

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



MEMOIRE DE MASTER

Filière : Télécommunication
Spécialité : Systèmes Des Télécommunications

Présenté par :

 *ALIOUAT Mahfoud*

 *BOUZAKARIA Ferielle*

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE ANTENNE MILLIMETRIQUE MULTISERVICE POUR APPLICATION 5G

Proposé par :

Mme BERKAT Zeyneb

Mr MOSBAH Abdelkader

Année Universitaire : 2020-2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au Nom d'Allah, le Clément, le Miséricordieux

Dédicaces

Je dédie cet évènement marquant de ma vie

À ma très chère mère, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, puisse dieu te protéger.

A mon très cher père, Qui était et est toujours un bon modèle et un premier soutien pour moi dans cette vie, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit puisse dieu te protéger.

À mes très chers frères et sœurs, Puisse dieu vous donne santé, bonheur, et surtout réussite.

A toute ma famille, et mes amis. Sans exception

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je Vous dis merci.

Aliouat Mahfoud

Au Nom d'Allah, le Clément, le Miséricordieux

Dédicaces

Je dédie cet événement marquant de ma vie

*À mes chers parents, source de vie et d'affection, que dieu vous procure bonne santé et
longue vie.*

À mes frères, mes sœurs qui m'ont encouragé et soutenu.

*À toute ma famille et mes ami(e)s
À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail.*

Ferielle Bouzakaria

Remerciement

*Ce travail de recherche s'est déroulé au niveau de Département de l'électronique de la Faculté de Technologie de l'université **SAAD DAHLEB BLIDA**.*

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos sincères remerciements et nos profondes reconnaissances à Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre promotrice Madame **BERKAT Zeyneb**, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche, ses avis éclairés et pour tout le savoir qu'elle nous a transmis. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Aussi Mr **MOSBAH Abdelkader**, pour la Confiance qu'il nous a témoignée.*

Aussi pour son aide dans les réalisations expérimentales, les mesures effectuées et la sympathie qu'il nous a porté.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes nos familles et nos ami(e)s qui ont participé de près ou de loin à l'exécution de ce travail.

Résumé:

Le présent projet correspond à une proposition de recherche que nous entendons mener pour réaliser le mémoire de Master en télécommunication. Le travail qui nous a été confié consiste à étudier et concevoir une antenne millimétrique multiservice pour applications 5G.

Le projet allie travail théorique, méthodologique et conceptuel, devant aboutir à la conception et l'optimisation d'une antenne imprimée rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban, qui résonne à la fréquence 5G (28GHz). La conception est basée sur l'étude paramétrique sur la longueur de patch et la largeur de transformateur quart d'onde, permettant d'améliorer l'adaptation de l'antenne. L'antenne a été conçue dans le simulateur CST sur un substrat (RT/ Rogers 5880)

Abstract:

This project corresponds to a research proposal that we intend to carry out to realize the Master's thesis in telecommunications.

The work we have been tasked with is to study and design a multi-service millimeter antenna for 5G applications. The project combines theoretical, methodological and conceptual work, leading to the design and optimization of a printed rectangular antenna fed by a micro ribbon line, which resonates at the frequency 5G (28GHz). The design is based on parametric study of the patch length and the width of the quarter-wave transformer, allowing improving the adaptation of the antenna. The antenna was designed in the CST simulator on a substrate (RT/ Rogers 5880)

ملخص:

يتوافق هذا المشروع مع اقتراح بحث علمي نعتزم تنفيذه لتحقيق رسالة الماجستير في الاتصالات السلكية واللاسلكية..

والعمل الذي كلفنا به هو دراسة وتصميم هوائي ملليمتر متعدد الخدمات لتطبيقات الجيل الخامس ويجمع المشروع بين العمل النظري والمنهجي والتطبيقي، الأمر الذي يؤدي إلى تصميم هوائي مستطيل يعمل عند تردد 28 جيجا هرتز مطبوع وامتغذى على خط نقل صغير مقاومته 50 اوم ويستند التصميم إلى دراسة ابعاد الهوائي (لطول الرقعة وعرض خط التكييف) ، مما يسمح بتحسين تكييف الهوائي..

قد تم تصميم الهوائي في جهاز محاكاة سي إس تي على نقطة سفلية RT/Rogers 5880 ،

TABLE DES MATIERES

| | |
|------------------------------------|----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
|------------------------------------|----------|

CHAPITRE 1 : ASPECTS GENERAUX SUR LA 5G

| | |
|--------------------------------|----------|
| I.1. INTRODUCTION | 4 |
|--------------------------------|----------|

| | |
|----------------------------------|----------|
| I.2. BREF HISTORIQUE..... | 4 |
|----------------------------------|----------|

| | |
|---|----------|
| I.3. LA 5^{ème} GENERATION | 6 |
|---|----------|

| | |
|--------------------------------|----------|
| I.4. VISION DE 5G | 6 |
|--------------------------------|----------|

| | |
|-----------------------------------|----------|
| ▪ I.4.1. Application | 7 |
|-----------------------------------|----------|

| | |
|-------|----------|
| | 8 |
|-------|----------|

| | |
|---|----------|
| ▪ I.4.2. Scénarios d'utilisation | 8 |
|---|----------|

| | |
|---|---|
| I.4.2.1. Large bande mobile améliorée (eMBB)..... | 8 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| I.4.2.2. Communications massives de type machine (MMTC Massive Machine-Type Communications) | 9 |
|--|---|

| | |
|---|---|
| I.4.2.3. La communication ultra-fiable à faible latence (URLLC) | 9 |
|---|---|

| | |
|--|-----------|
| I.5. ARCHITECTURE DE RESEAU MOBILE 5G | 10 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| I.6. Technologies émergentes pour réseaux 5G | 12 |
|---|-----------|

| | |
|------------------------------------|-----------|
| ▪ I.6.1. MIMO Massive | 12 |
|------------------------------------|-----------|

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| ▪ I.6.2. Petites cellules..... | 14 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| ▪ I.6.3. Un duplex plein (Full duplex)..... | 15 |
|--|-----------|

| | |
|--|-----------|
| ▪ I.6.4. Formation de faisceaux (Beamforming) | 15 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| ▪ I.6.5. Multiplexage NOMA (accès multiple non orthogonal) | 16 |
|---|-----------|

| | |
|--|-----------|
| ▪ I.6.7. Internet des objets (IoT)..... | 17 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| ▪ I.6.6. Gamme millimétrique | 17 |
|---|-----------|

| | |
|--|-----------|
| ▪ I.6.8. Communication Device-to-Device (D2D) | 17 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| ▪ I.6.9. Prise en charge native de la communication machine-to-machine (M2M) | 18 |
|---|-----------|

| | |
|---|-----------|
| ▪ I.6.10. Software Defined Network (SDN) | 18 |
|---|-----------|

| | |
|--|-----------|
| ▪ I.6.11. Network Fonction Virtualisation (NFV) | 18 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| ▪ I.6.12. CloudRAN (C-RAN) | 19 |
|---|-----------|

| | |
|------------------------------|-----------|
| I.7. CONCLUSION | 19 |
|------------------------------|-----------|

CHAPITRE 2 :

LES ANTENNES IMPRIMEES ET LA BANDE MILLIMETRIQUE

| | |
|--|-----------|
| II.1. INTRODUCTION..... | 21 |
| II.2. DEFINITION D'UNE ANTENNE :..... | 21 |
| II.3. LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES D'UNE ANTENNE | 22 |
| ▪ II.3.1. Impédance d'entrée..... | 22 |
| ▪ II.3.2.Coefficient de réflexion..... | 23 |
| ▪ II.3.3. Rapport d'onde stationnaire (ROS)..... | 23 |
| ▪ II.3.4. Diagramme de rayonnement..... | 23 |
| ▪ I.3.5.Directivité | 24 |
| ▪ I.3.6. Gain | 25 |
| ▪ II.3.7. bande passante | 25 |
| II.4. LES ANTENNES IMPRIMEES..... | 26 |
| ▪ II.4.1. Structure d'une antenne imprimée..... | 26 |
| ▪ II.4.2. Avantages et inconvénients de l'antenne patch | 27 |
| ▪ II.4.3. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch | 28 |
| ▪ II.4.4. Techniques d'alimentation des antennes patch | 29 |
| II.5. LA BANDE MILLIMETRIQUE : | 32 |
| II.6. POURQUOI LA BANDE 28 GHz | 32 |
| II.7. CONCLUSION..... | 33 |

CHAPITRE III

CONCEPTION ET FABRICATION D'ANTENNE 5G

BANDE MILLIMETRIQUE

| | |
|--|-----------|
| III.1 INTRODUCTION | 35 |
| III.2 OUTIL DE SMULATION | 35 |
| ▪ III.2.1 Définition..... | 35 |
| ▪ III.2.2 Description des modules à réaliser | 36 |
| ▪ III.2.3 Caractéristiques du substrat :..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| III.3.CONCEPTION DE L'ANETANNE RECTANGULAIRE | 36 |
| ▪ III.3.1.Calcul les dimensions du patch | 37 |
| III.3.1.1.calcul de la largeur de patch | 37 |
| III.3.1.2.calcul de la longueur de patch | 37 |
| Maintenant nous avons calculé L_{eff} | 37 |
| ▪ III.3.2.Calcul des dimensions de la ligne micro ruban | 38 |
| III.3.2.1 Longueur de la ligne d'alimentation :..... | 38 |
| III.3.2.2. Largeur de la ligne d'alimentation | 39 |
| ▪ III.3.3.Calcul des dimensions du plan de masse et substrat | 39 |
| III.3.3.1.Largeur de l'antenne (largeur de plan de masse et substrat) :..... | 39 |
| III.3.3.2.Longueur de l'antenne (largeur de plan de masse et substrat) | 40 |
| ▪ III.3.4 Dimension de la ligne d'adaptation | 41 |
| III.4.SIMULATION DE L'ANTENNE..... | 42 |
| ▪ III.4.1.Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/4$ | 42 |
| La figure (III.2) représente les dimensions de l'antenne conçue : | 42 |
| III.4.1.1ETUDE PARAMETRIQUE..... | 44 |
| III.4.1.2.Structure de l'antenne finale | 45 |
| III.4.1.3.Discussion et interprétation des résultats | 46 |
| ▪ III.4.2.Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/2$ | 49 |
| III.4.2.1 Etude paramétrique | 51 |
| III.4.2.3Discussion et interprétation des résultats : | 52 |
| III.5.COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE L'ANTENNE QUART | |
| D'ONDE ET DEMI ONDE | 55 |
| III.6.COMPARAISON ENTRE CST ET HFSS | 56 |
| III.7.CHANGEMENT DE SUBSTRAT | 57 |
| III.8.DIMENSION D'ANTENNE EN FONCTION DU NOUVEAU | |
| SUBSTRAT | 58 |
| III.9.SIMULATION DE L'ANTENNE | 58 |
| ▪ III.9.1 Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/4$ | 58 |
| III.9.1.1Discussion et interprétation des résultats | 60 |
| ▪ III.9.2 Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/2$..... | 63 |
| III.9.2.1 Discussion et interprétation des résultats | 63 |
| III.10.COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE L'ANTENNE | |
| QUART D'ONDE ET DEMI ONDE..... | 66 |
| III.11.COMPARAISON AVEC HFSS ET CST..... | 66 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| III.12.CONCLUSION | 69 |
| CONCLUSION GENERALE | 70 |
| BIBLIOGRAPHIE | 72 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| FIGURE I.1 : EVALUATION DE LA 5G | 6 |
| FIGURE I.2 :APPLICATIONS DE LA 5G | 8 |
| FIGURE I.3 : SCENARIOS D'UTILISATION DE LA 5G DEPUIS LA RECOMMANDATION DE L'UIT-R SUR LA VISION POUR LES IMT-2020..... | 10 |
| FIGURE I.4 :ARCHITECTURE SIMPLIFIEE DU RESEAU 5G | 11 |
| FIGURE I.5 : ARCHITICTURE BASSE SUR LES SERVICES DU SYSTELE 5G..... | 11 |
| FIGURE I.6 : EXEMPLE MASSIVE MIMO 5G..... | 14 |
| FIGURE I.7: SMALL CELL NETWORKS WITH WIRELESS 5G | 15 |
| FIGURE I.8 : COMMUNICATION SANS FIL DUPLEX INTEGRAL POUR LA 5G | 16 |
| FIGURE I.9 : BEAMFORMING 5G | 17 |
| | |
| FIGURE II.1: ANETENNE 5G | 22 |
| FIGURE II. 2: REPRESENTATION DU DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANETENNE | 24 |
| FIGURE II.3 : EXEMPLE D'UN COEFFICIENT DE REFLEXION ET BANDE PASSANTE D'UNE ANETENNE | 25 |
| FIGURE II.4 : STRUCTURE ABETEBBE IMPRIMEE | 27 |
| FIGURE II.5 : DISTRIBUTION DE CHARGE..... | 28 |
| FIGURE II.6 : DISTRIBUTION DE CHAMP ELECTRIQUE | 28 |
| FIGURE II.7 : ANETENNE PATCH ALIMENTE PAR LIGNE MICROSTRIP | 29 |
| FIGURE II.8 : ANETENNE PATCH ALIMENTE PAR SONDE COAXIAL..... | 29 |
| FIGURE II.9 : ANETENNE PATCH ALIMENTE PAR LE COUPLAGE PAR OUVERTURE | 30 |
| FIGURE II.10 : ANETENNE PATCH ALIMENTE PAR COUPLAGE DE PROXIMITE . | 30 |
| FIGURE II.11 : FORM GENERALE DE CPS | 31 |
| FIGURE II.12 : MICRO-ONDES ET SPECTRE DE FREQUENCES ONDES MILIMETRIQUES | 32 |

| | |
|---|----|
| FIGURE.III.1 TECHNIQUES D'ALIMENTATION ALTERNATIVE DE L'ANTENNE MICRORUBAN POUR L'ADAPTATION D'IMPEDANCE | 38 |
| FIGURE.III.2 STRUCTURE L'ANTENNE $\Lambda/4$ | 44 |
| FIGURE.III.3 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE INITIALE | 44 |
| FIGURE.III.4 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE | 45 |
| FIGURE.III.5 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE (28GHZ) | 45 |
| FIGURE.III.6 PARAMETER SWEEP | 46 |
| FIGURE.III.7 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE (28GHZ) | 46 |
| FIGURE.III.8. L'ANTENNE FINALE , (A) PATCH DE L'ANTENNE, (B) PLAN DE MASSE, (C) SUBSTRAT | 47 |
| FIGURE.III.9 LE COEFFICIENT DE REFLEXION S11 EN DB | 47 |
| FIGURE.III.10 BANDE PASSANTE DE L'ANTENNE | 48 |
| FIGURE.III.11 RESULTAT DU RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE(VSWR)..... | 48 |
| FIGURE.III.12 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POLAIRE | 49 |
| FIGURE.III.13 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D | 49 |
| FIGURE.III.14 L'IMPEDANCE D'ENTREE DE L'ANTENNE..... | 49 |
| FIGURE.III.15 DENSITE DE COURANTS | 50 |
| FIGURE.III.16 STRUCTURE DE L'ANTENNE $\Lambda/2$ | 51 |
| FIGURE.III.17 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE INITIALE | 51 |
| FIGURE.III.18 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 (PARAMETRES SWEEP)..... | 52 |
| FIGURE.III.19 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 | 52 |
| FIGURE.III.20 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 (PARAMETRES SWEEP)..... | 53 |
| FIGURE.III.21 LE COEFFICIENT DE REFLEXION S11 EN DB..... | 53 |
| FIGURE.III.22 BANDE PASSANTE D'ANTENNE OPTIMISEE | 54 |
| FIGURE.III.23 RESULTAT DU RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE(VSWR). | 54 |
| FIGURE.III.24 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POLAIRE | 55 |
| FIGURE.III.25 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D | 55 |
| FIGURE.III.26 L'IMPEDANCE D'ENTREE DE L'ANTENNE..... | 55 |
| FIGURE.III.27 DENSITE DE COURANTS | 56 |
| FIGURE.III.28 CONCEPTION DE L'ANTENNE SOUS HFSS | 57 |
| FIGURE.III.29 COMPARAISON S1,1 CST ET HFSS | 57 |
| FIGURE.III.30 CONCEPTION DE L'ANTENNE SOUS HFSS | 58 |
| FIGURE.III.31 COMPARAISON S11 ENTRE CST ET HFSS | 58 |

| | |
|---|----|
| FIGURE.III.32 STRUCTURE D'ANTENNE | 59 |
| FIGURE.III.33 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE INITIALE | 60 |
| FIGURE.III.34 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE | 60 |
| FIGURE.III.35 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE OPTIMISEE | 61 |
| FIGURE.III.36 COEFFICIENT DE REFLEXION DE L'ANTENNE OPTIMISEE | 61 |
| FIGURE.III.37 RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE (VSWR)..... | 61 |
| FIGURE.III.38 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POLAIRE | 62 |
| FIGURE.III.39 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D | 62 |
| FIGURE.III.40 IMPEDANCE D'ENTREE DE L'ANTENNE..... | 62 |
| FIGURE.III.41 DENSITE DE COURANTS | 63 |
| FIGURE.III.42 STRUCTURE DE L'ANTENNE | 64 |
| FIGURE.III.43 COEFFICIENTS DE REFLEXION DE L'ANTENNE | 64 |
| FIGURE.III.44 BANDE PASSANTE | 65 |
| FIGURE.III.45 RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE..... | 65 |
| FIGURE.III.46 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POLAIRE | 67 |
| FIGURE.III.47 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D | 67 |
| FIGURE.III.48 DENSITE DE COURANTS | 67 |
| FIGURE.III.49 CONCEPTION DE L'ANTENNE SOUS HFSS | 68 |
| FIGURE.III.50 COMPARAISON S1,1 CST ET HFSS | 68 |
| FIGURE.III.51 CONCEPTION DE L'ANTENNE SOUS HFSS | 66 |
| FIGURE.III.52 COMPARAISON S1,1 CST ET HFSS | 67 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| TABLEAU I.1 : CARACTIRISTIQUES SPECIFIQUES DES DIFFIRENTES GENERATIONS..... | 5 |
| TABLEAU I.2 :PERFORMANCES DU RESEAU 5G CIBLEES PAR LE PROJET IMT-2020..... | 7 |
| TABLEAU I.3 : DESCRIPTION DES FONCTIONS DU RESEAU 5G..... | 12 |
| TABLEAU II.1: LES AVANTAGES ET INCONVENIENTTS DE L'ANTENNE PATCH Le | 27 |
| TABLEAU III.1 : LE CAHIER DE CHARGE..... | 37 |
| TABLEAU III.2 : DIMENSIONS D'ANTENNE | 43 |
| TABLEAU III.3 COMPARAISON ENTRE LES DEUX ANTENNES (FR-4)..... | 56 |
| TABLEAU III.4: LE CAHIER DE CHARGE..... | 58 |
| TABLEAU III.5 DIMENSION D'ANTENNE..... | 59 |
| TABLEAU III.6 COMPARAISON ENTRE LES DEUX ANTENNES (RT/ ROGERSS)... | 67 |

LISTE DES ABREVIATIONS

1G : première génération

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

3GPP: 3rd Generation Partnership project

C-RAN Centralized Radio access network

CDMA: Code Division Multiple Access

CST (MWS): Computer Science Technology MICROWAVE STUDIO

D2D: Device to Device

eMBB – Enhanced Mobile Broadband

FD: Full- Duplex

IOT: Internet of Things

GSM: Global System For Mobile Communication

GPRS: General Packet Radio Services

HSPA: High Speed Packet Access

HFSS: high-frequency structure simulator

IMT-A: International Mobil Telecommunication Advanced

LTE : Long Term Evolution

Massive MIMO: Massive Multi Input Multi Output

MU- MIMO: Multi Utilisateur Multi Input Multi Output

Mmtc: Massive Machine Type Communications

M2M: Machin to Machin

NOMA: No orthogonal Multiple Access

NFV: Network Function Virtualization

ROS: Rapport D'onde Stationaries

SDN: Software Defined Network

S11 Coefficient of reflection

UMTS: universal Mobile Telecommunications System

UIT-R: International Telecommunication Union Radio communication

uRLLC :Ultra-Reliable and Low Latency

VSWR: The Voltage Standing Wave Ratio

W-CDMA: Wide Band Code Division Multiple Access

INTRODUCTION GENERALE

Les technologies mobiles ont évolué de manière continue et leurs performances de manière exponentielle. Le service voix, puis la messagerie et enfin l'internet mobile et l'utilisation des applications mobiles multi-services ont caractérisé l'évolution des réseaux mobiles et le passage d'une génération à l'autre. La première génération de téléphonie mobile sans fil est apparue dans les années 1980, depuis le cycle des générations de téléphonie mobile est de 10 ans environ.

La naissance de la technologie LTE et de la quatrième génération, couplée à la démocratisation des smartphones et tablettes, a mené à une augmentation très forte des volumes de données échangés en mobilité. L'utilisation d'un mobile et de ses applications est désormais fermement ancrée dans le quotidien de nos concitoyens.

La 5G se situe au carrefour de ces nouveaux usages ; elle ambitionne de répondre mieux et simultanément à cette grande variété de besoins et ces nouvelles demandes, via une technologie unifiée qui prend en compte, dès sa conception, cette diversité.

Les réseaux 5G sont conçus pour apporter le niveau de performance nécessaire à un déploiement massif d'objets connectés. Cette technologie permettra de proposer un monde parfaitement connecté.

Contrairement à d'autres technologies de réseaux mobiles, la 5G est une technologie de rupture. Dès le début de sa conception, elle a été prévue afin de répondre à une multitude de cas d'usage, sur un périmètre large, adressant non seulement le grand public mais également les grands secteurs économiques.

La 5G a recours à des ondes millimétriques, à savoir un réseau très cher, constitué d'un très grand nombre d'antennes très haut débit mais à faible portée

Avec les télécommunications s'ouvrent des perspectives immenses dans le domaine du transport de l'information à l'échelle du monde. Toute communication sans fil est assujettie à l'utilisation d'antennes aux deux extrémités de la liaison de télécommunication. Il est impossible de réaliser une transmission sans fil sans l'emploi d'antennes d'émission et de réception.

De nombreuses antennes émettrices-réceptrices sont érigées afin de permettre la transmission des informations sous forme de signaux entre les utilisateurs. Ce dispositif constitue une pièce maîtresse des systèmes de télécommunications sans fil, permettant aux utilisateurs de communiquer, d'échanger des informations et d'accéder à l'Internet partout où ils se trouvent. L'antenne est présente aux deux extrémités de la liaison.

Les systèmes de communication sans fil exigent inévitablement des débits très élevés, afin de répondre à l'augmentation exponentielle des quantités de données, notamment pour la vidéo haute définition, à transmettre que ce soit pour les réseaux fixes ou mobiles. Parmi les applications de ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes.

Dans ce contexte et dans le cadre de notre mémoire de master, nous allons nous focaliser sur l'étude et la conception d'une antenne imprimée millimétrique multiservice pour application 5G, devant aboutir à la réalisation d'une antenne intégrée qui rayonne dans la fréquence millimétrique 28GHz afin d'être utilisée dans des différents services de la 5ème génération.

Ce projet se veut pertinent en ce qui concerne les nouvelles approches et technologies des réseaux mobiles, ceci est détaillé en trois chapitres qui forment ce rapport :

Le premier chapitre traite les aspects généraux sur la 5G, nous présentons dans ce chapitre introductif les principes de base de la 5G, en mettant l'accent sur les objectifs, l'architecture physique et logique ainsi que les nouveaux concepts technologiques qui font de cette norme, une véritable révolution dans le domaine des communications mobiles.

Le deuxième chapitre, traite les antennes imprimées et la bande millimétrique. Nous proposons un rappel général sur les antennes imprimées, ensuite nous abordons les caractéristiques de la bande millimétrique du spectre radioélectrique, ainsi que les principales caractéristiques des antennes micro-ondes.

Le troisième chapitre, concerne la partie simulation et résultats. Nous présentons les différentes étapes à suivre pour concevoir et simuler des antennes à l'aide de l'outil logiciel CST Microwave Studio (MWS). Les résultats des simulations ainsi obtenus sont analysés et interprétés pour évaluer les performances de la méthodologie appliquée.

CHAPITRE 1
ASPECTS GENERAUX
SUR LA 5G

I.1. INTRODUCTION

La 5G est une nouvelle génération de normes de téléphonie mobile. Cette technologie sans fil promet de révolutionner la façon dont le monde communique. Absolument tout, des véhicules autonomes aux robots chirurgicaux. La 5G réduira également la distance entre les personnes et permettra à toutes sortes d'équipements électroniques d'être connectés entre eux, ce qui permettra de généraliser des applications futuristes (voitures autonomes, usines automatisées, chirurgie à distance, robots intelligents. Etc.).

La 5G a recours à des ondes millimétriques, à savoir un réseau très cher, constitué d'un très grand nombre d'antennes très haut débit mais à faible portée.

Dans le domaine des télécommunications, le lancement d'une nouvelle génération de téléphonie mobile constitue un événement majeur, faut d'abord parler des caractéristiques clés de cette technologie, pour cela dans ce chapitre nous allons fournir une vision générale sur cette technologie.

I.2. BREF HISTORIQUE

L'évolution du système de téléphonie mobile est principalement divisée en cinq générations :

La première génération du système de communication mobile basé sur un signal analogique est née dans les années 1980 et a aidé les gens à se débarrasser des chaînes de la ligne téléphonique.

Dans les années 1990, des systèmes de communication mobile de deuxième génération (2G) plus efficaces basés sur la communication numérique ont vu le jour, et par la suite, les communications mobiles personnelles ont connu un développement rapide à l'échelle mondiale.

Après 2000, avec le déploiement des systèmes 3G, les gens peuvent profiter d'une expérience Internet mobile plus rapide, comme la visiophonie.

En 2010, le déploiement du réseau commercial 4G basé sur l'évolution à long terme (LTE) a encore amélioré la capacité du système et l'expérience utilisateur. Selon les statistiques de l'Initiative mondiale TD-LTE (GTI), 364 réseaux commerciaux LTE ont été lancés au troisième trimestre de l'année 2015.

Avec le déploiement des systèmes IMT-Advanced (IMT-A) dans le monde, les technologies de communication mobile de 5e génération (5G) émergent dans les domaines de la recherche [I.1]. La (figure I.1) décrit l'évolution des générations de réseaux mobiles

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques des différentes générations :

| Génération | 1G | 2G | 3G | 4G | 5G |
|--|------------------------------------|--|---|---|--|
| Année de déploiement | 1981 | 1992 | 1999 | 2010 | 2020 |
| Débit indicatif (download) en bit/s | Analogique | GSM : 9.05kbit/s GPRS : 171.2kbps EDGE: 384kbit/s | UMTS: 144kbit/s (Rural) 384kbit/s (Urbane) 2Mbit/s (Point fixe) HSPA: 14.4Mbit/s | LTE: 150Mbit/s LTE-advance: 1Gbit/s | 10Gbit/s |
| Fréquence | 900Mhz | États-Unis (bande de fréquence 850 MHz et 1900 MHz) Europe (bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz) | les bandes de fréquences 900MHz et 2100 MHz | 700MHz 800MHz 1,8 GHz 2,1 GHz 2,6 GHz | 28GHz 37 GHz 39 GHz 64 –71 GHz |
| Description fonctionnelle générale | Téléphones cellulaires analogiques | Téléphones cellulaires numériques (GSM/CDMA) | Première bande passante mobile utilisant des protocoles IP (WCDMA 2000) | Le haut débit mobile sur un standard unifié (LTE) | Internet tactile - Améliore r le réseau de communication M2M |

Tableau I.1 : Résumé des caractéristiques spécifiques pour les différentes générations. [I.2].

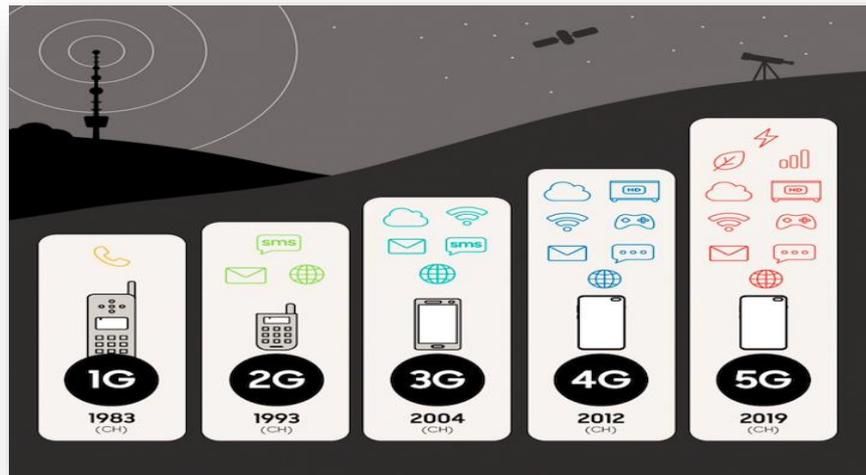


Figure. I.1 : Evaluation de la 5G [I.3]

I.3. LA 5^{ème} GENERATION

Les réseaux mobiles de 5^{ème} génération dont le déploiement a commencé en 2020 constituent l'expression d'une maturité inégalée en matière d'objectifs techniques, économiques et technologiques. Ils prévoient l'intégration des concepts de convergence et d'agilité, visant une unification universelle des standards et protocoles.

Les propositions relatives au réseau d'accès doivent prendre en compte les spécificités du futur standard en termes d'architecture, de services, de débits et des bandes spectrales envisagées.

Nous présentons dans ce chapitre introductif les principes de base de la 5G, en mettant l'accent sur les objectifs, l'architecture physique et logique ainsi que les nouveaux concepts technologiques qui font de cette norme, une véritable révolution dans le domaine des communications mobiles.

I.4. VISION DE 5G

Le but ultime de la 5G consiste donc à atteindre des débits équivalents à ceux de la fibre optique, autour d'au moins 100 Mbit/s en moyenne perçus par l'utilisateur, avec un temps de latence très réduit, grâce à une couverture réseau très renforcée pour offrir une connectivité partout et tout le temps.

Le tableau ci-dessous décrit les performances définies dans le projet IMT-2020 [I.4].

| Paramètres | Valeurs |
|---|---------------------------------|
| Débit descendant maximum | 20 Gbits / s |
| Débit maximum ascendant | 10 Gbits / s |
| Efficacité spectrale maximale dans le sens descendant | 30 bits / s / Hz |
| Efficacité spectrale maximale dans le sens ascendant | 15 bits / s / Hz |
| Trafic par unité de surface | 10 Mbit/s/m² |
| Temps de latence | 1 à 4 ms |
| Largeur de bande | 100 Mètres Hz - 1 GHz |
| Densité de terminaux connectés | 1 million/km² |

Tableau I.2 : Performances du réseau 5G ciblées par le projet IMT-2020 [I.4].

▪ **I.4.1. Application**

La 5G fournira la connectivité sans fil pour un large éventail de nouvelles applications présentées sur la (Figure I.2) : La 5G va pénétrer dans chacun des éléments de notre société future et créer un écosystème d'information multidimensionnel centré sur l'utilisateur.

Elle va briser la limitation de temps et d'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive.

On pourra bénéficier de vidéos en ligne avec une bonne qualité de réception, même dans des zones à forte densité d'utilisateurs comme durant un événement sportif important où chaque spectateur utilise un dispositif connecté.

Un haut niveau de service (accès à haut débit d'une moyenne de 50 Mbps minimum)

La 5G promet des communications suffisamment fiables pour être utilisées dans le domaine de la santé, pour relier à distance des médecins à des robots chirurgicaux, afin d'aider des patients en urgence. [I.5]

La 5G raccourcira également la distance entre l'homme et les équipements électroniques, et mettre en œuvre une intégration transparente pour réaliser une interconnexion facile et intelligente. La 5G nous permet de réaliser la vision : « L'information est à portée de main, et tout sera resté en contact » [I.6]

Un grand nombre de cas d'utilisation ont été proposés par différentes organisations. L'internet mobile et l'Internet des objets (IoT) sont les deux principaux moteurs du marché de développement futur des communications mobiles, et ils déclencheront une grande gamme de cas d'utilisation [I.6]. La figure ci-dessous montre les 3 grands domaines d'utilisation de la 5G.

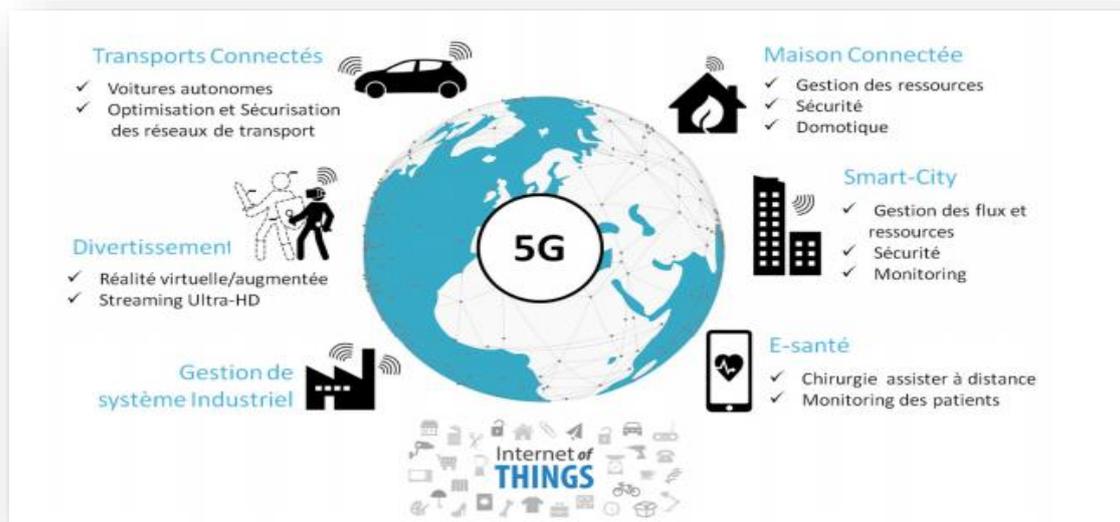


Figure I.2 : Applications de la 5G [I.6].

▪ I.4.2. Scénarios d'utilisation

Les scénarios d'utilisation peuvent être divisés en trois grandes phases :

I.4.2.1. Large bande mobile améliorée (eMBB)

Le haut débit mobile répond aux cas d'utilisation centrés sur l'homme pour l'accès au contenu, aux services et aux données multimédias.

La demande de haut débit mobile continuera d'augmenter, ce qui entraînera une amélioration du haut débit mobile.

Le scénario d'utilisation du haut débit mobile amélioré s'accompagnera de nouveaux domaines d'application et de nouvelles exigences, en plus des applications haut débit mobile existantes, pour des performances améliorées et une expérience utilisateur de plus en plus transparente.

Ce scénario d'utilisation couvre une série de cas, notamment la couverture étendue et le hotspot, qui ont des exigences différentes. Dans le cas d'un hotspot, c'est-à-dire d'une zone à forte densité d'utilisateurs, une très grande capacité de trafic est nécessaire, tandis que les exigences en matière de mobilité sont faibles et que le débit de données des utilisateurs est supérieur à celui d'une couverture étendue.

Dans le cas d'une couverture étendue, une couverture sans faille et une mobilité moyenne à élever sont souhaitées, avec un débit de données utilisateur nettement amélioré par rapport aux débits de données existants. Toutefois, l'exigence en matière de débit de données peut être assouplie par rapport au hotspot [I .7]

I.4.2.2. Communications massives de type machine (MMTC Massive Machine-Type Communications)

Le défi de la massivité a déclenché le développement de nouvelles technologies sans fil pour ce modèle de communication, en particulier dans le domaine des 15 dispositifs M2M. L'objectif principal est le développement de systèmes capables de prendre en charge un grand nombre d'appareils à faible coût, répartis dans une vaste zone, qui consommeront une puissance ultra-faible et prendront en charge divers types de services. [I .8]

I.4.2.3. La communication ultra-fiable à faible latence (URLLC)

La communication ultra-fiable à faible latence, ou URLLC, est l'un des différents types de cas d'utilisation pris en charge par la norme 5G New Radio (NR), comme le stipule la version 15 du 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

Les services pour les appareils connectés sensibles à la latence, tels que l'automatisation d'usine, la conduite autonome, l'internet industriel et les réseaux intelligents ou les chirurgies robotiques. [I .9]

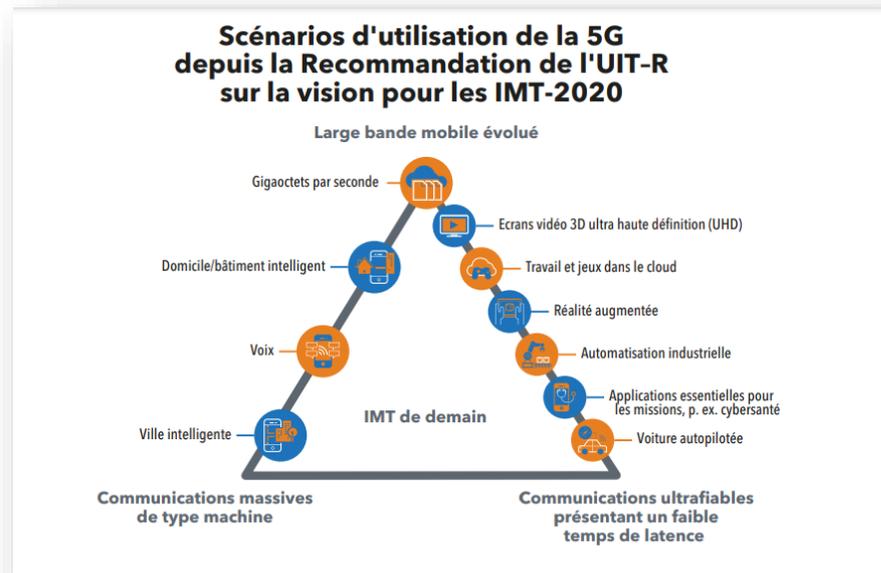


Figure I.3 : Scénarios d'utilisation de la 5G depuis la Recommandation de l'UIT-R sur la vision pour les IMT-2020 [I.10].

I.5. ARCHITECTURE DE RESEAU MOBILE 5G

La figure 1-4 décrit l'architecture simplifiée du réseau 5G [I.11]. Les stations de base sont soit des gNB fournissant des terminaisons de protocoles du plan utilisateur et du plan de contrôle, soit des ng-eNB. Les gNB sont les stations de base 5G natives supportant les fonctionnalités radio 5G par défaut alors que les stations de base ng-eNB sont des stations de base 4G mises à niveau pour supporter les services radio 5G dans le but d'assurer une migration progressive entre les deux standards.

Les stations gNB et ng-eNB sont interconnectées via l'interface Xn. L'ensemble de ces stations constitue le réseau d'accès de nouvelle génération (NG-RAN, Next Génération-Radio Access Network). L'interconnexion des gNB et ng-eNB avec le réseau cœur (5GC, 5G Core) se fait avec les fonctions réseau AMF (Access and Mobility Management Function) et UPF (User Plan Function) du cœur à travers l'interface NG [I.12]

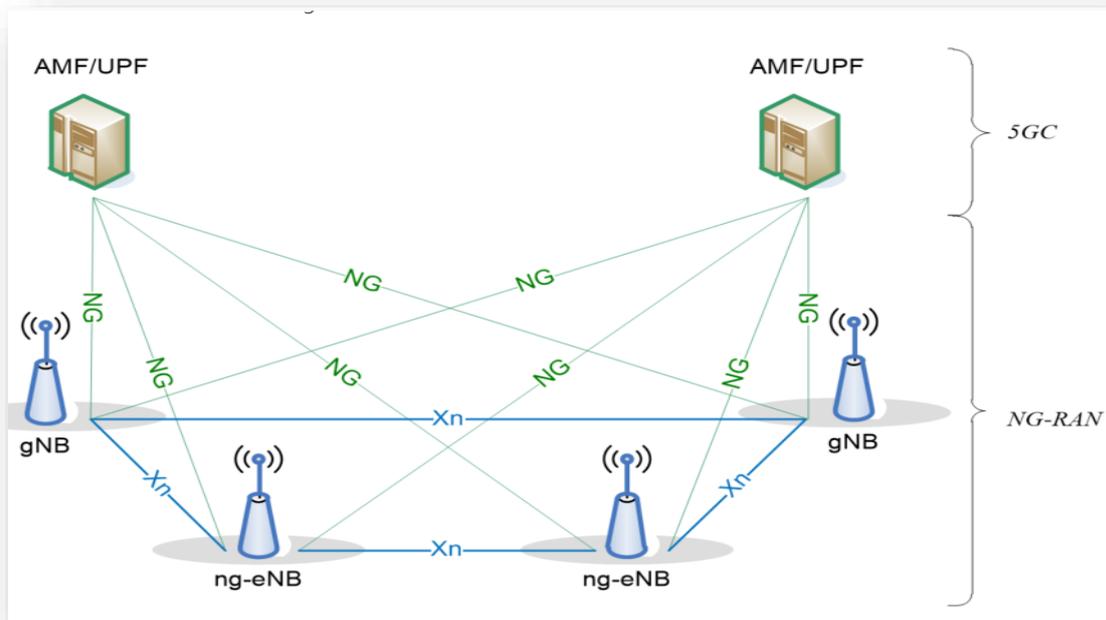


Figure I.4 : Architecture simplifiée du réseau 5g [I.12].

La fonction AMF est chargée de la signalisation non liée aux données utilisateur (mobilité, sécurité...). Elle supporte des terminaux utilisateurs (UE, User Equipment) avec différents profils de mobilité. L'UPF gère les fonctionnalités liées aux données utilisateur (routage de packets, QoS, reporting du trafic utilisateur...).

AMF et UPF sont les fonctions du réseau cœur qui s'interfaçent avec le réseau d'accès. Les autres fonctions du réseau cœur sont représentées sur la figure 1-6 qui décrit l'architecture fonctionnelle du réseau 5G.

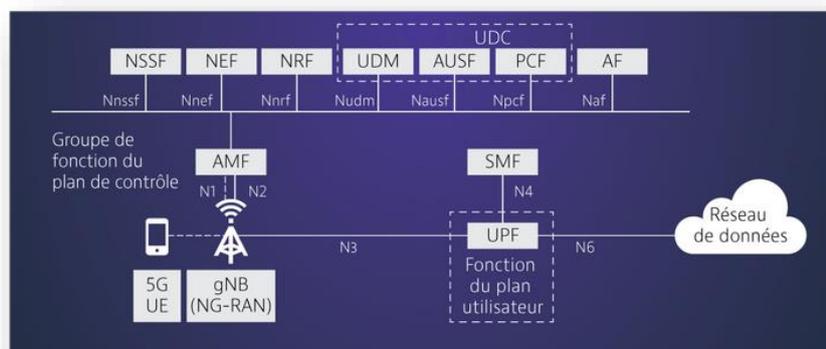


Figure I.5 : Architecture basée sur les services du système 5G[I .11]

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

Tableau I.3 : Description des fonctions du réseau 5G. [I .11]

I.6. Technologies émergentes pour réseaux 5G

Les exigences des consommateurs déterminent l'évolution des services large bande mobiles. Il faudra des solutions innovantes pour faire face à l'augmentation attendue du trafic, qui, selon les estimations, devrait être 10 à 100 fois plus important entre 2020 et 2030, et à la multiplication du nombre de dispositifs et de services, ainsi qu'à la demande d'amélioration de l'accessibilité financière et de l'expérience utilisateur. Le nombre de dispositifs connectés à l'Internet devrait atteindre 50 milliards à compter de 2025. [I.13]

La question posée était de savoir comment la 5 G a pu réaliser toutes ces choses, tandis que les générations précédentes restent très faibles.

Quelles technologies ont permis à 5G d'atteindre ce niveau Dans ce titre, nous aborderons la plus importante de ces technologies ?

▪ I.6.1. MIMO Massive

Le MIMO massif (Multiple Input Multiple Output) est l'évolution du MIMO point à point unique et du MIMO multi-utilisateur (MU-MIMO). Dans MU-MIMO, un ensemble de stations de base équipées de plus d'une antenne (moins de 10) sert un ensemble d'utilisateurs. Chaque utilisateur est servi par une seule antenne. Le MIMO massif est le résultat d'une

volonté d'entendre la vision MU-MIMO en un système d'antenne à grande échelle où chaque station de base est équipée d'environ 100 antennes ou plus. Le concept a été proposé par Marzetta [I.14]

Les antennes multiples présentent deux possibilités d'utilisation : La première consiste à fournir un gain de réseau en focalisant l'énergie dans les directions souhaitées et en annulant les directions de signal indésirables (formant un faisceau).

Deuxièmement, il s'agit de fournir un gain de multiplexage spatial en envoyant des flux de données indépendantes sur chaque antenne.

Les deux techniques peuvent être utilisées pour augmenter le débit de données global de l'utilisateur ou du système.

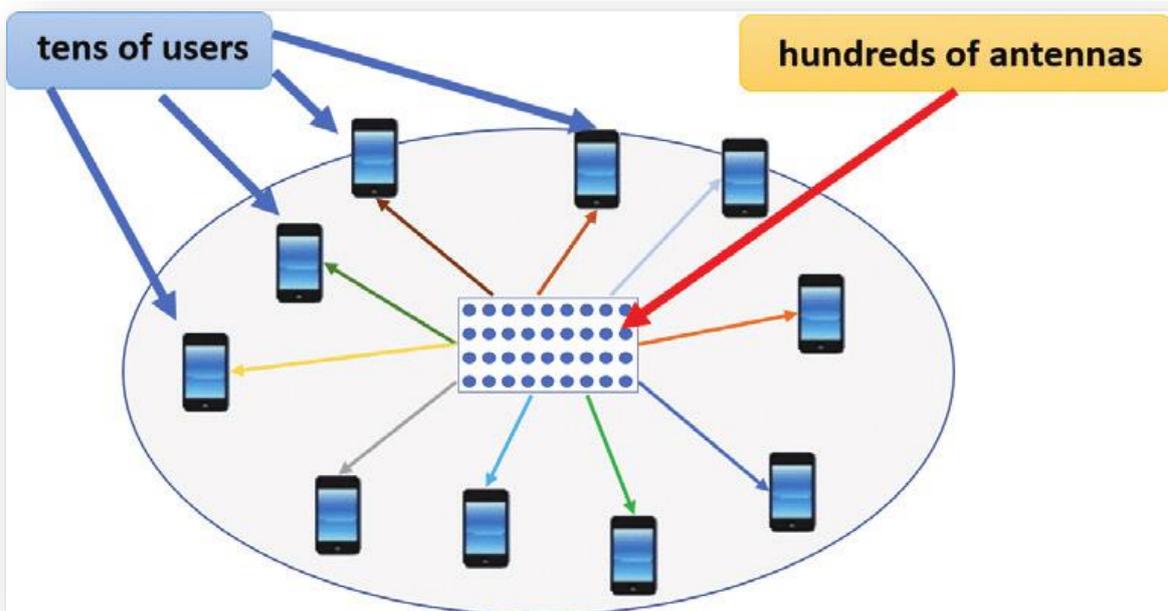


Figure I.6 : Exemple du MASSIVE MIMO 5G.[I.15]

▪ I.6.2. Petites cellules

Les réseaux ayant mûri et les demandes de trafic de données ayant augmenté de manière exponentielle, l'idée de fournir des ressources localisées, de combler les lacunes de la couverture et de maintenir la qualité du service par le biais de déploiements de petites cellules s'est avérée être une solution intéressante, permettant aux opérateurs de suivre de plus près les demandes de trafic et d'utiliser les ressources du spectre plus efficacement, ce qui augmente la capacité des réseaux.

Par dentition, les micros-celles sont des points d'accès sans fil de faible puissance qui fonctionnent dans un spectre sous licence, sont gérés par les opérateurs et offrent une Meilleure couverture cellulaire, une capacité et des applications améliorées pour les foyers et les entreprises ainsi que pour les espaces publics métropolitains et ruraux.

Les micros-celles sont également une composante essentielle des réseaux hétérogènes (HetNets), qui doivent fournir une capacité plus élevée et une efficacité accrue du spectre et améliorer l'expérience des abonnés tout en réduisant le coût par bit du transport des données [I.9]

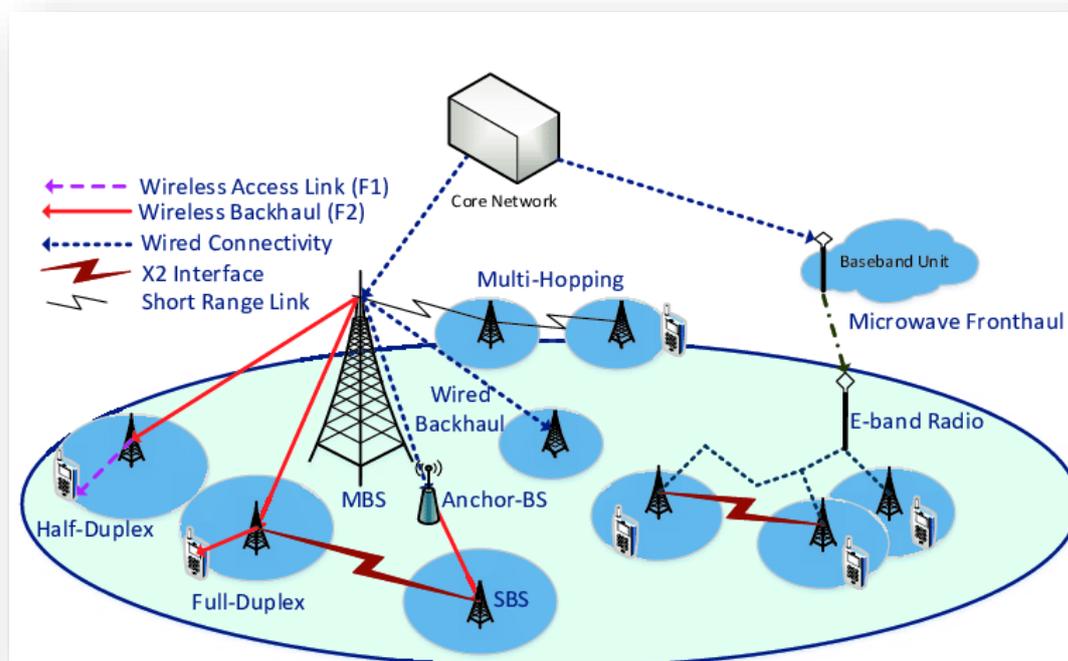


Figure I.7: Small cell networks with wireless 5G.[I.16]

▪ I.6.3. Un duplex plein (Full duplex)

La communication Full Duplex (FD) permet à un dispositif sans fil de transmettre et de recevoir simultanément des données sur la même bande de fréquence. La communication sans fil a toujours fonctionné en mode semi-duplex, en partant de l'hypothèse que les nœuds sans fil ne peuvent pas transmettre en recevant des signaux en raison de l'interférence générée entre les circuits émetteur et récepteur. Ce type de perturbation du signal est appelé auto-interférence. Pour pouvoir utiliser la communication FD, il faut annuler l'effet de l'auto-interférence lors du décodage des signaux. Des études récentes ont abordé ce problème afin d'obtenir un système FD [I.17].

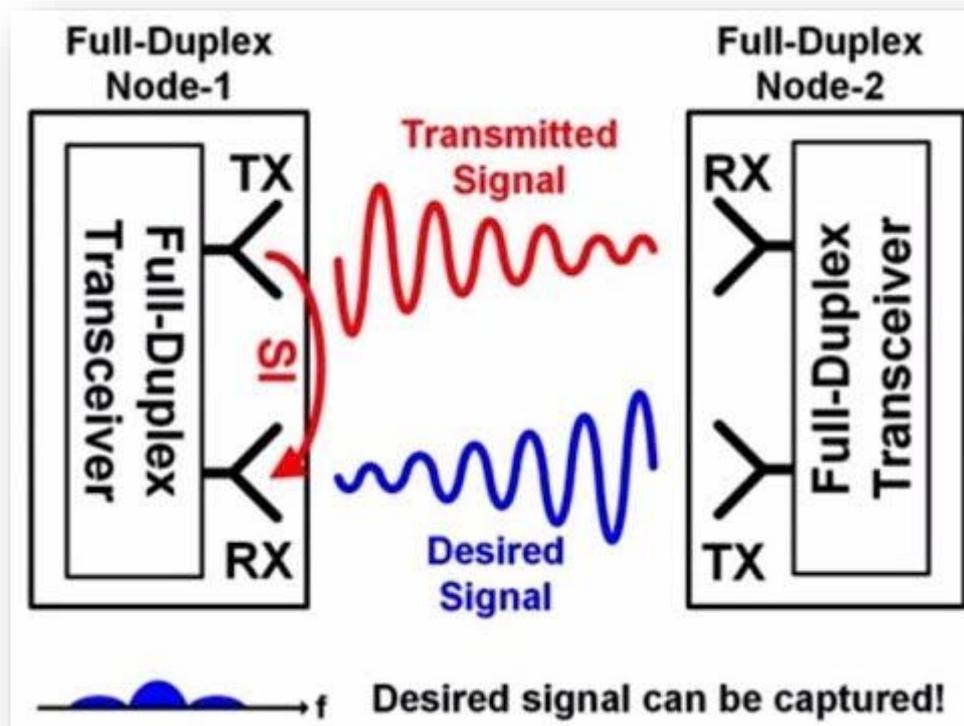


Figure I.8 : Communications sans fil duplex intégral pour la 5G [I.17].

▪ I.6.4. Formation de faisceaux (Beamforming)

Le Beamforming, autrement dit la formation de faisceau est la combinaison de signaux radio provenant d'un ensemble de petites antennes non directionnelles pour simuler une

grande antenne directionnelle. L'antenne simulée peut être pointée électroniquement, bien que l'antenne ne se déplace pas physiquement.

Dans les communications, le Beamforming est utilisée pour pointer une antenne vers la source du signal afin de réduire les interférences et d'améliorer la qualité de la communication. [I.18].

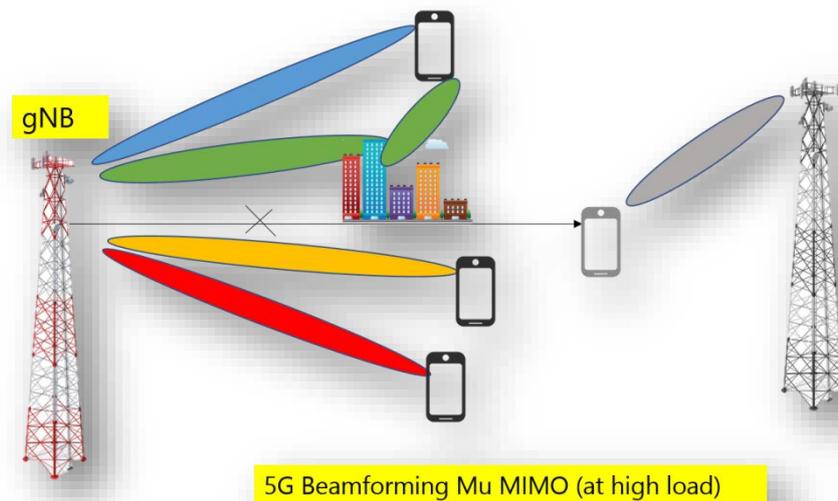


Figure I.9 : Beamforming 5G [I. 4].

▪ **I.6.5. Multiplexage NOMA (accès multiple non orthogonal)**

L'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une méthode d'accès proposée par NTT Do CoMo pour réseau mobile de génération (5 G).

NOMA est un type de multiplexage non orthogonal où les utilisateurs sont multiplexés dans le domaine de puissance, qui n'est pas suffisamment utilisé par les systèmes mobiles sans fil précédents

Plus précisément, les signaux provenant de différents utilisateurs sont superposés du côté de l'émetteur et séparés au niveau du récepteur en utilisant l'annulation d'interférence successive (SIC). [I.19]

▪ **I.6.7. Internet des objets (IoT)**

Internet des objets (IoT) qui combine les progrès de la détection, l'informatique mobile et les plates-formes sont devenues ces dernières années très importantes et omniprésentes dans le monde moderne.

Alors que de plus en plus d'applications sont déployées à l'aide des technologies IoT, la fragmentation des technologies IoT à usage général pour cibler des secteurs particuliers avec des exigences différentes devient nécessaire.

Par exemple, un IoT personnalisé pour la surveillance environnementale de l'eau aurait des exigences différentes à partir d'un IoT personnalisé pour le suivi médical des patients.

Cette dernière application IoT nécessiterait des exigences beaucoup plus élevées et strictes pour le transfert et la sécurité des données en temps réel. [I.20], [I.21].

▪ **I.6.6. Gamme millimétrique**

Les ondes millimétriques sont les ondes radioélectriques couvrant les fréquences de 26 à 300 GHz.

La 5G utilise les très hautes fréquences (extremelyhigh fréquences ; “mmWaves”) ; cela est un des éléments qui la caractérise le plus.

Selon le théorème de capacité de Shannon, augmenter la largeur de bande du système est un moyen efficace d'obtenir des transmissions de données à haut débit [I.22].

Les ondes millimétriques sont caractérisées par une bande passante importante qui se traduit par un débit très élevé et une très faible longueur d'onde. La petite longueur d'onde présente l'avantage de permettre la mise en œuvre d'un grand nombre d'antennes très petites dans une petite zone. [I. 23]

▪ **I.6.8. Communication Device-to-Device (D2D)**

La communication directe d'appareil à appareil (D2D), qui fait référence à la communication directe entre appareils (c'est-à-dire les utilisateurs) sans trafic de données passant par un nœud d'infrastructure, a été largement prévue comme une pierre angulaire

importante pour améliorer les performances du système et prendre en charge de nouveaux services au-delà de 2020 dans le futur système de cinquième génération (5G). [I.24]

▪ **I.6.9. Prise en charge native de la communication machine-to-machine (M2M)**

La communication M2M est définie comme la communication entre deux ou plusieurs appareils dans laquelle une intervention humaine directe n'est pas nécessaire.

Les réseaux sont généralement installés pour l'automatisation de la production industrielle, la surveillance de l'environnement de la maison intelligente

La communication nom Machine du type (MTC) ou communication M2M a été donnée par projet partner ship troisième génération (3GPP). [I.25]

▪ **I.6.10. Software Defined Network (SDN)**

La technologies SDN (*software-Defined Networking*). Elle a été introduite avec la virtualisation en permettant aux équipements de réseaux de se transformer en logiciel Associée à cette définition, une nouvelle architecture a été définie : elle découple le plan de données du plan de contrôle. [I.26]

▪ **I.6.11. Network Fonction Virtualisation (NFV)**

La virtualisation des fonctions réseau (Network Functions Virtualization) est une initiative destinée à virtualiser des fonctions réseau précédemment gérées par du matériel dédié. C'est une nouvelle façon de concevoir, déployer et gérer les services réseau, le NFV dissocie les fonctions réseau des systèmes matériels propriétaires, pour les exécuter au niveau du logiciel.

Le NFV exploite les technologies de virtualisation d'entreprise standard pour consolider de nombreux types d'équipement réseau sur des serveurs, des commutateurs et des systèmes de stockage standards. Elle réduit de ce fait le matériel, l'alimentation et les besoins d'espace du data center [I.27]

▪ I.6.12. CloudRAN (C-RAN)

Une orientation majeure adoptée par la 5G repose sur l'utilisation du Cloud. Exploitant le concept C-RAN (*Centralized Radio Access Network*), également appelé Cloud RAN, les stations de base utiliseront des ressources partagées et un Cloud centralisé.

C-RAN permet le déploiement d'un grand nombre de cellules ce qui permet d'améliorer l'évolutivité des réseaux 5G ainsi que d'augmenter leurs capacité et couverture.

. En fait, la proposition de solutions basées sur le Cloud dans le domaine informatique a révolutionné l'industrie ces dernières années [I .28].

I.7. CONCLUSION

Nous avons parcouru dans ce chapitre une description de l'évolution de la 5G et un ensemble de technologie dans le domaine des télécommunications. On a découvert l'importance de la 5G et toutes les technologies associées, visant à atteindre un niveau d'intelligence sans limite à partir de technologies récentes. Les services offerts par cette technologie sont nombreux, nous citons dans ce qui suit quelques avantages :

- ✚ le nombre d'appareils connectés au réseau sans fils ne cesse d'augmenter
- ✚ L'augmentation de l'interconnectivité entre les matériels
- ✚ Minimiser les temps de réponse (exemple : chirurgie à distance à l'aide de robot)
- ✚ Ville intelligente, véhicule intelligente, ...
- ✚ l'augmentation des débits (débit de la 5g en 2020 : 10Gbits/s, soit 10 fois plus grand para port à la 4g (LTE advence).

CHAPITRE 2

***LES ANTENNES IMPRIMEES ET
LA BANDE MILLIMETRIQUE***

II.1. INTRODUCTION

La communication sans fil de tous types a connu un grand essor durant ces dernières décennies. C'est le besoin de communiquer sur des distances de plus en plus importantes, avec une grande capacité de transfert des informations, qui a donné naissance aux nouvelles techniques de télécommunication.

Avec les télécommunications s'ouvrent des perspectives immenses dans le domaine du transport de l'information à l'échelle du monde. Toute communication sans fil est assujettie à l'utilisation d'antennes aux deux extrémités de la liaison de télécommunication. Il est impossible de réaliser une transmission sans fil sans l'emploi d'antennes d'émission et de réception.

De nombreuses antennes émettrices-réceptrices sont érigées afin de permettre la transmission des informations sous forme de signaux entre les utilisateurs. Ce dispositif constitue une pièce maîtresse des systèmes de télécommunications sans fil, permettant aux utilisateurs de communiquer, d'échanger des informations et d'accéder à l'Internet partout où ils se trouvent. L'antenne est présente aux deux extrémités de la liaison.

Les systèmes de communication sans fil exigent inévitablement des débits très élevés, afin de répondre à l'augmentation exponentielle des quantités de données, notamment pour la vidéo haute définition, à transmettre que ce soit pour les réseaux fixes ou mobiles. Parmi les applications de ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes.

II.2. DEFINITION D'UNE ANTENNE :

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [II.29].

L'antenne est un des organes clés de la télécommunication terrestre et spatiale, permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. Son rôle est de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique rayonnée dans l'espace libre. La même antenne peut être utilisée pour émettre et recevoir [II.30].

Notre projet consiste de travailler en ondes millimétriques [26-300GHz] afin de disposer d'une bande de fréquences suffisantes (plusieurs Gigahertz) répondant à ces nouvelles spécifications système.



Figure II.1 : Antenne 5G [II .31]

II.3. LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES D'UNE ANTENNE

Une antenne se définit par les caractéristiques principales suivantes : Le coefficient de réflexion, la bande passante, le diagramme de rayonnement, la polarisation et le gain de l'antenne [II.32].

▪ II.3.1. Impédance d'entrée

Considérons une antenne dont on peut définir les deux bornes d'entrée A et B.

Soient V_e la tension entre les bornes A et B et I_e le courant d'alimentation de l'antenne. L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par :

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} \quad (\text{II.1})$$

▪ II.3.2. Coefficient de réflexion

Nous définissons la qualité d'adaptation d'une antenne soit en donnant son impédance caractéristique (souvent 50 ohms), soit en donnant son niveau de coefficient de réflexion. Le

plan situé entre la source d'émission et l'antenne présente une discontinuité caractérisée par le coefficient de réflexion [II.33].

Par définition, ce coefficient S11 (généralement exprimé en dB) est présenté par le rapport entre l'onde réfléchie et l'onde incidente à l'antenne donnée par la relation suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{II.2})$$

▪ II.3.3. Rapport d'onde stationnaire (ROS)

Le Rapport d'ondes Stationnaires, R.O.S, quantifie le niveau d'adaptation (ou plus exactement de désadaptation). Ce rapport tend vers 1 lorsque la chaîne est parfaitement adaptée, à l'infini lorsque la chaîne est totalement désadaptée.

Afin d'assurer une meilleure transmission d'énergie, plusieurs techniques d'adaptation se présentent telles que l'adaptation simple stub, double stub et quart d'onde. [II.33] il est donné par la relation suivante :

$$ROS = \frac{(+V) + (-V)}{(+V) - (-V)} \quad (\text{II.3})$$

Peut exprimer en fonction de coefficient de réflexion comme ce suit :

$$ROS = \frac{1 - |\Gamma|}{1 + |\Gamma|} \quad (\text{II.4})$$

▪ II.3.4. Diagramme de rayonnement

Par définition, il s'agit de la représentation des propriétés de rayonnement suivant les coordonnées spatiales.

La propriété de rayonnement la plus préoccupante est la distribution spatiale à deux ou à trois dimensions (2D ou 3D) de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un chemin ou d'une surface de rayon constant.

Il existe trois modèles de rayonnement couramment utilisés pour décrire la propriété du rayonnement d'une antenne :

- (a) **Isotrope** – Une antenne hypothétique sans perte ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. Il est valable uniquement pour une antenne idéale et est souvent pris comme référence pour exprimer les propriétés directives des antennes pratiques.
- (b) **Directionnel** – Une antenne qui possède la propriété de rayonnement ou réception des ondes électromagnétiques d'une manière plus efficace dans certaines directions que dans d'autres. Cela est généralement applicable à une antenne où sa directivité maximale est significativement supérieure à celle d'un dipôle demi-onde.
- (c) **Omnidirectionnel** – Une antenne ayant un modèle non-directionnel essentiellement dans un plan donné et un modèle directionnel dans n'importe quel plan orthogonal.

[II 34]

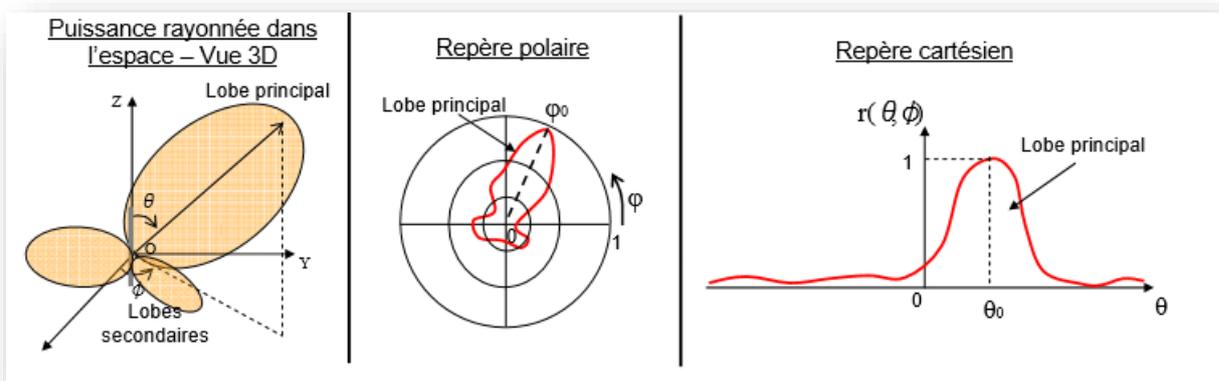


Figure II.2 : Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne. [II 34]

▪ I.3.5.Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (φ, Θ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée. [II.35] exprimé comme suit :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P} \quad (\text{II.5})$$

Avec : U est l'intensité de rayonnement de l'antenne, et P est la puissance totale rayonnée

▪ I.3.6. Gain

La puissance rayonnée par une antenne varie généralement selon la direction considérée.

Le gain d'une antenne dans une direction (Θ, φ) est le rapport de la puissance rayonnée dans cette direction $P(\Theta, \varphi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation [II.35] et il est exprimé par :

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta, \varphi)} \quad (\text{II.6})$$

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante :

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (\text{II.7})$$

▪ II.3.7. bande passante

La bande passante est une bande où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal.

Dans la plupart des cas, la bande passante est définie en fonction du coefficient de réflexion. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Cependant, un critère typique est d'avoir un coefficient de réflexion inférieur à -10 dB sur toute la bande passante.

Certaines antennes sont très sélectives (bandes passantes très étroites), d'autres peuvent être utilisées sur une très large bande de fréquences.

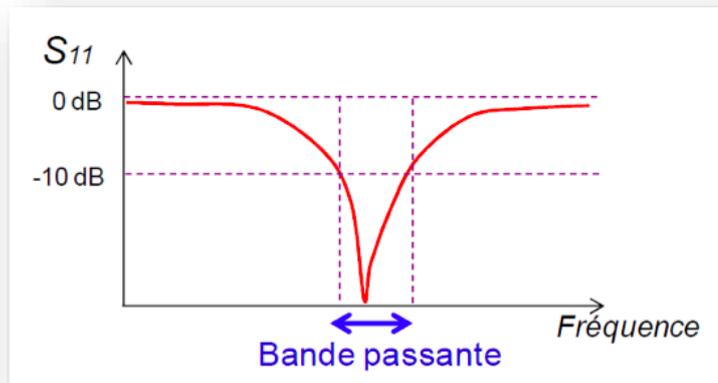


Figure II.3 : Exemple d'un coefficient de réflexion et bande passante d'une antenne

[II 29].

II.4. LES ANTENNES IMPRIMEES

L'idée de l'antenne imprimée est née dans les années 50 quand des chercheurs étudiaient les discontinuités qui existent dans les circuits micro-ondes planaires, mais la réalisation pratique du premier prototype vit le jour pendant les années 70, notamment grâce à l'amélioration des techniques de photogravure du cuivre et de l'or sur substrat diélectrique [II.36] [II.37].

▪ II.4.1. Structure d'une antenne imprimée

Une antenne imprimée est constituée d'une métallisation de forme géométrique appropriée (rectangulaire, circulaire) appelée élément rayonnant déposé sur une face d'un substrat diélectrique, l'autre face est complètement ou partiellement métallisée, elle représente le plan de masse. Une représentation schématique d'une antenne imprimée de forme rectangulaire est donnée par la Figure II. 4 [II.36].

Il faut savoir que les paramètres de l'antenne imprimée (fréquence de résonance, impédance d'entrée) sont caractérisés par l'épaisseur et la permittivité ainsi que les dimensions de l'élément rayonnant. Il existe plusieurs formes d'antennes imprimées, les plus courantes et les plus faciles à mettre en œuvre sont : la forme rectangulaire, circulaire, triangulaire, en anneau et elliptique (Figure II. 4) [II.37].

Dans notre travail, nous nous contenterons d'étudier l'antenne imprimée en technologie planaire [II.38], Figure II. 4 montre la topologie d'une structure métallique de fine épaisseur et de plusieurs formes.

L'élément rayonnant est positionné sur un diélectrique métallisé sur sa face inférieure afin de réaliser le plan de masse

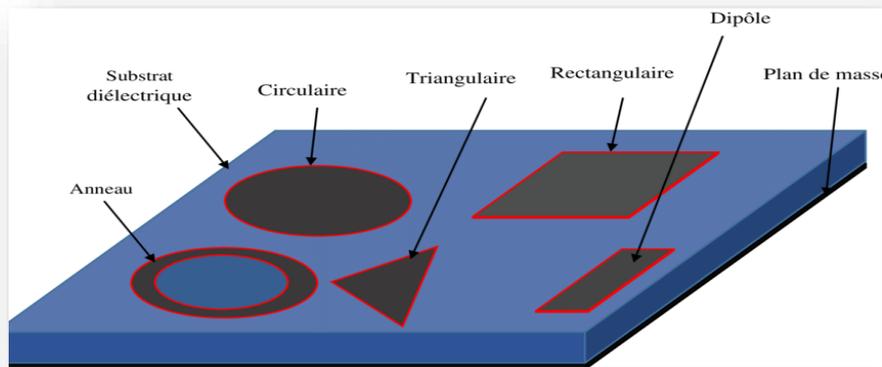


Figure II.4 : Structure d'antenne imprimée.[II.38]

▪ II.4.2. Avantages et inconvénients de l'antenne patch

Les antennes patch présentent de nombreux avantages et quelques inconvénients comparés à d'autres antennes dans le domaine d'hyperfréquence, ils sont décrits dans le tableau suivant :

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| Une structure légère et volume faible. | Bande passante souvent étroite |
| Un faible coût de fabrication. | Une directivité faible pour un seul élément rayonnant (de l'ordre de 6 dB). |
| La possibilité d'impression sur des substrats souples. | Une faible tenue de puissance. |
| Compatibilité avec les circuits MMIC | Un risque de rayonnement parasite dû aux jonctions avec l'alimentation. |
| La possibilité de modifier la polarisation de l'onde en agissant sur la géométrie et l'excitation de l'élément rayonnant. | La difficulté d'obtenir une haute pureté de polarisation. |

Tableau II.1 : Les avantages et inconvénients de l'antenne patch

▪ II.4.3. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch

La forme géométrique de l'antenne patch nous permet de mieux comprendre son mécanisme de rayonnement.

L'onde électromagnétique qui se forme après l'excitation de la ligne d'alimentation va se propager tout au long pour rencontrer l'élément rayonnant qui est généralement plus large que la ligne.

Dans ce cas, on a une distribution de charge qui va s'établir sur et sous l'élément et entre le plan de masse et substrat. La Figure 1.3 illustre ce phénomène.

Le cas présenté correspond au mode fondamental de l'antenne. Ces distributions avec l'association des densités des courants engendrent une distribution des champs électriques représentés à la figure 1. 4 dans le mode fondamental [II.40]

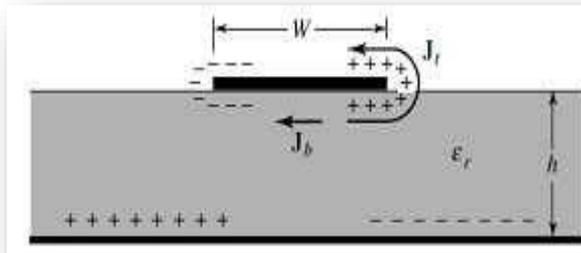


Figure II.5 : Distribution de charge.[29]

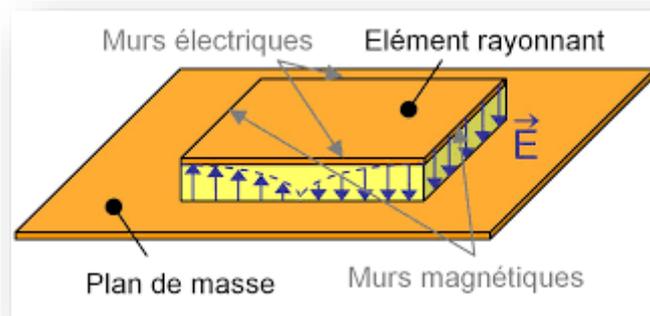


Figure II.6 : Distribution de champ électrique. [II.41]

▪ II.4.4. Techniques d'alimentation des antennes patch

Les antennes patch peuvent être alimentées par une diversité de techniques qui peuvent être classifiées en deux catégories, avec contact et sans contact

Dans les méthodes avec contact, la plaque rayonnante est directement alimentée en utilisant un élément de connexion comme une ligne Microstrip tandis que dans les méthodes sans contact, le transfert de la puissance entre la ligne Microstrip et le patch rayonnant est assuré par le couplage de champ électromagnétique.

Les cinq modes d'alimentation les plus répandues sont [II.42] :

○ la ligne Microstrip

Dans ce type d'alimentation, une bande de conduite est relié directement au bord du patch de micro ruban. La bande de conduite est plus petite dans la largeur par rapport au patch. L'avantage du type d'alimentation est qu'elle peut être gravie sur la même face de l'antenne, elle est facile à fabriquer.

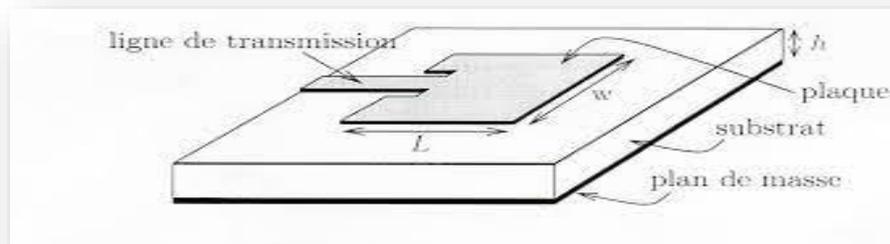


Figure II.7 : Antenne patch alimenté par ligne Microstrip. [II.42]

○ la sonde coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation de sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans Figure 6. Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch.

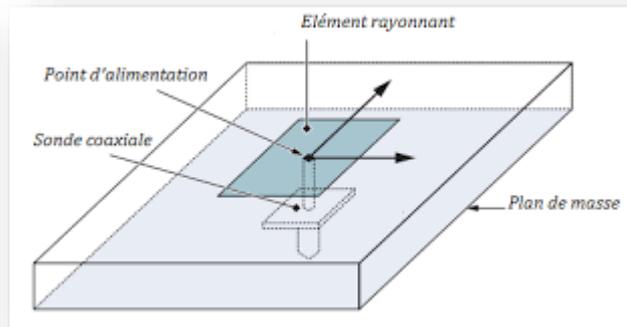


Figure II.8 : Antenne patch alimenté par Sonde coaxial. [II 42]

○ **le couplage par ouverture**

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indiqué sur la Figure7. La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. [II.42]

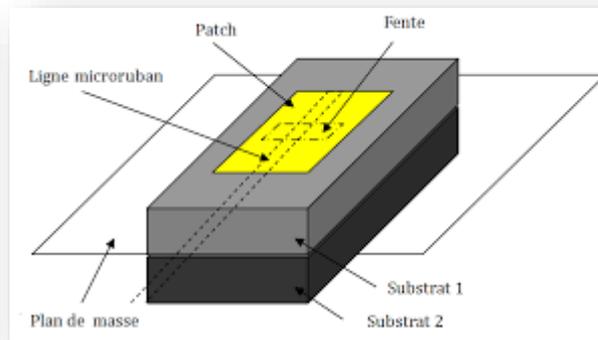


Figure II.9 : Antenne patch alimenté par le couplage par ouverture. [II.42]

○ **le couplage par proximité**

Cette technique d'alimentation est connue également sous le nom de couplage électromagnétique. Deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est située entre les deux substrats et le patch est imprimé sur le substrat supérieur (figure II .8).

L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le rayonnement parasite dû à l'alimentation et fournit une largeur de bande élevée, en raison de

l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande. Cette technique fournit également des choix entre deux milieux diélectriques différents, un pour le patch et un pour la ligne d'alimentation pour optimiser les performances de l'antenne. [II.43]

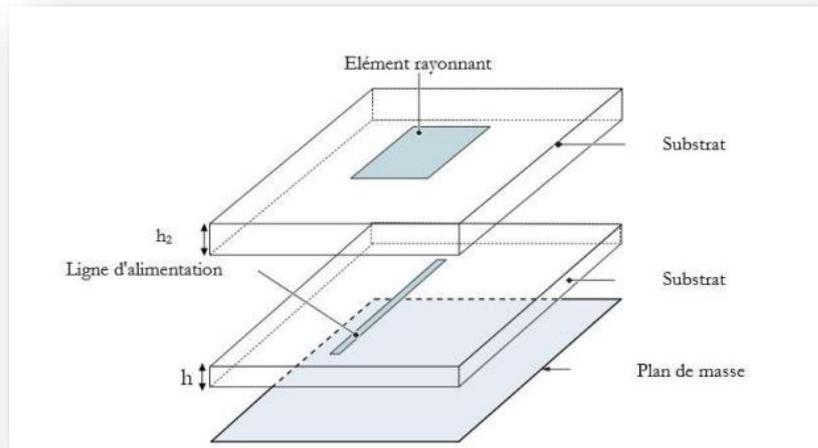


Figure II.10 : Antenne patch alimenté par couplage de proximité [II.44]

o l'aligne coplanaire

La forme générale de la ligne coplanaire à ruban (CPS), illustrée par la figure (II.11) est constituée d'une paire de rubans conducteurs, de largeur W et d'épaisseur t_0 , séparés par une fente étroite de largeur S , sur un substrat diélectrique d'épaisseur h . Dans cette ligne de transmission, les lignes du champ électrique s'étendent à travers la fente et les lignes du champ magnétique entourent le ruban conducteur [II 45]

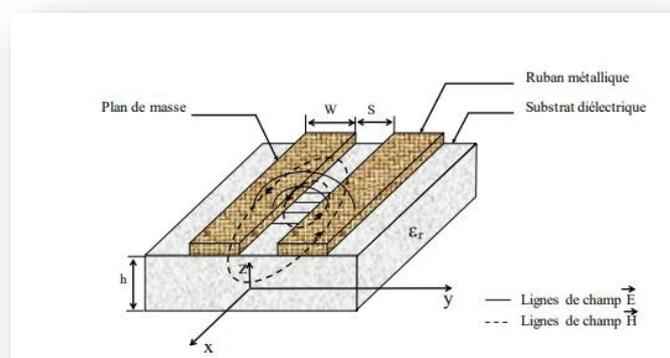


Figure II.11: Forme générale de CPS [II 45]

Chaque technique d'alimentation présente des avantages et des inconvénients, ce qui la rend utilisable pour des applications et pas pour d'autres.

II.5. LA BANDE MILLIMETRIQUE :

La bande millimétrique est une bande du spectre électromagnétique correspondant à des longueurs d'onde entre [1mm-10mm] à une propagation sur la plage de fréquence de [26 GHz-300GHz]. En effet, la communication par les ondes millimétriques est une solution d'un avenir proche pour la transmission des réseaux cellulaires mobiles sans fil, les réseaux locaux sans fil, les réseaux personnels [II.46].

Nous allons lister succinctement les avantages et les inconvénients d'une utilisation de ces bandes millimétriques :

- L'utilisation d'une large bande passante de (26 GHz-300 GHz) par rapport aux autres ondes radio des réseaux sans fil
- Faisceaux étroits : avec la même taille d'antenne, il est possible d'emballer plus d'éléments d'antenne aux fréquences mmW
- Elle offre au moins une bande passante continue de 5 GHz au monde dans le cas de certaines bandes, comme la bande autour de 60 GHz.

Malgré ces avantages, la bande millimétrique fait face à certains inconvénients comme :

- Une courte portée.
- Une grande atténuation.

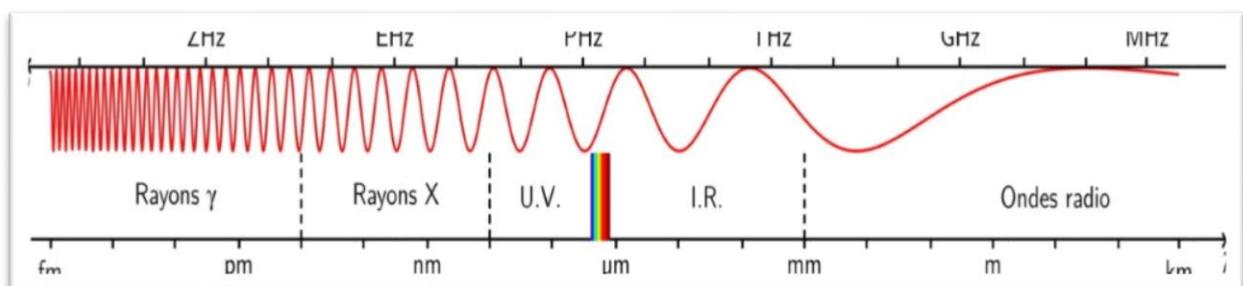


Figure II.12 : Micro-ondes et spectre de fréquences ondes millimétriques. [II.46].

II.6. POURQUOI LA BANDE 28 GHz

Le spectre à large bande du service de distribution multipoint local LMDS (Local Multipoint Distribution Service) inutilisé ou sous-utilisé existe à 28 GHz, dans la bande Ka

(27- 40 GHz) et étant donné la faible absorption atmosphérique, le spectre à 28 GHz a une perte de trajet dans l'espace libre très comparable à celle des bandes cellulaires actuelles de 1 à 2 GHz. En outre, l'affaiblissement dû à la pluie et la perte d'oxygène n'augmentent pas significativement à 28 GHz et, en fait, peuvent offrir de meilleures conditions de propagation par rapport aux réseaux cellulaires actuels si l'on considère la disponibilité d'antennes adaptatives à gain élevé et la taille des cellules de l'ordre de 200 mètres.

II.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une manière générale les antennes, où on s'est intéressé plus précisément aux antennes imprimées. Nous avons abordé les paramètres et les caractéristiques de ces antennes ainsi que les techniques d'alimentation des antennes patch et leurs principaux avantages.

Nous avons également abordé la bande millimétrique qui revêt une importance capitale pour les mobiles de cinquième génération, bien que les antennes patch présentent un grand intérêt grâce à leur commodité et compatibilité avec les instruments de télécommunication les plus récents. Ce type d'antennes présente toujours des problèmes notamment leur faible gain et limitation de leur bande, qu'on essaye d'optimiser afin d'obtenir de meilleures performances et à moindre coût.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste en la simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio.

CHAPITRE III
CONCEPTION ET FABRICATION
D'ANTENNE 5G
BANDE MILLIMETRIQUE

III.1 INTRODUCTION

Ce chapitre traite les différentes étapes pour concevoir une antenne imprimée pour une application 5G à l'aide des deux simulateurs CST et HFSS.

En premier, nous avons choisi le logiciel de simulation électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO (MWS), qui se caractérise par son analyse rapide et précise des structures hautes fréquences (HF) tels que les antennes.

Dans cette partie nous présenterons en premier lieu le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (MWS), après nous aborderons la description des différents modules à réaliser et nous définirons notre cahier de charge, ensuite dans un second lieu nous aborderons en détail les étapes impliquées pour déterminer les paramètres géométriques de l'antenne imprimée (patch rectangulaire) en se basant sur la théorie des antennes.

III.2 OUTIL DE SMULATION

▪ III.2.1 Définition

L'outil CST MICROWAVE STUDIO (CST MWS) est basé sur la technique d'intégration finie (FIT), une approche très générale, qui décrit les équations de Maxwell sur un espace de grille et peut être écrite dans le domaine temporel ainsi que dans le domaine fréquentiel et n'est pas restreinte à un certain type de grille. Un grand pas en avant dans le domaine du maillage a été introduit par une méthode appelée "Perfect Boundary Approximation (PBA)" et a permis à une technique de représenter les courbes et les inclinaisons très précisément dans une discrétisation grossière.

L'un des principaux avantages du (solveur de domaine temporel) de CST MWS est que les besoins en ressources ne s'échelonnent que linéairement avec le nombre de nœuds de maillage et donc la taille du problème, ainsi, il est possible de manipuler de grandes structures rayonnantes et même des réseaux complets avec plus de quelques centaines d'éléments rayonnants, la capacité d'extraire une haute résolution d'antenne à large bande

Une méthode du domaine fréquentiel basée sur le maillage hexa et tétraédrique a été introduite pour se concentrer sur le sous-ensemble de problèmes où cette technique excellait,

par exemple dans des antennes à bande étroite, des dispositifs électriquement plus petits ou des cellules unitaires à réseau phrasé.

Les deux solveurs - domaine temporel et fréquentiel - sont entièrement disponibles sur une interface utilisateur commune [III 47].

▪ III.2.2 Description des modules à réaliser

Pour une première structure nous calculons les dimensions d'antenne (patch, ligne d'alimentation, ligne d'adaptation) en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative ϵ_r , l'épaisseur h) et le choix de la fréquence de résonance (28 GHz), et pour l'alimentation nous avons choisi l'alimentation par ligne (microruban).

▪ III.2.3 Caractéristiques du substrat :

Ce projet consiste à réaliser une antenne patch Microstrip pour l'application 5 G à une fréquence (28 GHz). Les valeurs des différents éléments de l'antenne sont présentées dans le cahier de charge (tableau III.1)

| Le type de matériaux | Les composants d'antenne | Hauteur (mm) | Permittivité diélectrique |
|--------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| FR-4 (Lossy) | Substrat | 1.6 | 4.3 |
| Copper (annealed) | Plan de masse et le Patch | 0.035 | |

Tableau III.1 : Le cahier de charge

III.3.CONCEPTION DE L'ANETANNE RECTANGULAIRE

D'abord pour une conception d'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban, nous avons deux différentes approches qui peuvent être employées pour améliorer l'adaptation de l'antenne [III.29]. La première consiste à introduire des encoches à l'entrée du patch, comme indiqué dans la figure(III.1) (a) Coupled.

Dans notre projet nous avons utilisé la deuxième méthode, qui utilise un transformateur quart d'onde pour adapter l'antenne à 50 Ohm figure III.1 $\lambda/4$ (b) impédance transformée.

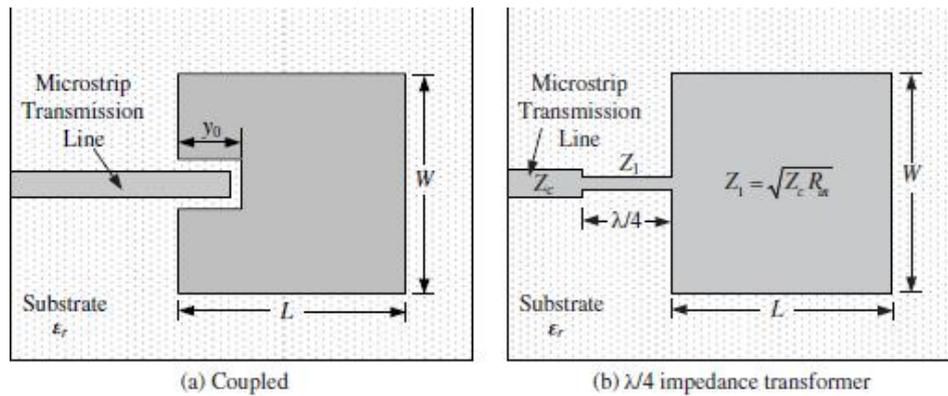


Figure III.1 Techniques d'alimentation alternative de l'antenne microruban pour l'adaptation d'impédance[III.29].

▪ III.3.1. Calcul les dimensions du patch

Nous avons calculé la longueur et la largeur de l'antenne patch rectangulaire à partir des équations (III.1) et (III.2)

III.3.1.1. calcul de la largeur de patch

$$W = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon r + 1}} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

$c = 3 \cdot 10^8$ [la vitesse de la lumière].

$fr = 28$ GHz [Fréquence de résonance].

$\epsilon r = 4.3$ [permittivité relative].

➤ Nous obtenons une largeur de patch égale **3.2905666 mm**

III.3.1.2. calcul de la longueur de patch

D'après l'équation (III.2), nous avons calculé :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (\text{III.2})$$

L : la longueur de patch.

L_{eff} : la longueur de patch en présence de l'effet de débordement (fringing effects)

Maintenant nous avons calculé L_{eff}

$$L_{eff} = \frac{c}{2fr \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$c = 3 \times 10^8$ [la vitesse de la lumière].

$f_r = 2.6$ GHz [Fréquence de résonance].

ϵ_{eff} : représente la permittivité effective de l'antenne

Et pour calculer (L_{eff}), il faut d'abord calculer (ϵ_{reff}) et elle est définie par l'équation suivante :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{III.4})$$

Pour trouver la valeur de L faut calculer aussi delta L comme suit :

$$\Delta L = 0.412 \times h \times \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \times \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \times \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (\text{III.5})$$

Par la suite :

➤ Nous obtenons une longueur de patch qui est égale à **1.694488 mm**

▪ III.3.2. Calcul des dimensions de la ligne micro ruban

III.3.2.1 Longueur de la ligne d'alimentation :

Généralement la longueur de la ligne d'alimentation est de l'ordre de la demi-longueur d'onde, dans notre projet nous utilisons en premier lieu une ligne quart d'onde et en seconde lieu une ligne demi- onde :

$$L_{f1} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (\text{III.6.1})$$

$$L_{f1} = \frac{\lambda_g}{2} \quad (\text{III.6.2})$$

Avec :

λ_g : longueur d'onde dans substrat

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{III.7})$$

Avec

λ_0 : longueur d'onde dans le vide

Nous avons obtenus les résultats de la ligne d'alimentation suivante :

Pour une ligne quart d'onde $Lf1 = 1.482111 \text{ mm}$

Pour une ligne demi onde $Lf1 = 2.9642274331 \text{ mm}$

III.3.2.2. Largeur de la ligne d'alimentation

Pour adapter l'antenne à son alimentation, la largeur de la ligne est déterminée en fonction de l'impédance caractéristique (Z_c qui est généralement égale à 50 Ohm) en utilisant l'équation suivante [2] :

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}} \left[\frac{w_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w_f}{h} + 1.444 \right) \right]}} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

- h : L'épaisseur du substrat.
- W_0 : La largeur de la ligne d'alimentation.
- ϵ_{reff} : représente la permittivité effective de l'antenne

➤ Nous obtenons une largeur de la ligne d'alimentation $wf1 = 3.111843116259 \text{ mm}$

Cette valeur de (wf) est valide pour la ligne quart d'onde et demi onde.

▪ III.3.3. Calcul des dimensions du plan de masse et substrat

III.3.3.1. Largeur de l'antenne (largeur de plan de masse et substrat) :

La largeur de plan de masse généralement calculée par deux méthodes :

La première :

$$Wg = 2 \times wp \quad (\text{III.9.1})$$

Avec :

wp : largeur de patch.

ws : largeur de substrat.

La deuxième méthode :

$$wg = wp + (5 a 10) \times hs \quad (\text{III.9.2})$$

Dans notre cas nous avons pris 5 et le résultat obtenu : $wg=11,2905666$ mm

Avec :

wp : largeur de patch.

ws : largeur de substrat.

hs : hauteur de substrat.

Remarque : $wg= ws$

III.3.3.2. Longueur de l'antenne (largeur de plan de masse et substrat)

Toutes les étapes de calcul sont mentionnées précédemment, donc on utilise les deux relations suivantes :

La première :

$$Lg = 2 \times Lp \quad (\text{III.10.1})$$

Avec :

Lp : longueur de patch.

La deuxième relation.

$$Lg = Lp + (5a 10) \times hs \quad (\text{III.10.2})$$

Dans notre cas nous avons pris cinq et nous avons obtenus $Lg=9,694488$ mm

Avec :

Lp : longueur de patch

hs : hauteur de substrat.

▪ III.3.4 Dimension de la ligne d'adaptation

Nous avons utilisé un transformateur quart d'onde pour adapter l'antenne à 50 Ohm. Selon Balanis pour calculer les dimensions de la ligne d'adaptation il faut d'abord calculer l'impédance de cette ligne :

➤ l'impédance du patch :

$$R_{in} = 90 \times \frac{(\epsilon_r)^2}{\epsilon_r - 1} \times \left(\frac{L}{W}\right) \quad (\text{III.11})$$

Avec :

L : longueur de patch

W : largeur de patch

ϵ_r : Permittivité relative de substrat.

➤ Nous avons obtenus **$R_{in}=259,67885$ ohm**

Après avoir calculé R_{in} , maintenant, nous allons calculer Z_1 selon la figure (III .1) (b) tel que :

$$Z_1 = \sqrt{R_{in} \times Z_c} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

R_{in} : impédance d'entrée de patch.

Z_c : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation. 50ohm

Nous avons obtenus **$Z_1=113,946675$ ohm**

Maintenant, nous pouvons calculer la largeur de la ligne en utilisant l'équation (III.8) au lieu d'utiliser Z_c , on prend Z_1 et on tire la largeur de la ligne

$w_f= 0.4999$ mm

Par la suite, nous avons utilisé une ligne quart d'onde de longueur

$L_f = 1.5650526437161$ mm

Le tableau ci-dessous présente un résumé de toutes les dimensions de l'antenne :

| Paramètres | (mm) |
|-------------------------|-----------------|
| W_g | 11.2905666 |
| L_g | 9.694488 |
| W_p | 3.2905666 |
| L_p | 1.694488 |
| W_{f1} | 3.111843116259 |
| L_{f1} (quard d'onde) | 1.482111 |
| L_f (demi-onde) | 2.9642274331 |
| W_f | 0.4999 |
| L_f | 1.5650526437161 |
| ht | 0.035 |
| hs | 1.6 |

Tableau III.2 : Dimensions d'antenne

III.4.SIMULATION DE L'ANTENNE

▪ III.4.1.Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/4$

La structure proposée est une antenne planaire sous forme d'un rectangle rayonnant, Cet élément est alimenté au centre par une ligne micro ruban avec une impédance qui est égale à 50 ohms, cette impédance dépend principalement de ces paramètres géométriques, elle possède un plan de masse imprimé dans la même surface au-dessous du substrat définit par une longueur « L_g ». L'épaisseur de la métallisation est un paramètre non modifiable fixé par la technologie de fabrication. D'autre part, l'impédance caractéristique de la ligne est indépendante de la longueur de la ligne.

La figure (III.2) représente les dimensions de l'antenne conçue :

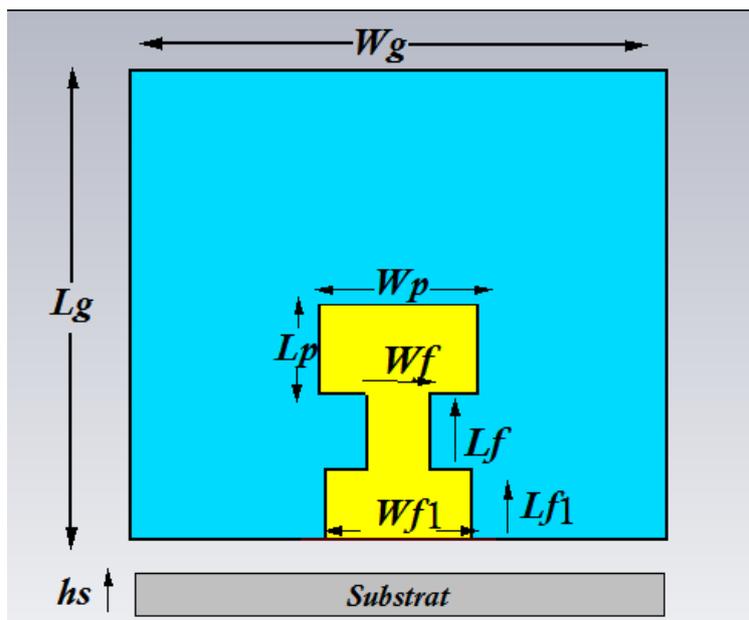


Figure III.2 Structure l'antenne $\lambda/4$

La figure (III.3) montre les résultats de simulation du paramètre S11 de l'antenne

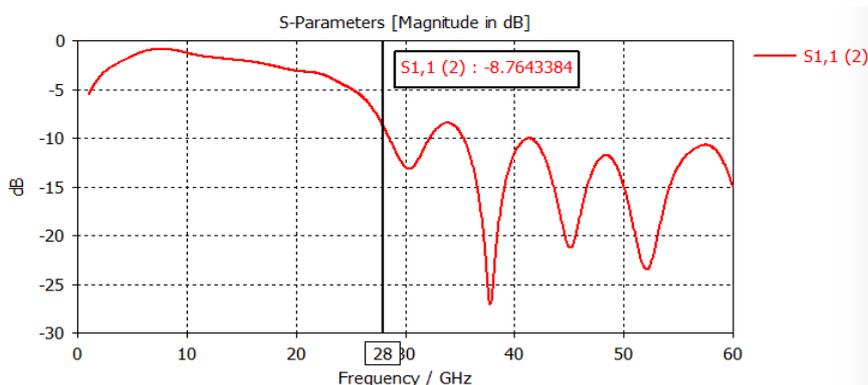


Figure. III.3 coefficient de réflexion de l'antenne initiale

Nous remarquons que le coefficient de réflexion S11 ne rayonne pas dans notre fréquence de résonance 28 GHz.

S11 est au-dessus de -10dB dans la fréquence de résonance 28GHz, ce qui conduit à une désadaptation de l'antenne notamment à la fréquence désirée. Pour avoir une bonne adaptation de l'antenne, on doit faire une étude paramétrique sur la longueur de patch et la largeur de la ligne d'adaptation.

III.4.1.1 ETUDE PARAMETRIQUE

III. 4.1.1.1. Etude paramétrique sur la largeur de ligne d'adaptation

Ce paragraphe est consacré à l'étude de l'influence de différents paramètres sur le coefficient de réflexion S11, une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres afin de les optimiser et aboutir à une structure finale efficace.

On présente d'abord les résultats de simulation de l'effet la largeur (Wf) de la ligne d'adaptation et nous avons fixé les autres paramètres, la figure (III.4) montre les résultats de simulation :

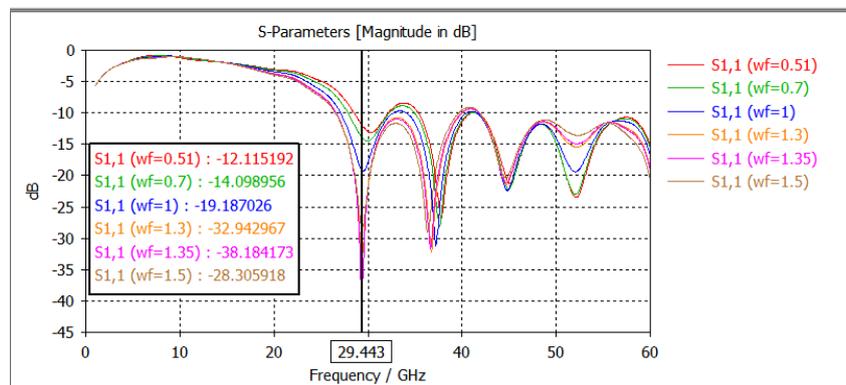


Figure. III.4 coefficient de réflexion de l'antenne

Nous avons eu une meilleure adaptation pour $Wf=1.35\text{mm}$ mais à la fréquence 29.443GHz, aussi il existe un rayonnement sur notre fréquence comme indiqué dans la figure (III.5), le S11 à 28 GHz est égale à -15,71 dB, alors nous allons mener une étude paramétrique sur la longueur de patch (L_p) pour rétrograder la fréquence à 28GHz et on fixe la valeur de (Wf) = 1.35 mm .

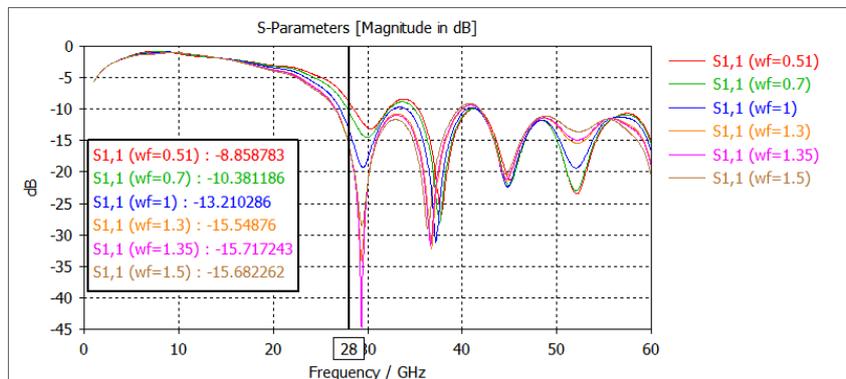


Figure. III.5 : Coefficient de réflexion de l'antenne (28GHz)

III.4.1.1.2. Etudes paramétriques sur la longueur de patch :

Pour y arriver à la fréquence 28 GHz, nous allons utiliser l'option (paramètre sweep). C'est ce que nous montre la figure suivante :

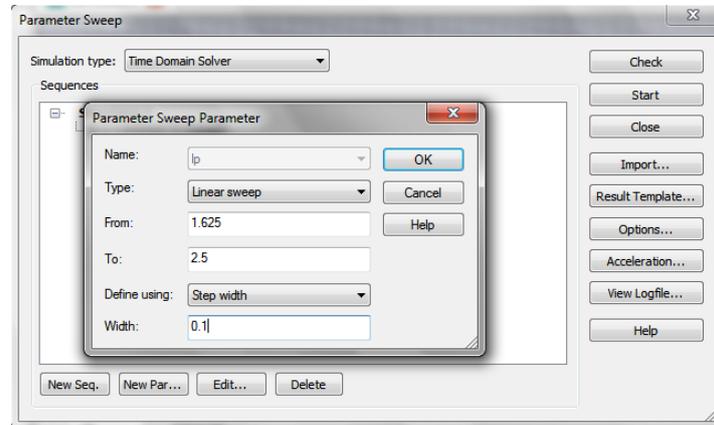


Figure. III.6 : parameter sweep

Nous avons obtenu les résultats présentés sur la figure (III.7) :

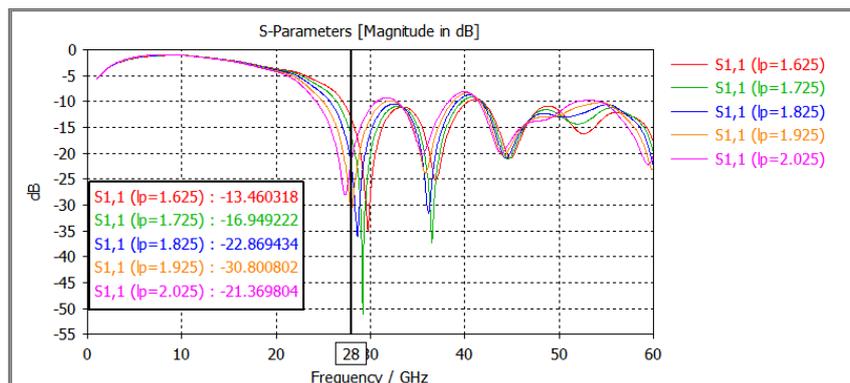


Figure. III.7 coefficient de réflexion de l'antenne (28GHz)

Nous observons que pour la longueur de patch $L_p=1.925$ mm, l'antenne présente une meilleure adaptation avec une valeur de coefficient de réflexion égale à -30.800 dB à la fréquence 28GHz.

III.4.1.2. Structure de l'antenne finale

Nous allons présenter maintenant la structure de l'antenne finale dans la figure (III.8)

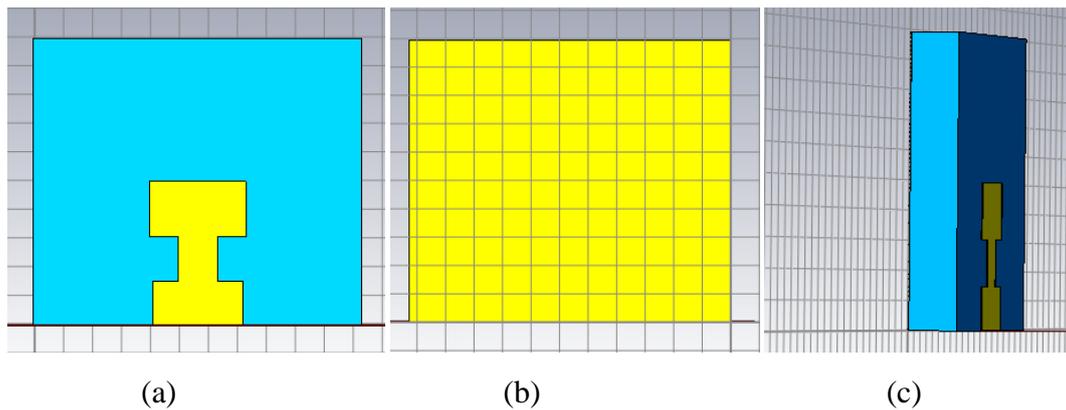


Figure. III.8. l'antenne finale, (a) patch de l'antenne, (b) plan de masse, (c) substrat

III.4.1.3. Discussion et interprétation des résultats

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats simulés de l'antenne conçue en termes de coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire, diagramme de rayonnement, gain, impédance d'entrée, densité de courant

- **Coefficient de réflexion**

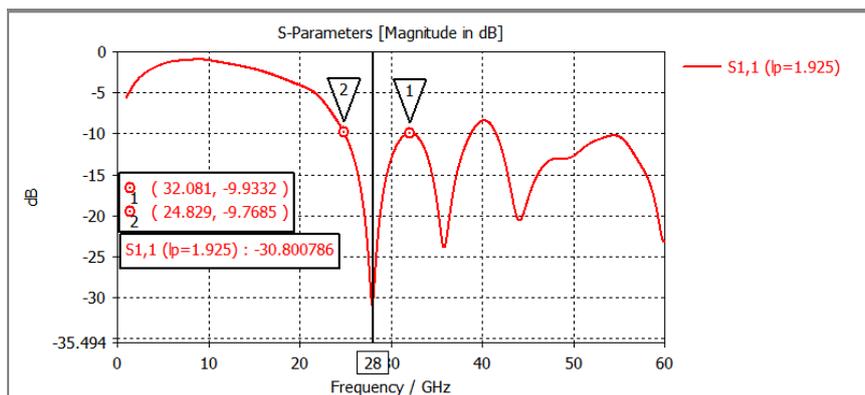


Figure III.9 le coefficient de réflexion S11 en dB

Figure (III.9) présente une meilleure adaptation de l'antenne avec un pic de l'ordre de -30.800 dB pour la fréquence 28 GHz.

- **Bande passante**

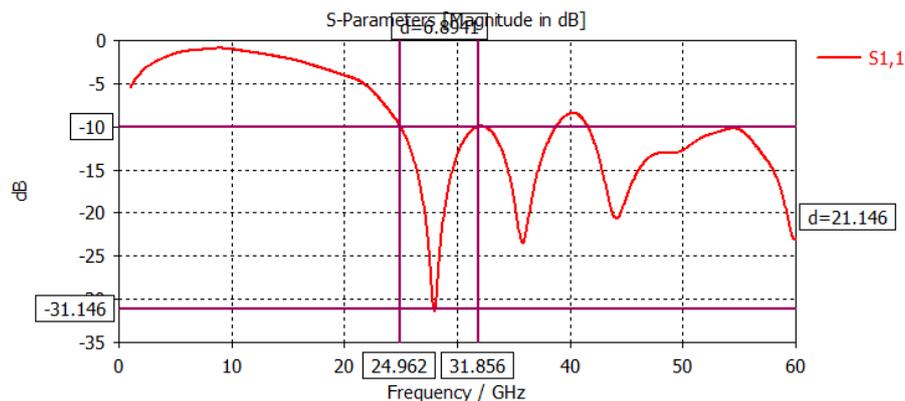


Figure III.10 bande passante de l'antenne

La figure (III.10) présente une bande passante importante qui varie dans les environs de 6.8941GHz.

- **Rapport d'onde stationnaire (VSWR)**

Pour dire qu'il y a une adaptation entre la ligne de l'alimentation et le patch, la valeur de VSWR doit être inférieure à 2 et c'est ce que nous voyons à travers la figure (III.11).

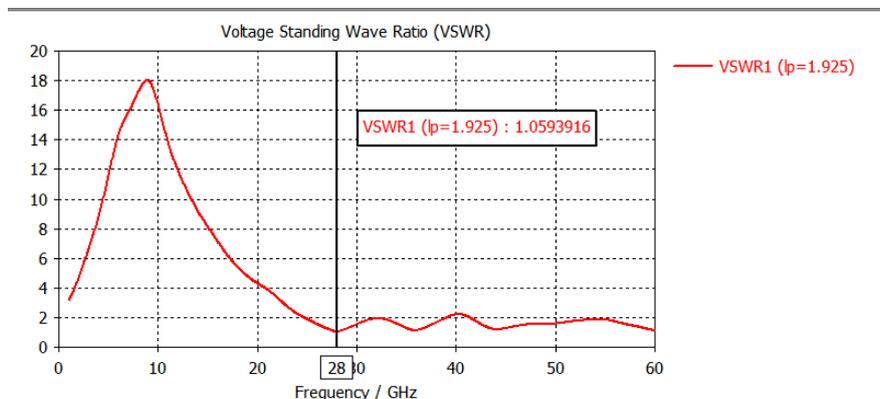


Figure. III.11 Résultat du rapport d'onde stationnaire(VSWR).

- **Le diagramme de rayonnement et le Gain**

Le diagramme de rayonnement simulé est représenté dans les deux figures(III.12) et (III.13), en présentations polaire et en 3D.

Présentation polaire : (Linear scaling)

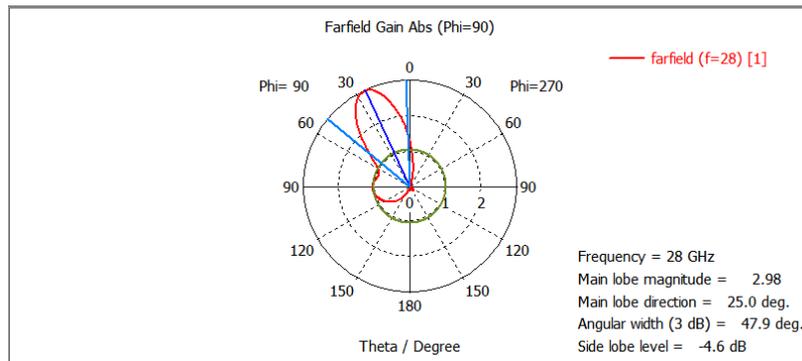


Figure. III.12 Diagramme de rayonnement polaire

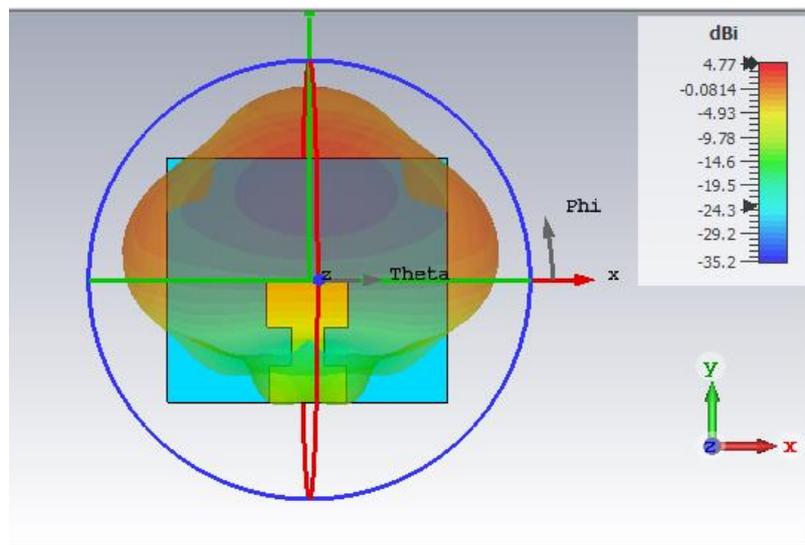


Figure. III.13 Diagramme de rayonnement 3D

On remarque que l'antenne est directive avec un Gain égale à 2.98 et 4.77 dB.

- **Impédance entrée**

La figure(III.14) présente l'impédance d'entrée $Z_{1,1}$ de l'antenne qui est égale à 50.42Ω . Ce dernier est très proche de 50Ω et cela explique le bon transfert de l'énergie entre l'alimentation (waveguide port) et la ligne d'alimentation b.

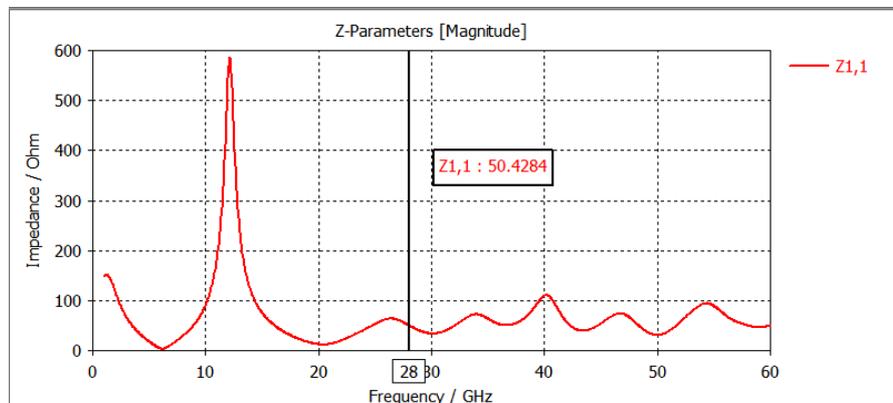


Figure III.14 : L'impédance d'entrée de l'antenne

- **Densité de courant**

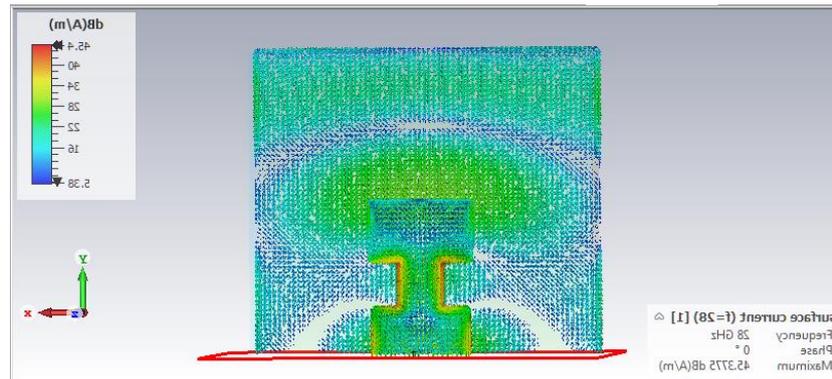


Figure III.15 : Densité de courant

La distribution du courant de l'antenne étudiée permet de mieux comprendre comment les courants sont répartis sur la structure. La Figure (III.15) montre que le courant est distribué au tour de la ligne, nous constatons aussi l'absence de la densité de courant électrique dans l'extrémité.

- **Efficacité**

L'efficacité de rayonnement est donnée par le rapport gain sur directivité, dans notre cas nous avons obtenu une efficacité égale à 50.33%.

- **III.4.2.Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/2$**

Dans cette partie, on va refaire tout le travail précédant mais avec une ligne d'alimentation $\lambda/2$, Nous lançons le CST en introduisant les dimensions de ses différentes composantes y compris le substrat, le patch, la ligne d'alimentation et le plan de masse présenté à la figure (III.16).

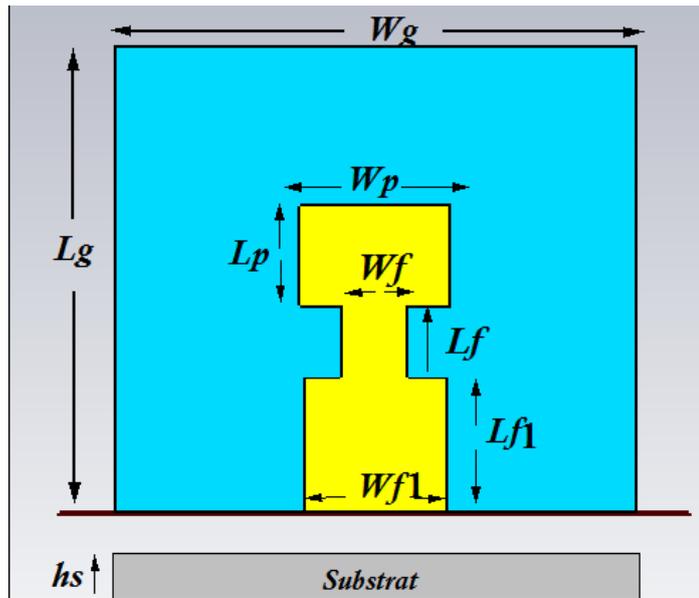


Figure. III.16. Structure de l'antenne $\lambda/2$

Nous avons obtenus le coefficient de réflexions S11 présenté sur la figure suivante :

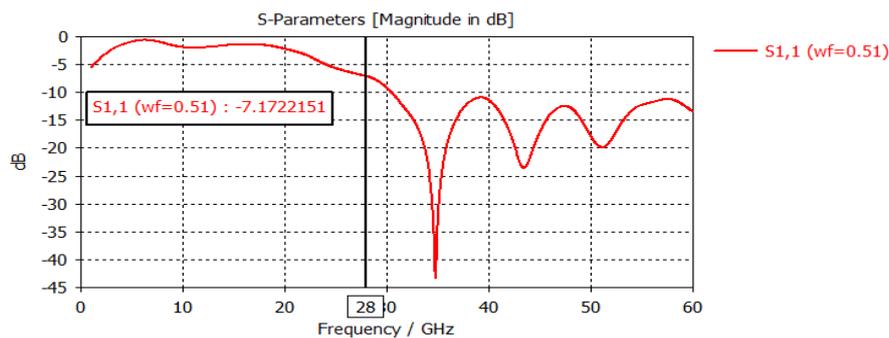


Figure III.17 coefficient de réflexion de l'antenne initiale

On remarque que le coefficient de réflexion S11 ne rayonne pas dans notre fréquence de résonance 28 GHz.

Il est au-dessus de -10dB dans la fréquence de résonance 28GHz qu'on a choisi, ce qui conduit à une désadaptation de l'antenne notamment à la fréquence.

Pour avoir une bonne adaptation de l'antenne, il faut faire une étude paramétrique sur la largeur de la ligne d'adaptation et la longueur de patch.

III.4.2.1 Etude paramétrique

III.4.2.1.1 Etude paramétrique sur la largeur de ligne d'adaptation

On commence l'étude paramétrique sur la largeur de la ligne d'adaptation (W_f) et on fixe les autres paramètres ($L_p=1.69449$).

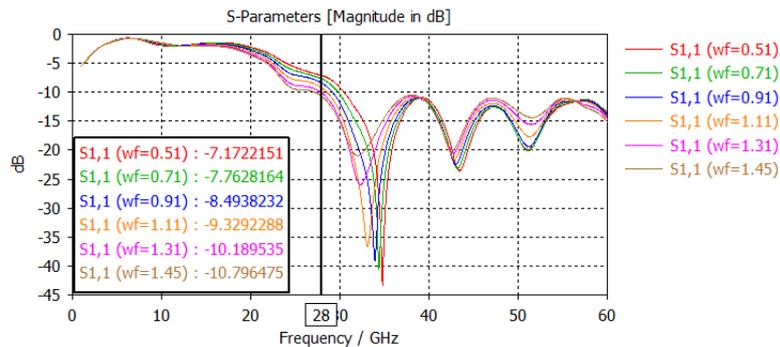


Figure III.18 coefficient de réflexion S_{11} (paramètres sweep)

La figure (III.18) montre l'effet de la largeur de la ligne d'adaptation sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, on remarque que pour $W_f=1.45$ mm, nous avons un rayonnement dans la fréquence 28 GHz mais ce rayonnement est maximale dans la fréquence 32.108 GHz comme montré dans la figure (III.19)

S_{11} à 28 GHz est égale à -10.796 dB, alors nous allons mener une autre étude paramétrique sur la longueur de patch (L_p) pour rétrograder la fréquence à 28GHz.

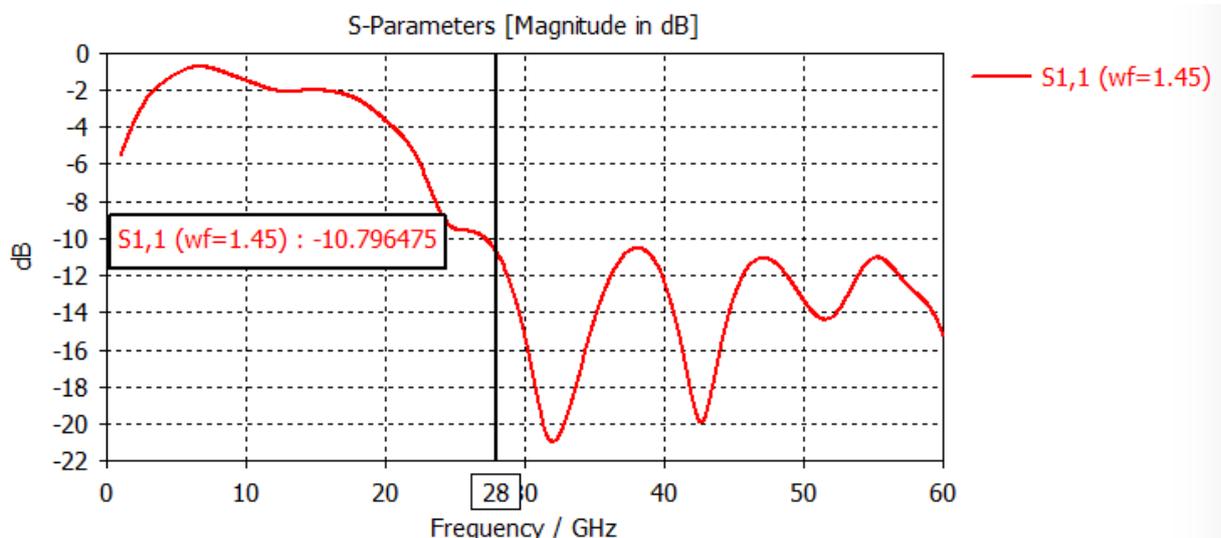


Figure III.19 coefficient de réflexion S_{11}

III.4.2.1.2 Etude paramétrique sur la longueur de patch

Pour rétrograder la fréquence à 28GHz, on applique une étude paramétrique sur la longueur de patch (L_p) afin d'y arriver à la fréquence 28 GHz.

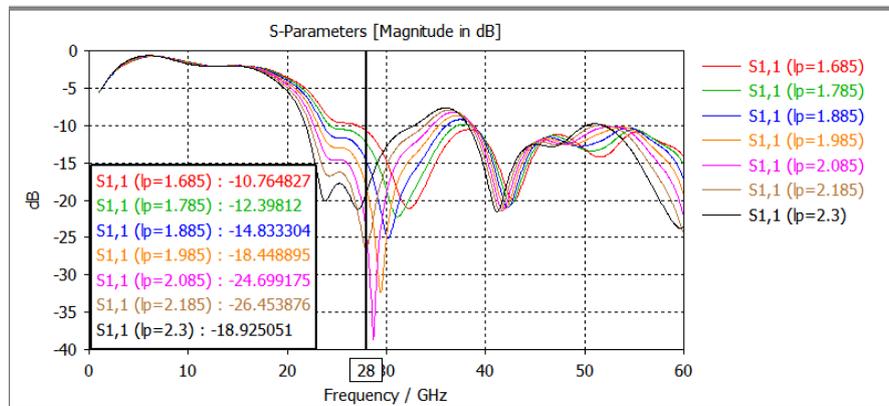


Figure III.20 coefficient de réflexion S11 (paramètres sweep)

La figure (III.20) montre que pour la longueur de patch $L_p=2.185$ mm, l'antenne présente une meilleure adaptation avec une valeur de coefficient de réflexion égale à -26.79508 dB à la fréquence 28GHz.

III.4.2.3 Discussion et interprétation des résultats :

Dans cette section, nous présentons les résultats de la simulation de l'antenne optimisée comme bande passante, le gain, VSWR et le diagramme de rayonnement.

- Coefficient de réflexion

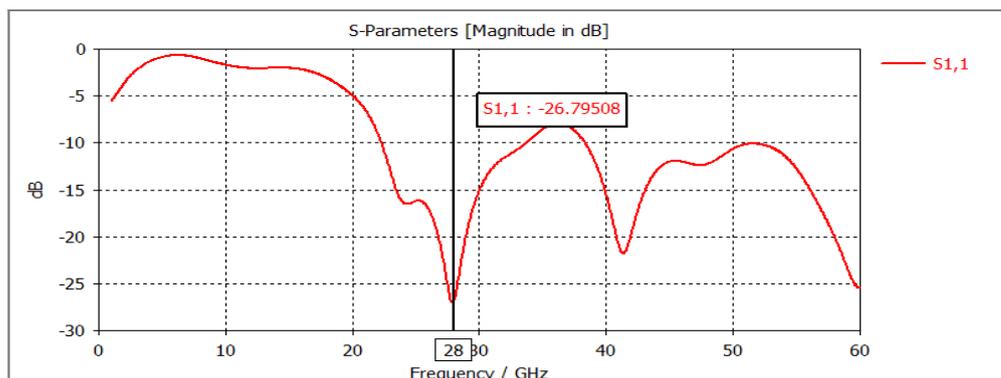


Figure III.21 le coefficient de réflexion S11 en dB

Figure (III.21) présente une meilleure adaptation de l'antenne avec un pic de l'ordre de -26.79508 dB pour la fréquence 28 GHz.

- **Bande passante**

La figure(III.22) présente la bande passante pour la fréquence 28GHz,

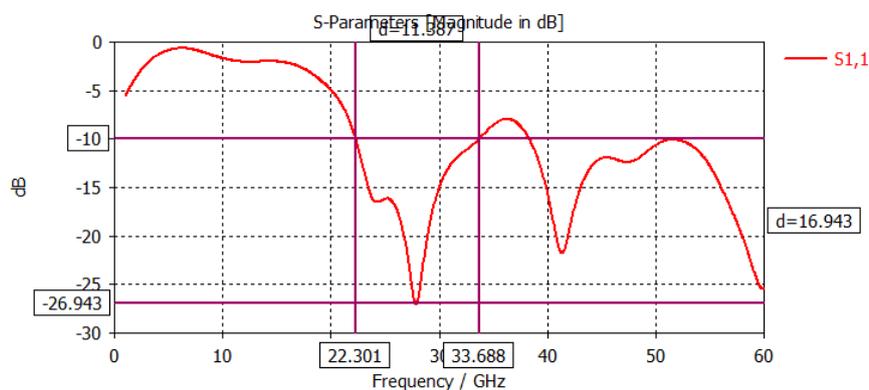


Figure. III.22 Bande passante d'antenne optimisée.

On remarque que la bande passante varie dans les environs de 11,387 GHz, cette dernière représente une importante bande passante.

- **Rapport d'onde stationnaire (VSWR):**

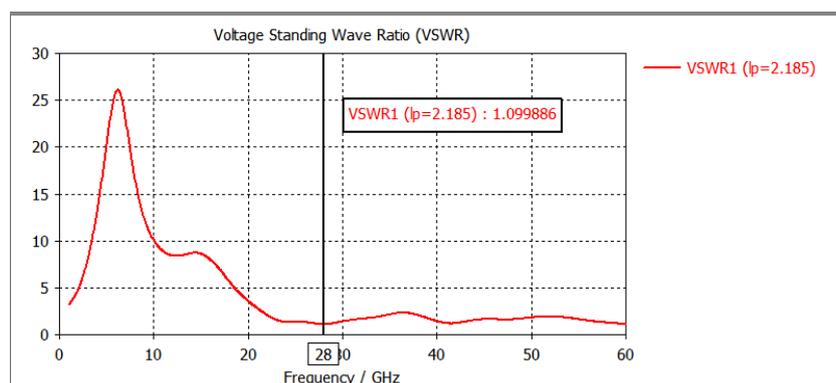


Figure III.23 Résultat du rapport d'onde stationnaire (VSWR).

Le rapport d'onde stationnaire est présenté dans la figure (III.23) avec la valeur 1,099886 qui est inférieur à 2, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission.

- **Le diagramme de rayonnement et le Gain**

Les figures (III.24) et (III.25) respectivement représentent le diagramme de rayonnement en présentation polaire et en 3D. Nous remarquons que l'antenne présente un rayonnement directionnel, avec une valeur de gain égale à 3,37 et 5,27 dBi.

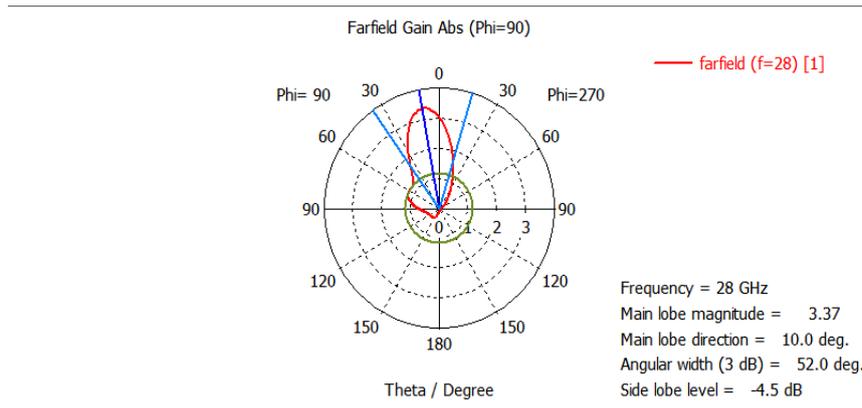


Figure. III.24 Diagramme de rayonnement polaire

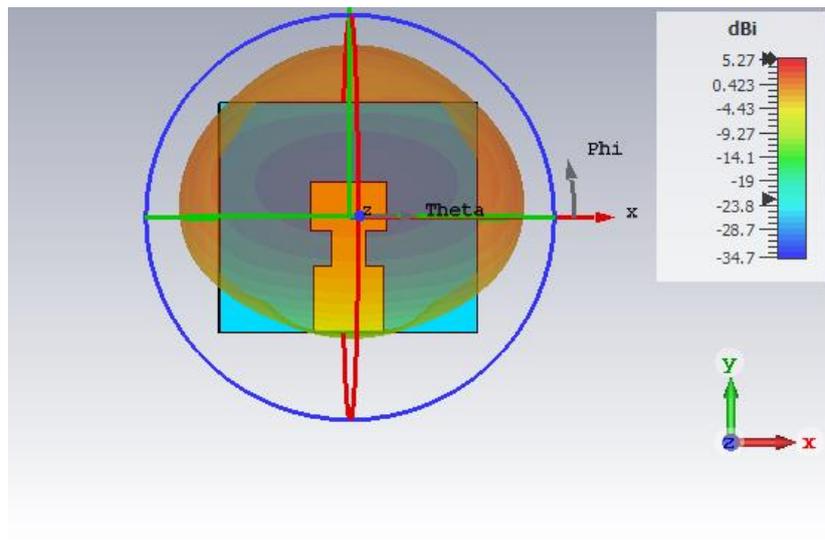


Figure III.25 Diagramme de rayonnement 3D

- **L'impédance d'entrée**

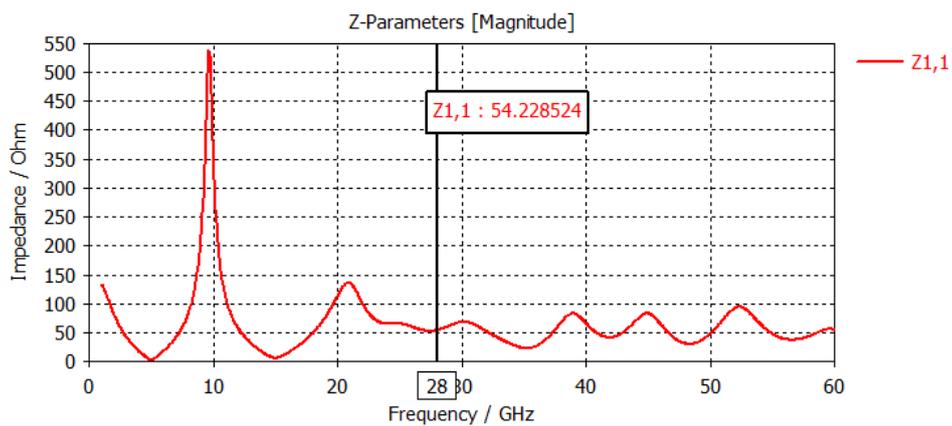


Figure III.26 l'impédance d'entrée de l'antenne

La figure (III.26) présente l'impédance d'entrée Z_{11} de l'antenne optimisée qui est égale à 54.228524Ω . Ce dernier est proche de 50Ω et cela explique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban.

- **Densité de courant**

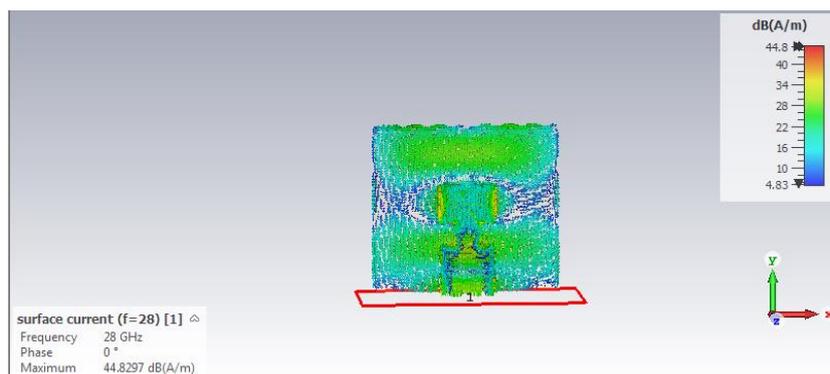


Figure. III.27 Densité de courant

La figure III.27 montre que le courant est distribué autour de patch ainsi qu’au milieu de la ligne, l’observation de la distribution du courant de l’antenne optimisée permet de mieux comprendre comment les courants sont répartis sur la structure.

- **Efficacité**

L’efficacité de rayonnement est donnée par le rapport gain sur directivité, dans notre cas nous avons obtenu une efficacité qui égale à 68 %.

III.5.COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE L’ANTENNE QUART D’ONDE ET DEMI ONDE

Le coefficient de réflexion de l’antenne quart d’onde présente une meilleure adaptation par rapport à l’antenne demi onde, tel que S11 (quart d’onde = -30.800 dB)

Et S11 (demi onde= -26.4538dB), par contre en terme de bande passante, de gain et d’efficacité, l’antenne demi onde est mieux par rapport l’antenne quart d’onde.

Le tableau suivant montre la comparaison entre les deux antennes :

| Paramètres | Quart d’onde | Demi onde |
|--------------------------------------|--------------|-----------|
| Coefficient de réflexion (S11) en dB | -30.800 | -26.79508 |
| Gain (dBi) | 4.74 | 5,27 |
| Bande passante (GHz) | 11,387 | 6.8941 |
| L’efficacité (%) | 50.33%. | 68% |

Tableau III.3 Comparaison entre les deux antennes (substrat type FR-4).

III.6.COMPARAISON ENTRE CST ET HFSS

Dans cette section, nous allons illustrer la conception de notre antenne sous HFSS en utilisant la propriété export à partir du logiciel CST.

En premier lieu nous avons exporté l'antenne quart d'onde et nous avons obtenus les résultats montrés dans la figure suivante :

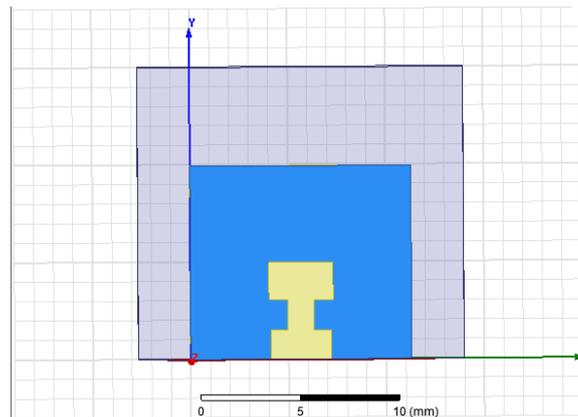


Figure III.28 conception de l'antenne sous HFSS

La figure (III.29) présente les résultats des paramètres S entre les deux logiciels CST et HFSS, nous pouvons constater qu'un très bon accord est obtenu sur le coefficient de réflexion S11.

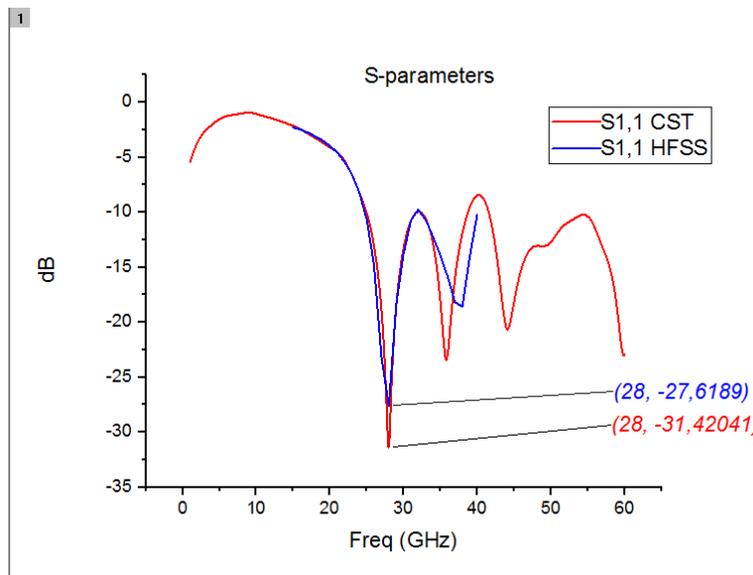


Figure. III.29 Comparaison S11 CST et HFSS

En deuxième lieu nous avons exporté l'antenne demi onde et nous avons obtenu la figure suivante :

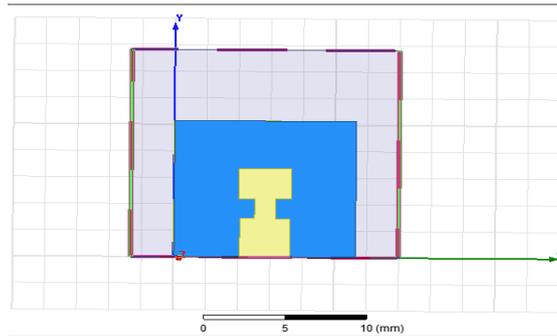


Figure III.30 conception de l'antenne sous HFSS

La figure(III.31) présente une comparaison du coefficient de réflexion S11 entre les deux logiciels CST et HFSS, donc on remarque qu'on a un rayonnement dans la fréquence 28GHz mais avec un décalage important dans la valeur de S11.

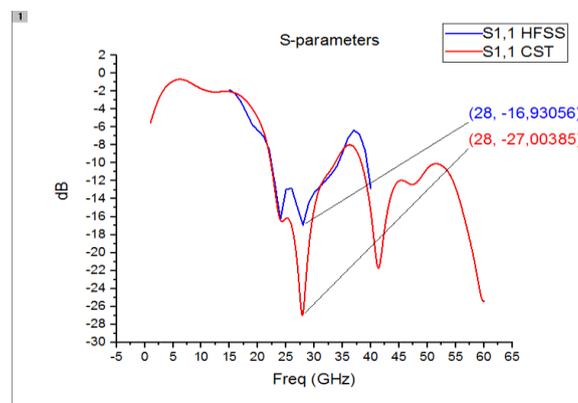


Figure III.31 Comparaison S11 entre CST et HFSS

III.7.CHANGEMENT DE SUBSTRAT

Vu qu'on n'a pas eu des bons résultats dans la réalisation des prototypes simulés précédemment, donc nous avons changé le type de substrat car les fréquences qui sont supérieur à 10 GHz nécessitent le substrat de matériels (RT Rogers 5880).

Nous avons utilisé la même méthode d'adaptation (transformateur quart d'onde), et nous avons refait tous les calculs de dimension de cahier de charge suivant :

| Le type de matériaux | Les composants d'antenne | Hauteur (mm) | Permittivité diélectrique |
|-----------------------|--------------------------|--------------|---------------------------|
| RT Rogers 5880 | Substrat | 0.79 | 2.2 |
| Copper | Plan de masse et patch | 0.035 | - |

Tableau III.4 : Le cahier de charge

III.8.DIMENSION D'ANTENNE EN FONCTION DU NOUVEAU SUBSTRAT

Après une autre étude théorique, on utilise les mêmes équations précédentes, on a obtenu les résultats présentés sur le tableau suivant :

| Paramètres | (mm) |
|-------------------------|---------|
| W_g | 8.97519 |
| L_g | 7.8 |
| W_p | 4.23519 |
| L_p | 3.06 |
| W_f | 2.454 |
| L_{f1} (quard d'onde) | 1.805 |
| L_{f1} (demi onde) | 3.61 |
| W_f | 0.52 |
| L_f | 1.805 |
| h_t | 0.035 |
| h_s | 0.79 |

Tableau III.5 Dimension d'antenne

III.9.SIMULATION DE L'ANTENNE

- III.9.1 Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/4$

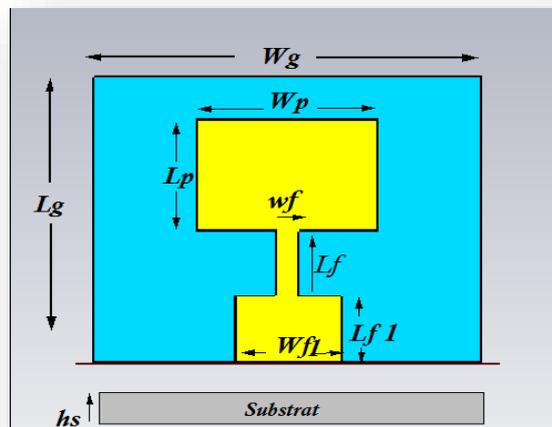


Figure III.32 structure d'antenne

La figure (III.33) montre les résultats de simulation du paramètre S11 de l'antenne proposé avec le changement du substrat au RT Rogers 5880 :

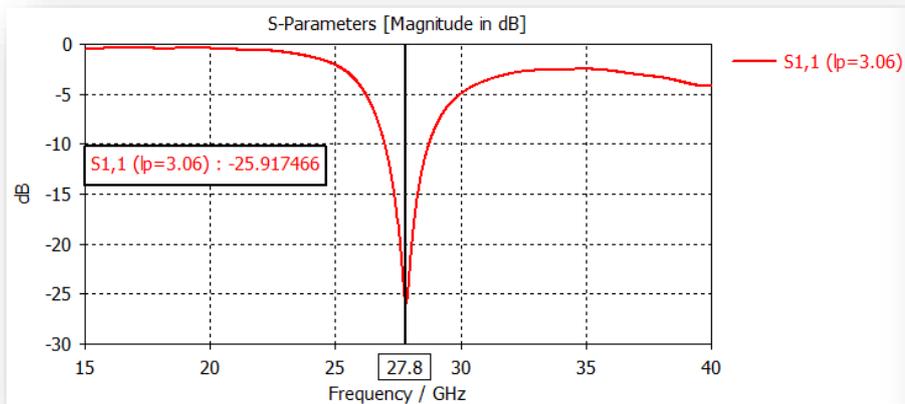


Figure III.33 coefficient de réflexion de l'antenne initiale

Pour un dimensionnement initial de l'antenne, on a obtenu une meilleure adaptation mais pour la fréquence 27.8GHz avec la valeur du S11 est égale à -25.91 dB, afin de diminuer la fréquence à 28 GHz, nous avons fait une étude paramétrique à l'aide de la fonction d'optimisation qui se trouve dans le simulateur.

Nous obtenons une meilleure adaptation à notre fréquence (28GHz) avec une longueur du patch qui est égale à 3.03 mm et un coefficient de réflexion à l'égard d'un pic de l'ordre de -24.42508 dB.

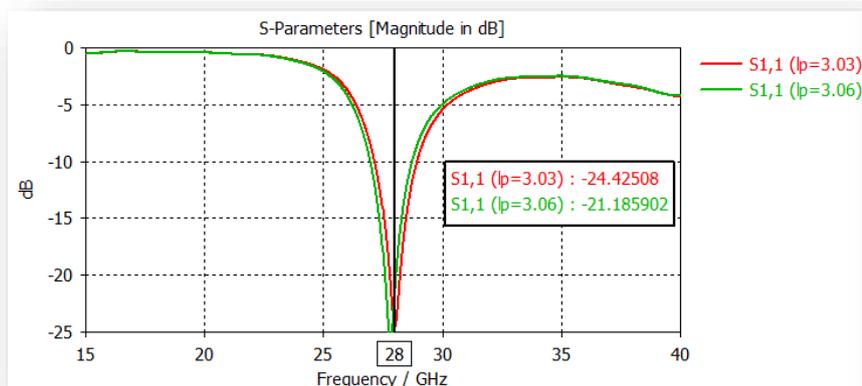


Figure III.34 coefficient de réflexion de l'antenne

III.9.1.1 Discussion et interprétation des résultats

- **Coefficient de réflexion**

La figure (III.35) présente le coefficient de réflexion d'antenne optimisée :

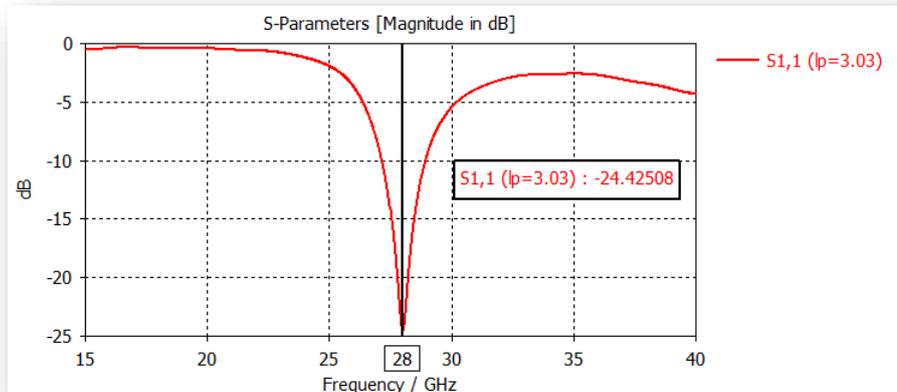


Figure III.35 Coefficient de réflexion de l'antenne optimisée

D'après le S11 obtenue on remarque qu'on a une parfaite adaptation entre la ligne micro ruban et le patch.

- **Bande passante**

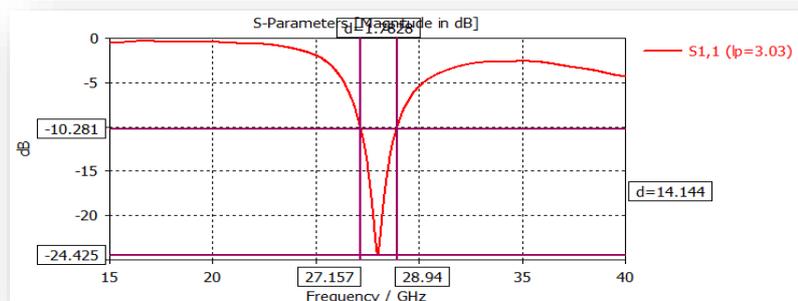


Figure III.36 Coefficient de réflexion de l'antenne optimisée

Nous observons d'après la figure(III.36) que la bande passante est un peu étroite de l'ordre de 1.7828 GHz.

- **Rapport d'onde stationnaire (VSWR)**

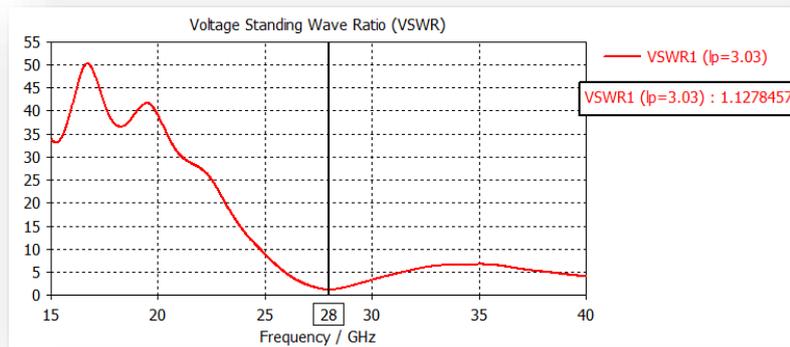


Figure III.37 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

Le VSWR simulé est montré dans la figure (III.37), avec la valeur de 1,1278457 qui est inférieur à 2, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission.

- **Le diagramme de rayonnement et le Gain**

On représente le diagramme de rayonnement en polaire et en 3D dans les deux figures (III.38, III.39), nous remarquons que l'antenne montre un rayonnement directionnel, avec une valeur de gain qui est égale à 5.66 et 7.53 dBi, ce dernier est un bon gain.

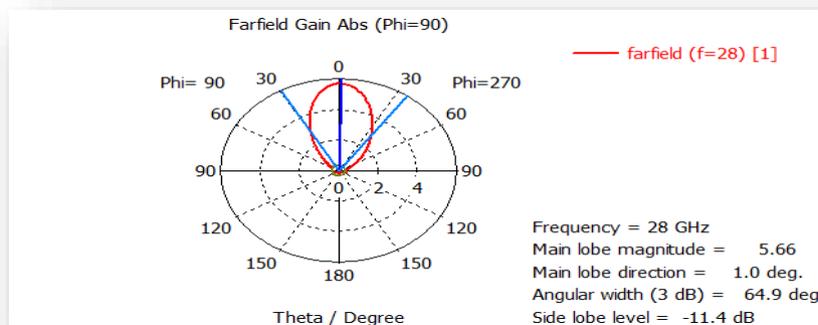


Figure III.38 diagramme de rayonnement polaire

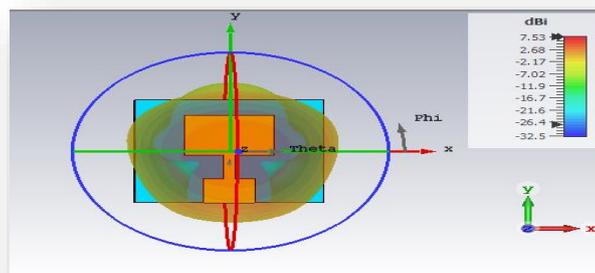


Figure III.39 diagramme de rayonnement 3D

- **L'impédance d'entrée**

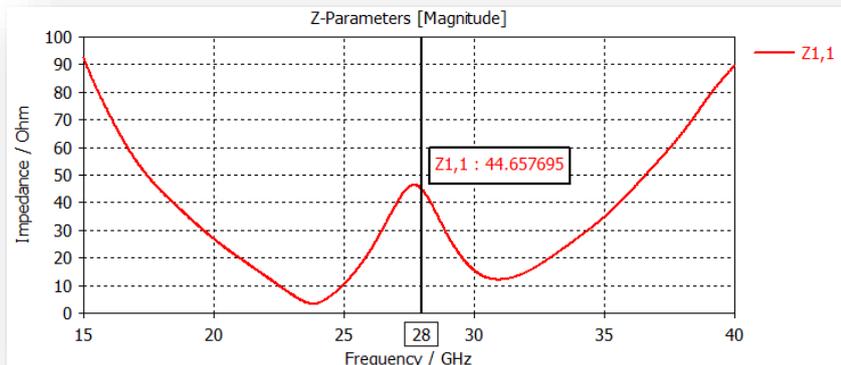


Figure III.40 impédance d'entrée de l'antenne

La figure (III.40) présente l'impédance d'entrée de l'antenne optimisée qui est égale à $44,567695\Omega$. Ce dernier est proche de l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban.

- **Densité de courant**

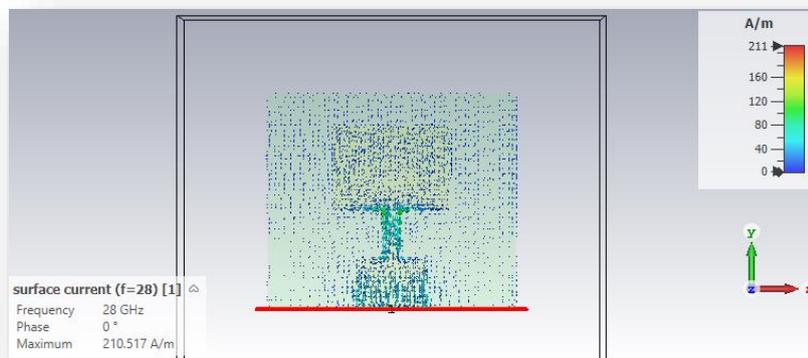


Figure III.41 densité de courant

L'observation de la distribution du courant de l'antenne optimisée permet de mieux comprendre comment les courants sont répartis sur la structure. (Figure III.41) montre que le courant est distribué autour de patch ainsi qu'au milieu de la ligne.

- **Efficacité**

L'efficacité de rayonnement est donnée par le rapport du gain sur directivité, dans notre cas nous avons obtenu une bonne efficacité qui est égale à 72.84 %.

III.9.2 Simulation avec ligne d'alimentation $\lambda/2$

Nous avons inclus dans le logiciel CST Microwave studio les valeurs de tableau III.5 avec un changement de valeurs (W_g) et (L_g), tel que w_g égal 10.55519 mm et L_g égal 9.38 mm, et on a obtenu la structure suivante :

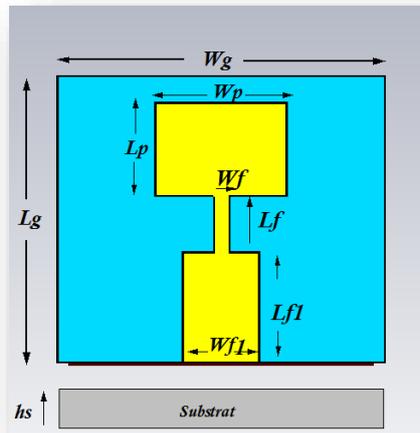


Figure III.42 Structure de l'antenne

III.9.2.1 Discussion et interprétation des résultats

- Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion est présenté sur la figure suivante :

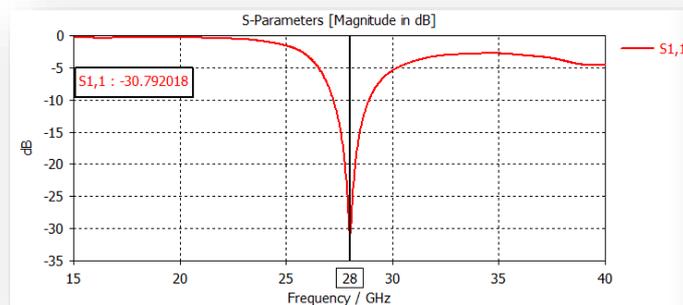


Figure. III.43 Coefficients de réflexion de l'antenne

Après une étude théorique de l'antenne, on a obtenu une meilleure adaptation pour la fréquence 28GHz avec un S_{11} égal à -30.7920 dB, donc on n'a pas besoin de faire une étude paramétrique.

- **Bande passante**

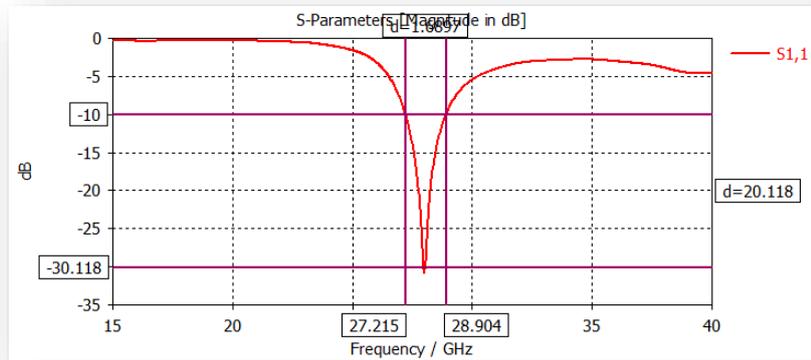


Figure. III.44 bande passante

Nous observons d’après la figure III.44 que la bande passante est étroite de l’ordre 1.6897 GHz.

- **Rapport d’onde stationnaire (VSWR)**

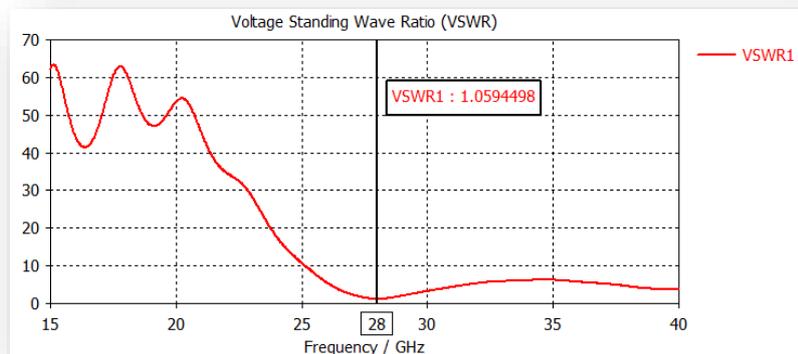


Figure III.45 Rapport d’onde stationnaire

La courbe du rapport d’onde stationnaire simulé est montrée dans la figure (III.45) de valeur 1,0594498 qui est inférieur à 2, ce qui montre une bonne adaptation d’impédance entre le patch et la ligne microruban.

- **Le diagramme de rayonnement et le Gain**

Les figures (III.46) et (III.47) respectivement, représentent le diagramme de rayonnement en polaire et en 3D. Nous remarquons que l’antenne présente un rayonnement directionnel, avec une valeur de gain qui égale à 6.37 et 8.041 dB.

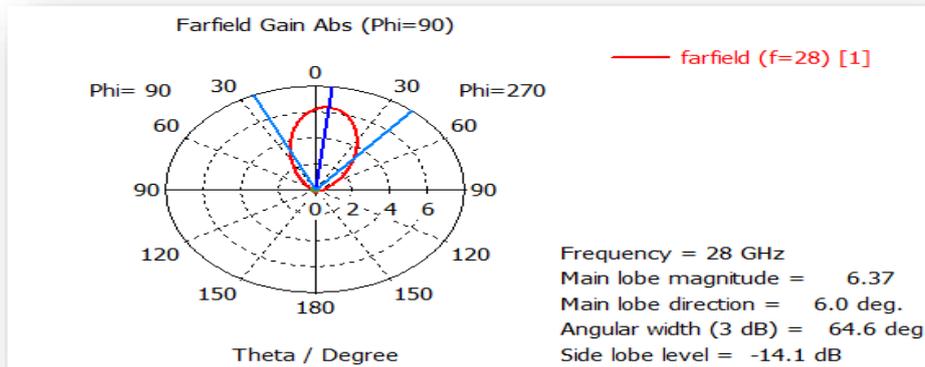


Figure e III.46 Diagramme de rayonnement polaire

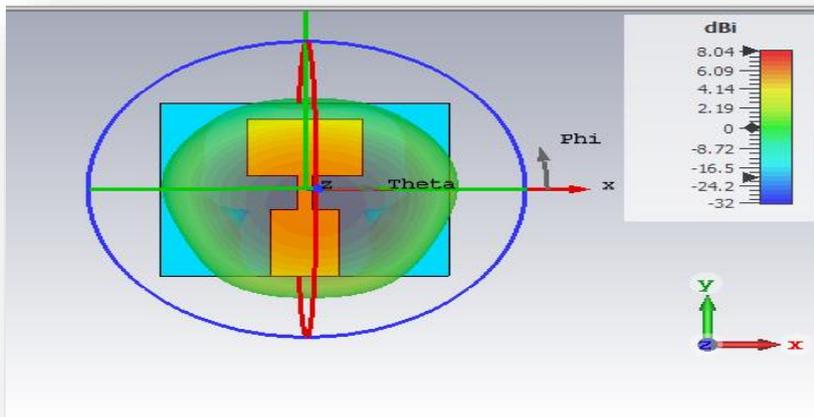


Figure III.47 diagramme de rayonnement 3D

- Densité de courant

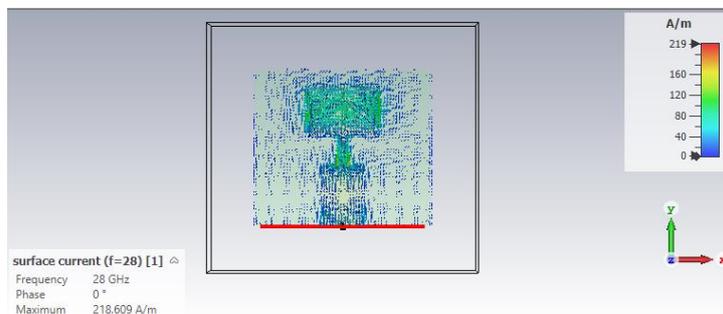


Figure. III.48 Densité de courant

La figure (III.48) montre que le courant est distribué dans le patch ainsi qu'au milieu de la ligne d'adaptation.

- **Efficacité**

L'efficacité de rayonnement est donnée par le rapport du gain sur directivité, dans notre cas nous avons obtenu une bonne efficacité qui est égale à 82.62 %.

III.10.COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE L'ANTENNE QUART D'ONDE ET DEMI ONDE

En terme de coefficient de réflexion l'antenne demi onde représente une meilleure adaptation par rapport à l'antenne quart d'onde, tel que S11 (demi onde = -30.79203 dB) et S11 (quart d'onde= -24.4538dB), contrairement pour la bande passante, mais en terme de gain et d'efficacité l'antenne demi onde est mieux par rapport à l'antenne quart d'onde, le tableau suivant montre la comparaison entre les deux antennes :

| Paramètres | Quart d'onde | Demi onde |
|--------------------------------------|--------------|-----------|
| Coefficient de réflexion (S11) en dB | -24.42508 | -30.79203 |
| Gain (dBi) | 7.53 | 8.041 |
| Bande passante (GHz) | 1.7828 | 1.6897 |
| L'efficacité (%) | 72.84 % | 82.62% |

Tableau III.6 comparaison entre les deux antennes (RT/ Rogers)

III.11.Comparaison avec HFSS et CST

Dans cette section nous avons refait le même travail déjà fait pour l'antenne du substrat FR-4.

La figure(III.49) présente la conception d'antenne sous HFSS :

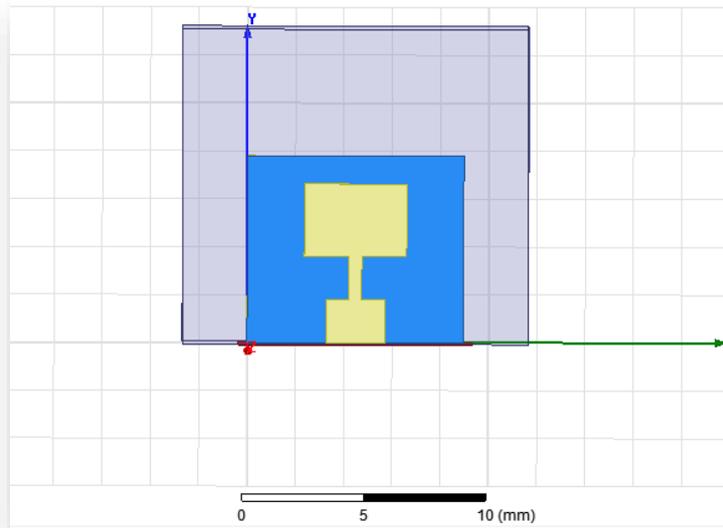


Figure III.49 Conception de l'antenne sous HFSS

La figure(III.50) Présente les résultats des S-paramètres entre les deux logiciels CST et HFSS, nous pouvons constater que le coefficient de réflexion S11 est identique dans les deux simulateurs, car les résultats montrent que la fréquence de résonance pour les deux simulateurs est 28GHz.

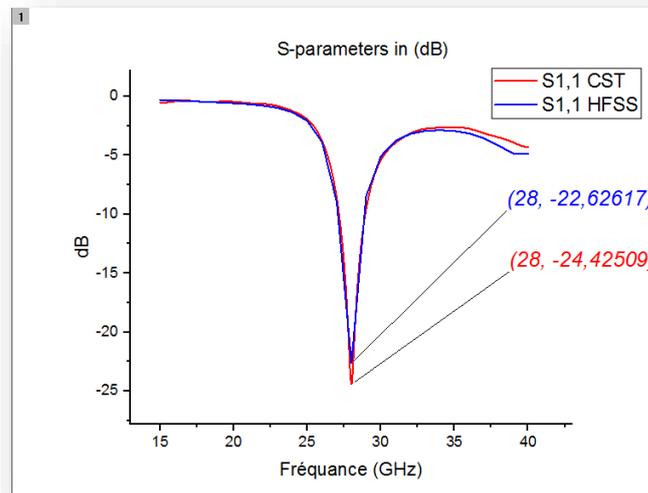


Figure. III.50 Comparaison S11 CST et HFSS

En deuxième lieu nous avons exporté l'antenne demi onde et nous avons obtenu la figure suivante :

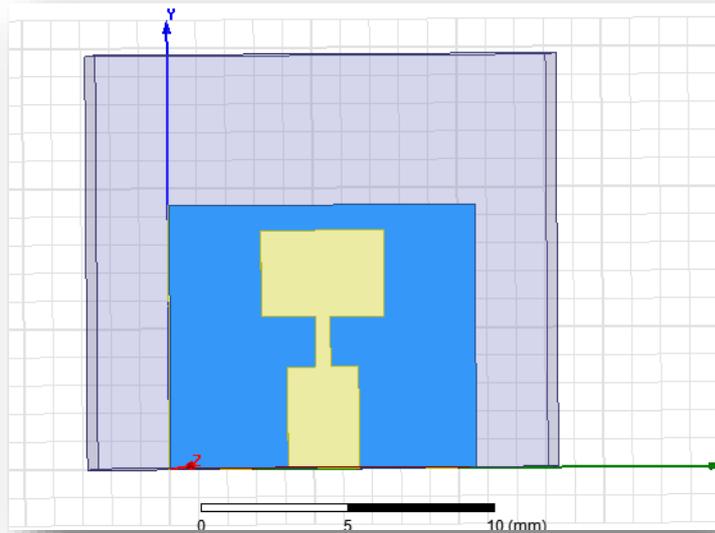


Figure III.51 conception de l'antenne sous HFSS

La figure (III.52) montre la comparaison du S11 entre les deux logicielles CST et HFSS, les résultats montrent que la fréquence de résonance pour les deux simulateurs est 28GHz avec la valeur -22.62617dB et pour HFSS est égale à -30.79203dB pour le CST.

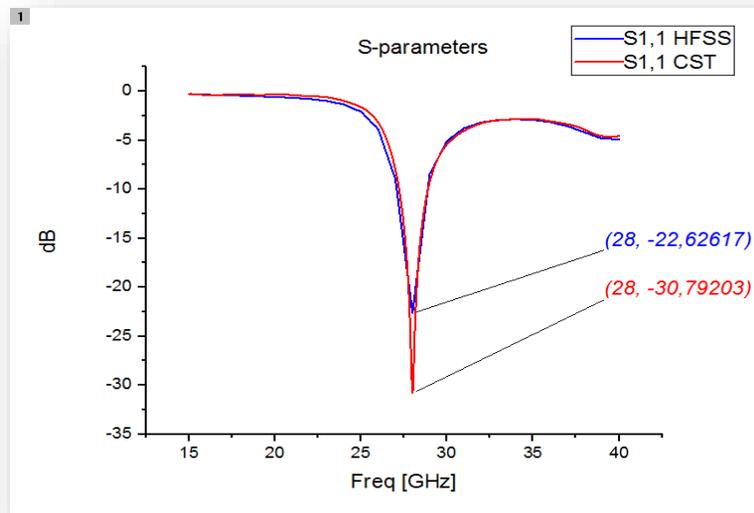


Figure III.52 comparaison S11 CST et HFSS

III.12.CONCLUSION

A travers ce chapitre, nous avons traité les différentes étapes pour concevoir une antenne imprimée rectangulaire alimentée par une ligne microruban, qui résonne à la fréquence 5G (28GHz), dans le but de réaliser cette antenne, en faisant plusieurs simulations sous CST. Tout d'abord nous avons commencé par la conception d'une antenne initiale, après cette simulation en termes de coefficients de réflexion, nous avons vu une désadaptation à la fréquence demandé.

Afin d'améliorer l'adaptation de notre antenne nous avons fait une étude paramétrique sur (longueur de patch et largeur de transformateur quart d'onde), l'effet positif de cette étude paramétrique sur l'adaptation est clairement observé dans la simulation CST et HFSS, mais la réalisation de l'antenne n'est pas effectuée à cause du substrat utilisé (FR-4).

Après une recherche bibliographique, nous sommes orientés vers l'utilisation du substrat (RT /Rogers 5880), car en hyper fréquences FR-4 n'est réalisable à cause des pertes de matériels 0.025 qui implique l'augmentation des pertes de propagation, par contre les pertes de matériel dans (RT/ Rogers 5880) égale à 0.0009 moins que (FR-4).

Dans notre projet, on a une fréquence qui est supérieure à 10 GHz, donc nous avons utilisé RT/ Rogers 5880 en suivant les même étapes que le FR-4 (conception initiale, études paramétriques),

Nous avons fait une comparaison avec le logiciel HFSS dans le but de confirmer les résultats obtenu avec le CST.

CONCLUSION GENERALE

Les travaux de recherche académique et industrielle sur la technologie 5G a connu un essor notoire ces dernières années, l'ambition première a été de proposer une antenne planaire afin de satisfaire les besoins des exigences du standard 5G.

Les travaux qui ont été effectués dans le cadre de ce mémoire sont consacrés à la conception et la réalisation d'une antenne microruban de la forme rectangulaire alimentée par une ligne qui rayonne dans les bandes millimétriques.

Pour atteindre notre objectif, une simulation a été faite, sous le logiciel CST MWS studio qui utilise la méthode d'intégration finie ainsi que sur le logiciel HFSS d'Ansoft qui utilise la méthode des éléments finies. Ces deux simulateurs nous ont permis de modéliser et d'analyser cette antenne rapidement et précisément.

Dans le premier chapitre on s'est intéressé à la représentation des besoins des systèmes de communication. Nous avons fait un rappel historique des générations de réseaux mobiles, les différentes visions et applications du nouveau standard 5G, nous avons montré que l'utilisation des bandes de fréquences millimétriques est une solution pour augmenter la bande passante afin d'éliminer le problème de saturation du réseau.

Ensuite dans le deuxième chapitre nous avons abordé les antennes de façon générale et les antennes imprimées de façon particulière tel que le principal avantage de la technologie des antennes microruban et la simplicité de la réalisation, ainsi que le faible coût de fabrication, et par la suite le choix de la fréquence 28 GHz, bande millimétrique, est justifié.

Dans la dernière partie, et grâce à la théorie des antennes, nous avons déterminé les paramètres géométriques initiaux de l'antenne imprimée, et en premier lieu nous avons utilisé le FR-4 comme substrat et par la suite le RT/ Rogers 5880. Ensuite nous avons vu un ensemble de modification sur les structures des antennes en termes d'insertion de transformateur quart d'onde et faire une étude paramétrique sur quelques dimensions pour avoir une adaptation de l'antenne à la fréquence désirée. Pour but de confirmation, la partie simulation est effectuée par deux (02) logiciels et les résultats obtenus présentent une bonne concordance du point de vue de coefficient de réflexion S11 ainsi qu'en matière d'adaptation dans la bande désirée.

La réalisation de la première antenne a donné des résultats divergents par rapport à la simulation, à cause du substrat (FR-4) utilisé, qui n'est pas vraiment recommandé pour les hautes fréquences. Une deuxième tentative est entamée pour la réalisation d'une autre antenne utilisant le RT/ Rogers 5880, qui peut être exploité pour les hautes fréquences, et faute de temps cette dernière peut être réalisée dans des travaux futurs.

Vue l'importance de cette bande de fréquence millimétrique dans les communications sans fil avancées, la continuité dans cet axe est très important et intéressant, chose qui nécessite d'être envisagée dans les perspectives afin d'améliorer encore les caractéristiques de ce type d'antenne en terme de bande passante, gain et diagramme de rayonnement.

BIBLIOGRAPHIE

- [I.1] Guangyi Liu, Dajie Jiang 5G: Vision and Requirements for Mobile Communication System towards Year 2016 Article in Chinese Journal of Engineering, published April 2016
- [I.2] M. H. Abu Saada « Design Of Efficient Millimeter Wave Planar Antennas For 5g Communication Systems » Mémoire de Master, Université Islamique de Gaza 2017.
- [I.3] Samsung Within Innovation 5G ,2019
- [I.4] MERZOUGUI Sidi Mohammed Anes Belkacem, thèse master (Transmission simultanée fixe FTTH et Mobile 5G sur fibre optique basé sur les modulations à double polarisation), Soutenu le 17 novembre 2020 University of Tlemcen
- [I.5] Edward M. Roche, Benjamin H. Dickens-Jr. and Walker Townes, “Conséquences de la téléphonie mobile de cinquième génération sur la télé-géographie”, Netcom, 32-1/2 | 2018, 197-200
- [I.6] rBoris MORET, thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l’université de bordeaux (Amplificateur de puissance autonome pour applications OFDM et beamforming de la 5G aux fréquences millimétriques en technologie CMOS avancée), Soutenu le 5 octobre 2017
- [I.7] ITU: The International Telecommunication Union. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond M Series Mobile, radio determination, amateur and related satellite services. 2015 .38
- [I.8] Ejaz et al. «Internet des objets (IoT) dans les communications sans fil 5G», dans IEEE Access, vol. 4, pages 10310-10314, 2016
- [I.9] Jonathan Rodriguez. Principes de base des réseaux mobiles 5G. Wiley, 1 édition, 2015. P :40
- [I.10] Stephen M. Blust ‘ En route vers les IMT-2020 (5G) ‘Président, Groupe de travail 5D du Secteur des radiocommunications de l’UIT (UIT–R) , Sergio Buonomo Conseiller, Commission d’études 5 de l’UIT–R.

[I.11] M. Emmaeinna, S. Faci, A. Billabert, A. Kabalan, C. Algani and M. L. Diakité, "Performance Analysis of Radio-over-Fiber Based on Phase-Modulation and Direct-Detection

[I.12] Emine Moutaly, 'Etude d'une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G', Thèse de doctorat d'Université Paris-Est, Soutenue le 09 décembre 2019

[I.13] Libby Allen "5G, Internet of Things (IoT)", on JANUARY 7, 2019

[I.14] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.

[I.15] Conception de simulation de modèle de systèmes d'antenne intelligente pour les systèmes de réseau sans fil 5G ,novembre 2018 ,DOI : 10.5772/intechopen.79933 ,Dans le livre : Array Pattern Optimization [Titre de travail], Auteurs: Vincenzo Inzillo ; Floriano De Rango(Université de la Calabre) ,Luigi Zampogna , Alfonso Ariza Quintana (Université de Malaga) .

[I.16] Backhauling sans fil de petites cellules 5G : défis et approches de solution ;Octobre 2015Communications sans fil IEEE 22(5):22-31, DOI : 10.1109/MWC.2015.7306534

Auteurs: Ouzma Siddique (Université du Manitoba) , Hina Tabassum (Université York)

Ekram Hossain (Université du Manitoba) ,Dong dans Kim (Université Sungkyunkwan)

[I.17] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo, D. W. Bliss, S. Rangarajan, and R. Wichman, "In-Band Full-Duplex Wireless: Challenges and Opportunities," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 32, no. 9, pp. 1637–1652, Sep. 2014.

[I.18] Toby Haynes. (Une introduction à la formation de faisceaux numérique, au traitement du signal spectral) ,1998 p :41

[I.19] Zekun Zhang , Haijian Sun , Xianfu Lei Utah State University, Logan, Utah‡
Université Jiaotong du Sud - Ouest, Chengdu, Chin "Non-orthogonal Multiple Access",
January 2018 in book: Encyclopedia of Wireless Networks (pp.1-4)

[I.20] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet-of-Things: A survey,” 4 aDIEE, University of Cagliari, Italy University “Mediterranea” of Reggio Calabria, Italy Comput. Netw. vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Model 3G 31 May 2010

[I.21] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” Future Gener. Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Melbourne, Vic - 3010, Australia Comput. Syst., vol. 29, no. 10, pp. 1645–1660, 2013

[I.22] Edward Roche, Benjamin Dickens-Jr et Walker àwnes. La prochaine génération de téléphonie mobile (5G) et ses implications (Infrastructure, Réglementation). Netcom, 32: 139–162, 12 2018 .39

[I.23] Z. Pi and F. Khan, “An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 101–107, Jun. 2011.

[I.24] Li, Z., Sanchez Moya, F., Gabor, F., Da Silva Jr., J., et Koufos, K. (2016). Communications d'appareil à appareil (D2D). Dans M. Dohler & T.Nakamura (auteurs) & A. Osseiran, J.Monserrat, & P. Marsch (Eds.), 5G Mobile and Wireless Communications Technology (pp.107-136). Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017 / CBO9781316417744.006

[I.25] Par Dushantha Nalin K. Jayakody, Kathiravan Srinivasan, Vishal Sharma “5G Enabled Secure Wireless Network “p 123. , Vishal (Eds.) , 2019

[I.26] De Guy Pujol ‘ Réseaux logiciels : Virtualisation, SDN, 5G et sécurité’ p 37 , ISTE éditions , 01/09/2015

[I.27] DERRIDJ Kaci Anis GHERRAS Noureddine, “Conception et développement d’un outil de Dimensionnement de réseau Packet Core Virtualisé dédié pour la 4G et 5G “, Date de soutenance 07 /2016, Université mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

[I.28] “Mobile-Edge Computing – Introductory Technical White Paper,” Sep-2014. [Online]. Available: https://portal.etsi.org/portals/0/tbpages/mec/docs/mobileedge_computing_-_introductory_technical_white_paper_v1%2018-09-14.pdf. [Accessed: 16-Mar-2017]

[II.29] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", 2005, John Wiley & Sons, INC.

[II.30] Hafedh Ben IBRAHIM GAHA, (Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande), Ecole doctorale GEET&Ecole doctorale STI, 18 Juillet 2007

[II.31] Des anti-5G privent 1,5 million de Français de télévision et de radio, PAR FLORIAN BAYARD, LE 18/01/2021

[II.32] R. Mamunur, H. Saddam « Antenna Solution for Millimeter Wave Mobile Communication MWMC 5g » Journal international, Volume 3, numéro 8, novembre 2014.

[II.33] Yazid Hmeydi, Institut supérieur des études technologiques en communications de Tunis - Projet de fin d'études 2009

[II.34] ADIL KAMIL, Université du Québec « INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE », 'conception d'une antenne patch ultra-large bande' (3.1 ghz-10.6 ghz)', 2011.

[II.35] P. F. Combes, «Circuits Passifs, Propagation, Antennes," Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997 , Paris : Dunod , 1 vol. (XI-383 p.) :

[II.36] J.Q. Howell Microstrip Antennas IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 23, Issue 1, p. 90-93, janvier 1975.

[II.37] G. Kossiavas, A. Papiernik, R. Staraj, C. Luxey Antennes imprimées - Bases et principes Dossier E 3310, Antenne, Techniques de l'Ingénieur, 2012.

[II.38] K. Lu. Wong, "Compact and broadband Microstrip antennas" John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-41717-3, 2002

[II.39] ÉTUDE ET CONCEPTION DE RÉSEAUX D'ANTENNES IMPRIMÉES LARGES BANDES À POLARISATION DIVERSE PAR L'UTILISATION D'ARCHITECTURES LOG PÉRIODIQUES, February 2017, DOI:10.13140/RG.2.2.14494.38724, Thesis for: Doctorat Advisor: ABRI mehadji, Project: Antenna design ,Authors: S.M. Bahloul , Mehadji Abri ,Abou Bakr Belkaid(University of Tlemcen).

[II.40] VAUDON Patrick – Master Recherche Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques IRCOM –Université de Limoges.

[II.41] Sarah El Kadri. Contribution à l'étude d'antennes miniatures reconfigurables en fréquence par association d'éléments actifs. Autre. Université de Grenoble, 2011. Français. ffNNT : 2011GRENT094ff. fftel-00767173f

[II.42] Ouadiaa Barrou, Abdelati REHA, Abdelkebir EL AMRI, « Etude Paramétrique Des Antennes Patches Rectangulaires Alimentées Par Proximité », Revue Méditerranéenne des Télécommunication Méditerranéen Télécommunication journal, Vol.6, N°2, June2016

[II.43] Abdellatif HAFIANE, Etude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique. Thèse de Doctorat, université de Marne la Vallée (France), 2003.

[II.44] J.Q. Howell Microstrip Antennas IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 23, Issue 1, p. 90-93, janvier 1975.

[II. 45] Laib, S. & Djahli, F. & Mayouf, Abdelhalim & Jean-Claude, Carru & Devers, Thierry. (2012). A generalized CAD model for the full- wave modeling of Coplanar striplines discontinuities. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 25. 82 - 95. 10.1002/jnm.816.

[II.46] Theodore S. RappaportRobert W. Heath, Jr.Robert C. Daniels James N. Murdock, (Millimeter wave wireless communications), Pearson Education, 2015

[III.47] F. Hirtenfelder, "Effective Antenna Simulations using CST MICROWAVE STUDIO®," 2007 2nd International ITG Conference on Antennas, 2007, pp. 239-239, doi: 10.1109/INICA.2007.4353972.