

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur**

**et de la Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued**

**Faculté de Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Télécommunication**

**Spécialité : Systèmes de Télécommunication**

## **Thème**

**Étude et simulation de la couverture de 73  
GHz à la ville d'El-Oued avec la Technique du  
Ray Tracing**

**Réalisé par:**

**+ YEZZA Mohammed Lamine  
+ BEN ABDELHAMID Mohcen  
+ KHENNOUFA Aimen**

**Encadré par:**

**+ Dr AJGOU Riadh**

**Année Universitaire : 2020/2021**

الله أكبر

## **remerciments**

**Tout d'abord, tout remerciement et louange à notre Dieu `ALLAH' le  
Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de  
mener à terme ce présent travail.**

**Ce travail a été effectué sous l'encadrement de Dr. AJGOU Riadh, à qui nous  
voudrions témoigner toute notre reconnaissance, pour nous avoir fait  
bénéficier de ses compétences scientifiques.**

**Nous remercions vivement nos familles YAZZA et BENABDELHAMID et KHENNOUFA  
pour leur aide morale et matérielle durant toute la période de préparation.**

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

**Nous tenons à remercier très chaleureusement Dr. Miloudi Mohammed lakhar,  
et Dr. GUERRAH Ayoub pour leur aide et leurs conseils.**

**Mes remerciements à :**

**Toutes nos gratitudees à nos enseignants.**

**Et nos amis.**

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

# *Dédicace*

*À mes parents,*

*À ma famille,*

*À mes amis.*

*Mohammed Lamine*

# *Dédicace*

*À mes parents,*

*À ma famille,*

*À mes amis.*

*Mohcen*

*Dédicace*

*À mes parents,*

*À ma famille,*

*À mes amis.*

*Amen*

## الملخص:

في هذا المشروع ، علينا دراسة تغطية 73 جيجا هرتز في مدينة الواد باستخدام تقنية Ray Tracing في السيناريو الحضري. يمكن أن تساعدنا تقنية تتبع الشعاع في تحليل السيناريوهات الحضرية لتطبيقات الجيل الخامس مع تضمين تأثير المباني. نركز في هذا العمل على تثبيت صفائف الهوائي على الخرائط وتحليل أداء الهوائي ، مع مراعاة تأثيرات الانتشار أيضًا. خلاف ذلك ، سيتعين علينا تصميم الهوائيات و صفائف الهوائي ودمجها في وقت سابق على مستوى النظام. ستوضح لنا العروض التوضيحية العملية كيفية البدء بسرعة في دراسة وتصوير سيناريوهات انتشار الترددات الراديوية.

**كلمات المفاتيح:** الجيل الخامس، الموجات الميليمترية، فقدان المسار، تعقب الشعاع

---

## Abstract:

In this project, we have to study the coverage of 73 Ghz in El Oued city using Ray Tracing technique in Urban scenario. Ray tracing technique can help us with analyzing urban scenarios for 5G applications while including the impact of buildings. In this work we focus on installing antenna arrays on maps and analyzing the antenna performance, also considering propagation effects. Otherwise, will have to designing antennas and antenna arrays and integrating them earlier at the system-level. Practical demonstrations will show us how to quickly get started studying and visualizing RF propagation scenarios.

**Keywords:** 5G; Millimeter wave; path loss; Ray tracing.

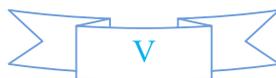
---

## Résumé :

Dans ce projet, nous devons étudier la couverture de 73 Ghz dans la ville d'El Oued en utilisant la technique du Ray Tracing en scénario urbain. La technique de lancer de rayons peut nous aider à analyser des scénarios urbains pour les applications 5G tout en incluant l'impact des bâtiments. Dans ce travail, nous nous concentrons sur l'installation de réseaux d'antennes sur les cartes et l'analyse des performances de l'antenne, en tenant également compte des effets de propagation. Sinon, devra concevoir des antennes et des réseaux d'antennes et les intégrer plus tôt au niveau du système. Des démonstrations pratiques nous montreront comment commencer rapidement à étudier et à visualiser des scénarios de propagation RF.

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

---



# Table des matières

---

Résumé : .....	V
Table des matières .....	VI
Liste des figures .....	IX
Liste des tableaux .....	XI
Listes des acronymes et abréviations .....	XII
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE 01 : Généralité sur la 5G</b>	
<b>1.1 Introduction :</b> .....	3
<b>1.2 Historique :</b> .....	3
<b>1.3 Qu'est-ce que la 5G ? :</b> .....	5
<b>1.4 Cas d'utilisation :</b> .....	6
<b>1.4.1 Cas d'utilisation de l'Internet mobile :</b> .....	6
<b>1.4.2 Cas d'utilisation de l'Internet des objets :</b> .....	8
<b>1.5 Familles d'usage 5G :</b> .....	10
<b>1.5.1 mMTC – Massive Machine Type Communications :</b> .....	10
<b>1.5.2 eMBB – Enhanced Mobile Broadband :</b> .....	10
<b>1.5.3 uRLLC – Ultra-reliable and Low Latency Communications:</b> .....	11
<b>1.6 Bandes de fréquences candidates 5G :</b> .....	11
<b>1.7 Architecture radio des réseaux mobiles 5G :</b> .....	12
<b>1.8. Type de modulation :</b> .....	13
<b>1.9. Structure de trame :</b> .....	13
<b>1.10 Technologies clés :</b> .....	14
<b>1.10.1 Ondes millimétriques :</b> .....	14
<b>1.10.2 Massive MIMO :</b> .....	15
<b>1.10.3 Beamforming :</b> .....	19
<b>1.10.4 Réseau à petites cellules (Small Cell Network) :</b> .....	20
<b>1.10.5 Méthodes duplex :</b> .....	20

1.10.6 Multiplexage NOMA : .....	21
1.11 Conclusion : .....	21
<b>CHAPITER 02 : Caractéristiques des canaux radios</b>	
2.1 Introduction : .....	24
2.2 Environnement radio-mobiles : .....	24
2.3 Canal de propagation : .....	24
2.3.1 Propagation en espace libre : .....	25
2.3.2 Propagation par trajets multiples : .....	26
2.3.3 Principales dégradations de la propagation : .....	26
2.4 Modélisation du canal de propagation : .....	27
2.4.1 Réponse impulsionnelle : .....	27
2.5 Paramètres de caractérisation d'un canal : .....	28
2.5.1 Effet doppler : .....	28
2.5.2 Bande de cohérence ( $B_{co}$ ) : .....	29
2.5.3 Temps de cohérence : .....	29
2.6 Modèle de propagation de canal : .....	29
2.6.1 Modèle déterministe du canal : .....	30
2.6.2 Modèle statistique de canal : .....	30
2.7 Conclusion : .....	30
<b>CHAPITRE 03 : Analyse de la couverture par la technique ray tracing</b>	
3.1 Introduction : .....	32
3.2 Ray Tracing : .....	32
3.3 Importation et visualisation les données de bâtiments 3D dans Site Viewer: .....	34
3.4 Différents types d'antennes et scénarios d'installation : .....	34
3.5 Déterminer la couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D..	37
3.5.1 Définir le site de l'émetteur : .....	37
3.5.2 Zone couverte par l'émetteur : .....	38

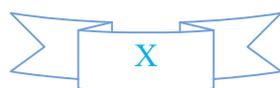
3.5.3 Définir le site de récepteur : .....	39
3.6 Mesures des effets de la propagation RF sur les liaisons TX-RX (directes) en considérant l'effet des bâtiments (indirects) : .....	40
3.6.1 Analyser la puissance du signal et l'effet des matériaux : .....	40
3.7 Travailler sur un système de nouvelle génération qui utilise la formation de faisceau pour améliorer la couverture et suivre les utilisateurs : .....	42
3.7.1 Planification d'une liaison d'accès sans fil fixe 5G sur terrain : .....	42
3.7.2 Créer un site de station de base dans la bande 73 GHz : .....	42
3.7.3 Création des sites récepteurs : .....	43
3.8 Obtenention d'une visibilité directe des liens : .....	43
3.9 Conclusion : .....	45
Conclusion Générale .....	47
Bibliographies .....	48

## Liste des figures

---

<b>Figure 1.1:</b> Vision globale de la 5G .....	6
<b>Figure 1.2:</b> 2010-2030 croissances du trafic de données mobiles .....	8
<b>Figure 1.3:</b> 2010-2030 croissances des connexion IoT .....	9
<b>Figure 1.4:</b> Catégories d'usages de la 5G .....	11
<b>Figure 1.5:</b> Considération générale du spectre pour la 5G .....	11
<b>Figure 1.6:</b> De RAN à C-RAN .....	13
<b>Figure 1.7:</b> Organisation des trames dans la 5G .....	14
<b>Figure 1.8:</b> Le même signal est transmis sur plusieurs intervalles fréquentiels .....	15
<b>Figure 1.9:</b> Le même signal est transmis sur plusieurs intervalles temporels .....	16
<b>Figure 1.10:</b> SISO - Single Input Single Output .....	17
<b>Figure 1.11:</b> SIMO - Single Input Multiple Output .....	17
<b>Figure 1.12:</b> MISO - Multiple Input Single Output .....	17
<b>Figure 1.13:</b> MIMO - Multiple Input Multiple Output .....	18
<b>Figure 1.14:</b> Une illustration de Massive MIMO .....	18
<b>Figure 1.15:</b> Illustration de Beamforming .....	19
<b>Figure 1.16:</b> Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD .....	21
<b>Figure 2.1:</b> Environnement radio mobile .....	24
<b>Figure 2.2:</b> Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile .....	25
<b>Figure 2.1:</b> trois types de variations de la puissance reçues .....	27
<b>Figure 2.4:</b> Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile .....	27
<b>Figure 2.5:</b> L'effet Doppler .....	29
<b>Figure 3.1:</b> Une carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued .....	34
<b>Figure 3.2:</b> l'impédance en fonction de la fréquence .....	35
<b>Figure 3.3:</b> Elément d'antenne dipôle .....	35
<b>Figure 3.4:</b> Matrice linière d'une antenne dipôle .....	36
<b>Figure 3.5:</b> La couverture de l'antenne en 3D .....	36
<b>Figure 3.6:</b> La couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D .....	37
<b>Figure 3.7:</b> La zone couverte par l'émetteur .....	38
<b>Figure 3.8:</b> La carte de couverture pour la propagation en visibilité directe .....	39

**Figure 3.9:** Trajets entre TX et RX .....40  
**Figure 3.10:** Une carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued .....43  
**Figure 3.11:** Trajets entre TX et RX .....44  
**Figure 3.12:** Trajets entre TX et RX .....45



## Liste des tableaux

---

<b>Table 1.1:</b> Spectre 5G proposé.....	<b>12</b>
<b>Table 3.1:</b> Principes appliqués au Ray Tracing.....	<b>33</b>
<b>Table 3.2:</b> Table d'information de site de l'émetteur.....	<b>37</b>
<b>Table 3.3:</b> Table d'information de site du récepteur.....	<b>39</b>
<b>Table 3.4:</b> Table de comparaison.....	<b>42</b>

## Listes des acronymes et abréviations

---

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3D	Tridimensionnel
3G	Troisième Génération
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
BBU	Base Band Unit
Bco	Bande coherence
BTS	Base Transceiver Station
C-RAN	Cloud Radio Access Networks
DL	Down Link
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
FDD	Frequency Division Duplexing
FWA	Fixed Wireless Access
FWT	Fast Wavelet Transform
Gb	Giga bites
GHz	Giga Hertz
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
Hz	Hertz
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
IoV	Internet of vehicles
ITU	Union International des Telecommunications
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution

MHz	Mega Hertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
mm	Millimeter
mMTC	Massive Machine Type Communications
MS	Mobile Station
NLOS	Non Line Of Sight
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
ODbL	Open Data base License
OSM	Open Street Map
PL	Path Loss
Pr	Puissance reçue
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Networks
RRH	Remote Radio Head
S	Seconde
SBR	Shooting and Bouncing Ray
SIMO	Single Input Multiple Output.
SISO	Single Input Single Output
Tco	Temps de cohérence
TDD	Time Division Duplexing
UHD	Ultra Haute Définition
UL	Up Link
UL	Up Link
UMi	Urban micro cell
uRLLC	Ultra-reliable and Low Latency Communications
uRLLC	Ultra-reliable and Low Latency Communications

# Introduction générale

---

Un réseau sans fil est un système de transmission de données flexible et est utilisé comme extension ou alternative à un réseau filaire. Le réseau transmet l'information en ligne et élimine ainsi le besoin de communications passives. Ainsi, le réseau sans fil a recueilli la connectivité des données et l'accessibilité des utilisateurs partout grâce à la technologie des radiofréquences. Les réseaux sans fil sont autour de nous depuis de nombreuses années, et il est considéré comme le premier professeur amérindien à utiliser des peaux de taureaux pour atteindre la communication radio en mettant le feu et en l'enlevant dans les ondes, en vue d'envoyer des signaux de fumée à d'autres sur de longues distances. Et ensuite, on utilise des impulsions légères transportant des informations sur des navires avec du code Morse.

Le monde a connu un développement majeur dans le domaine des réseaux sans fil, à la suite de l'invention de la première et de la deuxième génération, suivies de la troisième et de la quatrième génération. Surtout ces dernières années, la recherche a permis de faire une percée. Ces développements ont conduit à la création d'une nouvelle génération de communications, la cinquième génération, où les pays ont commencé à créer l'infrastructure requise, et plus d'une entreprise a commencé à offrir un téléphone qui supporte la technologie. Ce qui nous permettra de livrer un très grand nombre d'appareils de manière fiable, et de traiter de très grandes quantités de données avec un minimum de délais, les technologies de cinquième génération sont censées fournir des personnes, des choses, des données, des applications, les systèmes de transport et les villes dans des environnements de communication intelligents et connectés. Qu'est-ce que le réseau de cinquième génération ?

Et quelles sont les situations et les familles de leur utilisation ? Quelles sont leurs exigences et leurs caractéristiques ?

Et pour faciliter la compréhension, nous allons faire ces simulations à l'aide de la technique de Ray Tracing.

Le premier chapitre présente l'évolution des réseaux de communication mobile et les généralités sur les réseaux de la cinquième génération (5G). Nous consacrons le deuxième chapitre à l'étude des Caractéristiques des canaux radios comme le LOS et NLOS et environnement radio-mobiles. Le troisième chapitre propose une simulation et Analyse de la couverture par la technique Ray Tracing en utilise le MATLAB.

Enfin, notre mémoire s'achève par une conclusion générale et quelques perspectives.

# **CHAPITRE 01 :**

## **Généralité sur la 5G**

**1.1 Introduction :**

La cinquième génération (5G) a une multitude de fonctionnalités très avancées pour pouvoir résoudre plusieurs problèmes de notre vie quotidienne moderne. La 5G ne s'intéresse pas seulement aux besoins des opérateurs de téléphonie mobile et des communications grand public, mais elle ouvre aussi de nouvelles perspectives de la future. Elle permet la coexistence d'applications et d'utilisations très diverses, unifiés dans une même technologie pour faciliter l'arriver à une société complètement connectée. Cela permettra à tout le monde d'avoir un accès illimité aux informations et aux conversations virtuelles à tout moment, et en tout lieu pour tout le monde. Et il ne s'agit pas seulement d'appeler les gens, mais cela inclut également la possibilité de se connecter à tous les appareils. Dans ce chapitre on va étudier la 5G sous tous ses aspects. Son historique et cas d'utilisation et leur exigence.

**1.2 Historique :**

L'évolution des télécommunications au cours des quarante dernières années a été si rapide. Tout a commencé quand James Clark Maxwell, dans les années 1860, a découvert les champs électromagnétiques et ont suggéré qu'ils pouvaient se déplacer à une vitesse proche de la lumière. Peu de temps après, Heinrich Hertz a trouvé un moyen de produire et de détecter les ondes électromagnétiques, qui s'appellera plus tard les « ondes radio ». Après la découverte de telles ondes, les esprits brillants de cette époque pensaient l'utiliser dans les supports d'information. 1G, également appelé la première génération de technologie de télécommunication a été utilisé pour la première fois par les Américains et les Européens à la fin des années 1940 et 1950 dans leurs appareils de communication. Bien que ces appareils aient été commercialisés pour être des « téléphones mobiles », ils étaient fortement restreints par leur taille, les problèmes de sécurité et l'obstruction dans la transmission des signaux. La première fois qu'un téléphone portable approprié a été introduit, c'est en 1979, lorsque NTT (Nippon Telegraph and Téléphone), ont introduit le réseau cellulaire automatisé, connu sous le nom de réseau cellulaire de première génération. 1G était un moyen très primitif de communication sans fil puisque les données étaient transmises sous forme de signaux analogiques. Même si la transmission contenait beaucoup de bruit, il s'agissait encore d'une percée dans le domaine des télécommunications que les clients ont été présentés par un

véritable "mobile" téléphone. Puis est venu le 2G, la deuxième génération de la technologie de télécommunication. C'est alors que la transmission du signal a radicalement changé. Contrairement à la génération précédente, cette génération utilisait la transmission numérique plutôt que l'analogique. Lancée pour la première fois par Radiolinja en 1991, C'est alors que le monde de la technologie cellulaire a subi un changement de paradigme. Cette technologie a permis de résoudre les problèmes de la génération précédente, c'est-à-dire qu'elle transmettait les signaux sous forme numérique, de sorte que le bruit n'était pas un problème, les données étaient chiffrées numériquement de sorte que seul le récepteur prévu pouvait les recevoir et y accéder. Cela a été rapidement suivi par 2.5G et 2.75G qui étaient une itération légèrement polie de la même technologie. C'est également là que le monde a pu voir les technologies GPRS (General Packet Radio Service) et EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), les systèmes Internet mobiles, qui avaient une bande passante théorique de 50 kilobits par seconde et de 1 mégabit par seconde respectivement.

Un téléphone portable vraiment "mobile" avec un accès Internet comme abonnés. Que pourriez-vous demander d'autre, non ? Mais il s'avère que le monde voulait plus. Même cette "percée radicale" n'a été rendue obsolète qu'au bout d'une décennie, car elle ne pouvait tout simplement pas répondre à la bande passante du courrier électronique et d'Internet, même si elles en étaient à leurs débuts. C'est à ce moment que la 3G a été introduite : la troisième génération de technologie de télécommunication. La technologie 3G a été introduite pour la première fois au Japon par le NTT au début des années 2000. Bien qu'il n'y ait pas eu beaucoup d'amélioration sur les appels téléphoniques et la messagerie, un domaine où 3G éclipse 2G était les taux de données. Les débits de données dans la technologie 2G étaient généralement limités. Avec l'introduction de la 3G, les débits de données ont été augmentés jusqu'à 7,2 mégabits par seconde. Il a également été conçu pour devenir plus sûr en utilisant la sécurité de bout en bout. La technologie 3G a ensuite été suivie de la technologie 3.5G et 3.75G qui ont augmenté les limites de débit de données. Cela aussi était autrefois considéré comme révolutionnaire parce qu'il avait le potentiel de fournir à ses utilisateurs l'accès à Internet à partir de n'importe quel endroit donné. LA quatrième génération (4G) de technologies de télécommunication, a été lancée en 2009 à Oslo et à Stockholm. 4G, ou commercialement aussi appelé le LTE (Long Term Evolution), a fourni significativement des vitesses de données plus rapides avec le plafonnement de téléchargement à plus d'une centaine de mégabits par seconde et le

plafonnement de téléchargement à plus de 50 mégabits par seconde. L'autre amélioration significatif dans la technologie 4G, autre qu'une meilleure sécurité et de cryptage, est la latence. La technologie 4G dispose d'un temps de réponse de 50 millisecondes, ce qui est largement suffisant pour toute tâche imaginable au moment de sa sortie. Cependant, comme nous l'avons dit plus tôt, juste au moment où nous pensons que nous y sommes presque, il s'avère qu'il y a encore un mille de voyage devant nous. [1]

Comme d'habitude, la question qui se pose avons-nous atteint la perfection ? Et comme d'habitude, la seule réponse est non. Parce que la marche de l'évolution ne s'est jamais arrêtée et nous a amenés à ce qu'on appelle la cinquième génération(5G).

### **1.3 Qu'est-ce que la 5G ? :**

La définition exacte de la 5G a toujours été débattue. Dans un récent rapport publié par GSMA (Global System for Mobile Communications) Intelligence, ils décrivent deux points de vue sur la technologie 5G qui existent aujourd'hui :

La vision hyper-connectée et la technologie d'accès radio de nouvelle génération. La première, la vision hyper-connectée, est décrite comme une nouvelle technologie où toutes les fonctionnalités utiles des générations existantes comme la 2G, 3G, et 4G sont grattés pour créer un meilleur système qui peut fournir aux utilisateurs des implications plus larges que la 4G et LTE (Long Term Evolution) qui existent aujourd'hui. Même si cette technologie offre un meilleur service que n'importe quelle autre technologie existante, on ne peut la considérer comme un véritable « changement de génération ». C'est là qu'intervient le concept d'une technologie d'accès radio de prochaine génération.

L'idée est de fournir aux utilisateurs la bande passante de plus d'un gigabit par seconde et un temps de réponse inférieur à une milliseconde (latence).

À l'heure actuelle, il existe une norme qui doit être respectée par une technologie pour être considérée comme la 5G :

- Connexions de 1 à 10 Gbps aux extrémités du champ
- 1 milliseconde de retard de l'aller-retour de bout en bout (latence)
- 1000x de bande passante par unité de surface
- 10-100x nombre d'appareils connectés

- (Perception de) 99,999 % de disponibilité
- (Perception de) 100% de couverture
- Réduction de 90 % de la consommation d'énergie du réseau
- Autonomie jusqu'à dix ans pour les dispositifs de type machine à faible puissance [1]

**1.4 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 1.1). 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 [2], et ils déclencheront un large éventail de cas d'utilisation.



**Figure 1.1:** Vision globale de la 5G [3]

**1.4.1 Cas d'utilisation de l'Internet mobile :**

Internet mobile bouleverse le modèle commercial traditionnel des communications mobiles, permettant des expériences utilisateur sans précédent et ayant un impact profond sur tous les aspects du travail et de la vie des personnes. Internet mobile favorisera

l'évolution continue de la façon dont l'information interagit entre les humains et offrira aux utilisateurs une expérience ultime grâce à des services plus immersifs, notamment :

- Services vidéo, tels que la vidéo immersive Ultra Haute Définition (UHD) et la vidéo tridimensionnelle (3D)
- Réalité augmentée
- Réalité virtuelle
- Partage de vidéos et de photos dans un stade ou lors d'un rassemblement en plein air
- Applications de jeu en ligne
- Cloud mobile/cloud de bureau
- Internet tactile
- Informatique à distance
- Connectivité 3D : avions
- Connectivité 3D : drones
- Robots collaboratifs
- Services de diffusion, comme les nouvelles et l'information locales, régionales et nationales
- Bureau intelligent

Le développement futur de l'Internet mobile va déclencher la croissance du trafic mobile d'une magnitude de milliers dans l'avenir comme présenté sur la Figure 1.2, et promouvoir une nouvelle onde de mises à niveau et une révolution dans les technologies des communications mobiles et l'industrie des télécommunications dans son ensemble. [3]

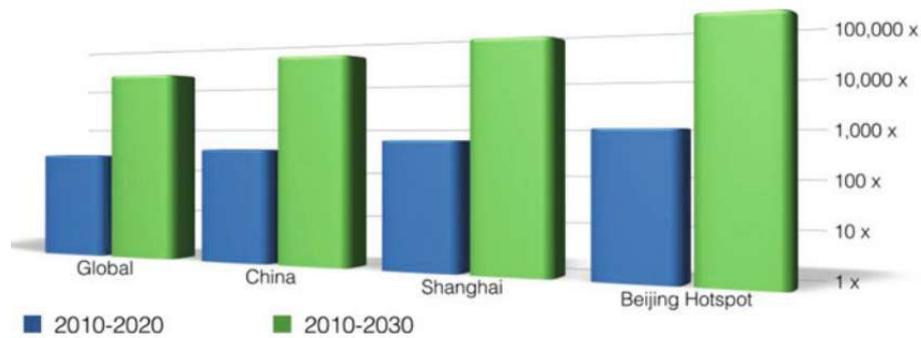


Figure 1.2: 2010-2030 croissances du trafic de données mobiles

1.4.2 Cas d'utilisation de l'Internet des objets :

L'internet des objets (IoT) a étendu la portée des services de communications mobiles des communications interpersonnelles à l'interconnexion entre les appareils intelligents, et entre les personnes et les choses, permettre aux technologies de communications mobiles de pénétrer dans des industries et des domaines plus vastes.

Des applications telles que la santé mobile, l'Internet des véhicules (IoV), la maison intelligente, le contrôle industriel et la surveillance de l'environnement stimuleront la croissance explosive des applications d'internet des objets (IoT) comme illustré à la figure 1.3, facilitant la connexion de centaines de milliards d'appareils à un réseau créant un véritable « Internet de tout ». Cela donnera naissance à des industries émergentes d'une envergure sans précédent et insufflera une vitalité infinie aux communications mobiles. Parallèlement, le grand nombre d'appareils interconnectés et les services internet des objets (IoT) diversifiés poseront également de nouveaux défis aux communications mobiles. Les cas d'utilisation potentiels de l'IoT comprennent :

- Surveillance des réseaux intelligents et des infrastructures essentielles
- Suivi environnemental
- Agriculture intelligente
- Compteurs intelligents
- Services de cybersanté
- Manipulation d'objets à distance comme la chirurgie à distance

- Conduite automobile/Internet des véhicules
- Des wearables intelligents, comme le sport et la forme physique
- Réseaux de capteurs
- Vidéosurveillance mobile
- Villes intelligentes
- Transport intelligent
- Maison intelligente
- Contrôle industriel

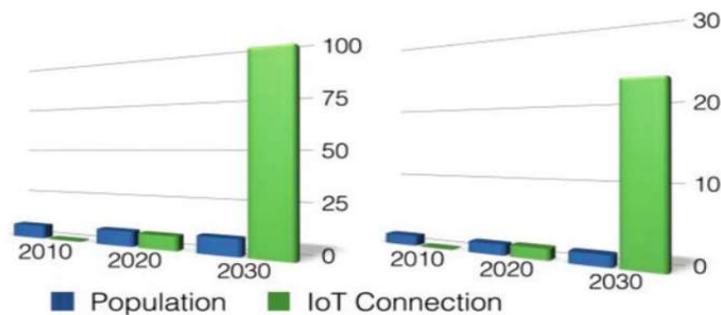


Figure 1.3: 2010-2030 croissances des connexion IoT

L’IoT est axé sur les communications entre les choses et entre les choses et les personnes, impliquant non seulement les utilisateurs individuels, mais aussi un grand nombre de clients industriels verticaux différents. Les types de services IoT et les exigences pertinentes des services IoT sont très diversifiés. Pour les services tels que la maison intelligente, le réseau intelligent, la surveillance environnementale, l’agriculture intelligente et les compteurs intelligents, le réseau devra prendre en charge une quantité massive de connexions d’appareils et de petits paquets de données fréquents.

Les services comme la vidéosurveillance et la santé mobile auront des exigences strictes sur les taux de transmission, tandis que les services comme l’IOV et le contrôle industriel exigeront une latence de milliseconde et une fiabilité de près de 100 %. De plus, de nombreux appareils IoT peuvent être déployés dans des régions éloignées ou dans des zones où les pertes de transmission peuvent être un problème, comme les coins intérieurs,

les sous-sols et les tunnels. Par conséquent, la couverture des réseaux de communications mobiles doit être encore améliorée. Afin de pénétrer dans plus de services IoT, la 5G devrait être plus flexible et plus évolutive, pour prendre en charge les connexions massives des appareils et répondre aux diverses exigences des utilisateurs.

Les utilisateurs attendent des services et des expériences plus efficaces et plus rentables avec l'Internet mobile et l'IoT. En plus de satisfaire les exigences en matière de coûts et d'expérience, la 5G devra également répondre à des exigences de sécurité extrêmement élevées, notamment pour les services tels que les services bancaires électroniques, la surveillance de la sécurité, la conduite sécuritaire et la santé mobile. La 5G permettra également de réduire la consommation d'énergie afin de construire des réseaux de communication mobiles plus écologiques et de prolonger la durée de vie de la batterie, en particulier pour certains appareils IoT. [3]

### **1.5 Familles d'usage 5G :**

Trois grandes catégories d'usages (définies par l'ITU, sous le terme IMT- 2020), la figure 1.4 présente les trois catégories, avec leurs exigences respectives et potentiellement incompatibles entre elles, sont en train d'émerger et permettraient de répondre aux besoins métier mentionnés en introduction :

#### **1.5.1 mMTC – Massive Machine Type Communications :**

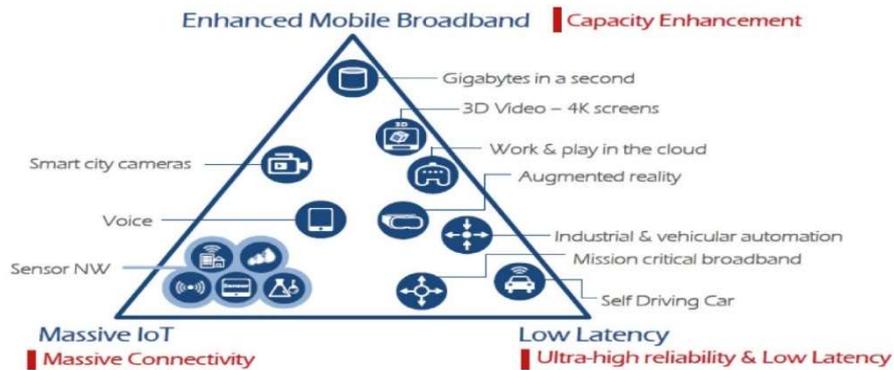
Ce cas d'utilisation est caractérisé par un très grand nombre d'appareils connectés transmettant généralement un volume relativement faible de données non sensibles aux rapports de vitesse. Les appareils doivent être peu coûteux et avoir une autonomie très longue. L'objectif de cette catégorie est de répondre à l'augmentation exponentielle de la densité d'objets connectés.

#### **1.5.2 eMBB – 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.[4]

1.5.3 uRLLC – Ultra-reliable and Low Latency Communications:

Ce cas d'utilisation comporte des exigences strictes en ce qui concerne les capacités telles que le débit, la latence et la disponibilité. Parmi les exemples figurent le contrôle sans fil des processus industriels de fabrication ou de production, la chirurgie médicale à distance, l'automatisation de la distribution dans un réseau intelligent, la sécurité des transports, etc.



(Source: ETRI graphic, from ITU-R IMT 2020 requirements)

Figure 1.4: Catégories d'usages de la 5G [5]

1.6 Bandes de fréquences candidates 5G :

Le monde est-il prêt à fournir suffisamment de bandes de fréquences pour la 5G ?. Du point de vue de l'étude, les bandes potentielles peuvent être divisées en deux parties : les bandes inférieures à 6 GHz et supérieures [6]. Comme expliqué dans la figure 1.5.



Figure 1.5: Considération générale du spectre pour la 5G

L'utilisation des ondes millimétriques offrira un nouveau spectre de 100 GHz pour la communication mobile, soit un spectre 200 fois plus grand que celui utilisé dans les bandes inférieures à 3GHz, même si ces fréquences sont à faible propagation en distance, mais elles répondent à l'incessante augmentation des débits et à l'inflation des volumes de données échangés. Le tableau 1.1 présente les différentes bandes de fréquence que vont utiliser les réseaux 5G. [7]

Objectif principal	Bandes de fréquence	Avantages
Coverage Layer	Fréquences basses (< à 2 GHz) e.g. 700 MHz et 1400 MHz Une	couverture très importante
Coverage and Capacity Layer	Fréquences moyennes (2-6 GHz) e.g. 3400-3800 MHz	Meilleur compromis entre capacité et couverture
Super Data Layer	Fréquences hautes "mm" (> à 6 GHz) e.g. 24.25-29.5 GHz et 37-43.5 GHz	Adresser les cas d'usage exigeant des débits élevés.

**Table 1.1:** Spectre 5G proposé

**1.7 Architecture radio des réseaux mobiles 5G :**

Afin de toujours faire évoluer les débits ainsi que l'expérience des utilisateurs, les chercheurs et ingénieurs améliorent constamment l'architecture des réseaux mobiles. Ce qui distingue la structure d'un réseau 5G des réseaux de télécommunication connus jusqu'à maintenant est la séparation entre les différents systèmes constituant l'infrastructure réseau physique (relais, antennes, etc.) et l'architecture logicielle. [7]

- **Du RAN au Cloud RAN:**

Dans l'architecture RAN (Radio Access Networks) traditionnelle, chaque station de base gère des signaux d'émission/réception pour un certain nombre d'utilisateurs sur une zone géographique spécifique. Avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs, cette architecture RAN fait face à de sérieux problèmes d'interférences et donc à la dégradation de la QoS (Quality of Service). [8]

Le C-RAN (Cloud Radio Access Networks) a été présenté comme une technologie prometteuse qui améliore les performances du réseau et réduit les dépenses, elle joue un rôle primordial dans la gestion des ressources radios et des ressources de calcul du système.

Le concept clé du C-RAN est de décomposer la station de base conventionnelle en une entité de traitement en bande de base, connue sous le nom de Base Band Unit (BBU), et en une tête de transmission radio à faible coût, appelée Remote Radio Head (RRH), comme le

montre la figure 1.6. Alors que les RRHs sont réparties sur plusieurs sites, les BBU sont regroupées dans un 12 Chapitre 1. Bases sur les communications sans fil 5G centre de données appelé BBU pool afin d’optimiser l’utilisation des BBU fortement et faiblement chargés. Le lien entre les deux entités est une interface en fibre optique [9].

Le réseau Cloud RAN consiste à virtualiser les fonctionnalités de bande de base dans le cloud pour une gestion centralisée. Il constitue le réseau d’accès le plus prometteur pour la nouvelle génération des réseaux 5G. [7]

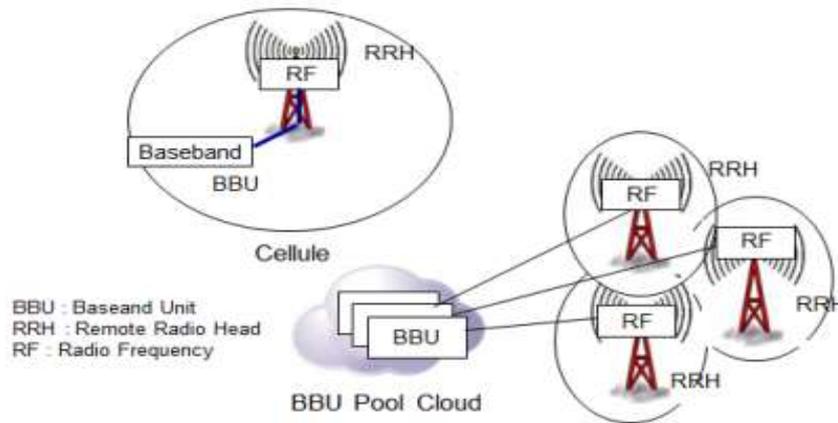


Figure 1.6: De RAN à C-RAN

**1.8. Type de modulation :**

Dans les systèmes sans fil, la principale limitation sur l’ordre de la QAM est le rapport signal-bruit, lorsqu’on envoie plusieurs informations simultanément, la transmission devient très sensible aux perturbations. Grâce à l’amélioration du bilan de liaison de la 5G, via des technologies de traitement de signal, la modulation pourra atteindre l’ordre QAM256, c’est-à-dire que 8 bits d’information seront transmis à chaque instant, soit une augmentation de la capacité maximale de 33% (dans des conditions idéales). Cette modulation améliorée offre une excellente efficacité spectrale et permet de réaliser des débits de données très élevés, elle sera également déployée sur les réseaux 4G évolués.[7]

**1.9. Structure de trame :**

Structure de trame Les transmissions en liaison descendante et montante sont organisées en trames d’une durée de 10 ms, figure 1.7, chacune divisée en dix sous-trames de 1 ms. [10]

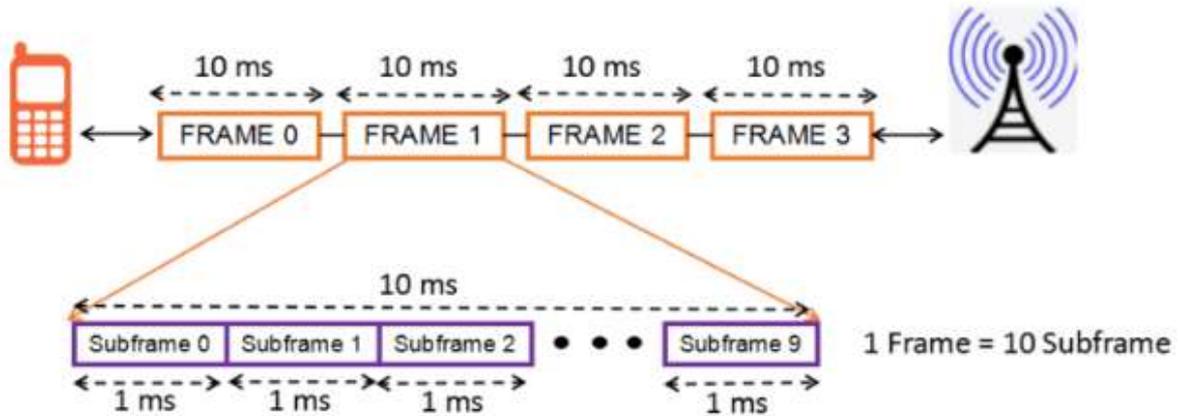


Figure 1.7: Organisation des trames dans la 5G [11]

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. [10]

## 1.10 Technologies clés :

### 1.10.1 Ondes millimétriques :

Alors qu'il est encore largement testé, l'utilisation de bandes de spectre à haute fréquence au-dessus de 24 GHz, onduement connu sous le nom d'onde millimétrique (mmWave), émerge comme une technologie 5G clé. L'utilisation de ces bandes est très convaincante, car les grandes largeurs de bande (centaines de Mégahertz) disponibles à ces fréquences élevées permettent des débits de données extrêmement élevés et des augmentations importantes de la capacité.[6]

Plus que ça, pour les bandes inférieures à 6 GHz la plupart des fréquences sont déjà utilisées.[12]

La demande mondiale sans cesse croissante de services mobiles à large bande améliorés rend nécessaire l'accès à plus de spectre sans fil. Le spectre est l'élément vital de la connectivité mobile – l'accès à plus de spectre augmente la capacité du réseau, ce qui signifie des débits de données plus rapides et de meilleures expériences pour les utilisateurs. L'une des principales possibilités offertes par la 5G consistera à utiliser de nouvelles bandes à spectre plus élevé qui ne convenaient pas auparavant aux communications mobiles.

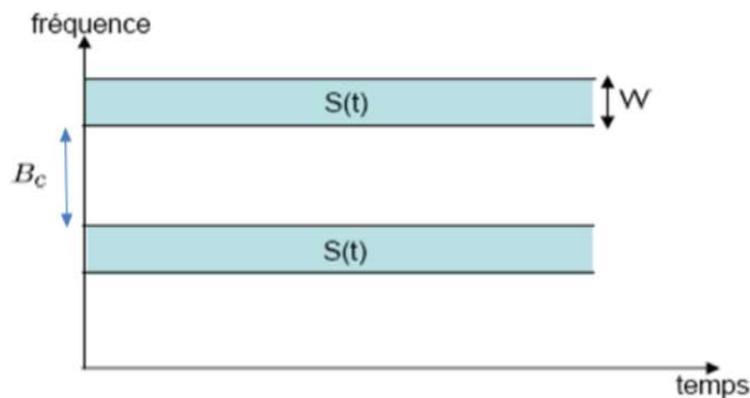
1.10.2 Massive MIMO :

1.10.2.1 Description de la technologie MIMO :

Les systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) sont l'un des principaux axes de développement pour augmenter les débits des communications sans fil. Leur particularité réside donc dans l'utilisation simultanée de plusieurs antennes émettrices et réceptrices (qui utilise plusieurs émetteurs et récepteurs pour transférer plus de données en même temps). D'autant plus, ces systèmes permettent d'améliorer les performances des appareils et permettent d'atteindre à la fois de très hautes efficacités spectrales et de lutter efficacement contre les évanouissements du signal. L'idée générale est de tirer profit de la dimension spatiale du canal et d'exploiter les trajets multiples plutôt que de les supprimer.

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 (voir la figure 1.8).



**Figure 1.8:** Le même signal est transmis sur plusieurs intervalles fréquentiels

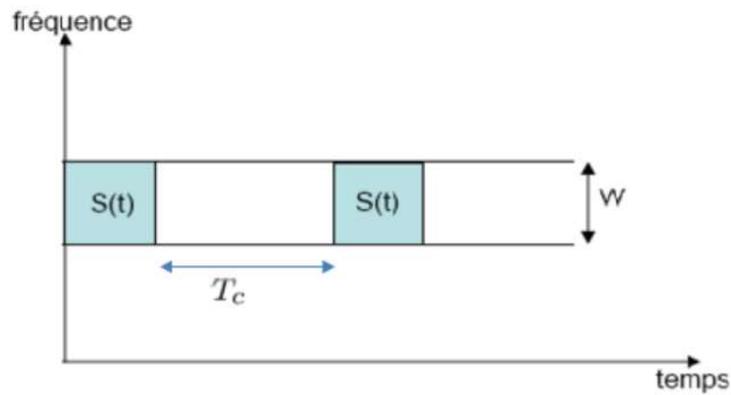
Où :

$S(t)$  : est le signal transmis sur plusieurs intervalles fréquentiels.

$B_c$  : est la largeur de bande de cohérence du canal.

$W$  : est la largeur de bande du signal.

- ❖ **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 ( voir la figure 1.9).



**Figure 1.9:** Le même signal est transmis sur plusieurs intervalles temporels

Où :

$S(t)$  : est le signal transmis sur plusieurs intervalles temporels.

$T_c$  : est le temps de cohérence du canal.

$W$  : est la largeur de bande du signal.

### 1.10.2.2 Types de MIMO:

SISO - Single Input Single Output

SIMO - Entrée unique Sortie multiple

MISO - Sortie unique à entrées multiples

MIMO - Entrée multiple Sortie multiple

### 1.10.2. Différentes formes de liaisons :

#### ❖ 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 comme présentée dans la figure 1.10.



Figure 1.10: SISO - Single Input Single Output

❖ MIMO – SIMO

La version SIMO ou MIMO à sorties multiples et à entrer unique se produit lorsque l'émetteur a une seule antenne et que le récepteur dispose de plusieurs antennes Comme présentée dans la figure 1.11.



Figure 1.11: SIMO - Single Input Multiple Output

❖ MIMO – MISO

La version MISO ou MIMO a entrée multiples et à sorties unique se produit lorsque l'émetteur dispose de plusieurs antennes et que le récepteur a une seule antenne Comme présentée dans la figure 1.12.



Figure 1.12: MISO - Multiple Input Single Output

❖ MIMO – MIMO

MIMO est une technologie qui utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur (figure 1.13).

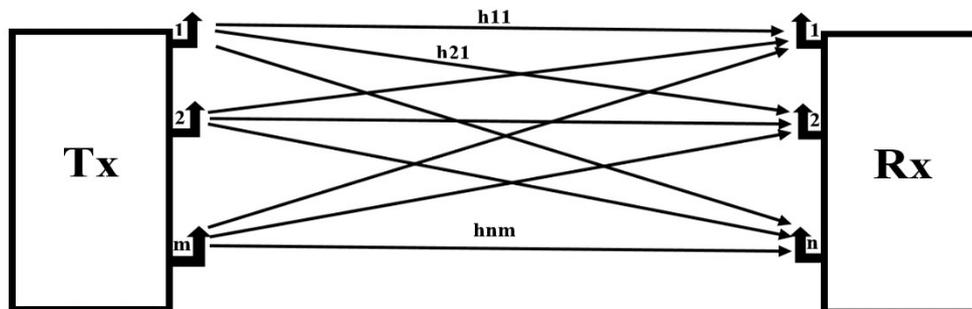


Figure 1.13: MIMO - Multiple Input Multiple Output

1.8.2.4 Catégories de la technique MIMO sont :

- ❖ **Diversité spatiale** : La diversité spatiale est souvent utilisée dans ce sens étroit se réfère à transmettre et recevoir la diversité.
- ❖ **Multiplexage spatial** : cette forme de MIMO est utilisée pour fournir une capacité de données supplémentaire.

1.10.2.5 Massive MIMO :

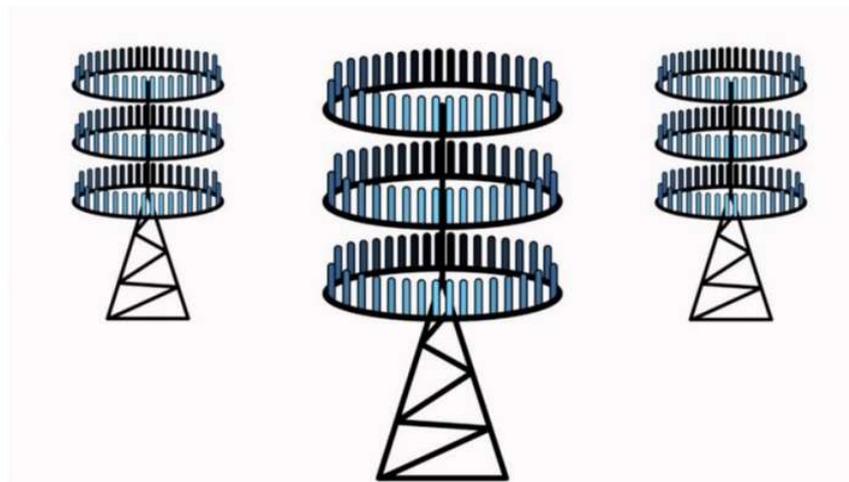
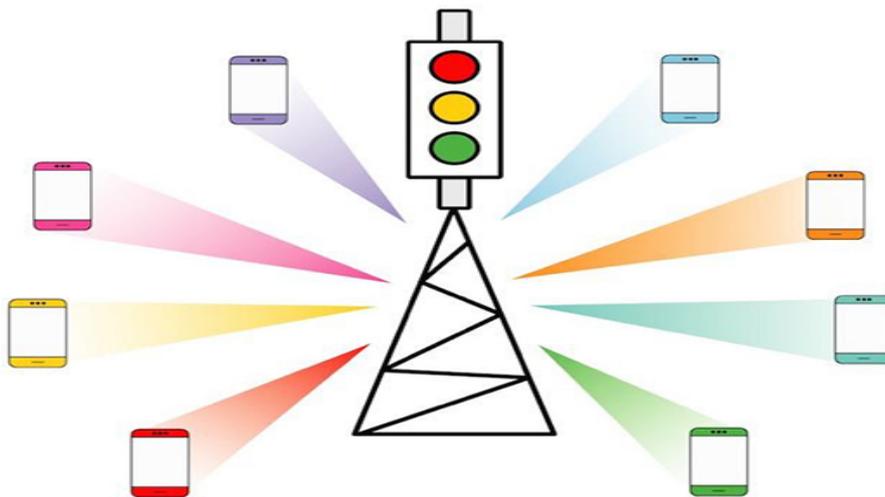


Figure 1.14: Une illustration de Massive MIMO

Massive MIMO est l'un des fondements de la technologie 5G. Alors que les technologies traditionnelles de télécommunication utilisent le MIMO standard, où les stations de base utilisent entre deux et quatre d'antennes, la technologie Massive MIMO utilise un grand nombre d'antennes (Figure 1.14), qui peuvent être quelques dizaines et parfois même quelques centaines. Cette augmentation exponentielle du nombre d'antennes peut aider à soutenir beaucoup d'appareils dans une petite zone. Comme Huawei l'indique dans son rapport, la 5G pourrait fournir jusqu'à un million de connexions par kilomètre carré. C'est loin d'être possible avec le MIMO standard existant, d'où le Massive MIMO.

### 1.10.3 Beamforming :

Est un système de signalisation du trafic (Figure 1.15) pour stations de base cellulaires qui identifie la voie de transmission de données la plus efficace pour un utilisateur particulier et réduit les interférences pour les utilisateurs à proximité. Aux stations de base Massive MIMO, des algorithmes de traitement du signal tracent le meilleur itinéraire de transmission par voie aérienne vers chaque utilisateur. Ils peuvent ensuite envoyer des paquets de données individuels dans de nombreuses directions différentes, en les renvoyant des bâtiments et d'autres objets selon un modèle parfaitement coordonné. En résumé, pensez à la technologie Massive MIMO en tant que structure 3D massive augmentant les capacités de couverture horizontale et verticale.[10]



**Figure 1.15:** Illustration de beamforming

---

#### 1.10.4 Réseau à petites cellules (Small Cell Network) :

Small Cell Network n'est rien d'autre qu'un concept de contourner un obstacle plutôt que de l'affronter. Comme dit précédemment, les ondes millimétriques ont du mal à traverser les obstacles, le feuillage et la pluie. Donc, un petit réseau de cellules permet au signal de passer l'obstacle. D'énormes stations Massive MIMO diffusent les signaux sur de longues distances. Pourtant, l'ajout de milliers de petites sous-stations de faible puissance tout autour de la ville résoudrait le problème des signaux bloqués par les infrastructures.[1]

#### 1.10.5 Méthodes duplex :

La technologie full duplex a plus de dix ans, mais elle suscite un regain d'intérêt chez certains opérateurs mobiles et fournisseurs d'infrastructures en raison de sa capacité à utiliser le spectre de façon plus efficace. Au moment où les exploitants tentent d'obtenir plus de spectre pour la 5G, toute technologie qui offre un moyen d'utiliser plus efficacement le spectre existant mérite une inspection plus poussée.

Pour comprendre pourquoi la technologie full duplex est si convaincante, il est important de comprendre d'abord comment les réseaux 3G et 4G gèrent les signaux en liaison montante vs en liaison descendante. Il existe deux configurations de base :

- Pour les systèmes de téléphonie mobile précédents, ils ont utilisés des systèmes FDD (Frequency Division Duplexing) ou TDD (Time Division Duplexing), nommée semi-duplex, nécessitant l'utilisation de deux canaux différents, un pour la liaison montante (UL) et un autre pour la liaison descendante (DL), ce système est basé sur l'utilisation de la largeur de bande totale du canal dans les deux zones du spectre. Alors la propagation entre les bandes d'émission et de réception sera également dans des instants différents (pas de communication simultanée). Alors, l'utilisation des filtres devient plus difficile et plus complexe surtout dans le cas où plusieurs bandes sont utilisées parce que ces derniers sont importants pour augmenter la taille et le coût, ceci introduit des pertes supplémentaires dans la liaison. Deuxièmement les systèmes TDD, qui consiste à allouer des canaux temporels en fonctions de l'émission et de réception dans laquelle la liaison montante et la liaison descendante sont effectuées sur le même canal avec la même fréquence. Les canaux sont pratiquement un peu courts, Donc on sent que la transmission dans les deux directions est instantanée. [13]

- Le duplex complet (full duplex) est différent. La technologie promet de donner aux réseaux sans fil la capacité de transmettre et de recevoir simultanément des signaux sans fil sur un seul canal de spectre. Dans la figure 1.16 Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD.

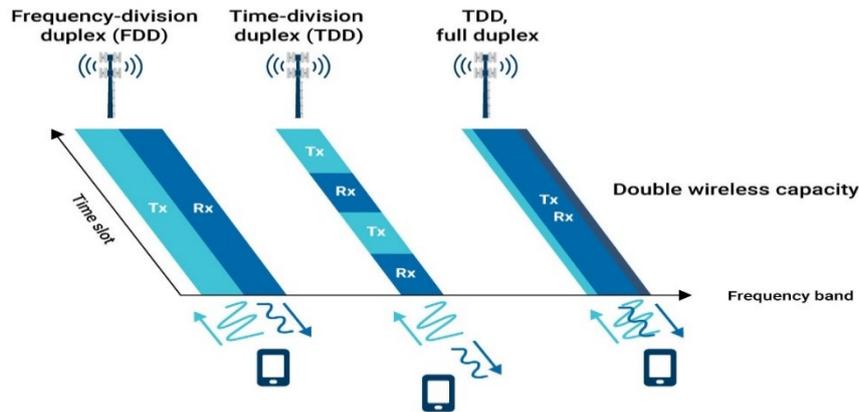


Figure 1.16: Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD [14]

**1.10.6 Multiplexage NOMA :**

La technologie NOMA (Non-orthogonal multiple access) a récemment été proposée en tant que technique de transmission pour les réseaux 5G, et promet d’augmenter considérablement l’efficacité spectrale et énergétique par rapport à la norme 4G actuelle qui utilise le multiplexage sur fréquences orthogonales OFDM. La principale raison de l’adoption de NOMA en 5G tient à sa capacité à servir plusieurs utilisateurs en utilisant les mêmes ressources de temps et de fréquence. En NOMA, plusieurs utilisateurs sont multiplexés en puissance dans l’émetteur, et la séparation des signaux a lieu dans le récepteur, par des techniques d’annulation d’interférence. Cependant, la nonorthogonalité des signaux complique les tâches d’allocation du spectre et de la puissance, par rapport au cas de l’OFDM classique. Nous allons détailler encore plus sur cette technologie dans les prochains chapitres. [7]

**1.11 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons abordé quelques généralités sur les réseaux de la cinquième génération (5G), à partir du développement de la réseau son fil, et en passant par les cas d'utilisation et son architecture et ses défis (une 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.

Malgré les défis difficiles requis par le réseau de cinquième génération, dont nous avons parlé précédemment, il n'a pas fait obstacle aux objectifs souhaités par les chercheurs, ils ont apporté des solutions à tous les obstacles sans exception.

Et bientôt nous parlerons des réseaux de quatrième génération comme s'ils étaient de l'ère de l'ignorance en raison des grandes capacités qui caractérisent les réseaux de cinquième génération.

Et pour continuer le bien comprendre de cette génération nous besoin d'étudier caractéristiques des canaux radios qui auront expliqué au prochain chapitre.

# CHAPTER 02 :

## Caractéristiques des canaux radios

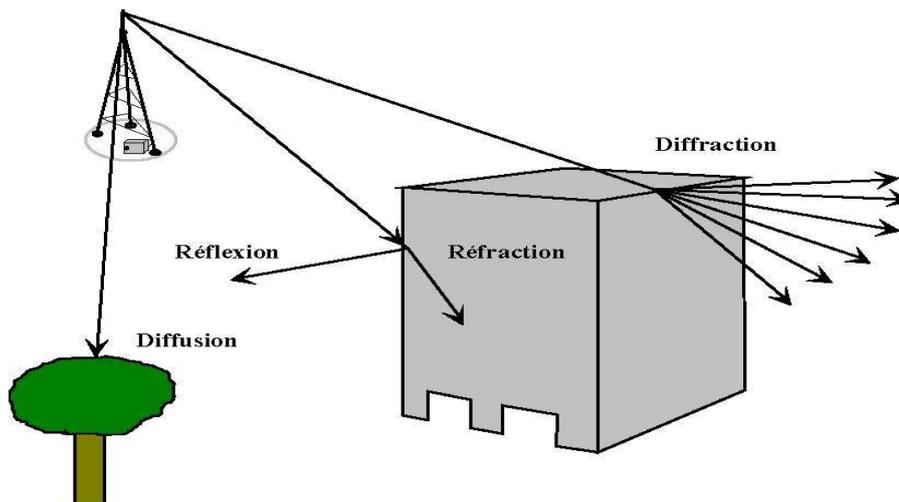
**2.1 Introduction :**

Pour la partie des réseaux sans fil, le canal caractérisant la propagation de l'onde électromagnétique dans l'espace est d'une importance particulière. Il est donc essentiel de connaître les mécanismes en jeu sur le canal de propagation et ses interactions avec l'environnement pour pouvoir prévoir les conditions d'établissement d'une liaison radio entre le récepteur et l'émetteur.

Ce chapitre analyse le canal de propagation, en présentant les phénomènes physiques que les paramètres d'un canal multipath interfèrent sur une onde de transmission ainsi que les types de modèles existants.

**2.2 Environnement radio-mobiles :**

Si un transmetteur (station de base ou base transeaver station BTS) transmet un signal vers la station mobile (mobile station MS), ce signal transmit peut subir plusieurs phénomènes qui sont : diffusion, réfraction, réflexion et diffraction c'est-à-dire les effets rencontrés par l'onde transmit (figure 2.1). [15]



**Figure 2.1:** Environnement radio mobile

**2.3 Canal de propagation :**

Un système de transmission radioélectrique permet de transformer un signal électrique émis  $e(t)$  en signal électrique reçu  $s(t)$  par d'intermédiaires d'ondes électromagnétiques. Le canal de propagation est l'endroit qui transforme les ondes électromagnétiques lors de leur propagation. A 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 2.2: [16]



Figure 2.2: Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile

### 2.3.1 Propagation en espace libre :

Généralement, l'environnement de propagation a une influence sur l'onde électromagnétique émise. En espace libre c'est -à-dire n'est pas d'obstacle (ou l'absence d'obstacles).

La densité de puissance  $W$  dans un espace libre s'exprime en fonction de la puissance du signal émis  $P_e$  et le gain de l'antenne d'émission  $G_e$  et la distance entre l'émetteur et le récepteur  $d$  [16] :

$$W = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2} \quad (2.1)$$

La puissance du signal disponible aux bornes d'une antenne de réception  $P_r$  est raccordé à la densité de puissance  $W$  comme expliqué dans l'équation suivante :

$$P_r = W \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (2.2)$$

Où  $\lambda$  la longueur d'onde à la fréquence de travail et  $G_r$  représente le gain de l'antenne de réception. On peut calculer l'atténuation du signal en espace libre en utilisant les deux formules représente comme suit :

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \quad (2.3)$$

Ou :

La vitesse de la lumière exprimée comme  $c = f \lambda$ .

Il convient de noter que la formule ci-dessus n'est pas valable que lorsque l'antenne de réception est considérée dans le champ lointain de l'antenne d'émission. Cette condition

est vérifiée lorsque la distance ( $d$ ) entre les antennes est supérieure à la distance de Fraunhofer ( $d_f$ ) qui est reliée à la plus large dimension ( $D$ ) de l'antenne d'émission : Cette condition est vérifiée lorsque la distance ( $d$ ) entre les antennes est supérieure à la distance de Fraunhofer ( $d_f$ ) qui est reliée à la plus large dimension ( $D$ ) de l'antenne d'émission :

$$d_f = 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

Où :

$D$  est la dimension de l'antenne d'émission. L'affaiblissement en espace libre est donné par la relation suivante [17] :

$$p_L = 10 \log_{10} \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log_{10} [G_t G_r (4\pi d)^2] \quad (2.5)$$

### 2.3.2 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. 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. [17]

### 2.3.3 Principales dégradations de la propagation :

L'analyse de la puissance du signal reçu en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur, nous donne trois types de variations de la puissance reçue (voir la figure 2.3) :

#### 2.3.3.1 Affaiblissement de parcours (path loss) :

Les pertes de propagation caractérisent l'atténuation du signal à cause du trajet séparant l'émetteur du récepteur et de l'environnement de propagation. [9]

#### 2.3.3.2 Ombrage ou évanouissement lent (shadowing ou slow fading) :

L'effet de masquage ou zone d'ombre est dû à la présence d'obstacles importants entre l'émetteur et le récepteur (immeubles ou forêts). L'onde électromagnétique traversant ces

obstacles subissent une atténuation de puissance en fonction de la nature du matériau traversé. [18]

**2.3.3.3 Évanouissement rapide ou multi trajets (fast fading ou multipathfading) :**

L'évanouissement du signal est un phénomène qui perturbe fortement la transmission et limite les performances d'un système de communication. C'est un effet aléatoire et souvent résultant des trajets multiples. Ces différents trajets génèreront à la réception, plusieurs versions du signal transmis, possédant chacune une atténuation spécifique. [18]

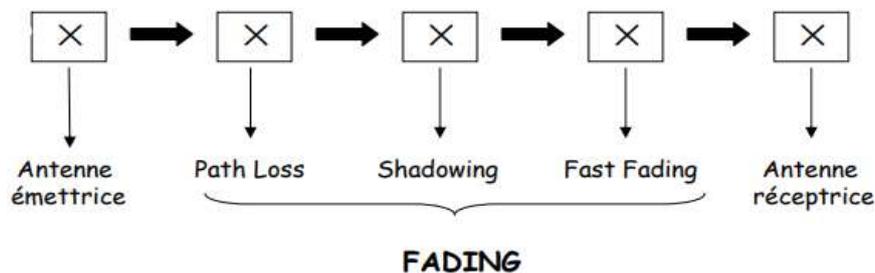


Figure 2.2: trois types de variations de la puissance reçues

**2.4 Modélisation du canal de propagation :**

**2.4.1 Réponse impulsionnelle :**

Un canal radio est considéré comme un système linéaire variable dans le temps [19]. 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  $\tau$  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 1.4 : [20]

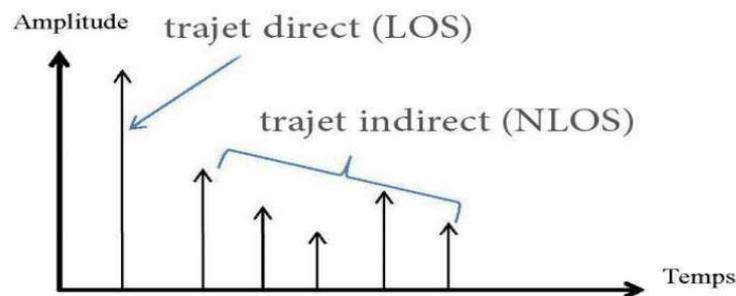


Figure 2.4: Représentation de la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile.

**LOS :**

Les signaux radio peuvent se déplacer dans un trajet direct de l'émetteur au récepteur. Cette propagation « en visibilité directe » nécessite un trajet où les signaux radio sont visibles les uns des autres sans obstruction (ex; bâtiments, montagnes, etc.).

**NLOS :**

La propagation radio non linéaire (NLOS) se produit à l'extérieur de la ligne de visée typique (LOS) entre l'émetteur et le récepteur, comme dans les réflexions au sol. Les obstacles qui causent couramment la propagation du NLOS comprennent les bâtiments, les arbres, les collines, les montagnes et, dans certains cas, les lignes électriques à haute tension. Certains de ces obstacles reflètent certaines fréquences radio, tandis que d'autres absorbent ou brouillent simplement les signaux ; mais, dans les deux cas, ils limitent l'utilisation de nombreux types de transmissions radio, surtout lorsque le budget de puissance est faible. [21]

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 :

$$h(\tau; t) = \sum_k^{N-1} \alpha_k(t) e^{j\theta_k(t)} \delta(t - \tau_k(t)) \quad (2.6)$$

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

$$h(\tau; t) = \sum_k^{N-1} \alpha_k(t) e^{j\theta_k(t)} \delta(t - \tau_k(t)) \quad (2.7)$$

L'équation 2.7 est utilisée généralement pour décrire la réponse impulsionnelle variable dans le temps d'un canal multi-trajet ou 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 i<sup>ème</sup> chemin, et  $\delta$  est la fonction delta de Dirac. [20]

**2.5 Paramètres de caractérisation d'un canal :**

La caractérisation des canaux radio mobiles est basée sur différents paramètres permettant de quantifier le canal de propagation multi-trajet. Ces paramètres sont :

**2.5.1 Effet Doppler :**

L'effet Doppler est le changement de la fréquence. On doit donc éliminer l'effet Doppler pour avoir une synchronisation correcte de la fréquence. Lors du déplacement de station mobile (le MS est dans une voiture au se déplace avec une vitesse v), on observe une modulation de la fréquence porteuse de l'onde émise en fonction de la vitesse de déplacement v : c'est l'effet Doppler (figure 1.5).

L'excursion de fréquence maximale est de :  $2 f_{\Delta\max}$

$$f_{\Delta\max} = \frac{v}{\lambda}$$

$f_{\Delta\max}$  : fréquence Doppler.

$V$  : vitesse de la station mobile Ms. [15]

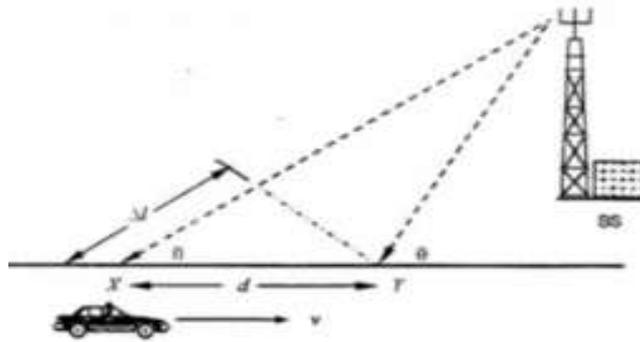


Figure 2.5: L'effet Doppler

### 2.5.2 Bande de cohérence ( $B_{co}$ ) :

$B_{co}$  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 ( $B_s$ ) est supérieure à la bande de cohérence ( $B_{co}$ ), on obtient alors un fading sélectif en fréquence.  $B_{co}$  est reliée en général à l'étalement efficace du retard par la relation :

$$B_{co} \approx \frac{1}{\alpha\sigma_\tau} \quad (2.8)$$

La valeur de  $B_{co}$  est généralement fonction de la corrélation fréquentielle. En particulier si on a une corrélation en amplitude  $pe = 50\%$  alors l'équation (2.8) devient :

$$B_{co} \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \text{ Hz} \quad (2.9)$$

Et si on a  $pe = 90\%$  alors l'équation (2.8) devient : [17]

$$B_{co} \approx \frac{1}{50\sigma_\tau} \text{ Hz} \quad (2.10)$$

### 2.5.3 Temps de cohérence :

La définition du temps de cohérence ( $T_{co}$ ) implique que deux signaux arrivant avec une séparation de temps plus grande que  $T_{co}$  seront affectés différemment par le canal.

### 2.6 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).

Il existe deux modèles pour simuler un canal de propagation. La première possibilité est de s'appuyer sur un modèle de canal déterministe. L'autre possibilité est de choisir un modèle statistique.

### **2.6.1 Modèle déterministe du canal :**

Pour ce cas, on suppose que 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. [20]

### **2.6.2 Modèle statistique de canal :**

Du fait de la complexité des environnements et le nombre de paramètres à prendre en compte, une approche purement statistique est souvent proposée.

Le modèle statistique est fondé sur calculs mathématiques de la propagation, qui regroupe un ensemble d'équations mathématiques, des algorithmes et des diagrammes ce dernier pour permettre de représenter les caractéristiques radios d'un environnement donné. [20]

### **2.7 Conclusion :**

Comme Conclusion de ce chapitre, nous avons fait présenter les généralités d'un canal de propagation. Les différents phénomènes physiques qui affectent à la propagation des ondes radio ont également été définis, ainsi que les caractéristiques de propagation. En outre, nous avons donné une description brève des distributions statistiques d'amplitude de signal.

Finalement, nous avons présenté les modèles de propagation dans la littérature pour caractériser un canal.

# **CHAPITRE 03 :**

**Analyse de la couverture par la technique  
ray tracing**

### 3.1 Introduction :

L'analyse des effets de propagation RF (radiofréquence) pour les communications sans fil et pour les systèmes radar nécessite une compréhension approfondie des interactions de l'antenne avec l'environnement, nous devons déterminer comment la couverture et les performances des liens de communication avec MATLAB. Nous positionnerons un réseau d'antennes sur une carte 3D, utiliserons différents modèles de propagation et prendrons en compte l'élévation du terrain et les conditions atmosphériques. Nous verrons comment la formation de faisceaux peut être utilisée pour améliorer la couverture et établir des liaisons (émetteur-récepteur) aux fréquences "mmWave".

Ce chapitre se concentre sur l'installation d'antennes sur des cartes et sur l'analyse des performances de l'antenne en tenant compte également des effets de propagation par la technique de lancer de rayons [22]. Avec l'utilisation de MATLAB, nous concevons des antennes et les intégrons plus tôt au niveau du système. Des démonstrations pratiques nous montreront comment commencer rapidement à étudier et visualiser des scénarios de propagation RF. Nous devons suivre les étapes suivantes :

- ✓ Importer et visualiser les données de bâtiments 3D dans Site Viewer.
- ✓ Nous voulons utiliser différents styles d'antenne et scénarios d'installation.
- ✓ Déterminer la couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D.
- ✓ Mesurer les effets de la propagation RF sur les liaisons TX-RX (directes), en considérant l'effet des bâtiments (indirects).
- ✓ Travailler sur un système de nouvelle génération qui utilise la formation de faisceau pour améliorer la couverture et suivre les utilisateurs.

### 3.2 Ray Tracing :

Le RT (Ray Tracing) est une technique qui modélise le canal radio en s'appuyant sur l'image principale. Le RT recherche les chemins de propagation en supposant des rayons optiques du Tx au Rx. Chaque disperser de l'environnement de propagation (ex., mur, bâtiment, mobilier urbain et ainsi de suite) est décrit en détail et par la suite, une base de données intégrant des matériaux associés à leurs propriétés électriques est créée. Habituellement, des outils pratiques tels que Google Earth, Open Street Map (OSM) ou une technique de balayage laser existe pour décrire les environnements de propagation. Après avoir décrit l'environnement de propagation, tous les rayons potentiels et finis allant du Tx au Rx sont déterminés. Le calcul des caractéristiques de perte de propagation est

effectué pour chaque trajet, compris la polarisation, le retard et les caractéristiques angulaires. [23]

Des efforts importants ont été déployés au cours des deux dernières décennies pour le développement des outils de Ray Tracing (ray tracing tools) utilisant diverses approches. Par exemple, les références [24, 25, 26, 27] présentaient une RT 3D basée sur une approche de ray tracing et étalonnée avec des mesures effectuées dans des environnements UMi (urban micro cell) à des bandes d'ondes millimétriques. Les travaux rapportés dans [28, 29] ont proposé un outil RT basé sur des graphiques de propagation. Cependant, les techniques RT souffrent de la lourde computationnelle, en particulier lorsqu'elles incluent la diffusion par exemple. En outre, lorsque l'on vise la propagation des canaux d'ondes en mm, de petits objets tels que des lampadaires, des panneaux de signalisation et d'autres objets métalliques ne peuvent pas être négligés. De plus, une approximation des propriétés des matériaux peut provoquer une sous-estimation ou une surestimation de la prévision de RT, comme convenu dans [30].

- ✓ Les algorithmes de modélisation dans les calculs de géométrie et de champ électrique pour différentes interactions de propagation sont résumés dans le tableau dessous.

	<b>Geometry calculation</b>	<b>Calcul du champ électrique</b>
<b>LOS</b>	espace libre LOS	Friis equation [31]
<b>Réflexion</b>	La loi de Snell avec méthode basée sur l'image [32]	Fresnel equation [32]
<b>Diffraction</b>	Principe de Fermat [33]	UTD [33]
<b>Pénétration</b>	La loi de Snell pour la transmission par brame [32]	Fresnel equation [32]
<b>Diffusion (upon small objects)</b>	Diffusion omnidirectionnelle [34]	RCS-based scattering coefficient [34]

**Tableau 3.1:** Principes appliqués au Ray Tracing [22].

### 3.3 Importer et visualiser les données de bâtiments 3D dans Site Viewer :

Nous avons importé un fichier "univ\_elouedMap" (.osm) " correspondant à Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, Algeria. Le fichier a été téléchargé à partir de <https://www.openstreetmap.org>, qui donne accès à des données cartographiques issues de

## CHAPITER 03 Analyse de la couverture par la technique ray tracing

la foule dans le monde entier. Les données sont sous " licence Open Data Commons Open Database 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 ( Voir la figure 3.1):

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



**Figure 3.1:** Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

### 3.4 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 = 73e9;
c = physconst('lightspeed');
lambda = c/f;
N = 9;
dx = 0.49*lambda;
dipole_L = lambda/2;
dipole_W = lambda/200;
dp = dipole;
dp.Length = dipole_L;
dp.Width = dipole_W;
dp.TiltAxis = 'Z';
dp.Tilt = 90;
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
dipole_array = linearArray;
dipole_array.Element = resonant_dipole;
dipole_array.NumElements = N;
dipole_array.ElementSpacing = dx;
hArray = figure;
show(dipole_array)
axis tight
pattern3Dfig = figure;
pattern(dipole_array,f)
```

Nous amenons les figures suivantes (Figure 3.2, Figure 3.3, Figure 3.4, Figure 3.5):



Figure 3.2: Impédance en fonction de la fréquence

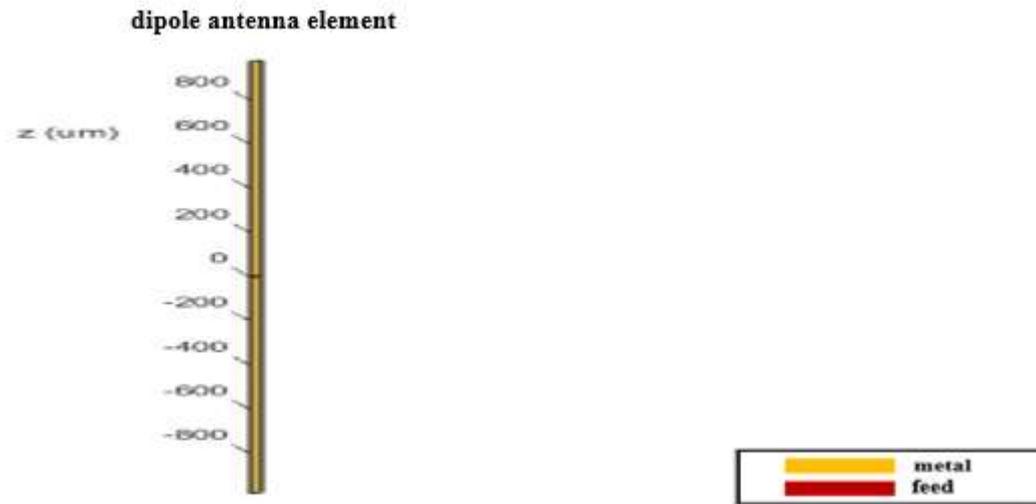


Figure 3.3: Élément d'antenne dipôle

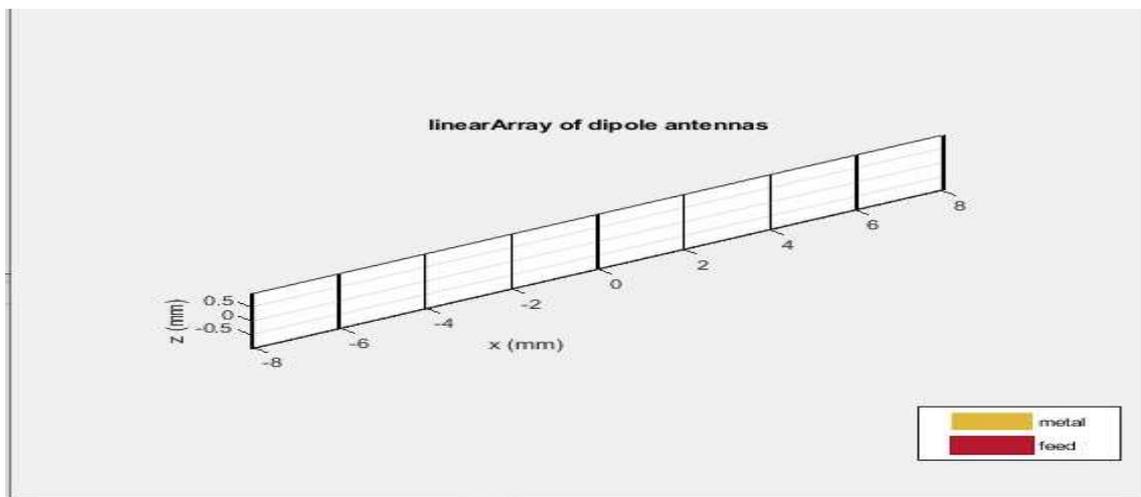


Figure 3.4: Matrice linière d'une antenne dipôle

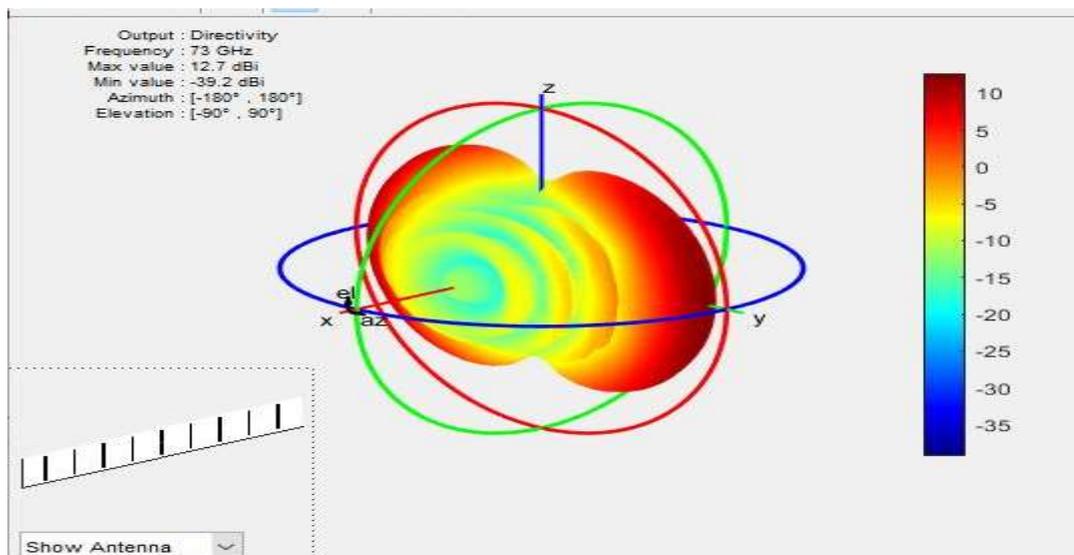


Figure 3.5: Couverture de l'antenne en 3D.

### 3.5 Déterminer la couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D :

#### 3.5.1 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 3.6) :

```
tx = txsite("name", "Lang01", ...  
           "Latitude", 33.396733, ...  
           "Longitude", 6.860112, ...  
           "AntennaHeight", 10, ...  
           "TransmitterPower", 5, ...  
           "TransmitterFrequency", 73e9);  
tx.Antenna = dipole_array;  
pattern(tx)  
show(tx)
```



Figure 3.6: Couverture de l'antenne sur une carte de terrain en 3D

- Le tableau 3.2 illustre des informations de site d'émetteur.

La Ville	Poste code	L'espace	Le nom	Les coordonnées	
Eloued	39000	Faculté	Faculté des arts et des langues	Latitude	méridiens
				33.396733	6.860112

Tableau 3.2: Table d'information de site de l'émetteur.

Les propriétés de l'antenne peuvent également être modifiées par ceci :

```
dipole_array.TiltAxis = [0 0 1];
dipole_array.Tilt = 180;
tx.Antenna = dipole_array;
tx.AntennaAngle = [-90 90];
pattern(tx)
```

3.5.2 Zone couverte par l'émetteur :

```
pm = propagationModel("raytracing-image-method... ",
    " BuildingsMaterial","perfect-reflector... ",
    " TerrainMaterial","perfect-reflector;("
coverage(tx,pm... ,
    " SignalStrengths",-120:-5... ,
    " MaxRange",250... ,
    " Resolution",3... ,
    "Transparency",0.6)
```



Figure 3.7: Zone couverte par l'émetteur.

### 3.5.3 Définir le site de récepteur :

Nous localisons le récepteur et vérifions les propriétés par défaut, Nous traçons le chemin de la ligne de visée pour montrer le chemin obstrué de l'émetteur au récepteur.

- C'est le tableau expliqué le site d'informations pour récepteur exactement :

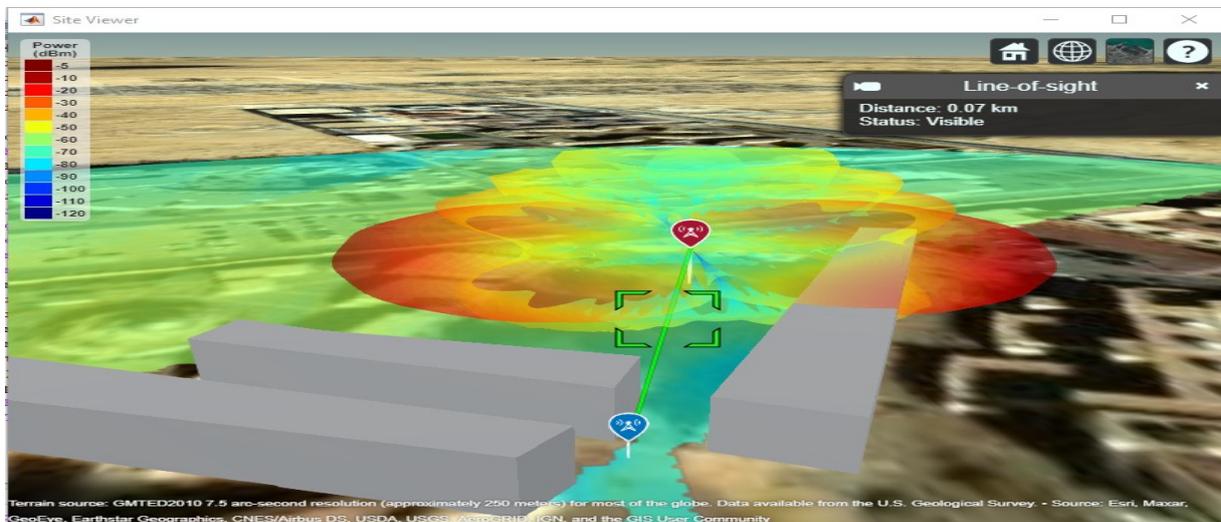
La Ville	Poste code	L'espace	Le nom	Les coordonnées	
				Latitude	méridiens
Eloued	39000	Faculté	Faculté des arts et des langues	33.396102	6.859934

**Tableau 3.3:** Table d'information de site du récepteur

#### 3.5.3.1 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. Tracez le chemin en visibilité directe pour montrer le chemin obstrué de l'émetteur au récepteur. (Voir la figure 3.8) :

```
rx = rxsite("Name","Long02", ...
"Latitude",33.396102, ...
"Longitude",6.859934, ...
"AntennaHeight",3, ...
"ReceiverSensitivity",-110);
Show(rx)
los(tx,rx)
```



**Figure 3.8:** Carte de couverture pour la propagation en visibilité directe

### 3.5.3.2 Sans visibilité directe (NLOS) :

Ajustez le modèle de propagation du lancer de rayons pour inclure des chemins de réflexion unique et tracez les rayons. Le résultat montre la propagation du signal le long d'un chemin de réflexion unique. Le chemin ne se termine pas exactement sur le site du récepteur car la méthode de traçage des rayons SBR calcule des chemins approximatifs. Sélectionnez le chemin tracé pour afficher les caractéristiques de propagation correspondantes, qui incluent la puissance reçue, le changement de phase, la distance et les angles de départ et d'arrivée. (Voir la figure 3.9)

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

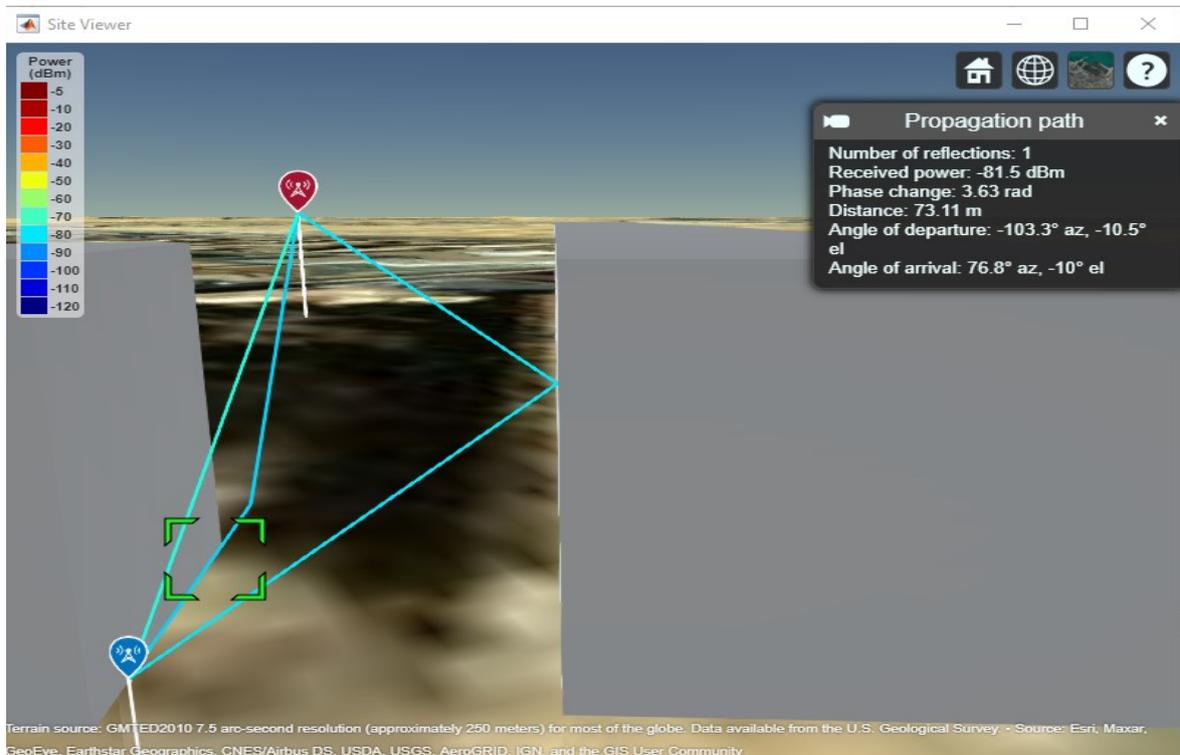


Figure 3.9: trajets entre TX et RX

### 3.6 Mesures des effets de la propagation RF sur les liaisons TX-RX (directes) en considérant l'effet des bâtiments (indirects) :

#### 3.6.1 Analyser la puissance du signal et l'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

## CHAPITER 03 Analyse de la couverture par la technique ray tracing

de matériau plus réaliste et recalculer 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.

### ✓ Dans le Cas idéal :

```
✓ ss = sigstrength(rx,tx,pm);
✓ disp("Received power using perfect reflection: " + ss + " dBm")
✓ Received power using perfect reflection: -72.3921 dBm
```

### ✓ 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: -73.5248 dBm
```

### ✓ Dans le Cas les pertes météorologiques:

L'ajout de dégradations météorologiques au modèle de propagation et le recalcul de la puissance reçue entraînent une perte supplémentaire de 1,5 dB.

```
rtPlusWeather = pm + propagationModel("gas") + propagationModel("rain");
raytrace(tx,rx,rtPlusWeather)
ss = sigstrength(rx,tx,rtPlusWeather);
disp("Received power including weather loss: " + ss + " dBm")
Received power including weather loss: -75.0179 dBm
```

✓

### ✓ Tableaux de la comparaison entre les cas suivantes :

Le Cas	Idéal	Matériaux réaliste	Météorologiques
material		Bâtiments et terrain: ciment	Bâtiments terrain en ciment et ajoute air et rain
La puissance réception (dBm)	-72.3921	-73.5248	-75.0179

Tableau 3.4: Table de comparaison

### 3.7 Travailler sur un système de nouvelle génération qui utilise la formation de faisceau pour améliorer la couverture et suivre les utilisateurs :

#### 3.7.1 Planification d'une liaison d'accès sans fil fixe 5G sur terrain :

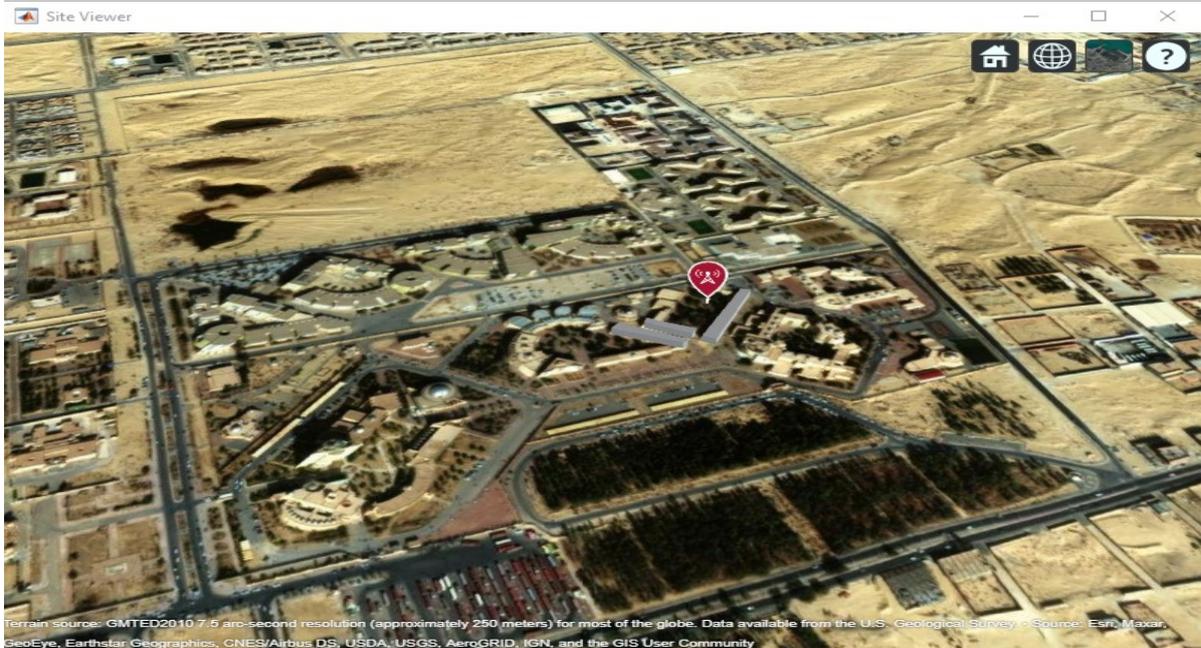
Cet exemple montre comment planifier une liaison d'accès sans fil fixe (FWA) sur le terrain à l'aide des technologies 5G. FWA est un cas d'utilisation de la 5G pour permettre un service à large bande aux foyers ou aux entreprises où les services filaires sont indisponibles ou sous-performants. FWA connecte une station de base au terminal sans fil fixe (FWT) d'un utilisateur [1]. Aux hautes fréquences requises pour la 5G, les dégradations du terrain et des pertes de trajet, telles que le feuillage et les conditions météorologiques, jouent un rôle important dans la détermination du succès de la liaison.

L'exemple crée une station de base et plusieurs sites récepteurs dans un environnement suburbain, en plaçant les antennes pour obtenir une visibilité directe sur un terrain intermédiaire. Un système multi-utilisateur à entrées multiples et sorties multiples (MU-MIMO) avec des antennes à gain élevé est conçu à l'aide d'Antenna Toolbox™ et de Phased Array System Toolbox™. L'intensité du signal aux sites récepteurs est évaluée pour deux fréquences en présence de dégradations par affaiblissement sur le trajet.

#### 3.7.2 Créer un site de station de base dans la bande 73 GHz :

Créer un site émetteur sur l'Université Echahid Hamma Lakhder, El-Oued, Algérie. Définissez le site de l'émetteur pour représenter une station de base émettant à 73. GHz avec 5 Watt de puissance. Affichez le site dans la visionneuse de site et faites pivoter la vue pour visualiser le site avec le terrain des bâtiments.

```
f = 73e9;
tx = txsite("name","Lang01... ,"
" Latitude", 33.396733... ,
" Longitude", 6.860112... ,
" TransmitterPower",5... ,
" TransmitterFrequency",f;(
>> show(tx)
```



**Figure 3.10:** Carte satellite de l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

### 3.7.3 Création des sites récepteurs :

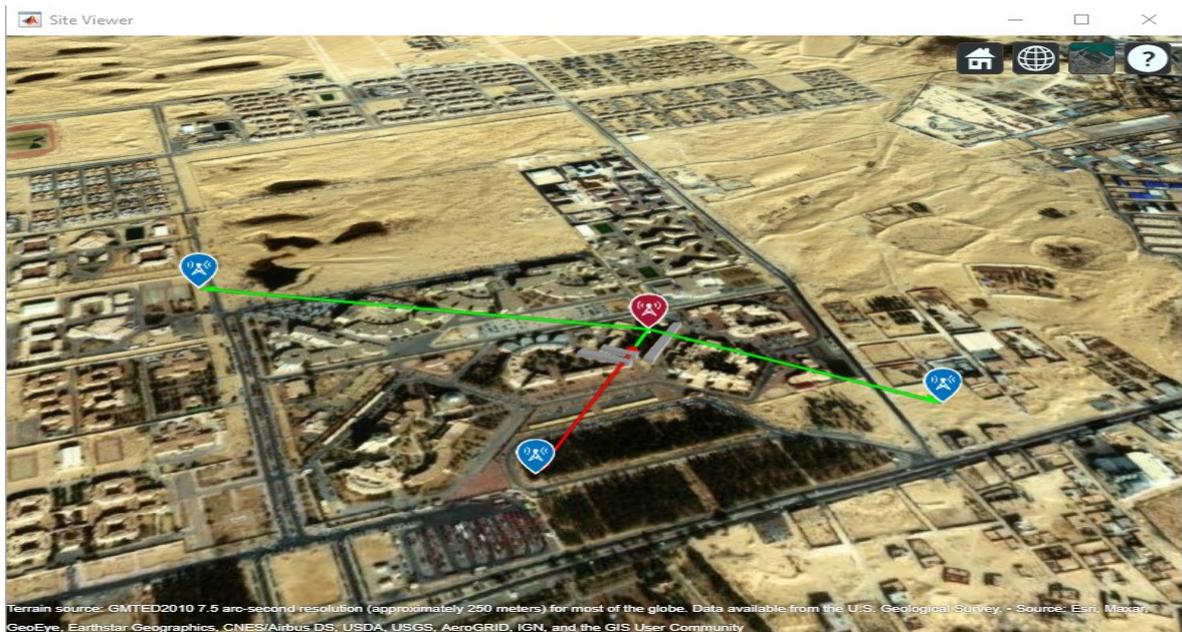
Nous avons créé trois sites récepteurs dans la région et montré les sites sur la carte. Chaque site récepteur représente un site où est placé le terminal sans fil fixe d'un utilisateur.

```
Rx01 = rxsite("Name","Salam Library", ...  
  "Latitude",33.395256, ...  
  "Longitude",6.863534);  
rx02 = rxsite("Name","University residence", ...  
  "Latitude",33.397819, ...  
  "Longitude",6.853872);  
rx03 = rxsite("Name","University bus stop", ...  
  "Latitude",33.394049, ...  
  "Longitude",6.858764);  
rxs = [rx01, rx02, rx03];  
show(rxs)
```

### 3.8 Obtention d'une visibilité directe des liens :

Le défi pour les communications 5G dans l'établissement d'une liaison réussie est la présence de terrain et d'autres obstacles, car les pertes de propagation augmentent à des fréquences plus élevées. La hauteur des bâtiments est un obstacle qui obstrue la ligne de mire. (Voir la figure 3.11) :

```
los(tx,rxs)
```



**Figure 3.11:** trajets entre TX et RX

Pour contourner cet obstacle, il suffit d'ajuster la hauteur de l'antenne de réception pour obtenir une vision en ligne de mire.

Nous supposons la longueur la plus courte possible qui nous permet de contourner l'obstacle de la ligne de mire pour les installations de rx03 est 8 m . (Voir la figure 3.12)

```
rx03.AntennaHeight = 8;
```



**Figure 3.12:** trajets entre TX et RX

Soit en fixant les hauteurs des récepteurs en fonction de chaque zone dans laquelle se trouve un récepteur, et en ajustant la hauteur de la station de base (l'émetteur) et en la contrôlant.

```
Rx01.AntennaHeight = 6;
Rx02.AntennaHeight = 6;
Rx03.AntennaHeight = 6;
tx.AntennaHeight = 10;
while ~all(los(tx,rxs))
    tx.AntennaHeight = tx.AntennaHeight + 5;
end
los(tx,rxs)
disp("Antenna height required for line-of-sight: " + tx.AntennaHeight + " m")
Antenna height required for line-of-sight: 10 m
```

### 3.9 Conclusion :

Compte tenu des expériences précédentes dans ce chapitre, nous constatons que pour atteindre une couverture optimale dans le milieu dans lequel nous voulons installer les matériaux alloués à la 5<sup>ème</sup> génération, il s'agit de réduire 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).

On voit que plus la fréquence est élevée, plus les effets sur le paquet d'ondes dans l'environnement étudié sont importants, car le faisceau est affecté par les plus petites choses dans le milieu étudié.



## Conclusion Générale

---

D'une manière générale, un aperçu introductif de la technologie 5G Mobile et ses évolutions et son histoire a été exploré dont on a conclu la nécessité d'étude des ondes millimétriques candidates aux futures générations de réseaux mobiles.

Afin de mener à une étude assez parfaites des ondes millimétriques, une exploration approfondie des caractéristiques des canaux radios point de vue théorique sur environnement et propagation a été effectuée.

L'analyse des résultats de simulation de la couverture par la technique de ray tracing a permis d'extraire des calculs quasiment réelle. Nous avons extrait un ensemble de résultats et de données qui nous aident à appliquer cette étude sur le terrain de la ville d'El-Oued. La métrique importante 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 fin de compte, le but de ce mémoire a été achevé dont le but de cette est d'étudier la couverture de la bande 73 GHz. Nous avons discuté des caractéristiques de propagation de cette bande comme le montrent les résultats de la simulation, signal d'onde millimétrique peut fournir une liaison fiable dans la voie de LOS, cependant, les voies les plus fortes de NLOS peuvent contribuer à un signal à établir un lien lorsque le chemin direct est estompé ou ombragé.

## Bibliographies

---

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. Whitepaper, 5G vision and requirements, IMT-2020 (5G) Promotion Group.
3. Xiang, Wei, Kan Zheng, and Xuemin Sherman Shen, eds. 5G mobile communications. Springer, 2016.
4. Les enjeux de la 5G, ARCEP, Mars 2017.
5. <http://5g.ieee.org/standards> (2021).
6. T. Wang, G. Li, J. Ding, Q. Miao, J. Li, Y. Wang, 5g spectrum: is China ready? Commun. Mag. IEEE 53, 58–65 (2015).
7. ALKAMA Dina BERKOUK Saida, Nouvelle approche pour l'optimisation de l'allocation des ressources dans les réseaux cellulaires, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, (2019/2020).
8. S. Chaouch, "Gestion Des Ressources Des Réseaux Cloud RAN Dans Un Contexte 5G", Thèse de doctorat, Télécom SudParis, 2017.
9. M. Ezzaouia, "Allocation de ressource opportuniste dans les réseaux sans fil multicellulaires", Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire, 2018.
10. DACI Kaoutar et DOU Warda, Etude de massive MIMO pour 5G, Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, (2018/2019).
11. 5G NR Terminologies – Subcarrier Spacing, Fram-Subframe, Slot and Symbol. JUNE 10, 2018. [En ligne]. <http://www.techplayon.com/understanding-basic-5g-nrterminologies-subcarrier-spacing-frame-and-subframe-slot-and-ofdm-symbols/> [consulté le 20 Mai 2019].
12. <https://www.anritsu.com/en-in/test-measurement/technologies/5g-everything-connected/5g-world-freq> (2021).
13. Bachir SADOU et Dheya Alhaq ALQUDAMI, Etude des techniques de modulation pour les réseaux mobiles 5G et 6G de nouvelle génération, Université Mohammed Seddik Benyahia de Jijel, (2019-2020).
14. <https://www.exfo.com/fr/ressources/blog/rf-5g-new-radio-top-5-questions/> (2021).
15. KIZILIRMAK, Refik Caglar et BIZAKI, Hossein Khaleghi. Non-orthogonal multiple access (NOMA) for 5G networks. *Towards 5G Wireless Networks-A Physical Layer Perspective*, 2016, vol. 83, p. 83-98.
16. ALAA Choumane, " Synthèse d'un canal de propagation par système multi-antennes pour la caractérisation déterminaux mobiles à diversité," Thèse de doctorat, Université De Limoges, France, (2011).

17. HAMOU CHEHRI, ÉTUDE ET CARACTÉRISATION D'UN CANAL DE PROPAGATION POUR LES RÉSEAUX V ANET, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. (Juin 2014).
18. N. Benghabrit, "Allocation de ressources dans les réseaux radio cognitifs", Thèse de doctorat, Université Oran1 Ahmed Ben Bella, Mars (2019).
19. S. Y.Wang,P.F.Wang,Y.W.Li, and L.C. Lau, "Design and Implementation of a more Realistic Radio Propagation Model for Wireless Vehicular Networks overthe NCTUns Network Simulator", IEEE WCNC (Wireless Communications and Networking Conference), March 28 - 31 , 2011, Cancun, Mexico.
20. Hathat Mohamed Elfateh Aougabi Meriem, Performance d'un système de communication sans fils à base de la technique UFMC candidat pour 5G, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2018).
21. [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-line-of-sight\\_propagation](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-line-of-sight_propagation) (2021)
22. Report ITU-R M.2412, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020", 2017. <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2412>
23. Mamadou Dialounké BALDE,Millimeter-wave Radio Channel Characterization and Site-Specific Simulation for 5G Systems,UNIVERSITÉ DE RENNES 1, Décembre 2017
24. M. K. Samimi and T. S. Rappaport. 3-d millimeter-wave statistical channel model for 5g wireless system design. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 64(7):2207-2225, July 2016
25. [54 S. Baek, Y. Chang, S. Hur, J. Hwang, and B. Kim. 3-dimensional large-scale channel model for urban environments in mmwave frequency. In 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), pages 1220-1225, June 2015.
26. S. Hur, S. Baek, B. Kim, Y. Chang, A. F. Molisch, T. S. Rappaport, K. Haneda, and J. Park. Proposal on millimeter-wave channel modeling for 5g cellular system. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 10(3):454-469, April 2016.
27. Franco Fuschini, Enrico M. Vitucci, Marina Barbiroli, Gabriele Falciasecca, and Vittorio Degli Esposti. Ray tracing propagation modeling for future small-cell and indoor applications: A review of current techniques. Radio Science, 50(6):469-485, 2015. 2015RS005659.
28. N. Amiot, M. Laaraiedh, and B. Uguen. Pylayers: An open source dynamic simulator for indoor propagation and localization. In 2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), pages 84-88, June 2013.
29. G. Steinbock, M. Gan, P. Meissner, E. Leitinger, K. Witrisal, T. Zemen, and T. Pedersen. Hybrid model for reverberant indoor radio channels using rays and graphs. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 64(9):4036-4048, Sept 2016.

30. M. Peter, W. Keusgen, and R. Felbecker. Measurement and ray-tracing simulation of the 60 ghz indoor broadband channel: Model accuracy and parameterization. In The Second European Conference on Antennas and Propagation, EUCAP 2007, pages 1-8, Nov 2007.
31. ITU-R P.525-3, "Calculation of free-space attenuation", Sept. 2016.
32. ITU-R P.1238-8 (07/2015), "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz"
33. ITU-R P.526-12, "Propagation by diffraction", Feb. 2012.
34. ICT-317669-METIS/D1.4: "METIS channel model, METIS 2020", Feb., 2015.