



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2021

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Présenté Par :

KABORE Karim
PEREIRA Jose Liborio

Etude de Passage de la 4G vers la 5G

Soutenu le / / 2021 devant le jury composé de :

Président :	M. BENAOUALI Mohamed	MAA	Université de Mostaganem
Examineur :	Melle BENDANI Djazia	MAA	Université de Mostaganem
Encadrant :	Mme BENCHELLAL Amel	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020/2021

Dédicace

Avec l'aide de Dieu le tout puissant clément et miséricordieux, on a pu accomplir ce travail que je dédie :

A la mémoire de mon très cher père **Castro José Pereira**.

A ma très chère mère **Alcinda Francisco Javane**, les mots ne seront jamais assez forts pour t'exprimer l'amour que je te portais. Ta patience sans fins, Tes sacrifices, tes encouragements et tes précieux conseils ont été pour moi le soutien indispensables que tu as toujours su m'apporter.

A mes sœurs :

(**CremildeTumbo, MirnaChitsungo, Lúcia Pereira, Lidia Pereira et Mariamo Pereira**), que font ma fierté, votre amour continus ont eu le plus grand effet sur mon parcours.

A tous les membre de ma famille

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon affection.

A mes amis :

(Miguel, Cláudio, Valdemar, Brígida, DulceMarcela, Enio, Abudo, Vânia, Yolanda Lazaro, Siaquil, Alex, Abdramane, Coumba, OG, Cassandrah, Lourenço, Ramalho, Doivan, Willy au Fr. Mariste) et a tous qu'ont contribué de près ou de loin a la réalisation de ce Project.

Jose Pereira

Dédicaces

A mes très chers parents, pour leur amour et leurs encouragements.

Pour leur sacrifice et leur soutiens inconditionnels.

Que Dieu leur accorde de longues années de vie.

A mes sœurs et frères Saoudata, Sadia, Bassirou et Fayçal ... à toute ma famille.

A mes amis Salam, Sylvain, Bathily, Oumou, Sophie, Abdramane, Coumba, Loukman,
Hyacinthe...

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, paix et amour.

Karim

Remerciements

Il nous est agréable et important de réserver cette page comme un témoin de connaissance à toutes les personnes que nous ont soutenus et encadres pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et nos remerciements :

Tout d'abord à Dieu le tout puissant pour ces faveurs et de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de terminer ce modeste travail.

Nous sincère et chaleureuse remerciement à Mme **Amel Benchallal** pour son encadrement son orientation ses conseils et la disponibilité qu'elle nous a témoignée pour mener à bien

Ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au **membre de jury**. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance

Nous tenons à remercier le Département de Génie électrique et de Système de Télécommunication de la faculté Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem et toute l'équipe pédagogique qu'ont fourni les utiles nécessaires à la réussite de nos études universitaire.

Merci

Dédicace.....	I
Remercient.....	II
Liste des figure.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Réseau de quatrième génération 4G(LTE).....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Architecture du réseau LTE(4G).....	3
I.2.1 Réseau cœur 4G.....	4
I.2.2 Réseaux d'accès 4G.....	5
I.2.2.1 La partie radio eUTRAN.....	5
I.3 Caractéristique de l'accès LTE.....	6
I.4 L'interface Air.....	7
I.4.1 Les canaux radios.....	7
I.5 L'OFMD.....	9
I.5.1 Accès multiple par répartition en fréquence orthogonale (OFDMA).....	10
I.5.2 L'OFMD et SC-FDMA.....	11
I.5.3 Structure de la trame LTE.....	11
I.6 Concept de bloc des réseaux.....	13
I.7 La technologie MIMO.....	14
I.8 Le réseau LTE-Advanced.....	15
I.9 Le réseau LTE-Advanced-Pro.....	16
I.10 Modulation et codage adaptatifs.....	17
I.11 La 4G dans le monde.....	18
I.12 Les avantages du LTE.....	19
I.13 Les limites du LTE.....	20
I.14 Conclusion :.....	20

Chapitre II : Etude de passage de la 4G vers la 5G	21
II. Introduction	21
II.1 Le fonctionnement de la 5G	21
II.2 Le DSS (Dynamique Spectrum Switching).....	22
II.3 La 5G SA et 5G NSA	23
II.3.1 Les avantages	23
II.4 Les options de déploiement 5G	23
II.5 La 5G SUB-6.....	30
II.6 Le MIMO massif	30
II.7 Comparaison entre les performances de la 4G et de la 5G.....	30
II.8 Conclusion.....	32
Chapitre III : Réseau de cinquième génération 5G(NR)	33
III. Introduction	33
III.1.1 Différentes catégories d'usages de la 5G	33
III.1.2 Les fréquences utilisées dans la 5G	35
III.2 Etude technologique du réseau	35
III.2.1 Architecture en couche du réseau 5G.....	35
III.2.1.1 L'accès radio 5G	36
III.2.1.2 Le cœur réseau 5G (5GC).....	37
III.2.2 Architecture NSA (Non-Stand Alone).....	37
III.2.3 Structure de la trame du réseau 5G	38
III.3 Technologies émergentes pour le réseau 5G	40
III.3.1 Beamforming.....	40
III.3.2 Millimeter Waves.....	41
III.3.3 Massive MIMO	41
III.3.3.1 Avantage de MIMO massif.....	42
III.3.4 Internet des Objets.....	43

III.3.5	Un duplex plein (Full duplex)	44
III.4	Les antennes 5G.....	45
III.4.1	Paramètres caractérisant les antennes	45
III.4.1.1	Bande passante et la fréquence de résonance	45
III.4.1.2	Gain d'une antenne et la directivité	46
III.4.1.3	Le diagramme de rayonnement.....	46
III.4.1.4	Coefficient de réflexion	47
III.4.1.5	L'impédance d'entrée	47
III.4.1.6	Rapport d'onde stationnaire	47
III.4.1.7	Le rendement d'une antenne	48
III.5	Etude en simulation d'antennes patch pour les réseaux 4G et 5G.....	48
III.5.1.1	Calcul des dimensions de l'antenne patch à 700 MHz (Bande Etroite)	48
III.5.1.2	Calcul des dimensions de l'antenne patch à 28 GHz (Ultra Large Bande).	50
III.6	Résultats et discussions	51
III.6.1	Simulation d'un seul élément rayonnant à 700 MHz.....	51
III.6.2	Simulation d'un seul élément rayonnant à 28 GHz pour la 5G	54
III.6.2.1	Simulation d'un seul élément rayonnant à 28 GHz	54
III.6.2.2	Simulation de l'antenne MIMO à 28 GHz.....	57
III.7	CONCLUSION	61
	Conclusion Générale.....	62
	Références bibliographiques.....	64

Liste des figures

Figure I-1 : architecture général d'un reseau LTE [2]	4
Figure I-2:Architecteur de l'EPC	4
Figure I-3: La partie radio eUTRAN [2].....	6
Figure I-4: Signaux physiques PSS / SSS (Signaux de référence) [3]	9
Figure I-5:Principe de L'OFDM [9].....	10
Figure I-6:Différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA [8].....	10
Figure I-7:Techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA.[2]	11
Figure I-8:Une trame LTE [3].....	12
Figure I-9:Structure de trame en FDD et FDD half-duplex	12
Figure I-10:Structure de trame en TDD.	13
Figure I-11:Concept de bloc des reseau LTE.....	14
Figure I-12:Illustration simplifiée du fonctionnement MIMO [2]	15
Figure I-13:Évolution de la technologie LTE durant les années selon Les standards 3GPP [5]	17
Figure I-14:Les différents types de modulation [2]	17
Figure II-1:Les deux groupes de fréquences utilisés par la 5G NR[1].....	22
Figure II-2:Un aperçu des options de déploiement de la NSA 5G SA et 5G. [7]	24
Figure II-3:option 1 de déploiement SA 5G.....	25
Figure II-4: option 2 de déploiement SA 5G.....	26
Figure II-5: Option 3 de déploiement NSA 5G.....	27
Figure II-6: Option 4 de déploiement NSA 5G.....	28
Figure II-7 Option 5 de déploiement SA 5G.....	28
Figure II-8:Option 7 de déploiement NSA 5G.....	29
Figure II-9:Une antenne massive MIMO	30
Figure III-1:Les trois cas d'usage de la 5G [21]	34
Figure III-2:Architecture générale de reseau 5G [15].....	36
Figure III-3:MODE NON-STAND ALONE	38
Figure III-4: La transmission OFDM	39
Figure III-5:Champ radio avec adaptation de la directivité de l'antenne (beamforming) [17]	40
Figure III-6 spectre 5G[18]	41
Figure III-7:Massive MIMO benefits.....	42

Figure III-8:Les réseaux de l'Internet des objets [13].....	43
Figure III-9:Conception de internet des objets dans un système 5G [23].....	44
Figure III-10:FULL DUPLEX	44
Figure III-11 Antenne patch rectangulaire	48
Figure III-12: Antenne patch rectangulaire à 700 MHz.....	52
Figure III-13: Variation deS11 en (dB) à 700 MHz.....	52
Figure III-14: VSWR de l'antenne à 700 MHz.....	53
Figure III-15: Diagramme de rayonnement polaire à f = 700 MHz.....	53
Figure III-16: Antenne patch rectangulaire à encoches	54
Figure III-17 : Paramètres S11 de l'élément rayonnant à 28Ghz.....	55
Figure III-18: VSWR de l'antenne à 28 GHz	56
Figure III-19: Diagramme de rayonnement polaire à f =28 GHz	56
Figure III-20: Courant de surface de l'antenne à 28 GHz.....	57
Figure III-21: Antenne MIMO à 4 éléments à 28 GHz.....	58
Figure III-22: Variation de S11 de l'antenne MIMO en (dB) à 28 GHz	58
Figure III-23: Taux d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne MIMO à 28 GHz	59
Figure III-24: Diagramme de rayonnement polaire de l'antenne MIMO à 28 GHz.....	59
Figure III-25: Diagrammes de rayonnement 3D du système multi-antennes à 28 GHz.....	60
Figure III-26: Courant de surface du système multi antenne à 28 GHz.....	61

Liste des tableaux

Tableau I-1:Différence entre LTE et LTE-Advanced	16
Tableau II-1:Comparaison entre les performances de la 4G et de la 5G	32
Tableau III.1:La structure de la trame temporelle [16]	39
Tableau III-2: liste de paramètre de l'antenne à 700 MHz	49
Tableau III-3: Liste de paramètre de l'antenne à 28 GHz.....	51

Liste des abréviations

1G : première génération

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

A

AMF: Access and Mobility management

AF: Application Function

B

BCH: Broadcast Channel

BCCH: Broadcast control Channel

BER: Bit Error rate

C

CPRI: Common public Radio interface

CCH: Common channel

CCCH: Common control channel

CP: cycle prefix (OFMD major parameter)

D

DC-HSPA: Dual Carrier-High speed packet Access

DSS: Dynamic spectrum switching

DN: Data Network

E

EDGE: Enhanced Data rates for GSM Evolution

eNodeB: evolved NodeB

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Access Network

EPS: Evolved Packet System

eMMB: Enhanced mobile Broadcast

F

FDD: Frequency Division Duplex

G

GPRS: General packet radio Service

GERAN: GSM EDGE Radio Access Network

GSM: Global System of Mobile

H

HD: High Definition

HSS: Home Subscriber Server

HLR: Home Location Register

HSPA: High Speed Packet Access

I

IP: Internet Protocol

IoT: Internet of things

IMT: international Mobile Communication

K

KPI: Key performance indicators

L

LTE: Long Term Evolution

M

MMS: Multimedia Message Service

MME : Mobilyte Management Entity

MAC: Medium Access Control

MCH: Multicast Channel

MISO: Multiple Input Single Output

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MNOs: Mobile Network Operation

MAS: Multiple Adress System

MEC: Mobile Edge Computing

mMTC:massive Machine Type
Communication

N

NR: New Radio

NSA: Non-Standalone

NFV: Network Function Virtualization

NG-RAN: Next Generation RAN

O

OFMD: Orthogonal frequency division
Multiplex

ONF: Open Networking Foundation

OSI: Open System Interconnexion

OFMDA: Orthogonal frequency division
Multiple Access

P

PGW: packet Data Network Gateway

PDN: public Data Network

PCF: Policy Charging Function

PCRF: Policy Charging Rule Function

PBCH: Physical Broadcast channel

PDCCH: physical downlink control
channel

PUCCH: physical Uplink control channel

PUSCH: Physical Uplink shared channel

PRACH: physical Random Access

PAPR: Peak to Overage power ratio

PRB: Physical Resource Block

Q

QoS: Quality of Service

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QPSK: Quadrature Phase shift Keying

R

RNC: Radio Network Control

RACH: Random Access Channel

RAT: Radio Access technology

RAN: Radio Access Network

S

SMS: Short Message Service

SGW: Service Getway

S1-U: interface entre eNodeB et SGW (S1 User Plan)

S1-C: Interface entre eNodeB et MME (S1 User Plan)

SC-FDMA: Single Carrier-frequency Division Mult Access

SNR: Singal to noise ratio

SIMO: Single Input Multiple Output

SISO: single Input Single Output

SDN: Software Defined Network

SA: Standalone

SMF: Session Management Function

SBA: Service Based Architecture

T

TDMA: Time Division Mult-Access

TTI: Transmission Time Interval

TDD: Time Division Duplexing

U

UMTS: Universal Mobile

Telecommunications System

UPF: User Plane Function

UE: User Equipment

URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications

UIT : Union internationale des télécommunications

V

VoLTE: Voice Over Long-Term Evolution

W

WiMAX: Worldwide Interoperability for
Microwave Access

X

X2 : interfaces entre les eNodeBs

3GPP : 3rd Generation Partnership Project : c'est une coopération entre organismes de normalisation en télécommunications tels que : l'UIT (Union Internationales des Télécommunications), l'ETSI (European Télécommunications Standarts Institute) qui a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents, son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes : GSM/GPRS/EDGE, UMTS, LTE

Introduction générale

La téléphonie mobile n'a pas cessé de se développer depuis ces 10 dernières années. En effet, en quelques décennies, la qualité des signaux a connu de grands changements en passant de la 2G à la 5G. Mais quelle est la principale différence entre ces différentes technologies ? Pour le comprendre, voyons d'abord l'histoire du téléphone portable. Le **réseau de première génération 1G** a été mis en place dans les années 70 aux États-Unis et en France. Ce réseau qui fonctionne sur un système de communication analogique n'a pas connu le succès espéré à cause de certains problèmes de communication et de la qualité des téléphones mobiles de l'époque. L'arrivée du réseau **2G** dans les années 80 a sonné la révolution de la téléphonie mobile. Cette technologie repose sur l'utilisation d'un **système numérique par onde électromagnétique**, une innovation qui a amélioré la qualité des communications tout en permettant l'intégration de nouveau moyen de communication comme les **SMS** dans les années 90. L'an 2000 a marqué le basculement des téléphones mobiles **GSM** vers les **smartphones**. Le déploiement de la **3G** a permis aux périphériques mobiles de se connecter sur internet.

La 3G utilise une bande passante d'une fréquence variant de **1,6 à 2 GHz**. À partir de 2010, la 3G a été remplacée progressivement par la **4G** qui est actuellement le réseau standard dans les grandes villes. Il s'agit d'un réseau qui utilise une fréquence allant de **2 à 8 GHz** et qui offre un débit pouvant atteindre les **100 Mb/s à 1 Gb/s**.

Cependant une nouvelle génération de télécommunication mobile connue sous l'acronyme de cinquième génération (5G), technologie évolutive qui prend en charge de nouvelles fonctionnalités et répond aux besoins et aux enjeux de demain, permettant aux réseaux mobiles de faire d'énormes progrès en matière de débit, de réactivité et d'adaptabilité aux usages a vu le jour dans l'année 2020. Elle doit permettre des débits de télécommunications mobiles de plusieurs gigabits de données par seconde, soit jusqu'à 1 000 fois plus que les réseaux mobiles employés en 2010 et jusqu'à 100 fois plus rapides que la 4G initiale.

Dans ce mémoire qui s'intitule << Etude de passage de la 4G vers la 5G >>, nous allons voir :

Premièrement, Réseau de quatrième génération 4G(LTE)

Deuxièmement, Etude de passage de la technologie 4G vers la technologie 5G

Troisièmement, Réseau de cinquième génération 5G(NR)

Introduction générale

Et Quatrièmement, résultat de simulation de réseaux d'antennes pour les applications de la 4G et la 5G.

Nous clôturerons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I : Réseau de quatrième génération 4G(LTE)

I.1 Introduction

L'idée de projet pour développer la technologie LTE est menée par l'organisme de standardisation 3GPP visant à rédiger les normes techniques de la future quatrième génération en téléphonie mobile. Cette technologie a comme but de permettre le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur (zone dans laquelle un émetteur mobile peut entrer en relation avec des terminaux) et un temps de latence plus faible. En théorie, elle permet d'atteindre des débits de l'ordre de 50 Mb/s en lien ascendant et de 100 Mb/s en lien descendant, partagé entre les utilisateurs mobiles à l'intérieur d'une même cellule. Pour les opérateurs (qui ont la partie la plus importante pour supporter cette technologie), le LTE implique de modifier le cœur du réseau et les émetteurs radio. [3]

I.2 Architecture du réseau LTE(4G)

L'architecture du réseau LTE est appelée architecture plate car elle est constituée uniquement de stations de base (eNodeB) dans la partie l'E-UTRAN. La suppression du contrôleur de station de base en LTE s'explique par une volonté de réduire la latence du système et pour rendre l'architecture LTE plus simple, robuste et évolutive face à la montée en trafic, raison pour laquelle le LTE s'appuie sur un nouveau réseau d'accès, qui nous amène à utiliser de nouvelles bandes de fréquences à exploiter, des nouvelles antennes à déployer sur tout le territoire.

Avec toute une architecture basée sur Internet Protocol (IP), l'architecture du réseau LTE se compose de deux parties : un réseau évolué d'accès radio LTE (l'E-UTRAN) et le réseau cœur évolué, comme on peut le voir sur la Figure I 2

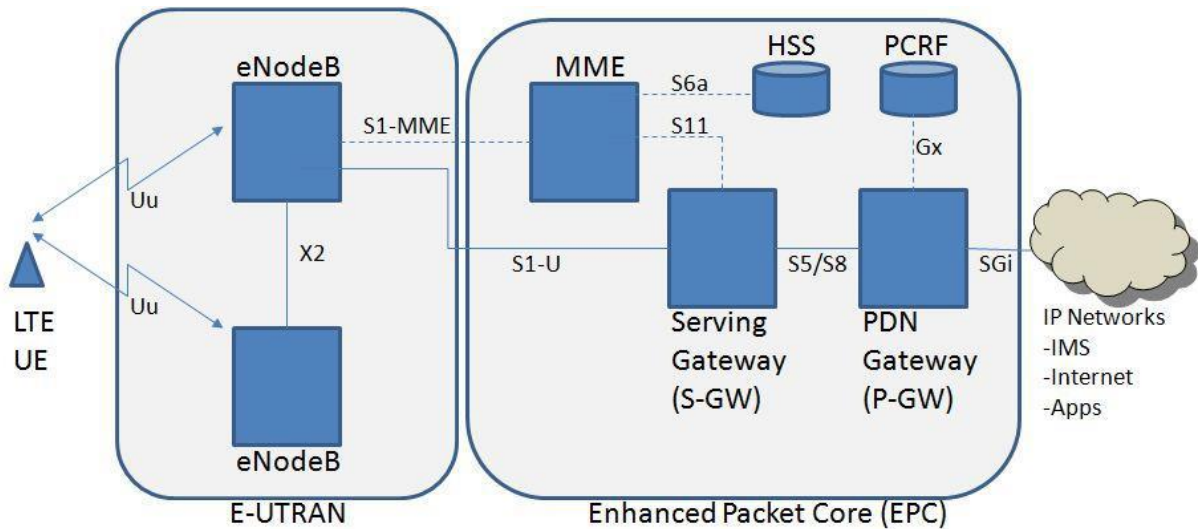


Figure I-1 : architecture générale d'un réseau LTE [2]

I.2.1 Réseau cœur 4G

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « Full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.[3] Voir figureI.3

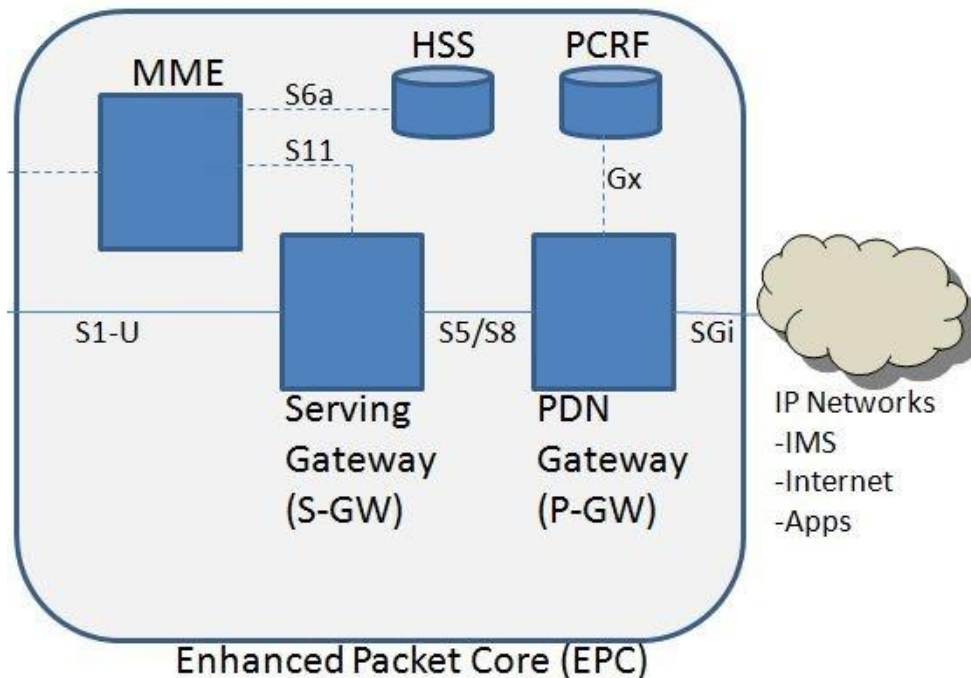


Figure I-2:Architecture de l'EPC

L'EPC d'un réseau LTE est constitué principalement :

Le MME (Mobility Manager Entity) : cette partie est responsable de la localisation de UE, de connaître sa position, permet de gérer la signalisation et les procédures d'authentification et de mobilité des Equipements mobiles. Cette entité permet aussi le contrôle du signal entre le UE et le réseau cœur, et assure l'établissement et la maintenance.

HSS (Home Subscriber Service) : c'est une base de données évoluée du HLR, cette entité contient le profil de l'abonné pour les réseaux : 2G, 3G et 4G.

Le SGW (Serving Gateway) : c'est un lien entre le réseau d'accès radio et le réseau cœur. Il est responsable du transport des communications d'un relai à un autre. Il gère tout aspect handover inter-eNodeB et peut effectuer un transfert vers un réseau 2G ou 3G.

Le PGW (Packet Data Network Gateway ou PDN Gateway) : Il est responsable du routage de paquet en attribuant une adresse IP au mobile lors de son attachement au réseau. Il achemine les données internet vers l'UE et réciproquement les données de l'UE vers internet, il effectue pour chaque mobile l'allocation d'adresse IP, le filtrage et comptabilise les octets échangés. Il arrive à se connecter aux UE à travers un eNodeB et un SGW.

Le PDN-GW est la passerelle vers les réseaux externes, il est responsable du lien entre les réseaux et notamment avec le monde internet. [3]

I.2.2 Réseaux d'accès 4G

I.2.2.1 La partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN », est simplifiée comparée à celles des réseaux 2G (GERAN) ou 3G (UTRAN), par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » des fonctions de contrôle qui étaient auparavant localisées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS.

La partie radio d'un réseau LTE (voir figure I.3) se compose donc des eNodeB, d'antennes locales ou distantes, de liaisons en fibres optiques vers les antennes distantes (liens CPRI) et des liaisons IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2) et avec le cœur de réseau (liens S1) via un réseau de backhaul.[3]

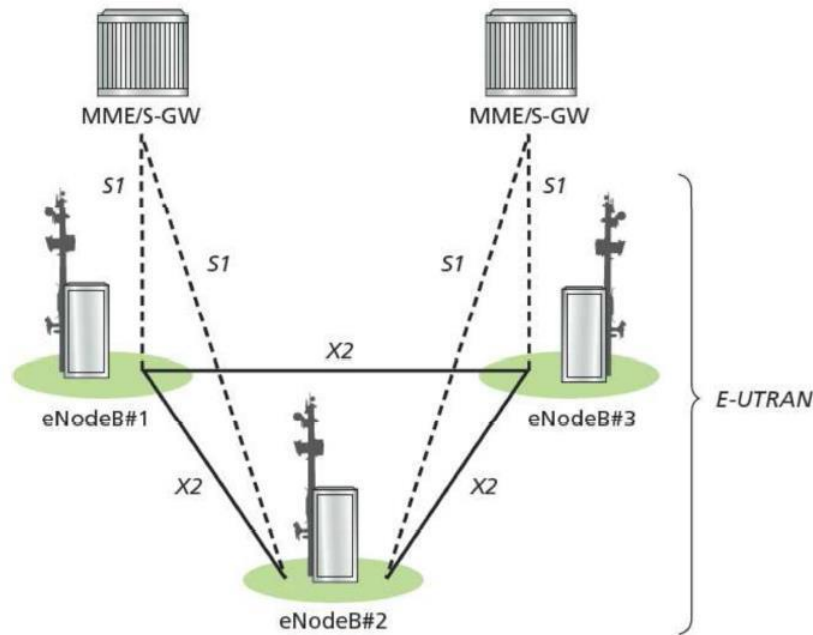


Figure I-3: La partie radio eUTRAN [2]

Les stations de base (eNodeB) : sont le principal constituant d'un eUTRAN ; elles sont réparties sur l'ensemble du réseau (plusieurs dizaines de milliers de stations de base sont nécessaires pour couvrir complètement un pays de la taille de la France)

Les interfaces :

L'interface X2 est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1.

L'interface S1 est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, et elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires. Elle consiste en S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW, et S1-MME entre l'eNodeB et le MME. Les eNodeBs ont offert deux qualités au réseau : la sécurité (en cas de problème d'un relais) et le partage équitable des ressources (partage de ressource en cas de saturation du lien principal).

I.3 Caractéristique de l'accès LTE

Débit sur l'interface radio : 100 Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant. L'interface radio eUTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour

le sens descendant et un débit maximal montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz.

Connexion permanente : principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet. Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou de recevoir un trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic.

Mobilité : assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse. La LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover

Latence : il existe principalement deux (02) types de latence :

La Latence du plan de contrôle qui est le temps d'établissement d'une connexion avec un service (l'émission et la réception de la signalisation).

La latence du plan usager qui est le temps d'émission d'un paquet de données appartenant à l'utilisateur du réseau, et ce, après l'établissement de la connexion.[3]

I.4 L'interface Air

I.4.1 Les canaux radios

L'interface radio E-UTRAN doit être capable de transmettre des informations à haut débit et à faible temps de latence. Cependant, pas tous les flux d'information ne nécessitent la même protection face aux erreurs de transmission ou la manipulation de la Qualité de Service (QoS).

Les messages de signalisations E-UTRAN doivent être transmis le plus rapidement possible en utilisant le meilleur schéma de protection contre les erreurs, car ils sont critiques dans le cas d'une mobilité radio. D'un autre côté, la voix et les données peuvent tolérer un frame loss raisonnable, due à la transmission radio. Dans le but d'être flexible et permettre différents schémas pour la transmission de données, les spécifications de l'E-UTRAN ont introduit plusieurs types de canaux.[3]

Les canaux logiques :

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

- **BCCH** : un canal DownLink, utilisé par le réseau pour le Broadcast des informations système de l'eUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.
- **CCH** : un canal DownLink qui transfère les informations de paging aux terminaux dans une cellule.
- **CCCH** : utilisé pour la communication entre le terminal et l'eUTRAN. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.[3]

Les canaux de transport :

Un canal de transport se distingue d'un autre par la manière dont les données vont être transportées sur la couche physique.

- **BCH** : est associé au canal logique BCCH.
- **DL-SCH** : qui est utilisé pour transporter le contrôle d'usagé ou le trafic data.
- **MCH** : qui est associé au MBMS pour le contrôle des informations de transport. Les canaux de transport eUTRAN en UpLink sont :
- **RACH** : qui est un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication.[3]

Les canaux physiques :

Ce sont en fait les canaux physiques qui transportent les données des utilisateurs ainsi que les messages de contrôles qui lui sont parvenus des canaux logiques. La plupart des canaux physiques sont employé pour la liaison descendante :

- **PBCH** (Physical Broadcast Channel) : livre les informations systèmes nécessaires essentiels pour les UEs afin d'accéder au réseau.
- **PDCCH** (Physical Downlink Control Channel) : livre essentiellement l'ordonnancement de l'information.

Pour la liaison montante, nous avons :

- **PUCCH** (Physical Uplink Control Channel) : apporte les acquittements de HARQ.

- **PUSCH** (Physical Uplink Shared Channel) : ce canal est l'équivalent du canal PDSCH en liaison descendante.
- **PRACH** (Physical Random Access Channel) : déployé pour les fonctions d'accès aléatoires.

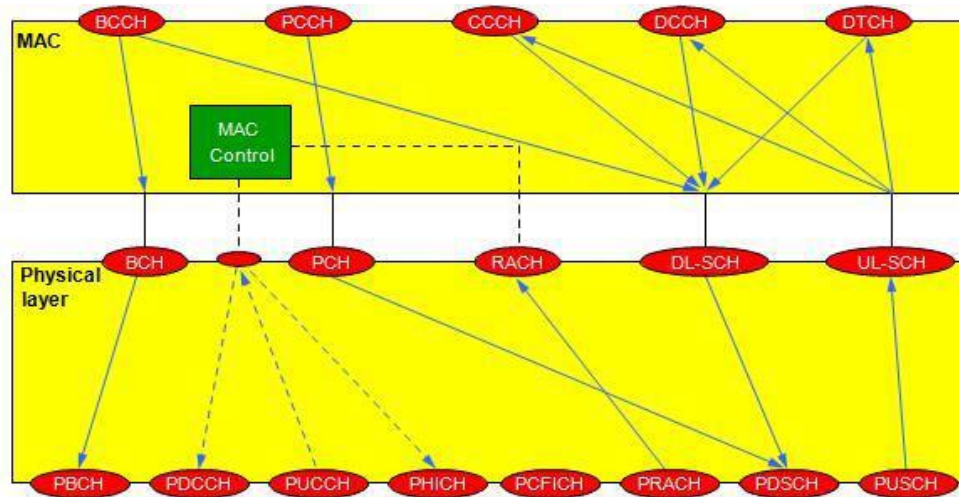


Figure I-4: Signaux physiques PSS / SSS (Signaux de référence) [3]

I.5 L'OFDM

L'OFDM est un principe de multiplexage qui consiste à répartir sur un grand nombre de sous porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Cette technique est utilisée pour que les fréquences des sous porteuses soient les plus proches possibles pour transmettre un maximum d'information sur une portion de fréquence donnée. En OFDM les sous-porteuses sont orthogonales entre elles. Les signaux des sous porteuses se chevauchent entre elles mais grâce à l'orthogonalité ils n'interfèrent pas entre eux.[3]

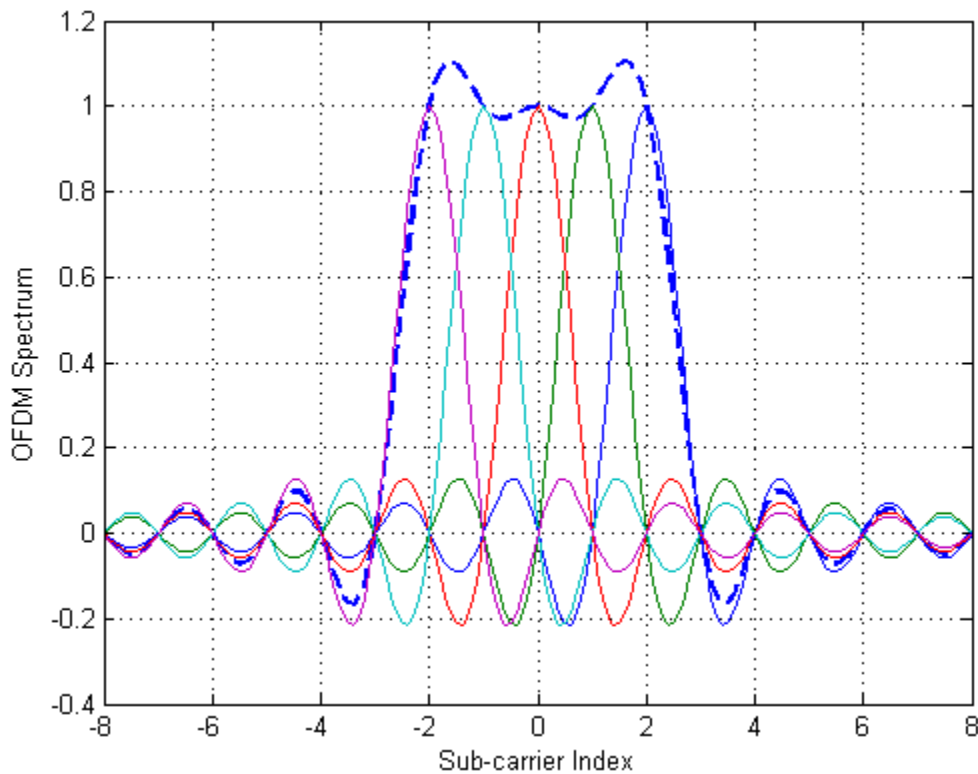


Figure I-5:Principe de L'OFDM [9]

I.5.1 Accès multiple par répartition en fréquence orthogonale (OFDMA)

L'abréviation pour Orthogonal Frequency Division Multiple Access, est une technique d'accès basée sur la division en fréquence, elle se base sur L'OFDM, la différence entre ces deux techniques est montrée sur la figure ci-dessous. [2]

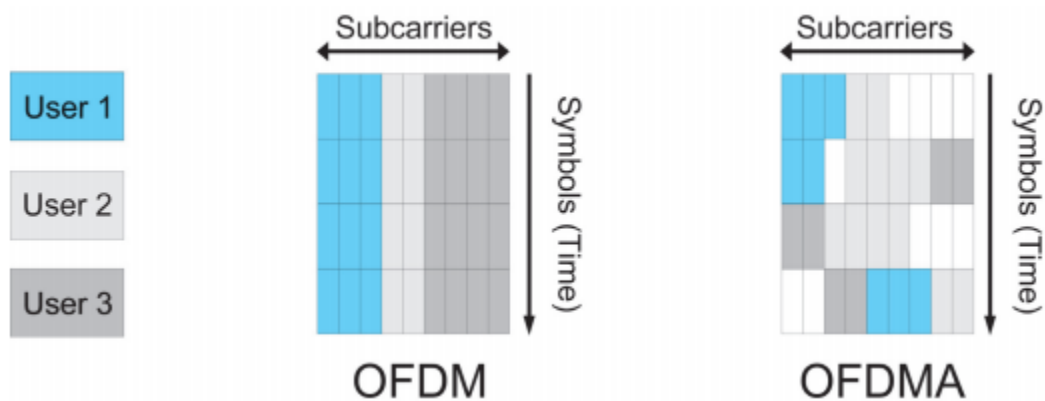


Figure I-6:Différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA [8]

I.5.2 L'OFMD et SC-FDMA

Utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE :

- **L'OFDMA** : est une technique de multiplexage ; ce codage radio associe les multiplexages en fréquence et temps. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement. Utilisé pour les liaisons radios descendantes des réseaux LTE pour lesquelles il y a une moindre contrainte énergétique, car permettant pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé.
- **SC-FDMA** : est une technologie de codage radio numérique qui a été adoptée pour les liaisons montantes (dans le sens terminal vers station de base) de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et contribue donc, à l'augmentation de l'autonomie de sa batterie.[3] Voir la figure I.8

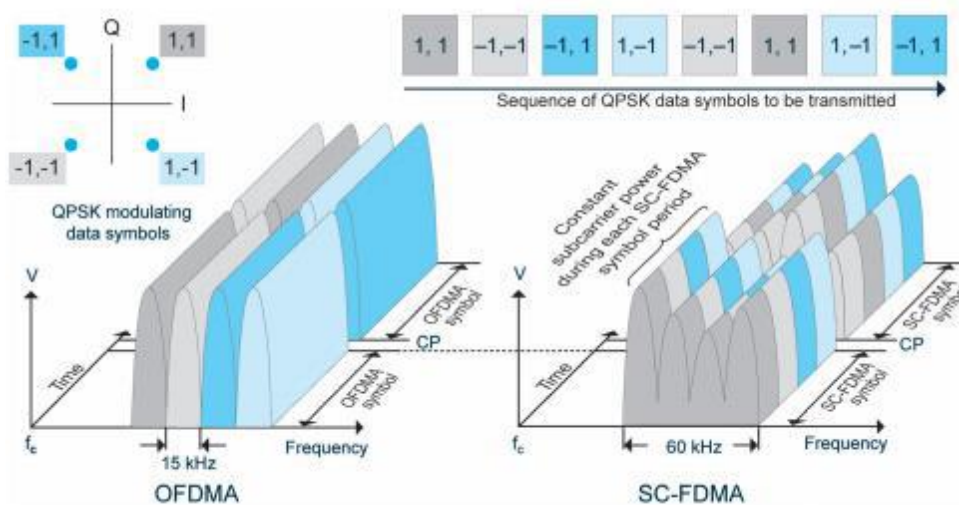


Figure I-7:Techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA.[2]

I.5.3 Structure de la trame LTE

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms, décomposée en 20 slots de 0,5 ms chacun, numérotés de 0 à 19.[3] Voir la figure I.9

Un duplexage est nécessaire afin d'attribuer les slots d'émissions et de réception

Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE :

- Le type 1 est adapté au FDD et au FDD half-duplex.
- Le type 2 est adapté au TDD.

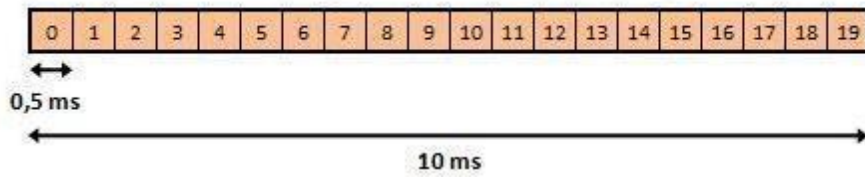


Figure I-8:Une trame LTE [3]

La structure de trame de type 1 : Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun.

Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-frames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-frames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-frames utilisables dans chaque direction de transmission.[2] Voir figure I.10

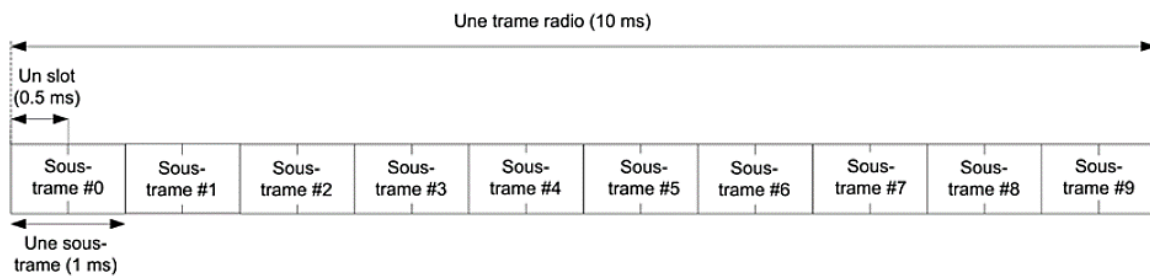


Figure I-9:Structure de trame en FDD et FDD half-duplex

La structure de trame de type 2

En TDD, certaines sous-frames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period). Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante est créé par l'eNodeB en avançant dans le temps les sous-frames montantes par rapport aux sous-frames descendantes. L'UE est informé de ce décalage par la commande d'avance de temps, qui lui indique de démarrer sa transmission un peu plus tôt (ou

un peu plus tard). Une avance de temps par défaut de 20 μ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à l'émission. Au plus, deux sous-trames spéciales sont présentes par trame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde.[2] Voir la figure I.11

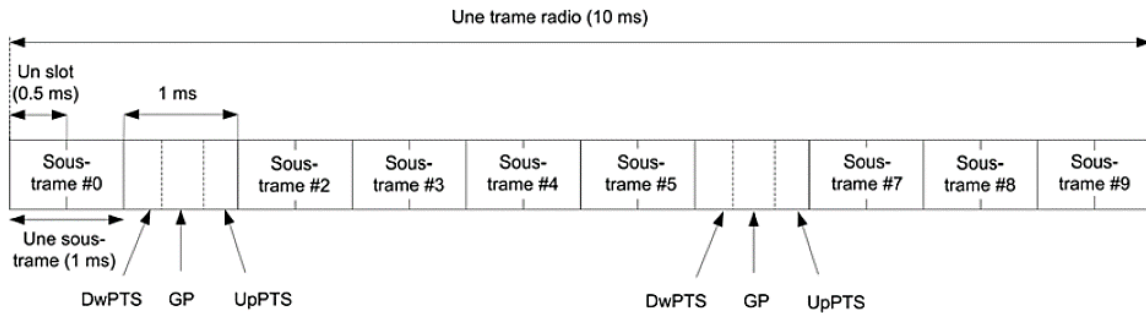


Figure I-10: Structure de trame en TDD.

I.6 Concept de bloc des réseaux

Les ressources radio, en voie montante et descendante, se présentent sous la forme d'une grille temps-fréquence : dans le domaine temporel, le temps est divisé en trames radio consécutives de 10ms. Chaque trame radio est répartie en dix sous-trames de 1ms chacune. Une sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval) qui est la durée minimale à allouer à un utilisateur. Dans le domaine fréquentiel, la plus petite unité de ressource fréquentielle pouvant être allouée est appelée PRB (Physical Resource Block) qui correspond à 12 porteuses, soit 180KHz. Un nœud dans le réseau peut utiliser un certain nombre de blocs de ressources

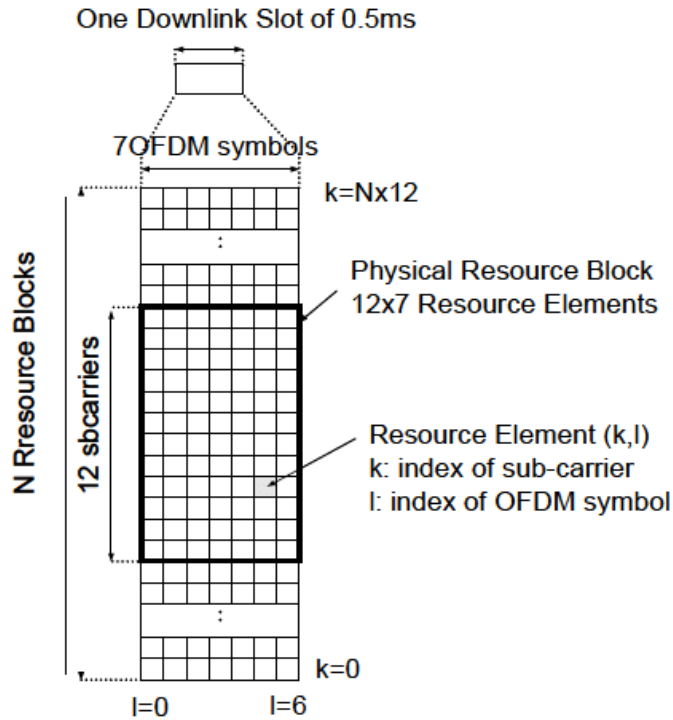


Figure I-11: Concept de bloc des réseau LTE

La plupart des réseaux sans fil sont utilisés dans des milieux ouverts provoquant ainsi la réflexion du signal sur de nombreux obstacles (immeubles, montagne ...).

L'ensemble de ces réflexions provoque une multiplication des canaux de transmission qu'on appelle également diversité spatiale.

Cette diversité spatiale entraîne des interférences et donc des dégradations au niveau du signal, et, une baisse de la portée de celui-ci. La technologie MIMO permet de régler ce problème.

I.7 La technologie MIMO

Les technologies MIMO utilisent des réseaux d'antennes à l'émission et/ou à la réception afin d'améliorer la qualité du rapport signal sur bruit (*Signal-to-noise ratio* ou SNR en anglais) et / ou le débit de transmission. Cela permet aussi de pouvoir diminuer le niveau d'émission des signaux radio afin de réduire la pollution électromagnétique environnante, mais aussi de prolonger l'autonomie des batteries dans le cas d'un téléphone.

Les antennes MIMO jouent un rôle important dans le réseau LTE. Elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes en émission et en réception. Les antennes MIMO font partie

intégrante du LTE. Cette technologie permet la transmission simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur.

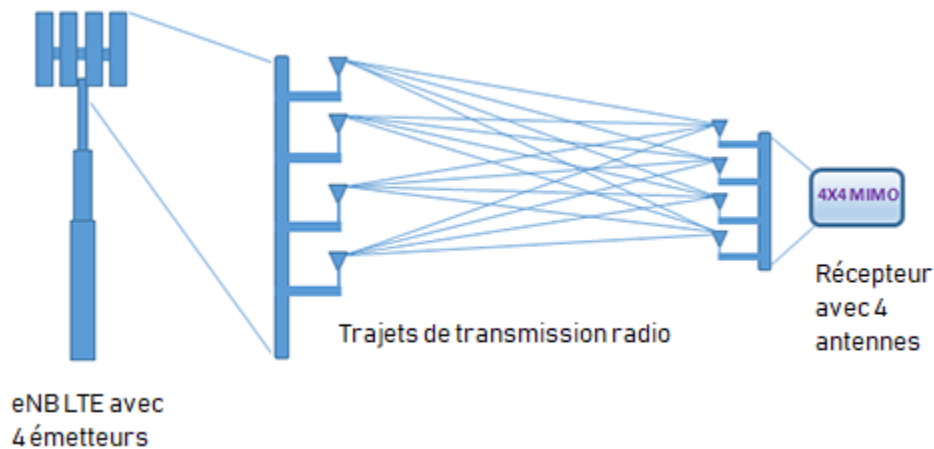


Figure I-12: Illustration simplifiée du fonctionnement MIMO [2]

Pour le LTE/LTE Advanced, la transmission avec MIMO supporte une configuration jusqu'à huit antennes d'émissions et huit antennes de réceptions dans le but d'augmenter le débit et la portée de réseaux. [2] Cela signifie que le système d'antenne peut former des faisceaux horizontaux et verticaux de manière à pouvoir couvrir toute la zone dans les espaces 3D. Cette fonctionnalité évoluera vers Massive MIMO, un outil clé pour la 5G.

I.8 Le réseau LTE-Advanced

Le LTE Advanced est une (version) évolution de la norme LTE lui permettant d'atteindre le statut de la véritable norme 4G tout en gardant une compatibilité avec le LTE.

Grâce aux fréquences identiques et aux techniques de codage telles que la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant, la technique SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant et la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) pour l'émission-réception qui sont déjà utilisées dans le réseau LTE.

Le LTE-Advanced permet de fournir des débits descendants (pour le téléchargement) supérieurs à 1Gbit/s et 500 Mbit/s pour la liaison montante. Le LTE-Advanced est caractérisé par :

- Un débit maximal descendant de 1Gbit/s

- Latence : moins 5 ms
- Une bande passante de 100 MHZ
- Mobilité : elle a la même mobilité que le LTE
- Comptabilité : elle est compatible avec le LTE et les Systèmes existants 3GPP (2G/3G).[5]

	LTE	LTE-ADVANCED
Max downlink speed (bps)	150 M	1G
Max Uplink speed (bps)	50 M	500 M
Temps de latence	≈10 ms	Moins de 5 ms
3GPP releases	Rel 8/9	Rel 10
Année de déploiement	2009/10	2011
Méthode d'accès	OFDMA/SC-FDMA	OFDMA/SC-FDMA
Spectre hertzien (MHZ)	20	100

Tableau I-1:Différence entre LTE et LTE-Advanced

I.9 Le réseau LTE-Advanced-Pro

La LTE-Advanced Pro est une norme de développement des réseaux mobiles après le LTE et LTE Advanced. Elle est parfois appelée 4.5G ou 4.9G, elle est considérée comme une technologie intermédiaire entre la 4G définis par les premières versions de LTE et la nouvelle technologie d'accès radio 5G.

Elle permet d'agréger jusqu'à 32 porteuses par rapport à la LTE-Advanced qui agrège 5, en plus de cela elle intègre plusieurs nouvelles technologies associées à la 5G, telles que 256 QAM, massive MIMO, LTE-Unlicensed et LTE lot qui permettent l'évolution des réseaux vers la prise en charge de la norme 5G.[5]

Elle est caractérisée par :

- Des vitesses de données supérieurs à 3Gbps
- Une bande passante de 640 MHZ
- Latence : 2 ms
- Comptabilité : elle est compatible avec le LTE et les Systèmes existants 3GPP (2G/3G)

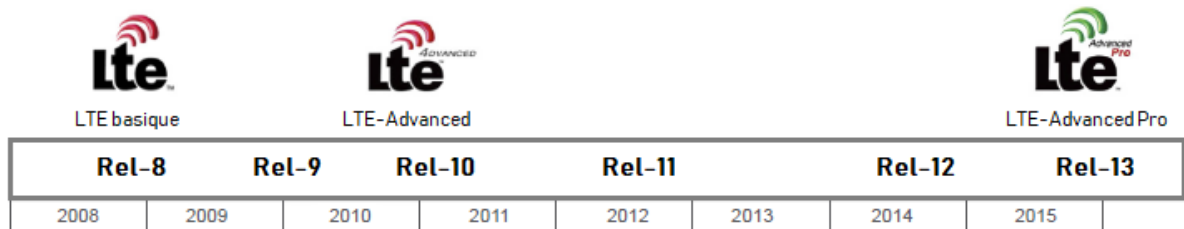


Figure I-13:Évolution de la technologie LTE durant les années selon Les standards 3GPP [5]

I.10 Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatif sont une approche efficace qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Ils permettent de maximiser l'efficacité spectrale (le débit par bits par second par Hz) tout en gardant le taux d'erreur par bit (BER) inférieur à un certain seuil. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation ainsi nous avons le QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui correspond au 4QAM, le 16-QAM et le 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation à 16 états).

Avec la mise en œuvre de la modulation 16 QAM, cette dernière a permis de doubler la capacité de transfert par rapport à la technologie UMTS. La modulation 16 QAM utilise deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature ce qui se traduit par 16 états d'informations. Chacune des différents niveaux de modulation est utilisé pour un lien précis comme suit :

- Modulations pour la liaison montante : QPSK et 16-QAM.
- Modulations pour la liaison descendante : QPSK, 16-QAM et 64-QAM. [5]

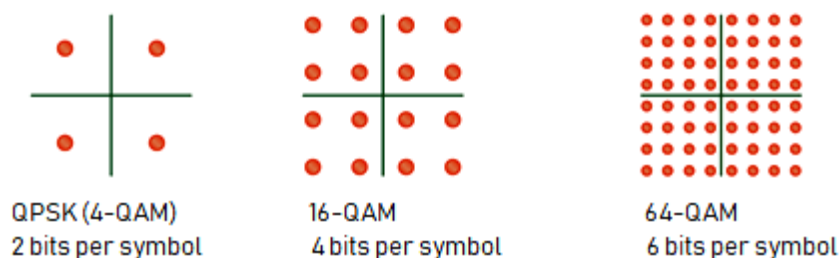


Figure I-14:Les différents types de modulation [2]

I.11 La 4G dans le monde

Les réseaux LTE du monde entier exploitent une multitude de bande de fréquences différentes.

Dans l'attribution des fréquences pour la norme LTE par l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et de Postes) nous pouvons citer :

- La bande de fréquence B3 (1800 MHZ)

Cette bande de fréquence permet à l'opérateur d'accélérer le déploiement de son réseau 4G car elle est déjà utilisée pour le réseau 2G que l'opérateur a eu le temps de déployer. Cette bande de fréquence présente des caractéristiques à mi-chemin entre le 800MHZ et le 2600 MHZ car elle pénètre mieux que le 2600MHZ mais porte moins loin que le 800 MHZ.[17].

- La bande de fréquence B1 qui correspond au 2100 MHZ

Comme la bande 1800 MHZ, cette bande permet à l'opérateur d'accélérer le déploiement de son réseau 4G car c'est une bande déjà utilisée pour le réseau UMTS (3G).

- La bande de fréquence B7 (2600 MHZ)

Cette bande de fréquence est idéale pour les grandes villes, elle présente des caractéristiques opposées à la bande 800MHZ car elle couvre une surface réduite et traverse moins facilement les murs

- La bande de fréquence B20 (800 MHZ)

Cette bande de fréquence est souvent appelée les fréquences en or car elle présente l'avantage de porter plus loin c'est-à-dire d'aller sur une très grande distance, ce qui limite le nombre de relais pour le déploiement. Elle pénètre également mieux à l'intérieur des maisons. Elle est parfaitement adaptée aux zones rurales. Comme désavantage cette bande de fréquence est très voisine aux fréquences 790MHZ de la TNT.

Ces bandes de fréquences ont été distribuées dans certains pays comme suit :

- EUROPE :

L'Europe a fait le choix de réserver la bande de fréquence 800 MHz (pour le dividende Numérique) et 2600 MHz pour les réseaux LTE mais dans beaucoup de pays les opérateurs ont choisi la bande 1800 MHz initialement attribuée à la GSM.

➤ ASIE

- ✓ THAÏLANDE

La Thaïlande a choisi les bandes 1800 MHz et 2300 MHz.

➤ Les ETATS-UNIS :

Les Etats-Unis ont choisi les bandes de fréquences 700 MHz et 1700-2100 MHz.

➤ AFRIQUE

- ✓ ALGERIE

En Algérie c'est la bande de fréquence 1800 MHz qui est mise à la disposition des Opérateurs.[5]

I.12 Les avantages du LTE

Le principal avantage du réseau LTE est la vitesse, cette connexion nous permet de télécharger du contenu avec une très grande vitesse. En augmentant considérablement la vitesse de téléchargement des données, le réseau LTE a permis aux smartphones d'exprimer tout leur potentiel ainsi nous pouvons citer comme avantages :

- Augmentation du débit du réseau
- Augmentation de la vitesse de transfert de données
- La qualité de service élevée
- Grande capacité
- Permet de lire des vidéos HD en streaming sans aucune difficulté
- Effectuer des vidéoconférences

Bien sûr comme chaque technologie le LTE présente des avantages aussi bien que des inconvénients.[5]

I.13 Les limites du LTE

Comme inconvénients du LTE nous pouvons citer :

- Incompatible avec tous les smartphones.
- Difficile à mettre en œuvre.
- Les forfaits sont très chers.
- Consomme plus de donnée du tarif en moins de temps.[5]

I.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une idée générale sur le réseau 4G. commençant par aborder l'évolution du réseau mobile ou d'une façon résumée on a parlé de la technologie 1G 2G et 3G. et parlant de la 4G on a donné une idée sur l'architecture général de réseau LTE ainsi que l'architecture protocolaire des interface S1 et X2, les techniques utilisées dans réseau LTE et les caractéristiques de réseau cœur et de réseau d'accès. Une bonne connaissance sur 4G facilite l'étude et la perception du réseau 5G. Le chapitre suivant se focalisera sur l'étude de passage de 4G vers 5

Chapitre II : Etude de passage de la 4G vers la 5G

II. Introduction

La 5G, ou 5G NR (New Radio) est, comme son nom l'indique, la 5e génération de communications mobiles qui succèdent la 4G LTE. Parmi les promesses phares de la 5G on retrouve d'abord un débit multiplié par 10, mais aussi une latence fortement réduite qui serait, elle divisée par 10. Surtout, la 5G devrait permettre de gérer le nombre toujours plus grand d'appareils connectés.

On ne parle plus uniquement des smartphones, mais aussi des ordinateurs, des voitures et de tout un écosystème d'objets connectés, en particulier dans le monde professionnel. Derrière cette dernière notion se cache surtout l'idée que de plus en plus de machines autonomes seront connectées au réseau mobile : ville intelligente, sécurité, maison connectée, etc.

II.1 Le fonctionnement de la 5G

La 5G reprend les technologies déjà utilisées avec la 4G LTE, mais se différencie sur plusieurs points très importants. En premier lieu, la 5G est une mise à jour technologique de la 4G LTE et peut réutiliser les mêmes bandes de fréquences que cette dernière. Grâce à cette mise à jour, un smartphone 5G peut bénéficier d'un meilleur débit qu'un smartphone 4G pourtant connecté à la même antenne et en utilisant la même fréquence.[1]

La 5G fait également appel à de nouvelles bandes de fréquences divisées en deux groupes.

- Le premier regroupe les bandes de fréquences 5G Sub-6.
- Le second, le groupe des ondes Millimétriques, permet d'augmenter sensiblement le débit au détriment de la portée.



Figure II-1: Les deux groupes de fréquences utilisés par la 5G NR[1]

En plus de cela, la 5G propose de nouvelles technologies :

L'utilisation du MIMO massif, le passage d'un cœur de réseau EPS à la 5G, l'utilisation du SDN (software-defined networking) pour gérer logiquement certaines fonctions comme le Network Slicing, qui permet de séparer le réseau en fonction des besoins en temps réel, et des techniques de transmission radio (Généralisation de la modulation 256 QAM et codage OFDM pour la connexion descendante et remontante).[1]

II.2 Le DSS (Dynamique Spectrum Switching)

Le DSS, ou Dynamic Spectrum switching, permet de basculer à la volée directement depuis l'antenne entre la 4G et la 5G pour chaque bande fréquence. Cela permet d'ajuster le réseau en temps réel selon la demande et de petit à petit basculer de la 4G LTE vers la 5G, à mesure que le parc installé d'appareils 5G augmente. [1]

Et est une victoire pour les opérateurs de réseau qui cherchent à accélérer le déploiement des réseaux NR et des utilisateurs qui ont besoin de s'assurer que leurs appareils IoT ont une longue durée de vie.[10]

II.3 La 5G SA et 5G NSA

Pour les principaux opérateurs de réseaux mobiles (MNOs), la 5G est principalement une question d'offre de connectivité haute vitesse aux consommateurs, sur des appareils qui supporte les services de réseau de cinquième génération. Pour passer en douceur du noyau existant à la 5G, les MNOs ont deux voies : l'architecture non autonome (NSA) ou autonome (SA). Et bien qu'ils soient tous deux des moyens à la même fin, NSA et SA sont structurellement et fonctionnellement différents.[7]

La 5G(NSA) : Il s'agit de continuer d'utiliser le cœur de réseau 4G LTE de l'opérateur tout en ajoutant petit à petit des antennes 5G, et permettre notamment l'utilisation de hautes fréquences en 5G NR.

Par opposition, la 5G SA, ou 5G Standalone, représente l'idéale du déploiement de la 5G, où un appareil peut utiliser les technologies 5G aussi bien sur les basses et les hautes fréquences, avec un cœur de réseau entièrement migré vers la 5G NR. Dans cette situation, l'appareil ne se repose plus sur les technologies de la 4G LTE. Cela demande des investissements bien plus conséquents, et ne sera donc disponible qu'à long terme.

II.3.1 Les avantages

- NSA est extrêmement faible en coût par rapport à SA.
- La NSA facilite les déploiements de réseaux 5G en réutilisant les installations 4G existantes, ce qui laisse un délai rapide pour commercialiser le haut débit mobile 5G.
- Avec la NSA, le déploiement est plus rapide et le délai de mise sur le marché est plus faible, car les emplacements 4G peuvent être utilisés pour installer la radio5G.
- SA nécessite la construction de stations de base 5G et le réseau de base 5G backend pour réaliser pleinement les caractéristiques et les fonctions de la 5G.
- SA implique un noyau 5G avec SBA pour l'évolutivité et la flexibilité pour fournir un réseau ultra-rapide avec une latence ultra-faible pour les cas d'utilisation 5G avancés.[7]

II.4 Les options de déploiement 5G

Les multiples options de connectivité dans l'architecture 3GPP pour la 5G ont créé diverses alternatives de déploiement pour un opérateur. Par exemple, un équipement utilisateur (UE) peut se connecter au réseau à l'aide de l'accès LTE et/ou de l'accès 5G New Radio (NR) qui

se connecte au noyau de paquets évolué (EPC) ou au réseau 5G Core (5GC). La terminologie de l'option provient de la phase d'étude 5G de la version 3GPP 15, bien qu'elle ne soit pas explicitement utilisée dans les spécifications 3GPP. Les options de déploiement ont été principalement regroupées en 2 catégories. Option autonome (SA) où il n'y a qu'un seul réseau d'accès indépendant (LTE ou 5G NR) qui est connecté soit à l'EPC, soit au 5GC. Et les options non autonomes où les technologies d'accès radio LTE et 5G NR sont présentes, l'un des réseaux d'accès aide l'autre à se connecter soit à un CPE, soit à un 5GC. Dans chacune de ces catégories (SA et NSA), nous avons plusieurs options de configuration de déploiement disponibles parmi lesquelles on peut retenir : [11]

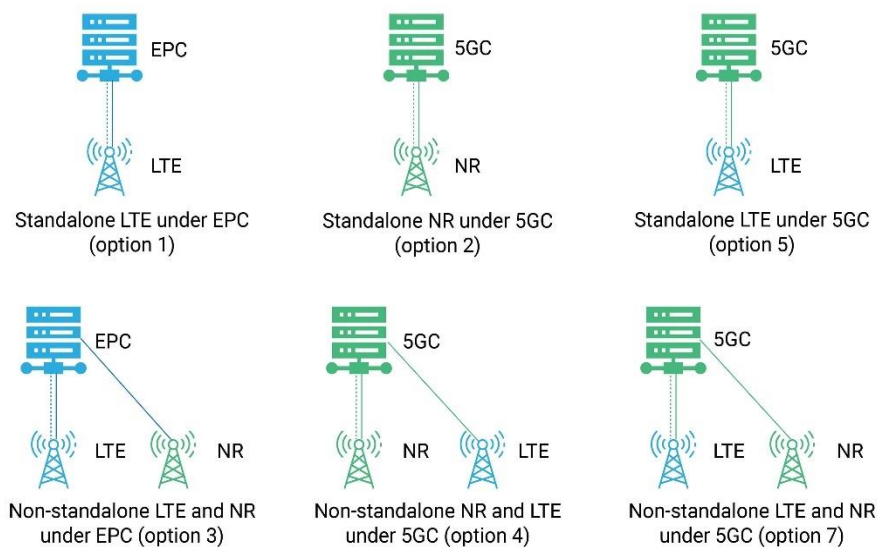


Figure II-2: Un aperçu des options de déploiement de la NSA 5G SA et 5G. [7]

Option 1 :

L'option 1 est une option de déploiement autonome (SA) et représente les déploiements 4G (LTE+EPC) actuels. En d'autres termes, nous pouvons dire qu'il s'agit du déploiement hérité de la radio LTE connectée à l'EPC et n'a aucun rapport avec la 5G. La plupart des opérateurs du monde entier gèreraient désormais leurs réseaux dans ce mode d'option de déploiement.

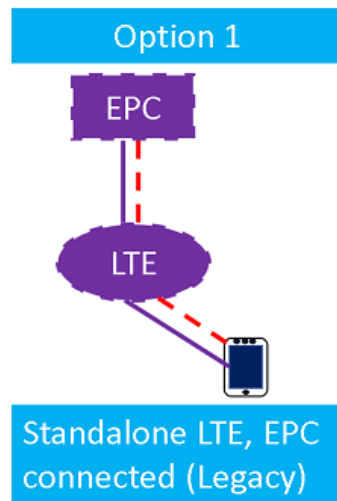


Figure II-3:option 1 de déploiement SA 5G

Option 2 :

L'option 2 est également une option autonome (SA) et représente un accès 5G NR déployé dans le réseau et connecté au 5GC. Cette option convient le mieux à un nouvel entrant dans l'entreprise de fournisseurs de services de communication (CSP), où l'opérateur n'a pas de système LTE existant déployé ou même pour un opérateur existant, s'il veut offrir un service 5G uniquement sans inter-travail 4G, c'est une bonne option à considérer pour le déploiement 5G à part entière. Ce type d'option de déploiement permet à l'opérateur d'implémenter tous les types de cas d'utilisation comme mMTC, eMBB et URLLC à condition qu'il dispose du spectre nécessaire alloué à chaque type de service.

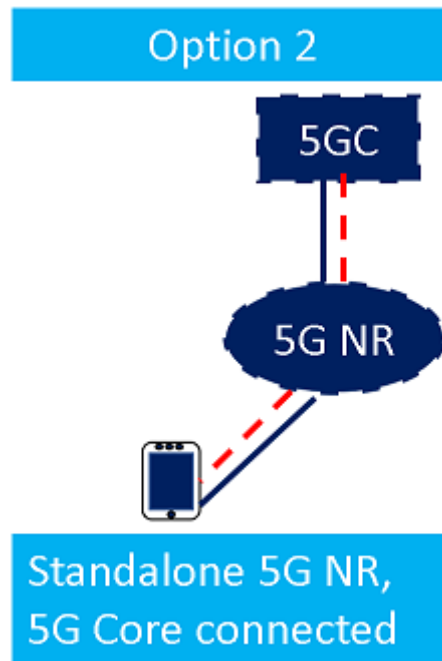


Figure II-4: option 2 de déploiement SA 5G

Option 3, 3a,3x :

L'option 3 représente un déploiement non autonome (NSA) où les réseaux d'accès radio LTE et 5G NR sont présents mais contrôlés uniquement par le noyau EPC connecté à l'accès LTE. Dans cette option, l'accès LTE est utilisé comme ancre de signalisation de plan de commande pour la 5G NR où le trafic de données utilisateur (User Plane) vers l'UE peut être livré par LTE et 5G NR. La signalisation réseau de base qui sera utilisée est la signalisation EPC existante, c'est-à-dire S1-U, S1-C.

La différence entre l'option 3 et l'option 3a est que, dans l'option 3, les données du plan utilisateur sont envoyées à la 5G NR via le LTE RAN, où, comme dans l'option 3a, les données du plan utilisateur proviennent directement de l'EPC à la 5G NR. L'inconvénient de cette option est qu'il ne peut y avoir de partage de charges de données sur un seul porteur de 4G et 5G. En d'autres termes, le LTE RAT traitera une partie 4G des données (par exemple VoLTE) tandis que les stations de base 5G NR ne traiteront que les cas d'utilisation eMBB. Il serait difficile de déployer l'option si vous n'avez pas une couverture 5G NR omniprésente. Par exemple, si l'UE continue d'entrer et de sortir de la couverture 5G, elle aura une connectivité Internet intermittente et une expérience utilisateur pire.

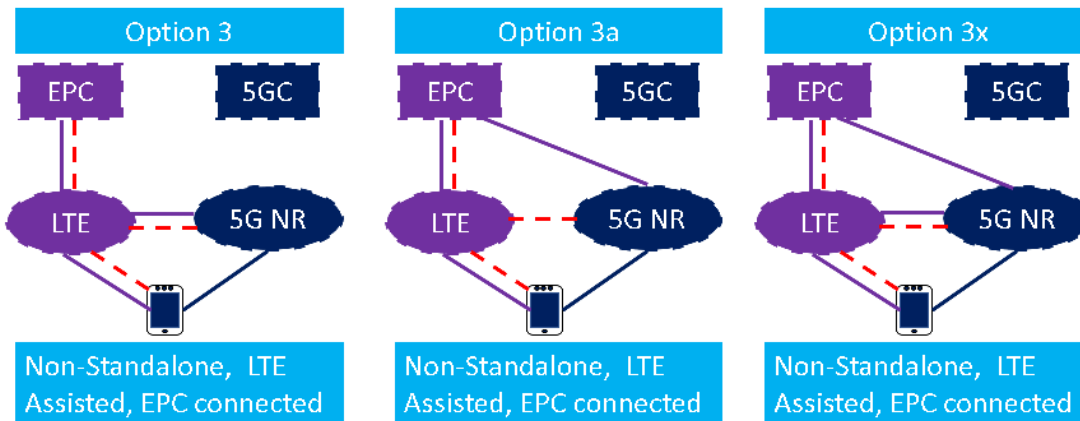


Figure II-5: Option 3 de déploiement NSA 5G

L'option 3x est une combinaison d'options 3 et 3a, où certains trafics de données d'avion utilisateur s'écoulent directement de l'EPC vers la 5G NR et de là vers l'UE. Alors qu'il est également possible de transmettre une partie des données de l'EPC à la 5G NR via le LTE RAN avant qu'il n'atteigne l'UE. Par exemple, les données liées aux cas d'utilisation du cFF peuvent être envoyées directement à l'UE par l'intermédiaire du porteur IP établi par la 5G NR à EPC, où certains autres flux de données lents comme les porteurs VoLTE avec une adresse IP différente peuvent être livrés à l'aide de la 5G NR via le LTE RAN. Dans cette configuration, le LTE RAN agit comme le maître et contrôle les porteurs S1-U manipulés à la fois par la radio LTE et la 5G NR

Option 4 :

L'option 4 est également une option de déploiement non autonome (NSA), où les technologies d'accès radio LTE et 5G NR sont déployées et contrôlées par seulement 5GC. Dans cette option de déploiement, la signalisation de commande de LTE RAN sera acheminée vers le 5GC via la 5G NR. La seule différence entre l'option 4 et 4a est que dans l'option 4 les connexions avion utilisateur LTE passe par le 5GNR où, comme dans l'option 4a le trafic avion utilisateur est directement envoyé de la 5GC à la RAN LTE. L'interface de signalisation au 5GC utilisée dans cette option est la nouvelle

Signalisation de base 5G (c.-à-NG-C et NG-U), ce qui signifie que l'opérateur doit déployer le LTE amélioré (eLTE) comme condition préalable à cette option.

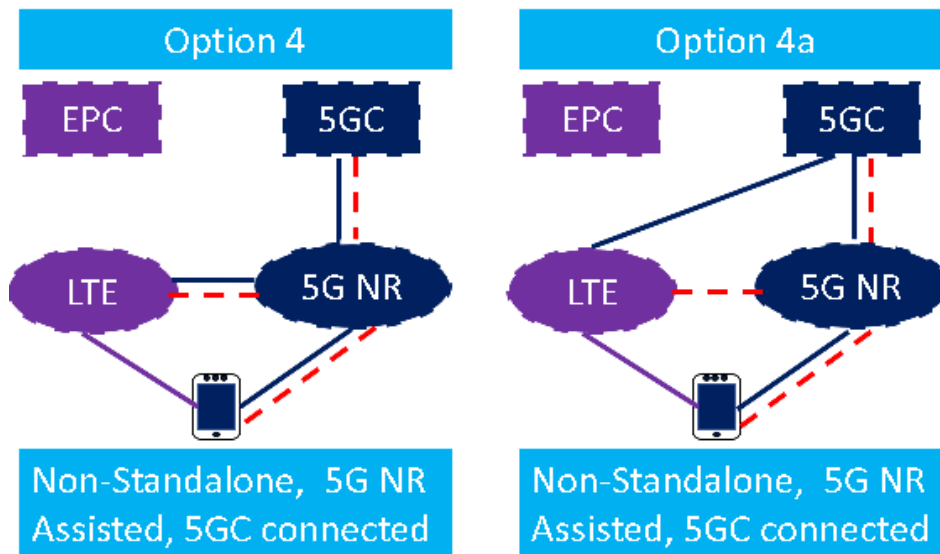


Figure II-6: Option 4 de déploiement NSA 5G

Option 5 :

L'option 5 est un déploiement autonome (SA) où nous avons un LTE RAN autonome connecté à 5GC. Dans ce cas, le LTE doit être un LTE évolué (eLTE) RAN qui comprend la nouvelle signalisation 5GC. Cette option semble peu susceptible d'être adoptée par un opérateur de réseau, car la plupart des avantages de la 5G viendra de la migration vers un réseau d'accès 5G NR.

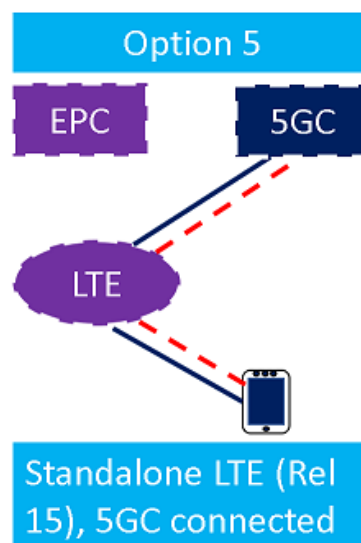


Figure II-7 Option 5 de déploiement SA 5G

Option 7 :

L'option 7 représente les déploiements non autonomes (NSA) où le noyau de prochaine génération ou le 5GC seront utilisés avec un mélange de radio LTE et 5G NR. L'interface de signalisation réseau de base entre le 5GC et l'infrastructure du réseau radio sera la prochaine génération de signalisation (c'est-à-dire NG-U, NG-C) mais elle sera acheminée via le LTE RAN.

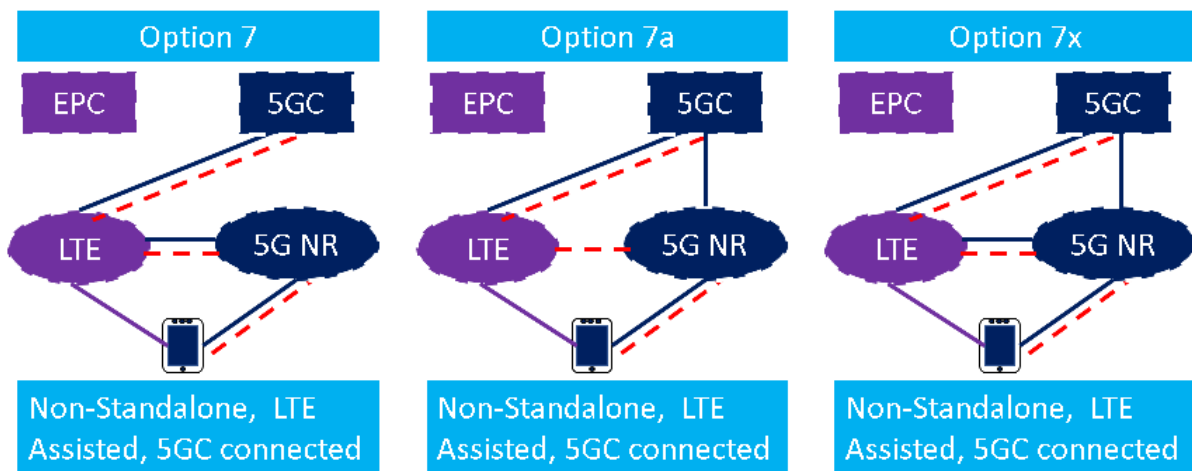


Figure II-8:Option 7 de déploiement NSA 5G

La différence entre l'option 7 et 7a ne réside que dans la façon dont les données utilisateur ou le trafic de l'avion utilisateur sont livrés à l'UE. Dans l'option 7, il s'agit de la 5G NR via le LTE RAN où, comme dans l'option 7a les données utilisateur va directement de la 5GC à 5G NR, puis à l'UE à travers la nouvelle interface radio.

L'option 7x est une combinaison d'options 7 et 7a où une partie des données utilisateur peut être livrée directement via la 5G NR et une partie des données utilisateur via le LTE RAN à la 5G NR, puis à l'UE. L'option 7, 7a, 7x nécessite une mise à niveau eLTE du réseau LTE existant comme condition préalable car le LTE RAN doit comprendre la nouvelle signalisation 5GC (NG-C, NG-U).[11]

Note : L'option 6 a ensuite été retirée des options probables et n'est pas spécifiée dans 3GPP Rel 15. Ainsi, les appareils 5G ne peuvent pas prendre en charge l'option de déploiement 6

II.5 La 5G SUB-6

La 5G sub-6 désigne les fréquences utilisées en 5G et sous la barre des 6 GHz. Ce sont des fréquences permettant une meilleure portée que les ondes millimétriques, mais un débit maximal plus faible. **Elles regroupent à la fois les bandes moyennes, qui sont nouvelles, et les bandes basses fréquences, qui réutilisent des fréquences utilisées par la 4G LTE.**

On peut plus précisément distinguer les bandes moyennes, notamment entre 3,4 et 3,8 GHz en Europe qui sont nouvelles pour la 5G, des basses fréquences, qui ont une portée encore plus grande et sont utilisées par la 4G LTE.[1]

II.6 Le MIMO massif

L'utilisation du MIMO massif, ou massive MIMO, est l'une des nouveautés de la 5G. Il permet de mieux couvrir les zones surchargées comme les stades, les centres commerciaux ou les aéroports. Le MIMO massif permet d'améliorer la fiabilité, réduire la latence et augmenter les débits. Contrairement au MIMO classique, qui utilise quelques antennes par pylône, le MIMO massif s'appuie sur une centaine d'antennes pour envoyer le signal aux appareils connectés.[1]



Figure II-9:Une antenne massive MIMO

II.7 Comparaison entre les performances de la 4G et de la 5G

L'UIT définit la 4^{ème} génération, sous la terminologie IMT-Advanced, suivant les 8 KPI mentionnés avec les valeurs présentées sur le schéma ci-dessous. La 5^{ème} génération, appelée IMT-2020, y est également représentée. A cet égard, il convient de noter que la définition

officielle de l'UIT de la 4G correspond en réalité à ce que les réseaux commerciaux n'ont déployé que dans un second temps, sous l'appellation 4G+ ou LTE-Advanced.

Selon ces objectifs, la 5G devra pouvoir offrir un débit utilisateur et un débit maximal respectivement 10 et 20 fois supérieur à ce qui est disponible actuellement avec la 4G. La densité maximale de connexions sera multipliée par 10 et la latence divisée par au moins 10 (la latence point à point cible est de 1 ms, contre 30 à 40 ms à ce jour en 4G).

L'objectif de la 5G est aussi de fournir :

- Un réseau extrêmement fiable, avec des performances plus homogènes, quelle que soit la position de l'utilisateur par rapport à la station de base ;
- Une connexion stable même en mobilité (avec de vitesses de l'ordre de 500 km/h) ;
- Une augmentation de l'efficacité énergétique (batteries jusqu'à 100 fois moins énergivores).

Performance/Génération	4G	5G
Débit maximal (Gbit/s)	1	20
Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
Efficacité spectrale	1X	3X
Vitesse(km/h)	350	500
Latence(ms)	10	1
Nombre d'objets connectés sur une zone (qualité d'objets/km ²)	10 ⁵	10 ⁶
Efficacité énergétique du réseau	1X	100X

Tableau II-1: Comparaison entre les performances de la 4G et de la 5G

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'étude de passage de la technologie 4G vers la technologie 5G, où on se focalise sur les nouvelles technologies et les fréquences intégrées dans la nouvelle technologie de réseau mobile et les options de déploiement de la 5G qui permettent de petit à petit basculer de la 4G LTE vers la 5G.

Chapitre III : Réseau de cinquième génération 5G(NR)

III. Introduction

La téléphonie mobile a vu le jour il y a une quarantaine d'années ; au cours de cette période, les capacités des réseaux cellulaires ont évolué à un rythme qui a favorisé à la fois l'innovation et le changement social aux quatre coins du monde. Les capacités des réseaux 3G, puis 4G, ont été développées pour répondre aux attentes d'un Internet mobile, faisant du smartphone et de la tablette des accessoires indispensables de notre quotidien. Toutefois, l'essor inexorable de l'Internet des objets et les exigences d'applications émergentes telles que la réalité augmentée, l'intelligence artificielle ou les voitures autonomes, ont poussé les capacités des réseaux 4G à leurs limites, aboutissant au développement de la prochaine génération de réseaux cellulaires, la 5G.

La cinquième génération de téléphonie mobile faisant suite à la 4G, permet des débits plus importants, le débit maximum devrait se situer entre 1 et 10 Gbit/s soit 100 à 1000 fois plus rapide que celui de la 4G.

La génération 5G n'est normalisée qu'en 2020, mais de nombreuses propriétés sont déjà connues et font partie des pré-5G qui commencent à voir le jour. Les différences avec la dernière génération de la 4G sont plutôt architecturales.

Les spécifications de 5G incluront le développement d'une nouvelle interface air flexible qui sera dirigé vers des déploiements des bandes larges. Cette interface visera également des scénarios de largeur de bande large et à grande quantité de trafic, aussi bien que les nouveaux scénarios qui impliquent des communications en temps réel avec des conditions extrêmes en termes de latence et fiabilité.

III.1.1 Différentes catégories d'usages de la 5G

La 5G est la nouvelle génération des réseaux mobiles introduite par l'industrie des communications électroniques et les organismes de normalisation. Elle répond à l'initiative de l'Union internationale des télécommunications (UIT) dite « IMT-2020 » qui définit les grandes catégories de performances que ces nouvelles technologies permettront d'atteindre.

L'introduction de la 5G permet d'apporter plus de capacité aux réseaux ; cependant la 5G présente trois grandes catégories d'usages importantes dans le domaine des communications électroniques sans fil en mobilité :

- Ultra haut débit mobile (eMBB : enhanced Mobile Broadband) : Les principales caractéristiques de ce domaine d'utilisation sont les suivantes : débits de données élevés et variables (jusqu'à 20 Gbit/s), ainsi qu'une haute densité d'utilisateurs et une grande mobilité (p. ex. trains à grande vitesse). L'accès mobile à haut débit amélioré assure une transition en douceur entre le réseau fixe et le réseau mobile.
- Internet des objets (IoT) massif (mMTC : massive Machine Type Communication) : Ce domaine d'utilisation se caractérise par un très grand nombre d'appareils connectés (internet des objets (IoT), qui transmettent généralement un faible volume (peu d'octets) de données non sensibles au temps ; une consommation d'énergie largement réduite pour augmenter substantiellement la durée de vie des batteries des objets ainsi connectés.
- Réseau ultra-fiable et à très faible latence (uRLLC : ultra Reliable Low Latency Communication) : Ce domaine est caractérisé par des connexions fiables et/ou sensibles au temps avec des vitesses de transmission garanties, des temps de latence assurés de quelques millisecondes et une probabilité de défaillance définie. 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. [22]

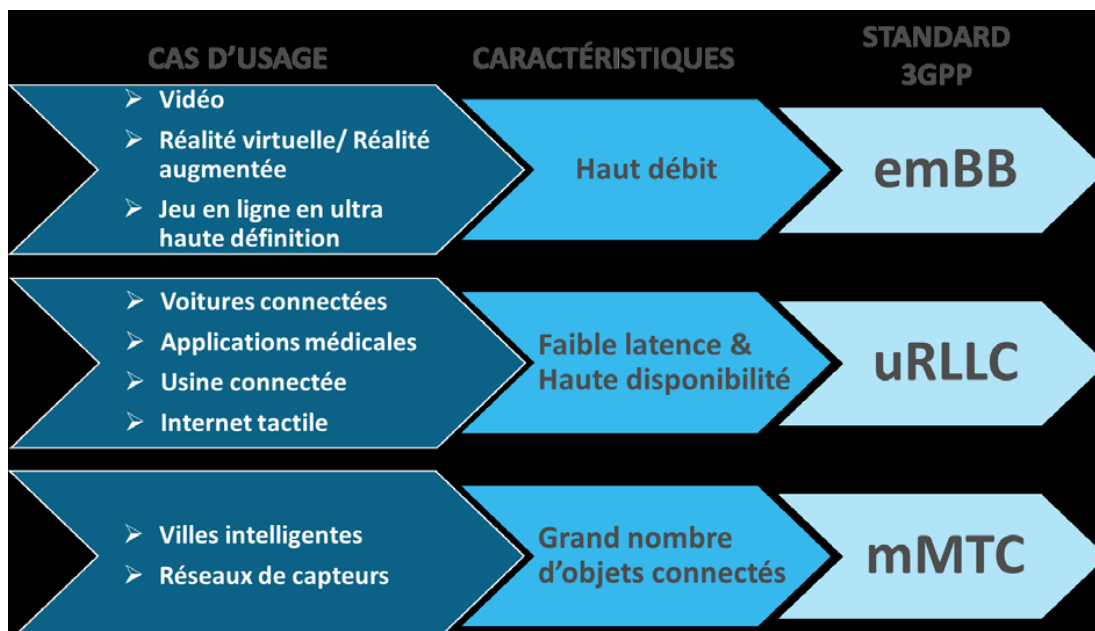


Figure III-1: Les trois cas d'usage de la 5G [21]

III.1.2 Les fréquences utilisées dans la 5G

La 5G nécessite de recourir à de nouvelles fréquences, en particulier dans la bande des hyperfréquences pour accroître la capacité et les débits des réseaux mobiles.

Conformément à la spécification de 3GPP (Release 15), la 5G NR peut être exploitée essentiellement dans deux domaines de fréquences : 450–6000 MHz (FR1) et 24250–52600 MHz (FR2). Diverses bandes de fréquences pionnières ont été identifiées pour introduire la 5G ; ces bandes comprennent des fréquences avec différentes caractéristiques permettant de satisfaire aux exigences multiples de la 5G parmi lesquelles on peut retenir :

- Les fréquences inférieures à 1 GHz, situés dans la bande des 700 MHz pour couvrir de grandes zones géographiques grâce à leur bonne portée et leur bonne pénétration des bâtiments.
- Les fréquences entre 1 GHz et 6 GHz, situées dans la bande des 3,6 GHz identifiée comme une fréquence, dit de coeur, c'est-à-dire qu'elle a une bonne portée et de bons débits, mais une moins bonne pénétration à l'intérieur des habitations et des locaux.
- Les nouvelles bandes de fréquences plus larges supérieures à 6 GHz, situées dans la bande des 26 GHz : ces bandes possèdent une quantité plus grande de fréquences disponibles, mais leur portée est plus faible. Elle concerne surtout les applications professionnelles ; plus tard elle sera mise à disposition de l'ultra haut débit mobile.[22]

III.2 Etude technologique du réseau

III.2.1 Architecture en couche du réseau 5G

L'architecture du cœur 5G est au centre de la nouvelle spécification 5G et permet de répondre aux exigences de débit plus élevé que la 5G doit pouvoir prendre en charge. Le nouveau cœur 5G utilise une architecture des services (SBA) qui couvre toutes les fonctions et interactions de la 5G, y compris l'authentification, la sécurité, la gestion de sessions et l'agrégation du trafic en provenance des appareils terminaux. Le cœur 5G fait de la NFV un élément conceptuel encore plus fondamental, avec des fonctions logicielles virtualisées pouvant être déployées en utilisant l'infrastructure MEC essentielle aux principes architecturaux de la 5G. [15]

Les fonctions réseau, ou NFV (Virtual Network Functions), peuvent être dissociées de l'équipement physique qui prend en charge le plan de données.

Le MEC (Mobile Edge Computing) permet d'obtenir l'équivalent du Cloud Computing sur le réseau d'accès radio, ou RAN (Radio Access Network), et donc la mise à disposition des clients de ressources sous forme de machines virtuelles, très près de l'utilisateur mobile.

Le Mobile-Edge Computing peut être vu comme la mise en place de serveurs d'un Cloud installé très près du mobile utilisateur. [1]

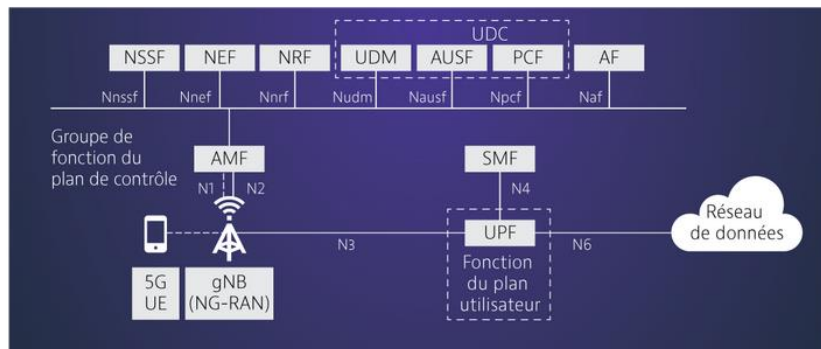


Figure III-2:Architecture générale de réseau 5G [15]

Le réseau 5G (5G System) se compose d'un accès Radio (NG-RAN : Next Generation RAN) et d'un cœur réseau (5G Core).

III.2.1.1 L'accès radio 5G

L'accès radio 5G est constitué de stations de base de nouvelle génération qui forment le nœud de connexion des mobiles avec le cœur réseau 5G (5GC).

Les mobiles UE communiquent avec les stations de base soit par un lien radio 5G, soit par un lien radio 4G. Si la communication est en 5G, la station de base se nomme gNB (Next Generation Node Base Station), si la communication est en 4G, la station de base est une station de base 4G eNB évoluée pour s'interconnecter avec le cœur réseau 5G. La station de base se nomme ng-eNb (Next GenerationNb).

Les fonctions de la station de base gNB sont assez similaires avec l'entité eNB. Cependant, les différences concernent la gestion de la qualité de service par flux et non par support et la gestion des tranches de réseau (Slices) sur l'interface radio. [19]

III.2.1.2 Le cœur réseau 5G (5GC)

Le cœur réseau 5G est adapté pour la virtualisation du réseau et s'appuie sur le découpage du plan de contrôle (Control Plane) et du plan utilisateur (User Plane) défini dans l'architecture CUPS (Control and User Plane Separation).

Par comparaison avec la 4G CUPS, on pourrait dire que :

- L'entité **AMF** (Access and Mobility Management Function) reprend le rôle de l'entité MME. L'entité AMF établit une connexion NAS avec le mobile UE et a pour rôle d'enregistrer (attachement) les mobiles UE et de gérer la localisation des mobiles sur le réseau 3GPP et/ou non 3GPP.
- L'entité **SMF** (Session Management Function) reprend le rôle de l'entité SGW-C et PGW-C. L'entité SMF permet de contrôler les sessions PDN. L'entité SMF est choisie par l'entité AMF puisque l'entité AMF gère la signalisation NAS avec le mobile. L'entité SMF est responsable de la gestion du plan de contrôle. L'entité SMF a une interface avec l'entité qui gère la politique des flux (PCF : Policy ChargingFunction).

L'entité **PCRF** de l'architecture 4G permet de définir les règles de contrôle et les politiques de flux avec l'entité SGW/PGW. En 5G, l'entité PCRF se renomme PCF et permet de contrôler les flux à la fois au niveau de l'entité SMF mais également au niveau de l'entité AMF afin de pouvoir apporter une meilleure granularité sur les flux autorisés en prenant en compte la localisation du mobile UE. Voir la figure III.2

Enfin, l'entité **NSSF** (Network Slice SelectionFunction) est une entité permettant d'assister l'entité AMF de la sélection des instances logiques du réseau pour une tranche de réseau (slice) défini. [19]

III.2.2 Architecture NSA (Non-Stand Alone)

Un réseau NSA c'est un réseau qui combine les cellules radio 5G NR (new radio) et les cellules 4G en utilisant une connectivité duale (dual connectivity) pour offrir un accès radio et le réseau core peut être un réseau core 4G (EPC pour evolved packet core) ou un réseau core 5G (NGC pour new generation core).

En mode NSA, la New Radio (connue comme gNodeB (gNB)) est colocalisée avec l'eNodeB (eNB) et se connecté au réseau coeur 4G (ePC) via l'interface S1-U pour le trafic du plan

usager. Les communications du plan de contrôle entre l'UE et le réseau restent sur la radio LTE, et donc le réseau cœur 4G. Dans ce modèle, la radio 5G agit comme une radio secondaire dont le seul but est de booster le débit et la capacité.

E-UTRAN et NR connectées à EPC

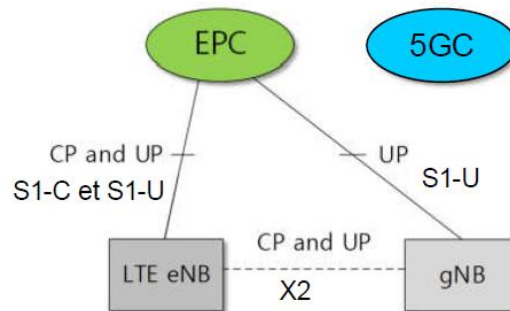


Figure III-3:MODE NON-STAND ALONE

III.2.3 Structure de la trame du réseau 5G

L'interface radioélectrique 5G utilise la modulation OFDM puisque celle-ci se révèle être la plus efficace dans le cas des transmissions multi-trajets (propagation en champs libre).

La modulation OFDM est une modulation multi-porteuses orthogonales, elle transmet un bloc de données binaires sur un grand nombre de porteuses en même temps. On définit ainsi le domaine fréquentiel de la transmission 5G par la largeur de sa bande de fréquence, c'est-à-dire par le nombre de sous-porteuses utilisées multiplié par l'espacement entre sous-porteuses.

L'orthogonalité se traduit par la durée de la transmission d'un symbole qui est inversement proportionnelle à l'espacement entre sous-porteuses. Ainsi, si les sous-porteuses sont espacées de 15 kHz, la durée de la transmission d'un symbole est de 66,67 μ s (1/15 kHz).

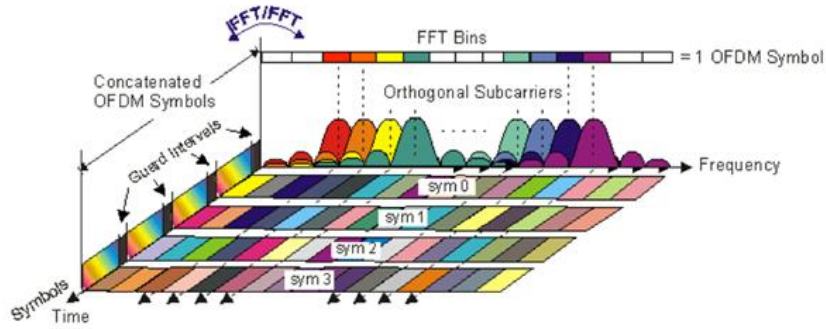


Figure III-4: La transmission OFDM

Pour la 5G, on définit :

- Dans le domaine fréquentiel, un bloc de ressource RB (*Resource Bloc*) qui correspond à 12 sous-porteuses contiguës
- Dans le domaine temporel, un slot correspond à 14 symboles consécutifs.

Afin d’organiser la transmission de données, et synchroniser les récepteurs, les transmissions en liaison descendante et montante sont organisées en trames d’une durée de 10 ms, chacune est découpée en dix sous-trames de 1 ms. Chaque trame est divisée en deux demi-trames de taille égale à cinq sous-trames :

- La demi-trame 0 est composée des sous-trames 0 à 4 ;
- La demi-trame 1 est composée des sous-trames 5 à 9.

Pour l’interface du réseau 5G, le slot est composé de 14 symboles OFDM consécutifs (trame normale). La valeur de l’intervalle de temps de transmission 5G correspond à la durée d’un slot. La valeur du temps de transmission 5G dépend de l’espacement entre les sous-porteuses. [16]

Espacement entre les sous-porteuses	Nombre de slots par sous-trame	Nombre de slots par trame	TTI
15 kHz	1	10	1 ms
30 kHz	2	20	0,5 ms
60 kHz	4	40	0,25 ms
120 kHz	8	80	0,125 ms
240 kHz	16	160	0,0625 ms

Tableau III.1:La structure de la trame temporelle [16]

Une trame 5G est définie par une durée de 10 ms. La trame 5G est découpée en 10 sous-trames d'un ms. Chaque sous-trame est composé de slots. Le nombre de slot par sous-trame dépend de l'espacement entre sous-porteuses. [16]

III.3 Technologies émergentes pour le réseau 5G

III.3.1 Beamforming

C'est une technique de traitement du signal qui permet de faire converger les ondes émises par une antenne vers un smartphone en particulier. Et non plus d'arroser sans distinction tout l'environnement.

La formation de faisceaux est une technologie relativement nouvelle qui permet à la station de base 5G d'envoyer le faisceau directement vers l'appareil mobile de l'utilisateur, avec à la clé des niveaux de transmission optimaux, tout en minimisant les interférences avec les autres appareils mobiles situés à proximité.

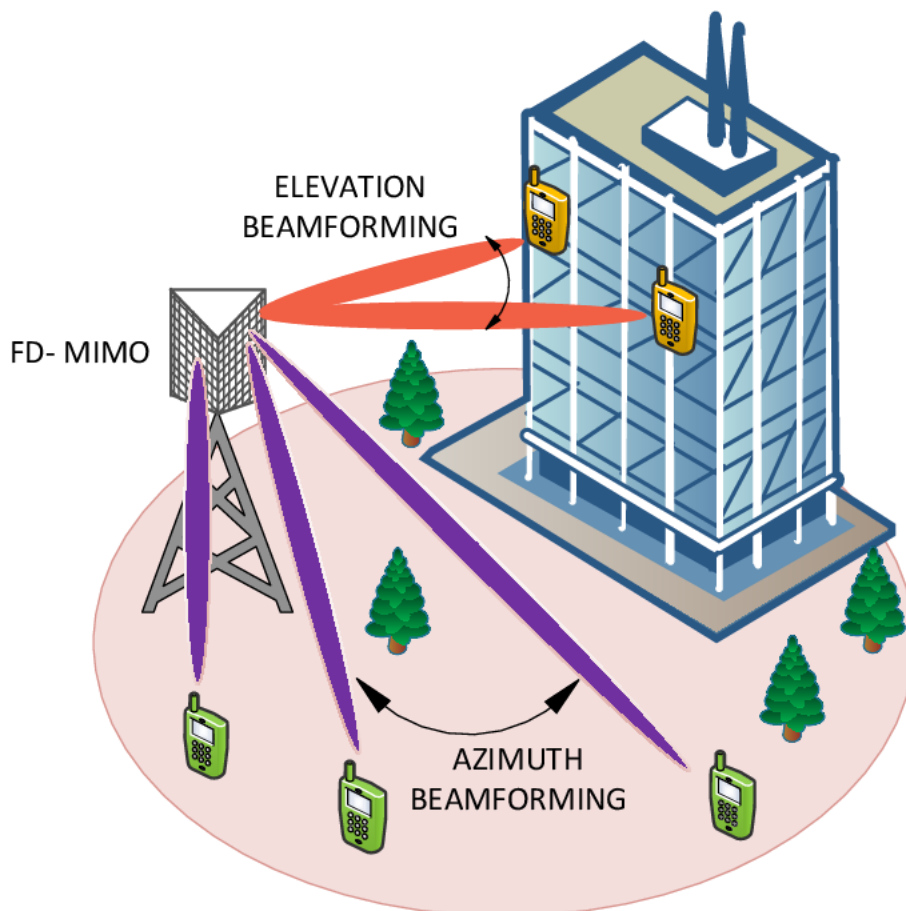


Figure III-5: Champ radio avec adaptation de la directivité de l'antenne (beamforming) [17]

III.3.2 Millimeter Waves

L'utilisation de bandes millimétriques constitue l'une des technologies de rupture de la 5G. Cette appellation correspond aux fréquences supérieures à 6 GHz qui n'ont encore jamais été prises en compte pour le déploiement des réseaux mobiles (fronthaul) pour des raisons de maturité technologique et de qualité de propagation. Pour répondre à l'incessante augmentation des débits et des volumes de données échangés, il est nécessaire d'utiliser de nouvelles bandes disposant de très larges canalisations (plus de 100 MHz par utilisateur) : les bandes millimétriques pourraient offrir de telles réserves de spectre et leur utilisation permettrait d'atteindre dans certains cas, les débits désirés. Cependant leur utilisation impose le développement de toutes les technologies nécessaires, miniaturisées, à bas coût et avec une consommation énergétique compatible avec des terminaux portables à cause de la faible qualité de propagation des ondes millimétriques.



Figure III-6 spectre 5G[18]

III.3.3 Massive MIMO

Les antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output) existent déjà avec le réseau 4G+ ; cependant avec le réseau mobile 5G, on parle désormais d'antennes Massive MIMO c'est-à-dire d'un nombre élevé de micro antennes intelligentes. La différence entre les deux réside dans le nombre de connecteurs. Il y a en effet 128 connecteurs sur les antennes Massive MIMO de la 5G contre une douzaine seulement sur les antennes MIMO de la 4G+.

La technologie Massive MIMO permet d'une part d'augmenter les débits, grâce au multiplexage spatiotemporel et d'autre part de focaliser l'énergie sur un terminal, pour améliorer son bilan de liaison, grâce à la formation de faisceau, ou beamforming.

III.3.3.1 Avantage de MIMO massif

- **Amélioration de la couverture au bord de la cellule :** Dans le contexte de la communication cellulaire, plus l'utilisateur final est proche de la station de base, plus le signal est fort. Lorsque l'utilisateur final s'éloigne de la station de base, il s'approche du bord de la cellule où le signal s'affaiblit. Massive MIMO dirige spatialement les transmissions pour concentrer l'énergie vers l'utilisateur final, permettant de meilleures performances de bord de cellule.
- **Débit amélioré :** En utilisant le multiplexage spatial avec MU-MIMO, les systèmes de communication sans fil peuvent communiquer simultanément avec des équipements à utilisateurs multiples en utilisant les mêmes ressources temps-fréquence. Cette technologie est souvent utilisée en conjonction avec un MIMO massif pour améliorer considérablement l'efficacité spectrale et le débit agrégé de la cellule.
- **Activé par onde millimétrique :** En utilisant des fréquences d'ondes millimétriques (supérieures à 24 GHz), la puissance du signal diminue rapidement en raison de la perte de chemin. En conséquence, les transmissions d'ondes millimétriques permettent à MIMO massif d'augmenter la puissance du signal. Le besoin de MIMO massif est plus évident dans les systèmes 5G où de nouvelles fréquences en ondes millimétriques (jusqu'à 52 GHz) ont été introduites. [24]

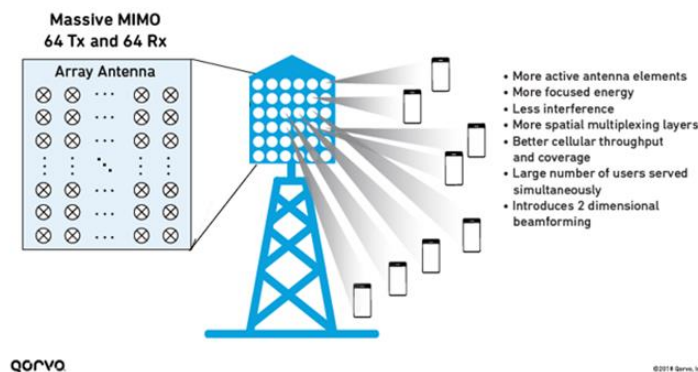


Figure III-7:Massive MIMO benefits.

III.3.4 Internet des Objets

L'Internet des objets (Internet of Things) a démarré avec l'idée de raccorder à Internet des capteurs sans fil et filaire que l'on trouve au domicile, dans les bureaux et un peu partout dans la vie courante. Son apport majeur a été suscité par les RFID (Radio-Frequency Identification), ou étiquettes électroniques. Très nombreuses, les solutions de connexion peuvent se ranger dans trois grandes catégories :

- Les réseaux bande étroite (NarrowBand) longue distance, qui connectent des objets sur une dizaine de kilomètres, voire 20 kilomètres, mais à des débits extrêmement faibles, de quelques octets par seconde. Dans cette classe se trouvent Sigfox et LoRa.
- Les réseaux de la 5G, qui se précisent avec le LTE-M et le NB-IoT.
- Les réseaux qui proviennent des WPAN et WLAN, c'est-à-dire Bluetooth, Wi-Fi Halow, Wi-Fi classique et Wi-Fi WiGig.

L'Internet des objets permet de raccorder tout ce qui est connectable, depuis les objets divers et variés du quotidien jusqu'aux poussières électroniques. Le concept est simple, mais les problèmes sont nombreux, car les objets ne sont en général pas suffisamment sophistiqués pour gérer des communications et des traitements associés aux applications. [13]

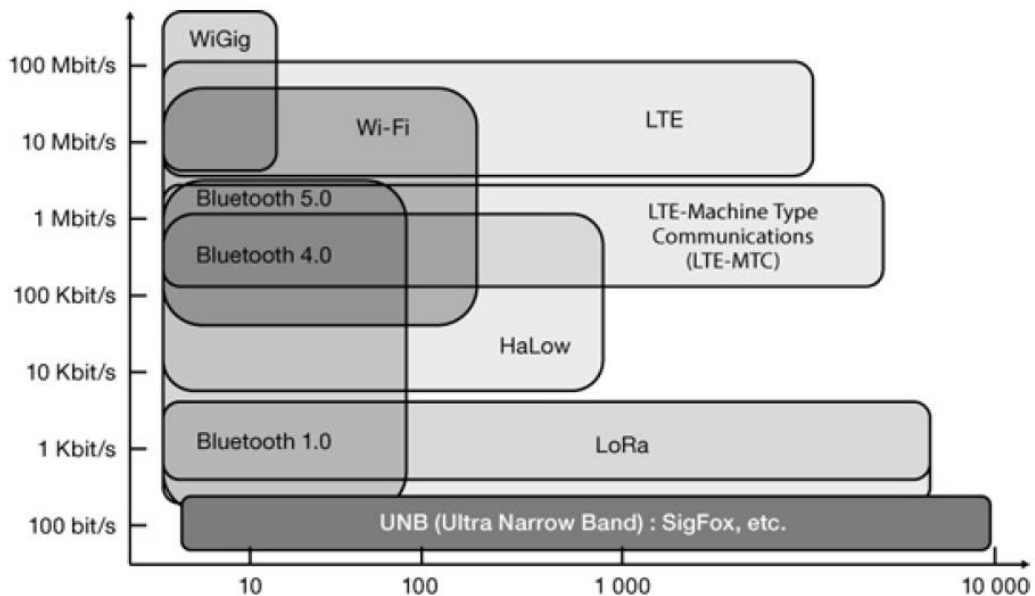


Figure III-8: Les réseaux de l'Internet des objets [13]

essentiellement exploiter les techniques déjà utilisés dans la 4G et de les réintégrer de manière adéquate dans la nouvelle génération (5G).

Les antennes font partie de l'ensemble des solutions techniques qui ont été réintégrer pour satisfaire les exigences de la 5G et qui permettent des débits inaccessibles par la 4G.

III.4 Les antennes 5G

Les antennes mobiles 5G utiliseront à termes 3 bandes de fréquences :

- ✓ **La bande des 700 MHz**, déjà utilisée par certains opérateurs pour la 4G, a l'avantage de permettre une bonne pénétration dans les bâtiments, une bonne couverture avec un débit comparable à celui que l'on connaît en 4G mono-bande.
- ✓ **La bande des 3,6 GHz** (3,4 – 3,8 GHz) permet une montée en débit significative, malgré une moindre pénétration dans les bâtiments et une moindre portée que la bande des 700 MHz.
- ✓ **La bande des 26 GHz** (24,25 – 27,5 GHz) est la fréquence la plus élevée utilisée en technologie cellulaire, elle peut apporter un débit très élevé, comparable à celui du FTTH (la Fibre). En contrepartie, sa capacité de pénétration des bâtiments est très faible puisqu'elle ne traverse pas les obstacles, et sa portée est limitée à quelques centaines de mètres.

III.4.1 Paramètres caractérisant les antennes

Une antenne est caractérisée par :

III.4.1.1 Bande passante et la fréquence de résonance

La bande passante de l'antenne est définie par le coefficient de réflexion en entrée. En effet, pour une récupération d'énergie optimale, les pertes dans la désadaptation d'impédance doivent être minimisées. Pour une application de récupération d'énergie, on considère comme suffisamment adaptée une plage de fréquence où le coefficient de réflexion en entrée est inférieur à -10 dB. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$B_p = F_2 - F_1$$

III.4.1.2 Gain d'une antenne et la directivité

Le gain d'une antenne, exprimé en dBi, est défini comme le rapport entre l'intensité maximum du rayonnement dans une direction, G_{max} , et l'intensité qui serait obtenue si l'antenne était une antenne isotrope, G_{iso} , dans les mêmes conditions de fonctionnement.

Généralement le gain s'exprime par la formule :

$$\text{Gain}(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

Avec :

$U(\theta, \varphi)$: Puissance rayonnée dans une direction

P_{in} : Puissance alimentée par l'antenne

La directivité d'une antenne dans une direction donnée est définie comme le rapport entre l'intensité du rayonnement dans cette direction (son émission la plus forte) et de la puissance totale rayonnée de manière uniforme dans toutes les directions.

On dit qu'une antenne est directive quand elle concentre son énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace. On améliore le gain d'une antenne en concentrant l'énergie rayonnée dans le lobe principal ; ce qui implique que d'un point de vue général une antenne directive est aussi une antenne à gain.

La directivité d'une antenne réelle peut varier de 1,76 dBi pour un petit dipôle, à moins de 50 dBi pour une grande antenne parabolique.[27]

Elle s'exprime par l'équation suivante :

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{ray}}$$

Avec :

$U(\theta, \varphi)$: Puissance rayonnée dans une direction

P_{ray} : puissance totale rayonnée

III.4.1.3 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation graphique du rayonnement d'une antenne dans l'espace. Il représente en 3D le gain de l'antenne en champ lointain en fonction des coordonnées spatiales. Le diagramme de rayonnement de l'antenne est important pour la

détermination des caractéristiques de rayonnement tel que la forme et la largeur du faisceau, la directivité.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne est Important pour la détermination des caractéristiques de rayonnement tel que la forme et la largeur du faisceau, la directivité

III.4.1.4 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion c'est le rapport de l'amplitude entre l'onde incidente (transmise à l'antenne) et l'onde réfléchie du fait des discontinuités entre le circuit et l'antenne. L'équation du coefficient de réflexion est exprimée par :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c}$$

III.4.1.5 L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée d'une antenne notée Z_e est l'impédance que présente une antenne à ses bornes; elle est égale au rapport de la différence de potentiel V_e entre les deux bornes de l'antenne et de son courant d'alimentation I_e ; sa connaissance permet une bonne adaptation de l'antenne.

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R_e + j X_e$$

Avec :

R_e : la résistance de l'antenne

X_e : la réactance de l'antenne

III.4.1.6 Rapport d'onde stationnaire

Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) ou, en anglais, VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio tout comme le coefficient de réflexion traduit l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre deux éléments. Le taux d'ondes stationnaire pour la plupart des applications sans fil ne devrait pas dépasser 2,5 et idéalement 1.

L'équation du Rapport d'Onde Stationnaire est exprimée par :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

III.4.1.7 Le rendement d'une antenne

Le rendement, aussi appelé efficacité est le rapport entre la puissance totale rayonnée et la puissance d'alimentation. On le note η_R et il s'exprime par la relation suivante :

$$\eta_R = \frac{Pray}{Pin} = \frac{Gain}{Directivité}$$

$$0 < \eta_R < 1$$

Avec :

$Pray$: la puissance totale rayonnée

Pin : la puissance d'alimentation de l'antenne

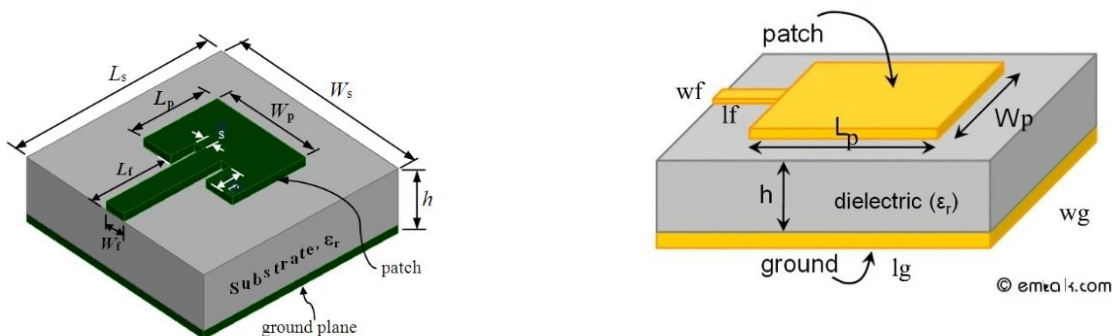
III.5 Etude en simulation d'antennes patch pour les réseaux 4G et 5G

Les antennes imprimées sont largement utilisées dans la communication sans fil et téléphonie mobile que ce soit de par le mobile ou la station de base ; généralement pour ces derniers, parmi les antennes utilisées, on retrouve les antennes réseaux à base d'antenne patch.

La simulation proposée est effectuée sur une antenne patch de géométrie rectangulaire, puisque deux gammes de fréquences sont utilisées (700Mhz : bande étroite et 28Ghz : ultra large bande), deux structures d'antennes sont proposées. Les paramètres géométriques sont ainsi calculés dans pour les deux structures :

III.5.1.1 Calcul des dimensions de l'antenne patch à 700 MHz (Bande Etroite)

Pour l'antenne à bande étroite qui résonne à la fréquence de 700MHz, on a utilisé le substrat FR-4 qui une permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$ et une tangente de perte diélectrique $\delta = 0.025$. L'impédance caractéristique est généralement $Z_c = 50$ Ohms.[30]



(a) Avec encoches

(b) Sans encoches

Figure III-11 Antenne patch rectangulaire

Calcul de la largeur de la ligne

$$z_c = 50 \text{ohms}, \epsilon_r = 4.3, \text{EPC: FR} - 4, h = 1.6, t = 0.035$$

$$z_c > 44 - 2 * \epsilon_r$$

$$\frac{w_f}{h} = \left(\frac{e^H}{8} - \frac{1}{4 * e^H} \right)^{-1} \quad H = \frac{Z \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right)$$

$$H = 1.52$$

$$\frac{w_f}{h} = 1.93$$

$$w_f = 3.08 \text{mm}$$

Calcul de la longueur de la ligne

$$l_f = \frac{\lambda}{4}; \lambda = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}; \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{w} \right)^{-0.555}$$

$$\epsilon_{eff} = 2.92$$

$$l_f = \frac{\lambda}{4} = 62.7 \text{ mm}$$

La largeur du plan de masse

$$w_g = 6 * h + w_p = 6 * 1.6 + 131.5 = 141.5 \text{mm}$$

La longueur du plan de masse

$$l_g = 6 * h + l_p = 6 * 1.6 + 103.1 = 112.7$$

Le patch

$$w_p = 131.5 \text{mm}$$

$$l_p = 103.1 \text{mm}$$

Liste de paramètres de l'antenne

Largeur du plan de masse	141.5mm	w_g
Longueur du plan de masse	112.7mm	l_g
Hauteur du substrat	1.6	h
Longueur du patch	103.1mm	l_p
Largeur du patch	131.5mm	w_p
Largeur de la ligne d'alimentation	3.08mm	w_f
Longueur de la ligne d'alimentation	62.7mm	l_f
Hauteur du plan de masse	0.035	t

Tableau III-2: liste de paramètre de l'antenne à 700 MHz

III.5.1.2 Calcul des dimensions de l'antenne patch à 28 GHz (Ultra Large Bande)

$Z_c = 50$ Ohms, $\epsilon_r = 2.2$, EPC : RT Duroid 5880, $h = 0.508$, $t = 0.035$

Pour l'antenne ultra large bande de fréquence 28GHz, on a utilisé le substrat Rogers RT 5880 (lossy) qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2.2$ et une tangente de perte diélectrique $\delta = 0.0009$. [31]

Calcul de la largeur de la ligne w_f

$$\frac{w_f}{h} = \left(\frac{e^H}{8} - \frac{1}{4 \cdot e^H} \right)^{-1} \quad H = \frac{Z \sqrt{2(\epsilon_r + 1)} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right)}{119.9} \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right)$$

$$H = 1.992$$

$$\frac{w_f}{h} = 1.13$$

$$w_f = 0.575 \text{ mm} \cong 1 \text{ mm}$$

Calcul de la longueur de la ligne l_f

$$l_f = \frac{\lambda}{4}; \lambda = C / (f \sqrt{\epsilon_{eff}}); \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10 \cdot h}{w} \right)^{-0.555}$$

$$\epsilon_{eff} = 1.82$$

$$l_f = \frac{\lambda}{4} = 1.985 \text{ mm}$$

La largeur du plan de masse W_g

$$w_g = 6 \cdot h + w_p = 6 \cdot 1.6 + 4.232 = 7.28$$

La longueur du plan de masse l_g

$$l_g = 6 * h + l_g = 6 * 1.6 + 3.279mm$$

Le patch

$$w_p = 4.4.232mm$$

$$l_p = 3.279mm$$

$$s = 0.3mm$$

$$f = 1mm$$

Liste de paramètres de l'antenne

Longueur du plan de masse	6.327mm	l_g
Largeur du plan de masse	7.28mm	w_g
Hauteur du substrat	0.508	h
Longueur du patch	3.279mm	l_p
Largeur du patch	4.232mm	w_p
Largeur de la ligne d'alimentation	1mm	w_f
Longueur de la ligne d'alimentation	1.985mm	l_f
Hauteur du plan de masse	0.035	t
Largeur de l'encoche	0.3mm	s
Longueur de l'encoche	1mm	f

Tableau III-3: Liste de paramètre de l'antenne à 28 GHz

III.6 Résultats et discussions

III.6.1 Simulation d'un seul élément rayonnant à 700 MHz

L'antenne simulé (voir figure III-12) est une antenne patch rectangulaire sans encoches décrite par les paramètres géométriques récapitulés dans le Tableau (III-4) sur le logiciel CST.

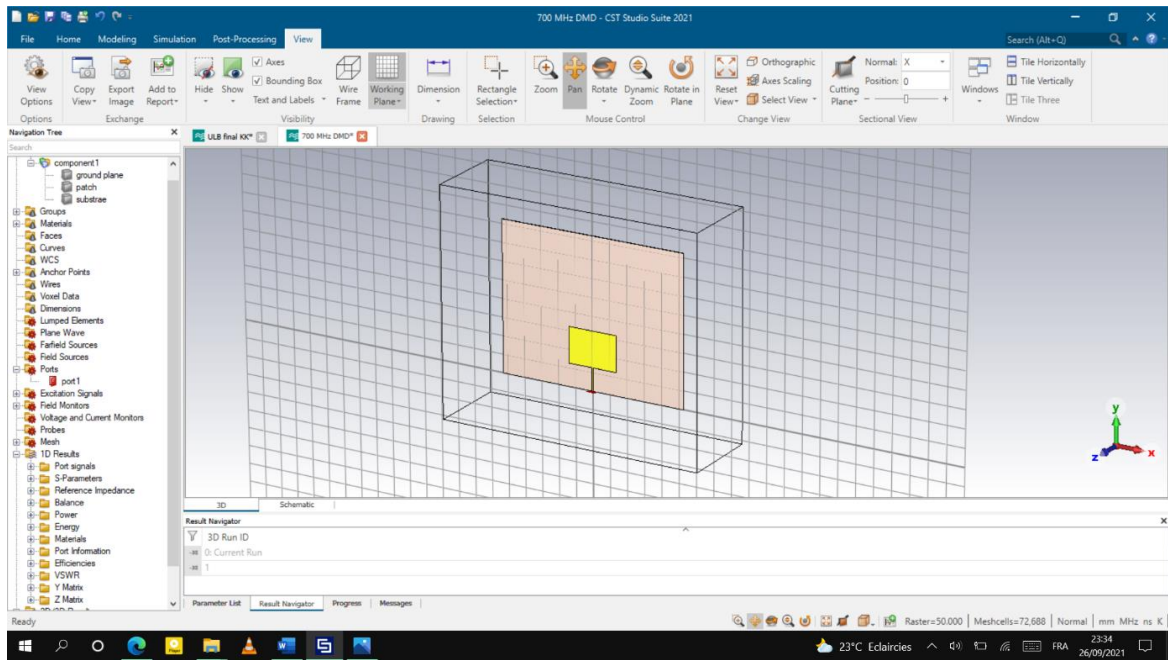


Figure III-12: Antenne patch rectangulaire à 700 MHz

Coefficient de réflexion S_{11}

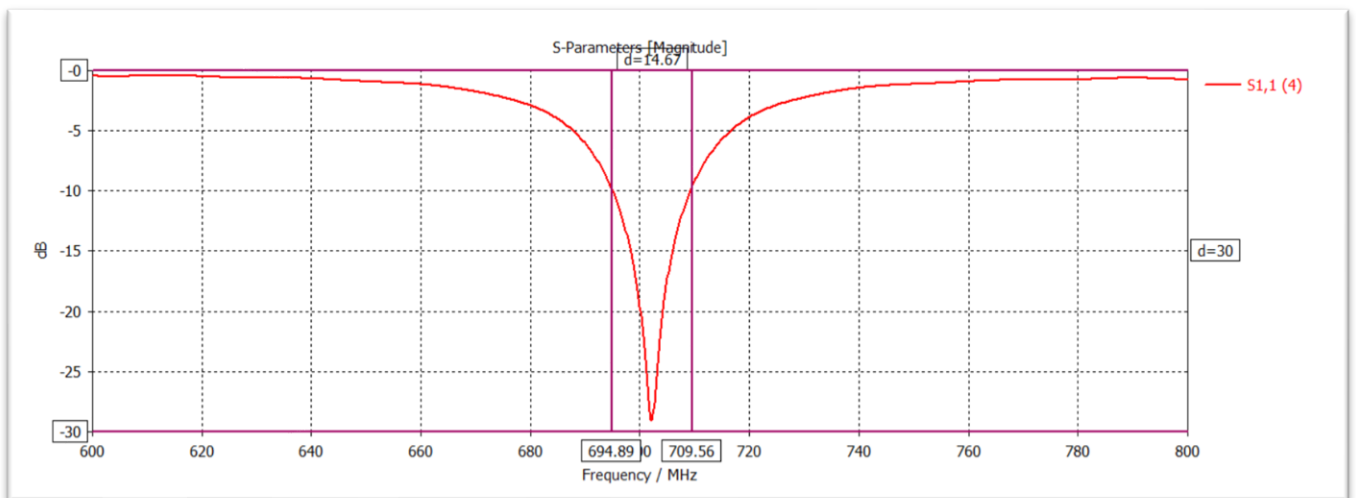


Figure III-13: Variation de S_{11} en (dB) à 700 MHz

On peut voir que l'antenne a une bande passante de 14.67 MHz autour de la fréquence de résonance 700 MHz dans l'intervalle (694.89 - 709.56) MHz.

Taux d'onde stationnaire (VSWR):

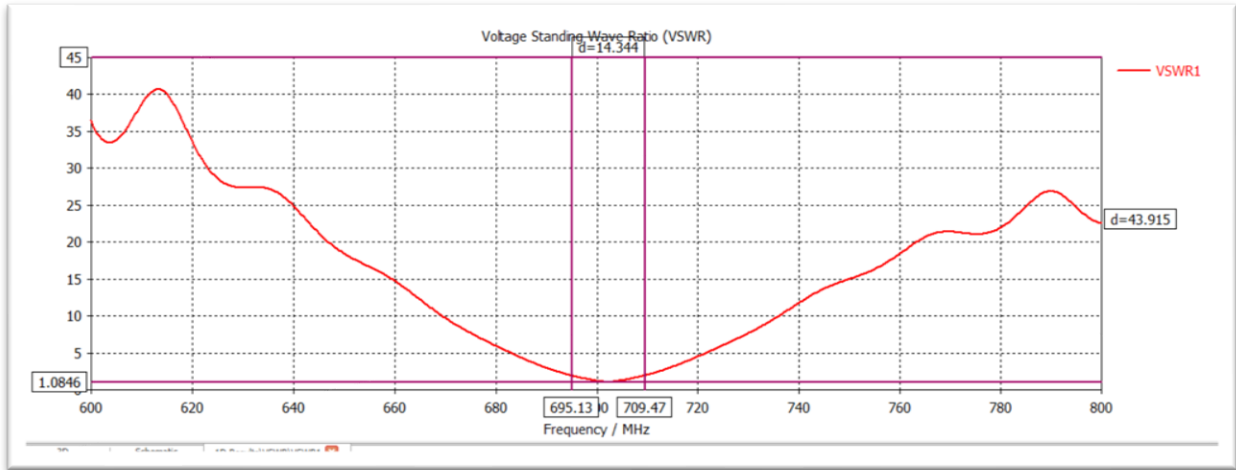


Figure III-14: VSWR de l'antenne à 700 MHz

Tout comme le paramètre S11, le taux d'ondes stationnaire nous prouve la bonne adaptation de l'antenne. Dans la bande passante nous avons relevé un VSWR inférieur à 2 ; cela prouve que notre antenne très proche de la fréquence de résonance.

Diagramme de rayonnement polaire :

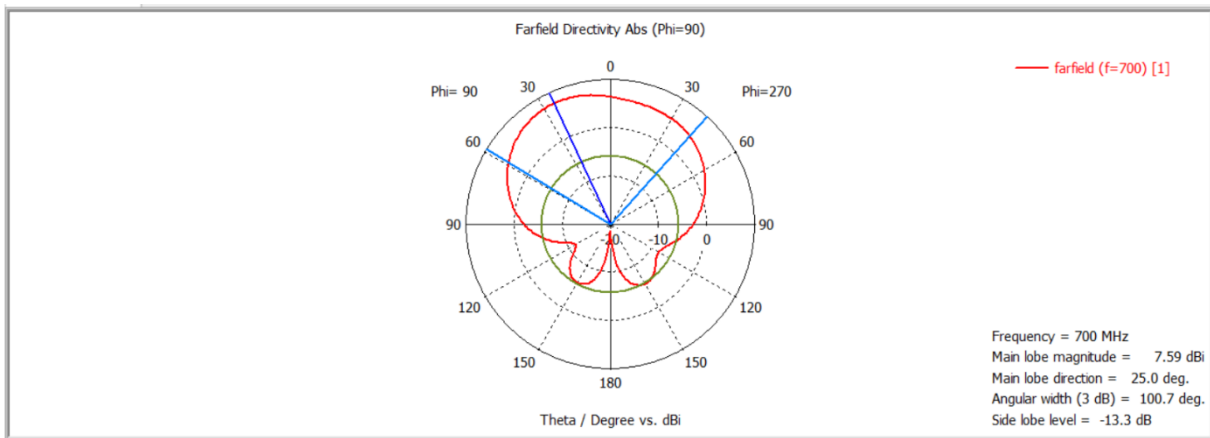


Figure III-15: Diagramme de rayonnement polaire à f = 700 MHz

A la fréquence 700 MHz, un lobe principal a la direction $\theta = 100.7^\circ$ et possède un gain égale 7.59 dB. Les résultats montrent que l'antenne se comporte de manière presque omnidirectionnelle dans le plan H. Ce qui est normale pour les antennes déployer pour les réseaux mobiles.

Il est clair que les applications entre les versions des générations mobile se multiplient, cela ne sera pas sans conséquences vis-à-vis du débit autorisé. Pour la gamme de fréquence 700 MHz, bien qu'elle soit toujours attribuée par les réseaux mobiles jusqu'à même la 5G du fait

qu'elle assure une bonne couverture mobile, reste très limité puisqu'elle offre un débit très réduit (dans notre cas, une bande passante de l'ordre que quelques dizaines de MHz).

III.6.2 Simulation d'un seul élément rayonnant à 28 GHz pour la 5G

III.6.2.1 Simulation d'un seul élément rayonnant à 28 GHz

L'antenne simulé (voir figure III-26) est une antenne patch rectangulaire avec encoche décrite par les paramètres géométriques, récapitulés dans le Tableau (III-5) sur le logiciel CST. L'encoche permet d'ajuster l'impédance.

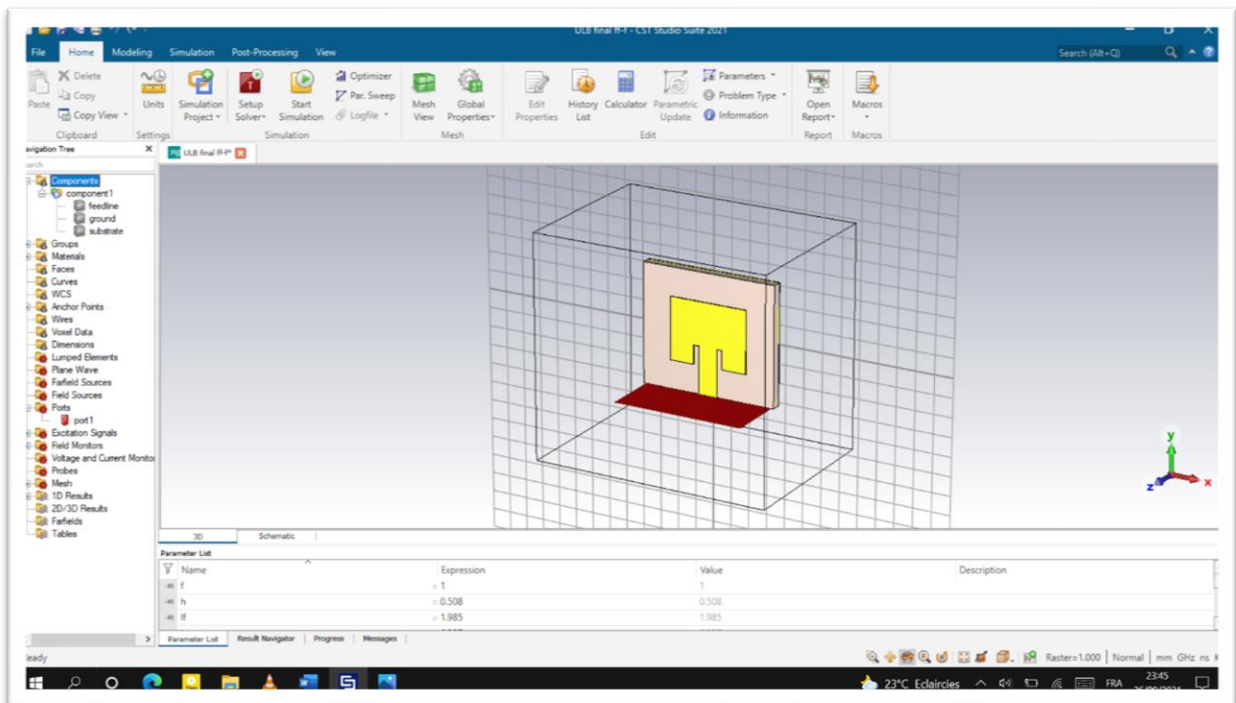


Figure III-16: Antenne patch rectangulaire à encoches

Coefficient de réflexion S11

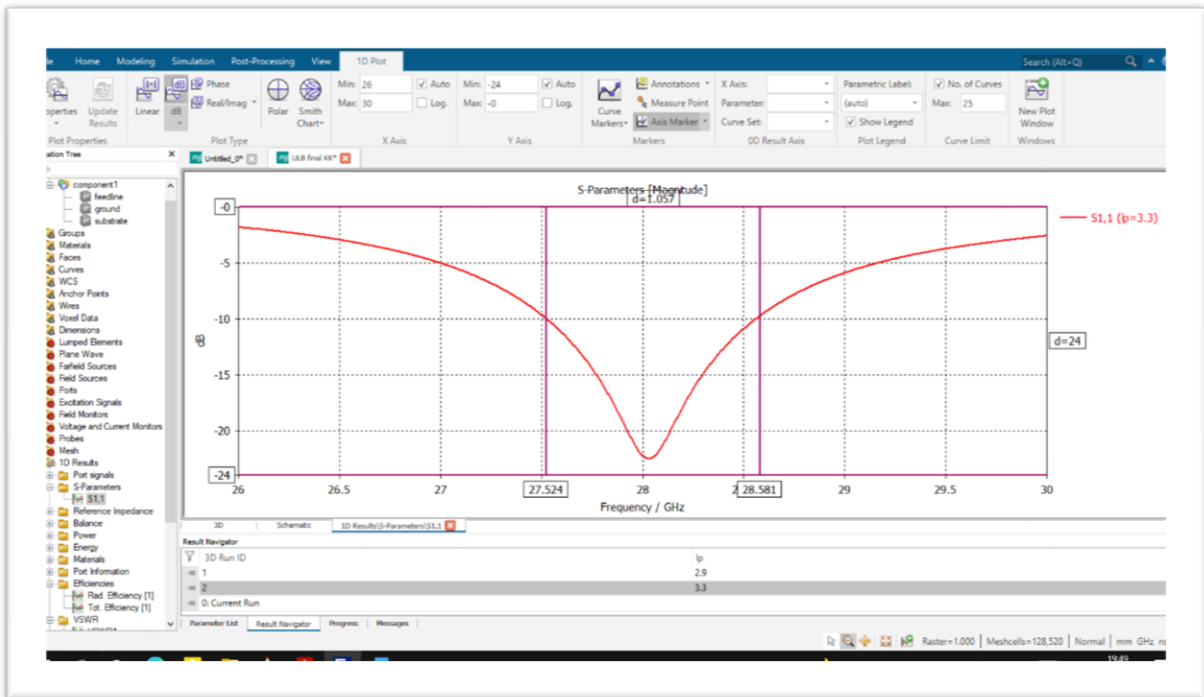


Figure III-17 : Paramètres S11 de l'élément rayonnant à 28GHz

Après avoir appliqué les encoches sur le patch, le résultat de la simulation est favorable parce que le coefficient de réflexion est inférieur à -10dB ; on peut voir que l'antenne à une bande passante de 1.05 GHz autour de la fréquence de résonance 28GHz dans l'intervalle (27.524 - 28.581) MHz.

Taux d'onde stationnaire (VSWR) :

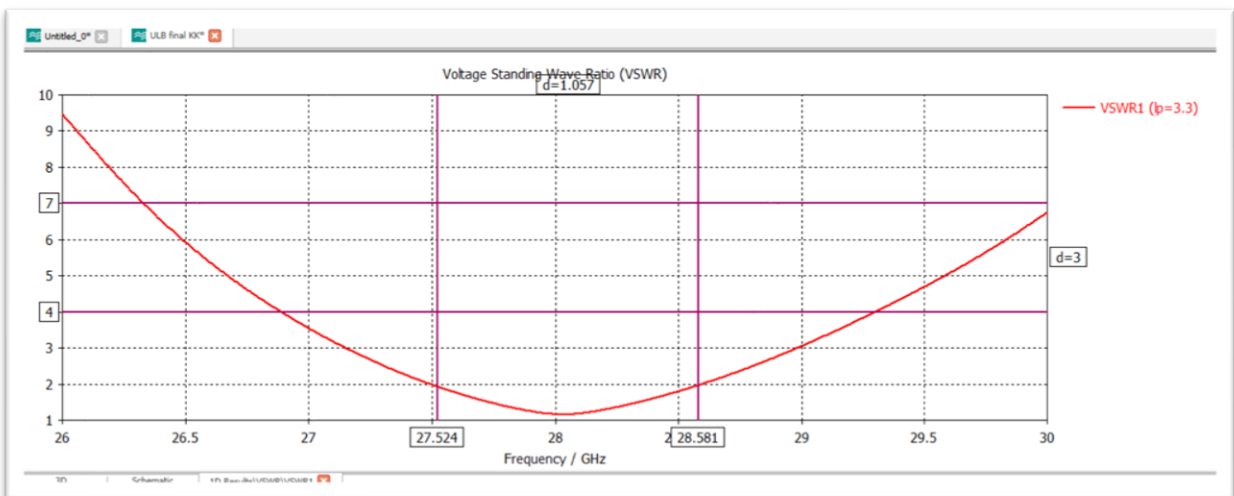


Figure III-18 : VSWR de l'antenne à 28 GHz

Le taux d'ondes stationnaire pour la plupart des applications sans fil ne devrait pas dépasser 2,5 et idéalement 1 ; d'après la Figure III-17, à 28Ghz, le TOS indique une bonne adaptation d'impédance.

Diagramme de rayonnement polaire de l'antenne à 28 GHz :

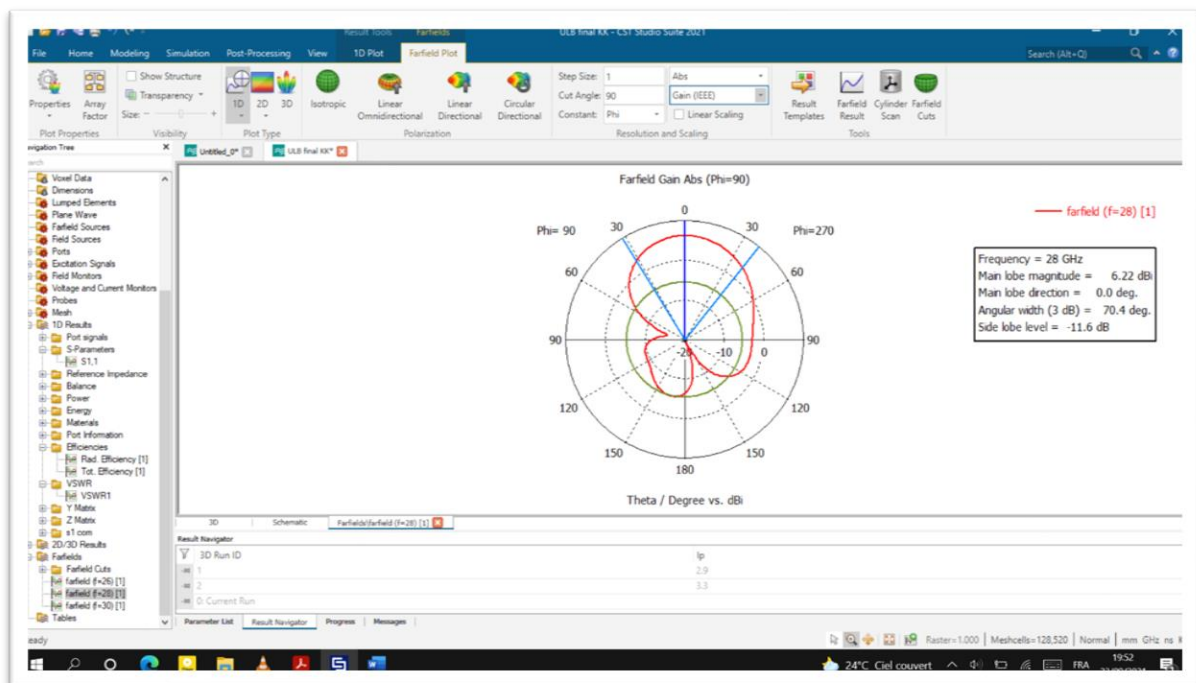


Figure III-19: Diagramme de rayonnement polaire à f =28 GHz

A la fréquence 28 GHz et pour $\phi = -90^\circ$, un lobe principal a la direction $\theta = 72.2^\circ$ et possède un gain égal à 6.22 dBi, une directivité de 7.85 dBi et une efficacité de 0.658 soit 66%. Les résultats montrent un lobe principal dans le plan H.

Le Rendement :

La valeur du rendement fourni par l'antenne est (0.658 soit 66 % dans la bande de fréquence 28 GHz).

Courant de surface de l'antenne à 28 GHz :

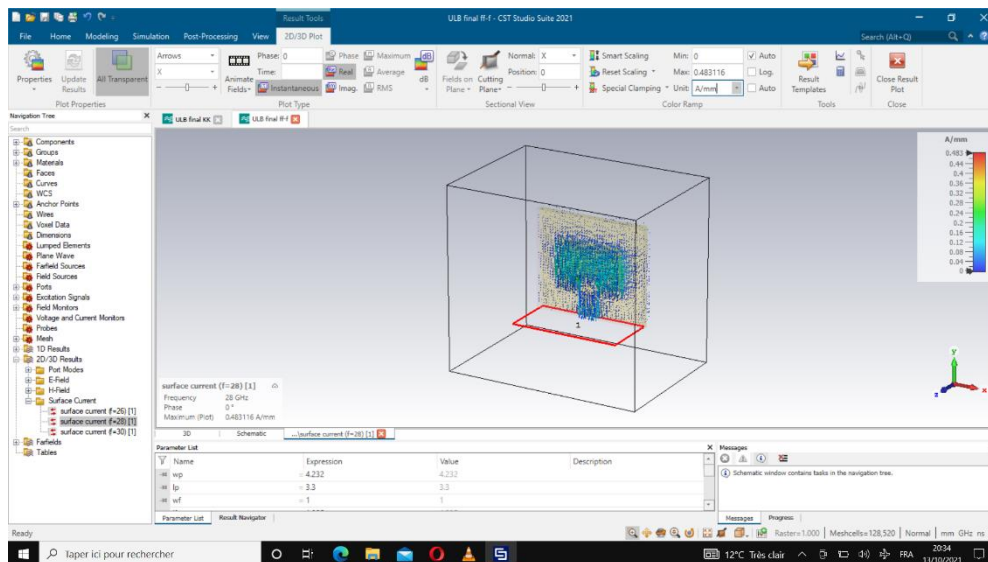


Figure III-20: Courant de surface de l'antenne à 28 GHz

Nous remarquons une bonne répartition du courant dans les parties importantes de l'antenne ; cela implique que l'antenne a un bon fonctionnement.

III.6.2.2 Simulation de l'antenne MIMO à 28 GHz

Une simulation d'antenne MIMO est par la suite proposée se basant sur la géométrie de l'antenne précédemment conçue. Le réseau d'antenne est constitué de 4 antennes simulé en utilisant le logiciel CST (voir figure III-34).

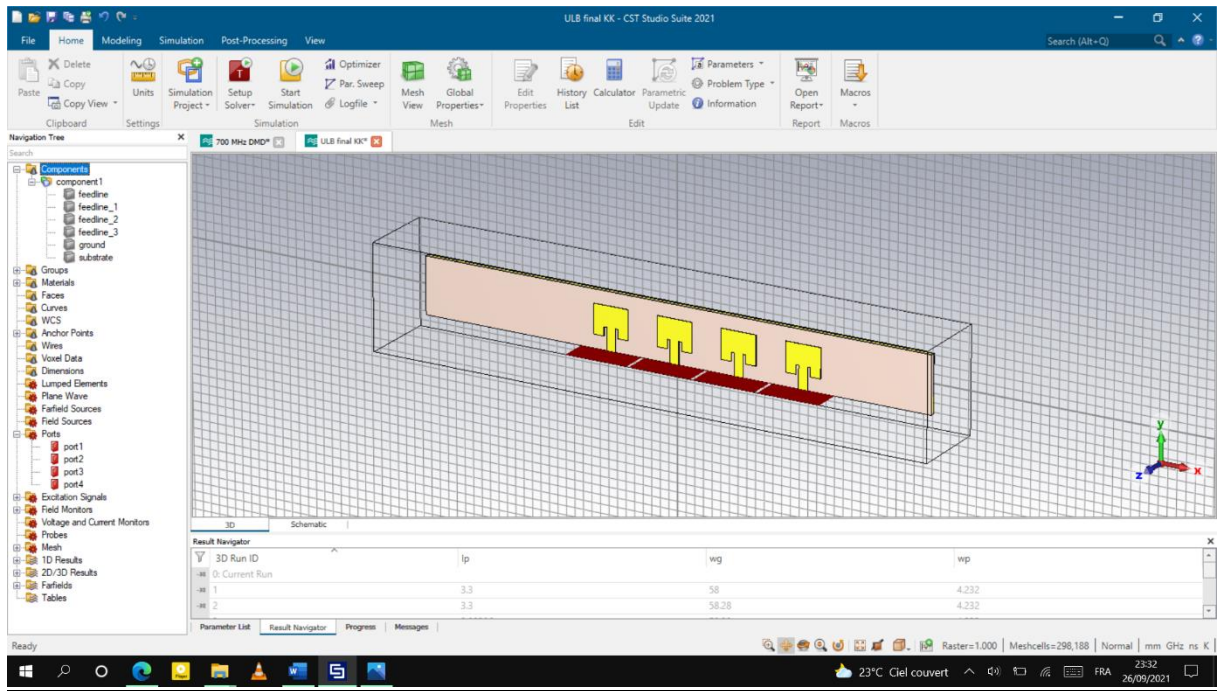


Figure III-21: Antenne MIMO à 4 éléments à 28 GHz

Coefficient de réflexion S11 de l'antenne MIMO

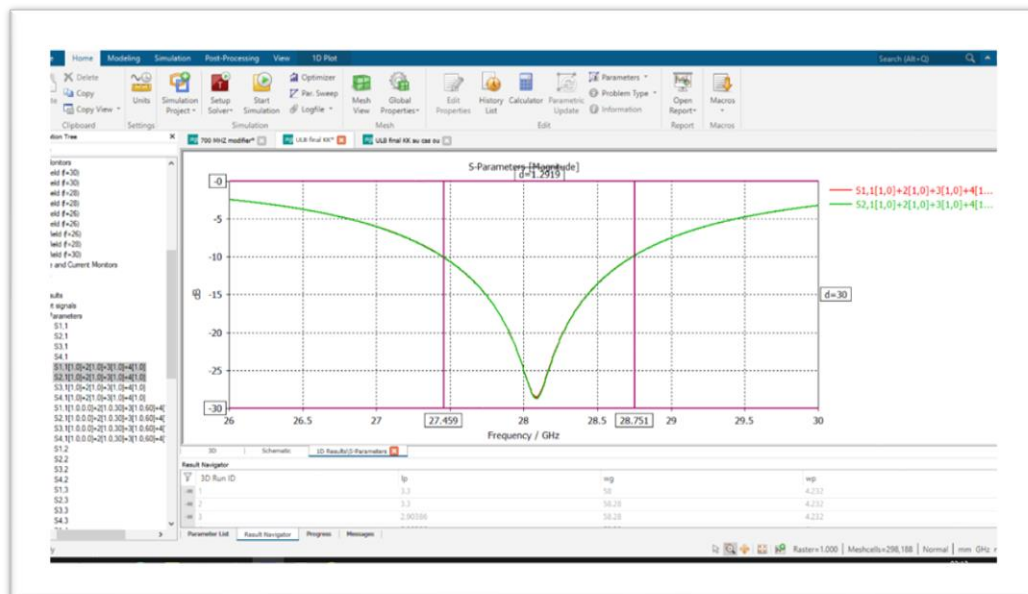


Figure III-22: Variation de S11 de l'antenne MIMO en (dB) à 28 GHz

On peut voir que l'antenne MIMO résultante à une bande passante de 1.2919 GHz autour de la fréquence de résonance 28 GHz dans l'intervalle (27.459 -28.751) MHz. Cette courbe présente les performances de couplage mutuel des paramètres S du système multi-antenne proposé. L'adaptation d'impédance est ainsi respectée.

Une augmentation de la bande passante a été soulignée par rapport à l'antenne seule (BD=250Mhz).

Taux d'onde stationnaire (VSWR) :

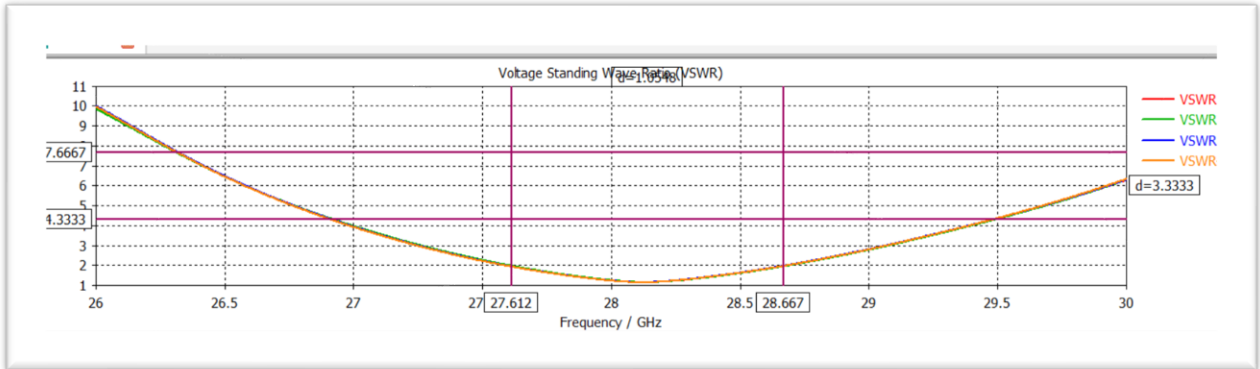


Figure III-23: Taux d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne MIMO à 28 GHz

Tout comme le paramètre S11 du réseau d'antenne, le taux d'ondes Stationnaire nous prouve la bonne adaptation de l'antenne. Dans la bande passante nous avons relevé un VSWR égal à 2 donc inférieur à 2.5 ; cela prouve que notre antenne très proche de la fréquence de résonance.

Diagramme de rayonnement polaire du réseau d'antenne à 28 GHz :

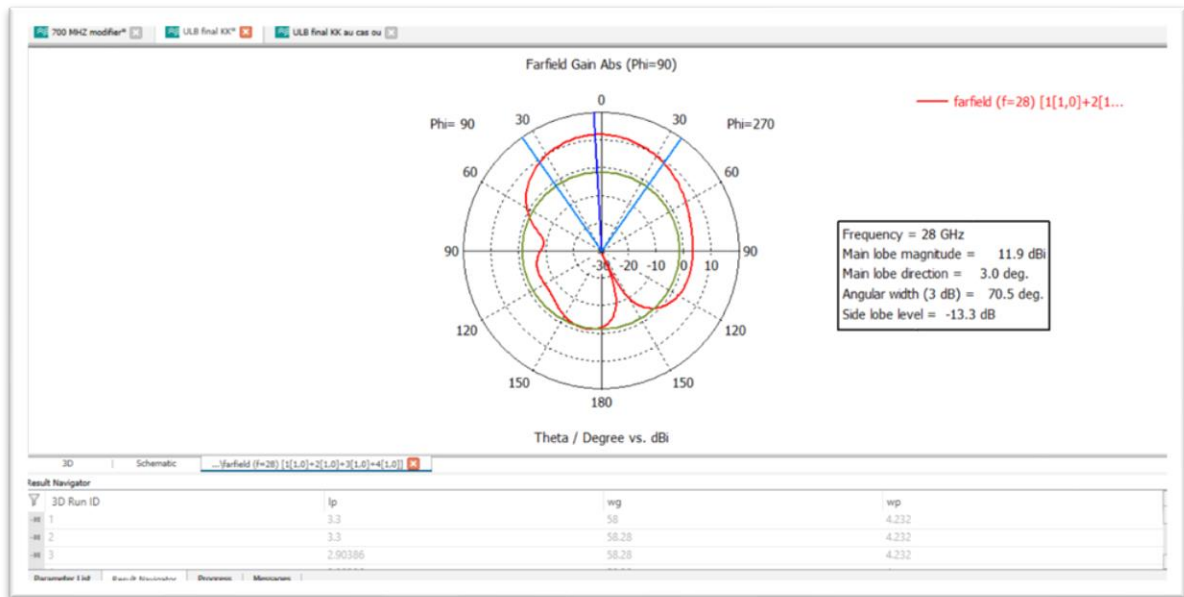


Figure III-24: Diagramme de rayonnement polaire de l'antenne MIMO à 28 GHz

A la fréquence 28 GHz et pour $\phi = 90^\circ$, un lobe principal a la direction $\theta = 70.5^\circ$ et possède un gain égal à 11.9 dBi, une directivité de 13.90 et une efficacité de 0.61 soit 61%. Les résultats montrent que le réseau d'antennes se comporte de manière presque omnidirectionnelle dans le plan H.

Diagrammes de rayonnement 3D :

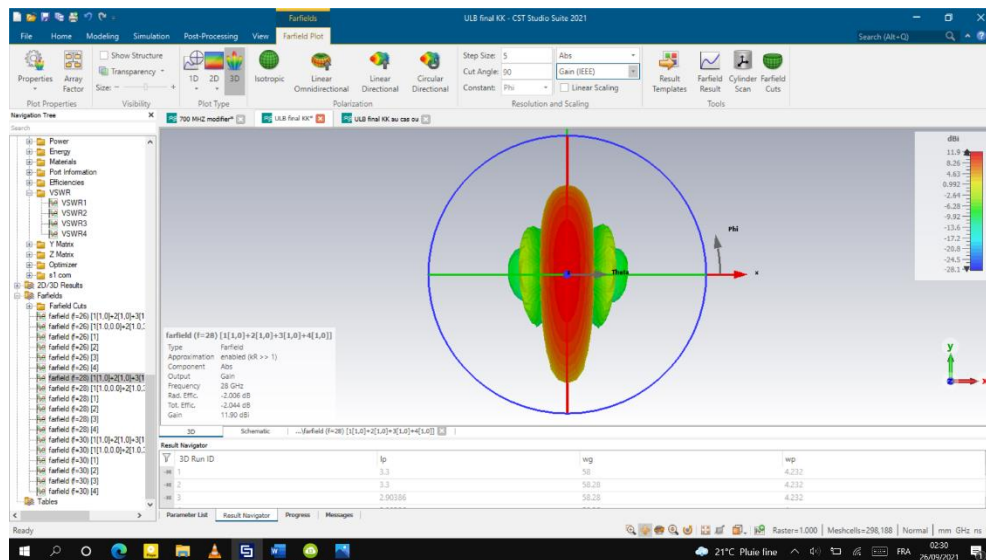


Figure III-25: Diagrammes de rayonnement 3D du système multi-antennes à 28 GHz

Le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes a une forme appropriée puisque que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne ; normale pour ce type de réseau d'antennes. La valeur de gain maximale est égale 11.9 dBi.

Le Rendement :

La valeur du rendement fourni par ce réseau d'antennes est (0.61 soit 61% dans la bande de fréquence 28 GHz).

Courant de surface du système multi-antennes à 28 GHz :

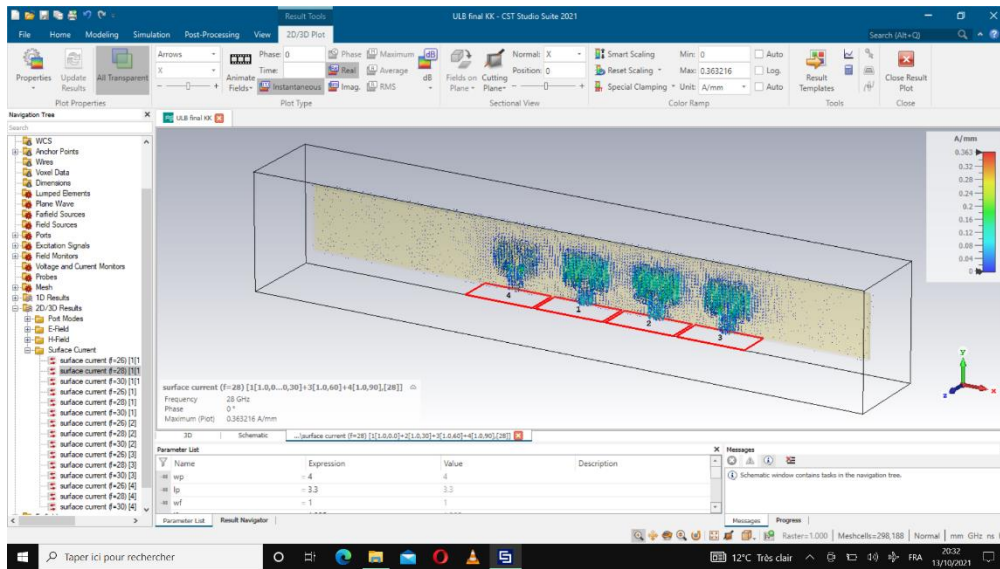


Figure III-26: Courant de surface du système multi antenne à 28 GHz

Nous remarquons une bonne répartition du courant dans les parties importantes des antennes ; cela implique que le réseau d’antennes a un bon fonctionnement.

III.7 CONCLUSION

Dans cette partie, on a présenté le concept des réseaux mobiles 5G, les technologies émergentes sont par la suite détaillées. Une deuxième partie est consacrée à la conception de deux types d’antennes à géométries rectangulaire mais à structure différents. Une structure opérant dans la bande des 700Mhz et une autre structure dans la bande ULB (28Ghz).

Une simulation par CST est par la suite établie pour une structure simple et unique puis pour un système multi antenne à 4 éléments (structure MIMO). La structure proposée a une impédance ajustée et a permis d’avoir un gain relativement important vis-à-vis de la structure seule.

Conclusion Générale

Pour passer d'une génération de réseau à une autre, une étude de transition est primordiale car il permet de connaître les éléments clés pour que la transition soit un succès total.

Pour ce faire, nous avons fait dans un premier chapitre une étude de la 4G(LTE) ; c'est-à-dire que nous avons fait une étude détaillée de l'architecture réseau LTE(4G), des caractéristiques de l'accès LTE, de l'interface Air, de la technique de modulation OFDM, de la technologie MIMO utilisée dans le réseau LTE, du LTE-Advanced, LTE-Advanced-Pro etc.

Ensuite dans le second nous avons consacré une étude au passage de la 4G(LTE) à la 5G(NR) en expliquant le principe de fonctionnement de la 5G, la différence entre la 5G SA la 5G NSA, les différentes options de déploiement de la NR, de la 5G Sub-6, la technologie MIMO Massif, la comparaison de performances entre 4G et 5G etc.

Enfin dans le troisième et dernier chapitre est consacré à l'étude de la 5G et des simulations de réseaux d'antennes représentant un système multi-antennaire à 4 éléments pour applications 4G et 5G. Bien que l'étude en simulation présentée dans ce travail soit simple mais reste aussi basique pour le compléter à travers l'étude plus intégrée considérant un phénomène très important vis-à-vis des antennes MIMO qui est l'environnement multi trajet et les solutions de diversité proposées. Cela peut être classée parmi les perspectives ; enfin cette étude a montré l'influence du nombre d'antenne pour l'amélioration des performances du système multi antennes composé et cela dans la gamme ULB 28Ghz.

Références bibliographiques

- [1].FRANDROID. 2021. Réseau 5G : déploiement, fonctionnement, usages et smartphones compatibles en France. 28 mars 2021.
- [2].HACINI , Kamel et KHELIFI, Reda. 2019.*Transition 2G/3G/4G en communication mobile : cas site université d'ATM Mobilis*. s.l. : Mémoire de Master Université Mohammed Seddik BENYAHIA – Jijel, 2019.
- [3].KHELIFI , Salim et HADDAD , Aissa. 2018.*Planification et dimensionnement d'un réseau mobile 4G/LTE*. s.l. : Mémoire de Master universite Akli Mohand Oulhadj-Bouira, 2018.
- [4].LTEMagazine. 2020. Scénario du déploiement de la 5G. 1 juillet 2020.
- [5].Maïmouna, Diarra. 2020.*Planification et Dimensionnement d'un réseau LTE*. s.l. : Mémoire de Master Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2020.
- [6].Mhapankar, Rajesh. 2020. Alepo. [En ligne] 19 octobre 2020. [Citation : 28 mai 2021.] <https://www.alepo.com/5g-sa-vs-5g-nsa-what-are-the-differences/>.
- [7].[Déploiement 5G SA vs 5G NSA : quelles sont les différences \(alepo.com\)](#)
- [8].https://www.google.com/search?q=Différence+entre+les+deux+techniques+OFDM+et+OFDMA&client=opera&hs=N3L&sxsrf=ALeKk02LDmdVQbixGJIQxZI3Yz0YEzWs1Q:1624832026145&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj0jfP96rjxAhVai1wKHQKPAI8Q_AUoAXoECAEQBA&biw=1224&bih=488#imgrc=fAiR7-vfKewu1M
- [9].https://www.google.com/search?q=Principe+de+L'OFDM&tbm=isch&chips=q:principe+de+l+ofdm,online_chips:spectre:caJGpkCHTgw%3D&bih=488&biw=1224&client=opera&hs=N3L&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwjPxp-a7LjxAhUSXxoKHxOxDnMQ4IYoBHoECAEQIQ#imgrc=DE6HQKZGonGOOM
- [10]. [Qu'est-ce que le partage dynamique du spectre \(ESN\)? \(2020\) | Sierra Sans fil \(sierrawireless.com\)](#)
- [11]. <https://www.linkedin.com/pulse/5g-deployment-options-pallab-gupta>
- [12]. [evolution-mobilfunk - Bing images](#)
- [13]. Pujolle, G. (2018). *Les réseaux*. Eyrolles.

Références Bibliographiques

- [14]. <https://www.journaldunet.com/ebusiness/telecoms-fai/1420427-les-avantages-de-la-5g-simplement/>
- [15]. <https://www.viavisolutions.com/fr-fr/architecture-5g>
- [16]. <http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/5g/>
- [17]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Capacity-Dimensioning-for-5G-Mobile-Heterogeneous-Marcano/bf480d0252ed14d61cbb265ac1c81381a063ec14>
- [18]. <https://www.priteshpawar.com/5g-in-india/technology-explained/priteshpawar/>
- [19]. <http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2018/08/24/le-reseau-5g-5gs/>
- [20]. <https://ictexpertsluxembourg.lu/network-connectivity/5g-applications-prometteuses/>
- [21]. <https://www.cigref.fr/wp/wp-content/uploads/2020/01/Cigref-5G-Anticipation-Opportunités-Influence-sur-architectures-janvier-2020.pdf>
- [22]. https://www.bakom.admin.ch/dam/bakom/fr/dokumente/faktenblatt_5g.pdf.download.pdf/notice-d-information_5G.pdf
- [23]. <https://www.le-vpn.com/fr/internet-des-objets/>
- [24]. [What Is Massive MIMO? - MATLAB & Simulink \(mathworks.com\)](#)
- [25]. [Différence entre UTRAN et eUTRAN | Comparez la différence entre des termes similaires \(differencebetween.com\)](#)
- [26]. [WLAN \(Wireless Local Area Network\) Definition \(techterms.com\)](#)
- [27]. [La directivité des antennes – Rogerbeep Evolution – La radio passion](#)
- [28]. [Antenne 4G LTE MIMO Directionnelle : guide d'achat - Portable Pas Cher \(portablepas-cher.com\)](#)
- [29]. <http://www.rapport-gratuit.com/caracterisations-des-antennes-imprimees-pour-application-ulb/>
- [30] **SOLTANE SAMIA**, Etude et caractérisation des antennes imprimées pour système Ultra Large-Bande, Mémoire de Master Université Mohamed Khider-Biskra, 17/11/2015

Références Bibliographiques

- [31] **BOUAKA Asma et TEMMAR Louiza**, Simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio, Mémoire de Master Université KASDI MERBAH OUARGLA,2018

Simulation et conception d'une antenne imprimée sur CST

Pour optimiser les paramètres de la structure et de réduire le coût de réalisation, la conception de l'antenne réalisée avec le logiciel approprié est une étape indispensable ; elle prend en compte les paramètres diélectriques et conducteurs de l'antenne. Nous avons choisi le logiciel de simulation électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO (MWS), qui se caractérise par la capacité d'analyser rapidement et avec précision les structures haute fréquence (HF),

Le but de cette simulation est de concevoir une antenne imprimée pour une application de la technologie 5G utilisant le logiciel CST. Nous allons d'abord introduire le logiciel CST Microwave Studio (MWS), puis nous décrivons les différents modules à produire, par la suite nous définirons les spécifications pour formaliser la recherche. Après, nous présentons en détail la méthode utilisée pour déterminer les paramètres géométriques sur la base de la théorie des antennes. Finalement, nous présentons les résultats des simulations réalisés pour évaluer les performances de notre antenne proposée en termes de coefficient de réflexion, le taux des ondes stationnaires (VSWR), le diagramme de rayonnement, le gain, la direction, l'impédance ainsi que l'efficacité.

Outil de la simulation

Le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique.

Le CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 Dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (FIT, Finite Integration Technic). Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3D de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes

Électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles, et ce qui est l'une de ses caractéristiques clé de ce simulateur.

CST Microwave Studio fait partie de CST DEIGN STUDIO suite, et offre un certain nombre de solveurs différents selon le type d'application et du problème rencontré

➤ **Ce logiciel présente les avantages et les inconvénients principaux suivants :**

- C'est une option très intéressante pour la conception d'antenne en micro ruban.
- L'optimisation du modèle afin que celui-ci présente les divers critères de performance, de sorte que le VSWR soit limité entre 1 et 2 à la fréquence de résonance désirée.
- Offre plusieurs graphiques différents pour faciliter l'analyse de notre modèle.
- Il est possible de créer des variables qui pourront être utilisées pour spécifier les dimensions d'une composante.
- La durée de la simulation est proportionnellement croissante par-apport au volume du projet, (plus le projet est grand la durée d simulation est grande).

➤ **Les principales caractéristiques de logiciel CST Microwave Studio sont :**

- Une mémoire technique efficace d'intégration finie.
- La structure peut être vue soit comme un modèle 3D ou un schéma.
- Très bonne performance en raison de rapprochement frontière Perfect (PBA). Fonctionnalité pour les unités à l'aide d'une grille hexaédrique. Les solveurs transitoires et mode propre également en charge la technique Tôle mince (TST).
- Caractéristique hybride à base de modélisation permet les changements structurels rapides.
- Importation d'un ensemble de données modèle humain visible ou d'autres ensembles de données.
- L'importation de modèles 2D et 3D.
- Paramétrages des fichiers de CAO importés.
- Base de données des matériaux.
- Modèles de structure pour la description du problème simplifié

Les réseaux et les services de communications sont devenus des ressources vitales pour l'homme. Chaque année, la quantité de données que nous échangeons sur le réseau de radiocommunication mobile double. L'introduction de la 3e (UMTS) et de la 4e (LTE) génération, vers le milieu des années 2000 et dès 2012 respectivement, a permis jusqu'à présent de répondre aux besoins. Aujourd'hui cependant, ces technologies atteignent leurs limites. Cependant la 5G commercialisés et déployés en 2018 sur trois grandes catégories d'usages (eMBB, mMTC, uRLLC) avec ses indicateurs tels débit maximal, débit aperçu par l'utilisateur, efficacité spectrale, vitesse par km/h, latence, nombre d'objet connecté sur une zone,efficacité énergétique du réseau, débit sur une zone ; va palier aux limites de ces précédentes technologies.

Notre projet consiste à l'étude de la transition du réseau 4G(LTE) vers celui de 5G NR (New Radio) ; pour ce faire nous allons faire une étude démonstrative et comparative de ces deux technologies et ensuite une étude de transition du LTE Vers le NR. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel CST studio Suite pour concevoir et simuler un réseau d'antennes rayonnant entre les bandes de fréquences de 700 MHz pour la 4G et 28 GHz pour la cinquième génération.

Abstrat

Communications networks and services have become vital resources for humans. Every year, the amount of data we exchange on the mobile radio network doubles. The introduction of the 3rd (UMTS) and 4th (LTE) generation, in the mid-2000s and as early as 2012 respectively, has so far made it possible to meet the needs. Today, however, these technologies are reaching their limits. However, 5G marketed and deployed in 2018 on three main categories of uses (eMBB, mMTC, uRLLC) with its indicators such as maximum throughput, user-previewed throughput, spectral efficiency, speed per km/h, latency, number of connected objects in an area, network energy efficiency, speed in an area; will overcome the limits of these previous technologies. Our project consists of studying the transition from the 4G (LTE) network to that of 5G NR (New Radio); to do this we will make a demonstrative and comparative study of these two technologies and then a transition study from LTE to NR. To do this, we used CST studio Suite software to design and simulate a network of antennas radiating between the 700 MHz frequency bands for 4G and 28 GHz for the fifth generation.