, la manipulation à distance d'objets tels que la chirurgie à distance, la conduite automobile/internet des véhicules, les dispositifs portables intelligents pour le sport et

la santé, les réseaux de capteurs, la vidéosurveillance mobile, les villes intelligentes, le transport intelligent, la domotique et le contrôle industriel. [3]

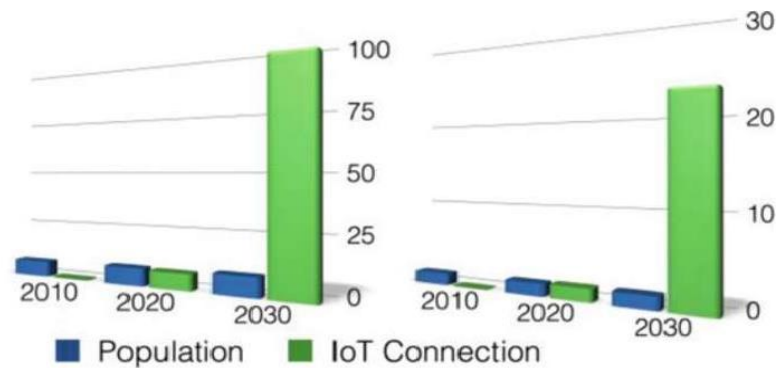


Figure I-4. 2010-2030 croissances des connexion IoT

I.7 Architecture du réseau 5G :

La figure 1.5 décrit l'architecture simplifiée du réseau 5G. Les stations de base sont soit des gNB fournissant des terminaisons de protocoles du plan utilisateur et du plan de contrôle, soit des ng-eNB. Les gNB sont les stations de base 5G natives supportant les fonctionnalités radio 5G par défaut alors que les stations de base ng-eNB sont des stations de base 4G mises à niveau pour supporter les services radio 5G dans le but d'assurer une migration progressive entre les deux standards. Les stations gNB et ng-eNB sont interconnectées via l'interface Xn. L'ensemble de ces stations constitue le réseau d'accès de nouvelle génération (NG-RAN, Next Generation-Radio Access Network). L'interconnexion des gNB et ng-eNB avec le réseau cœur (5GC, 5G Core) se fait avec les fonctions réseau AMF (Access and Mobility Management Function) et UPF (User Plane Function) du cœur à travers l'interface NG. [4]

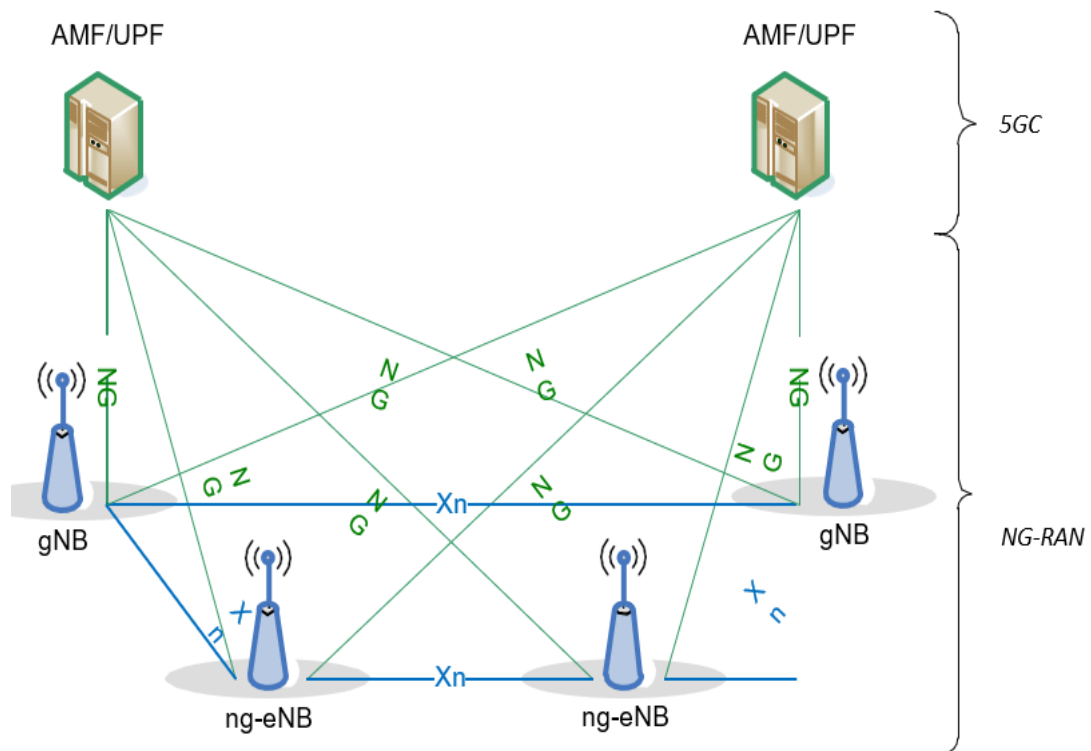


Figure I-5. Architecture du réseau 5G .

	Nom	Définition
NRF	Network Repository Function	Fournit le support pour la gestion de services pour les fonctions réseau (enregistrement, autorisation, découverte)
NEF	Network Exposure Function	Fournit l'accès externe aux capacités des fonctions réseaux (la surveillance, la supervision, ...)
UD M	Unified Data Management	Stockage de données. Fonctionnalités de séparation entre traitement et stockage
NSS F	Network Slice Selection Function	Sélection et gestion du Network Slicing
AUS F	Authentication Server Function	Gestion de l'authentification
PCF	Policy Control Function	Fournit un cadre unifié pour le contrôle du comportement du réseau
SMF	Session Management Function	Gestion de sessions. Allocation et gestion des adresses IP des UEs
DN	Data Network	Gère l'interaction avec les réseaux de données externes
AF	Application Function	Fonction spécifiée et déployée par l'opérateur pour des services spécifiques

Tableau I.1. Description des fonctions du réseau 5G

D'un point de vue architecture, le déploiement de la 5G est prévu en deux phases représentées sur la figure 1.6 . La 1^{ère} phase est un déploiement assisté ou non-autonome (NSA, Non-Stand Alone). Un réseau d'accès mixte LTE-ngRAN est interconnecté avec un réseau cœur LTE mis à niveau pour supporter des fonctions 5G de base (5G EPC, 5G Evolved Packet Core) en parallèle avec les services LTE (options 1 et 3). Cette architecture utilise LTE comme entité de gestion du plan de contrôle tandis que le plan utilisateur est géré par les deux standards. Cette double connectivité permettra le support des débits 5G avec une meilleure couverture LTE. Cette architecture évoluera vers un déploiement autonome (SA, Stand-Alone) où le réseau cœur est un réseau natif 5G. Cependant, les fonctions radio LTE continueront à être prises en charge (Options 5 et 7). [4]

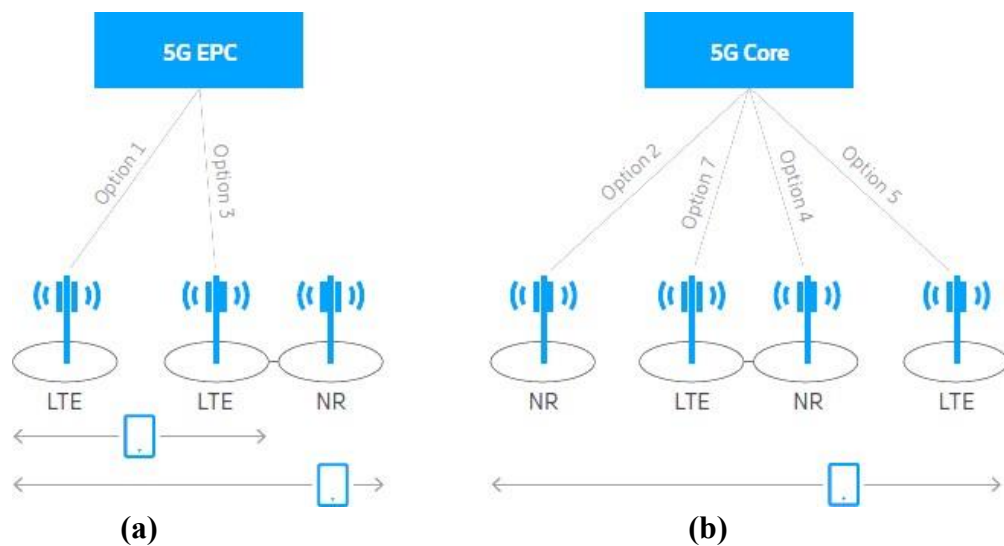


Figure I-6. Modes de déploiement autonome (a) et non-autonome (b) du réseau 5G

I.8 Les familles d'usage :

La 5G est la première génération de téléphonie mobile à être conçue pour des cas d'usage autres que la voix et la donnée.

Les Trois grandes catégories d'usages (définies par l'UIT), avec leurs exigences respectives et potentiellement incompatibles entre elles. [5]

I.8.1 MMTC-Massive Machine Type Communications :

Entre une grande quantité d'objets avec des besoins de qualité de service variés. L'Objectif de cette catégorie est de répondre à l'augmentation exponentielle de la densité d'objets connectés.

I.8.2 MBB-Enhanced Mobile Broadband:

Connexion en ultra haut débit en outdoor et en indoor avec uniformité de la qualité de service, même en bordure de cellule.

I.8.3 URLLC-Ultra-reliable and Low Latency Communications:

Ultra-fiable pour les besoins critiques avec une très faible latence, pour une réactivité accrue. Le premier groupe (mMTC) englobe principalement tous les usages liés à l'Internet des objets. Ces services nécessitent une couverture étendue, une faible consommation énergétique et des débits relativement restreints. L'apport annoncé de la 5G par rapport aux technologies actuelles réside dans sa capacité à connecter des objets répartis de manière très dense sur le territoire. L'ultra haut débit (MBB) concerne tous les applications et services qui nécessitent une connexion toujours plus rapide, pour permettre par exemple de visionner des vidéos en ultra haute

définition (8k) ou des streamers sans fil des applications de réalité virtuelle ou augmentée

Les communications ultra-rapides à très faible latence (URLLC) regroupent toutes les applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une garantie très forte de transmission du message. Ces usages se retrouvent principalement dans les transports (temps de réaction en cas de risque d'accident, par exemple), dans la médecine (télé chirurgie et, de manière générale, pour la numérisation de l'industrie. [5]

I.9 Spectre et bandes de fréquence de la 5G :

La 5G représente une avancée majeure étant la première génération à fonctionner à travers trois plages de fréquences radio distinctes : les bandes basses, moyennes et élevées.

- La 5G à basse bande opère dans des fréquences inférieures à 2 GHz, englobant ainsi les Fréquences cellulaires les plus anciennes. Bien qu'elle offre une couverture étendue, les canaux disponibles sont limités et la plupart sont déjà utilisés par la 4G.
- La 5G à bande moyenne utilise les fréquences de 2 à 10GHz. Ceci couvre la plupart des fréquences WIFI et cellulaires actuelles.

La 5G à bande haute, il est possible d'utiliser jusqu'à huit canaux 100MHz. Les ondes millimétrées sont la véritable nouveauté. Il s'agit d'ondes comprises entre 20 et 100GHz.

Le spectre a joué un rôle central tout au long de l'évolution technologique de la 1G à la 5G, en réponse aux demandes croissantes d'une utilisation efficace de cette ressource. Pour répondre à ces besoins, il est crucial de mettre en place des procédures de gestion du spectre et des systèmes (informatisés) efficaces.

Le spectre de la 5G peut être largement divisé en trois :

- ☐ 1 GHz : Utilisé pour la couverture haut débit 5G, IoT (Internet des objets).
- ☐ 1-6 GHz : Utilisé pour les applications de couverture et de capacité.
- ☐ Au-delà de 6 GHz : Haut débit mobile à très haut débit.[6] montre le spectre de fréquence spécifié pour la 5G.

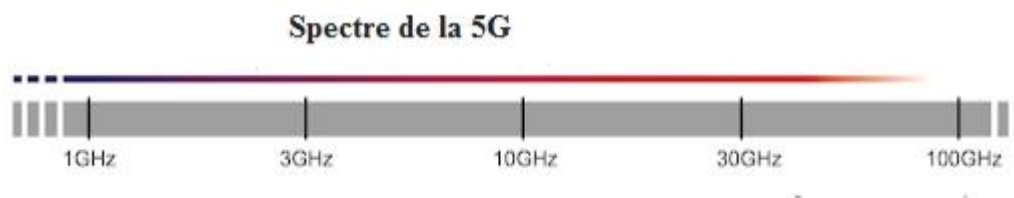


Figure I-7.Spectre de fréquence spécifié pour la 5G

I.10 Type de modulation :

La norme 5G utilise le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) et la modulation d'amplitude en quadrature 256 (256QAM) pour la modulation, ce qui améliore l'efficacité spectrale et les débits de données. L'OFDM est un schéma de modulation multi porteuse, et le 256QAM est un schéma de modulation d'ordre supérieur qui augmente le débit de données par rapport aux modulations d'ordre inférieur. Ces techniques de modulation, ainsi que d'autres technologies, contribuent à l'augmentation des débits de données et à l'amélioration de l'efficacité spectrale des réseaux 5G.

Dans le contexte de la 5G, l'utilisation de l'OFDM et du 256QAM permet une utilisation efficace du spectre et prend en charge les exigences de débit de données élevé des réseaux 5G. Ce schéma de modulation est essentiel pour atteindre la connectivité à haut débit, à faible latence et omniprésente promise par la technologie 5G.[7]

I.11 Structure de trame :

La trame 5G est définie par une durée de 10 ms, qui est divisée en 10 sous-frames d'une ms chacune voire figure I.8 . Chaque sous-frame est composée de slots. La trame est divisée en deux demi-frames de taille égale à cinq sous-frames. La demi-trame 0 est composée des sous-frames 0 à 4, tandis que la demi-trame 1 est composée des sous-frames 5 à 9. La notion de slot en 4G est différente de la notion de slot en 5G. Un slot LTE correspond à 7 symboles OFDM consécutifs (trame normale) de durée 0,5 ms. La structure de trame 5G est flexible et permet un multiplexage efficace de divers services 5G et une compatibilité directe pour les futurs services 5G. Les transmissions de la couche physique sont organisées en trames radio, qui ont une faible complexité de mise en œuvre et un faible coût pour les opérations à large bande et les technologies à entrées multiples et sorties multiples (MIMO). Les transmissions de la couche physique sont organisées en trames radio, qui ont une faible complexité de mise en œuvre et un faible coût pour les opérations à large bande et les technologies à entrées multiples et sorties multiples (MIMO).[8]

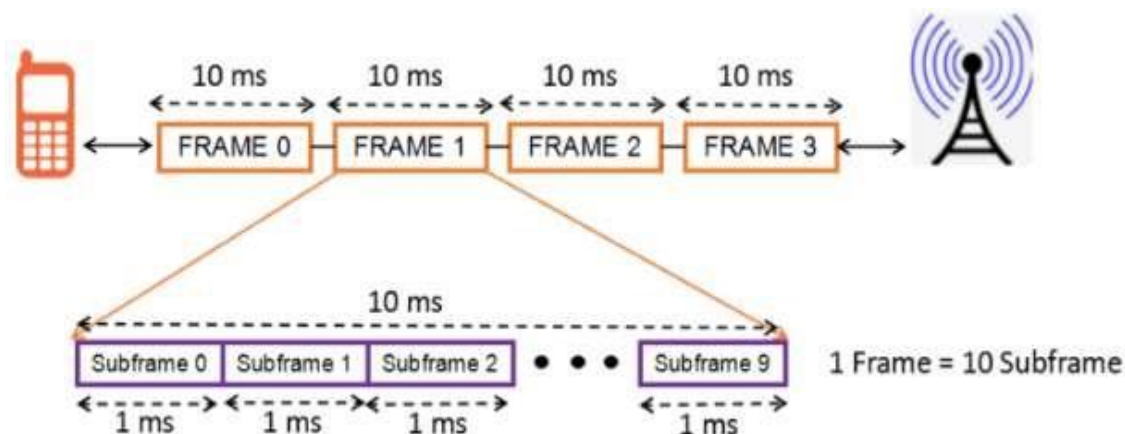


Figure I-8. Organisation des trames dans la 5G

La longueur de slot varie en fonction de l'espacement des sous-porteuses. La tendance générale est que la longueur de slot diminue à mesure que l'espacement des sous-porteuses s'élargit, figure 1.8. Cette tendance provient de la nature de l'OFDM.

I.12 Les technologies utilisées dans la 5G :

I.12.1 Ondes millimétriques :

La technologie des ondes millimétriques est rapidement adoptée par des utilisateurs allant des centres de données d'entreprise aux consommateurs individuels équipés de téléphones intelligents nécessitant une bande passante plus élevée. La demande de technologies plus récentes pour fournir ces taux de transmission est plus élevée que jamais auparavant. aperçu de l'onde millimétrique. Il présente la même interface aérienne pour l'accès, le D2D et le réseau d'auto-reliure sans fil dans la bande mmWave. Ces fonctionnalités constituent le déploiement principal de mmWave.

Les ondes millimétriques représentent le spectre du signal RF entre les fréquences de 30 GHz et 300 GHz avec une longueur d'onde comprise entre 1 et 10 millimètres. Mais en termes d'équipements de réseaux et de communications sans fil, le nom mmWave correspond généralement à quelques bandes sélectionnées de fréquences radio situées autour de 38, 60 GHz et plus. Récemment, les bandes à haut potentiel de 70 GHz et 80 GHz ont été attribuées au domaine public à des fins de réseaux et de communications sans fil. La 5G apportera la mobilité aux communications mmWave alors que le réseau sans fil de nouvelle génération tente de servir plus de personnes et même de choses avec une expansion majeure des services mobiles. [9]

I.12.2 Massive MIMO :

Description de la technologie MIMO

La technologie MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) consiste à transmettre simultanément N flux d'informations sur N antennes d'émission (un flux d'information par antenne d'émission) et chaque flux est reçu par M antennes en réception.

Le flux transmis par antenne peut être :

un même flux avec un précodage pour :

améliorer la diversité en émission (se référer aux codes Alamouti *SBFC*) ;

diriger le flux dans une direction donnée (avec un précodage pour orienter le flux – *beam RF*) ;

des flux différents (K flux, K est inférieur ou égal à N) pour augmenter la capacité de la station de base et améliorer le ressenti utilisateur. (voir la figure I.9).

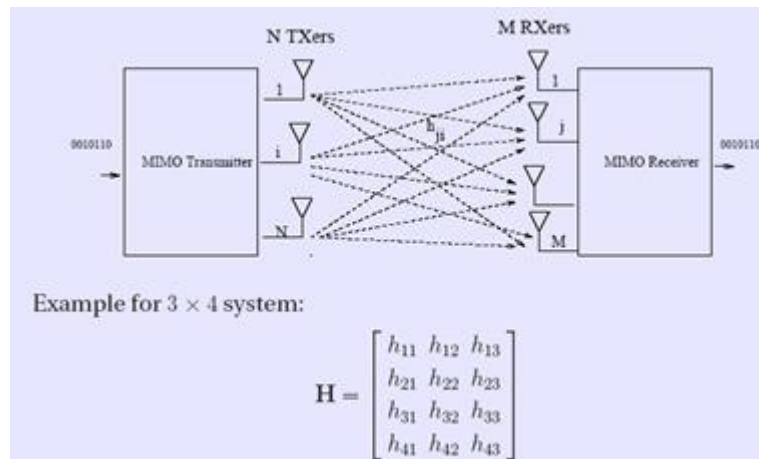


Figure I-9. Le principe de MIMO

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

- Diversité d'espace : Aussi connue sous le nom de diversité d'antenne
- Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes. Il faut toutefois faire attention à la largeur de bande cohérente et à l'étendue

fréquentielle due aux multi-trajets et aux distances à franchir par la transmission.

- Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de la diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse. [2]

Types de MIMO

Il existe quatre modèles de configuration d'antenne de base qui incluent :

- ✓ SISO - Single Input Single Output
- ✓ SIMO - Entrée unique Sortie multiple
- ✓ MISO - Sortie unique à entrées multiples
- ✓ MIMO - Entrée multiple Sortie multiple

- **MIMO – 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 I.10.



Figure I-10.SISO - Single Input Single Output

- **MIMO – SIMO**

SIMO ou MIMO à sorties multiples et à entrées unique se produit lorsque L'émetteur a une seule antenne et que le récepteur dispose de plusieurs antennes comme présentée dans la figure I.11.

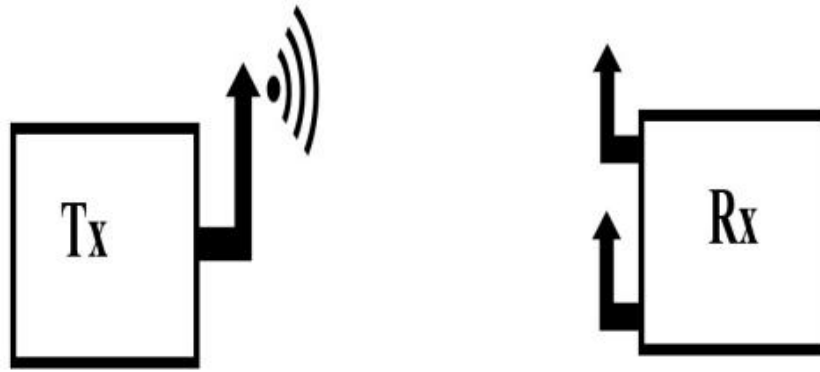


Figure I-11.SIMO - Single Input Multiple Output

SIMO peut être utilisé sous deux formes :

- Diversité commutée SIMO : Cette forme de SIMO recherche le signal le plus puissant et bascule vers cette antenne
- Rapport maximum combinant SIMO : Cette forme de SIMO prend les deux signaux et les additionne pour donner la combinaison. De cette manière, les signaux des deux antennes contribuent au signal global

- **MIMO – 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 (figure I.12). Le récepteur est alors capable de recevoir le signal optimal qu'il peut ensuite utiliser pour extraire les données requises.



Figure I-12.MISO - Multiple Input Single Output

- **MIMO – MIMO**

MIMO est une technologie d'antenne radio qui utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur pour permettre à une variété de chemins de signaux de transporter les données (figure 1.13).

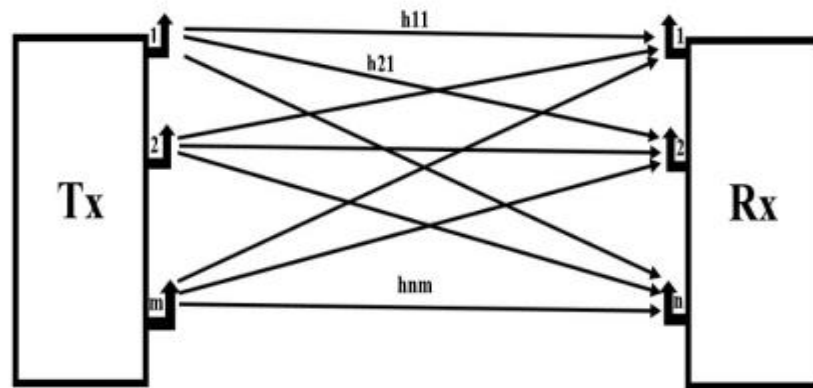


Figure I-13. MIMO- Multiple Input Multiple Output

Les deux principaux formats de MIMO sont donnés ci-dessous :

- **Diversité spatiale** : La diversité spatiale est souvent utilisée dans ce sens étroit se réfère à transmettre et recevoir la diversité. Ces deux méthodologies sont utilisées pour apporter des améliorations au rapport signal sur bruit et sont caractérisé par l'amélioration de la fiabilité du système vis-à-vis des différentes formes d'évanouissement
- **Multiplexage spatial** : cette forme de MIMO est utilisée pour fournir une capacité de données supplémentaire en utilisant les différents chemins pour acheminer du trafic supplémentaire, c'est-à-dire en augmentant la capacité de débit de données. [9]

I.12.3 Massive MIMO :

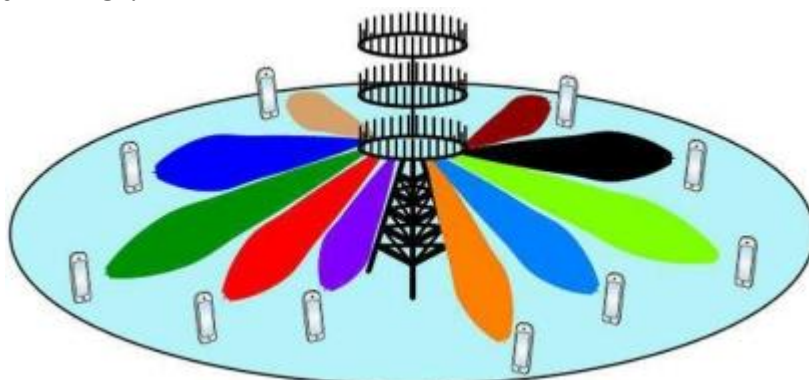


Figure I-14. Une illustration de MIMO massive

MIMO peut être résumée selon un principe : le multiplexage spatial MIMO consiste à utiliser simultanément les mêmes fréquences radioélectriques pour transmettre des signaux différents. Cela signifie que plusieurs antennes d'émission d'une station de base peuvent émettre des signaux différents et que plusieurs antennes de réception d'un appareil peuvent les recevoir et les diviser simultanément. [10]

I.12.4 Formation de faisceaux (Beamforming) :

Le **Beamforming** aussi appelé **filtrage spatial**, **formation de faisceaux** ou **formation de voies** La formation de faisceaux est une sorte de technologie de prétraitement du signal Basée sur le réseau d'antennes qui identifie la voie de transmission de données la plus efficace à un utilisateur particulier (Figure I.15) ; de ce fait, un gain de réseau évident peut être obtenu, améliorant le débit, supprimant les interférences. En raison de la sélection de l'espace résultant de la formation du faisceau, il a une relation étroite avec l'accès multiple par répartition spatiale (SDMA).[11]

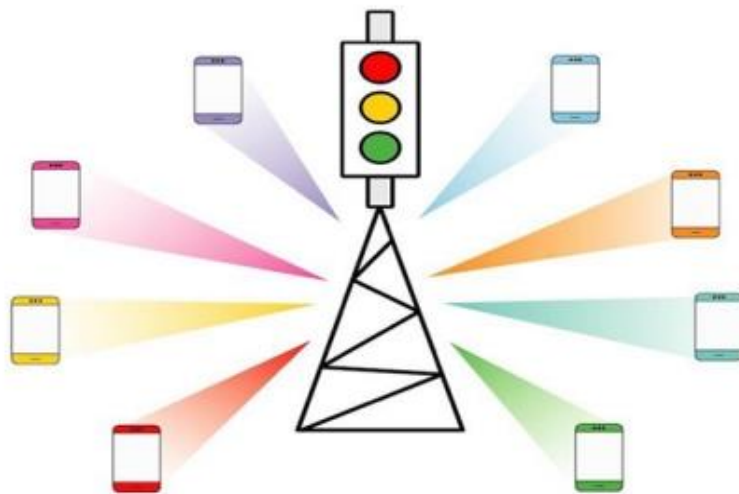


Figure I-15.Illustration de beamforming

I.12.5 Réseau à petites cellules (Small Cell Network)

Les petites cellules – “small cells”, en anglais – sont des points d'accès à un réseau de télécommunications mobiles à courte portée et à faible puissance d'émission.

Cette technologie concernant les réseaux 4G et 5G repose sur l'installation d'un grand nombre de stations de base couvrant de petites zones géographiques et des espaces intérieurs, comme des gares ou des centres commerciaux.

Le déploiement des petites cellules dans les prochaines années répond à un besoin de densification du réseau. Elles doivent compléter l'infrastructure mobile actuelle, reposant surtout sur des stations plus grandes, dites macrocellulaires. Couplées à d'autres innovations, comme le Massive MIMO et le beamforming, elles visent à améliorer la couverture et les capacités des réseaux pour faire face à l'augmentation du trafic de données mobiles. [11]

I.12.6 Méthodes duplex :

Le mode full-duplex, testé dès les premières phases des essais 5G, permet la transmission et la réception simultanées des données au niveau des stations de base. Trois niveaux de technologie sont utilisés : l'annulation analogique passive, l'annulation analogique active et l'annulation numérique. Les tests montrent une optimisation de l'annulation de l'auto-interférence de plus de 113 dB en situation réelle, ce qui augmente le débit du système de 90% par rapport aux modes half-duplex traditionnellement utilisés. En comparaison avec les systèmes précédents comme le FDD et le TDD, le full-duplex permet une communication simultanée sur une même fréquence, offrant ainsi des avantages significatifs en termes de bande passante et de complexité du système. Dans la figure I.16 Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD.

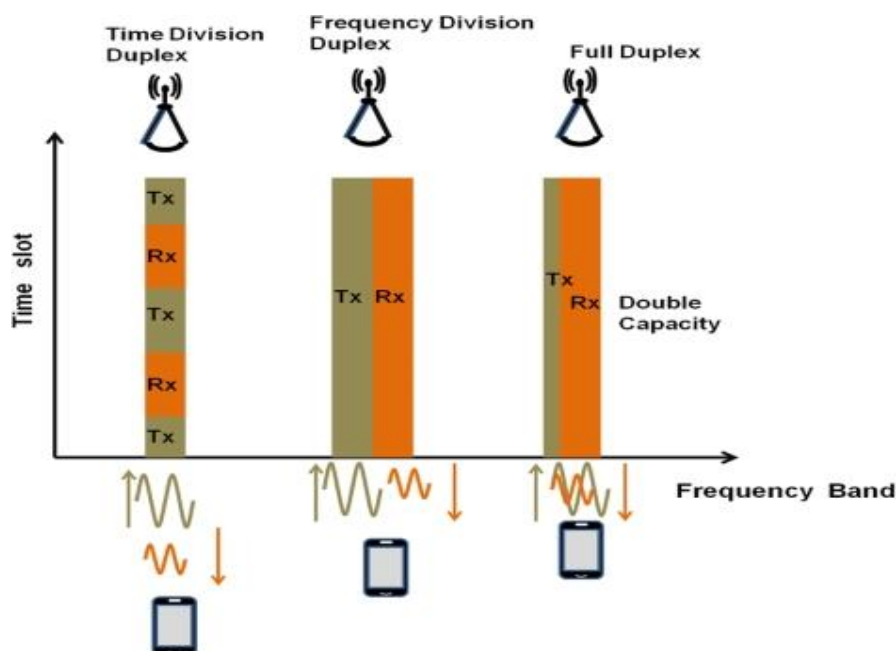


Figure I-16. différence entre TDD, FDD ET full duplex [12]

I.12.7 Multiplexage NOMA (Accès non Orthogonal) :

NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) est une technique d'accès radio qui permet à plusieurs utilisateurs de partager la même ressource en termes de temps, de fréquence et d'espace. NOMA offre un ensemble d'avantages potentiels, tels qu'une efficacité spectrale améliorée, une latence réduite avec une fiabilité élevée et une connectivité massive. Par rapport à la technique actuelle d'accès multiple orthogonal (OMA) standard de facto, NOMA a le potentiel d'être appliqué dans divers scénarios de communication de cinquième génération (5G), y compris les communications de machine à machine (M2M) et l'Internet des choses (IoT). Les techniques NOMA disponibles peuvent être globalement divisées en deux grandes catégories, à savoir le NOMA dans le domaine de puissance et le NOMA dans le domaine du code. Le NOMA de domaine de code peut être classé en plusieurs techniques d'accès multiples qui reposent sur la propagation à faible densité et l'accès multiple à code clairsemé. Bien que la technique NOMA offre de nombreux avantages, la capacité améliorée de détection d'informations d'un plus grand nombre d'utilisateurs via cette technique entraîne des menaces plus élevées en matière de sécurité et de confidentialité. Par conséquent, une série de problèmes de sécurité, depuis les couches physiques jusqu'aux couches applicatives, doivent être résolus afin de construire un système robuste, efficace et efficient via cette technique.[13]

I.12.8 CloudRAN (C-RAN) :

Le C-RAN, ou "Centralized Radio Access Network", est une nouvelle architecture pour les

réseaux d'accès radio mobiles qui vise à améliorer les performances et réduire les coûts. En réponse à l'augmentation exponentielle du volume de données mobiles et aux nouvelles contraintes de qualité de service imposées par les technologies émergentes telles que la réalité augmentée et l'internet des objets, les opérateurs adoptent le C-RAN. Contrairement à l'architecture traditionnelle, où les RRH (Remote Radio Head) et les BBU (Base Band Unit) sont localisées dans chaque station de base, le C-RAN centralise les BBU dans un pool, tandis que les RRH restent connectées via une liaison en fibre optique appelée FH (Fronthaul). Cette centralisation permet une meilleure utilisation des ressources et une gestion plus efficace du réseau, entraînant ainsi des performances optimisées et des coûts réduits.[14]

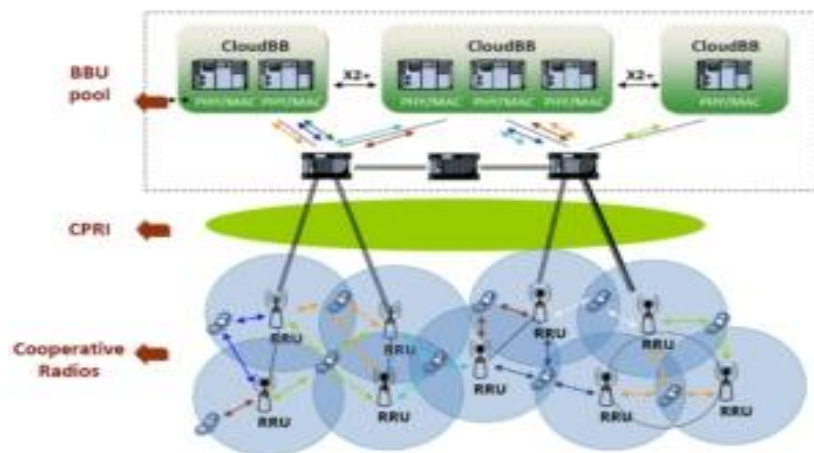


Figure I-17. Architecture C-RAN pour les réseaux 5G [15]

I.13 Les techniques de modulation en 5G :

I.13.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) :

L'OFDM est une technique de modulation qui divise la bande passante en plusieurs sous-porteuses orthogonales.

Chaque sous-porteuse transporte une partie des données, ce qui permet une transmission parallèle efficace.[16]

L'orthogonalité entre les sous-porteuses permet d'éviter les interférences entre elles.

L'OFDM est utilisé pour la liaison descendante (downlink) en 5G, c'est-à-dire pour la transmission de la station de base vers les appareils. [17]

I.13.2 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access):

Le SC-FDMA est une variante de l'OFDM conçue pour une utilisation dans la liaison montante

(uplink) en 5G, c'est-à-dire pour la transmission des appareils vers la station de base.

Contrairement à l'OFDM, le SC-FDMA utilise une seule porteuse pour transmettre les données de chaque utilisateur.

Cela réduit la complexité de l'émetteur, car il n'y a pas besoin de générer et de maintenir de multiples porteuses.

Le SC-FDMA offre également une meilleure efficacité énergétique par rapport à l'OFDM pour les transmissions à faible puissance, ce qui est important pour les appareils mobiles alimentés par batterie. [16]

En résumé, l'OFDM est largement utilisé pour la liaison descendante en 5G, tandis que le SC-FDMA est utilisé pour la liaison montante. Ces deux techniques contribuent à maximiser l'efficacité spectrale et énergétique du système 5G, tout en fournissant des débits de données élevés et une connectivité fiable.

I.14 Conclusion :

En conclusion, le premier chapitre sur les généralités de la 5G nous a permis de mieux comprendre les fondements et les principes de cette technologie révolutionnaire. Nous avons exploré ses caractéristiques clés, telles que (très large bande passante, un débit très élevé et une très faible latence) et ses exigences comme les small cell, massive MIMO et Beamforming ... etc... De plus, nous avons discuté des implications potentielles de la 5G sur divers secteurs, notamment l'Internet des objets.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les caractéristiques des canaux radios pour mieux comprendre cette génération.



Chapitre II

Caractéristiques des canaux radios

II.1 Introduction :

Les propriétés qui caractérisent la transmission des signaux radio sont appelées caractéristiques des canaux radio, telles que la réflexion, la diffraction, la dispersion, les pertes de propagation, les interférences, le bruit et les effets Doppler.

Dans ce chapitre, nous examinons en détail la description du canal de propagation radio, une étape essentielle dans la conception des systèmes de communication sans fil. Il étudie les différentes propriétés physiques, comme la réflexion, la diffraction et la dispersion, qui ont un impact sur la transmission des ondes radio. On accorde une attention particulière aux décès à grande et petite échelle, produits du phénomène de dispersion. En outre, il étudie les diverses catégories de canaux de propagation, repère les causes de détérioration du signal et examine les paramètres de caractérisation des canaux.

II.2 Description des phénomènes physiques dans un canal radio :

Généralement, l'environnement de propagation a une influence sur les ondes électromagnétiques émis, qui sont régies par les équations de Maxwell. Notamment on peut calculer le champ électromagnétique incident sur l'antenne réceptrice à cause de l'onde rayonnée théoriquement par les équations de Maxwell.

Les ondes radio dans les systèmes de communications se propagent entre une station de base (BS) et une station mobile (MS) selon les trois mécanismes suivants : la réflexion sur les grandes surfaces lisses, la diffraction sur des arêtes aiguës et la diffusion sur des surfaces rugueuses. [17]

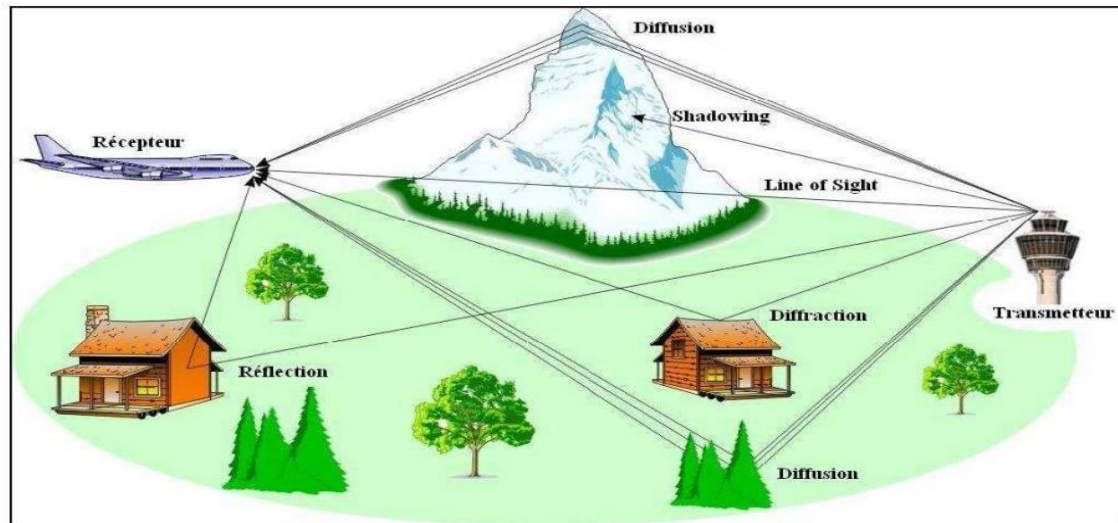


Figure II-1. Environnement et mécanismes de propagation

II.2.1 Les mécanismes de propagation :

II.2.1.1 Dispersion (Scattering) :

C'est le phénomène de la déviation du trajet direct par des petits obstacles dont les dimensions sont petites par rapport à la longueur d'onde (feuillages, panneaux de signalisation,...). Ces phénomènes génèrent l'évanouissement du signal (fading) et l'apparition de zones d'ombre (Shadowing). Le phénomène d'évanouissement, qui est la variation de l'amplitude du signal en fonction du temps et de la fréquence, peut être classé en deux types. L'évanouissement à large échelle et l'évanouissement à petite échelle. [18]

II.2.1.2 L'évanouissement à large échelle :

Les évanouissements à grande échelle définissent les fluctuations de la puissance moyenne mesurées sur un déplacement ou sur un intervalle de temps suffisamment grands. Les deux phénomènes à l'origine des variations à grande échelle sont les pertes en distance et les effets de masquage (Figure II.2). [19]

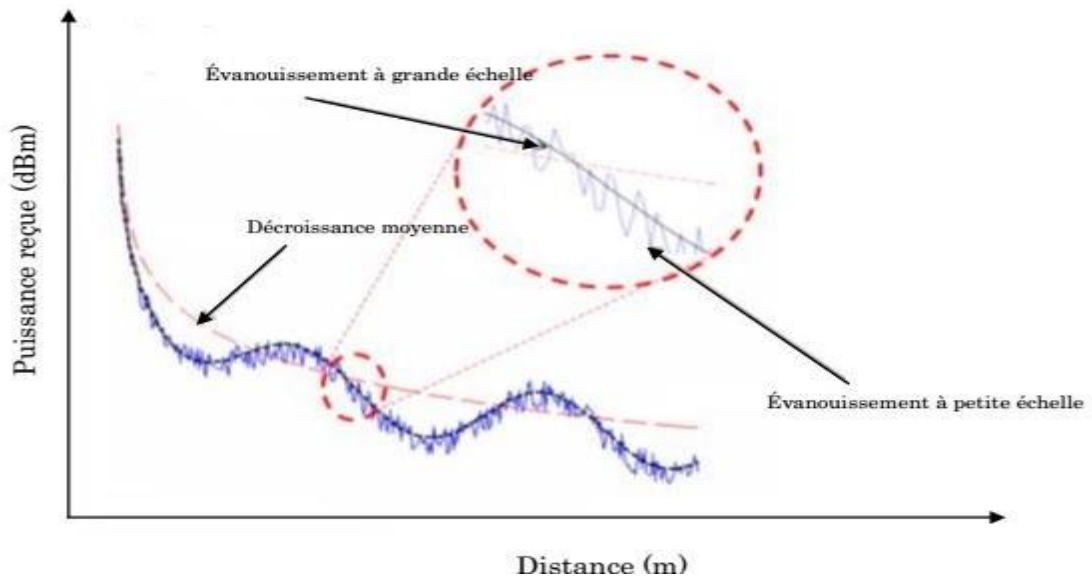


Figure II-2. Fluctuations à petite et à grande échelles de la réponse du canal

Perte de trajet (Path Loss)

La perte de trajet correspond à la différence entre la puissance d'émission et la puissance de réception (en dB) en raison de l'atténuation introduite par le canal de propagation. La perte de trajet en espace libre peut être directement dérivée de la loi de Friis [20].

$$L_{(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Tx}}{P_{Rx}} \right) = -10 \log_{10} \left(G_{Tx} G_{Rx} \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad (\text{II.1})$$

Ou

P_{Tx} et P_{Rx} : La puissance d'émission et de réception respectivement.

G_{Tx} et G_{Rx} : Gain d'émission et de réception respectivement.

d : La distance entre l'émetteur et le récepteur.

$\lambda = \frac{c}{f_c}$: La longueur d'onde rayonnée.

$C = 3 \times 10^8$ m/s est la vitesse de la lumière et f_c la fréquence de la porteuse.

Le facteur $\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ est aussi appelé le facteur de perte en espace libre.

Masquage (Shadowing)

L'effet de masque (Shadowing) est la variation de la puissance reçue qui résulte de l'atténuation du signal due à des obstacles localisés. Imaginez un déplacement de mobile dans un environnement donné, qui a des grands obstacles tels que les bâtiments de grande taille ou les collines. Étant donné que la position relative du mobile par rapport aux obstacles est en variation permanente, les conditions de propagation sont également en train de changer, mais il pourrait prendre une grande distance (de l'ordre de plusieurs dizaines de longueurs d'onde) afin de modifier d'une manière significative l'intensité de champ reçue. Ce phénomène engendre des variations lentes qui sont appelés Shadowing.

L'intensité moyenne de champ E suit une distribution log normale :

$$P d f_E(E) = \frac{20/\ln(10)}{E\sqrt{2\pi\sigma_E^2}} \exp\left(-\frac{(20\log_{10}(E) - \mu_{dB})^2}{2\sigma_E^2}\right) \quad (\text{II.2})$$

Où : σ_E est l'écart-type de E et μ_{dB} est la moyenne de E , exprimées en dB. [17]

II.2.1.3 L'évanouissement à petite échelle :

L'origine de ces phénomènes est liée à la présence d'objets de natures, de dimensions et de positions variables au sein du canal. Ces objets engendrent l'apparition de multiples répliques du signal transmis interférant de façon destructives ou constructives. On parle alors de propagation à trajets multiples. Dans cette configuration, l'onde utilise pour se propager les phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction et diffusion. [19]

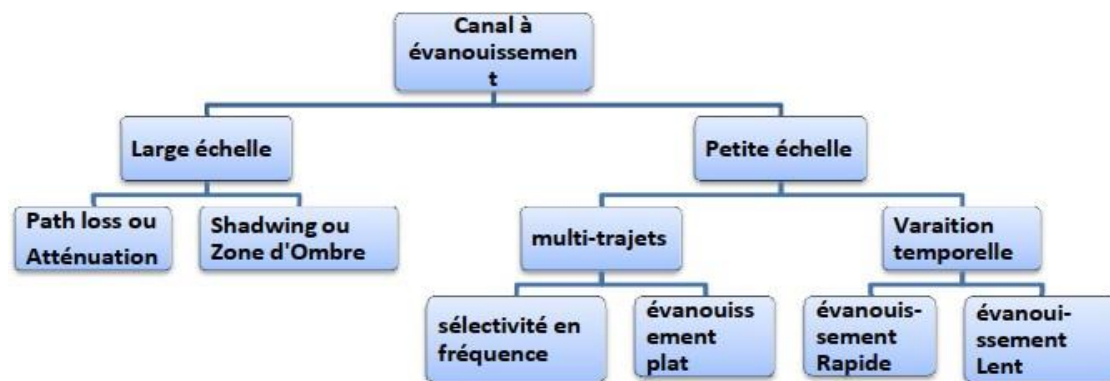


Figure II-3. Classification des évanouissements du canal

Réflexion (surfaces lisses) /Réfraction (milieux translucides): Lorsqu'une onde électromagnétique frappe une surface lisse de grandes dimensions par rapport à sa longueur d'onde, comme les murs, les bâtiments ou le sol, elle provoque un phénomène de réflexion. [17]

Diffraction: La diffraction se produit lorsque les ondes électromagnétiques rencontrent des obstacles avec des formes irrégulières ou passent à travers de petites ouvertures. Cela entraîne une courbure ou une dispersion des ondes, permettant de créer un trajet entre l'émetteur et le récepteur lorsque la visibilité directe n'est pas possible. [17]

Diffusion: La diffusion se produit en présence d'un regroupement dense d'objets de dimensions similaires à la longueur d'onde, ou sur une surface avec des aspérités suffisamment petites. C'est le cas limite de la réflexion où aucune direction privilégiée n'est identifiable. [17]

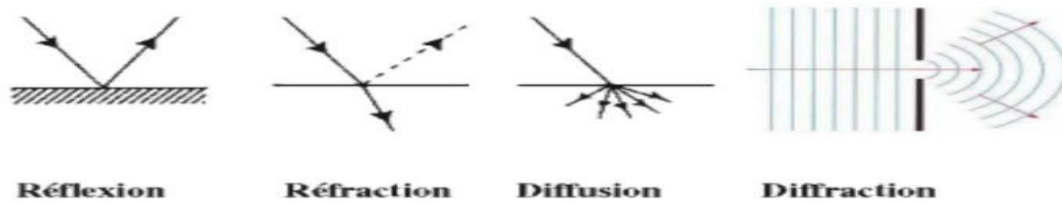


Figure II-4.Interaction de l'onde électromagnétique avec son milieu

II.3 Canal de propagation

Un système de transmission radioélectrique permet de transformer un signal électrique émis $e(t)$ en signal électrique reçu $s(t)$ par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques. Le canal de propagation est l'endroit qui transforme les ondes électromagnétiques lors de leur propagation. À ce stade, il est important de différencier le canal de propagation, qui ne tient en compte que des interactions du signal émis avec l'environnement traversé et le canal de transmission, qui inclut en plus les effets induits par les antennes émettrice et réceptrice comme le montre la figure II.5. [20]

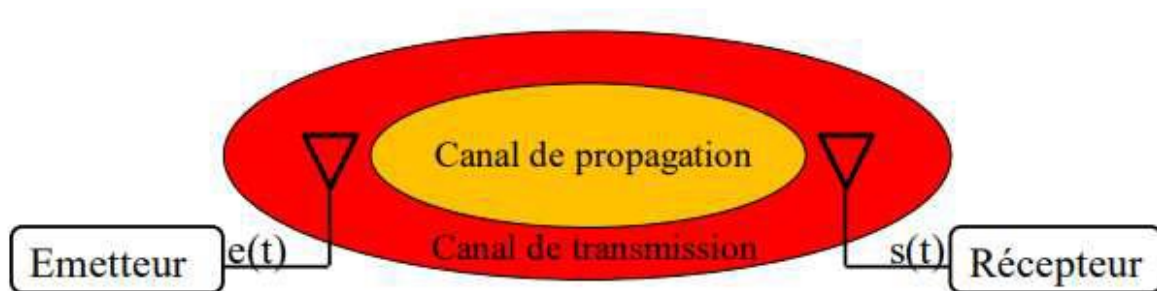


Figure II-5.Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile

II.3.1 Propagation en espace libre :

L'onde émise par l'émetteur se déplace directement vers le récepteur sans être perturbée par des obstacles. Elle suit un trajet en ligne droite et est décrite par un seul chemin reliant l'émetteur au récepteur.

L'atténuation du signal en espace libre est calculée par la formule de Friis :

$$L_F = \frac{P_r}{P_e} = G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (\text{II.3})$$

Où G_e , G_r sont les gains des antennes d'émission et de réception, $\lambda = c/f$ est la longueur d'onde donnée par la célérité de la lumière c et la fréquence de travail f , d est la distance séparant les deux antennes d'émission et de réception. On précise que cette relation n'est valable que lorsque l'antenne de réception est en champ lointain par rapport à l'antenne d'émission. [21]

II.3.2 Propagation par trajets multiples :

Dans un système sans fil, l'environnement du système de transmission interfère avec l'onde transmise selon différents mécanismes. Le récepteur peut recevoir le même signal de plusieurs trajets différents puisque les signaux transmis peuvent se réfléchir sur une surface comme le sol, les bâtiments ... etc. Dans la pratique, il est fréquent que deux ou plusieurs phénomènes s'appliquent simultanément au trajet d'un signal. Cet effet est appelé propagation par trajets multiples. En effet, il existe cinq phénomènes principaux : la réflexion, la réfraction, la diffraction, la diffusion et le guidage d'onde qui ont un impact direct sur la propagation du signal. Les ondes émises lors de la communication radio subissent généralement une combinaison de ces divers phénomènes. Le signal reçu est une somme de tous les trajets arrivants au récepteur et cette somme peut être constructive ou bien destructive. Les obstacles peuvent être considérés comme un avantage ou un inconvénient. Par exemple, lorsqu'un émetteur et le récepteur sont en vue directe (LOS), la réflexion perturbe la liaison. Cependant, dans le cas du canal NLOS, la diffraction et la diffusion assurent la continuité de la liaison. [22]

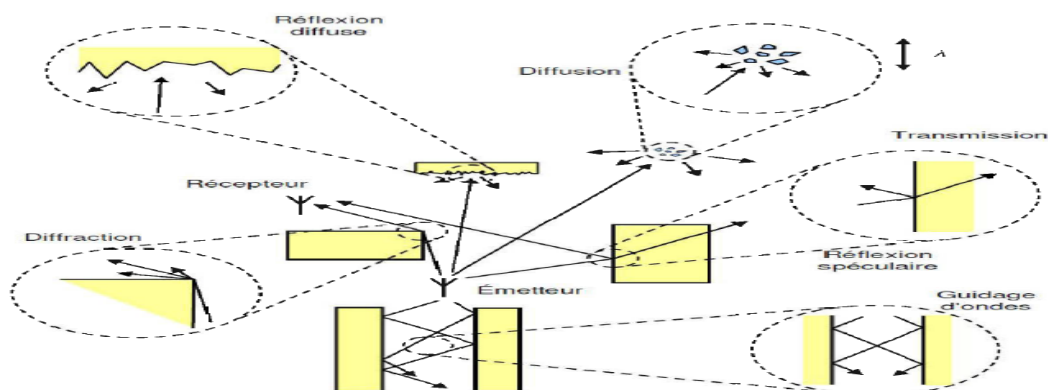


Figure II-6. Les différents mécanismes de propagation

II.3.3 Principales dégradations de la propagation :

Le signal reçu est plus ou moins fort selon la distance entre l'émetteur et le récepteur, et trois principales altérations de la propagation sont constatées :

Différence de trajet : En raison de la distance, il peut être évalué de manière déterministe ou à l'aide d'un modèle empirique, en particulier dans des environnements complexes.

Éblouissements ou déclin lent : Ces fluctuations lentes sont le résultat d'atténuations successives causées par de grosses barrières locales, ce qui entraîne la diffraction.

Évanouissement rapide ou multi-trajets : Ces changements rapides sont provoqués par l'ajout positif ou négatif des signaux provenant de différents trajets, ce qui ne peut être prédictif de manière déterministe. Au sein de notre recherche, divers éléments ont un impact sur ces décalages, tels que la vitesse, qui affecte les caractéristiques temporelles et spatiales du canal, et la mobilité, qui entraîne un décalage fréquentiel des trajets. Par ailleurs, dans un contexte minier, différents phénomènes tels que la réflexion, la diffraction et la dispersion conduisent au signal sur différents chemins.

II.4 Modélisation du canal de propagation :

II.4.1 Réponse impulsionnelle :

Un canal radio est considéré comme un système linéaire variable dans le temps de ce fait, la réponse impulsionnelle qui le caractérise est également variable dans le temps et permet d'évaluer l'influence des trajets multiples du canal sur un système de transmission. La réponse impulsionnelle est une fonction à la fois de la variable t , qui représente la variation du temps par rapport à une valeur de référence choisie, et de la variable l : qui représente le retard des trajets multiples du canal pour une valeur fixée de t . Si on observe la réponse impulsionnelle d'un canal, il est possible de différencier les différents trajets ainsi que l'amplitude relative de chaque trajet comme le montre la figure II.7. [23]

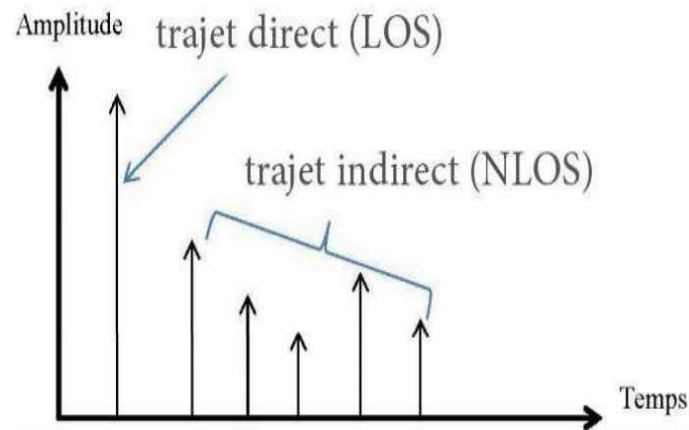


Figure II-7. Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile

LOS et NLOS : Le canal de propagation est l'endroit où se propagent les signaux sous forme de multi trajets à cause des obstacles qui entourent l'émetteur et le récepteur. La propagation multi-trajets distingue deux situations de propagation : NLOS (None Line Of Sight) ça veut dire qu'il n'y a pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, la densité de probabilité de l'amplitude d'évanouissement du signal total reçu suit la loi de Rayleigh [Figure II.8], et on n'a pas LOS (Line Of Sight) la visibilité est directe entre l'émetteur et le récepteur [Figure II.9], et par conséquent l'amplitude d'évanouissement est caractérisée par la distribution de Rice.[17]

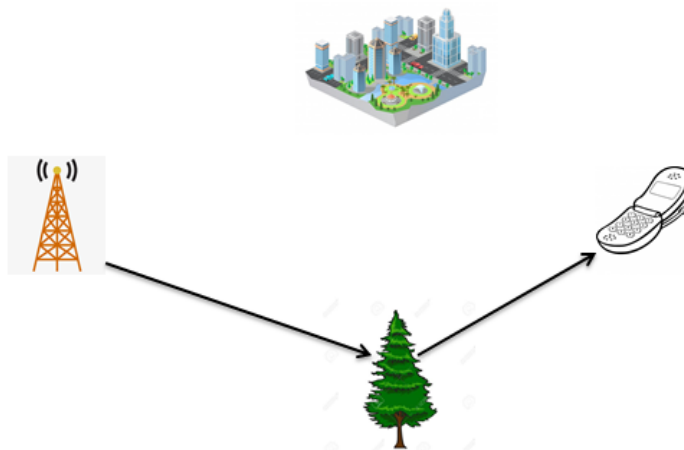


Figure II-8. Propagation multi-trajets NLOS

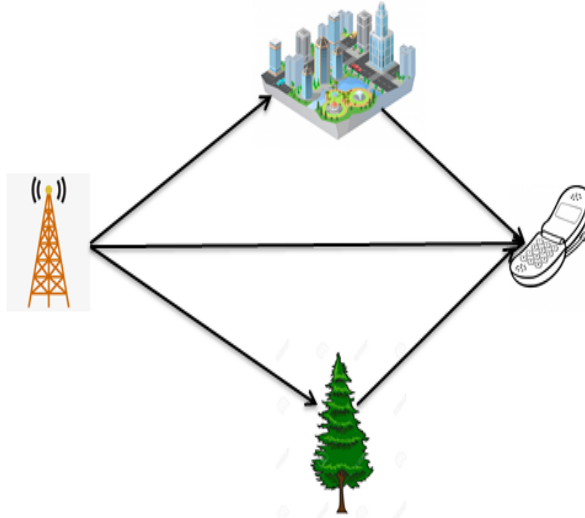


Figure II-9. Propagation multi-trajets LOS

Le signal reçu est une somme de tous les signaux transmis ; il est donné par la Convolution du signal transmis et de la réponse impulsionnelle du canal. L'équivalent en Bande de base de la réponse impulsionnelle du canal est :

$$h(\tau; t) = \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k(t) e^{j\theta_k(t)} \delta(t - \tau_k(t)) \quad (\text{II.4})$$

En posant $\theta_k(t) = 2\pi f_c \tau_k(t)$ on obtient :

$$h(\tau; t) = \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k(t) e^{j2\pi f_c \tau_k(t)} \delta(t - \tau_k(t)) \quad (\text{II.5})$$

L'équation II.5 est utilisée généralement pour décrire la réponse impulsionnelle variable dans le temps d'un canal multi-trajet où N est le nombre de chemins multiples, $\alpha_k(t)$, $\tau_k(t)$ et $\theta_k(t)$ sont respectivement l'amplitude aléatoire, le temps et la phase du k ième chemin, et δ est la fonction delta de Dirac.[24]

II.5 Paramètres de caractérisation d'un canal

La caractérisation des canaux radio mobiles se fait à partir de certains paramètres permettant de quantifier le canal de propagation multi-trajets. Ces paramètres sont :

II.5.1 Les paramètres de dispersion temporelle (delay spread) T_m :

La dispersion temporelle se produit lorsqu'un signal identique est reçu à la destination à des

instants différents. Elle est égale à la différence de temps entre les moments d'arrivée de la première composante et de la dernière.

II.5.2 Bande de cohérence (coherence bandwidth) B_c :

B_c est une mesure statistique de la bande de fréquence dans laquelle le canal peut être considéré comme plat (non sélectif). Si la largeur de bande du signal transmis en bande de base (B_c) est supérieure à la bande de cohérence (B_s), on obtient alors un fading sélectif en fréquence [25]. B_c est reliée en général à l'étalement efficace du retard par la relation :

$$B_c \simeq \frac{1}{\alpha \sigma \tau} \quad (\text{II.6})$$

La valeur de B_c est généralement fonction de la corrélation fréquentielle. En particulier si on a une corrélation en amplitude $\rho_c = 50\%$ alors l'équation (II.6) devient:

$$B_c \simeq \frac{1}{5\alpha \tau} \text{ Hz} \quad (\text{II.7})$$

Et si on a $\rho_c = 90\%$ alors l'équation (II.7) devient :

$$B_c \simeq \frac{1}{50\alpha \tau} \text{ Hz} \quad (\text{II.8})$$

II.5.3 Étalement Doppler (Doppler spread) B_D :

L'étalement Doppler est causé par la variation temporelle du canal. Il est défini comme la bande de fréquence où le spectre Doppler reçu est non nul. Il est égal à deux fois la fréquence Doppler maximale.

$$B_D = 2 \cdot f_D \text{ max} \quad (\text{II.9})$$

où le décalage fréquentiel Doppler f_D est donné par:

$$f_D = f_m \cos(a) = \frac{v_{eff} f_c}{c} \quad (\text{II.10})$$

où c représente la vitesse de la lumière, a est l'angle entre l'utilisateur et la direction de

propagation de l'onde émise, f_m est la valeur maximale du décalage Doppler, V_{eff} est la vitesse effective du mobile et f_c est la fréquence de la porteuse.

II.5.4 Temps de cohérence (coherence time) T_c :

Le temps T_c est la durée pendant laquelle le canal est considéré comme invariant. Si deux signaux arrivent avec une séparation supérieure à T_c , ils sont donc affectés différemment.

II.6 Modèle de propagation de canal :

Un modèle de propagation de canal permet de connaître la zone de couverture utile (c'est-à-dire la zone pour laquelle le champ reçu sera suffisant pour assurer une liaison de bonne qualité) et la zone brouillée (c'est-à-dire la zone pour laquelle le champ issu de l'ensemble des autres stations de base risque de perturber la liaison). Un bon modèle de propagation de canal offre des indications précieuses et à moindre coût pour pré-design d'un réseau. Du fait de ce rôle stratégique, de nombreuses études sont menées pour proposer des modèles adaptés. [26] Il existe deux modèles pour simuler un canal de propagation : Modèle de canal déterministe Et modèle statistique.

II.6.1 Modèle déterministe du canal :

Le modèle déterministe suppose la connaissance des coordonnées et des propriétés électromagnétiques des émetteurs et des récepteurs. Il utilise un maillage sur l'environnement en question par l'utilisation de la technique de traçage 3D. Celle-ci modélise la propagation de signal sans affecter la précision, le traçage est l'étape la plus importante en termes de complexité de calcul et de temps d'exécution. Les résultats obtenus reflètent la réalité, mais l'inconvénient de cette méthode vient de la flexibilité du modèle et du temps de simulation.

II.6.2 Modèle statistique de canal :

Ce modèle est basé sur des calculs mathématiques de la propagation qui regroupe un ensemble d'équations mathématiques, des diagrammes et d'algorithmes pour représenter les caractéristiques radio d'un environnement donné. Ce modèle consiste à effectuer un grand nombre de mesures, représentatives des environnements que l'on est sensé rencontrer, ayant identifié quelques paramètres caractéristiques des liaisons par exemple : distance émetteur récepteur, type d'environnement, fréquence, etc .[27]

II.7 Conclusion :

Ce chapitre a exposé les principes généraux d'un canal de propagation. On a également défini les phénomènes physiques qui influencent la propagation de l'onde radio, ainsi que les caractéristiques de propagation. De plus, une brève description des distributions statistiques d'amplitude de signal a été fournie. Finalement, nous avons exposé dans la littérature les modèles de propagation utilisés pour définir un canal.



Chapitre III
Analyse de la couverture par
la technique ray tracing

III.1 Introduction :

Cette section se focalise sur l'utilisation du ray tracing, une méthode reconnue pour sa précision dans la simulation des effets de la propagation des ondes électromagnétiques. À l'aide de MATLAB, nous étudions la propagation des ondes radiofréquences pour les communications sans fil en créant une représentation tridimensionnelle de l'environnement où les antennes sont déployées. Nous analysons le trajet des faisceaux entre les émetteurs et les récepteurs à travers les structures urbaines pour évaluer la couverture et les performances des communications sans fil. Cette approche permet également d'explorer l'utilisation de la formation de faisceaux pour améliorer la couverture et établir des liaisons, notamment aux fréquences "mmWave".

Ce chapitre qui est le dernier se concentre sur le déploiement et l'analyse des performances des antennes, en tenant compte des effets de propagation par le ray tracing. Des étapes pratiques incluent l'importation et la visualisation des données des bâtiments en 3D, l'exploration de différents styles d'antennes et de scénarios d'installation, la détermination de la couverture des antennes sur une carte de terrain en 3D, et la mesure des effets de propagation RF sur les liaisons TX-RX. Enfin, nous développons un système de nouvelle génération exploitant la formation de faisceaux pour améliorer la couverture et le suivi des utilisateurs.

III.2 Ray Tracing :

Le Ray Tracing (RT) est une approche d'optique géométrique qui détermine la plupart des chemins de propagation pouvant se propager de l'émetteur (Tx) au récepteur (Rx). Il s'est avéré être un outil de prévision de propagation précis et polyvalent pour les scénarios intérieurs et extérieurs. Comme les autres modèles de canaux déterministes, la RT nécessite une connaissance exacte de la description géométrique et électromagnétique de l'environnement concerné. Par conséquent, la précision de la RT se fait au prix d'une complexité informatique élevée, qui évolue directement avec le nombre de chemins de propagation considérés. À ce jour, l'outil RT développé inclut non seulement la réflexion spéculaire, la transmission à travers des blocs diélectriques et la diffraction, mais également des mécanismes de diffusion diffuse. Le grand nombre de chemins impliqués dans RT rend la charge de travail de calcul très lourde. Afin d'accélérer l'exécution d'un projet tridimensionnel actuel .[28]

Les fonctions `propagationModel` et `raytrace` utilisent un modèle de lancer de rayons qui recherche les chemins LOS et sans visibilité directe (NLOS). Le modèle trouve les chemins LOS en tirant un rayon de l'émetteur vers le récepteur. Si le rayon n'interagit pas avec une surface

avant d'atteindre le récepteur, alors un chemin LOS existe. Le modèle trouve les chemins NLOS en utilisant soit la méthode des rayons de prise de vue et rebondissants (SBR), soit la méthode de l'image. Vous pouvez spécifier la méthode à l'aide de la fonction `propagationModel`. [28]

Le tableau III.1 décrit les différents phénomènes que l'onde subit lors de la propagation.

Interaction	Description
Ligne de vue (LOS)	Le rayon passe directement de l'émetteur au récepteur.
Réflexion	Le rayon se reflète sur une surface selon la loi de la réflexion
Réfraction (transmission)	Le rayon se réfracte lorsqu'il se déplace dans un nouveau milieu, selon la loi de la réfraction.
Diffraction	Le rayon se diffracte sur une surface selon la loi de la diffraction. Un rayon peut engendrer plusieurs rayons diffractés.
Diffusion	Le rayon interagit avec une surface rugueuse comme l'océan ou la façade d'un immeuble.

□

Tableau III.1. les manières d'un rayon interagit avec l'environnement [29]

III.3 Simulation :

Dans cette partie on explore l'étude de l'onde millimétrique 100 GHz par la technique de RT, dont on débute par l'importation de la carte de l'université d'El Oued à utiliser et les différents types des scénarios (Impédance en fonction de la fréquence, Élément d'antenne dipôle, Matrice linéaire d'une antenne dipôle et Couverture de l'antenne en 3D).

III.3.1 Viewer Importer et visualiser les données de bâtiments 3D dans Site :

Nous avons importé un fichier "univ_elouedMap" (.osm) " correspondant à Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, Alegria. Le fichier a été téléchargé à partir de <https://www.openstreetmap.org>, qui donne accès à des données cartographiques issues de la foule dans le monde entier. Les données sont sous " licence Open Data Commons Open Data base License " (ODbL), <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/>. Les informations sur les bâtiments contenues dans le fichier " univ_elouedMap " sont importées et visualisées dans Site Viewer (Voire figure III.1) .

```
viewer = siteviewer("Buildings","C\User:\univ_elouedMap.osm ","Basemap","satellite");
```



Figure III-1. Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

III.3.2 Différents types d'antennes et scénarios d'installation :

Dans MATLAB, nous commençons par charger un objet antenne qui a été conçu avec Antenna Toolbox.

```
f = 100e9; %Fréquence de fonctionnement
c = physconst('lightspeed'); % Constante de la vitesse de la lumière
lambda = c/f; % Calcul de la longueur d'onde
N = 9; % Nombre d'éléments dans le réseau
dx = 0.49*lambda; % Espacement des éléments dans le réseau
dipole_L = lambda/2; % Longueur de chaque dipôle
dipole_W = lambda/200; % Largeur de chaque dipôle
dp = dipole;
dp.Length = dipole_L;
dp.Width = dipole_W;
dp.TiltAxis = 'Z'; % Définir l'axe d'inclinaison
dp.Tilt = 90; % Définir l'angle d'inclinaison
fmin = f - .05*f;
fmax = f + .05*f;
minX = 0.0001; % Minimum value of reactance to achieve
trim = 0.0005; % The amount to shorten the length at each iteration
resonant_dipole = dipole_tuner(dp, f, fmin, fmax, minX, trim);
Z_resonant_dipole = impedance(resonant_dipole, f)
helement = figure;
```

```

show(resonant_dipole)
axis tight % Ajuster l'axe pour s'adapter étroitement autour du dipôle
dipole_array = linearArray; % Créer un objet de réseau linéaire
dipole_array.Element = resonant_dipole; % Définir les éléments du réseau
comme le dipôle résonant
dipole_array.NumElements = N; % Définir le nombre d'éléments dans le réseau
dipole_array.ElementSpacing = dx; % Définir l'espacement entre les éléments
hArray = figure;
show(dipole_array)
axis tight

```

Nous avons obtenu les résultats dans figures (Figure III.2, Figure III.3, Figure III.4, Figure III.5)

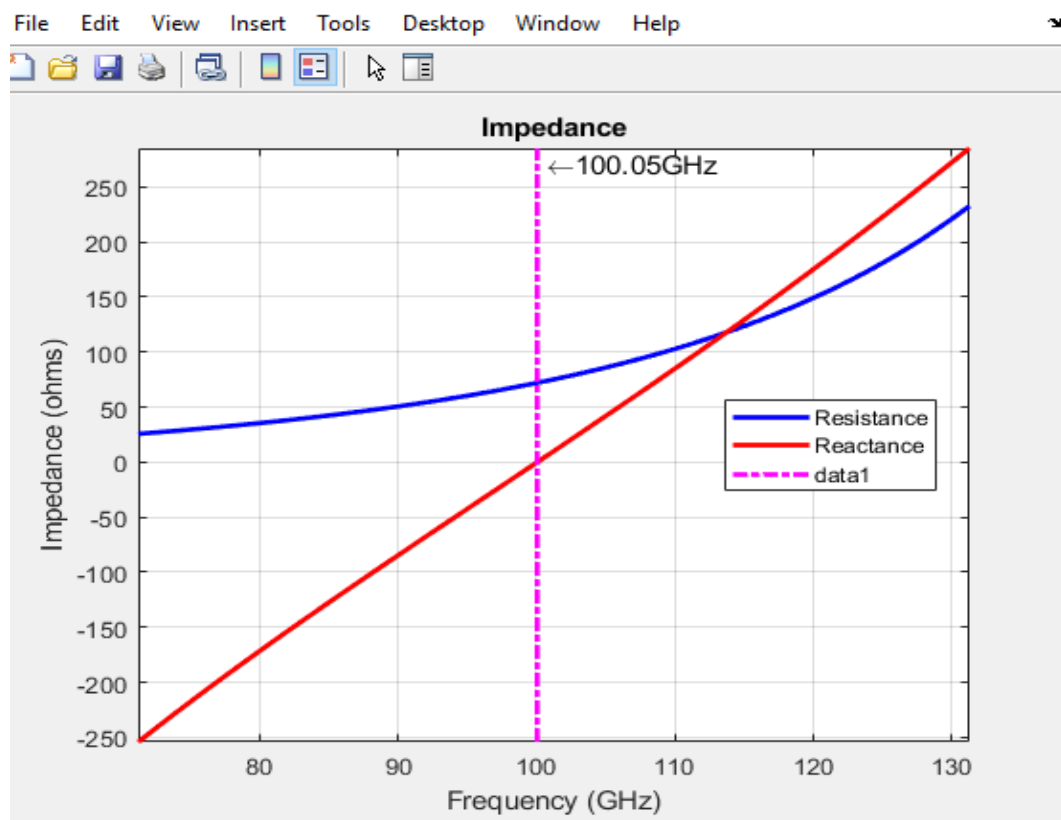


Figure III-2. Impédance en fonction de la fréquence

- La figure III.2 illustre la variation de l'impédance du dipôle résonant en fonction de la fréquence. Elle illustre la variation de l'impédance de votre antenne sur une plage de fréquences spécifique, ce qui est crucial pour garantir un bon accord et des performances optimales de l'antenne.

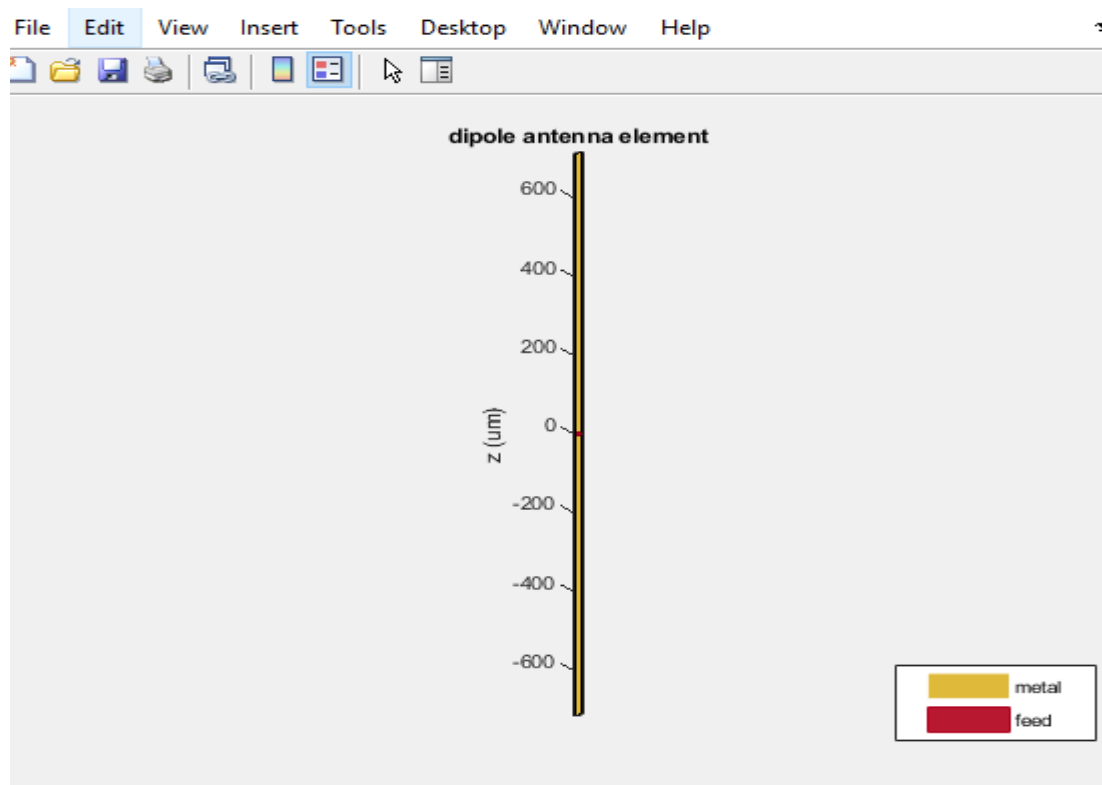


Figure III-3.Elément d'antenne dipôle

- La figure III.3 illustre un dipôle résonant, mettant en évidence sa géométrie et son orientation dans l'espace. Cette représentation permet de visualiser les dimensions et l'alignement du dipôle, ce qui est essentiel pour garantir une conception optimale de l'antenne.

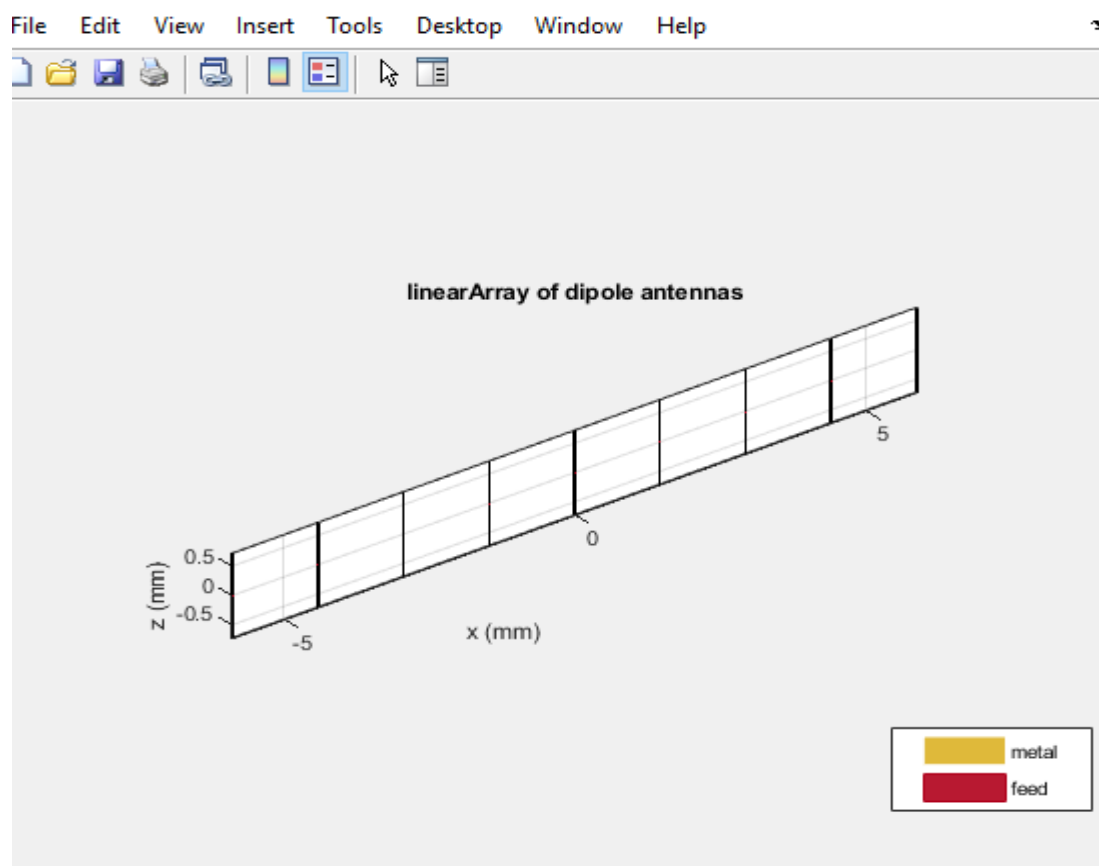


Figure III-4. Matrice linière d'une antenne dipôle

- La figure III.4 présente un réseau linéaire de dipôles, montrant comment plusieurs dipôles résonants sont arrangés et espacés les uns par rapport aux autres. Cela vous aide à visualiser la disposition spatiale de notre réseau d'antennes, ce qui est crucial pour comprendre son fonctionnement et ses performances.

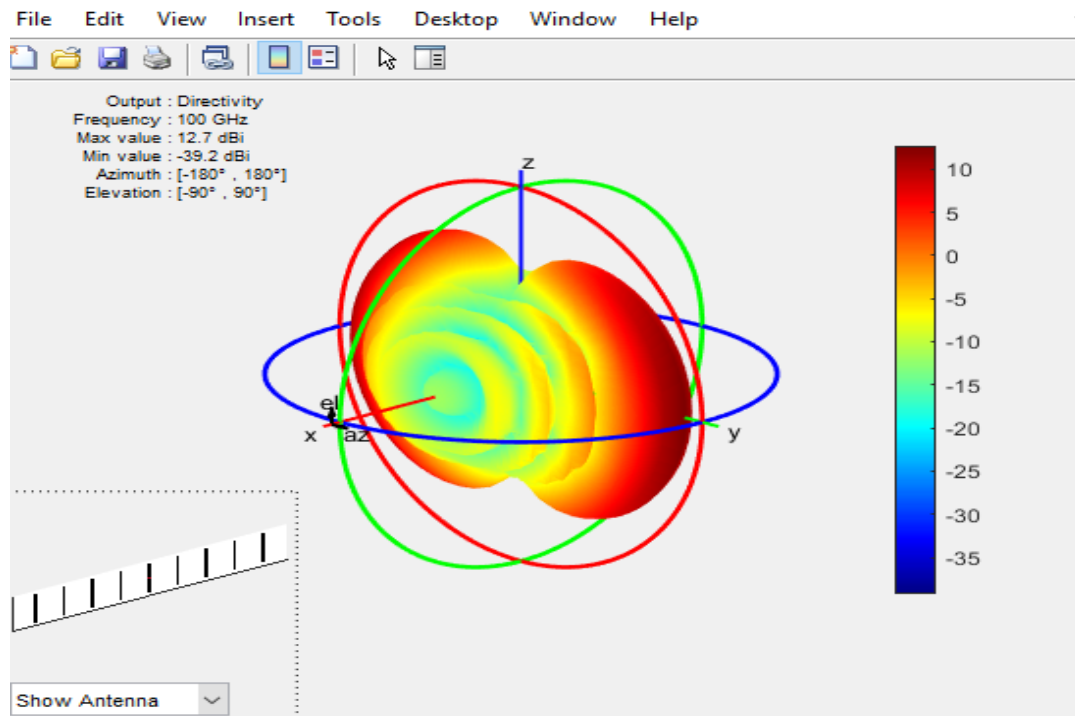


Figure III-5. Couverture de l'antenne en 3D

- Cette figure illustre la couverture spatiale de l'antenne en trois dimensions. Elle montre comment le champ électromagnétique rayonne dans l'espace à partir de notre antenne, ce qui est important pour évaluer la portée et la directionnalité de l'antenne dans différentes directions.

III.4 Utilisation de la technique de formation de faisceau :

La formation de faisceau (beamforming) dans la 5G, surtout pour les liaisons d'accès sans fil fixe (FWA), est une technologie qui dirige de manière précise les signaux radio vers des destinations spécifiques. Cela améliore la portée et la qualité de la connexion, particulièrement utile dans les zones où les obstacles peuvent bloquer les signaux. En FWA, cette technologie permet une transmission de données plus fiable et efficace, garantissant une expérience utilisateur optimale.

III.4.1 Créer un site de station de base dans la bande 100 GHz :

Nous allons créer un site émetteur sur la carte Map de l'Université Echahid Hamma Lakhder, El-Oued, Algérie, qui représente une station de base émettant 100 GHz avec 5 Watt de puissance.

```
f=100e9;  
tx = txsite("name","Lang01", ...  
  "Latitude", 33.396409, ...  
  "Longitude", 6.860836, ...  
  "TransmitterPower",5, ...  
  "TransmitterFrequency",f);  
show(tx);
```

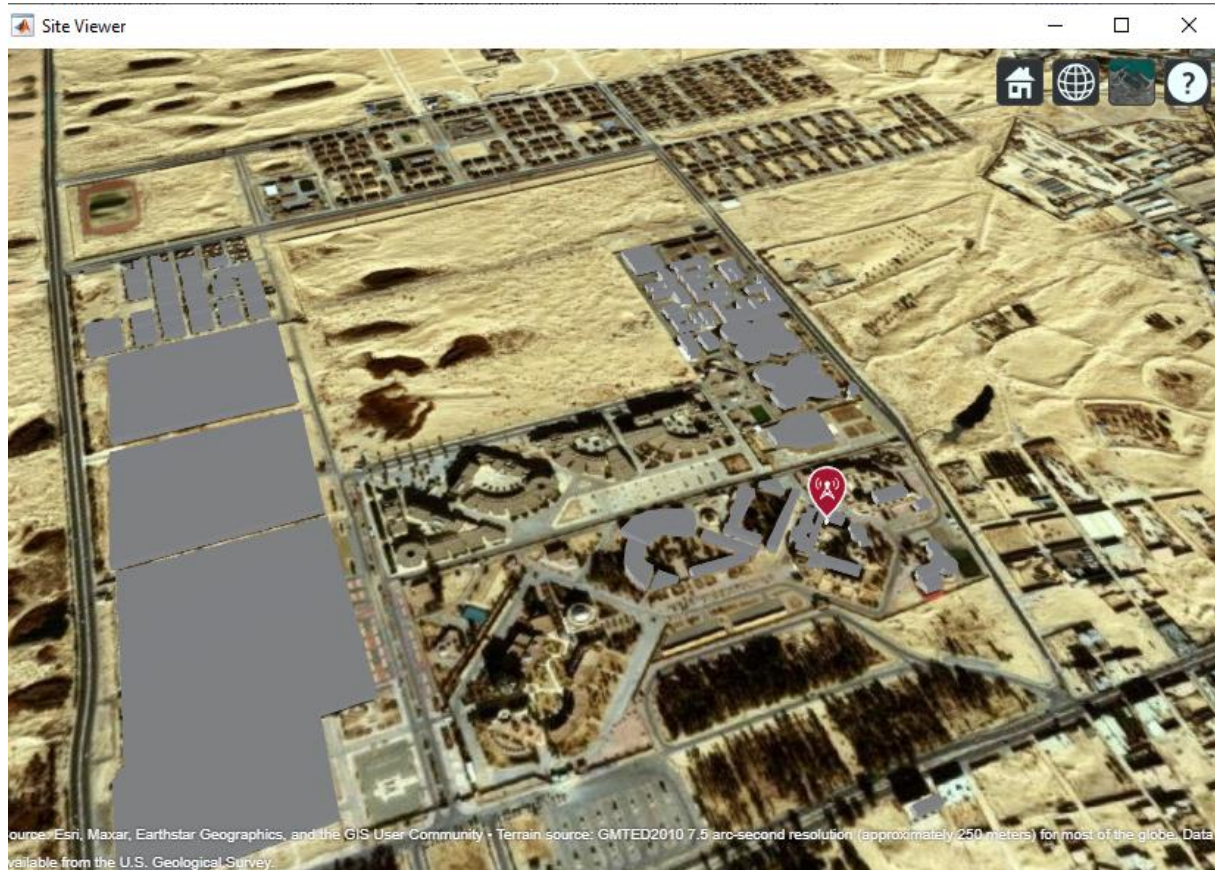


Figure III-6. Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Les informations du site émetteur :

- Emplacement : EL oued
- Code postal : 39000
- Le Nom : Faculté des sciences et de la technologie
- Longitude : 6.860839
- Latitude : 33.396409

III.4.2 Création des sites récepteurs :

Nous avons créé deux sites récepteurs dans la région et montré les sites sur la carte.

Chaque site récepteur représente un site où est placé le terminal sans fil fixe d'un Utilisateur.

```
rx01 = rxsite("Name","Faculty of science exact",...  
"Latitude", 33.396980,...  
"Longitude", 6.861693); .....  
rx02 = rxsite("Name","Faculty of Languages",  
"Latitude",33.396830,  
"Longitude",6.859909);  
rxs = [rx01, rx02];  
show(rxs);
```

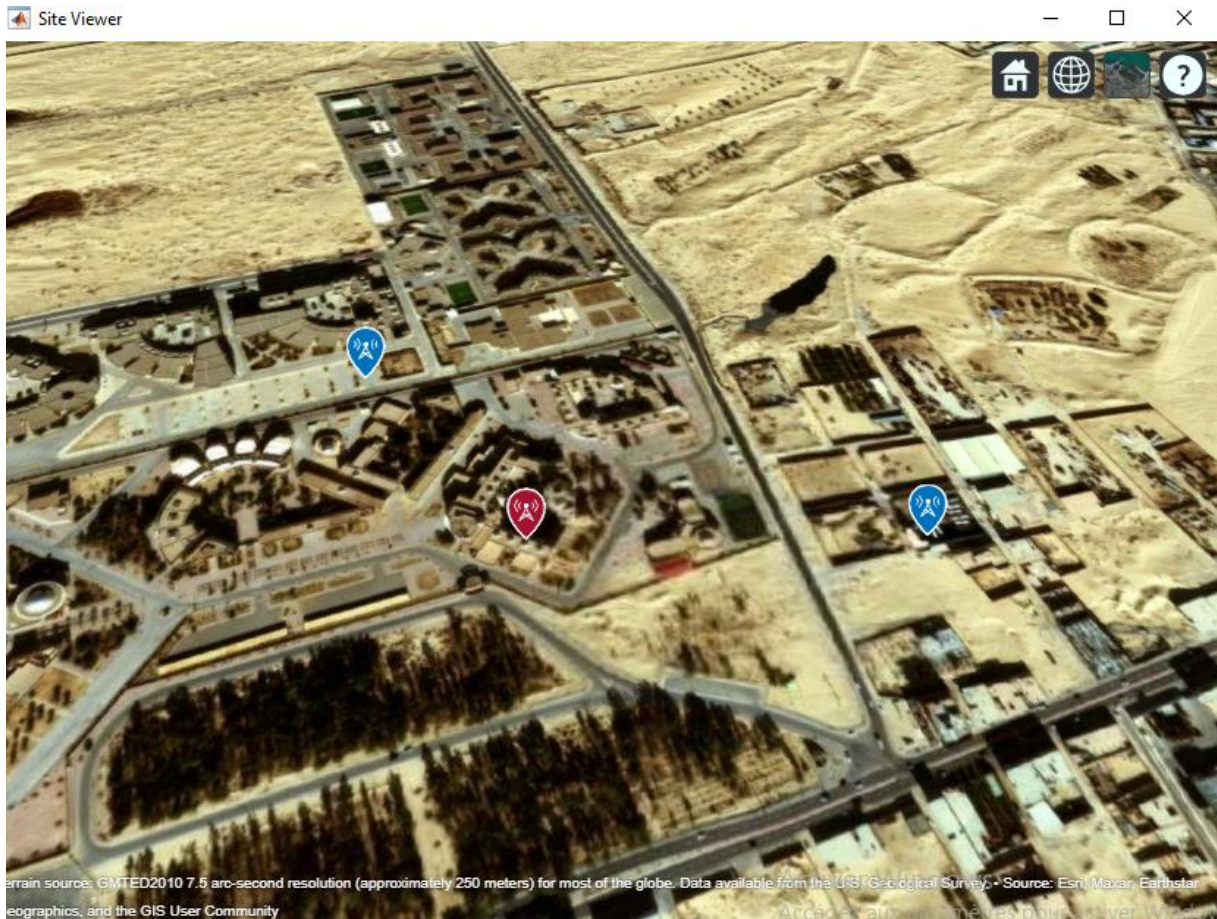


Figure III-7. Les sites des récepteurs et de l'émetteur

III.4.3 Obtention d'une visibilité directe des antennes :

le chemin du signal va être exposé à des obstacles tels que des bâtiments et d'autres terrains qui gêneront l'accès et, par conséquent, la perte de transmission, car les pertes de propagation augmentent à des fréquences plus élevées. (Voir figure III.8).

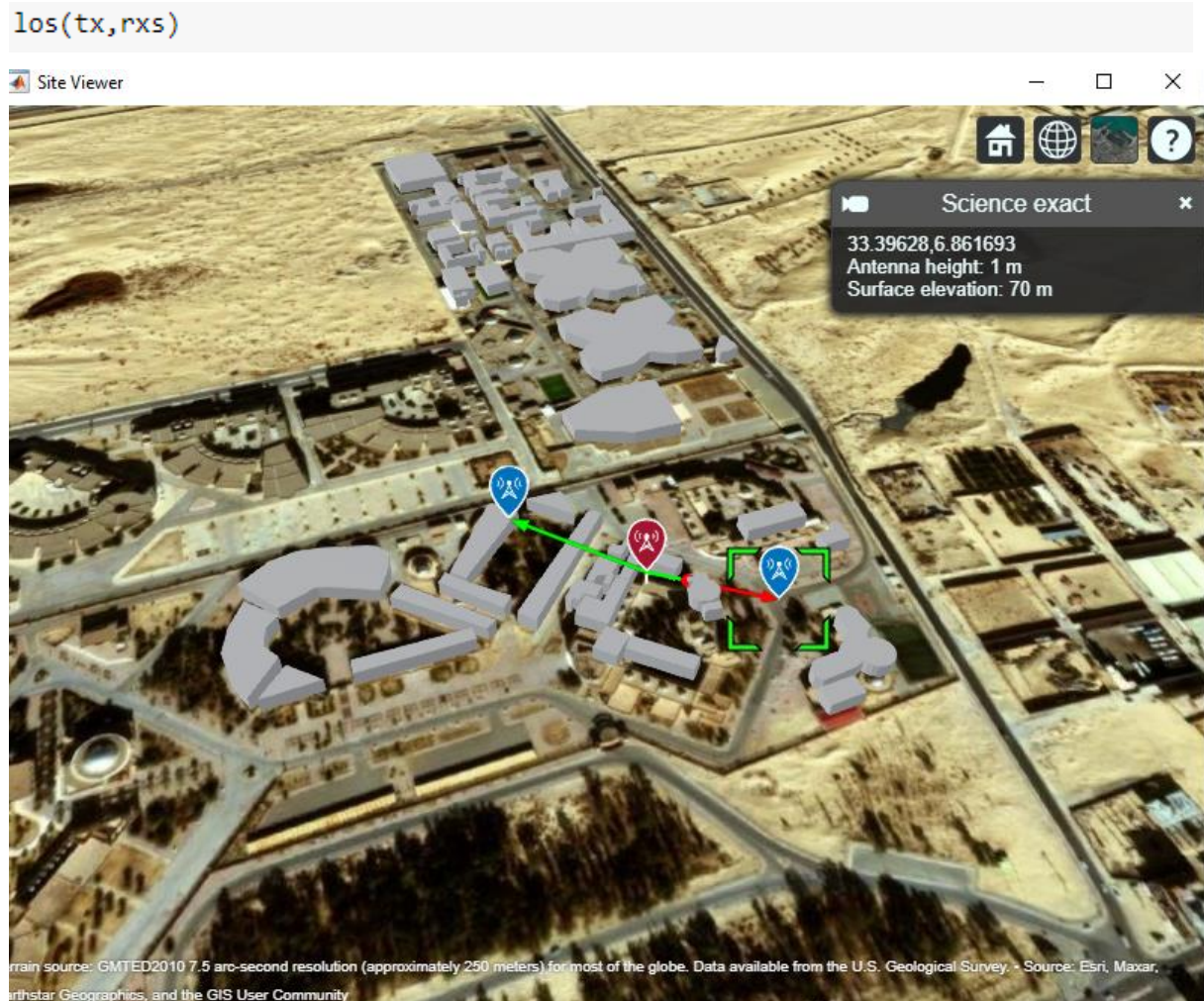


Figure III-8.trajets entre TX et RX

Pour éviter les obstacles que pourrait rencontrer l'antenne de réception sur LOS on peut ajuster la hauteur de l'antenne RX01 à une distance de 10 m, ou bien approcher le site de récepteur (Voir figure III.9).

```
Rx01.AntennaHeight =8;
```

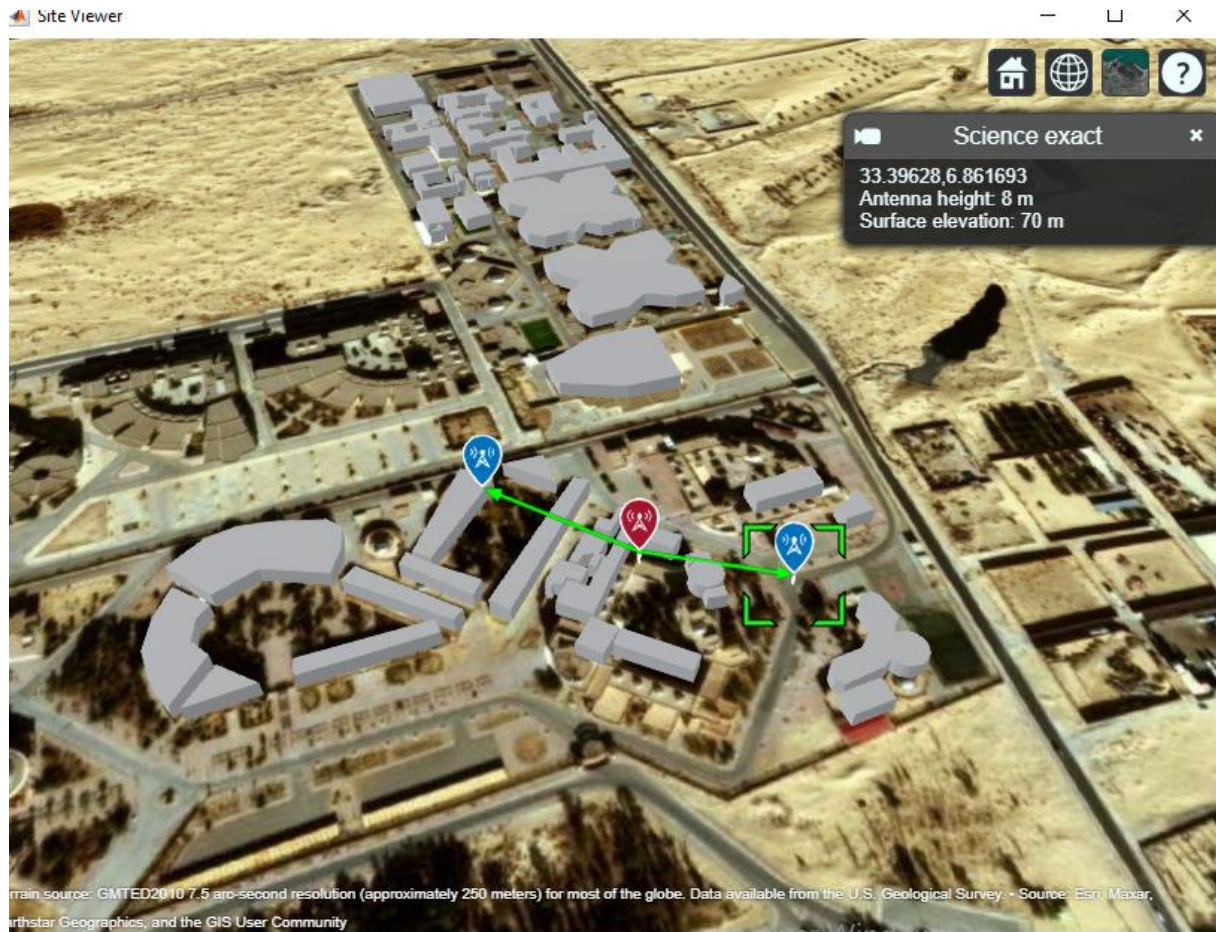


Figure III-9. trajets entre TX et RX

III.5 Déterminer la couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D :

III.5.1 Définir le site de l'émetteur :

Localiser un émetteur pour modéliser un scénario de petite cellule en milieu urbain dense. Le site de l'émetteur est une station de base placée sur un poteau desservant la zone environnante qui comprend un parc adjacent. L'émetteur d'antenne de longueur 10 m par défaut utilise l'isotrope et fonctionne à une fréquence d'émission de 73 GHz avec un niveau de puissance de 5 W. (Voir la figure III.10) :

```
f=100e9;
tx = txsite("name","Lang01", ...
  "Latitude", 33.396409, ...
  "Longitude", 6.860836, ...
  "AntennaHeight", 10,...
  "TransmitterPower", 5,...
  "TransmitterFrequency", f);
```

```
tx.Antenna = dipole_array;
pattern(tx)
show(tx)
```

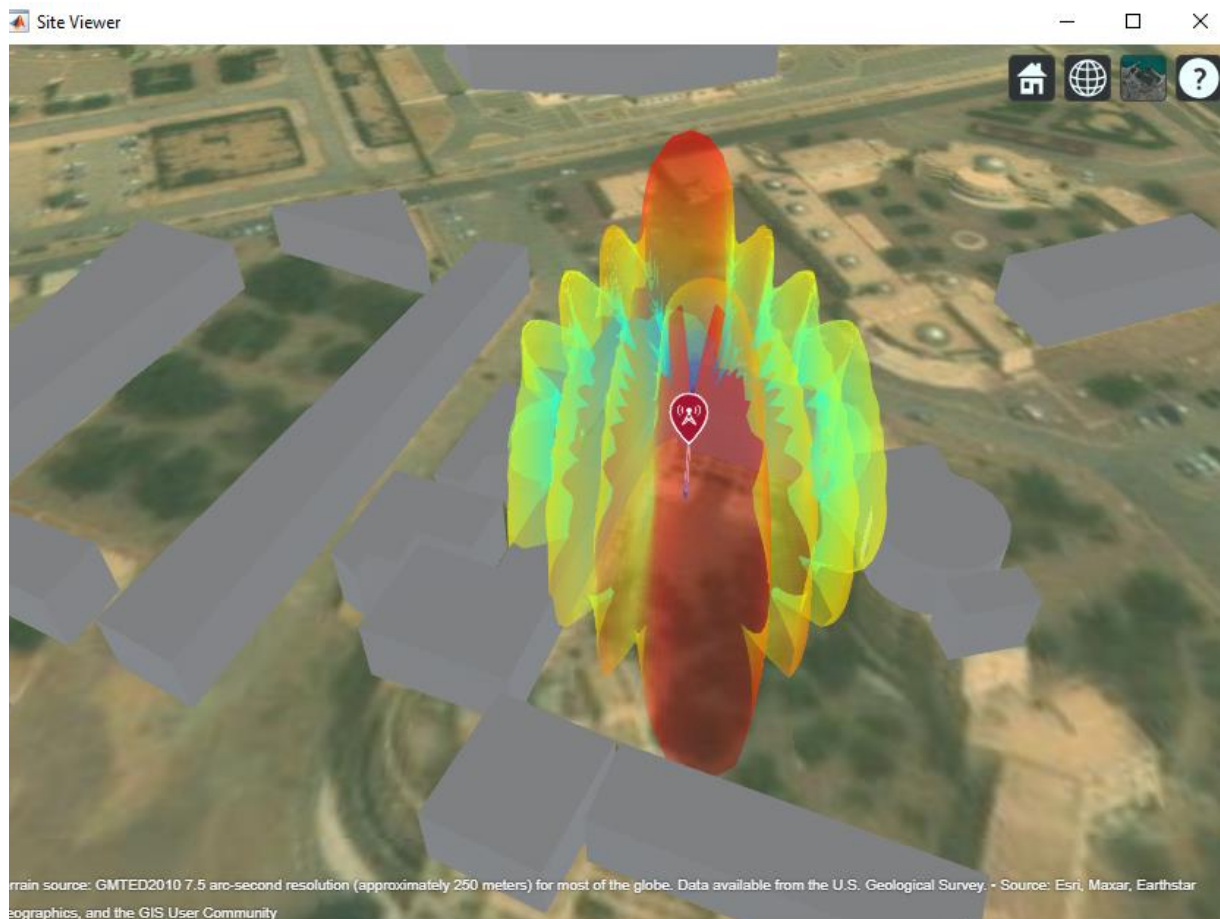


Figure III-10.Couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D

- Cette figure illustre la couverture spatiale de notre antenne en trois dimensions. Elle nous montre comment le champ électromagnétique rayonne dans l'espace à partir de notre antenne, ce qui est important pour évaluer la portée et la directionnalité de notre antenne dans différentes directions.
- ✓ Le tableau III.2 Illustre des informations de site d'émetteur.

La Ville	Code postal	L'espace	Le nom	Les coordonnées
----------	-------------	----------	--------	-----------------

El oued	39000	Faculté	Faculté des technologies	L'attitude	Longitude
				33.396409	6.860836

Tableau III.2. Table d'information de site de l'émetteur

III.5.2 Zone couverte par l'émetteur :

```
% Define the propagation model using the ray tracing image method
pm = propagationModel("raytracing-image-method", ...
    "BuildingsMaterial", "perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial", "perfect-reflector");

% Use the coverage function with the defined propagation model
coverage (tx, pm, ...
    "SignalStrengths", -115:-5, ...
    "MaxRange", 300, ...
    "Resolution", 2, ...
    "Transparency", 0.7);
```

Ce code MATLAB crée un modèle de propagation basé sur la méthode de l'image raytracing avec des réflecteurs parfaits pour les bâtiments et le terrain, puis utilise ce modèle pour calculer la couverture des ondes électromagnétiques dans une zone donnée avec une puissance de signal estimée a (-115 : -5) voire III.11.

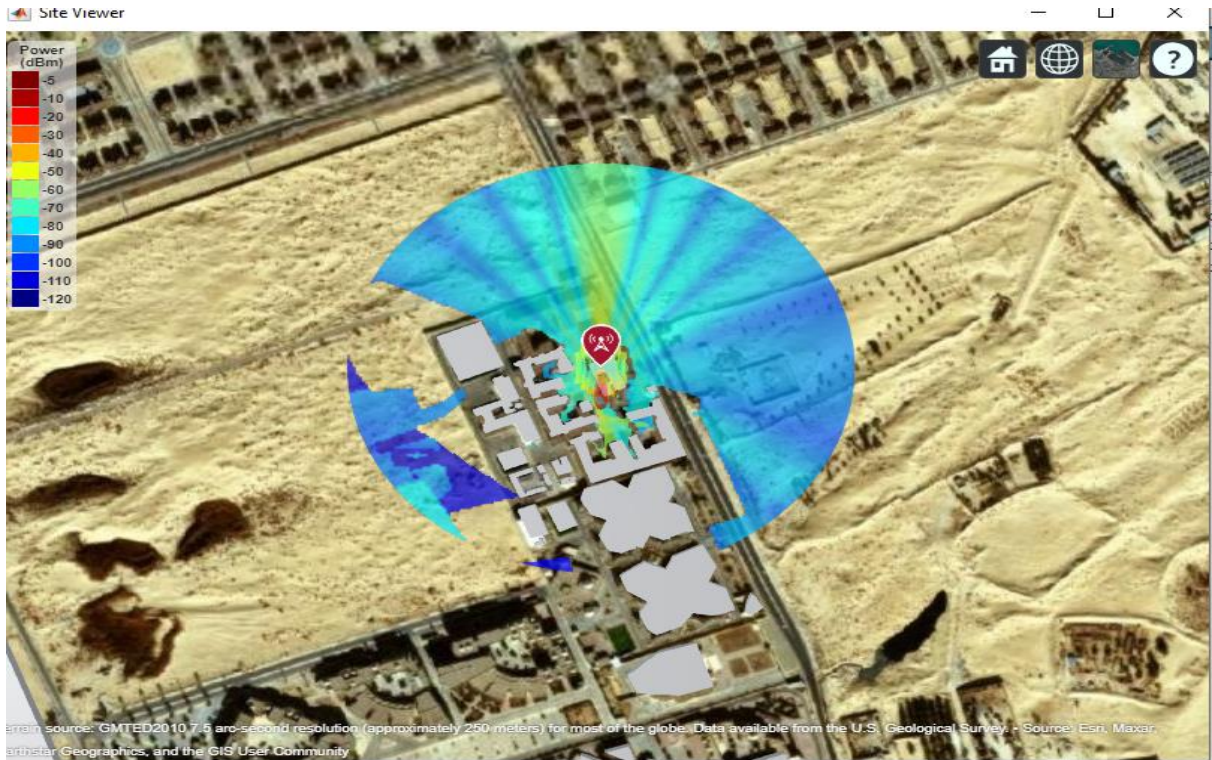


Figure III-11. Zone couverte par l'émetteur

III.6 Modélisation de diffusion LoS and NLoS :

III.6.1 Ligne de mire (LOS) :

La carte de couverture pour la propagation en visibilité directe montre des ombres dues à des obstructions. Définissez un site récepteur pour modéliser un récepteur mobile dans un emplacement obstrué. On trace le chemin en visibilité directe pour montrer le chemin obstrué de l'émetteur au récepteur. (Voir la figure III:12) :

```
rx = rxsite("Name", "Long02", ...
  "Latitude", 33.402426, ...
  "Longitude", 6.859931, ...
  "AntennaHeight", 3, ...
  "ReceiverSensitivity", -130);
show(rx)
los(tx, rx)
```

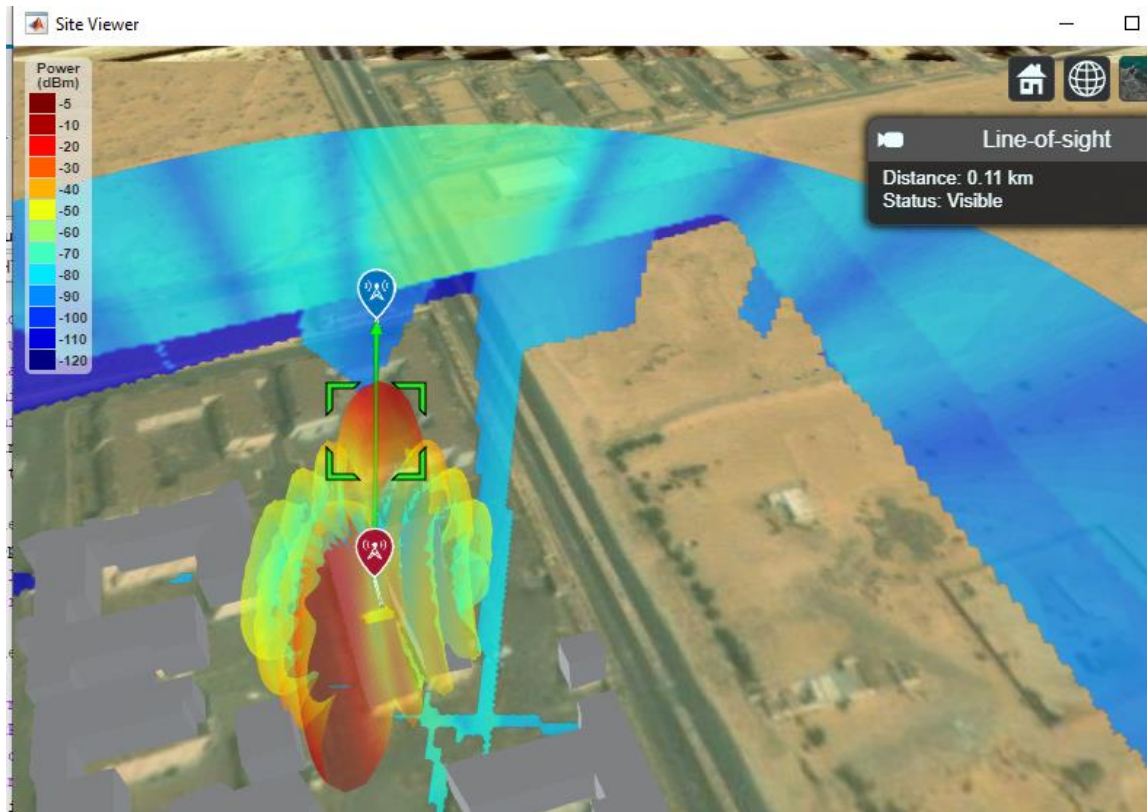


Figure III-12. Carte de couverture pour la propagation en visibilité directe

III.6.2 Sans visibilité directe (NLOS) :

Ajustez le modèle de propagation par tracé de rayons pour inclure les trajets à réflexion unique, puis tracez les rayons. Le résultat montre la propagation du signal le long d'un trajet à réflexion unique. Affichez les caractéristiques de propagation correspondantes, y compris la puissance reçue, le changement de phase, la distance et les angles de départ et d'arrivée, en cliquant sur le trajet tracé.

Le chemin ne se termine pas exactement sur le site du récepteur car la méthode de traçage des rayons SBR calcule des chemins approximatifs.

```
pm.MaxNumReflections = 1;
clearMap(viewer)
raytrace(tx,rx,pm)
```

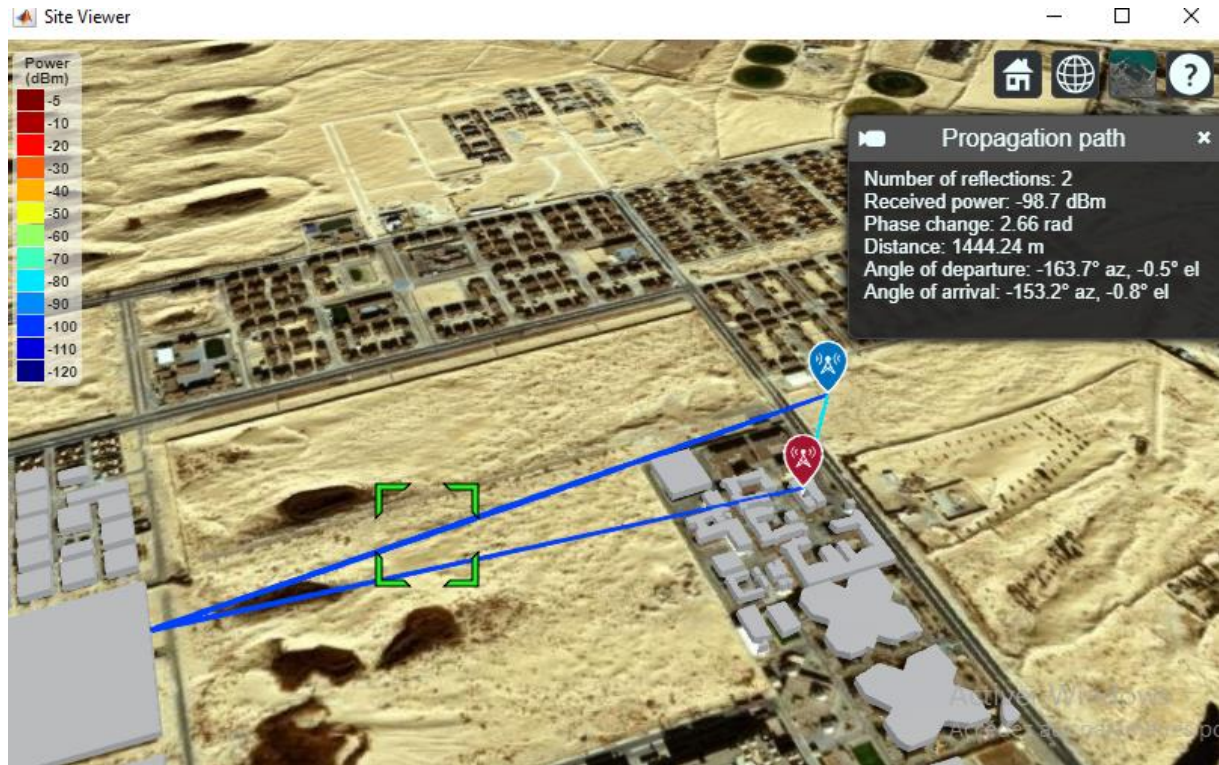


Figure III-13. Trajet entre TX et RX

III.7 Analyse de la puissance du signal et effet des matériaux:

Nous calculons la puissance reçue à l'aide du modèle de propagation qui a été préalablement configuré pour modéliser une réflexion parfaite. Attribuez ensuite un type de matériau plus réaliste et recalculez la puissance reçue. L'utilisation d'une réflexion de matériau réaliste entraîne une perte de puissance d'environ 1 dB par rapport à une réflexion parfaite.

III.7.1 Dans le cas idéal :

```
ss = sigstrength(rx,tx,pm);
disp("Received power using perfect reflection: " + ss + " dBm")
```

Received power using perfect reflection: -81.23306 dBm

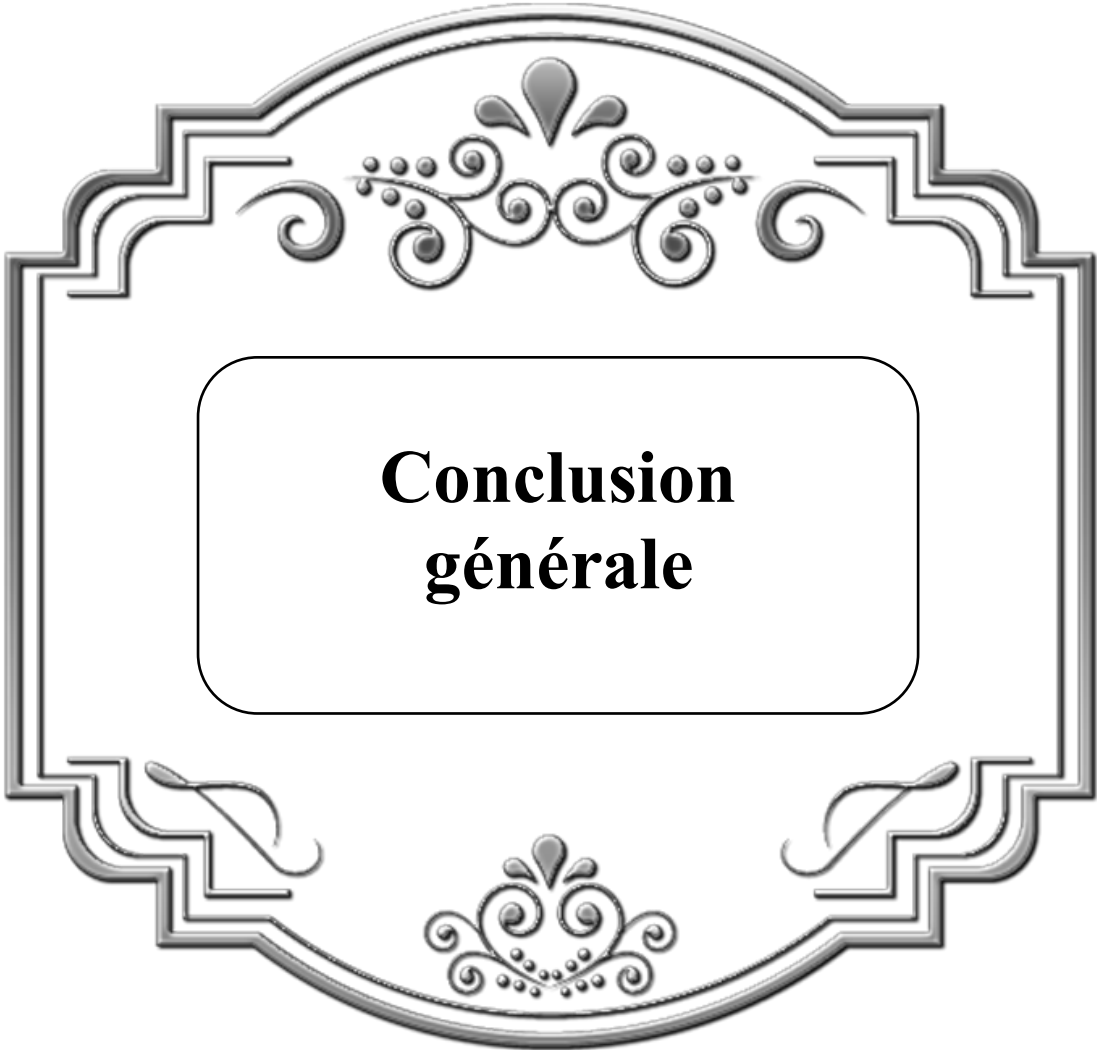
III.7.2 Dans le Cas matériaux réaliste :

```
pm.BuildingsMaterial = "concrete";
pm.TerrainMaterial = "concrete";
raytrace(tx,rx,pm)
ss = sigstrength(rx,tx,pm);
disp("Received power using concrete materials: " + ss + " dBm")
```

Received power using concrete materials: -72.2328 dBm

III.8 Conclusion :

En conclusion, l'utilisation de la technique de ray tracing avec MATLAB offre une approche puissante pour modéliser avec précision la propagation des ondes électromagnétiques dans des environnements urbains complexes. Cette méthode nous permet d'évaluer la couverture et les performances des communications sans fil en prenant en compte les interactions entre les antennes et leur environnement, en réduisant l'impact des obstacles d'infrastructure en augmentant la hauteur des antennes (émetteur ou récepteur), afin d'éviter d'obstruer les paquets d'ondes entre (l'émetteur/récepteur). Nous avons également exploré comment la formation de faisceaux peut être exploitée pour améliorer la couverture et établir des liaisons, en particulier aux fréquences "mmWave".



Conclusion générale

Conclusion générale

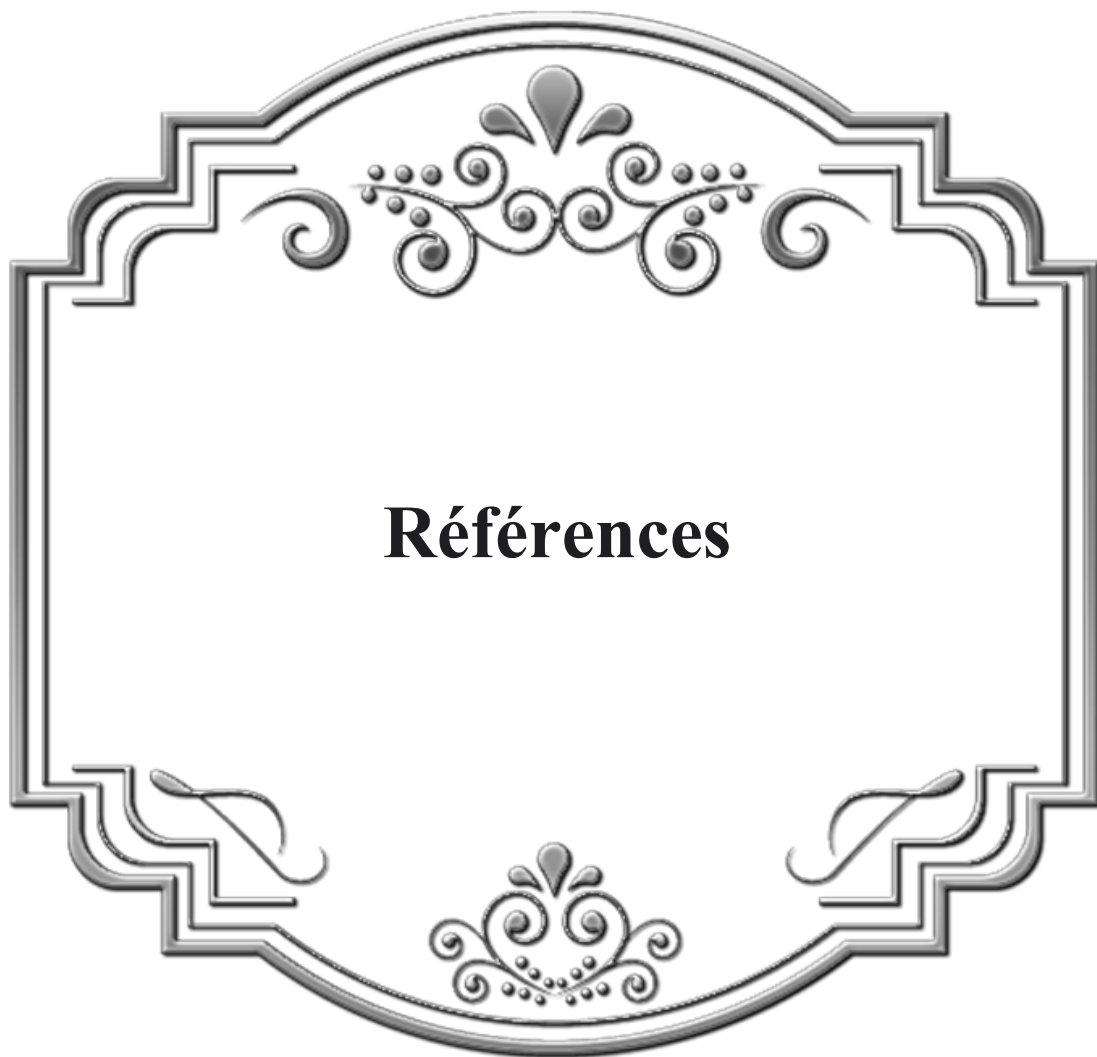
Conclusion Générale

En règle générale, cette étude a renforcé notre compréhension des défis et des possibilités liés à la planification des réseaux 5G, en mettant l'accent sur l'analyse de la couverture à une fréquence de 100 GHz dans la ville de D'El Oued en utilisant la technique du ray tracing.

Dans le 1^{er} chapitre, nous avons étudié les bases de la technologie 5G, mettant en évidence son rôle crucial dans l'évolution des communications sans fil et ses conséquences pour les applications à venir. Dans le deuxième chapitre, nous avons également examiné les caractéristiques des canaux radio, en repérant les principaux éléments qui influencent la propagation des ondes à haute fréquence.

Le troisième chapitre a constitué le cœur de notre étude, où nous avons utilisé la technique du ray tracing pour analyser la couverture à 100 GHz dans la ville de D'El Oued. Les résultats de nos simulations ont fourni des informations précieuses sur la manière dont les ondes radio se propagent dans cet environnement urbain spécifique, offrant ainsi des perspectives importantes pour la conception et le déploiement des réseaux 5G dans la région. Une considération cruciale à prendre en compte est le « path loss » ce qui nous permettra d'avoir une idée pour installer l'émetteur dans un endroit qui offre une plus grande couverture et plus efficacement avec un path-loss réduit.

En associant une méthode théorique à des simulations concrètes, cette étude a permis de mettre en lumière les difficultés et les possibilités associées à l'utilisation des fréquences élevées dans le contexte de la 5G. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour des études ultérieures et fournir des orientations précieuses pour les opérateurs de télécommunications et les décideurs impliqués dans le déploiement des réseaux 5G à l'échelle locale et mondiale.



Références

Références

- [1] Prabesh Paudel and Abhi Bhattarai, 5G Telecommunication Technology: History, Overview, Requirements and Use Case Scenario in Context of Nepal. Conference: IT4D. At: Kathmandu, Nepal. (May 2018).
- [2] BEDDA ZEKRI Abdelbasset “Millimeter Wave (MMW) communications link for future mobile networks (5G and beyond)”, Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, (2018/2019).
- [3] YEZZA Mohammed BEN ABDELHAMID Mohcen Lamine KHENNOUFA Aimen “ Étude et simulation de la couverture 73 GHz à la ville d'El d'El-Oued avec la Technique du Ray Tracing”, Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued , (2020/2021).
- [4] Emine Moutaly, “Etude d’une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G. Traitement du sig- nal et de l’image [eess.SP] ”, Université Paris-Est; Français. NNT : 2019PESC2031. tel-02474810, 2019.
- [5] ERROUANE, M. E. A., & BOUDAUD, “Conception d’un Réseau d’Antennes Patch pour les Réseaux Mobiles 5G Millimétrique. VIAVI Solutions. (n.d.). Qu'est-ce que l'architecture 5G ? VIAVI Solutions”. E. B. (2021).
- [6] ALKAMA Dina BERKOUK Saida “L’optimisation de l’allocation des ressources dans les réseaux cellulaires” , Université de Béjaia Abderrahmane Mira , (2019/2020).
- [7] DACI Kaoutar et DOU Warda, “Etude de massive MIMO pour 5G” , Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, (2018/2019).
- [8] Theodore S. Rappaport. “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice Hall”, ISBN: 978-0130422323, 2001.
- [9] Matthieu Roy. “A ray-based approach for massive MIMO systems: Statistical analysis and digital processing. Signal and Image processing”, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, 2020.
- [10] Frederic Launay “MIMO (Multiple Input Multiple Output) ”, Université de Poitiers, 2019.
- [11] Assane Ngom , “Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables (Small cells) ”, These de doctorat, Université Côte d'Azur (ComUE), 2019.
- [12] Shafi, M., Molisch, A. F., Smith, P. J., Haustein, T., Zhu, P., De Silva, P., ... & Wunder, G. “5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. IEEE journal on selected areas in communications” , 35(6), 1201-1221. (2017).
- [13] Hamza, A. A “Amélioration des techniques d'accès multiple non-orthogonales coopératives (CNOMA) et renforcement de la sécurité de la couche physique pour les systèmes

Références

sans fil au-delà de la 5G (B5G) et des futurs réseaux de eSant”,2023).

[14] ZDNet, “Cloud RAN: L'avenir de la 5G passera par le cloud”, (2024, May 28).

[15] Mini-Circuits. (n.d.). “ The basics of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). Mini-Circuits. ” 2015.

[16] Myung, H. G., & Goodman, D. J, “ Single carrier FDMA: a new air interface for long term evolution”. John Wiley & Sons, (2008).

[17] DEHEMCHI MARWA BOUHAFER ASMA “ Etude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs Pour la 5G ”, Université Guelma , 2019.

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

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

[20] ALAA Choumane," Synthèse d'un canal de propagation par système multiantennes pour la caractérisation déterminaux mobiles à diversité," Thèse de doctorat, Université De Limoges, France, (2011).

[21] Bennaceur Sofiane, Bellahsene Houcin. "Etude et modélisation de canaux SISO dans le cas Outdoor". Université Abderrahmane Mira de Bejaïa ,Faculté de la technologie Département de Génie électrique, 2012-2013.

[22] TSE, DAVID, & VISWANATH, PRAMOD, "fundamentals of wireless communication," cambridge university press, 2005.

[23] Vaughan, R., & Andersen, J. B, "Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications". IEE Press, (2003).

[24] Bai, T., & Heath, R. W. "Coverage and Rate Analysis for Millimeter-Wave Cellular Networks". IEEE Transactions on Wireless Communications, 14(2), 1100-1114, (2014).

[25] HAMOU CHEHRI, " étude et caractérisation d'un canal de propagation pour les réseaux v anet",université du québec en abitibi-témiscamingue, juin,2014.

[26] Pagani, P., & Pajusco, P " Modélisation statistique du canal de propagation Ultra Large Bande par l'analyse de mesures expérimentales". Journées Scientifiques du CNFRS, Paris, France, (2006).

Références

- [27] Rappaport, Theodore S. "Wireless Communications: Principles and Practice". Prentice Hall, 1996.
- [28] Fredrik Tufvesson "Efficient Ray Tracing Simulation",Lund University and Forschungszentrum Telekommunikation Wien GmbH. May 2014.
- [29] [Ray Tracing for Wireless Communications - MATLAB & Simulink \(Consulté le 25 avril 2024\).](#)