REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **É**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de télécommunications

Étude du scénario de déploiement du réseau mobile 5G

Présenté par :

MOHAMDI Khalida

MAHDJOUBI Abla

Proposé et Dirigé par :

Encadrant : **Dr.TEMMAR Mohamed Nasr Eddine**

Co- Encadrant: **Dr. KECHIDI Ziane**

Promotion 2022

Remerciements

Nous voudrions remercie ***ALLAH*** *qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces langues années d'étude.*

Je souhaite adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de cette mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaires.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. ***TEMMAR Mohamed Nasr Eddine****, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour s patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Nous remercions Dr.* ***KECHIDI.Ziane*** *qui s'est efforcé de diriger et prodigué de nombreux et judicieux conseils.*

Nous voudrons également remercier les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail .

N'oublions pas, de remercier le corps professoral et administratif de la ***Faculté des sciences et de la technologie, de département d'électronique et télécommunication****, à l'équipage de BSC Mobilis- médèa spécialement l'assistant d'opération réseau Monsieur* ***BENAIAD Abdellah.****.*

Finalement, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents qui sont la bougie qui illumine nos vies, tous nos proches, nos amis qui nous ont encouragés au cours de réalisation de cette mémoire.

Dédicace

À mes chers ***parents****.*

À mes frères ***Abd El-Rahman, Hichem et Radwan****.*

À mes belles sœurs ***Aya, Chahinez ,Salima , Wassila , Rabiaa et Sabrina*** *.*

À mes cousins ***Rachid, Moussa, Abd Islam, Foudhil, Benaissa , Zola et Abir****.*

À les enfants de mes sœurs ***Amel, Amine et Chaimaa****.*

Et à tous les membres de ma famille ***Mahdjoubi*** *.*

À ma sœur et ma partenaire dans cette mémoire ***Mohamdi Khalida*** *.*

À mes chers amis ***Khadidja ,Manel , Hadjer ,Amina ,Nadjet*** *et tous mes collèges .*

Et à tous ceux que j'aime beaucoup et qui m'aiment.

M.Abla

Dédicace

À mes chers parents « ***AHMED , SOUMIA »*** *pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

À MES CHERS SŒURS ET LEURS MARIS

« ***Khadidja,Sarra et Chahra*** *»pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

À MES CHERS FRERES

« ***Mohamed et Djamel*** *» pour leur appui et leur encouragement.*

À mes neveux et nièces.

À mes cousine « ***Malika, Imane et Yamina*** *» pour leurs amours et leurs encouragements*

À mes chére amies « ***Zahra et Dallal*** *» pour leurs aidé et supports dans les moments difficiles.*

À mon binôme « ***Mahdjoubi Abla*** *» pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

À mes amis « ***Amina ,Nadjet et Hadjer*** *» et tous mes amis de promotion de 2ém e année master système de télécommunication.*

À toute ma famille

M. khalida

Résumé

Récemment, les technologies sans fil se sont développées activement au monde entier en raison de l'augmentation explosive de la demande à l'Internet des objets (IOT) et de la croissance du nombre d'utilisateurs. Par conséquent, des défis majeurs sont apparus avec la quatrième génération des réseaux de communications mobiles (4G) qu'ils doivent être surmontés. D'où l'émergence de la technologie de cinquième génération (5G) est devenue un sujet très attractif où les réseaux peuvent répondre aux besoins de communication de milliards d'appareils connectés, avec de bons compromis entre vitesse, latence et coût et qui cible un large éventail de domaines tels que la société, l'énergie, la santé, les média, l'industrie et le transport etc. L'objectif de ce mémoire de fin d'études est d'effectuer le déploiement du réseau 5G en utilisant l'outil de planification radio appelé Winprop. Le travail est organisé en deux étapes suivantes : La première étape consiste à un déploiement aléatoire du réseau 5G NR en utilisant des macro cellules dans une région de Alger-centre. Après une étude de couverture de ce déploiement, on optimise le réseau qu'il est déjà planifié dans la première étape pour améliorer les performances du réseau. Dans la deuxième étape, nous prévoyons d'augmenter le débit maximal dans quelques zones de cette région en utilisant des nouvelles technologies de la 5G NR.

Les résultats obtenus montrent que la région d'Alger-centre est bien couverte avec une bonne qualité de signal et un débit maximal supérieur à 1 Mbit/s pour la plupart des zones de cette région.

Mot clés : 5G, 5G NR, macro cellule, micro cellule.

Abstract

Recently, wireless technologies have been actively expanding over the whole world due to the explosive increase in the demand for Internet of Things (IOT) and the growth in the number of users. Therefore, major challenges have emerged with the fourth generation of mobile communications networks (4G) that they need to be overcomed. Hence the emergence of fifth generation (5G) technology has become a very attractive subject where networks can meet the communication needs of billions of connected devices, with good trade-offs between speed, latency and cost and who targets a wide range of areas such as society, energy, health, media, industry and transport etc. The objective of this dissertation is to perform the deployment of the 5G network using the radio planning tool called Winprop. The work is organized in the following two stages: The first stage consists of a random deployment of the 5G NR network using macro cells in a region of Algiers-center. After a coverage study of this deployment, we optimize the network that it is already planned in the first stage to improve the performances of the network. In the second stage, we plan to increase the maximum speed in some areas of this region by using new technologies of 5G NR.

The obtained results show that the Algiers-center region is well covered with good signal quality and a maximum throughput greater than 1 Mbit/s for most areas of this region.

Keywords: 5G, 5G NR, macro cell, micro cell.

ملخص

في الآونة الأخيرة، تطورت التكنولوجيات اللاسلكية بنشاط في جميع أنحاء العالم بسبب المتفجرات وزيادة الطلب على شبكة إنترنت الأشياء وزيادة عدد المستخدمين . كنتيجة لذلك، ظهرت تحديات كبيرة مفادها أنه يجب على الجيل الرابع من شبكات الهاتف المحمول التغلب عليها. لذلك، أصبح ظهور تقنية الجيل الخامس أمرًا بالغ الأهمية موضوع جذاب حيث يمكن للشبكات تلبية احتياجات الاتصالات لمليارات الأجهزة المتصلة،مع المفاضلات الصحيحة بين السرعة والكمون والتكلفة والتي تستهدف مجموعة واسعة من المجالات مثل المجتمع والطاقة والصحة ووسائط الإعلام والصناعة والنقل وما إلى ذلك.

الهدف من هذه الأطروحة هو تنفيذ نشر شبكة 5G باستخدام تقنيات متقدمة متعددة في مختلف دراسات حالة باستخدام أداة تخطيط الراديو تسمى Winprop.

تتكون الحالة الأولى من النشر العشوائي لشبكة 5G باستخدام الخلايا الكلية في الجزائر العاصمة، بعد دراسة تغطية هذا الانتشار، نحقق المستوى الأمثل التي تم التخطيط لها بالفعل في الحالة الأولى لتحسين أداء الشبكة في الحالة الثانية، من المقرر زيادة الحد الأقصى للإنتاجية في بعض مناطق هذه المنطقة باستخدام تقنيات جديدة من 5G .

ونتيجة لذلك، فإن منطقة الجزائر - الوسطى مغطاة جيدًا بجودة إشارة جيدة وتدفق اكبر من 1 ميجابت في الثانية لمعظم مناطق هذه المنطقة.وفي الختام، تناقش هذه النتائج.

الكلمات الرئيسية: 5G، 5G NR، الخلايا الكلية، الخلية الدقيقة.

Table de matière

Remerciements……I
Dédicace ……II
Résumé ……...III
Abstract……IV
ملخص……V
Introduction générale ……..1

Chapitre01 : Généralités sur 5G

1-Introduction ……3
2-Évaluation des réseaux mobiles ……..…….3
3-Comparaison entre les différentes générations…….5
4-Applications du 5éme génération……7
5- L'Objectif de la 5G……..7
6-Avantages et inconvénients du 5éme génération 8
6-1-Avantage……....8
6-2-Inconvénients de la technologie 5G……..8
7- Activités de normalisation……9
7-1- UIT-R…….9
7-2-3GPP……10
7-3- IEEE ……....10
8-Scénarios d'utilisation pour les IMT-2020……...11
9-Capacité de l' IMT-2020.....13
10-Les solutions envisagées pour la 5G……..…....14
11-La 5G dans le monde.....15

Chapitre 2 : Les technologies habilitantes de la 5G NR

1-Introduction à la 5G NR ……..16
2-Architecture de la 5G NR …….…….. ……16
3-Caractéristiques de la couche physique ……...18
3-1-Accès multiple …….…….18

Table de matière

3-2-Structure du domaine temporel……...19

3-3-Schémas duplex ……..……..21

3-4-Transmission multi-antennes ……..…23

3-5- Canaux physiques et signaux de référence…….…….....23

4-Principe de la 5ième génération……..……..…..…….25

4-1- Les ondes millimétriques (mmWave)……..…….25

4-1-1 Caractéristique des fréquences millimétriques ……..……..…25

4-1-2- Modes de propagation ……..…..26

4-2-Petites cellules……27

4-2-1-Réseaux hétérogène …….....28

4-2-2- Réseau ultra dense (UND)…….……....29

4-3-Massive MIMO ……...….29

4-4-Formation de faisceaux (Beamforming)……...……...31

4-5- Techniques d'accès……..……....32

4-6-Découpage du réseau 5G (Network slicing)……....32

5- Description des phénomènes physiques dans un canal radio ……..…....33

5-1-Les scénarios LOS et NLOS ..……..…….....33

5-2-Les mécanismes de propagation ……34

5-2-1- Dispersion (Scattering)……34

Chapitre03 : Déploiement du réseau : Simulation et Résultat

1-Introduction……36

2-Simulateur utilisé……..……..…36

2-1-Paramètres de configuration générale ……..……...…36

2-1-1Configuration de site ……...37

2-2- 1-Configuration des émetteurs ……37

2-1-3- Configuration de projet…….…….…….…. .37

2-2-Modèle de propagation ……...……..… .37

2-3-Prédictions et simulation ……...…….. . .37

3-Déploiement de réseau……..... ... .38

3-1-Planification des macro- cellules …… …….....40

3-2- Optimisation des macro-cellules ……43

3-3-Déploiement des petites cellules ……51

4- Comparaison……..……60

Table de matière

Conclusion générale……62

Table des figures

Figure	Légende	Page
I .1	L'évolution des générations de téléphones mobiles	05
I.2	Cas d'utilisation de la 5G	12
I.3	Clé des capacités de L'IMT-2020	13
I.4	Mots clés des solutions envisagées pour les réseaux 5G	14
II.1	l'architecture de réseau 5G	16
II.2	Séparation fonctionnel entre NG-RAN et 5GC	17
II .3	Architecture de NG-RAN	17
II.4	Structure temporelle dans les trames 5G NR	19
II.5	Modes de fonctionnement des schémas duplex2	22
II.6	Représentation graphique 3. De l'interférence BS-to-BS	23
II.7	Résultats des mesures de propagation pour une antenne à 3 GHz et pour un réseau d'antenne 30 GHz	27
II.8	Système Massive MIMO avec N antennes pour desservir *K* utilisateurs	30
II.9	Environnement et mécanismes de propagation	33
III.1	La donnée vectorielle pour le bâtiment urbain « Alger –centre »	39
III.2	Donnée topographique en pixel « Alger-centre »	39
III.3	Modèle numérique de terrain.	40
III.4	L'emplacement des macro-cellules	40
III.5	Le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne	41
III.6	Couverture de débit maximal pour les 2 macro-cellules 3D	42
III. 7	Comparaison entre l'azimut et l'inclinaison avant et après l'optimisation	43
III.8	Graphe de variation de pourcentage de cibler	44
III. 9	La couverture de débit maximal après l'optimisation 3D	45

Table des figures

III.10 La couverture du SINR 3D…….46

III.11 l'affaiblissement de macro (site2) 3D……46

III.12 l'affaiblissement de macro (site3) 3D……..……..47

III.13 Visibilité directe de communication pour le 1^{ér} macro (site2) 3D…….48

III.14 Visibilité directe de communication pour le 2^{éme} macro (site3) 3D……..48

III.15 Le retard de réponse pour macros 1er (site2) 3D……..49

III.16 Le retard de réponse pour 2^{éme} macro (site3) 3D……..50

III .17 La couverture de puissance pour les macro en 3D……...51

III.18 L'emplacement des petites cellules sans couverture……52

III .19 Le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne (micro) en 2D……...53

III .20 Le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne (pico) en 2D…….....53

III.21 Distribution des carriers 3D…….54

III.22 Chevauchement des petites cellules 3D……..…….55

III.23 La couverture de débit maximal de données et de débit pour les petites cellules en 3D…….....56

III.24 La couverture de débit maximal après l'optimisation 3D……..57

III.25 Couverture de SNIR en 3D …….……57

III.26 Couverture de SNIR en 3D……..……58

III.27 La couverture de puissance pour les petites cellules en 3D…….….58

III.28 La couverture de puissance pour les macro cellules en 3D……59

III .29 Graphe de variation de Drive Teste……60

Liste des tableaux

Tableau **Légende** **Page**

I.1 les caractéristiques des différentes générations mobiles……....6

II.1 5G1. NR numérologies……..……18

II.2 Bandes d'exploitation 5G2 NR…….....19

II.3 Caractéristiques des différents types de cellules……28

III.1 les paramètres configurés des émetteur……..41

III.2 Qualité de débit de donnée pour les 2 macro-cellule …….42

Liste des abréviations :

1G 1ére Génération

2G 2éme Génération

3G 3éme Génération

4G 4éme Génération

5G 5éme Génération

3GPP 3rd Generation Partnership Project

AMPS Advanced Mobile Phone System

BDMA Binary Division Multiple Access

BS Base Station

CDMA Code Division Multiple Access

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency

DL Downlink

FDMA Frequency Division Multiple Access

FDD Frequency Division Duplexing

FD Full Duplex

FR1 Frequency Range1

FR2 Frequency Range2

GSM Global System Mobile

HSPA Height Speed Packet Access

IOT Internet of Things

IMT-2020 Telecommunication Mobiles International 2020

IPV6 Internet protocol version 6

IP Internet Protocol

LTE Long Term Evolution

LAN Local Area Network

LOS Line Of Sight

MIMO Multiple Input Multiple Output

MS Mobile Station

mMIMO Massive MIMO

mMTC Massive Machine Time Communication

NFV Network Functions Virtualization

NSA Non Stand Alone

NLOS Non Line Of Sight

PDU Protocol Data Unit

QOS Quality Of Service

RAN Radio Access Network

RF radio frequency

SMS Short Message Service

SA Stand Alone

SDN Software Defined area Network

SCF Small Cell Forum

SISO Signal Input Single Output

SNIR Signal to Interference of noise Ratio

TACS Total Access Communication System

TDMA Time Division Multiple Access

TD-SCDMA Time Division Synchronous Code Multiple Access

TDD Time Division Duplex

URLLC Ultra Reliable Low Latency Communication

UL Uplink

UMTS Universe Mobile Telecommunication System

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access

WAN Wireless Area Network

WLAN Wireless Local Area Network

WPAN Wireless Personnel Area Network

WIMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction générale

Introduction générale :

Au fil des décennies, nous avons assisté un essor spectaculaire dans les de nombreux domaines tels que : la santé, le bien-être, l'industrie, le transport, etc. Ce développement est complété par l'émergence de nouveaux services liés à la multiplication des objets connectés. Le monde devient de plus en plus numérique et tout est connecté. Cette augmentation nécessite de nombreux progrès dans les systèmes de communication mobile, bien que les réseaux 4G actuels basés sur la norme LTE (Long Term Evolution) aient apporté de nombreuses solutions telles que l'augmentation de la vitesse et de la bande passante par rapport aux réseaux des générations précédentes. En utilisant la technologie IP, la 4G permet une navigation confortable sur Internet à l'aide d'un smartphone, d'une tablette ou d'un ordinateur portable. Cependant, du fait de la multiplication des différentes classes d'usage des objets connectés, ce réseau assez surchargé de spectre ne pourra plus répondre aux différents besoins des utilisateurs.

Face à ces problèmes, une nouvelle révolution s'émerge et un nouveau standard pour les systèmes de télécommunications, la 5G en abrégé. Cette norme ouvre la perspective de répondre aux besoins actuels comme aux besoins futurs, alors que nous aurons des centaines de milliards d'objets connectés, que nous utiliserons régulièrement des voitures autonomes, et que nous consommerons de plus en plus des vidéos en très haute définition. La 5G ne consiste pas seulement à traiter les lacunes liées à la bande passante ou à l'augmentation du débit, mais également pour atteindre une latence ultra-faible et une consommation d'énergie réduite grâce à des services de haute gamme.

La future génération de systèmes de télécommunications mobiles devra combiner plusieurs technologies dont on peut citer : l'utilisation des bandes mmWave, Massive MIMO, Small Cells, Ultra Dense Networks (UDN), MIMO Beamforming, etc.

Le mémoire est scindé en trois chapitres et est organisé de la manière suivante:

Dans le premier chapitre, on présent la succession des étapes conduisant à la 5G suivi par une comparaison entre les différentes générations. Ensuite, on montre les objectifs et les différentes applications de la 5G puis on détermine les différentes exigences des 3 catégories d'utilisateurs et pour finir, on parle de l'utilisation de 5G dans les pays développés.

Le deuxième chapitre est dédié à l'introduction à l'architecture de la 5G NR et les différentes caractéristiques de la couche physique. Ensuite, nous allons passer en revue l'ensemble des

technologies qui seront utilisées au niveau de la couche physique dans cette génération de réseau mobile. Enfin, on donne une description des scénarios Los et NLos, ainsi que les mécanismes de propagation à savoir, la réflexion, la transmission, la diffraction et la diffusion.

Le dernier chapitre est consacré pour le déploiement d'un réseau 5G en utilisant les différentes technologies dans différents cas d'études.

Et en fin, Nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale et une présentation de quelques perspectives dans le domaine des communications sans fil.

Chapitre01 : Généralité sur la technologie 5G

1-Introduction :

Le développement des réseaux mobiles n'a cessé de croître. Il y a eu plusieurs générations de la 1G à la nouvelle génération de la 5G. Cette technologie d'avenir appelée la cinquième génération n'est pas une simple évolution de ses prédécesseurs, mais représente l'ouverture aux larges panels. Extrêmement diversifiée applications et services pour répondre aux exigences ambitieuses des utilisateurs professionnels et particuliers. En fait, cette augmentation temporelle du débit n'est pas la préoccupation première, le défi à relever est plus important, car l'impact de ce nouveau standard de communication s'étend à différents domaines d'activité. Par conséquent, les réseaux 5G doivent adopter des solutions techniques avancées pour répondre à ces nombreux défis. Dans ce chapitre, nous fournirons des informations générales sur la technologie 5G.

2-Évaluation des réseaux mobiles :

Au cours des dernières décennies, les utilisateurs ont été habitués à disposer d'une connexion réseau sans fil dans leurs Smartphones ou leurs montres intelligentes, entre autres. Les communications mobiles ont connu une évolution, depuis la première génération (1G), qui utilisait une technologie de commutation de circuits, en passant par la troisième génération (3G), qui a introduit la commutation par paquets, jusqu'à la cinquième génération (5G), la plus récente.

Le système de première génération (1G) était un système de téléphonie mobile analogique à voix seule des années 1980. Les systèmes 1G incluent NMT, AMPS et TACS. Les communications mobiles étaient disponibles avant les systèmes 1G, mais étaient généralement plus petites et ciblaient des populations spécifiques [1].

Le système de deuxième génération (2G) est apparu au début des années 1990, et la 2G se caractérise par l'utilisation de la transmission à commutation numérique et de la technologie de commutation. Les communications numériques ont considérablement amélioré la qualité de la voix et la capacité du réseau, et ont permis une croissance sous la forme de services supplémentaires et d'applications avancées, telles que le service de messages courts (Short Message Service SMS) pour stocker et transmettre des informations textuelles. Contrairement aux systèmes 1G qui étaient uniquement basés sur FDMA, le GSM (c'est-à-dire 2G) est basé sur une méthode hybride d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)/accès multiple par répartition en (FDMA) [2].

Dans les années 90, la nécessité de prendre en charge non seulement les services vocaux mais également les services de données a commencé à émerger, ce qui a conduit à la nécessité d'une nouvelle génération de technologie cellulaire au-delà des services uniquement vocaux. À la fin des années 1990, le GSM 2G, bien que développé en Europe, était devenu de facto la norme mondiale. Afin d'assurer la couverture mondiale de la technologie 3G, les gens se rendent compte que le développement de la 3G doit se faire à l'échelle mondiale. À cette fin, le projet de partenariat de 3éme génération (3GPP) a été créé pour développer les technologies 3G WCDMA et TD SCDMA Peu de temps après, une organisation parallèle 3GPP2 a été créée pour développer les technologies 3G CDMA2000 concurrentes, une évolution de 2G IS-95 [3].

La technologie 4G LTE a été dès le début développée pour la prise en charge des données par paquets et ne prend pas en charge la voix à commutation de circuits, contrairement à la 3G où HSPA était un « ajouter» pour fournir des données par paquets hautes performances en plus de la technologie existante. Les services mobiles à large bande étaient au centre des préoccupations, avec des exigences strictes en matière de débits de données élevés, de faible latence et de capacité élevée. La flexibilité du spectre et le maximum de points communs entre les solutions FDD et TDD étaient d'autres exigences importantes. Une nouvelle architecture de réseau central a également été développée, appelée Noyau de paquet évolué(EPC), pour remplacer l'architecture utilisée par GSM et WCDMA / HSPA. La première version de LTE faisait partie de la version 8 des spécifications 3GPP et le premier déploiement commercial a eu lieu fin 2009, suivi d'un déploiement rapide et mondial des réseaux LTE [1].

La cinquième génération pour les téléphones mobiles hérite la quatrième génération en 2020.Cette évolution reposera sur un nouveau concept Internet des objets (IOT) pour connecter les objets physiques du monde à Internet : Des voitures autonomes à la chirurgie robotique, en passant par les appareils de réalité augmentée et virtuelle, les drones, et plus largement, les communications mobiles couvriront un nouveau domaine avec des fréquences comprises entre 6 GHz et 300 GHz, et certaines tranches seront inférieures à la licence, mais un grand partie est libre [2]. Par rapport à la 4G, cette nouvelle technologie permet des débits sensiblement plus élevés avec des latences sensiblement réduites et des débits plus rapides, tout en évitant le risque de saturation du réseau lié à une utilisation accrue des appareils numériques (Smartphones, tablettes, objets connectés).Son déploiement en dépend. En particulier, le débat sur les effets sanitaires des ondes

électromagnétiques et l'impact de la technologie sur l'environnement. La 5G ne représente pas une évolution des réseaux précédents, mais elle correspond à de nouveaux réseaux. Un socle technologique développé pour accompagner les besoins croissants des clients [4].

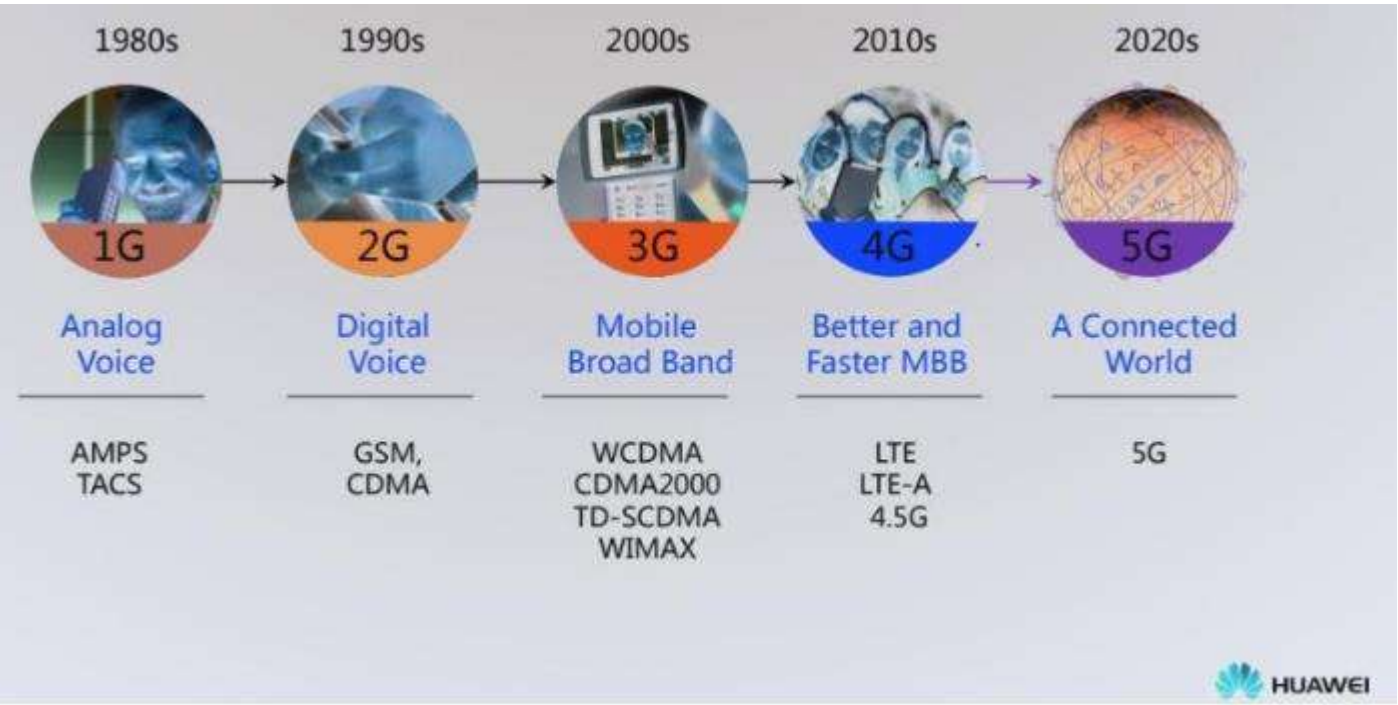


Figure I .1 : L'évolution des générations de téléphones mobiles [5].

3-Comparaison entre les différentes générations:

L'utilisation des services de communication mobile a considérablement augmenté ces dernières années. Par rapport aux générations précédentes, la 5G est différente en ce sens qu'elle combine des capacités nouvelles et améliorées pour couvrir un large éventail de cas d'utilisation, de systèmes, de réseaux et de capacités radio envisagés. Cette vision nous oblige à partir de zéro et à tirer parti des 20 dernières années d'expérience dans le développement technologique. L'invitation à soumettre des propositions techniques candidates d'interface hertzienne pour la composante terrestre de l'interface IMT-2020 et à participer à son évaluation ultérieure est bien pensée. Le

tableau ci-dessous résume les fonctionnalités de la 5G et des 4G, 3G, 2G et 1G actuellement disponibles [6] :

Tableau I.1 : Les caractéristiques des différentes générations mobile [5]

Caractéristique	1G	2G	3G	4G	5G
Débit maximal	171.2 Kbit/s	9.6 Kbit/s	1.9 Mbit/s	1Gbit/s	20Gbit /s
Vitesse(Km/h)	/			350	500
Latence (ms)	/		150	10	1
Efficacité énergétique du réseau	/	/	/	1X	100X
Débit sur zone	/	/	/	0.1(Mbit/s/m^2)	10(Mbit/s/m^2)
Bande passante de donnée	2 Kbps	14.4 – 64Kbps	2Mbps	2Mbps à 1Gbps	1Gbps et plus selon le besoin
La bande de fréquence	150Mhz	1.8Ghz	2Ghz	2 à 8 GHz	3 à 300 GHz
Accès multiple	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA, BDMA
Les technologies	Analogique	Numérique	Large bande Passante CDMA, technologie IP	IP unifiée, Intégration transparente des réseaux LAN/WAN/PAN et WLAN à large bande	IP unifiée, Intégration transparente des réseaux LAN/WAN/PAN/WLAN à large bande et technologies basées sur modulation OFDM utilisée 5G
Service	Téléphonie Mobile (voix)	Voix Numérique, Messagerie courte de capacité supérieure En paquets	Audio, Vidéo et Données intégrées de haute qualité	Accès dynamique aux informations sur les appareils portables, streaming HD, itinérance mondiale	Accès dynamique aux informations sur les appareils portables, streaming HD, toute demande des utilisateurs

4-Applications du 5^{éme} générations :

La technologie 5G est parée de nombreuses caractéristiques distinctes, dont l'applicabilité est utile à un large éventail de personnes, indépendamment de leurs objectifs (comme le montre l'image du site web).Certaines des applications importantes sont [7] :

- Elle permettra d'établir une norme mondiale unifiée pour tous.
- La disponibilité du réseau sera partout et permettra aux gens d'utiliser leur ordinateur et leurs appareils mobiles partout et à tout moment.
- Grâce à la technologie IPv6, l'adresse IP sera attribuée en fonction du réseau connecté et de la position géographique.
- Son application fera du monde une véritable zone WIFI.
- Sa technologie de radio cognitive permettra à différentes versions de radio technologies de partager efficacement le même spectre.
- Son application permettra aux gens d'avoir accès à des signaux radio même à haute altitude.

5-L'objectif de la 5G:

L'application de la 5G est très équivalente à l'accomplissement d'un rêve. Elle est intégrée avec des fonctionnalités avancées au-delà des limites par rapport aux technologies précédentes. Par rapport aux technologies radio précédentes, la 5G présente les avancées suivantes [5] :

- Il est pratiquement possible de bénéficier de la super vitesse de 1 à 10 Gbps.
- La latence sera de 1 milliseconde.
- Bande passante par unité de surface augmentée d'un facteur 1000.
- Possibilité de connecter de 10 à 100 appareils.
- Couverture mondiale.
- environ 90% de réduction de l'utilisation de l'énergie du réseau.
- La durée de vie des batteries sera beaucoup plus longue.
- Le monde entier sera en zone WIFI.

6-Avantages et inconvénients du 5éme génération:

La technologie de 5éme génération offre un large éventail de fonctionnalités, qui sont bénéfiques pour tous les groupes de personnes, y compris, les étudiants, les professionnels et même pour un homme ordinaire.

6-1-Avantages :

Il existe plusieurs avantages de la technologie 5G, certains des avantages sont décrits comme suit [7] :

- Mise en forme haute résolution et bidirectionnelle à large bande passante.
- Technologie permettant de rassembler tous les réseaux sur une seule plate-forme.
- Plus d'efficacité et d'efficience.
- Technologie facilitant les outils de supervision des abonnés pour une action rapide.
- Le plus probable est qu'il y aura une énorme diffusion de données (en Gigabit), qui supportera plus de 60.000 connexions.
- Facilement gérable par rapport aux générations précédentes.
- Une technologie solide pour supporter des services hétérogènes (y compris les réseaux privés).
- Capacité à fournir une connectivité unifiée, transparente, et cohérente à l'échelle mondiale.

6-2-Inconvénients de la technologie 5G :

Bien que la technologie 5G soit recherchée et conceptualisée pour résoudre tous les problèmes de signaux radio et les difficultés du monde monolithique, mais en raison de certaines raisons de sécurité et du manque de progrès technologique dans la plupart des régions géographiques, elle présente les inconvénients suivants [7] :

- La technologie est encore en cours de développement et la recherche sur sa viabilité se poursuit.
- La vitesse à laquelle cette technologie prétend semble difficile à atteindre (à l'avenir, elle pourrait l'être) en raison de l'incompétence du support technologique dans la plupart des régions du monde.

- Beaucoup d'anciens appareils ne sont pas adaptés à la 5G et doivent donc être remplacés par de nouveaux appareils coûteux.
- Le développement de l'infrastructure nécessite des coûts élevés.
- Les problèmes de sécurité et de confidentialité ne sont pas encore résolus.

7-Activités de normalisation :

Les paragraphes suivants décrivent brièvement les activités de normalisation de la 5G menées par l'UIT, le 3GPP et l'IEEE.

7-1- UIT-R :

En 2012, le Secteur des radiocommunications (UIT-R), dirigé par le Groupe de travail 5D, a lancé un plan visant à développer une IMT pour 2020 et au-delà". L'objectif est de développer des exigences pour l'interface hertzienne pour les communications mobiles 5G. Le groupe de travail 5D a élaboré le plan de travail, le calendrier, le processus et les livrables pour "IMT-2020". Notez que le groupe de travail 5D utilise actuellement "IMT-2020" comme terme de travail pour désigner la 5G. Selon le plan de travail, la "Spécification IMT-2020" devrait être 2022. En septembre 2015, les trois rapports suivants avaient été achevés :

- **Tendances technologiques futures pour les systèmes IMT de Terre**: ce rapport fournit des informations sur les tendances technologiques des systèmes IMT de Terre pour 2015-2020 et au-delà. .. Les technologies discutées dans ce rapport sont une collection d'outils techniques qui pourront être utilisés à l'avenir.

- **Vision proposée pour les IMT au-delà de 2020:** ce rapport examine la vision à long terme pour 2020 et au-delà, et fournit un cadre général et des objectifs pour le développement futur des IMT.

- **Faisabilité des IMT au-dessus de 6 GHz :** Ce rapport fournit des informations sur les études de faisabilité technique des IMT dans les bandes de fréquences supérieures à 6 GHz. Ces rapports ont joué un rôle important lors de la CMR 2015, où environ 400 MHz supplémentaires ont été alloués aux IMT [8].

7-2- 3GPP :

Le 3GPP a approuvé un calendrier pour la norme 5G, un processus qui devrait se poursuivre jusqu'en 2020. Points d'étude et portée des exigences radio critiques du RAN 5G à partir de décembre 2015. Un point d'étude correspondant pour les nouveaux accès radio 5G a été lancé en mars 2016 dans un groupe de travail 3GPP. De plus, le 3GPP résout les problèmes suivants dans le contexte du LTE et du GSM Besoins de communication de masse de type machine, tels qu'une large couverture, une faible consommation d'énergie et des appareils à faible coût. La piste MTC pour LTE s'appelle LTE-M et NB-IOT, tandis que la piste MTC pour GSM s'appelle Couverture étendue GSM. Il s'agit de la couverture étendue - GSM internet des objets (EC-GSM-IOT) [8].

7-3- IEEE :

La principale organisation de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE), qui s'occupe des questions locales et régionales, est l'IEEE. Traitant des réseaux locaux et métropolitains est le comité de normalisation IEEE 802. Le projet IEEE 802.15, qui porte sur les réseaux personnels sans fil (WPAN), est l'un des plus importants. les réseaux personnels sans fil (WPAN) et le projet IEEE 802.11 qui spécifie les réseaux locaux sans fil (WPA). Qu'il spécifie les réseaux locaux sans fil (WLAN). Les technologies IEEE 802.11 ont été initialement conçues pour fonctionner dans la bande de fréquences de 2,4 GHz. Plus tard, l'IEEE 802.11 a développé une norme Gigabit dans les amendements IEEE 802.11ac (à des fréquences plus élevées, c'est-à-dire la bande des 5 GHz) et IEEE 802.11ad (dans la bande des ondes millimétriques de 60 GHz). Ces systèmes sont utilisés commercialement depuis 2013, et les systèmes prenant en charge le fonctionnement gigabit dans les bandes de fréquences inférieures à 6 GHz (telles que IEEE 802.11ax) et les bandes de fréquences millimétriques (telles que IEEE 802.11ay) seront disponibles vers 2019. L'IEEE peut présenter un candidat de l'un de ses composants technologiques à haut débit des IMT-2020. Pour les IMT-2020. L'amendement IEEE 802.11p est destiné aux applications embarquées et sera largement utilisé pour la communication V2V après 2017. L'IEEE est également actif dans l'espace IOT, avec des amendements IEEE 802.11ah prenant en charge le fonctionnement WIFI. La norme IEEE 802.15.4 a conduit à la spécification d'un réseau personnel sans fil à faible débit (LR-WPAN), qui est également spécifié pour la connectivité maillée ad hoc par le Zigbee Alliance [8]. Le système 5G devrait utiliser des interfaces radio auxiliaires telles que celles

spécifiées par l'IEEE. Les interfaces entre ces interfaces hertziennes et le réseau 5G seront spécifiées en accordant une attention particulière à l'adressage, à la gestion des identités, à la mobilité, à la sécurité et aux services. [8]

8-Scénarios d'utilisation pour les IMT-2020 :

Avec un large éventail de nouveaux cas d'utilisation émergeant comme l'un des principaux moteurs de la 5G, l'UIT-R définit les cas d'utilisation dans le cadre de la proposition de vision IMT. Le processus IMT-2020 au sein de l'UIT-R WP5D a pris en compte les contributions de l'industrie mobile et de différentes organisations régionales et d'opérateurs et a été synthétisé dans les trois scénarios suivants [9] :

- **eMBB** (haut débit mobile amélioré) : c'est-à-dire des communications mobiles ultra-rapides. Cette utilisation est cohérente avec les générations mobiles précédentes et permet de faire face à la croissance exponentielle des usages données mobiles. On assiste à des demandes l'accès au contenu, services et données multimédias, dans les grands centres urbains à forte densité d'usagers,. Cette demande va conduire à des besoins en bande passante, ce qui conduira à la large bande .L'objectif est donc de pouvoir répondre à la demande croissante en termes de volume de données et vitesse de transfert et couverture, quel que soit l'environnement de réception.
- **mMTC** (communication massive de type machine): c'est-à-dire la communication entre objets. Ou l'automatisation des processus industriels par la communication.

Ce cas d'utilisation :

- ✓ nécessite une haute qualité.
- ✓ Et caractériser par :
  - La quantité de données à transférer par communication est généralement limitée, et La vitesse de transfert n'est pas limitée.
  - Un domaine d'application typique est urbain. Différents services sont gérés intelligemment grâce à un réseau de capteurs.

Services en termes de faible consommation d'énergie, bonne connectivité (jusqu'à un million par kilomètre carré), et haute fiabilité.

- **uRLLC** (communications ultra-fiables à faible latence): ce scénario d'utilisation sera très important dans les futures applications nécessitant une très grande réactivité en même temps qu'une transmission extrêmement fiable.

Des besoins qui se retrouvent principalement dans les transports autonomes, dans la numérisation de l'industrie, dans la chirurgie à distance, et dans les réseaux électriques intelligents.

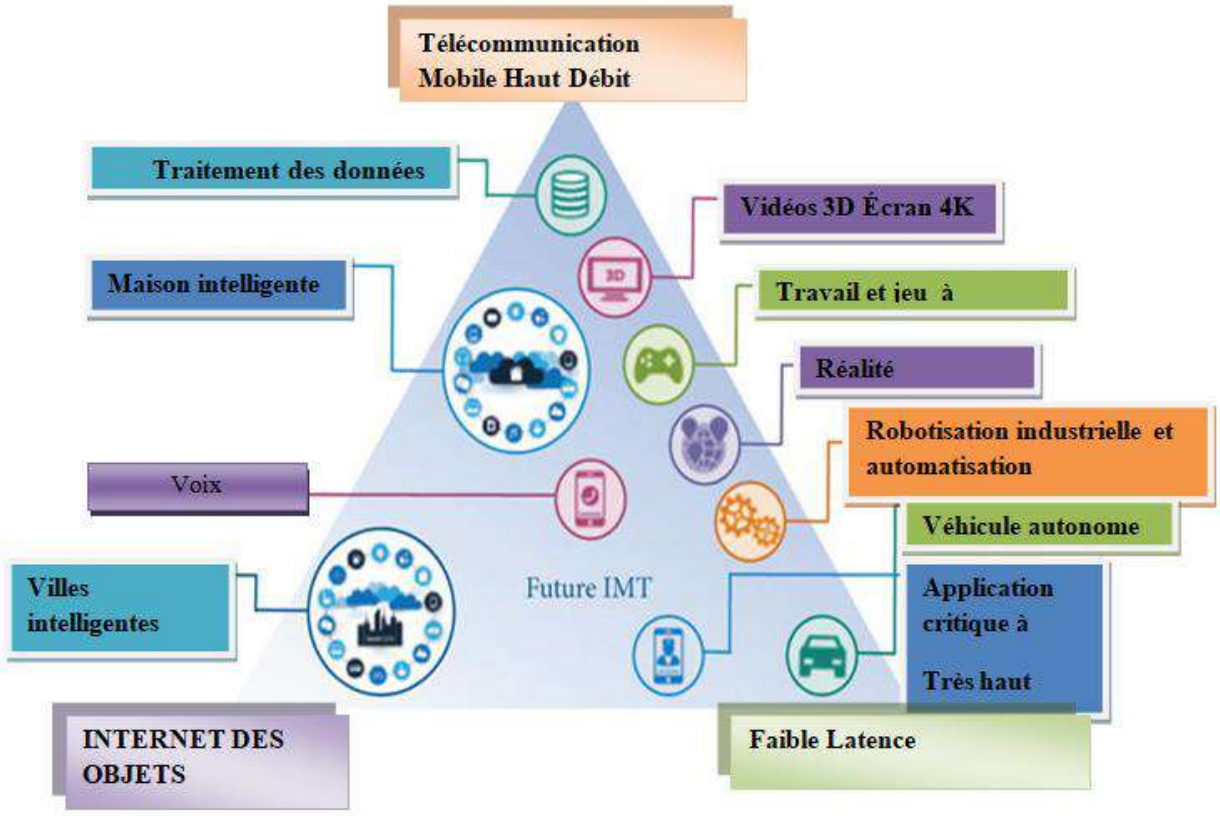


Figure I.2 : Cas d'utilisation de la 5G [8]

La figure I.2 illustre les scénarios d'utilisation et quelques exemples de cas d'utilisation. Ces trois scénarios ne prétendent pas couvrir tous les cas d'utilisation possibles, mais ils fournissent un regroupement pertinent des cas d'utilisation les plus actuellement prévus et peuvent donc être utilisés pour identifier les capacités clés requises pour les interfaces radio de nouvelle génération [8].

9- Capacités de l'IMT-2020:

Les membres de l'UIT, y compris les dirigeants de l'industrie, les forums de l'industrie, l'industrie, les organismes de normalisation nationaux et régionaux, les régulateurs, représentants des opérateurs de réseaux, des fabricants d'équipements et des universités et instituts de recherche et états membres, réunis dans le cadre des activités du groupe travaille et complète une série d'études liées aux principales exigences. À propos des performances et des domaines d'application de la technologie 5G Le système IMT-2020 est utilisé selon les trois catégories mentionnées au section précédent .Il faut collecter et accepter les demandes pour avoir des idées spécifie les caractéristiques du système, de l'utilisateur et de l'opération. Les prescriptions applicables aux futurs systèmes IMT-2020 sont décrites dans les Recommandations UIT-R. La figure I.3 résume une étude comparative de ces besoins 5G par rapport à la 4G. Notez que la modification de certaines de ces exigences ne sera pas Trop important, car le réseau actuel apporte déjà quelques solutions. D'autre part, exigences, telles que la capacité de trafic, l'efficacité énergétique et les débits de données pour chaque zone d'énormes progrès doivent être réalisés sur les IMT-2020.

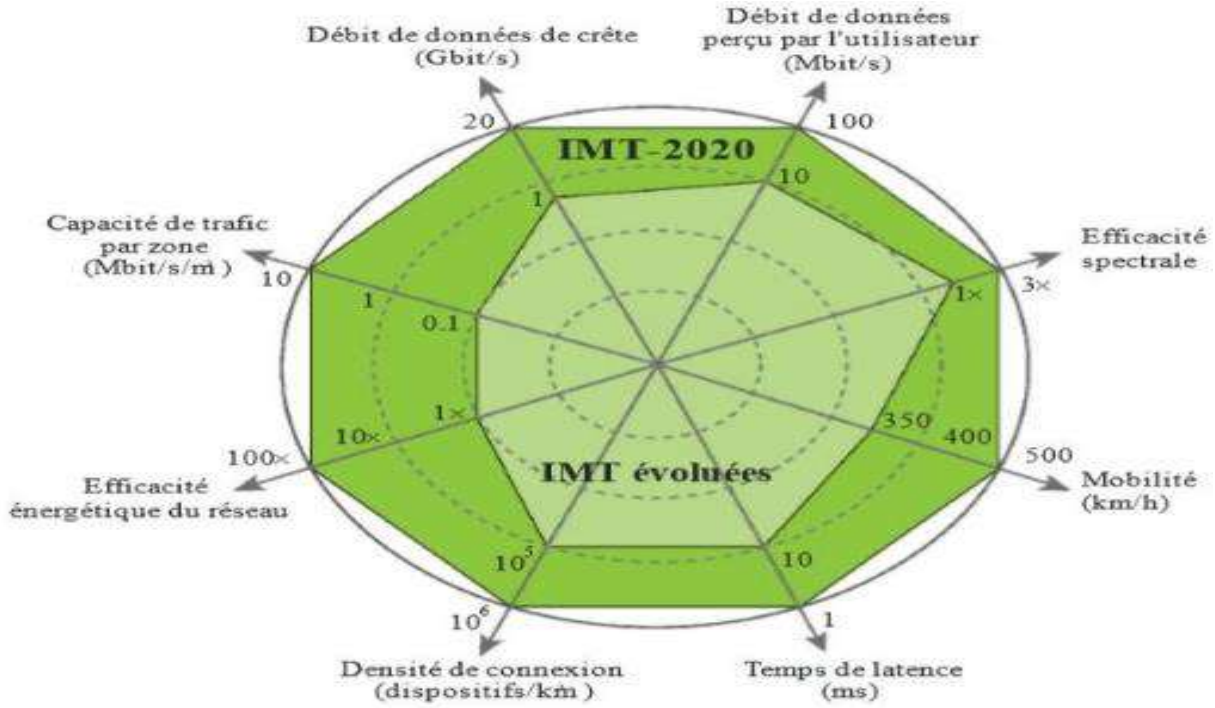


Figure I.3 : Clé des capacités de l'IMT-2020 [9].

10-Les solutions envisagées pour la 5G :

Pour répondre aux besoins de capacité, cela comprend l'augmentation des fréquences utilisées, l'augmentation des fréquences pour obtenir une plus grande bande passante. En utilisant des bandes de fréquences de plus en plus hautes, puis en revoyant l'architecture du réseau, on a parlé de réseaux denses et hétérogènes. Pour compléter le réseau actuel d'antennes macro longue portée, des antennes plus petites avec des distances plus courtes seront installées pour densifier les réseaux les plus exigeants. Antenne composite, composée de plusieurs antennes de base de plus petite taille. Ces cartes sont contrôlées par logiciel et contiennent un nombre croissant d'antennes de base qui permettent de focaliser la puissance instantanée transmise en tout point du secteur couvert. Il s'agit de mMIMO (massive MIMO), permettant notamment de cibler des zones plus étroites Interagir avec un seul utilisateur en utilisant des techniques de formation pendant une courte période de temps [10].

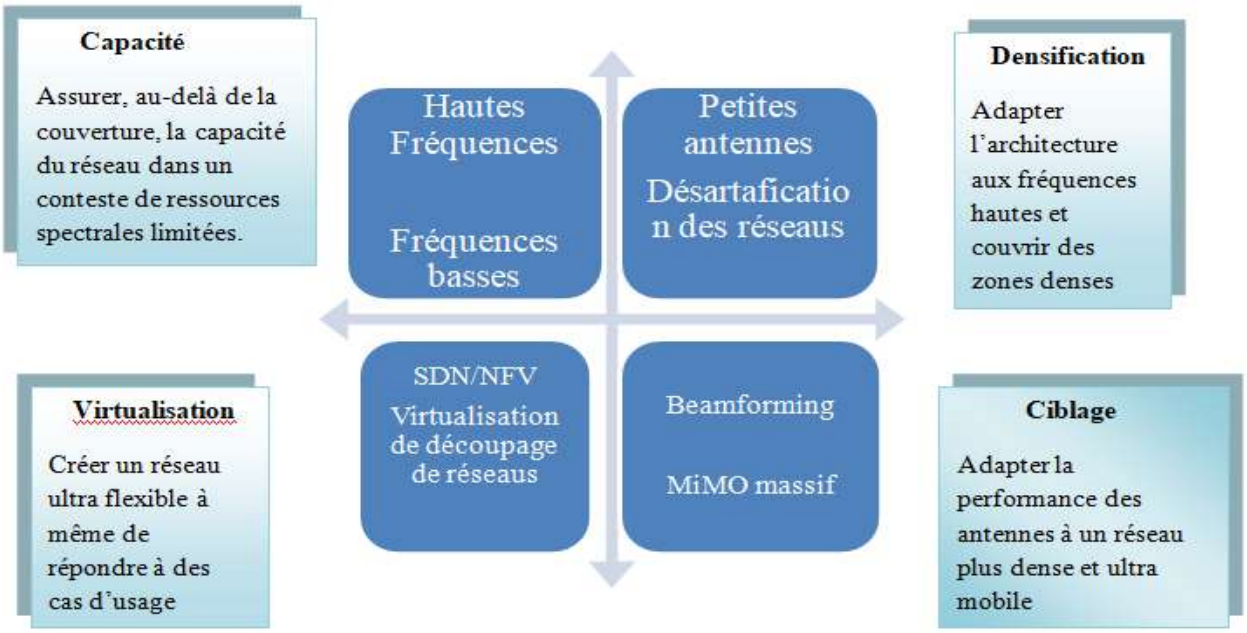


Figure I.4 : Mots clés des solutions envisagées pour les réseaux 5G [10]

Il existe deux manières de déployer la 5G : le mode non autonome NSA (Non autonome) ou le mode autonome SA (autonome). En mode non autonome NSA, le réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network), c'est-à-dire l'ensemble des antennes relais du réseau, est connecté au cœur de

réseau 4G. Cette architecture est la première à être standardisée par le 3GPP et testée par les opérateurs de réseau. Ce déploiement permet de s'appuyer sur le cœur de réseau existant, et la 5G doit être flexible et adaptable à une large gamme d'usages. Cette flexibilité sera possible en mode SA autonome, notamment grâce aux technologies de NFV (virtualisation des fonctions réseaux) et de radio logicielle SDN (réseau défini par logiciel) au cœur du réseau, le réseau d'antenne relais en amont, pour assurer que les serveurs d'applications sont exposés aux ondes générées par des réseaux qui ne dépendent pas directement de leur cœur de réseau [10].

11-La 5G dans le monde :

Le développement rapide de la technologie 5G est désormais crucial pour que l'Europe stimule l'économie, renforce la compétitivité industrielle et crée de nouveaux emplois. La technologie 5G innovante est essentielle car elle jouera un rôle essentiel dans le maintien du leadership de l'Europe dans l'industrie mondiale de la téléphonie mobile. Cependant, l'Europe prend du retard sur ses rivaux et espère rattraper son retard sur la technologie de pointe 5G [11].La recherche en Amérique du Nord est en général différente de celle en Europe et tend à être davantage basée sur les universités et les industries. Contrairement à l'Europe, il n'y a pas de financement public pour coordonner les efforts de recherche. L'Asie poursuit les mêmes objectifs que l'Europe en développant une feuille de route 5G. La Chine, le Japon et la Corée du Sud sont les principaux pays d'Asie menant des recherches sur la 5G. [11].En avril 2021 ,436 opérateurs travaillent à le déploiement de la 5G et 163 d'entre eux ont déjà lancé une offre commerciale dans 64 état .Ce qui signifie qu'un peu plus d'un tiers des pays du monde sont aujourd'hui exclus de cette avancée technologique. L'Afrique, L'Asie du sud, La Russie ou encore l'Amérique centrale incarnent des zones où la 5G peine à se déployer [12].

Chapitre02 :Technologies habilitantes de la 5G NR

1-Introduction à la 5G NR :

5G NR est la technologie d'accès relative à la prochaine génération de la norme des communications mobiles, qui est très différentes de la LTE au niveau des caractéristiques suivantes: Nouvelles bandes de fréquences inférieures et supérieures à 6GHz. Grande flexibilité des paramètres radio physique tels que la bande passante du canal, l'espacement de la sous porteuse et durée de symbole. Prise en charge de la formation de faisceaux pour les signaux de synchronisation et les canaux de radio diffusion. Et ces caractéristiques ont un impact sur la propagation du signal et par conséquent, accentuent la nécessité de mesures précises de la couverture, afin de permettre la planification correcte, ainsi que la vérification du réseau 5GNR et du lancement des stations de base [2].

2-Architecture de la 5G NR :

Un réseau 5G se compose d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau central 5G. Le réseau d'accès lui même est constitué d'un réseau d'accès radio de nouvelle génération (NG RAN) utilisant la nouvelle interface radio 5G(NR) et/ou connecté à Réseau central 5G. Différentes entités du réseau sont connectées via un réseau de transport TCP/IP sous-jacent, prenant en charge QOS [4].

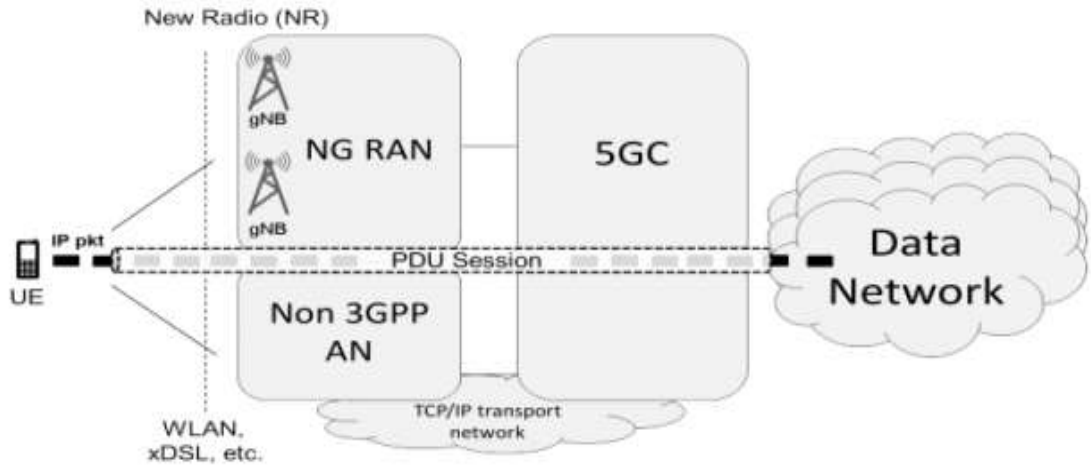


Figure II.1: l'architecture de réseau 5G [4]

Comme le montre la Figure II.1, les réseaux 5G connectent l'équipement utilisateur (UE) à réseau de données externe. Les sessions PDU représentent les services de connectivité 5G. Il se compose d'une série de tunnels NG en 5GC plus un ou plusieurs transporteurs radio sur l'interface radio. RAN est responsable de l'établissement, de la maintenance et de la libérez une partie de la session PDU sur l'interface hertzienne. Il a des problèmes déficiences physiques (par exemple, interférence,

réduction d'énergie, etc.), transferts inter-GNB et réutilisation de session (planification) Jeu de gestion des fonctions 5GC le reste du PDU et toutes les autres procédures non liées à l'accès radio (gestion, mobilité, sécurité de l'adresse IP, allocation, etc.) [13].

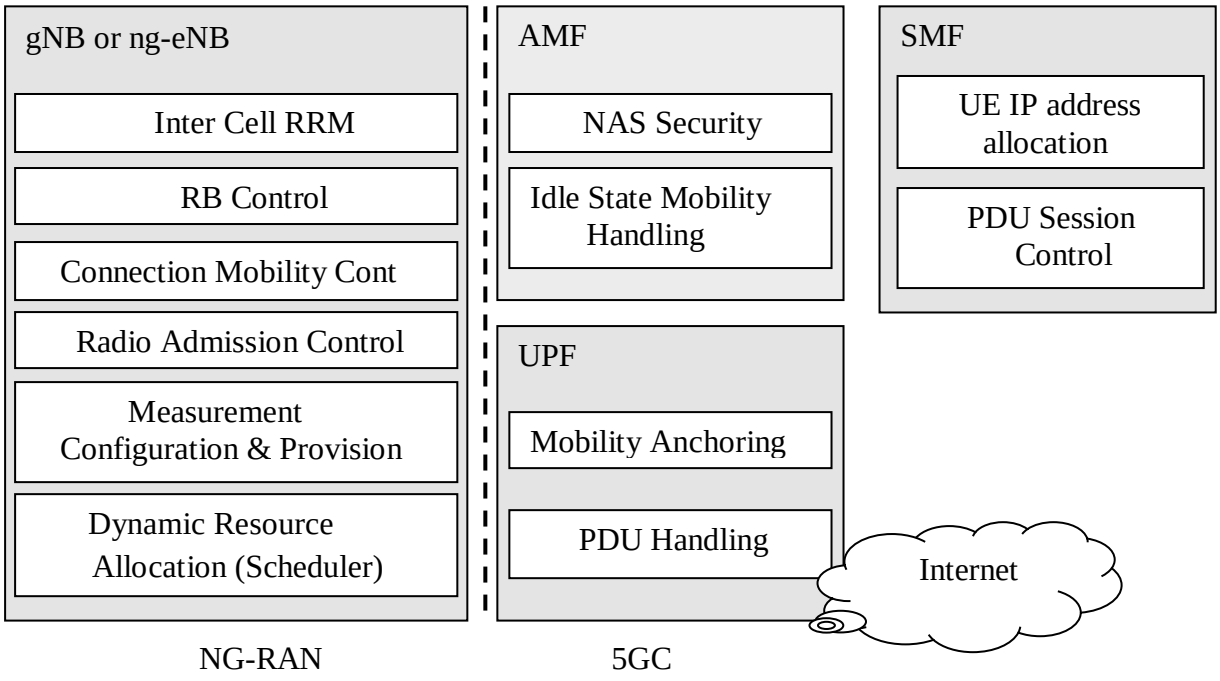


Figure II.2 : Séparation fonctionnel entre NG-RAN et 5GC [4].

-Réseau d'accès radio de nouvelle génération (NG-RAN):

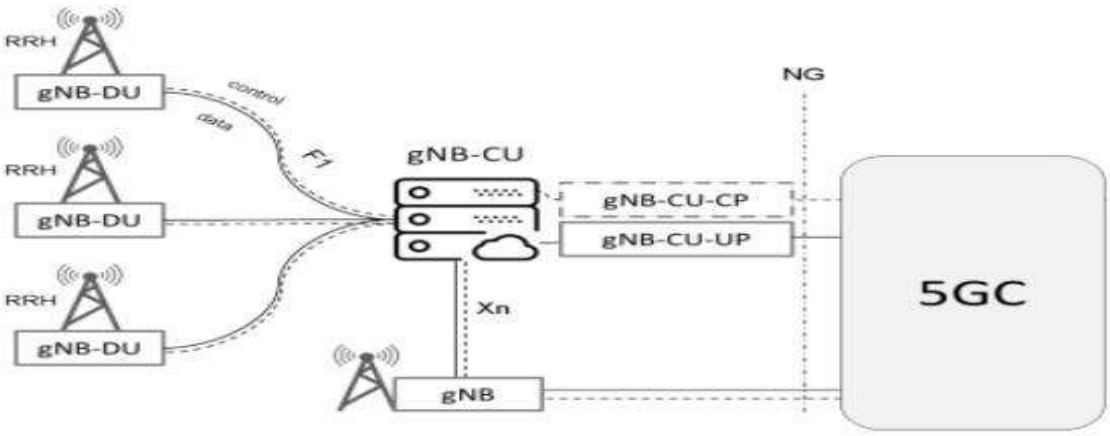


Figure II .3 : Architecture de NG-RAN [4].

Comme le montre la Figure II.3, le NG-RAN est un ensemble de stations de base 5G, appelées GNB, qui se connectent au 5GC via un ensemble d'interfaces logique. Les GNB peuvent être interconnectés via l'interface X_n pour améliorer Fonctions de mobilité (handover) et de gestion (coordination des interférences intercellulaires) [13]. Les fonctions des GNB sont parfois réparties.

Dans ce cas, le schéma résultant est se compose d'une unité centrale (GNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (GNB-DU) et connectez-vous à la carte radio à distance (RRH). L'unité centrale est en outre divisée en deux parties, une pour la fonction de plan de contrôle (GNB-CU-CP) et l'autre pour Fonction de plan utilisateur (GNB-CU-UP) [13].

3-Caractéristiques de la couche physique :

3-1-Accès multiple :

L'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA) est la technique d'accès multiple utilisée à la fois sur la liaison montante et sur la liaison descendante du réseau 5G. Dans la liaison descendante, il est possible d'utiliser une technique OFDMA pré-codée par TFD comme SC-FDMA, mais ce n'est pas obligatoire comme dans le LTE car il est préférable de maintenir la symétrie entre la liaison descendante et la liaison descendante. La norme 5G NR prend en charge ce que l'on appelle les numérisations, qui correspondent à différents espacements entre les sous-porteuses (Δf). Chaque numérologie porte une durée de symbole et un préfixe cyclique différents [14].

Tableau II.1 : 5G1. NR numérologies [15].

Espacement des sous-porteuses (Δf)	**Durée du symbole**	**Préfixe cyclique**
15 KHz	66.67 μs	4.69 μs
30 KHz	33.33 μs	2.34 μs
60 KHz	16.67 μs	1.17 μs
120 KHz	8.33 μs	0.59 μs
240 KHz	4.17 μs	0 .29 μs

Pour les basses fréquences, de faibles valeurs de Δf (15 KHz, 30 KHz et 60 KHz) sont souhaitables car elles permettent des préfixes cycliques plus longs, qui sont meilleurs par rapport à la plus grande propagation de retard des unités plus grandes. Cependant, aux hautes fréquences, des valeurs élevées de Δf (60 KHz, 120 KHz et 240 KHz) sont utiles pour annuler les erreurs de fréquence et le bruit de phase. En général, l'étalement du retard n'est pas un problème car des fréquences plus élevées sont utilisées pour les cellules plus petites. Un concept récurrent dans la 5G est celui des éléments de ressource (RE), qui font référence aux sous-porteuses (Δf) dans le domaine fréquentiel

et aux durées des symboles dans le domaine temporel. De même, un bloc de ressources (RB) fait référence à 12 sous-porteuses contiguës dans le domaine fréquentiel. Puisque les deux dépendent de Δf , les deux dépendent de la numérologie [14].

3-2-Structure du domaine temporel :

Une trame 5G NR se compose de 10 ms et chaque trame est subdivisée en sous-trames de 1 ms. Selon le nombre, chaque sous-trame comprend un ou plusieurs créneaux, et le créneau 1 comprend 14 symboles OFDMA. Un diagramme schématique de la relation temporelle entre les trames, les sous-trames et les intervalles de temps est présenté dans la figure II.4 [15] :

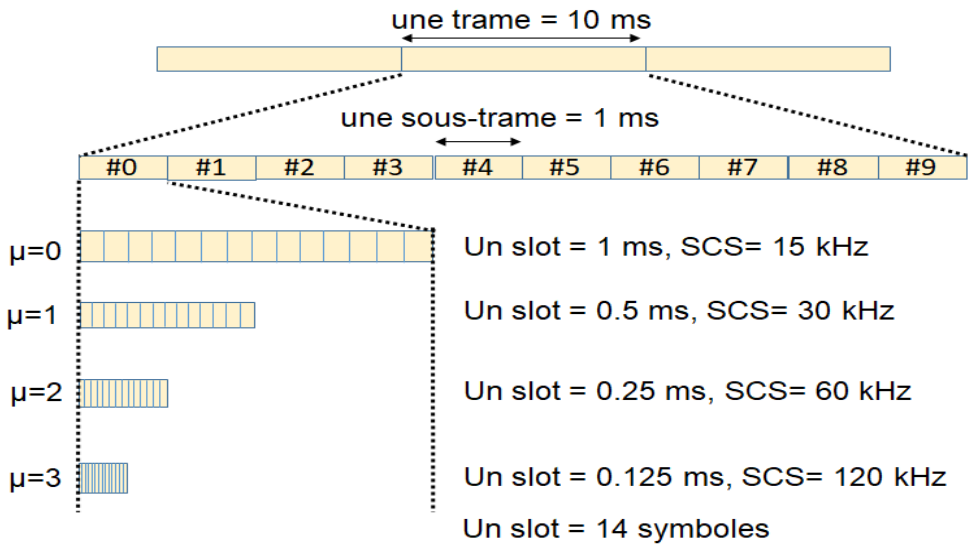


Figure II.4: Structure temporelle dans les trames 5G NR [15].

La 5G NR est conçue pour fonctionner dans plusieurs bandes qui, comme expliqué dans l'introduction de la thèse, peuvent être séparées en deux gammes de fréquences (FR). Ces bandes ainsi que leurs plages de fréquences respectives et leur mode duplex sont listés dans le tableau

II .2 [15].

Tableau II .2 : Bandes d'exploitation 5G2 NR [14].

Bande de fonctionnement NR	Fonctionnement de la liaison montante (UL) groupe	Fonctionnement de la liaison descendante (DL) Groupe	Mode duplex
n1	1920MHz-1980MHz	2110MHz-2170MHz	FDD
n2	1850MHz-1910MHz	1930MHz-1990MHz	FDD
n3	1710MHz-1785MHz	1805MHz-1880MHz	FDD
n5	824MHz-849MHz	869MHz-894MHz	FDD
n7	2500MHz-2570MHz	2620MHz-2690MHz	FDD
n8	880MHz-915MHz	925MHz-960MHz	FDD
n12	699MHz-716MHz	729MHz-746MHz	FDD
n20	832MHz-862MHz	791MHz-821MHz	FDD
n25	1850MHz-1915MHz	1930MHz-1995MHz	FDD
n28	703MHz-748MHz	758MHz-803MHz	FDD
n34	2010MHz-2025MHz	2010MHz-2025MHz	TDD
n38	2570MHz-2620MHz	2570MHz-2620MHz	TDD
n39	1880MHz-1920MHz	1880MHz-1920MHz	TDD
n40	2300MHz-2400MHz	2300MHz-2400MHz	TDD
n41	2496MHz-2690MHz	2496MHz-2690MHz	TDD
n50	1432MHz-1517MHz	1432MHz-1517MHz	TDD1
n51	1427MHz-1432MHz	1427MHz-1432MHz	TDD
n66	1710MHz-1780MHz	2110MHz-2200MHz	FDD
n70	1695MHz-1710MHz	1995MHz-2020MHz	FDD
n71	663MHz-698MHz	617MHz-652MHz	FDD
n74	1427MHz-1470MHz	1475MHz-1518MHz	FDD
n75	N/A	1432MHz-1517MHz	SDL
n76	N/A	1427MHz-1432MHz	SDL
n77	3300MHz-4200MHz	3300MHz-4200MHz	TDD
n78	3300MHz-3800MHz	3300MHz-3800MHz	TDD
n79	4400MHz-5000MHz	4400MHz-5000MHz	TDD

n80	1710MHz-1785MHz	N/A	SUL
n81	880MHz-915MHz	N/A	SUL
n82	832MHz-862MHz	N/A	SUL
n83	703MHz-748MHz	N/A	SUL
n84	1920MHz-1980MHz	N/A	SUL
n86	1710MHz- 1780MHz	N/A	SUL
n257	26500MHz-29500MHz	26500MHz-29500MHz	TDD
n258	24250MHz-27500MHz	24250MHz-27500MHz	TDD
n260	37000MHz-40000MHz	37000MHz-40000MHz	TDD
n261	27500MHz-28350MHz	27500MHz-28350MHz	TDD

La première gamme de fréquences (FR1) comprend des fréquences de 450 MHz à 6000 MHz et la seconde (FR2) commence à 24,25 GHz et se termine à 52,6 GHz. Dans FR1, les comptes d'attribution sont ceux correspondant à Δf = 15 KHz, 30 KHz et 60 KHz, tandis que pour FR2, les comptes d'attribution sont ceux correspondant à Δf = 60 KHz, 120 KHz et 240 KHz [15]. Étant donné que la bande passante maximale du canal dans LTE est de 20 MHz, on suppose que tout équipement utilisateur (UE) peut le prendre en charge. Dans la norme 5G NR, dans le cas de la bande millimétrique, la bande passante maximale disponible est de 400 MHz. L'utilisation de moins de bande passante (appareils IOT) et l'utilisation de canaux de 400 MHz entraînent une consommation d'énergie élevée. Pour résoudre ce problème, la 5G NR a introduit une « partie bande passante » (BWP), qui permet à certains UE de fonctionner dans un canal partiel. Chaque UE peut configurer jusqu'à 4 BWP dans l'UL et le DL d'une cellule, mais un seul des quatre peut être actif en même temps. Comme dans LTE, l'agrégation de porteuses (CA) peut être utilisée, ce qui permet à l'UE de transmettre ou de recevoir en utilisant plusieurs porteuses composantes simultanément, augmentant ainsi la bande passante globale. Un total de 16 porteuses peuvent être agrégées pour former une bande passante maximale de 16 - 400 MHz = 6,4 GHz. Un transporteur est la cellule primaire, les autres sont des cellules secondaires [15].

3-3-Schémas duplex :

La technologie 5G NR offre une grande flexibilité dans les schémas de duplexage. En LTE, FDD et TDD utilisent des structures de trame différentes, mais en 5G NR, une seule est utilisée, et sur la base du TDD dynamique, un créneau (ou une partie de créneau) peut être alloué dynamiquement au processus de planification DL ou UL. Le mode DRT dynamique est utile dans

les petites cellules à déploiement dense car le nombre d'UE dans une cellule est réduit et le DRT dynamique peut plus facilement suivre les changements rapides du trafic. De plus, étant donné que les puissances d'émission des UE et des cellules sont dans le même ordre, il est facile de coordonner les interférences dues aux décisions d'ordonnancement [16].

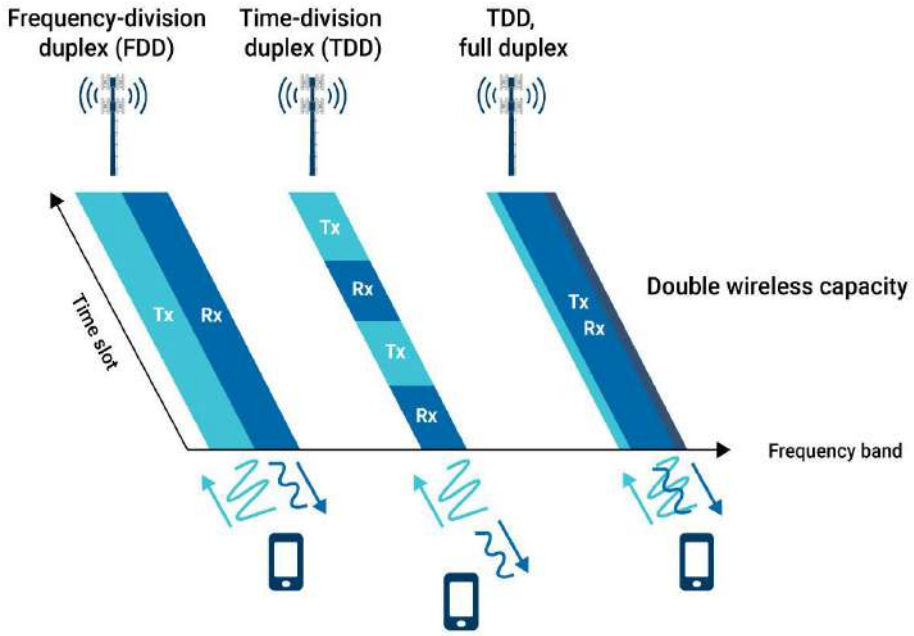


Figure II.5: Modes de fonctionnement des schémas duplex2 [18].

Cependant, dans une macro-cellule, il est recommandé d'utiliser un FDD ou un TDD statique pour éviter les interférences inter-stations de base qui se produisent lorsqu'une station de base fonctionne dans l'UL et qu'une autre fonctionne dans la DL voisine [16].

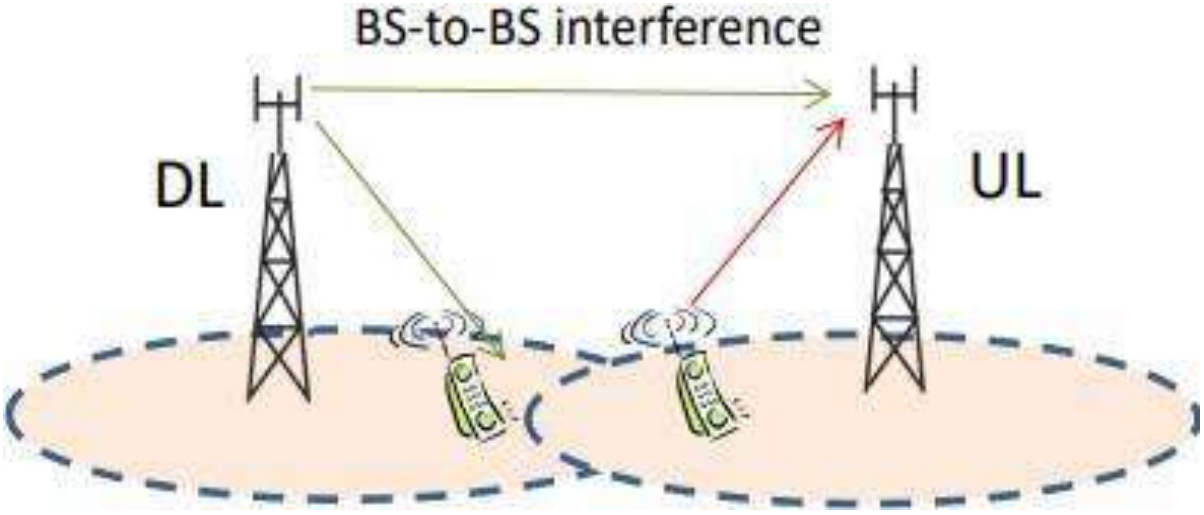


Figure II.6 : Représentation graphique de l'interférence BS-to-BS [14].

3-4-Transmission multi-antennes :

La transmission multi-antennes est une caractéristique clé de la 5G NR, en particulier lors du fonctionnement à des fréquences millimétriques. Il prend en charge Massive MIMO, où jusqu'à des centaines d'éléments d'antenne peuvent être séparés par une petite distance (en raison de la fréquence de fonctionnement élevée). Aux basses fréquences (FR1), en raison de meilleures conditions de propagation mais d'une bande passante plus petite (jusqu'à 100 MHz), MIMO peut tirer parti du multiplexage spatial, transmettant plusieurs couches d'informations en parallèle pour augmenter la capacité (jusqu'à 8 couches pour un seul utilisateur UE MIMO). À des fréquences plus élevées (FR2), cependant, la situation est assez différente, car les conditions de propagation sont bien pires, mais la capacité n'est pas un problème en raison de la bande passante très élevée (jusqu'à 400 MHz). Les systèmes MIMO peuvent alors utiliser la formation de faisceaux pour améliorer considérablement la directivité et compenser les pertes de propagation plus importantes [14].

3-5- Canaux physiques et signaux de référence :

L'architecture 5G NR est divisée en deux parties : le plan utilisateur et le plan de contrôle. Le plan utilisateur gère les données utilisateur et le plan de contrôle est responsable de l'établissement de la connexion, de la mobilité et de la sécurité. Le plan utilisateur peut être divisé en plusieurs couches, ces couches sont : couche physique (PHY), couche de contrôle d'accès au support (MAC), couche de contrôle de liaison radio (RLC), couche de protocole de convergence de données par paquets (PDCP) et couche de services de protocole d'adaptation données (SDAP) Les ressources de

temps et de fréquence qui transportent les informations des couches supérieures vers le PHY sont appelées canaux physiques. Ceux-ci sont listés ci-dessous [15] :

- Canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) : Il s'agit du canal principal utilisé pour la transmission de données monodiffusion en liaison descendante et peut également être utilisé pour transmettre des informations de radiomessagerie.
- Canal de diffusion physique (PBCH) : informations système de support qui doivent être utilisées par les appareils pour accéder au réseau.
- Canal de contrôle de liaison descendante physique (PDCCH) : utilisé pour transporter les informations de contrôle de liaison descendante telles que les décisions de planification.
- Canal physique partagé de liaison montante (PUSCH) : il s'agit de la contrepartie de liaison montante du PDSCH.
- Liaison montante canal de contrôle physique (PUCCH) : utilisé par les appareils pour envoyer des accusés de réception, des rapports d'état de canal et demander des ressources pour transmettre des données sur la liaison montante
- Canal physique à accès aléatoire Channel (PRACH) : Utilisé par l'UE pour demander l'établissement d'une connexion, appelée accès aléatoire.

Chaque canal prend en charge différents schémas de modulation et de codage répertoriés dans le tableau ci-dessous [14].La transmission DL et UL entre UE et RAN fonctionne comme décrit ci-dessous. Dans DL, l'UE surveille le PDCCH à chaque créneau jusqu'à ce qu'il détecte un PDCCH valide. L'UE reçoit ensuite l'unité de données sur le PDSCH conformément à la décision d'ordonnancement du GNB (nœud RAN). Enfin, l'UE répond par un accusé de réception ARQ hybride pour indiquer si les données ont été décodées avec succès. Dans UL, l'UE demande sa planification au PUCCH pour transmettre des données au GNB. Le GNB envoie sa réponse et son calendrier sur le PDCCH, où il autorise l'UE à utiliser certaines ressources. Puis, après cet ordonnancement, l'UE transmet ses données sur le PUSCH, lorsque le GNB reçoit les données, Il répond par un accusé de réception ARQ mixte pour indiquer si les données ont été décodées avec succès. Le signal de référence (RS) peut avoir différentes fonctions telles que l'estimation de canal, la démodulation cohérente, etc. Dans la liaison descendante, LTE utilise un seul RS pour couvrir toutes les différentes fonctions, et ces RS sont toujours actifs. Cependant, dans la 5G NR, il existe plusieurs RS à des fins différentes et ils ne sont transmis que lorsque cela est nécessaire.

Les signaux de référence dans la 5G NR sont : Signal de référence de démodulation (DM-RS) : prend en charge l'estimation de canal dans le cadre de la démodulation cohérente.

 Signal de référence de suivi de phase (PT-RS) : utilisé pour compenser le bruit de phase généré par l'oscillateur.

 Signal de référence d'informations sur l'état du canal (CSI-RS) : utilisé par l'UE dans la liaison descendante pour déterminer l'état du canal.

 Signal de référence de sondage (SRS) : signal de référence UL utilisé pour l'estimation du canal de liaison montante.

 Signal de référence de suivi (TRS) : un signal de référence non répétitif utilisé pour aider l'appareil à suivre le temps et la fréquence. Différents RS sont mappés à certains éléments de ressource de la grille de ressources pour chaque port d'antenne [14].

4-Principe de la 5^{ième}génération :

4-1- Les ondes millimétriques (mmWave) :

L'onde millimétrique (mmWave) , est une nouvelle gamme de fréquences pour la 5G, et dans le cas de la 5G, le spectre se situe entre 30 et 300 GHz. Ils gagnent en vitesse au détriment de la portée et de la pénétration des murs. Pour comprendre le nom d'onde millimétrique, il faut revenir à la définition des ondes radio. Si on a souvent l'habitude de parler de fréquences (en Hertz) quand on parle d'ondes électromagnétiques, il ne faut pas oublier qu'elles se définissent avant tout par leur longueur. La longueur d'onde représente simplement la distance parcourue par une onde lors de l'oscillation lors de la propagation dans un espace donné. Plus la longueur d'onde est longue, plus la fréquence est courte. Cette longueur peut aller du femto mètre (un milliardième de mètre) pour les ondes gamma aux ondes radio (de 300 MHz à 3 kHz) entre 1 mètre et 100 kilo mètres Rappelons que les fameuses "micro-ondes" sont connues pour ne pas être de l'ordre du micron en longueur, mais entre 1 millimètre (300 GHz) et 1 mètre (300 MHz). Les ondes millimétriques pour la 5G ne sont que des ondes dont les longueurs d'onde sont de l'ordre du millimètre, c'est-à-dire bien inférieures aux longueurs d'onde en mètres ou en kilomètres habituellement utilisées pour les ondes radio [17].

4-1-1 Caractéristique des fréquences millimétriques :

La technologie des ondes millimétriques est relativement nouvelle en termes de produits. C'est vrai, mais c'est un domaine d'étude qui remonte à plus de cent ans. L'histoire commence avec les recherches de Jagadish Chandra BOSE [18] dans les années 1890, mais c'est une technologie qui a toujours été réservée aux laboratoires de recherche. Un demi-siècle plus tard, vers les années 1960, la technologie a commencé à apparaître dans le domaine de la radio transmission à courte portée

dans les applications astronomiques et militaires Indétectable [18]. Au même moment, les Américains les implantaient sur des satellites Bande militaire 45 GHz. Depuis 1990, les civils ont pris le contrôle de la technologie d'application commerciale. Nous avons remarqué la présence d'évitement radar Accident de voiture à 77 GHz [18].Il s'agit de la première utilisation grand public des fréquences millimétriques et du haut débit au-dessus de 40 GHz pour des applications radar commerciales. En 2003, la FCC a autorisé l'utilisation des communications point à point sous licence 71-76 GHz et 81-86 GHz, créant ainsi un terrain fertile pour une nouvelle industrie des communications qui développe des produits et services dans cette gamme. [18]. Actuellement, les applications des ondes millimétriques incluent les radars automobiles, les scanners, les appareils portables, les communications de données sans fil dans les casques de réalité virtuelle [19] militaire et de défense, industrie, télécommunications par satellite...etc.

4-1-2- Modes de propagation :

Afin d'optimiser la conception d'un système sans fil, il est d'abord nécessaire de comprendre les fréquences de fonctionnement et les domaines d'application du canal radio pour exploiter au mieux les forces et trouver des moyens de remédier aux faiblesses. Compte tenu de l'espace libre, l'équation traite la puissance reçue en fonction de la puissance d'émission, du gain d'émission et de réception et de la distance entre les antennes d'émission et de réception [19].

$$P_{R_x} = P_{T_x} + G_{T_x} + G_{R_x} + 20\left(\frac{c}{4\pi \mathrm{Rf}}\right) \text{ [dB]} \qquad [4] \quad (1)$$

Où, P_{T_x}et P_{R_x} : sont respectivement les puissances d'émission et de réception dans l'espace libre, G_{T_x} et G_{R_x}: sont respectivement les gains de l'émetteur et du récepteur, R : représente la distance entre les antennes d'émission et de réception,

C : représente la vitesse de la lumière et f représente la fréquence de fonctionnement.

La puissance reçue est inversement proportionnelle à la fréquence f, ce qui se traduit par une forte atténuation des hautes fréquences par rapport aux basses fréquences. Cela signifie que la technologie millimétrique ne convient que pour la communication à courte portée. Des études comparatives sont menées dans une salle. Il n'y a pas d'écho entre les fréquences 3GHz et 30GHz [11].Ils indiquent la puissance reçue lorsque la taille du réseau d'antennes est de 60 × 60 mm^2à la fois pour les extrémités de transmission et de réception à 30 GHz sont supérieures de 20 dB à celles de la boîte antenne patch 3 GHz de même taille.

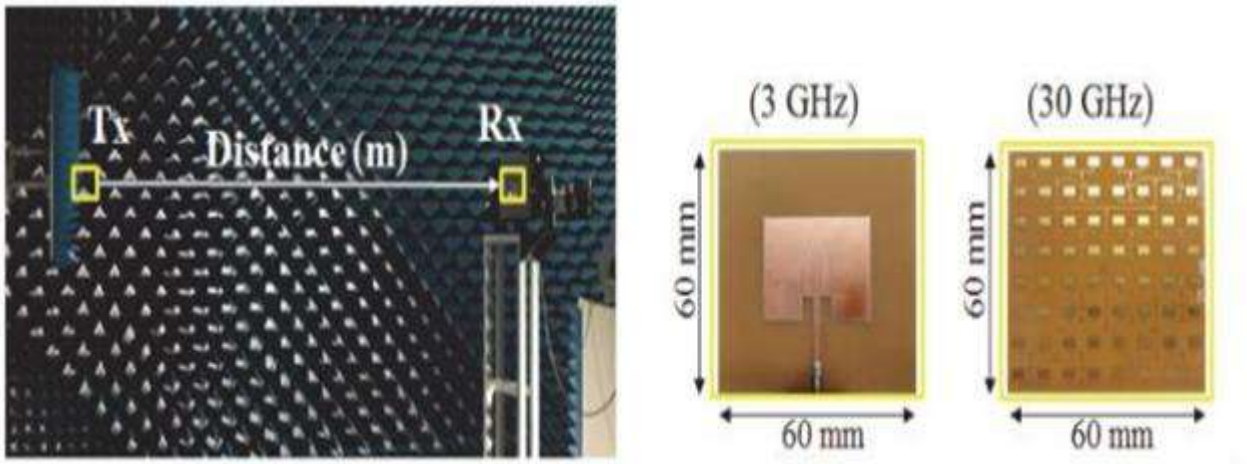


Figure II.7: Résultats des mesures de propagation pour une antenne à 3 GHz et pour un réseau d'antennes 30 GHz [20].

4-2-Petites cellules:

Les normes 5G doivent garantir une couverture haut débit à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Cette gestion de la couverture avec une qualité de service conduit la communauté scientifique vers de nouvelles solutions. L'idée de rapprochement du réseau, c'est-à-dire de réduire la distance entre le dernier point d'accès du réseau et l'utilisateur, qu'elle est actuellement considérée comme la seule solution répondant aux exigences en matière de couverture. Dans le cas des macro-cellules, la capacité par utilisateur est réduite, du fait du grand nombre d'utilisateur. Résoudre de tels problèmes équivaut à créer des cellules de petite taille dans ces macro-cellules dans lesquelles se déploient les dispositifs la communication radio 5G aura lieu. Ces cellules sont appelées "mini-cellules" [21] Les petites cellules sont principalement divisées en trois types selon la puissance zone de transmission et de couverture.

i**) Femto-cellules :** ce type de cellule peut transmettre une puissance maximale de 24 dBm. La couverture maximale est de 100 m, déployer principalement des femto-cellules. Assurer la couverture d'un nombre limité d'utilisateurs dans l'environnement résidentiel.

ii) Pico-cellule : Dans ce type de cellule, la puissance d'émission est comprise entre 24 et 30 dBm, son rayon de couverture est compris entre 200 et 300m. Les pico cellules peuvent être utilisées pour améliorer la couverture à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, tels que les hôtels, les entreprises, etc.

iii) Microcellules : Ces cellules offrent une couverture légèrement plus grande puissance de transmission maximale, rayon jusqu'à deux kilomètres 40 dBm. Comme les cellules précédentes, ce

type de cellule peut également être utilisé pour fournir une couverture intérieure et/ou extérieure jusqu'à 2000 utilisateurs. Le tableau 4 résume les différentes cellules selon leurs propriétés utilisées dans les systèmes de communication radio.

Tableau II 3 : Caractéristiques des différents types de cellules [21].

Type de cellule	Puissance(W)	Rayon de couverture (Km)	Nombre d'utilisateurs	Zone
Femtocellule	0,001 à 0,25	0,01 à 0,1	1 à 30	Intérieur
Picocellule	0,25 à 1	0,1 à 0,2	30 à 100	Intérieur/Extérieur
Microcellule	1 à 10	0,2 à 2	100 à 2000	Intérieur/ Extérieur
Macrocellule	10 à > 50	8 à 30	>2000	Extérieur

L'architecture du réseau doit désormais dépendre des besoins des utilisateurs en termes de couverture et de capacité. Par exemple, informez automatiquement une unité que quelqu'un est présent pour déclencher d'autres services, comme un nouveau client dans un centre commercial. Cela réduira considérablement la consommation d'énergie. En plus de cet avantage, ces petites cellules permettront d'atteindre une couverture complète, c'est-à-dire même dans les zones les plus reculées, telles que les zones rurales, les tunnels, etc. En revanche, l'utilisation de ces petites cellules pour la 5G devra se faire avec la participation d'autres technologies. La densification du réseau et le backhaul sont devenus les technologies clés des petites cellules pour répondre à la 5G.L'utilisation de bandes millimétrique dans ces petites cellules en fera également partie. La technologie la plus importante pour fournir des services à haut débit la prochaine génération [21].

4-2-1-Réseaux hétérogène :

Dans les systèmes de télécommunication, un réseau homogène fait référence à l'utilisation d'un réseau d'accès radio (RAN) standard composé uniquement de macro cellules de station de base des types suivants [21] .Cependant, si le RAN se compose de différents types de stations de base (BS), par ex. Macro cellules et différents types de petites cellules, dans ce cas on dit réseau hétérogène. Des travaux récents sur les déploiements de petites cellules considèrent les réseaux hétérogènes comme un moyen clé de faire face aux demandes de trafic toujours croissantes [21].Le concept de la technique est basé sur un mélange de tailles de cellules différent (macro, micro, pico et/ou femto) pour augmenter Terminaux cellulaires et mobiles. Considéré comme une solution de mise en réseau attrayante Les réseaux hétérogènes 5G sont détaillés dans la version 12 de la normalisation 3GPP

[21].Cette mise en œuvre nécessiterait plusieurs petites unités de relais combinées avec différents niveaux de puissance sous une couverture macro-cellulaire. Afin de produire une meilleure qualité de service et une meilleure efficacité énergétique, la conduite modifie les cellules pour créer des contraintes de vie que les voitures autonomes ne peuvent tolérer. En conséquence, les opérateurs seront contraints de trouver de nouvelles façons de prévoir la mobilité pour résoudre le problème de Handover.

4-2-2- Réseau ultra dense (UDN) :

Face à l'énorme demande de trafic de données, la technologie jouera un rôle crucial [22] Elle permettra aux petites cellules, en particulier celles installées dans des environnements intérieurs où se produit plus de 80% du trafic, de décharger les données des stations de base [23].

Le schéma UDN sera la caractéristique est que le réseau est spécialement divisé en petites cellules, la distance entre elles les téléphones portables ne sont qu'à quelques mètres [24] Les statistiques données par le groupe de travail SCF "forum des petites cellules" montrent que d'ici 2021, L'organisme de normalisation estime que face à cette situation, l'UDN est la technologie la plus prometteuse. Énorme demande pour un trafic de données incessant. Les opportunités pour l'UDN Permettront en réutilisant spectre. Le nombre de ces petites cellules passera à 37 millions. De plus, l'implantation d'une si petite cellule avec des terminaux se traduira par une réduction de la latence en dessous de 1 ms et une bonne efficacité énergétique car les ondes parcourent des distances de plus en plus petites [25].D'autre part, le Déploiement un grand nombre de ces petites cellules n'échappent pas non plus aux nouveaux défis technologiques. D'abord le problème interférence intracellulaire, alors, tant de petites cellules peuvent causer augmentation de la consommation d'énergie durés eau. Des études d'optimisation doivent être menées traiter cette question délicate. La situation idéale est d'avoir son mode de fonctionnement diffère des algorithmes qui existent actuellement. La station de base devient active, c'est-à-dire uniquement lorsque l'utilisateur est en mode transfert de données lié. De plus, toujours dans le cadre de l'optimisation énergétique, le rayonnement doit être dirigé uniquement dans la direction de l'utilisateur pour éviter les pertes d'énergie sans borne connectée. Cela réduira également les interférences intracellulaires.

4-3-Massive MIMO :

Atteindre l'objectif d'un débit élevé et d'une faible consommation énergie, retard, etc. Une combinaison de diverses techniques sera nécessaire. L'une des solutions est l'introduction du massive MIMO pour la prochaine génération, c'est-à-dire plusieurs antennes sont utilisées à grande

échelle [26]. La technologie MIMO a suscité un vif intérêt dans la recherche au cours de la dernière décennie et a été inclus dans

Standard 3G d'abord, puis standard 4G avec MIMO multi utilisateurs(MU) pour une seule cellule, ou CMP (Multi point coordonné) pour plusieurs cellules [27]. La technologie est conçue pour augmenter les avantages des systèmes MIMO traditionnel. Il fait référence à un scénario dans lequel les composants techniques capacité de déploiement à l'aide de systèmes cellulaires rentables des centaines d'antennes dans une station de base cellulaire.

Les systèmes MIMO massifs fonctionnent sur la base d'informations

L'état du canal (CSI) connu de la station de base pour traiter le signal de manière cohérente, c'est-à-dire que le pré-codage et la détection sont effectués. Lorsque le nombre d'antennes d'émission est beaucoup plus grand que le nombre d'antennes de réception, pré-codeurs linéaires simples et détecteurs suffisent pour fournir des performances presque optimales.

Cependant, lorsque le nombre d'antennes d'émission est inférieur ou égal au nombre d'antennes. La conception du récepteur, du pré-codeur et du détecteur présente des complexités. La justification devient plus difficile [28]. La figure 1.3 montre l'architecture d'un tel système.

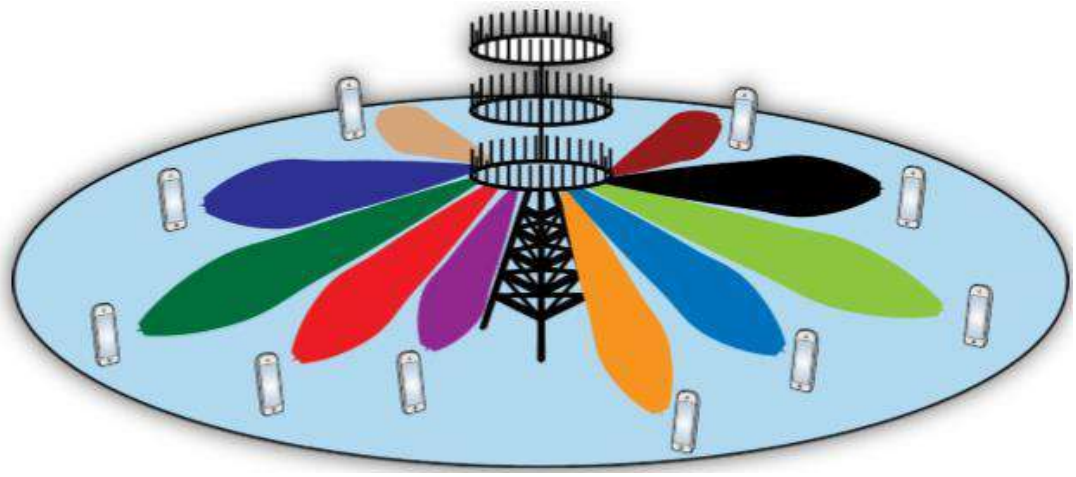


Figure II.8: Système Massive MIMO avec N antennes pour desservir *K* utilisateurs [21]

Dans la référence [29], les auteurs ont mené une étude théorique du canal de transmission d'un système massive MIMO. On considère N comme le nombre d'antennes dans cette couche.

Le nombre de stations de base est généralement beaucoup plus grand que le nombre d'utilisateurs K. Il doit servir les deux. La transmission en liaison montante est le scénario .L'utilisateur envoie un signal à la station de base. Au contraire la station de base est autorisée à desservir plusieurs utilisateurs. Dans un système à cellules, Chaque cellule contient K utilisateurs dans une seule antenne avec N stations de base antenne. Coefficient de canal du $K_{ième}$utilisateurs dans la nième

antenne et la onzième cellule. Le signal de la $i_{ième}$ station est noté $h_{i,K,l,n}$, qui est égal au produit des facteurs d'évanouissement petite et grande échelle.

$$h_{i,K,l,n} = g_{i,K,l,n}(d_{i,K,n,l})^{½} \quad (2)$$

où $g_{i,K,l,n}$est un facteur d'évanouissement à petite échelle et $d_{i,K,l,n}$ est le facteur d'évanouissement à grande échelle.

Généralement, les coefficients d'évanouissement grande échelle sont identiques pour tous les utilisateurs dans une même station cependant ceux à petite échelle varient en fonction de l'utilisateur ou en fonction de l'antenne dans la station de base. Pour tous les K utilisateurs, de la l-ième cellule dans la i-ième station de base, la matrice de canaux est donnée par :

$$h_{i,l} = G_{i,l} D_{i,l}^{1/2} \quad (3)$$

On voit que la technologie Massive MIMO est très intéressante car il peut utiliser sa large antenne pour focaliser le faisceau sur plusieurs utilisateurs en même temps.

Cela lui permet d'atteindre l'efficacité spectrale est 10 fois supérieure aux systèmes MIMO utilisés pour la 4G.

Dans la référence [30], les auteurs montrent que chaque utilisateur d'antenne unique dans le système Massive MIMO peut réduire sa puissance de transmission si la station de base acquiert des informations d'état de canal (CSI) parfaites, le nombre d'antennes de la station de base, ou la racine carrée du nombre d'antennes de la station de base, atteint les mêmes performances que le système SISO correspondant si la station de base à des informations imparfaites CSI.

Obtenez les mêmes performances que le système SISO correspondant. Bien que cette technologie offre de nombreux avantages potentiels à la norme 5G, il y a aussi quelques défis à déterminer avant le déploiement réel. Le premier défi est limitations de la couche physique. Déployer un grand nombre d'antennes et les composants électriques causeront des problèmes de corrélation spatiale et couplés les uns aux autres [31]. Dans [32], les auteurs montrent que l'effet du couplage mutuel peut être entraîne une réduction significative de la capacité.

4-4- Formation de faisceaux (Beamforming):

La formation de faisceaux est le processus de multiplication du diagramme de faisceau de rayonnement d'antenne en construisant entièrement le signal traité dans la direction du terminal souhaité et en éliminant les faisceaux de signal interférents. La formation de faisceaux d'émission maximise l'intensité du signal reçu par chaque utilisateur tout en minimisant l'intensité du signal

d'interférence provenant d'autres utilisateurs, augmentant ainsi la capacité. Cela peut être fait en utilisant un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR). L'avantage des filtres FIR est que leurs poids peuvent être modifiés et appliqués de manière adaptative pour obtenir une formation de faisceau optimale [33].Les M antennes du réseau planaire sont décomposées en éléments verticaux MV et en éléments horizontaux MH, ainsi l'antenne d'indice m correspondra à la paire (N_V, N_H) avec $N_V \in [1 ; M_V]$ et $N_H \in [1; M_H]$.

On appelle $(\theta_K, \emptyset_K)$ les angles d'azimut et d'élévation en supposant la direction d'arrivée de l'onde plane (et vice versa). [34].

Considérons S(t) un signal transmis dans des directions $(\theta_K, \emptyset_K)$ représentant les angles d'élévation et d'azimut de l'émetteur, qui a un réseau d'antennes réseau avec des éléments rayonnants. En supposant une propagation dans un milieu homogène, le signal subit, sur chaque élément d'antenne, le déphasage et l'atténuation sont modélisés par des vecteurs à K composante ($\theta_k, \emptyset_K$).Ce vecteur constitue la réponse de chaque niveau d'élément d'antenne à la direction considérée et est appelé vecteur de direction suivant (vecteur directeur).

-MU-MIMO : La capacité globale de chaque station de base est encore augmentée en permettant l'utilisation des mêmes ressources pour communiquer avec plusieurs appareils, créant ainsi une périphérie presque unifiée. Des canaux virtuels massifs MIMO peuvent être créés en utilisant les antennes de plusieurs appareils simultanément. La combinaison de ces deux innovations permet d'augmenter les vitesses de transmission sans fil en augmentant le nombre d'antennes de stations de base sans consommer plus de bande passante ni augmenter les valeurs de modulation [35].

4-5- Techniques d'accès :

Afin d'améliorer l'efficacité spectrale de la 5G par rapport à la 4G, une méthode de multiplexage non orthogonal (NOMA pour Non-Orthogonal Multiple Access) est envisagée. Ils permettent aux utilisateurs d'accéder simultanément à une même ressource fréquentielle, et ils peuvent être différenciés en attribuant un code différent à chaque utilisateur (SCMA pour Sparse Code Multiple Access), ou en adaptant la transmission à son rapport signal sur bruit (PD-NOMA pour le domaine de puissance NOMA). Pour évaluer les performances de ces systèmes 5G, il est nécessaire de développer un modèle de canal reproduisant le plus fidèlement possible les distorsions causées par les ondes radio lorsqu'elles traversent des environnements complexes [8].

4-6- Découpage du réseau 5G (Network Slicing) :

Multiplexage de réseau logique virtualisé et indépendants (SDN, NFV) est un type d'architecture de réseau virtuel appartenant à la même famille que le réseau défini par logiciel qui est SDN et la virtualisation des fonctions réseaux NFV. Deux technologies de virtualisation du réseau étroitement liées qui font évoluer les réseaux modernes vers logiciel d'automation SDN et NFV permettent une meilleure flexibilité réseau grâce aux partitionnements des architectures réseaux en éléments virtuels [37].

6- Description des phénomènes physiques dans un canal radio :

En général, l'environnement de propagation a un effet sur l'onde .Le champ électromagnétique émis, régi par les équations de Maxwell. Mot pour mot nous pouvons calculer le champ électromagnétique dû aux ondes incidentes sur l'antenne de réception théoriquement rayonné par les équations de Maxwell. Les ondes radio dans un système de communication voyagent entre les stations radio la station de base (BS) et la station mobile (MS) fonctionnent selon les trois mécanismes suivants : Grandes surfaces lisses, diffraction sur les arêtes vives et diffusion sur les surfa ces rugueux [4].

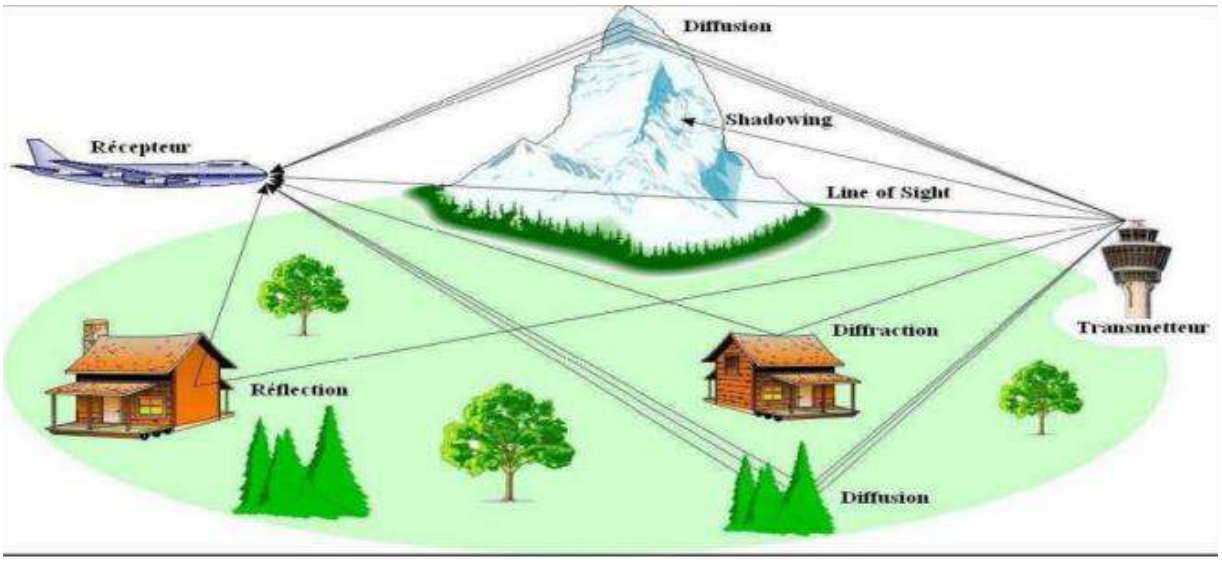


Figure II.9 : Environnement et mécanismes de propagation [4].

6-1-Les scénarios LOS et NLOS :

Le canal de propagation est la propagation par trajets multiples des signaux version raison d'obstacles autour de l'émetteur et du récepteur. Propagation par trajets multiples exceptionnelle deux scénarios de propagation : NLOS (pas de line de mire) vous indique qu'il n'y a pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, la densité de probabilité de la grandeur

l'évanouissement du signal total reçu suit la loi de Rayleigh et nous n'avons que LOS (Line à vue) la visibilité se situe directement entre l'émetteur et le récepteur, de sorte que l'amplitude de l'évanouissement est caractérisée par la distribution de rice [36].

6-2-Les mécanismes de propagation :

6-2-1- Scattering :

Le phénomène selon lequel de petits obstacles s'écartent du chemin direct petite taille par rapport aux longueurs d'onde (feuilles, panneaux signalétique…).Ces phénomènes produisent un évanouissement (fading) du signal et l'apparition de régions ombre (ombre). Les phénomènes d'évanouissement, c'est-à-dire les changements d'amplitude du signal dans le temps et en fréquence, peuvent être divisés en deux catégories. Fading à grande échelle et fading à petite échelle [36].

i- L'évanouissement à large échelle :

L'évanouissement de masse définit les fluctuations de puissance, la valeur moyenne des mesures sur un déplacement ou un intervalle de temps suffisamment grand. Deux phénomènes qui proviennent de changements à grande échelle sont la perte de distance et effets de masquage . [36]

*Perte de trajet (Path Loss) :

La perte de trajet est la différence entre la puissance d'émission et la puissance d'émission Puissance reçue (en dB) due à l'atténuation induite par le canal propagé. La perte de trajet en espace libre peut être directement.

***Masquage (Shadowing) :**

Les effets de masque (Shadowing) sont des changements dans la puissance reçue causés par Atténuation du signal due à des obstacles locaux Imaginez un téléphone mobile un environnement donné avec de grands obstacles tels que des immeubles de grande hauteur ou collines. La position relative de l'appareil mobile par rapport à l'obstacle étant changements permanents, les conditions de propagation changent également, mais peuvent nécessiter de longues distances (de l'ordre de dizaines de longueurs d'onde) Modifie considérablement l'intensité du champ reçu. Ce phénomène Produit des changements lents, appelés ombres.

ii- L'évanouissement à petite échèle :

L'origine de ces phénomènes et leurs différences de nature, d'ampleur et Position variable dans le canal. Ces objets génèrent de multiples apparence .Une réplique d'un signal transmis qui interfère

de manière destructive ou constructive. Ensuite nous parlons propagation par trajets multiples. Dans cette configuration, les ondes sont utilisées pour propager phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction et diffusion [37]

Réflexion (surfaces lisses) /Réfraction (milieux translucides) :

Les réflexions se produisent lorsque les ondes électromagnétiques frappent une surface très Lisse de plus grandes dimensions par rapport à leur longueur d'onde λ, comme les murs, les bâtiments, les sols. On a donc un phénomène de réflexion

Diffraction :

Lorsque les ondes électromagnétiques rencontrent des obstacles de forme irrégulière ou Lorsque l'OEM passe par de petites ouvertures. Cela peut entraîner une flexion OEM Contournez les obstacles ou dispersez les OEM par de petites ouvertures. FEO et soyez très utile. Il permet de générer un chemin entre l'émetteur et le récepteur à l'abri des regards [36].

Diffusion :

La diffusion se produit s'il y a des groupes très denses d'objets le long du trajet de l'onde des dimensions du même ordre de grandeur que les longueurs d'onde. Même ce phénomène est observé avec des surfaces de rugosité suffisamment faible. La diffusion est le cas limite de la réflexion, aucune direction privilégiée ne peut l'identifier [36].

Chapitre03 : Déploiement du réseau : simulation et résultat

1- Introduction :

Outre la couverture, l'industrie des communications se concentre dorénavant plus sur la performance des réseaux. Les défis de couverture et de performance 5G NR impactent toutes les phases de cycles de vie des réseaux5G NR :

- Lors du déploiement réseaux commercial (phase d'installation) les mesures réseaux 5G NR sont essentielles pour le test et l'acceptation du site .le réglage de la performance est important du fait du degré élevé de flexibilité et de configuration avec 5G NR ,afin d'élever la performance réseau au niveau prévu ,la synchronisation réseau pour limiter les interférences(en mode TDD),ainsi que des mesures de champ électromagnétique (EMF) pour prouver que la radiation est inferieure à un certain seuil.
- Phase d'optimisation du réseau : les mesures du réseau 5G NR permettent de vérifier les zones de transfert entre les sites, les cellules et les faisceaux, tout en limitant dans le même temps les interférences entre les cellules pour améliorer le débit fourni.

2- Simulateur utilisé :

WinProp est un produit de la société Altair-feko.WinProp propose des modèles de propagation d'ondes très précis et rapides ainsi que des modules de planification de réseau radio pour presque toutes les normes (cellulaires, y compris 5G , LTE ,WIFI , diffusion ,TETRA ..etc).sur cette base, WinProp est parfaitement adapté à la planification de couverture radio dans des scénarios aléatoires au déploiement à l'optimisation du réseau, à la comparaison des concepts déploiement, à l'évaluation des performances des antennes installés , à l'analyse de la coexistence des réseaux radio et au déploiement IOT. La suite logicielle winprop regroupe plusieurs programmes :

- ProMan : propagation des ondes et planification du réseau radio.
- WallMan : éditeur graphique pour la construction de bases de données vectorielles.
- AMan : éditeur graphique de diagramme d'antennes.
- CoMan : simulateur de connectivité pour réseau de capteurs et MESH.
- CompoMan : éditeur de composants utilisés dans les installations de réseau intérieur sans fil.
- OptMan : optimisation des réseaux radios.

2-1-Paramètres de configuration générale :

Pour concevoir le réseau, Winprop offre la possibilité de modéliser plusieurs paramètres ainsi que des équipements .dans cette configuration, il y a 3 configurations principales à prendre en compte : configuration de site, configuration d'émetteur, configuration de projet.

2-1-1-Configuration de site :

Site : est le point où se trouvent la station de base (BS) et les émetteurs.il possède de quelques paramètres configurables comme: nom de site, sa position X/Y, sa hauteur H.

2-1-2- Configuration des émetteurs :

Cette configuration est plus importante que celles des sites. Tout d'abord dans l'onglet général : nom d'émetteur, site auquel il appartient, bande de fréquence, position d'antenne. Dans la section des antennes, on peut sélectionner des antennes, on peut sélectionner soit une antenne de diffusion, soit une antenne de formation de faisceau sont définies, seule l'antenne de diffusion est prise en compte pour le calcul de l'affaiblissement sur le trajet .l'hauteur de l'antenne peut également être configurée ainsi que le nombre d'antennes et l'azimut et l'inclinaison mécanique.

2-1-3- Configuration de projet :

Cette configuration possède plusieurs paramètres configurables tel que : la séparation duplex, l'activation de MIMO, la numérologie, le mode de transmission, l'accès multiple, gain de station mobile.

2-2-Modèle de propagation :

WinProp offre la possibilité d'utiliser plusieurs modèles de propagation, chacun entre eux étant adapté à plusieurs conditions. Dans ce manuscrit, le modèle de propagation choisi est le modèlede « Dominant Path » car il est optimisé pour les zones urbaines (il peut également être utilisé pour les zones intérieures).le modèle de « Dominant Path » utilise une approche 3D complète pour la recherche trajectoire, ce qui conduit à des résultats réalistes et précis. « Dominant Path » besoin des données géographiques pour maximiser la précision du modèle de propagation, il a donc besoin des données vectorielles pour les bâtiments urbains et des données topographiques en pixels.
«Dominant Path » permet de calculer le chemin de propagation le plus important avec une approche 3D complète.

2-3- Prédictions et simulation :

WinProp permet de faire différents types de prévisions de couverture afin d'analyser :

a. Prédiction de propagation :
Les modèles de traçage de rayons de WinProp prennent en compte toutes les caractéristiques dominantes de la propagation des ondes (réflexion, diffraction et diffusion). La plateforme WinProp

est utilisée pour déterminer :

- Perte de trajet (Path loss) :c'est l'affaiblissement sur le trajet qu'il est également influencé par les contours du terrain, l'environnement (urbain dans ce cas), le milieu de propagation (air humide dans ce cas), la distance entre l'émetteur et le récepteur ainsi que l'hauteur et l'emplacement des antennes.
- Line direct de site (Los) : communication en visibilité directe où l'émetteur et le récepteur sont en vue l'un de l'autre sans aucune obstruction.
- Le retard de réponse (path delay) :c'est le délai de cellule dépend de la transition d'entrée et la sort de sortée.il y a 2 valeurs de retard de chemin pour un front montant et un front descendant .la plus grand valeur est Max path delay et la plus petite valeur est le Min path delay.

b. Prédiction de réseau (network) :

- Zone de signalisation (signal area): prédit les différents types de signaux dans la partie du réseau étudiée.
- Zone cellulaire (cell area) : prédiction être utilisé pour prévoir les zones de bord de cellule.
- Le meilleur serveur (best server) : prédiction pour prévoir le meilleur serveur. DL/UL débit de donnée maximum (Max Data rate) : prédiction de couverture peuvent également d'afficher les débits des données maximal pour liaison (descendante / montante).
- DL/UL débit (throughput) : prédit la couverture de débit dans la zone étudiée pour les liaisons descendante et montante.

c. Affectation de cellule (cell assignment) :

- SINR : (Signal to Interference & Noise ratio) mesure la qualité de signal pour chaque cellule, c'est un rapport entre l'intensité du signal utile et le brouillage .chacun de ces derniers résultats sont représentés par des pixels colorés si la condition de seuil d'affichage est remplie.

3- Déploiement de réseau :

Dans cette section, le cas sera analysées est un déploiement 5G dans lequel il y aura à la fois des macro cellules et micro cellules et même des pico cellules. L'étude se déroule dans une zone environnementale du « Alger-centre » en l'Algérie.

Lorsque le modèle de propagation « Dominant path » nécessite :

- Une donnée vectorielle pour les bâtiments urbains qu'elle a été fournie par le service collaboratif de cartographie en ligne 'Open Street map' qu'elle a été traité par WallMan pour l'utilisation en ProMan comme une donnée sous forme (.osm) est converti sous forme (.odb) qui t'est indiqué dans la figure III .1 .

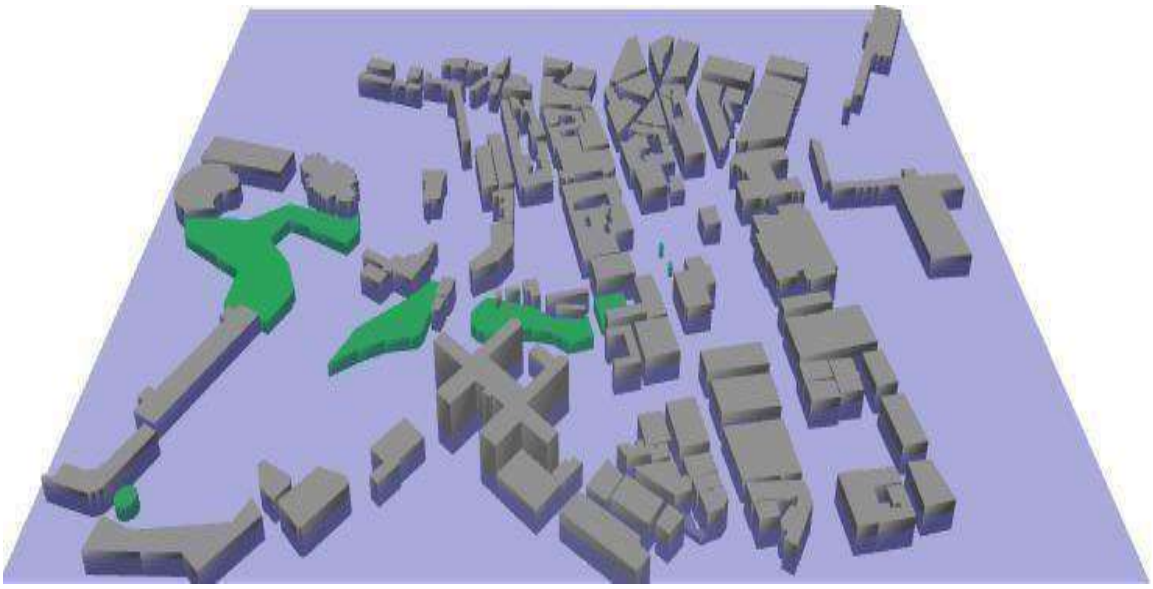


Figure III .1 : la donnée vectorielle pour les bâtiments urbains « Alger –centre »

- Une donnée topographiques en pixel qu'elle a été fournie par Explorateur de terre USGS qu'elle a été traité aussi par WallMan et ProMan comme data base sous forme .tdb.

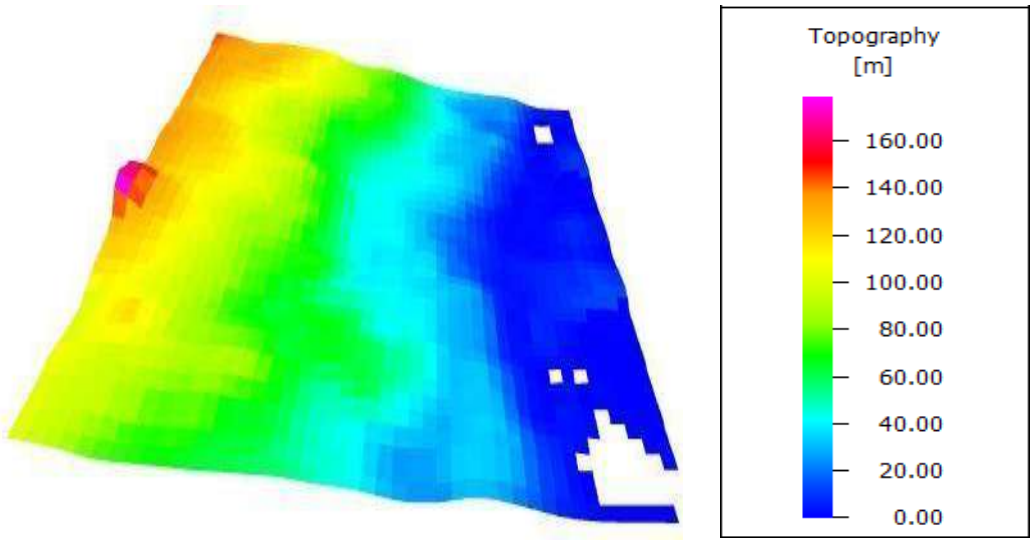


Figure III .2 : Donnée topographique en pixel « Alger-centre »

On obtient le modèle numérique comme il est indiqué à la figure III .3 pour faire les études de ce manuscrit.

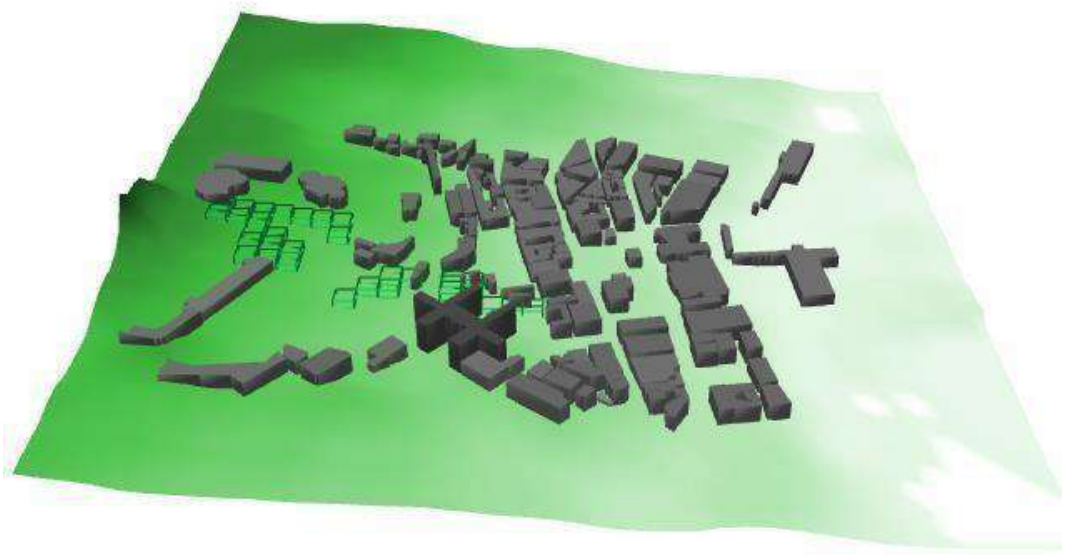


Figure III .3: Modèle numérique de terrain.

3-1-Planification des macro- cellules :

Les mesures sont effectuées à 2 endroits qui sont indiqués sur la carte. La distance entre les deux emplacements est plus de 980 mètre, la représentation graphique de la zone avec les sites sélectionnés pour le déploiement des antennes est illustrée à la figure III.4. Les antennes sont placées à une altitude de 30 mètre à la terre. Dans ce cas, on utilise la technologie duplex à répartition de fréquences (FDD) pour obtient une meilleure couverture.

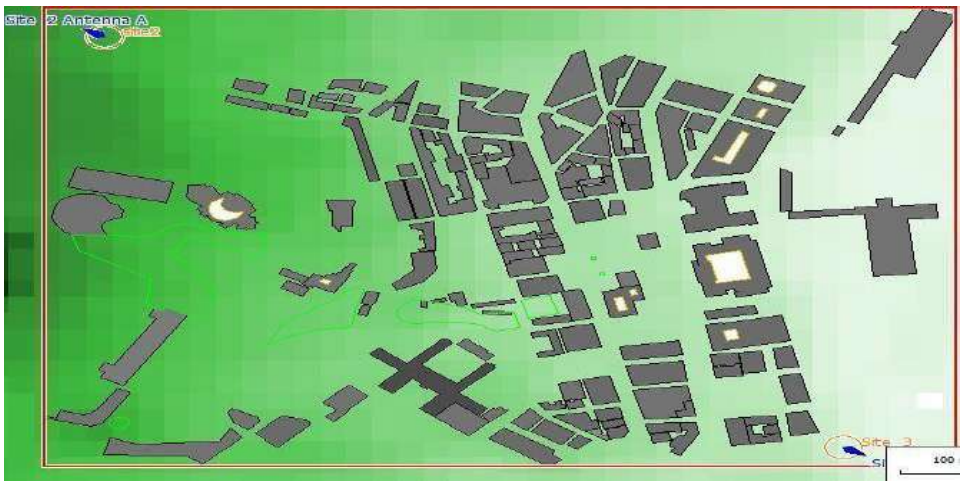


Figure III.4: l'emplacement des macro-cellules

L'antenne radiothérapie paternelle est générée par AMan (Antenne Manager). Le diagramme de rayonnement 2D est illustré à la figure III.5

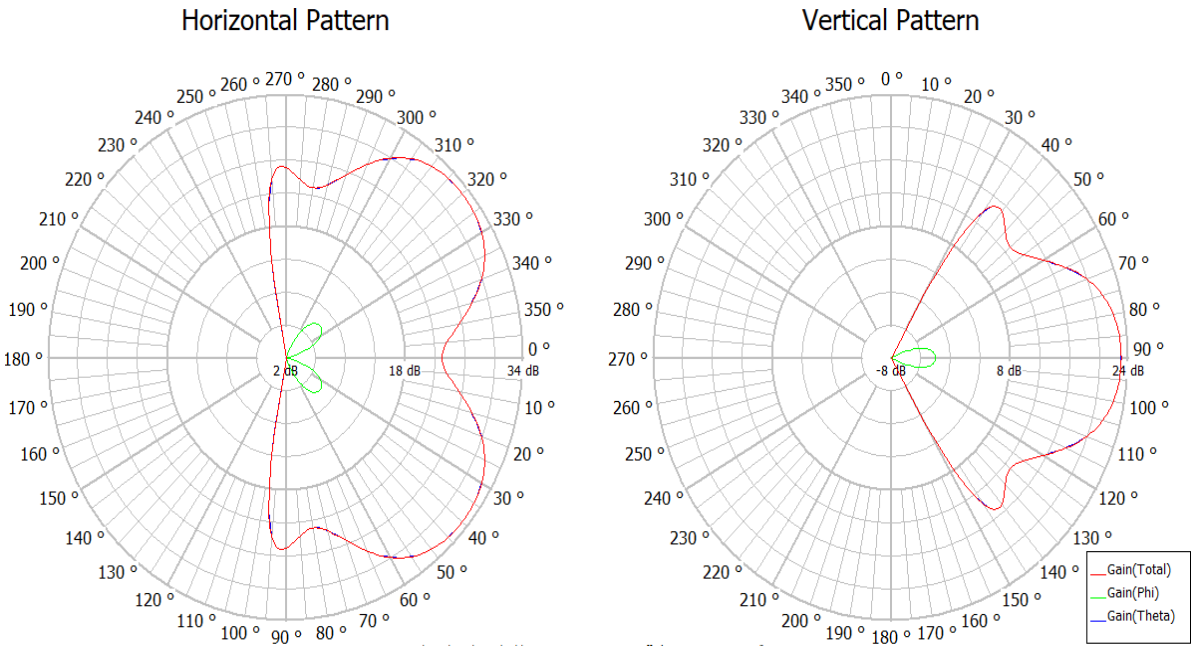


Figure III .5: le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne en 2D.

Ces émetteurs fonctionnent dans la bande de fréquence [2 – 2.6] GHz (FR1) et ses configurations sont :

- Puissance maximal (dBm) : 45.
- Couche : Macro-cellule.
- Nombre de faisceau d'antenne : 16.
- Max .T_x power (dBm) :57,04 [formule de calcule : P_{max}+ 10 $\log_{10}$ (nombre de beams)].

Plus la largeur de bande du canal est grande, plus le nombre d'utilisateur élevées donc on choisi le meilleure numérologie sur cette bande qu'il est le numérologie 2 (100 MHz). Ensuite, pour chaque cellule, il y des paramètres qui varient entre elles et qui sont décrits dans le tableau III .1.

Tableau III .1: les paramètres configurés des émetteurs

	Émetteur 1	Émetteur 2
Carrier (MHz)	2625	2655
Azimut (degree)	300	120
Polarisation (degree)	+45	-45
Inclinaison (degree)	-90	-90

Cross polarisation descriminatio n[db]	25
Signal ID	Group A

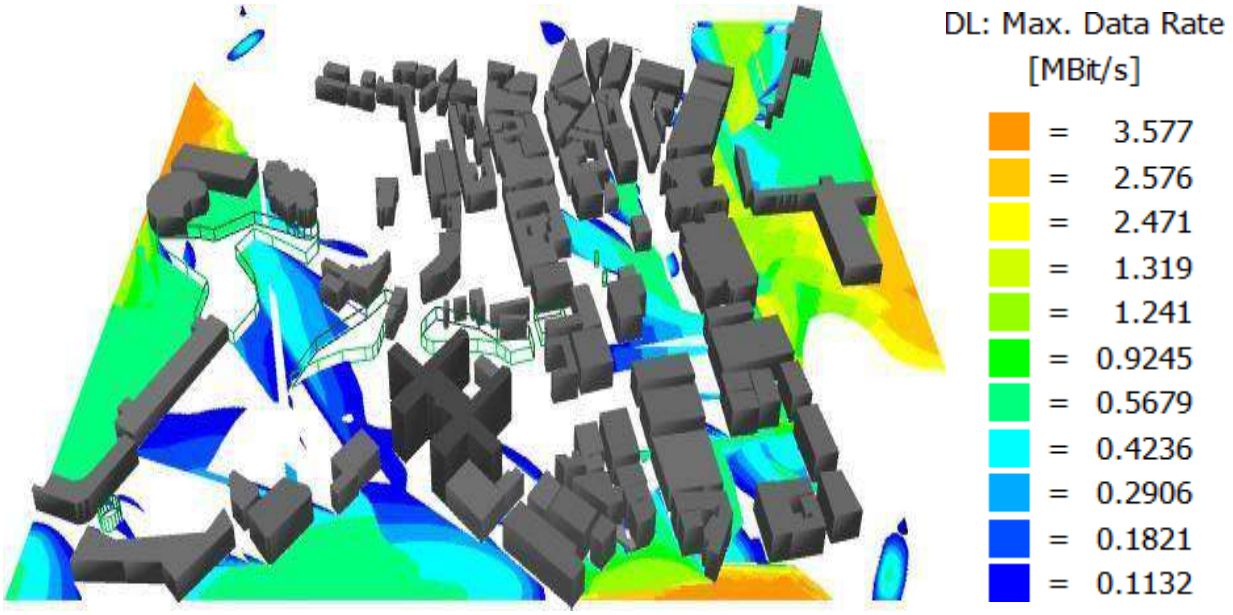


Figure III.6: couverture de débit maximal pour les 2 macro-cellules 3D.

Sur cette figure, il apparait que la majorité de la zone n'est rien couverte par le signal reçu implique que le débit du donnée maximal =0, à l'exception de quelques zones (jaune, vert, bleu) qui correspondent à des zones avec un débit maximal tabulé comme suit :

Tableau III .2 : Qualité de débit de donnée pour les 2 macro-cellules

Débit de donné maximum (Mbit/s)	Qualité de débit	Couleur indiqué de la zone
Supérieur à 0.9245 Mbit/s	Bonne	Jaune et vert
Inférieur à 0.9245 Mbit/s	mauvaise	Bleu

Donc, les emplacements des sites aléatoires nécessitent une optimisation avec OptMan pour améliorer les performances de ce réseau.

3-2 -Optimisation des macro-cellules :

L'optimisation du réseau précédent consiste :

-Optimisation d'un azimut sur l'intervalle [0° 359°] avec une taille de pas égale à 100°.

-Optimisation d'inclinaison sur l'intervalle [-90° 90°] avec une taille de pas égale à 90°.

Après 225 prédictions, l'optimisation a été terminée avec des changements sur (l'azimut et l'inclinaison).

ID	Site	Transceiver	Azimuth	Azimuth Min.	Azimuth Max.	Azimuth Step	Tilt	Tilt Min.	Tilt Max.	Tilt Step
1	Site 2	Site 2 Antenna A	300°	0°	359°	100°	-90°	-90°	90°	90°
2	Site 3	Site 3 Antenna A	120°	0°	359°	100°	-90°	-90°	90°	90°

ID	Site	Transceiver	Azimuth	Azimuth Min.	Azimuth Max.	Azimuth Step	Tilt	Tilt Min.	Tilt Max.	Tilt Step
1	Site 2	Site 2 Antenna A	100°	0°	359°	100°	0°	-90°	90°	90°
2	Site 3	Site 3 Antenna A	300°	0°	359°	100°	0°	-90°	90°	90°

Figure III.7: comparaison entre l'azimut et l'inclinaison avant et après l'optimisation

La figure ci-dessus représente le graphe de la variation du pourcentage d'un cibler au cours d'optimisation. Le pourcentage varie entre le 0 comme une valeur minimale et 95 comme une valeur maximale .cette dernière représente le cas où les conditions sont remplies.

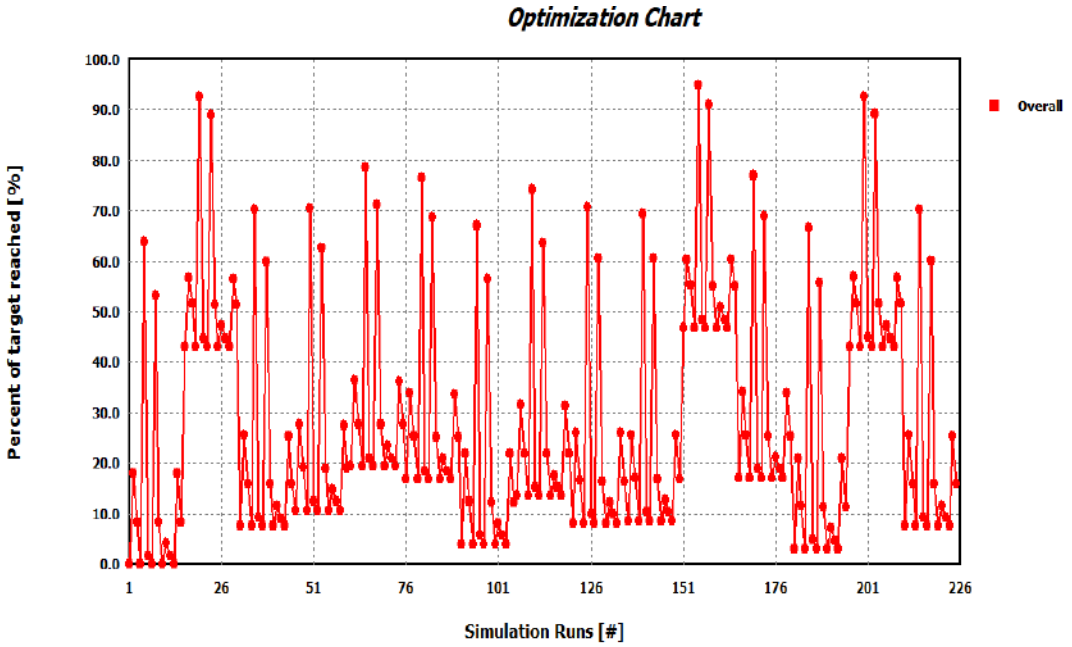


Figure III .8 : graphe de variation de pourcentage de cibler.

Pour analyser le fonctionnement du réseau optimisé, nous effectuons une prédiction de réseau (Max Data rate) grâce à la comparaison avec la prévision d'un résultat précédent.

Sur cette figure, il apparaît que plus de 55% de Alger –centre est couverte par le signal reçu avec un débit de donnée maximum supérieur à 1Mbit/s et un débit supérieur à 200 Mbit/s. la valeur maximal de débit de donné pour la liaison descendante est 3.577Mbit/s et pour la liaison montante sa valeur maximal est 3.827 Mbit/s. Tandis que la valeur maximale du débit égale à 482.9 Mbit/s pour la liaison descendant et 516.6 Mbit/s pour la liaison montante. Lorsque le débit de donnée maximum et le débit étaient respectivement inférieurs à 1 Mbit/s et 200 Mbit/s ; nous devons utiliser d'autres technologies de la 5G pour les augmenter.

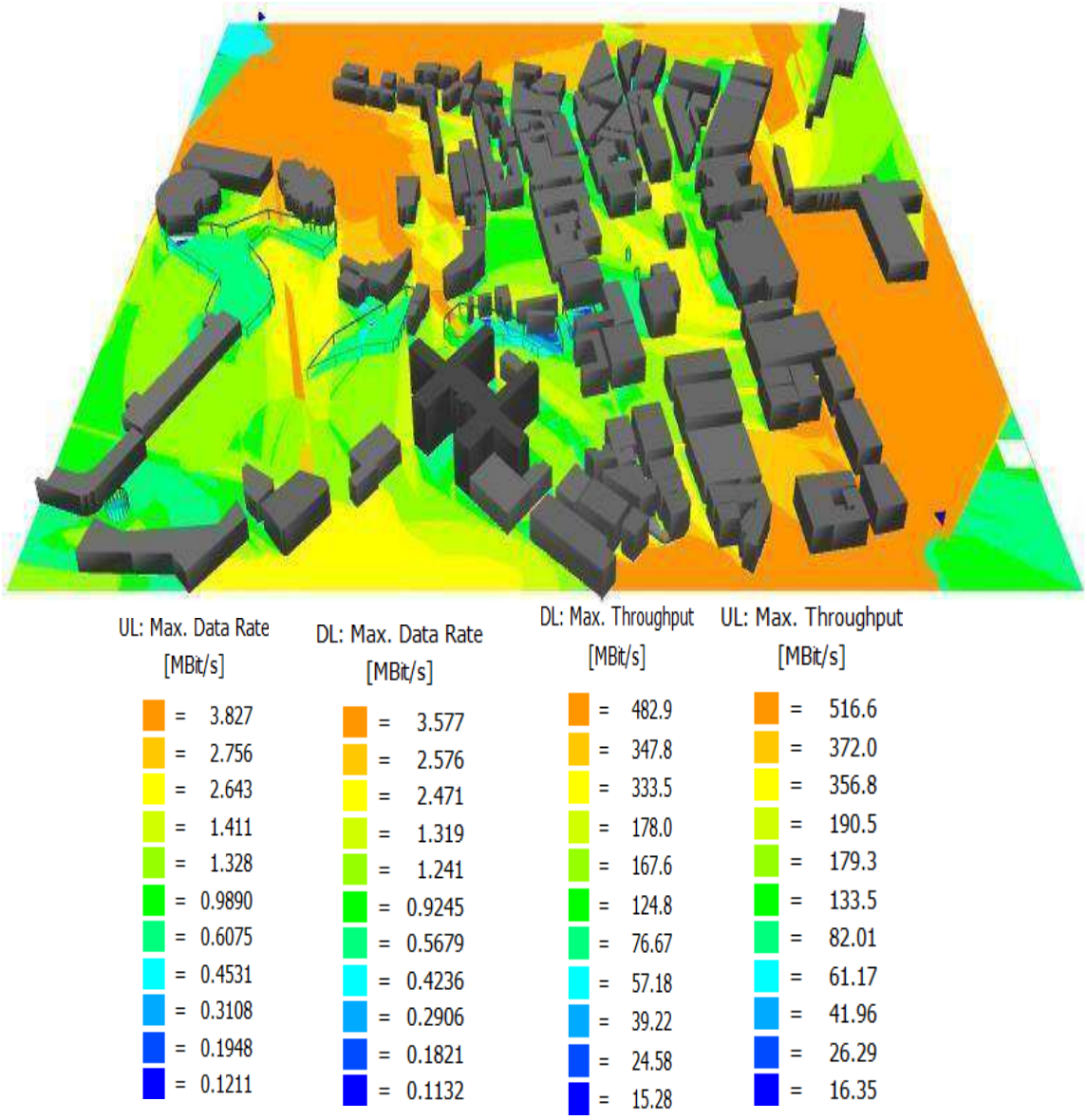


Figure III .9 : la couverture de débit maximal et débit après l'optimisation 3D.

Sur la figure III .10 ,il apparait que plus de 35% de zone a un SINR élevé varier entre [70 - 90] dB qu'il est signifié par les couleurs suivants [violet – rouge et jaune] donc la qualité de signal est en bon état à l'exception des zones bleues et bleues vertes et vertes qui correspondent à des zones avec une mauvaise SINR qu'elle est moins de 65 dB à cause des interférences ou des autres effets.

Chaque opérateur cherche à maximiser la qualité de signal pour une meilleure efficacité spectrale.

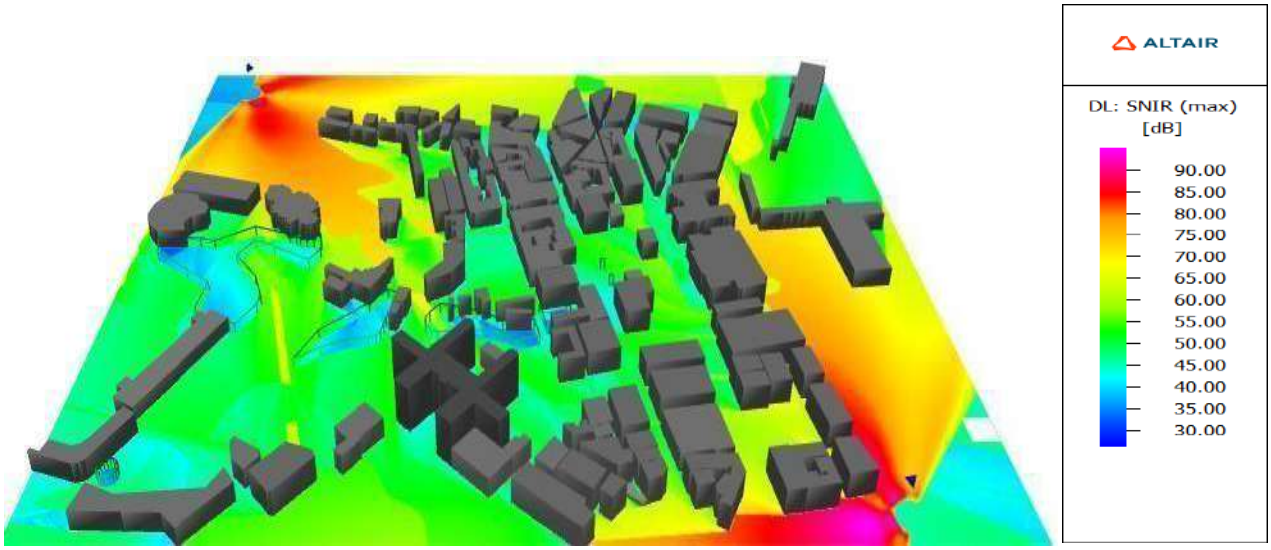


Figure III .10 : la couverture du SINR 3D.

ProMan est conçu pour prédire avec précision :

- ✓ La perte de trajet (Path loss) :

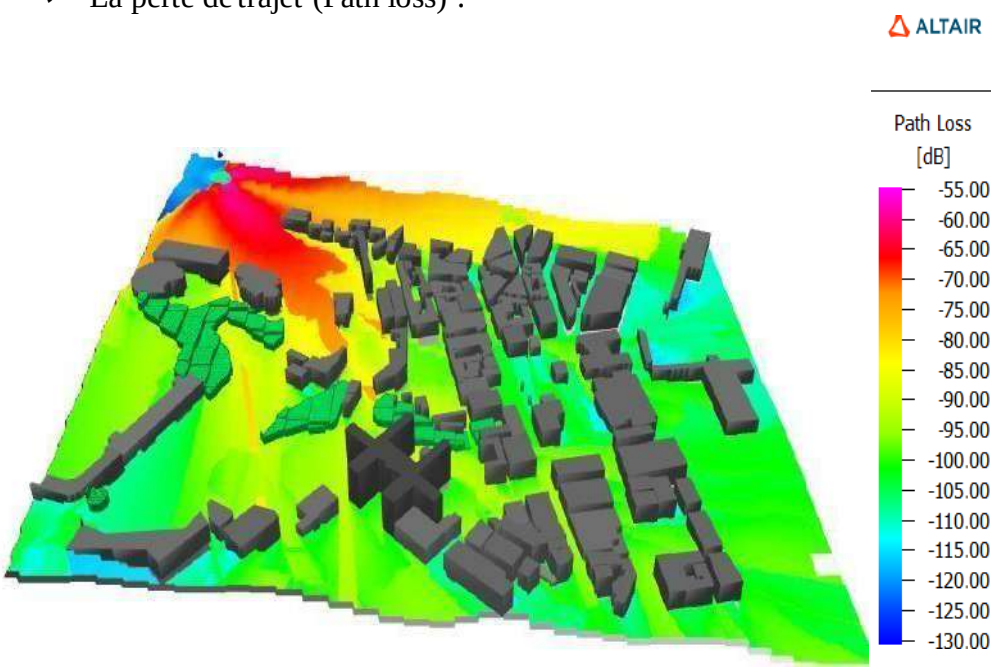


Figure III .11 : l'affaiblissement de macro (site2) 3D.

Sur cette figure, il apparait que la majorité de la zone a une perte de trajet moins de -85 dB avec des significations des couleurs différents :[-95 -85] marquer avec les couleurs jaune/vert ; [-105 -95] marquer avec la couleur vert ; Path loss <-105 marquer avec la couleur bleu, à l'exception une petite zone violet-rouge correspondent à une zone éloignée d'emplacement de macro(site2) par 200 mètre du coté sud-est.

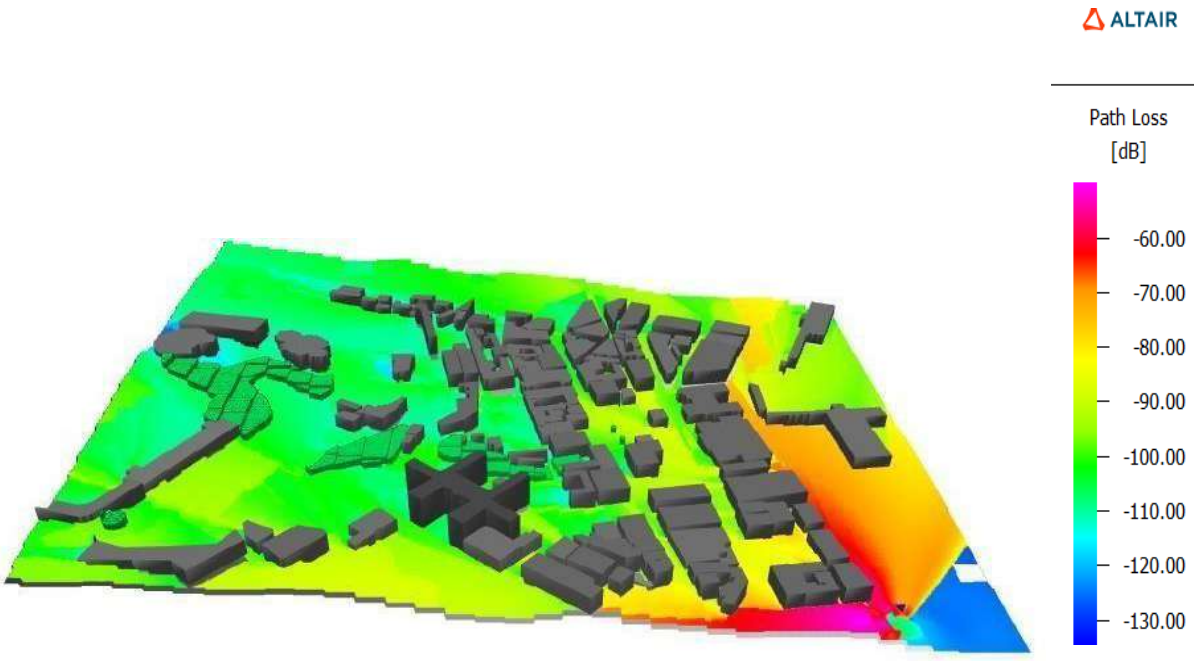


Figure III .12 : l'affaiblissement de macro (site3) 3D.

Sur cette figure, il apparait que la majorité de zone a une perte de trajet moins de -80 dB avec des couleurs différents (jaune, vert, bleu) à l'exception une zone au bord de l'emplacement du macro 2 correspondent a une Path loss élevé > -55 dB . On remarque que la perte de trajet d'un 2^{éme} macro élevé par rapport le 1^{ére} à cause de milieu de propagation parce que le 2^{éme} macro a été plus proche à la mer donc l'air humide ça fait plus d'effet.

- ✓ Line directe de site (Los) :

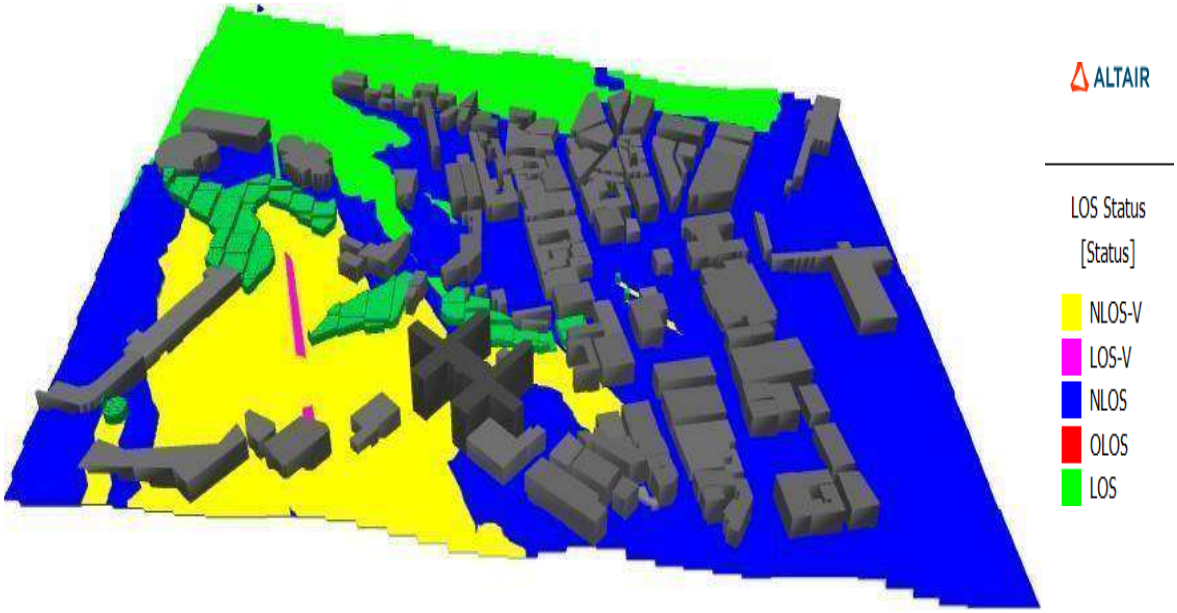


Figure III .13: visibilité directe de communication pour le 1ére macro (site2) 3D.

Au tour de l'emplacement de macro 1, on trouve qu'il y a une communication en visibilité direct cette zone a été marqué par la couleur verte. La zone bleue représente qu'il n'y a pas une line de visé directe entre émetteur et récepteur à cause des obstacles comme les bâtiments. La zone jaune correspondent à des forêts donc il n'y a pas une line direct entre émetteur et récepteur par rapport au bâtiments et ombrage supplémentaire dû à l'objet végétal. Et la zone violet représente (Los-v) qu'il y a une line direct entre émetteur et récepteur par rapport au bâtiment et ombrage supplémentaire dû à l'espace vert.

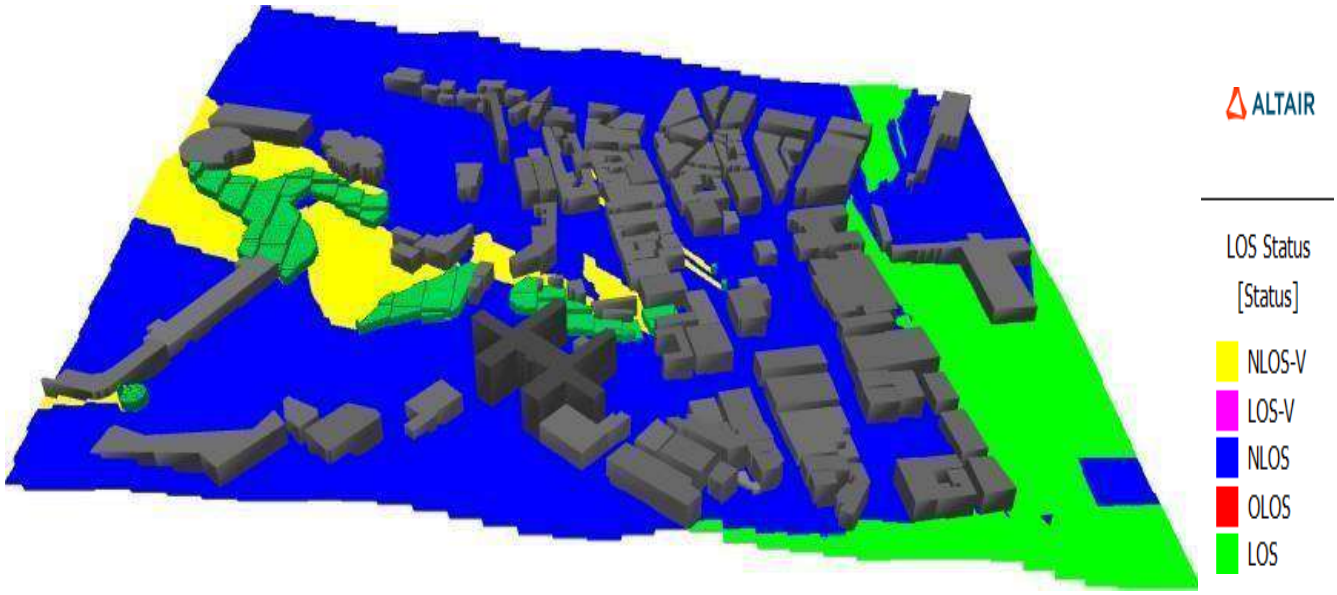


Figure III .14: visibilité directe de communication pour le 2éme macro (site3) 3D.

On trouve qu'il y a une line directe entre émetteur /récepteur donc une communication en visibilité directe sur cette zone. La zone restante varie entre zone bleue correspondant à une zone qu'elle n'y a pas des lignes direct entre émetteur / récepteur à cause des bâtiments. La zone jaune correspondant à des zones qu'elle n'a aucune line directe entre émetteur/récepteur par rapport aux bâtiments et ombrage supplémentaire dû aux forêts. Le système MIMO Massif s'adapte mieux à l'environnement NLOS et offrent de bonne performance dans un environnement multi-trajet.

- ✓ Le retard de réponse (Delay time) :

Plus on s'éloigne du site, plus que « Delay time » augmente. Même que la fréquence a un effet sur ce dernier. La zone au tour de site a un « Delay time » entre [0 500] ns représente par le bleu. , et la zone la plus reculée a une « path delay » augmente à 3500 ns.

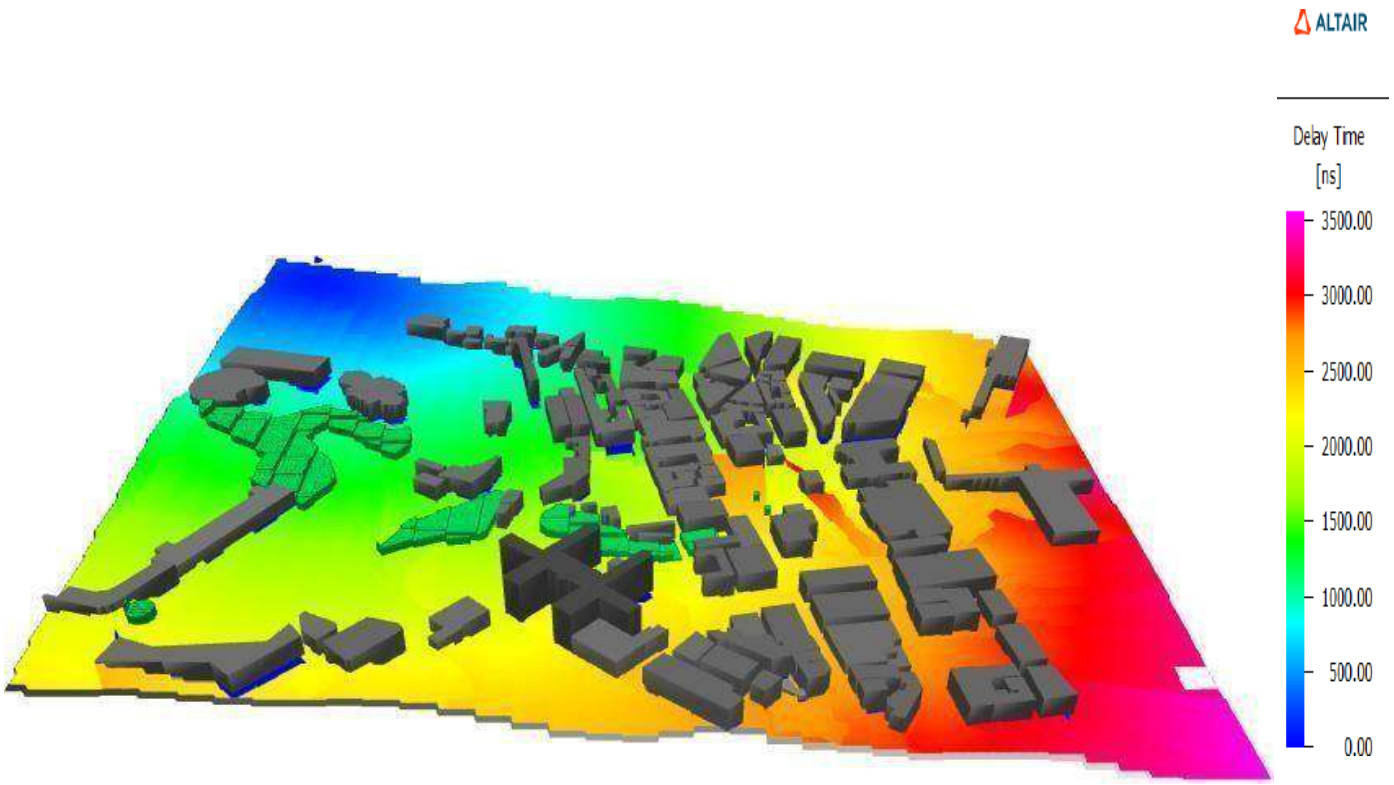


Figure III.15 : le retard de réponse pour macros 1ére (site2) 3D.

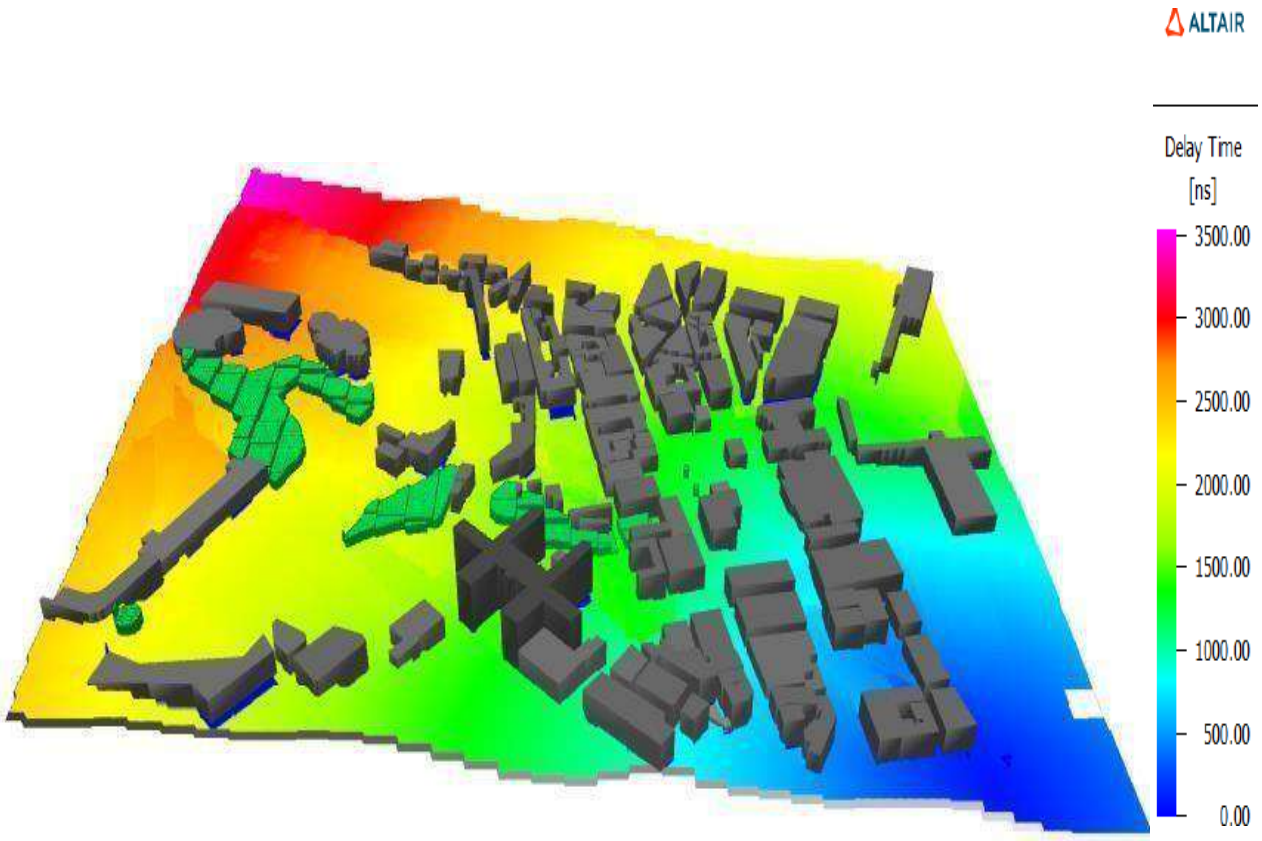


Figure III .16 : le retard de réponse pour 2^{éme} macro (site3) 3D.

- ✓ La puissance reçue (received power) :

Au tour de chaque site, la puissance est élevé [-20] dBm par rapport les zones éloignées au site .la puissance est moins de -25 dBm. Les zones avec puissance élevée représenté par les couleurs [violet, rouge, orange], et les zones restante indiqué par [jaune, vert et bleu].

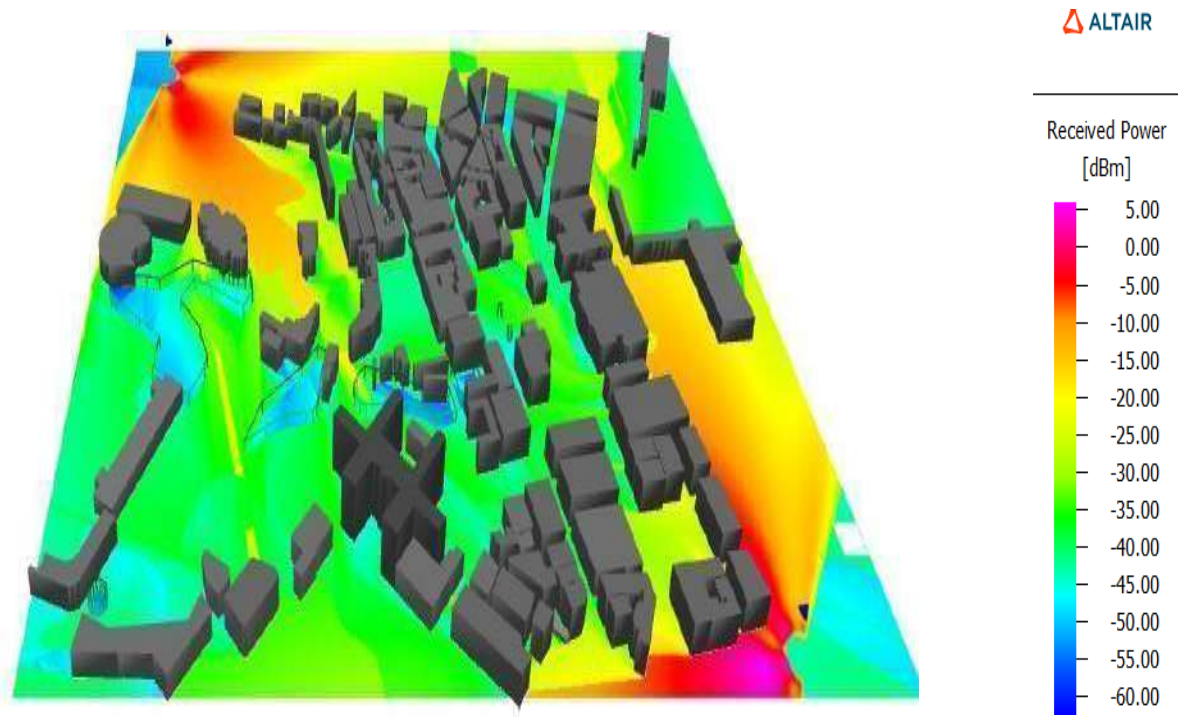


Figure III .17 : la couverture de puissance pour les macro en 3D.

Le déploiement des macro cellules dans l'espace étudié est insuffisant, pour un débit maximal supérieur à1 Mbit/s à chaque point de zone .c'est qui fait que la 5G ressemble à ses précédents technologies, Notamment en cas des évènements….etc. ce qui nous a fait réfléchir à améliorer le débit maximal en ajoutant des petites cellules à fin l'augmenter dans les zones qu'elle a un débit maximal inférieur à 1 Mbit/s.

3-3-Déploiement des petites cellules :

Le déploiement des petites cellules de la manière suivante : des pico cellules entre les bâtiments dans les petites zones fermées ; des micro-cellules dans les zones ouvertes. Les petites cellules fonctionneront sur des bandes à ondes millimétrique plus précis sur la bande n257 [26 29] GHz. On utilise la technologie duplex à répartition de temps (TDD) pour obtient une meilleure capacité.

Les critères de choix de cette bande sont les suivants :

Si les sites doivent couvrir un grande nombre de personne situées dans une zone réduite, la largeur de bande nécessaire à chaque cellule devra être aussi grande que possible est la bande n257 offre des largeurs de bande 400 MHz ; de plus, comme la zone est petite, les pertes de propagation ne seront pas un problème. La configuration des cellules sera différente de cellule des macro cellules :

- Puissance maximale : 33 -35 dBm (micro) ; 24 dBm (pico).
- Couche : petite cellule.
- Numérologie : 3
- Max .T_x power : 47.04 dBm (micro) ; 36.04 dBm (pico).
- Support diversité (UL/DL) : diversité (réception / transmission) Mu-MIMO (2 MIMO).
- Plage de polarisation : ± 45° .
- Cross polarisation descrimination [db] : 25 db.

Lorsque la fréquence de fonctionnement correspond aux bandes d'ondes millimétriques, le signal émis par chaque émetteur ne se propagera pas aussi loin que les macro cellules, pour cette raison les zones de collision de ces émetteurs seront très peu nombreuses.



Figure III .18: l'emplacement des petites cellules sans couverture.

Les deux antennes radiothérapie paternelle (micro et pico) sont générés par AMan(Antenna Manager). Les diagrammes de rayonnement 3D sont illustrés à les figures (III.7 et III.8).

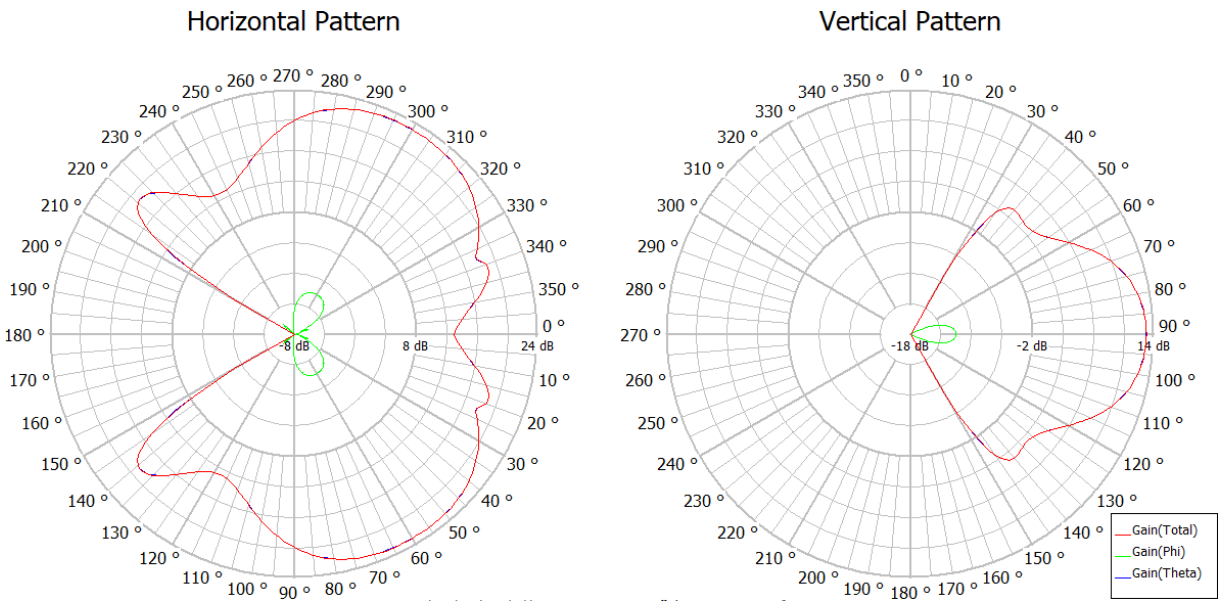


Figure III .19: le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne (micro) en 2D.

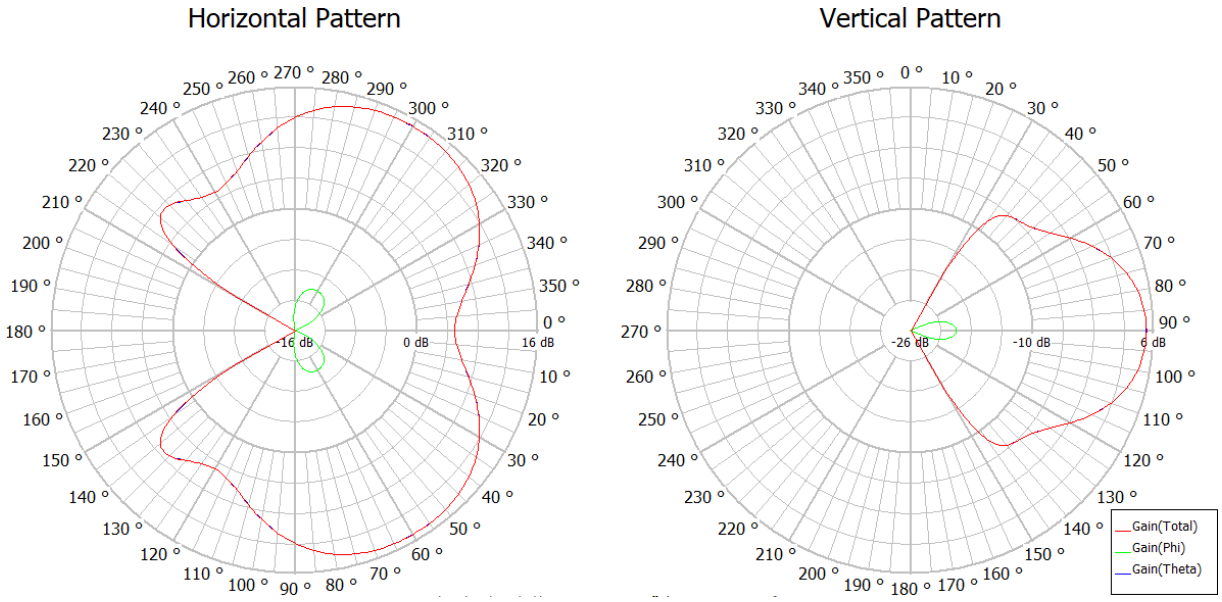


Figure III .20: le diagramme de rayonnement d'une antenne de radiation paterne (pico) en 2D.

Les macro cellules et les petites cellules fonctionnent dans une 2 bandes de fréquences différentes Fr1 et Fr2 et lorsque WinProp travaille sur seul interface aérienne par projet, donc l'emplacement des petites cellules sera dans un plan d'étude différent du premier plan (pour l'emplacement de

macro).

D'après la figure ci-dessus, on trouve que le groupe de signal dominant est le groupe C (marquer avec la couleur verte) qu'il est utilisé par les émetteurs suivants : micro2-A , micro5B , pico4-A , pico5-B , pico-A.

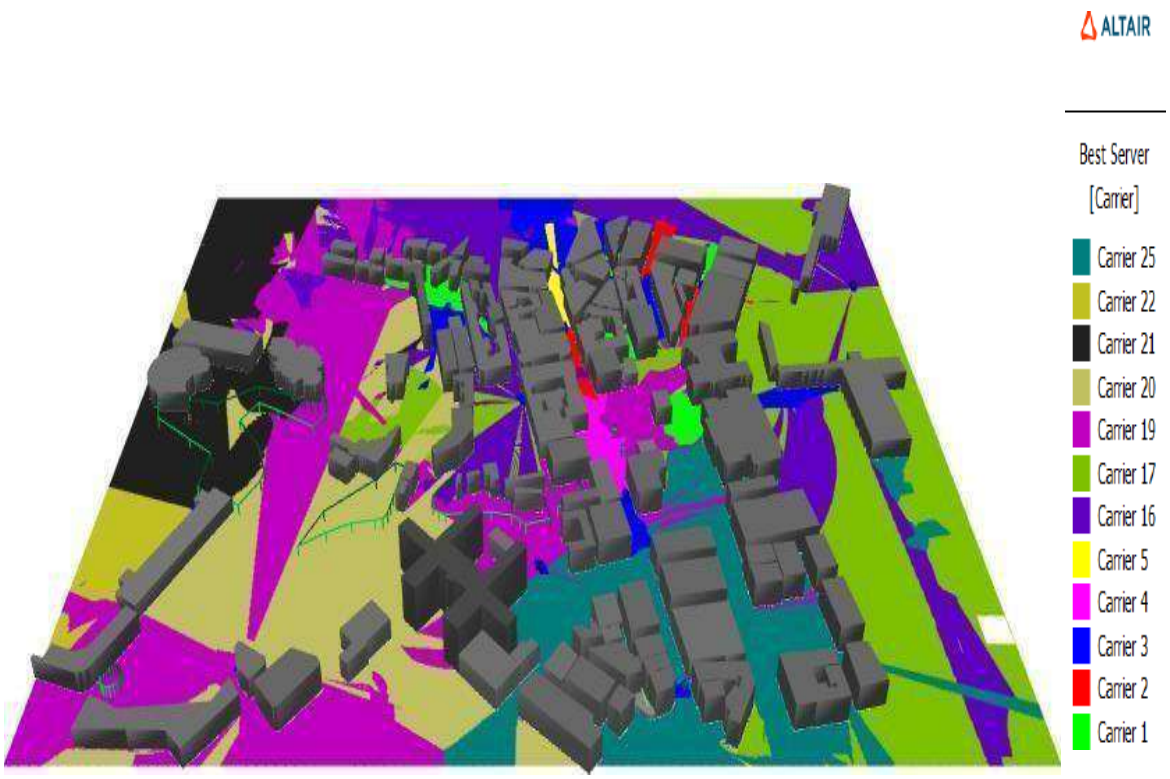


Figure III .21 : Distribution des carriers 3D.

Cette figure représente les différents carriers de fréquences utilisés pour les émetteurs .le carrier dominante est le carrier 19 [28350] MHz (couleur violet). Ce dernier est utilisé par les émetteurs suivants : micro2-B, micro3-A.

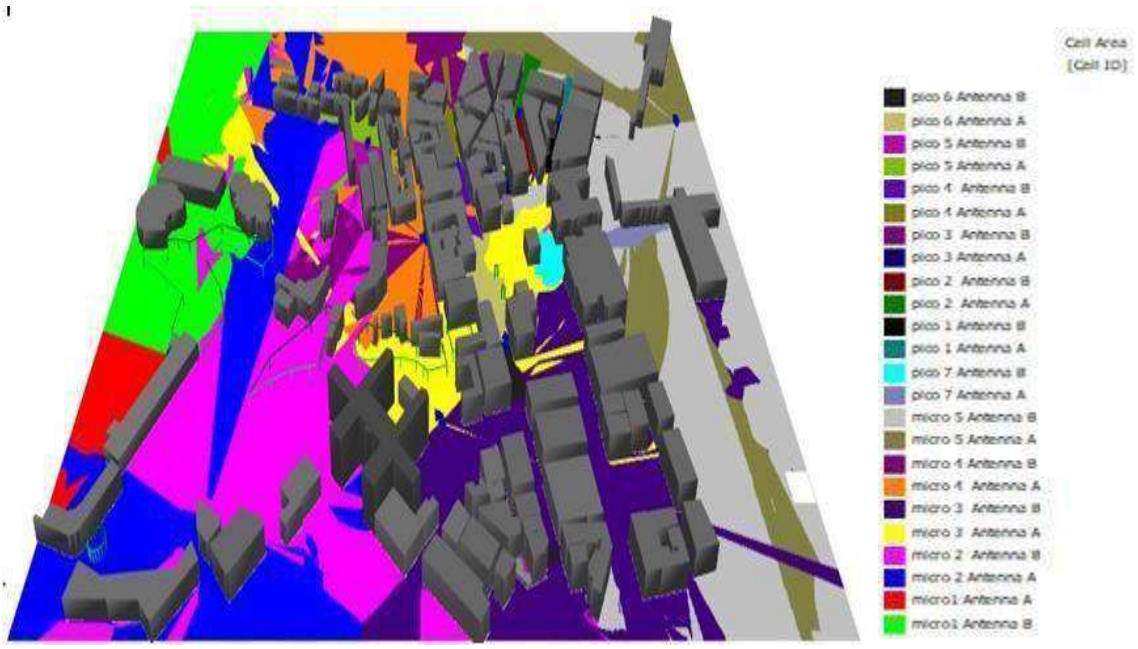


Figure III .22 : Chevauchement des petites cellules 3D.

L'image permet de voir que les petites cellules n'entrent en collision que dans des petites sections. Il est le temps de voir comment ce scénario (déploiement des petites cellules) complète le scénario précédent (emplacement des macro cellules) pour un débit maximal supérieur à1 Mbit/s à chaque point de zone.

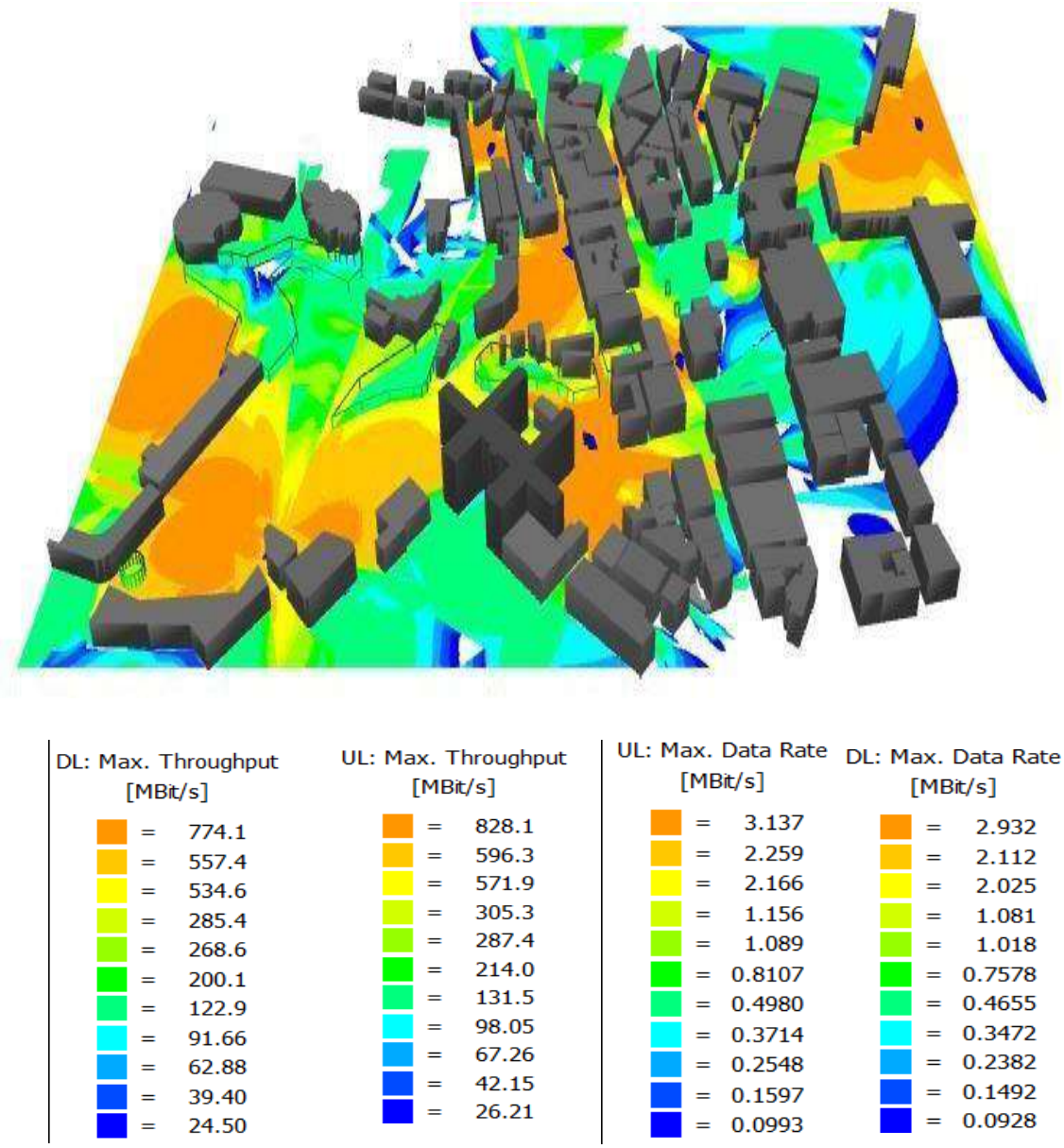


Figure III .23: la couverture de débit maximal de données et de débit pour les petites cellules en 3D.

Sur cette figure, il apparaît que le débit est augmente par rapport le premier cas (macro cellule) , c'est égale à 774.1 Mbit/s comme une valeur maximale pour la liaison descendante (DL) et 828.1 Mbit/s pour la liaison montante (UL) grâce à l'augmentation de la bande de fréquence .

.

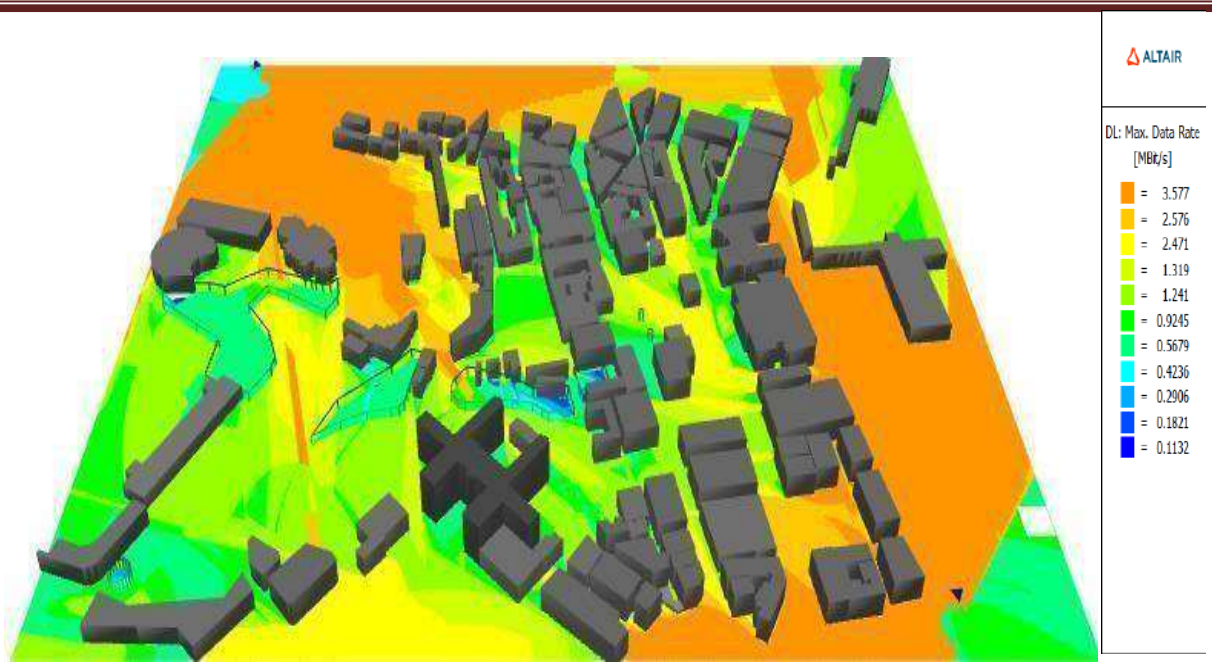


Figure III. 24: la couverture de débit maximal après l'optimisation 3D

Les 2 images en 3D nous donnent un aperçu très précis. qu'elles permettent de voir que la zone est couverte complètement avec un débit maximal supérieur à 1 Mbit/s. Un débit très élevé est l'un des critères de base pour améliorer un réseau. D'après ces précédentes figures, on trouve que la majorité de la zone a un débit supérieur à 200Mbit/s .C'est bien parce que le nouveau réseau fonctionne pour un débit supérieur à 200 Mbit/s.

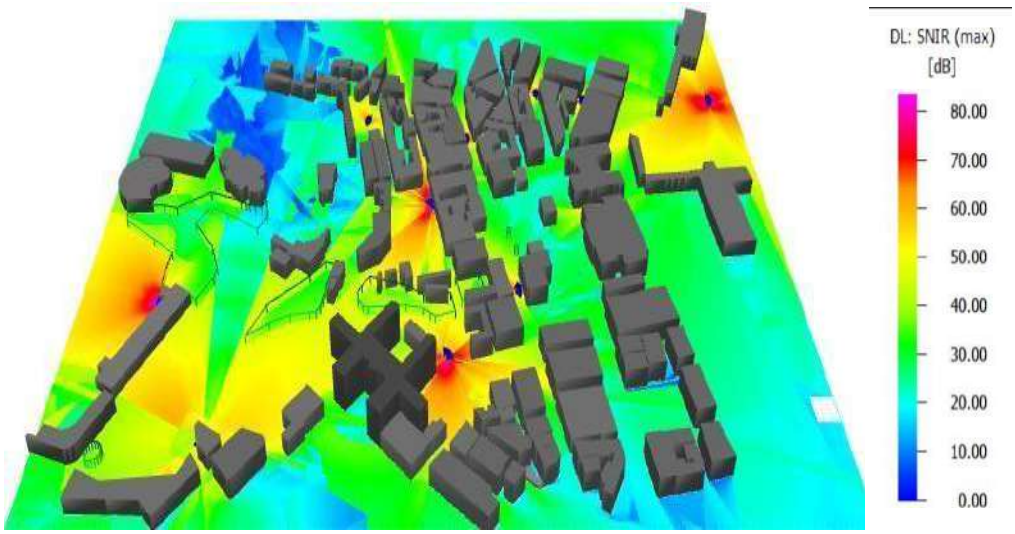


Figure III .25: couverture de SNIR en 3D.

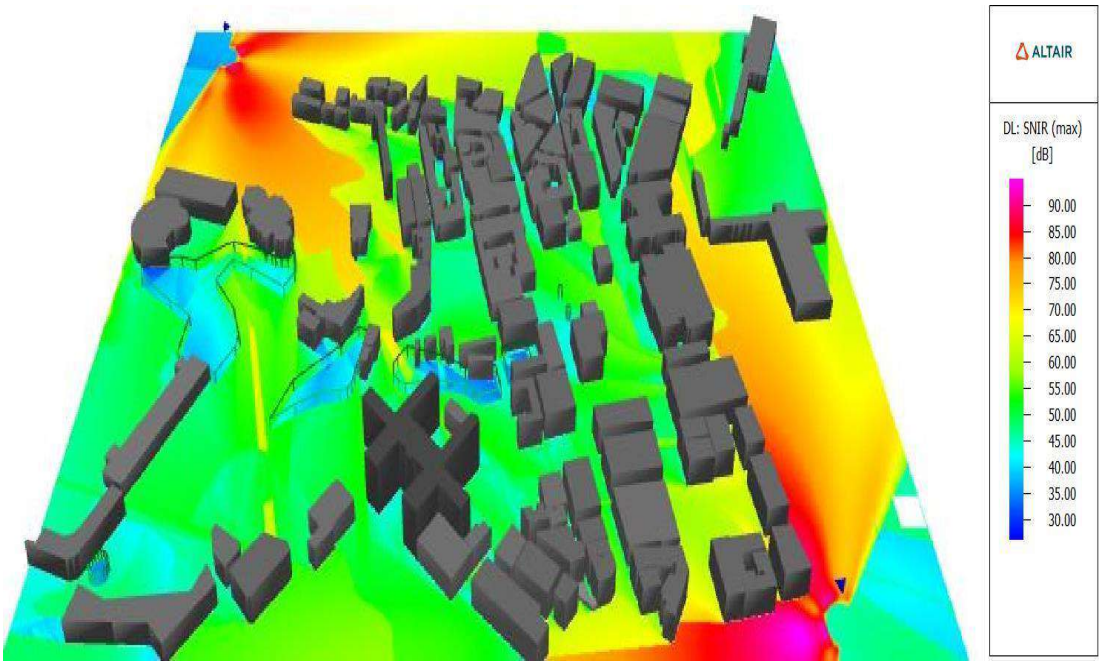


Figure III .26: couverture de SNIR en 3D.

Ces figures permettent de voir que le SNIR (MAX) est élevé dans la majorité de cette zone.la qualité de signal est en bon état grâce à le manque d'interférence et l'absence de bruit. Et la puissance élevée en la majorité des points de la zone comme le montrent les figures ci-dessous, qui combine le micro et le macro cellules.

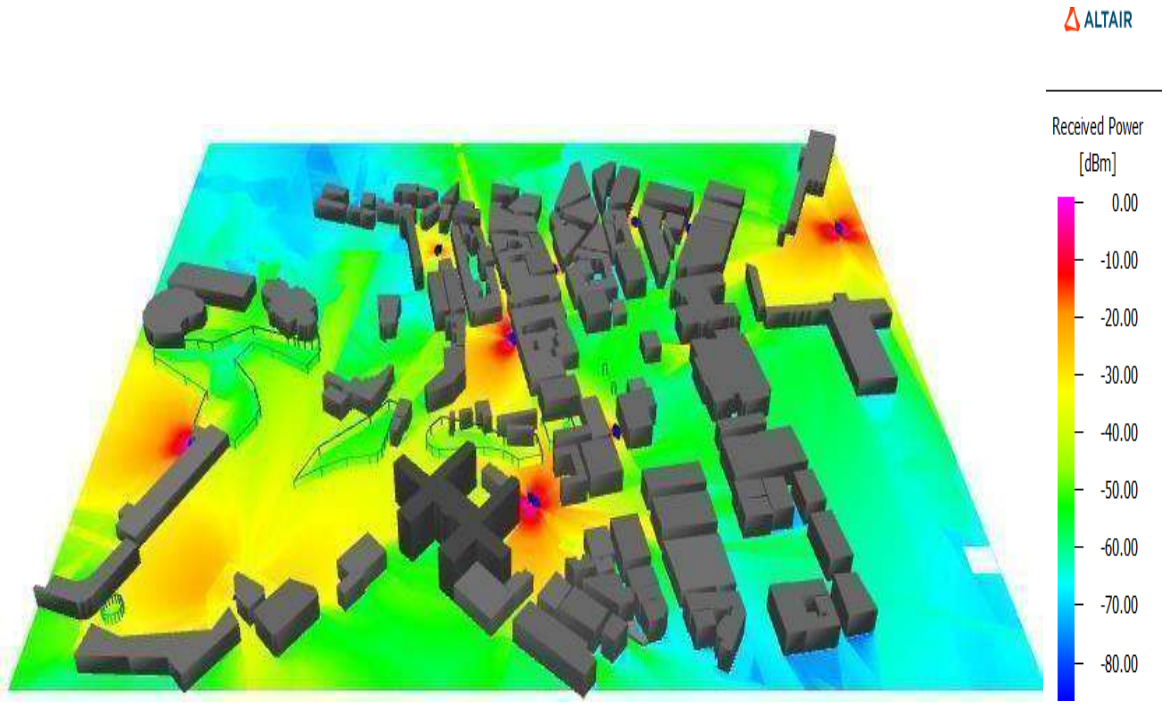


Figure III .27 : la couverture de puissance pour les petites cellules en 3D.

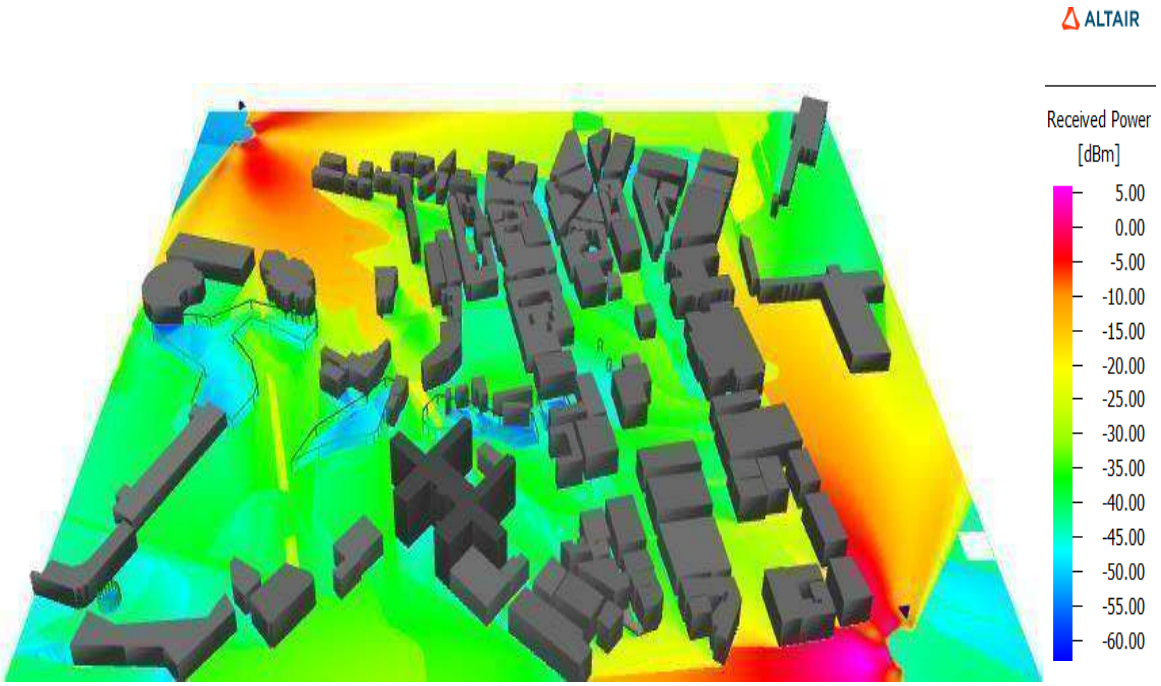


Figure III .28: la couverture de puissance pour les macro cellules en 3D.

Drive teste :

Parmi les processus de planification, on trouve « Drive Test » .la fonction de ce dernier est d'évaluer le niveau des champs transmis à partir d'un émetteur, à différentes positions dans la région de couverture. Le drive test produit des fichiers de données contenants les mesures du niveau des champs et les Coordonnées GPS collectées pour chaque point.

On prend un exemple de ce processus, l'exemple est pour 2 point de coordonné différents.

.

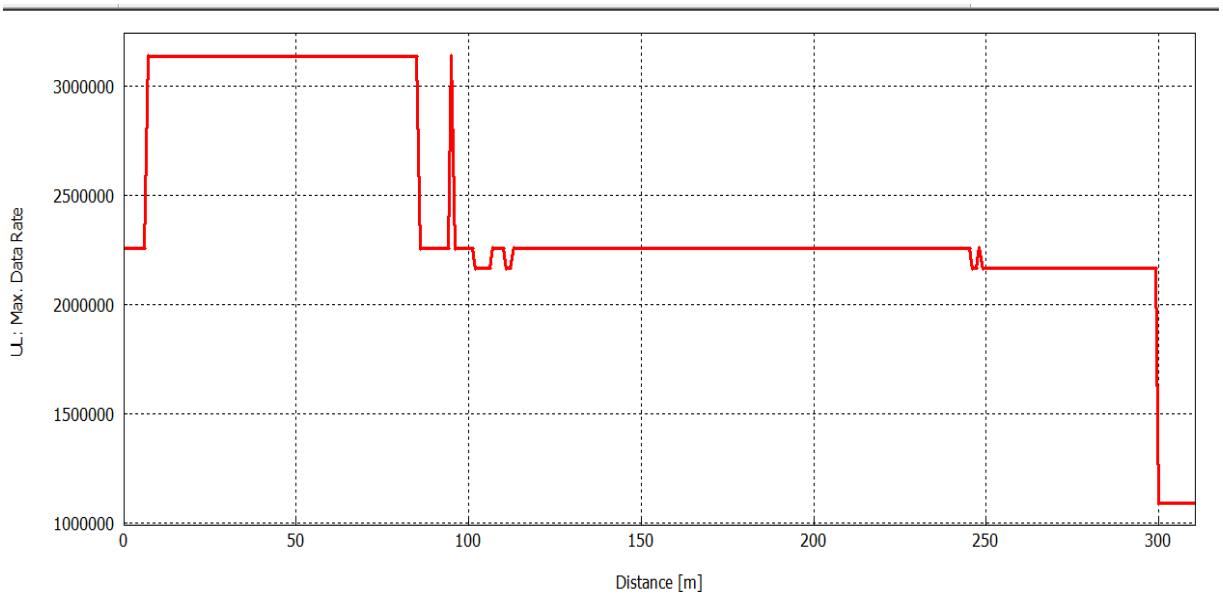


Figure III .29 : graphe de variation de Drive Teste.

4- Comparaison :

Dans le cadre de ce manuscrit .Winprop a été utilisé pour concevoir et tester un réseau, y compris la configuration des sites et des cellules, les prédictions qui peuvent être utilisées comme support à la conception ou comme outil pour tester le réseau. Dans La première d'étude de cas, l'emplacement des 2 macro cellules devait être simulée et testée. Le résultat obtenue dans ce cas est insuffisant car la majorité de la zone « Alger-centre » a un débit maximal inférieur à 1Mbit/s à cause d'emplacement aléatoire des sites. Pour améliorer ce dernier résultat, on optimise le réseau par OptMan, cette optimisation a élargi la zone qu'elle a un débit maximale supérieure à 1 Mbit/s avec des changements sur l'azimut et l'inclinaison mécanique .même pour la qualité des signales.

il y a des zones qu'elles ont une mauvaise qualité de signale à cause d'interférence ou des autres effets. C'est ce qui nous a amené à la deuxième cas, qu'il est représentée par le déploiement des petites cellules (5 micro cellules sur l'espace urbains ouvert et 7 pico cellules sur l'espace urbain fermé). Cette dernière emplacement des petites cellules devait être simulé et tester. On combine les résultats de ce cas avec les résultats précédents qu'ils en réalité en même plan mais le simulateur winprop n'est pas permis ça à cause de la différence entre les 2 interfaces aériennes.

On trouve que la qualité de signale est bon pour toute la zone, même que le débit maximale supérieure à 1 Mbit/s. Donc, pour couvre une surface de 1,1612769 Km^2 avec un débit maximal > à 1 Mbit/s, on a besoin de placer 2 sites macro cellules et 5 sites micro cellules et 9 sites pico cellules et peut être nous avons besoins des femto cellules à l'intérieur des quelques bâtiments parce que des obstacles simples affectent la qualité du signal. Enfin, winprop intègre la fonctionnalité qui permet de faire dessimulations de trafic et des simulations de propagation en 3D.

Conclusion générale

Conclusion général :

Ce projet de recherche fait partie des technologies révolutionnaires sur lesquelles repose la 5G, comme le MIMO massif (Massive MIMO), le découpage réseau en tranche (Network Slicing) , la création de faisceaux directifs (beamforming) et la virtualisation des fonctions réseau (network function virtualization, NFV) nécessitent des approches progressives aux déploiements de nouveaux réseaux 5G. Il utilise une technologie plus avancée pour fournir des informations sur le déploiement du réseau 5G. Au cours des dernières décennies, la demande de communications mobiles est devenue de plus en plus importante, nécessitant ainsi des débits de transmission de données plus élevés, une latence très faible, une fiabilité et une disponibilité très élevées, un coût et une consommation d'énergie beaucoup plus faibles. Dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, le Winprop a été utilisé pour concevoir et tester un réseau, y compris la configuration des sites et des cellules, les prédictions qui peuvent être utilisées comme support à la conception ou comme outil pour tester le réseau. Dans la première étude, on a simulé et testé l'emplacement des 2 macro cellules. Le résultat obtenu dans ce cas est insuffisant car la majeur partie de la zone « Alger-centre » a un débit maximal inférieur à 1Mbit/s à cause d'emplacement aléatoire des sites. Afin d'améliorer ce dernier résultat, on a optimisé le réseau par OptMan. Cette optimisation a permet d'élargir la zone pour avoir un débit maximale supérieure à 1 Mbit/s avec des changements sur l'azimut et d'inclinaison mécanique. Et de même pour la qualité des signaux. On note la présence de zones ayant une mauvaise qualité de signale à cause d'interférence ou des autres effets. C'est ce qui nous a amené à la deuxième étude où on a représentée par le déploiement des petites cellules (5 micro cellules sur l'espace urbains ouvert et 7 pico cellules sur l'espace urbain fermé). Cette dernière emplacement des petites cellules a été simulé et testé. On combinant les résultats obtenus dans ce cas avec ceux obtenus dans la première étude, et qu'ils en réalité en même plan mais le simulateur winprop ne lui pas permis à cause de la différence entre les 2 interfaces aériennes. On a trouvé une bonne qualité de signale pour toute la zone, même un débit maximale supérieure à 1 Mbit/s. Par conséquent, pour couvre une surface de 1,1612769 Km^2 avec un débit maximal > à 1 Mbit/s, on aura besoin de placer 2 sites macro cellules, 5 sites micro cellules, 9 sites pico cellules et peut être nous aurons aussi besoins des femto cellules à l'intérieur de quelques bâtiments à cause des obstacles simples qui affectent la qualité du signal. Enfin, winprop intègre la fonctionnalité qui permet de faire des simulations de trafic et des simulations de propagation en 3D.

Bibliographie

[1] E. Dahlman, S. Parkvall , J. Skold, 4G : LTE-Advanced Pro and the Road to 5G. Elsevier Science & Technology Books, 2016.

[2] E.Dahlman, S.Parkvall, J.Skold,5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology,9 aout 2018.

[3] E.Dahlman, S.Parkvall, J.Skold, P.Beming, 3G Evolution :HSPA and LTE For Mobile Broadband ,28 juillet 2010.

[4] M.Dehemchi,A. Bouhafer ,Etude et analyse de méthodes de beamforming pour Des systèmes multi -utilisateurs pour la 5G,Université 8 Mai 1945-Guelma,juillet 2019.

[5] Lucaspas,Huawei 5G Overview ,26 p ,6 décembre 2018 .

[6] A.Al Mamun, S. Anwar, A.Hassani, 4G and 5G Mobile Communication Networks: Features Analysis, Comparison and Proposed Architecture, King Fahd University of Petroleum & Minerals, KSA, June 2016.

[7] A.Dwayne ,Why The 5G Race Matters ,publisher S21598,12 juin 2019 .

[8] A.Osseiran, J.F.Monserrat , P.Marsch , 5G Mobile And Wireless Communications Technology ,2016.

[9] S.Rommer , P.Hedman ,M.Olsson ,L.Frid ,S. Shabnam , C.Mulligan , 5G Core Networks Powering Digitilization ,14 novembre 2019 .

[10] Agence Nationale des frequencies ANFR, Présentation générale sur 5G, Evaluation de l'exposition du public aux ondes éléctromagnétique 5G ,volet 1 , juillet 2019.

[11] R.Jonathan , Fundamentals of 5G Mobile Networks ,2015

[12]J. Guinamard, 64 pays ont déjà accés à la 5G, 12 Mai 2021

[13] K.A.DERRIDJ, N.GHERRAS , Conception et développement d'un outil de Dimensionnement de réseau Packet Core Virtualisé dédié pour la 4G et 5G, université Mouloud- Mammeri de TiziOuzou ,2016

[14] M.M.Ferrer,Etude de déploiement de réseau en 5G à l'aide de l'outil de planification radio Atoll, université d'Ottawa ,Barcelona,janvier,2021

[15]L.Frédéric, NG-RAN et 5G-NR :l'accés radio 5G et l'interface radio électrique, Britain,2021

[16] Agence Nationale des frequencies ANFR, Faut-il synchroniser les réseaux mobiles 5G , 02/07/ 2018.

[17]M. S. Elbamby, C. Perfecto, M. Bennis, and K. Doppler, EdgeComputingMeets Millimeter-waveEnabled VR : Paving the Way to Cutting the Cord,*Proc. IEEE WCNC*, pp. 3–8, 2018,

[18] J.Marc.Ribero,A.ChedikhBeye,Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables

ou Small cells pour le standard 5G,Université Nice coté d'Azur et l'université Cheikh Antadiapo de Dakar,9 Mai 2019

[19]T. S. Rappaport*et al.*, "MillimeterWave Mobile Communications for 5G Cellular : It Will Work !," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.

[20] P. Adhikari, UnderstandingMillimeterWave Wireless Communication,*Loea Corp.*, 2008.

J.Marc.Ribero,A.ChedikhBeye,Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables ou Small cells pour le standard 5G,Université Nice coté d'Azur et l'université Cheikh Antadiapo de Dakar,9 Mai 2019

[21]X. Ge, S. Tu, G. Mao, C. X. Wang, and T. Han, "5G Ultra-Dense Cellular Networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 1, pp. 72–79, 2016.

[22]H. Zhang, Y. Dong, and S. Member, "Fronthauling for 5G LTE-U Ultra Dense Cloud Small Cell Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 23, no. 6, pp. 48–53, 2016.

[23]R. Baldemair*etal.*, "Ultra-dense networks in millimeter-wavefrequencies," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 1, pp. 202–208, 2015

[24]R. Misra and S. Katti, "QuickC : Practicalsub-millisecond transport for smallcells," *Proc. 22nd Annu. Int. Conf. Mob. Comput. Netw.*, pp. 109–121, 2016

[25] E. G. Larsson, "Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 186–195, 2014.

[26] D. Lee et al., "Coordinated Multipoint Transmission and Reception in LTE-Advanced : Deployment Scenarios and Operational Challenges," IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 12, pp. 148–55, 2012.

[27] C. Wen, W. Shih, and S. Jin, "Deep Learning for Massive MIMO CSI Feedback," IEEE Wirel. Commun. Lett, vol. 7, no. 5, pp. 748–75, 2018.

[28] J. M. and K. Thomas, "What Is Massive MIMO Technology?" [Online]. Available: https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/.

[29] F. Rusek, P. Daniel, B. K. Lau, and E. G. Larsson, "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 30, no. 1, IEEE, pp. 40–60, 2012.

[30] H. Q. Ngo, S. Member, E. G. Larsson, S. Member, and T. L. Marzetta, "Energy and Spectral Efficiency of Very Large Multiuser MIMO Systems," IEEE Trans. Commun, vol. 61, no. 4, pp. 1436–1449, 2013.

[31] R. Janaswamy, "Effect of element mutual coupling on the capacity of fixed length linear arrays," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 1, pp. 157–160, 2002.

[32] Ali. Ehab, et al. "Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview,

classification, and trends for future research". Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering 18.6 (2017): 753-772.

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

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

[35] Oussoukine.Amel, Rayeh. Narimane. "MIMO Beamforming Multi Utilisateur". L'Université De Tlemcen Faculté De Technologie Département De Telecommunication. Mai 2016.

[36]C.Skiribou , Canal de propagation 5G et mécanisme de côntrole d'intégrité application sûre des rames dans un tunnel Marrakech,Maroc,2018

[37] C.Bouras ,A.Kollia , A.Papazois , SDN & NFV in 5G : advancements and challenges, university of Patras, Greece, 2017