

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DU TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :.....



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

Conception d'une antenne microruban opérant
à 28 GHZ pour les réseaux mobiles 5G

Réalisé par :

- SABEUR Mouna
- BOUABDALLAH Chahrazed

Proposé et dirigé par :

Pr. Djamel KHEDROUCHE

Année universitaire : 2020 /2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes très chers parents pour leur soutien infaillible, l'amour, le courage qu'ils m'ont procurés durant toutes mes années d'études.
- Ma grande Mère que Dieu bénisse son âme
- Mes frères et mes sœurs et toute ma famille.
- Ma nièce Amani et mon neveu Aymen Djawad
- Mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université
- Tous ceux qui m'aiment et tous ceux que j'aime.
- Mon binôme Chahrazed
- Tout(e)s mes ami(e)s.

S. Mouna

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes très chers parents pour leur soutien infaillible, l'amour, le courage qu'ils m'ont procurés durant toutes mes années d'études.
- Mes frères et mes sœurs et toute ma famille et surtout ma petite sœur Djouri et mon petit frère Yahia
- Mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université
- Tous ceux qui m'aiment et tous ceux que j'aime.
- Mon binôme Mouna
- Tout(e)s mes ami(e)s.

B. Chahrazed

Et à toute la promotion STLC 2021

Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage, la patience, la chance, la volonté, la force pour mener ce travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos encadreurs : **Pr. Khedrouche Djamel** pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son aide durant toute la période du travail et **Mr. Khezzar Djamel** pour son aide, conseils et ses efforts

Nos remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant toutes ces années d'études.

Enfin, nous ne voudrions pas oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Table des matières

Table des matières	4
Introduction générale	8
CHAPITRE I. Antennes Imprimée à Ondes Millimétriques pour la 5G.	9
I.1 Introduction.....	10
I.2 Réseaux mobiles de 5ème génération	10
I.3 Perspectives des réseaux mobiles de la 5G.....	10
I.4 Les technologies clés de la 5G.....	11
I.5 Ondes Millimétriques.....	11
I.6 Antennes Imprimées	12
I.6.1 Structure d'une antenne imprimée	12
I.6.2 Avantages et inconvénients de l'antenne patch	14
I.7 Techniques d'alimentation des antennes patches	14
I.7.1 Alimentation directe par ligne microruban	14
I.7.2 Alimentation par câble coaxial	15
I.7.3 Alimentation couplée par ouverture.....	15
I.7.4 Alimentation couplée par proximité	16
I.8 Méthodes d'analyse d'une antenne patch Microstrip.....	17
I.8.1 Modèle de la Ligne de Transmission.....	17
I.8.2 Modèle de la cavité	17
I.9 Antennes patches dans la bande millimétrique.....	18
I.10 Conclusion	18
CHAPITRE II. Etude et Conception d'une Antenne Patch à 28 GHz	19
II.1 Introduction.....	20
II.2 Présentation du logiciel HFSS	20
II.3 Création du Projet sur HFSS.....	21
II.4 Modèle de la ligne de transmission.....	22

II.4.1	Effets frangeants	22
II.4.2	Longueur effective, fréquence de résonance et largeur effective	23
II.4.3	Procédure de conception	23
II.5	Description des modules à réaliser	24
II.6	Simulation de l'antenne rectangulaire	26
II.7	Etude paramétrique	27
II.8	Effet de la longueur L_p	28
II.9	Résultat final	28
II.10	Conclusion	29
	CHAPITRE III. Optimisation, Résultats et Discussion	30
III.1	Introduction	31
III.2	Processus d'optimisation	31
III.3	Résultats de simulations et discussion	33
III.4	Le coefficient de réflexion	33
III.5	Taux d'onde stationnaire VSWR	34
III.6	Impédance d'entrée	35
III.7	Adaptation de l'antenne	35
III.8	Diagramme de rayonnement en 2D et 3D	36
III.8.1	Diagramme 2D	36
III.8.2	Diagramme 3D	37
	IV Conclusion générale	39
	V Références	40

Liste des Figures

Figure I- 1: Techniques utilisées dans la technologie 5G

Figure I- 2: Spectres des fréquences (ondes millimétriques)

Figure I- 3: La Structure de l'antenne microruban

Figure I- 4: Différentes formes d'antenne patch

Figure I- 5: Alimentation par câble coaxiale

Figure I- 6: Alimentation couplée par ouverture

Figure I- 7: Alimentation couplée par proximité

Figure II. 1: Interface du logiciel HFSS

Figure II. 2: Organigramme des différentes étapes d'un design sur HFSS

Figure II. 3: Répartition des champs sur les bords du patch

Figure II. 4: Capture Matlab montrant les résultats de la compilation de l'algorithme

Figure II. 5: Antenne patch conçue sur HFSS

Figure II. 6: Antenne patch

Figure II. 7: Coefficient de réflexion S_{11} Pour ($L_p=3.87$, $W_p=4.14$)

Figure II. 8: S etup Sweep Analysis

Figure II. 9: Le coefficient de réflexion S_{11} , pour différentes valeurs L_p

Figure II. 10: La bande passante

Figure III 1: Antenne rectangle

Figure III 2: Antenne proposée

Figure III 3 : Coefficient de réflexion S_{11}

Figure III 4: Le taux d'onde stationnaire

Figure III 5: Partie réelle de l'impédance d'entrée

Figure III 6: Partie imaginaire de l'impédance d'entrée

Figure III 7: Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 28GHz

Figure III 8: Diagramme de rayonnement 3D .

Liste des Tableaux

Tableau II.1 Dimension d'antenne.....	32
Tableau III.2 Dimension d'antenne proposée	40.

Liste Des Acronymes

3G : La troisième génération

4G : La quatrième génération

5G : La cinquième Génération

HFSS: High Frequency Structure Simulation

ϵ_{ref} : Permittivité effective

ϵ_r : Permittivité relative

RÉSUMÉ

L'antenne est un élément important dans un système de la télécommunication pour émettre et recevoir des informations sous la forme d'ondes électromagnétiques. Dans ce travail nous avons réalisé la conception et l'optimisation d'une antenne patch alimentée par une ligne de transmission, notre méthode d'optimisation est basée sur l'étude paramétrique qui nous a permis d'étudier l'influence de tous les paramètres sur les performances de notre antenne. La conception et la simulation des performances de cette antenne sont réalisées par le logiciel HFSS

Nous avons proposé une nouvelle structure d'antenne patch qui rayonne dans le spectre de 28 GHz pour les réseaux mobiles 5G avec une largeur de bande passante de plus de 15%. Nous avons calculé les différents paramètres de l'antenne optimale tels que la bande passante, le coefficient de réflexion, le taux d'ondes stationnaires (TOS), l'impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement.

Abstract

The antenna is an important element in a telecommunication system for transmitting and receiving information in the form of electromagnetic waves. In this work we carried out the design and optimization of a patch antenna supplied by a transmission line. Our design is based on the parametric study which allows us to study the influence of all parameters on the performance of our antenna. The design and performance simulations of this antenna are carried out by the HFSS software.

We have proposed a new patch antenna structure that operates in 28 GHz for 5G mobile networks with high bandwidth; we calculated the various parameters of the optimal antenna such as bandwidth, reflection coefficient, standing wave ratio (SWR), input impedance and radiation pattern.

المخلص

يعتبر الهوائي عنصرًا مهمًا في مجال الإتصالات اللاسلكية لإرسال واستقبال المعلومات على شكل موجات كهرومغناطيسية, في هذا العمل قمنا بتصميم وتحسين هوائي التصحيح المزود بواسطة خط النقل , يستند التصميم على دراسة مختلف العوامل المؤثرة على اداء الهوائي , تم تنفيذ عمليات محاكاة التصميم والأداء لهذا الهوائي بواسطة برنامج HFSS

لقد اقترحنا هيكلًا جديدًا للهوائي التصحيح موجهًا في 28 جيجا هرتز لشبكات المحمول 5G ذات النطاق الترددي العالي ،قمنا بحساب مختلف مميزات الهوائي مثل النطاق الترددي ومعامل الانعكاس و نسبة الامواج المستقرة و ممانعة المدخل والنمط الاشعاعي

Introduction générale

La nouvelle génération de télécommunication mobile connue sous l'acronyme de cinquième génération (5G) est une technologie évolutive qui prend en charge de nouvelles fonctionnalités et vise à augmenter la vitesse et la réactivité des réseaux sans fil. Face à ces objectifs, la cinquième génération devra combiner plusieurs technologies afin d'avoir un réseau mobile qui pourra satisfaire les différentes exigences. Parmi ces technologies nous pouvons citer : l'utilisation des bandes millimétriques en exploitant les fréquences au-dessus de 6 GHz qui deviennent plus indispensables pour la 5G et facilitera l'intégration de centaines d'éléments rayonnants au niveau de la station de base en profitant de leurs faibles longueurs d'ondes.

Le travail mené dans le cadre de ce mémoire s'inscrit dans ce contexte. Notre objectif consiste à concevoir et simuler une antenne travaillant dans la bande de fréquences millimétriques des 28 GHz pour une application dans les réseaux 5G. Ainsi, nous nous appuyons sur la théorie des antennes afin de déterminer les paramètres géométriques de notre antenne de type micro-ruban et en utilisant le logiciel HFSS pour la simulation de la structure proposée.

Ce manuscrit est structuré comme suit :

Le premier chapitre expose, en premier lieu, des généralités sur la 5G et les ondes millimétriques. En deuxième partie de ce chapitre, on présente une vue d'ensemble sur les antennes imprimées et leurs caractéristiques.

Le deuxième chapitre expose l'objectif de ce travail en présentant la conception d'une antenne patch de forme rectangulaire à l'aide du logiciel HFSS. Ainsi, on commence par la citation des relations utilisées pour le dimensionnement de notre antenne patch. Le logiciel Matlab est utilisé pour le calcul. Les dimensions obtenues sont ensuite utilisées pour la conception et la première itération de simulation avec HFSS.

Le troisième chapitre présente le processus d'optimisation et la discussion des résultats de la simulation obtenus pour l'antenne développée. On termine par une interprétation des résultats et une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Antennes Imprimée à Ondes Millimétriques pour la 5G.

I.1 Introduction

L'antenne est un élément indispensable dans les systèmes réseaux mobile. Il permet de transformer les ondes courant/tension en des ondes électromagnétiques propageant dans l'espace. Les antennes imprimées sont très utilisées dans les terminaux dans les réseaux 3G et 4G. Cette technologie attire beaucoup d'attention et prévue d'être employée dans les réseaux de la 5G. Comme les réseaux de la 5G exigent de nouvelles bandes de fréquences comme les ondes millimétriques, ces antennes imprimées doivent être adaptées à cette nouvelle utilisation afin de répondre aux besoins de cette nouvelle génération. Dans ce chapitre, on va adresser les trois différentes technologies ; la 5^{ème} régénération des réseaux mobile, les ondes millimétriques et les antennes imprimées.

I.2 Réseaux mobiles de 5ème génération

La 5G est la nouvelle génération de technologie de télécommunications sans fil, qui fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile. Elle vise à augmenter la vitesse et la réactivité des réseaux sans fil. Selon certaines estimations, la transmission des données sur les connexions hautes débit de cette technologie peut atteindre une vitesse de 20 Gbit/s, supérieure à celle des réseaux filaires, et une latence égale ou inférieure à 1 ms pour les usages à boucle de retour en temps réel [1].

L'objectif de La 5G est d'assurer toute une série de nouveaux services, en se concentrant sur l'internet des objets, la 5G vise à [2] :

- ⇒ Assurer un accès internet haut débit.
- ⇒ Obtenir un délai de transmission inférieur à 10 ms.
- ⇒ Avoir un temps de « latence » plus court.
- ⇒ Le nombre de terminaux peuvent connecter par antenne est 100 fois supérieur.

I.3 Perspectives des réseaux mobiles de la 5G

La 5G va participer sans doute dans le développement économique et apporter des améliorations dans tous les domaines tels que [3].

- ✓ **Agriculture** : Développe par l'utilisation de capteurs et de moteurs, par exemple, pour mesurer et relier la qualité du sol, la pluie, la température et le vent pour surveiller la croissance des cultures.

- ✓ **Véhicules** : De nombreuses applications concernent la communication sans fil intelligente, par exemple pour réguler les routes, assurer la communication entre véhicule et véhicule et éviter les accidents.
- ✓ **Santé** : comprend plusieurs améliorations mineures ou complexe, comme des exercices de contrôle, capteur de la santé des consommateurs, la connectivité sans fil dans les hôpitaux, le suivi des patients, la télésanté, la chirurgie à distance, etc. [4]

I.4 Les technologies clés de la 5G

La 5G reprend les technologies déjà utilisées avec la 4G LTE (tel que les bandes de fréquence de la 4G), mais se différencie sur plusieurs points très importants. Elle fait également appel à de nouvelles bandes de fréquences comme les ondes millimétriques permettant d'augmenter notablement le débit au détriment de la portée. En plus de cela, la 5G propose de nouvelles technologies comme celles illustrées dans la Figure I-1.



Figure I- 1: Techniques utilisées dans la technologie 5G [5].

I.5 Ondes Millimétriques

Les ondes millimétriques sont le candidat prometteur et pratique pour les réseaux cellulaires 5G à l'avenir. Le spectre des ondes millimétriques inclut des fréquences de 30 GHz à 300 GHz qui correspondent à une longueur d'onde dans l'ordre du millimètre (de 1 mm à 1 cm), (voir Figure I-2). Dans la dernière décennie, la majorité des appareils électroniques communiquent sur une bande de fréquences au-dessous de 6 GHz. Cette bande de fréquence est très encombrée à cause de nombre des objets connectés et plus ce nombre augmente, plus la qualité de service se dégrade.

Le travail avec de plus hautes fréquences et une plus large bande de fréquences est très important pour désencombrer le réseau. Les hautes fréquences permettent de passer plus d'information par seconde. L'augmentation du spectre permet aussi d'augmenter le nombre de canaux de transmission. Néanmoins, les ondes millimétriques présentent quelques inconvénients. Ces ondes traversent difficilement les obstacles, elles sont à plus courte portée et ont tendance à être absorbé par ces obstacles comme les murs, les arbres ou la pluie. Pour résoudre ces problèmes, on doit employer des nouvelles technologies, dont l'antenne est l'élément essentiel à optimiser [6], [7].

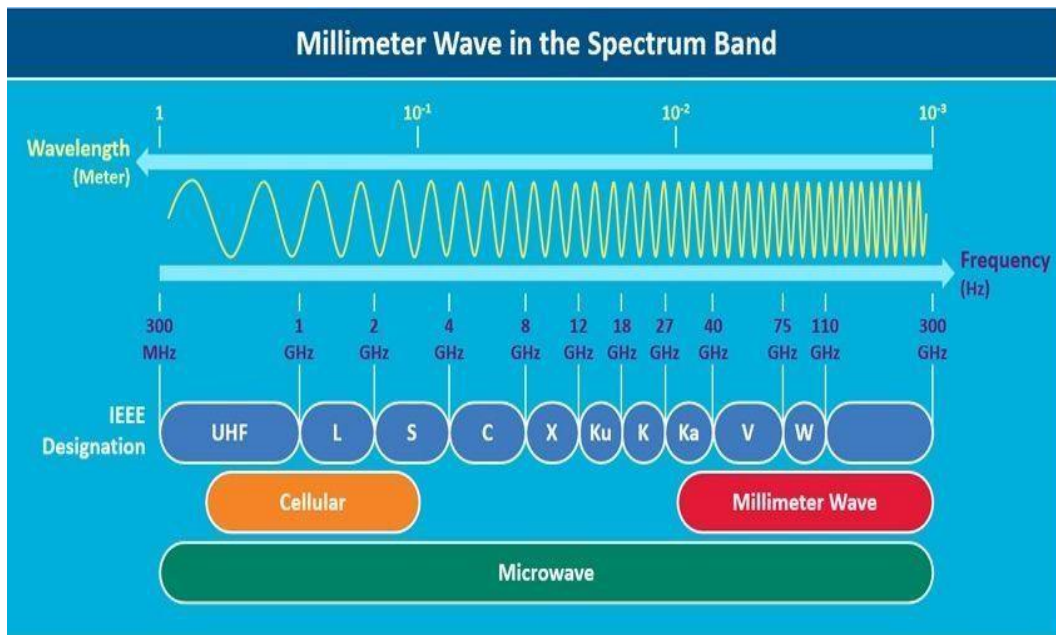


Figure I- 2: Spectres des fréquences (ondes millimétriques) [8]

I.6 Antennes Imprimée

L'antenne imprimée qui porte aussi l'appellation microstrip, microruban, ou encore patch est un élément rayonnant permettant de générer et émettre les ondes électromagnétiques. C'est un dispositif performant qui possède un bon rendement, une grande pureté de polarisation et une large bande de fréquences [9]. Il est utilisé dans plusieurs domaines tels que les réseaux sans fils, les communications via satellite, les systèmes Radars, systèmes de positionnement global, applications de télémédecine et de télémétrie [10].

I.6.1 Structure d'une antenne imprimée

L'antenne imprimée est composée d'un élément rayonnant, et un plan de masse. Ces deux surfaces conductrices sont séparées par une plaque isolante appelée substrat. Ce

type d'antenne a une directivité énorme avec un rayonnement maximal dans la direction verticale de l'antenne [9]. La Figure I-3 montre les différents éléments constituant l'antenne imprimée.

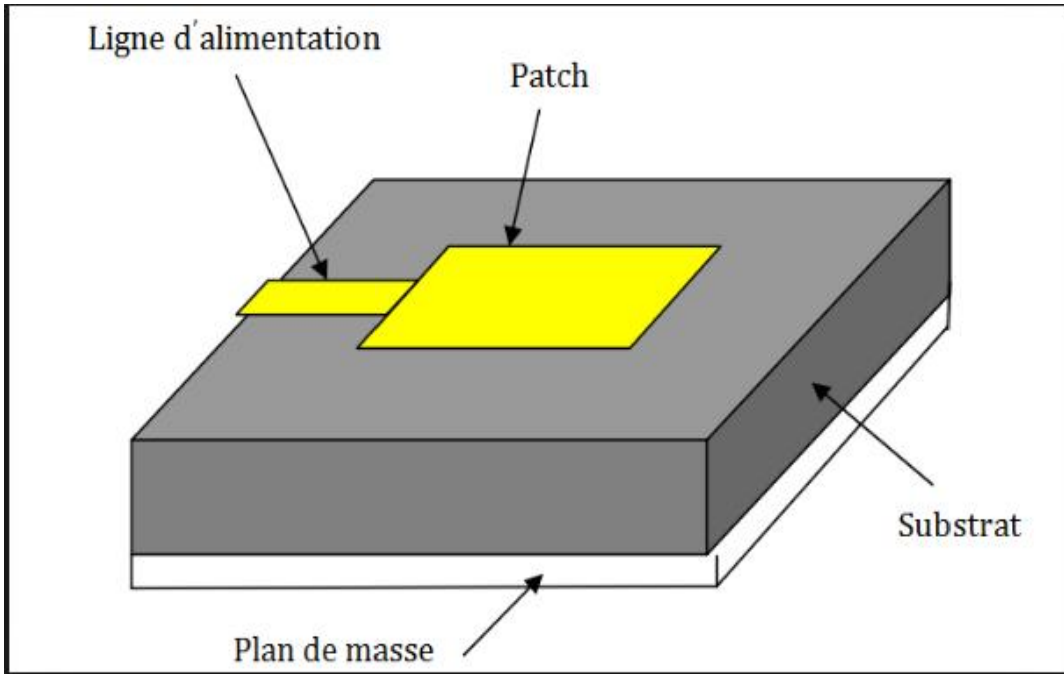


Figure I- 3: La Structure de l'antenne microruban [11]

L'élément rayonnant de l'antenne imprimée peut prendre de nombreuses formes dont rectangulaire, carrée, triangulaire, circulaire, ... etc. Ces formes sont les plus populaires car elles sont très faciles à analyser et à fabriquer, et elles ont également un diagramme de rayonnement intéressant. La Figure I-4montre les formes des surfaces rayonnantes les plus couramment utilisés.

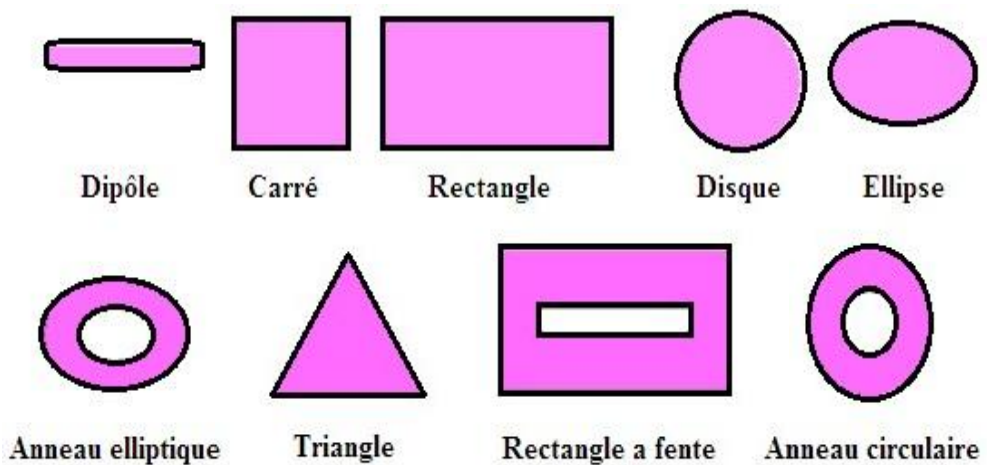


Figure I- 4:Différentes formes d'antennes patch [12]

I.6.2 Avantages et inconvénients de l'antenne patch :

Les antennes patches présentent de nombreux avantages et leurs utilisations couvrent un large domaine de fréquence allant de 100 MHz jusqu'à plus de 100 GHz. Certains avantages sont les suivants [13] :

- Faible poids
- Encombrement réduit
- Faible coût de fabrication
- Production en masse possible
- Antennes multi bandes, multi polarisation possibles

Cependant, elles présentent les inconvénients suivants :

- Faible efficacité
- Faible puissance
- Bande passante étroite
- Impureté de la polarisation
- Un gain moyen

I.7 Techniques d'alimentation des antennes patches

Le choix et la conception de l'alimentation de l'antenne patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. En effet, elles peuvent être classées en deux grandes catégories [14] :

- Les alimentations par contact (par sonde ou ligne micro ruban).
- Les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou par fente).

Chacune de ces techniques d'alimentation présente des avantages et des inconvénients ce qui la rend acceptable d'être utilisée pour des applications et pas pour d'autres.

I.7.1 Alimentation directe par ligne microruban

C'est l'une des techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées. Dans ce type d'alimentation, une surface de connexion métallique est connectée directement au

bord de l'élément rayonnant. Cette surface de conduite, généralement en cuivre agent ou Or, a une largeur plus petite par rapport à l'élément rayonnant.

L'importance de ce type d'alimentation est qu'elle est gravée sur la même face de l'antenne, facile à fabriquer, et simple à adapter à la résonance. L'alimentation directe par ligne microruban a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite [15].

I.7.2 Alimentation par câble coaxial

Dans ce cas l'élément rayonnant est connecté au conducteur intérieur du connecteur du câble coaxial traversant le diélectrique, tandis que le conducteur externe est soudé directement au plan de masse (Figure I.5). L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit désiré du patch afin d'assurer l'adaptation d'impédance, cependant cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme du rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme du rayonnement, de plus des pertes apparaissent avec les perçages du plan de masse ainsi que de l'élément plaqué [16].

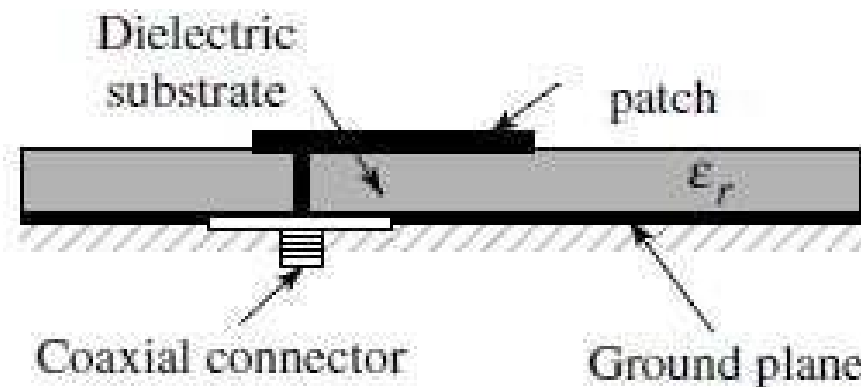


Figure I- 5:Alimentation par câble coaxial [16]

I.7.3 Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation imprimée sont séparés en plan de masse comme il est illustré dans la Figure I-6. La jonction entre ces deux éléments est réalisée par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Ce type d'alimentation multicouche est facile à concevoir à cause des couches multiples, et offre un élargissement dans la bande passante. L'inconvénient de

l'alimentation couplée par ouverture est qu'on doit augmenter l'épaisseur de l'antenne [17].

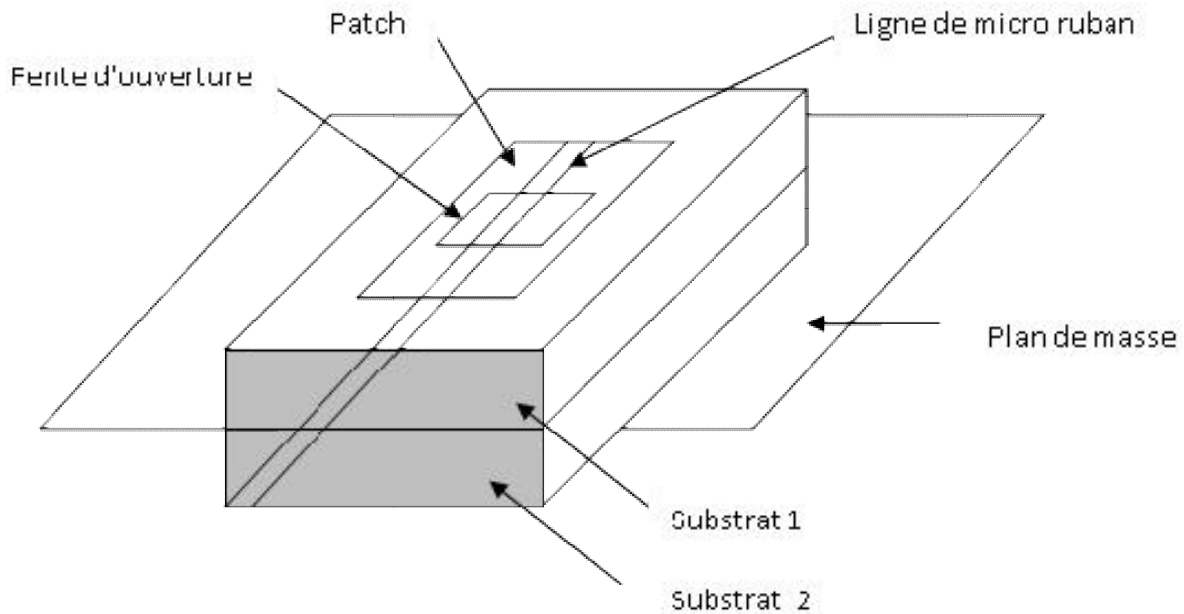


Figure I- 6:Alimentation couplée par ouverture [17]

I.7.4 Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est illustré dans la Figure I-6. Dans cette configuration, deux diélectriques sont employés. La ligne d'alimentation est entre les deux substrats tandis que le patch est au-dessus du substrat supérieur. La différence entre cette technique et la technique d'alimentation précédente est l'absence du plan de masse entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant.

Cette méthode permet l'obtention d'une bande passante plus large. Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation, on cite la difficulté d'alignement des deux couches diélectriques lors de la fabrication [15].

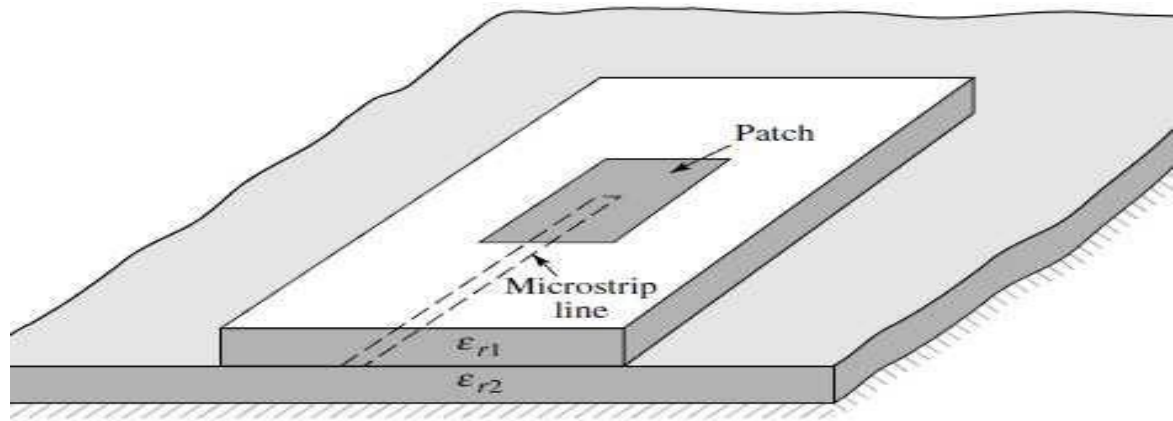


Figure I- 7:Alimentation couplée par proximité [15].

I.8 Méthodes d'analyse d'une antenne patch microstrip

Il existe plusieurs modèles pour l'analyse des antennes imprimées. Ces modèles sont conclus à partir des équations physiques de l'électromagnétisme à travers des hypothèses simples et des approximations qui permettent d'obtenir des modèles d'analyse simples. Parmi les modèles d'analyse des antennes imprimées et qui sont fréquemment utilisés on cite [15] :

- ✓ Modèle de ligne de transmission.
- ✓ Modèle de la cavité électromagnétique.

I.8.1 Modèle de la Ligne de Transmission

Ce modèle permet d'établir une procédure de conception d'une antenne patch rectangulaire. Ce modèle exploite la mesure entre la bande en boucle de l'antenne microruban et une section de la ligne de transmission.

Le modèle de ligne de transmission représente une antenne microruban avec deux trous séparés par une ligne de faible longueur. Pour cela, une analyse du réseau de ligne de transmission est appliquée pour résoudre le problème dont l'inconnue est la constante de propagation et la résistance caractéristique [18] [19].

I.8.2 Modèle de la cavité

Dans ce modèle, la région intérieure (le substrat diélectrique) est modélisée comme une cavité limitée par des murs électriques horizontaux (l'élément rayonnant et le plan de masse) et des murs magnétiques transversaux à pertes. Les conditions aux limites de la

structure nous mènent à des modes de type T_{xyz} avec $z = 0$ lorsque le diélectrique à une épaisseur faible par rapport à la longueur d'onde d'opération λ_0) [20]

I.9 Antennes patch dans la bande millimétrique

Les antennes patch ont attiré beaucoup d'attention ces dernières années pour les applications d'ondes millimétriques en raison de leur faible coût, de leur facilité de fabrication et de leur grande efficacité. Cette gamme de fréquence est avantageuse à cause de la petite longueur d'onde où la longueur de l'antenne égale à la moitié de la longueur d'onde. Pour une fréquence d'opération entre 30 et 300 GHz, la longueur est entre d'onde 10 et 1 mm. Cela permet de construire des antennes physiquement petites et en même temps être suffisamment grandes électriquement et ainsi rayonner d'une manière efficace. Cependant, les fréquences aux longueurs d'onde sont généralement plus élevées que les basses fréquences, le concepteur d'antenne doit concevoir l'antenne avec soin afin de minimiser les pertes et atteindre une efficacité de rayonnement élevée [21].

I.10 Conclusion

L'utilisation de la bande millimétrique pour la 5G est une solution appropriée pour répondre aux futures exigences de cette technologie. Une utilisation appropriée de cette partie du spectre nécessite des antennes efficaces pour bénéficier des avantages de ce spectre.

Dans ce qui suit, on va entamer les différentes étapes dédiées à la conception d'une antenne opérant dans la bande 28 GHz pour les réseaux de téléphonie mobile de cinquième génération.

Chapitre 2 :

Etude et Conception d'une Antenne Patch à 28 GHz

II.1 Introduction

Dans ce chapitre notre objectif est la conception d'une antenne patch de forme rectangulaire à l'aide du logiciel HFSS. Ainsi, on commence par la citation des relations utilisées pour le dimensionnement de notre antenne patch. Le logiciel Matlab est utilisé pour le calcul des dimensions de l'antenne. Les dimensions obtenues sont ensuite utilisées pour la conception et dans la première itération de simulation sur HFSS. La structure obtenue est ensuite optimisée à travers une étude paramétrique pour avoir de bonnes caractéristiques de rayonnement à la fréquence de résonance 28GHz.

II.2 Présentation du logiciel HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) de Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule des champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Il intègre plusieurs fonctionnalités tels que : la simulation, la visualisation, la modélisation des solides, et l'automatisation. Pour cela, il faut construire des objets en deux ou trois dimensions et définir leurs caractéristiques comme : type de matériau, taille, épaisseur, conditions aux limites [22].

Le logiciel HFSS permet de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. Il est particulièrement adapté pour tous ce qui concernent les antennes et leurs propriétés que ce soit la conception, l'analyse et la simulation. Cela dans un environnement facile à utiliser capable de donner rapidement et avec précision des solutions aux problèmes électromagnétiques 3D et des résultats de simulation proches aux valeurs réelles [23]. La Figure II-1 montre l'interface de logiciel HFSS.

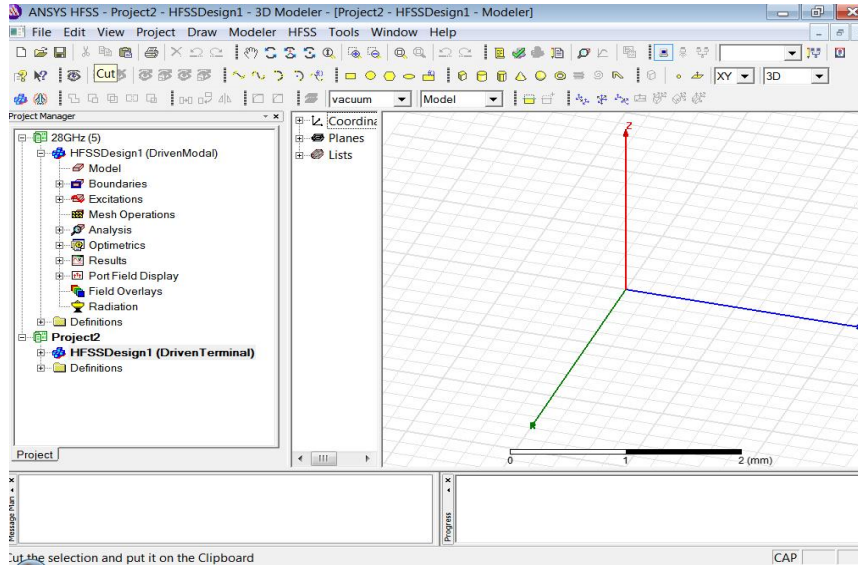


Figure II-1: interface de logiciel HFSS.

II.3 Création du Projet sur HFSS

La Figure II-2 montre un organigramme des différentes étapes à suivre pour créer, simuler, et analyser une antenne microruban en utilisant le logiciel HFSS.



Figure II-2: Organigramme des différentes étapes d'un design sur HFSS [22]

II.4 Modèle de la ligne de transmission

L'alimentation des antennes patches est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. La description analytique la plus simple d'une antenne patch rectangulaire utilise la théorie de ligne de transmission et représente l'antenne microstrip par deux fentes séparées par une ligne de longueur L [24]. Chaque bord de rayonnement de longueur W est modélisé comme fente étroite rayonnant dans un demi-espace (demi-plan).

II.4.1 Effets frangeants

Le patch a des dimensions finies et les champs marginaux aux bords de la structure subissent donc des étalements, (voir Figure II-3), dont la quantité est fonction des dimensions du patch et de la hauteur du substrat. Pour le plan principal E (plan x-y), les champs des bords sont fonction du rapport L/H et de la permittivité relative ϵ_r du substrat. Comme le rapport L/H est supérieur à 1 ($L/H \gg 1$), les champs marginaux sont réduits, cependant, il est nécessaire d'en tenir compte du fait qu'ils influent directement la fréquence de résonance de l'antenne. Le même résultat s'applique sur la largeur W .

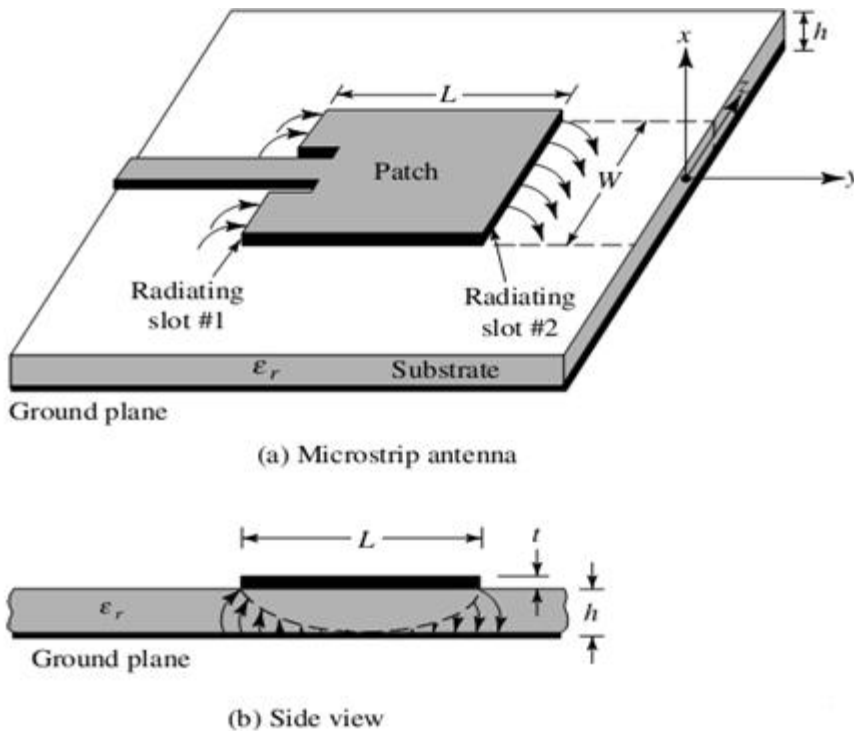


Figure II-3 : Répartition des champs sur les bords du patch [3]

Vu que les champs évoluent dans deux milieux différents (substrat et air), une permittivité effective ϵ_{reff} est introduite pour tenir compte des champs marginaux et de la propagation des ondes dans le patch. Elle est donnée par la relation [13].

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad W/h > 1$$

II.4.2 Longueur effective, fréquence de résonance et largeur effective

Il est déjà mis au Claire que les champs des bords font que les dimensions du patch se voient électriquement supérieures à ses dimensions physiques Cela est bien montré dans la figure II.3 (ca du plan E) où la longueur du patch est allongée d'une quantité ΔL . Une approximation de cette quantité de longueur est donnée par [13] :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)}$$

La longueur effective L_{eff} sera donc :

$$L_{eff} = L + \Delta L$$

II.4.3 Procédure de Conception

Sur la base de la formulation simplifiée du model de ligne de transmission qui a été décrite, on peut suivre la procédure de conception très facile et pratique des antennes microruban rectangulaires. En appliquant cette procédure, on spécifie les valeurs de fréquence de résonance, la permittivité de substrat à utiliser et son épaisseur. On va donc :

- Spécifier

$$\epsilon_r = 2.33, f_r = 28 \text{ GHz, et } h = 0.7$$

- Déterminer

W, L

Comme une première approche les dimensions du patch, vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative ϵ_r , l'épaisseur h) et la fréquence de résonance.

L'alimentation sera faite par l'intermédiaire d'une ligne microruban. Pour le choix du type de matériau, notre choix est porté sur le Rogers RT/duroid 5870 (tm) car il présente un bon rapport prix/qualité et sa permittivité étant 2.33 ce qui est parfait

Les caractéristiques choisies sont donc :

- ✓ Fréquence de résonance : $f=28$ GHz.
- ✓ Substrat de type : époxy –"Rogers RT/duroid 5870 (tm)"de permittivité relative $\epsilon_r=2.33$
- ✓ L'adaptation à 50 Ohm
- ✓ L'alimentation par ligne micro ruban

Pour déterminer les dimensions de patch en utilisant les équations de model de ligne de transmission. Ces équations sont réécrites dans un algorithme dans le logiciel Matlab et après la compilation on a obtenu les résultats indiqués dans la Figure II-4.

```
Enter the value of h:0.7
Enter the value of epsilon_r:2.33
Please enter the output parameter you need (W or fr):W
Enter the resonant frequency in Hz:28e9
The value of W is 4.145438The value of L is 3.879772
```

Figure II-4: Capture Matlab montrant les résultats de la compilation de l'algorithme

II.5 Description des modules à réaliser

Utilisons les résultats obtenus par le modèle de ligne de transmission pour la conception d'une antenne patch de géométrie rectangulaire, à la fréquence 28 GHz. L'objectif de cette étape serait de garantir la fréquence de résonance en 28 GHz avec la meilleure adaptation possible. La Figure II-5 montre l'antenne conçue sur HFSS.



Figure II-5: Antenne patch conçue sur HFSS

L'antenne patch conçue est composée de trois couches : le patch et la ligne de transmission en haut, le substrat au milieu et le plan de masse en bas. Cette antenne est alimentée à travers une ligne microruban et une excitation de type Wave-Port. Ces deux derniers sont adaptés à une impédance de 50 ohms. Les différents paramètres de l'antenne sont indiqués dans la Figure II-6

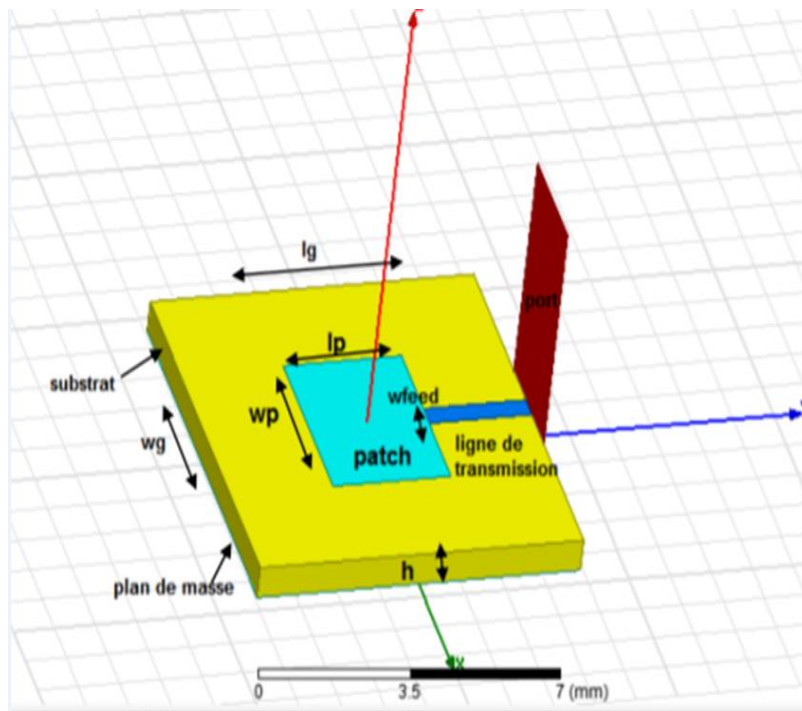


Figure II. 3: Antenne patch

Les valeurs des différents paramètres de l'antenne patch conçu sont montrées dans le Tableau II-1:

Tableau II-1:Dimension de l'antenne conçue

Paramètre	Valeur (mm)
wg	9.14
lg	7.825
wp	4.14
lp	2.825
h	0.7
W_{feed}	0.5

II.6 Simulation de l'antenne rectangulaire

Après avoir conçu l'antenne selon les résultats obtenus par le model de ligne de transmission, on passe maintenant aux résultats de la simulation de l'antenne sur HFSS. La Figure II-6 montre le résultat du coefficient de réflexion obtenu. On observe que la fréquence de résonance est obtenue à 22GHz. Ce décalage de fréquence est dû à la tolérance du model de ligne de transmissions et qui devient plus importante pour des fréquences plus élevées comme celles de spectre des ondes millimétriques.

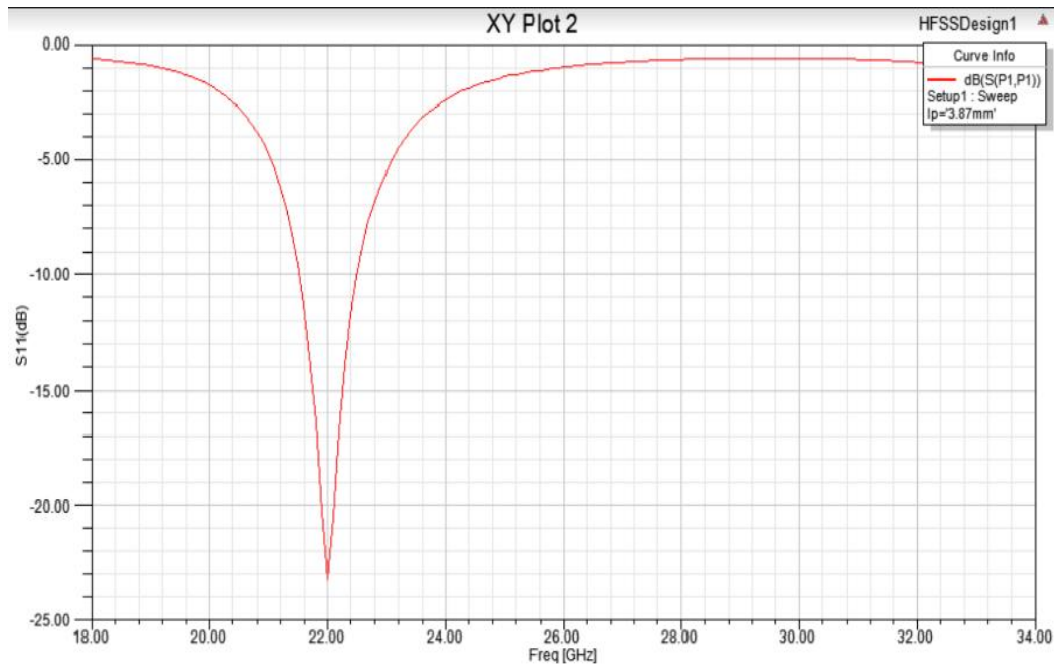


Figure II. 4: coefficient de réflexion S_{11} pour ($L_p=3.87$, $W_p=4.14$)

II.7 Etude paramétrique

Quelques paramètres définissant la géométrie de l'antenne patch de forme rectangulaire sont modifiés, afin de constater leurs influences sur les performances de la structure, notamment la bande passante et la fréquence de résonance de cette antenne. La Figure II-7 montre le changement de longueur du patch L_p en utilisant la fonction Optemiric de HFSS.

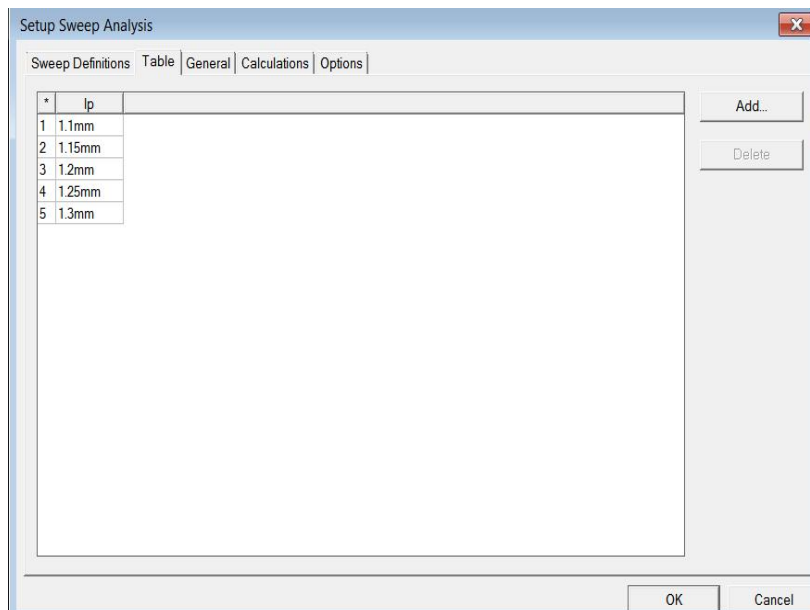


Figure II. 5: Setup Sweep Analysis

II.8 Effet de la longueur L_p

On conserve les valeurs de tous les paramètres et en changeant la valeur de L_p de 1 mm jusqu'à 3 mm avec un pas de 0.05 mm, on observe dans la Figure II-8 que la fréquence de résonance augmente lorsque la valeur de L_p est diminuée. Figure II-8 illustre un échantillon des résultats d'une étude paramétrique intensive du paramètre L_p . D'après cette étude on a varié les valeurs de L_p et W_p et on' a observé que la longueur de patch peut contrôler sa fréquence de résonance et l'adaptation du patch et contrôlée par W_p .

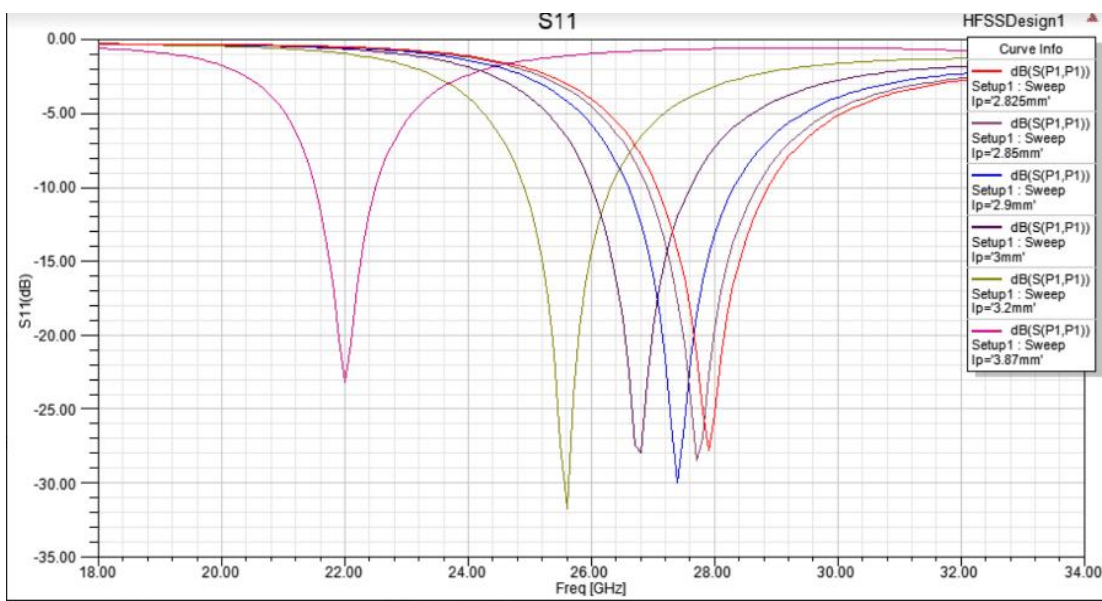


Figure II. 6: Le coefficient de réflexion S_{11} , pour différents valeurs L_p

II.9 Résultat final

Après une étude paramétrique intensive, le résultat final de l'antenne patch optimisée a les dimensions $L_p = 2.825$ mm et $W_p = 4.14$ mm. Figure II-9 montre la courbe du coefficient de réflexion pour ces dimensions. Ce graphe montre une fréquence de résonance de 28 GHz avec un coefficient de réflexion de -28 dB. Une bande passante de 1.7 GHz et obtenue selon le critère de -10 dB.

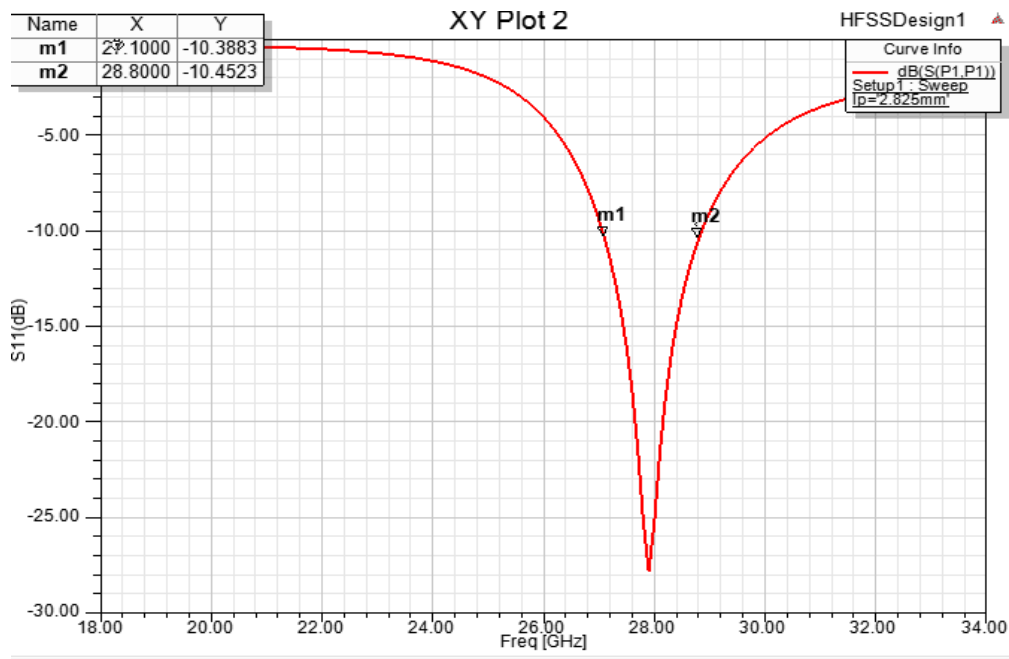


Figure II. 7: la bande passante

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a réalisé une antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne de transmission microruban. L'antenne patch est simulée en utilisant le logiciel HFSS. On a étudié les effets de changement de la longueur du patch L_p et nous avons appliqué une étude paramétrique pour chercher une antenne qui résonne à 28 GHz.

Nous avons étudié les effets des différents paramètres d'une antenne rectangulaire telle que les dimensions du patch (L_p , W_p , ϵ_r , h) sur la fréquence de résonance et la bande passante. Ensuite, nous avons présenté les résultats de simulation suivis par des commentaires.

Notre objectif dans le chapitre suivant sera donc l'optimisation de cette antenne tout en gardant la même fréquence de résonance de travail.

A decorative red border with rounded corners and scroll-like details at the top and bottom edges, framing the chapter title.

Chapitre 3 :

Optimisation, Résultats et Discussion

III.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on 'a conçu une antenne patch conventionnelle selon le modèle de ligne de transmission. On a choisi toutes les constantes qui doivent être définies avant l'optimisation telle que la permittivité et la hauteur du substrat. Les dimensions calculées à l'aide d'un algorithme sur Matlab sont ensuite optimisées selon les résultats de sortie de la première simulation. Pour optimiser ces dimension, on a appliqué une étude paramétrique afin que les dimensions optimales permettent de fixer la fréquence de résonance désirée.

Notre objectif dans ce chapitre est d'achever la conception de la structure optimisée de notre antenne patch opérant à 28GHz.

III.2 Processus d'optimisation

Les simulations informatiques peuvent aider à déterminer les paramètres électriques et les caractéristiques de rayonnement. Les caractéristiques de l'antenne conventionnelle obtenues dans le chapitre précédent peuvent être améliorées. Pour cela, la structure de l'antenne est optimisée selon ces deux actions :

1. Proposer des changements dans la structure
2. Appliquer une étude paramétrique permettant de découvrir la structure proposée

Ces deux actions sont répétées jusqu'à l'aboutissement à une structure qui répond aux différentes exigences de la simulation.

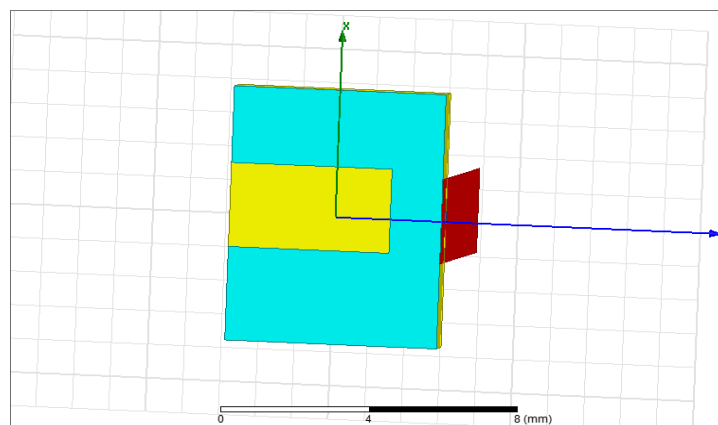


Figure III-1: Antenne rectangulaire (vue au-dessous)

À ce stade, le processus de l'optimisation de l'antenne conçue est complet. La structure de l'antenne finale est illustrée dans la Figure III-2.

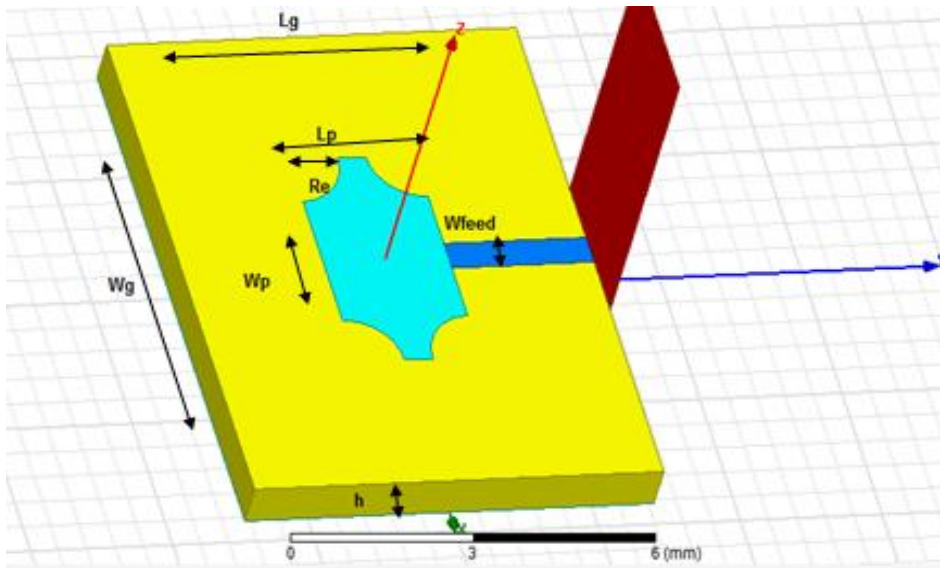


Figure III 2: Antenne proposé (vue au-dessus)

Cette structure est optimisée à l'aide d'une étude paramétrique à plusieurs itérations. Ces itérations successives ont donné lieu aux dimensions de l'antenne présentées dans le Tableau III.1.

Tableau III.1 Dimension de l'antenne optimisée

Paramètre	Valeur
Wg	9.14 mm
Lg	7.749 mm
Wp	4.14 mm
Lp	2.749 mm
h	0.7 mm
Wfeed	0.5 mm
Re	0.85mm

Cette structure et ces dimensions ont permis d'optimiser l'antenne en termes de bande passante et de miniaturiser ses dimensions.

III.3 Résultats de simulations et discussion

Après avoir conçu l'antenne et l'optimiser, passons maintenant à la démonstration des différentes caractéristiques de radiation de cette antenne et à la discussion des résultats.

III.3.1 Le coefficient de réflexion

On définit la qualité d'adaptation d'une antenne soit en donnant son impédance caractéristique (souvent à 50 ohms), soit en donnant son coefficient de réflexion. Le coefficient de réflexion, exprimé en décibels, est le rapport de la tension réfléchie à la tension incidente.

Dans notre cas, le paramètre S_{11} qui est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne exprime le transfert d'énergie à cette antenne. La valeur de ce paramètre varie en fonction de la fréquence. Afin d'assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence désirée, nous imposons le critère suivant $|S_{11}| \leq -10$ dB [25].

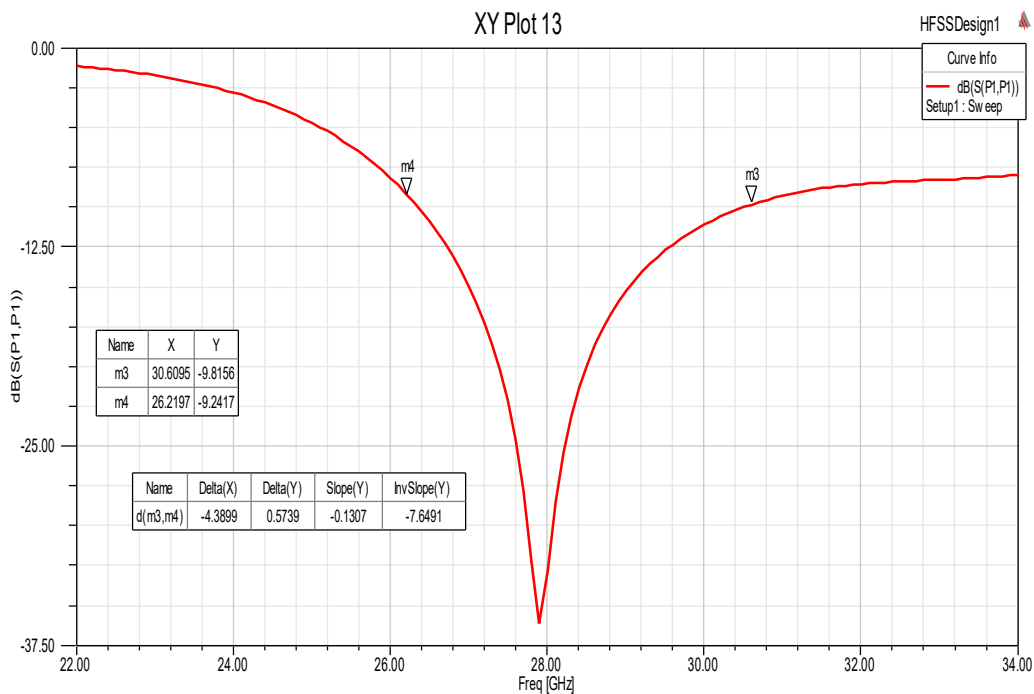


Figure III-3 Coefficient de réflexion S_{11}

La valeur de base du coefficient de réflexion est supposée être de -10 dB, ce qui signifie que 10 % de la puissance incidente est réfléchi, c'est-à-dire que 90 % de la puissance est reçue par l'antenne, ce qui est considéré comme parfait pour la communication mobile à la bande 22-34 GHz. L'antenne proposée a un point de résonance à 28,00 GHz avec une perte de réflexion de $-36,50$ dB, comme le montre la Figure III-3. Le paramètre S_{11} a été obtenu en alimentant l'antenne avec excitation de type «WAVE PORT». L'antenne a une largeur de bande de fonctionnement de 4,38 GHz, centrée sur la fréquence 28 GHz qui appartient à l'intervalle [26,2197-30,6095] GHz. Ce qui donne une largeur de bande passante de 15,64%.

III.3.2 Taux d'onde stationnaire VSWR :

Le taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) c'est un quotient entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission. En d'autre manière, il caractérise la quantité du signal qui s'est réfléchi aux bornes d'une composante micro-onde. La norme acceptable dans un système de rayonnement électromagnétique est celle d'une valeur de VSWR inférieur à 2.

Le rapport d'onde stationnaire (VSWR) de notre antenne est représenté dans la Figure-III.4. Il inférieur à 2 dans toute la bande de fréquence souhaitée de 28 GHz et ceci implique une bonne adaptation qui mène à un transfert maximal de la puissance.

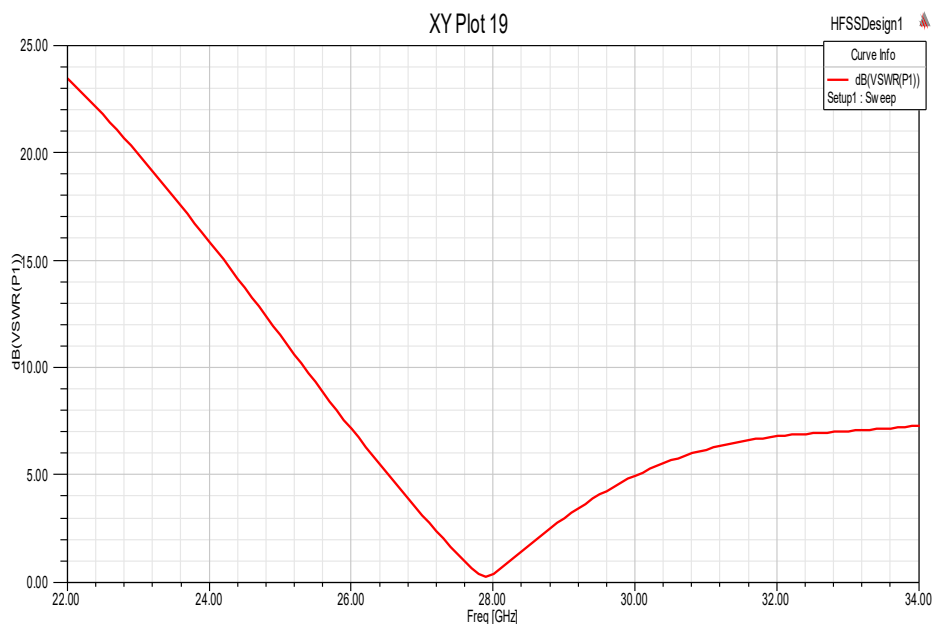


Figure III-4:Le taux d'onde stationnaire

III.3.3 Impédance d'entrée

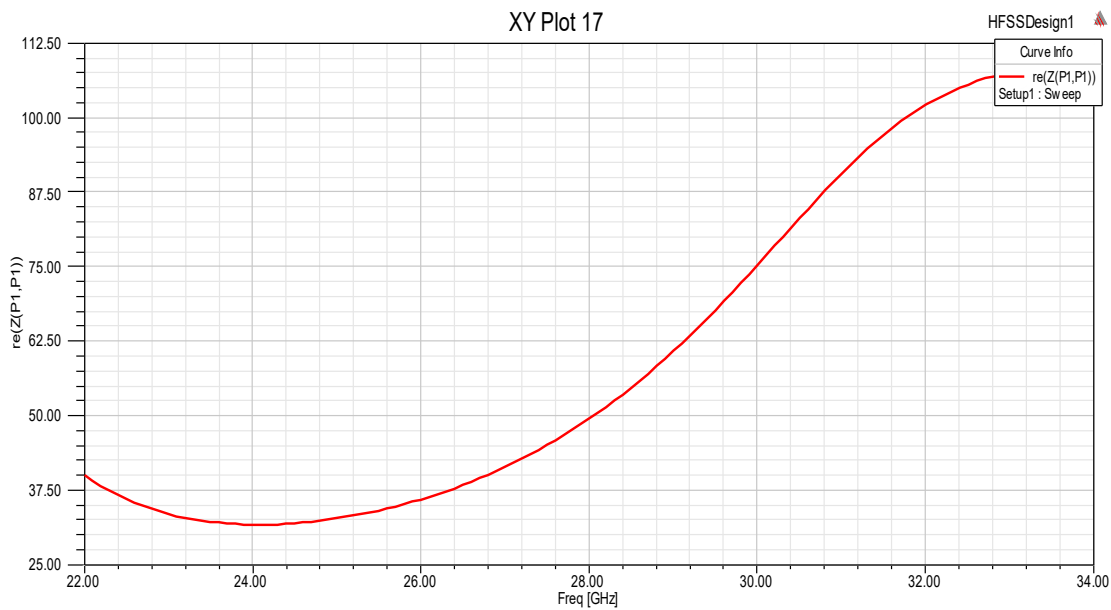


Figure III-5: Partie réelle de l'impédance d'entrée

La Figure III-5 montre la partie réelle de l'impédance d'entrée. Nous observons une bonne adaptation qui est autour de 50 ohms dans la bande opérationnelle et égale à 50 ohms au point de résonance.

III.4 Adaptation de l'antenne

La partie imaginaire de l'impédance d'entrée de la Figure-6 représente la puissance qui est stockée dans le champ proche du radiateur. Cette puissance n'est pas considérée comme une puissance rayonnée. Une antenne avec une réactance nulle et une impédance d'entrée réelle (partie imaginaire nulle) est considérée comme résonnante à la fréquence correspondante. Les résultats obtenus de la réactance de l'antenne (partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne) montrent une bonne correspondance d'impédance au spectre de fréquences considéré.

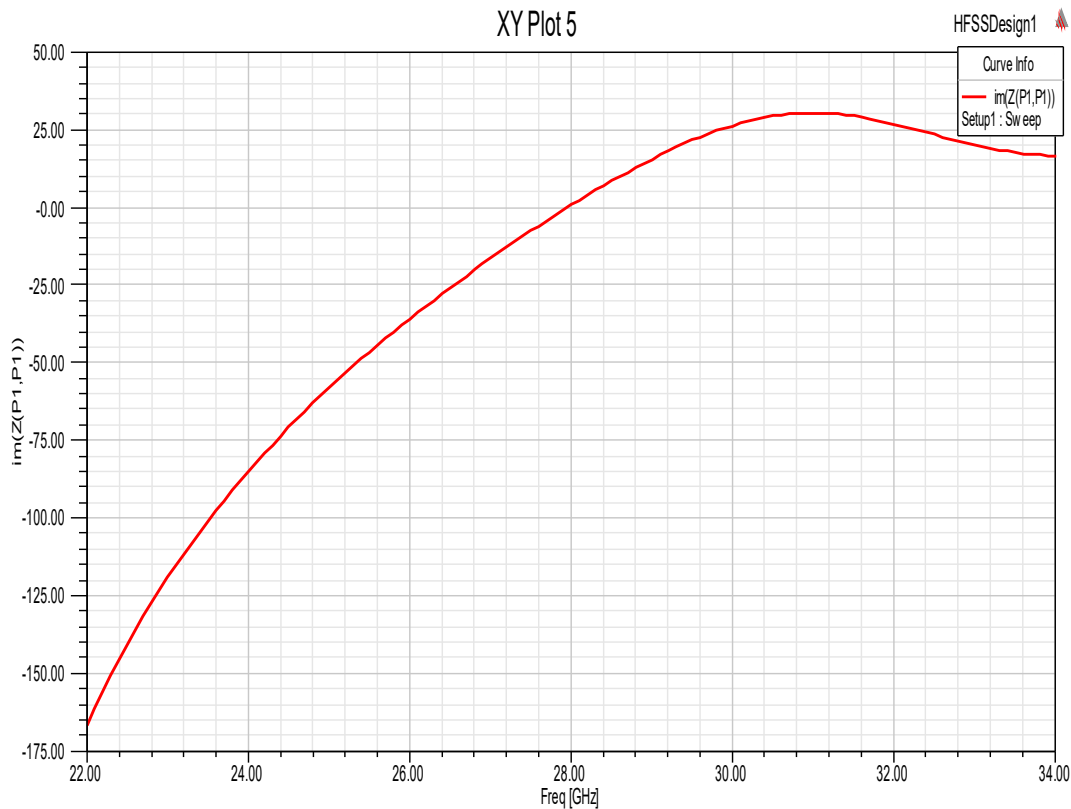


Figure III-6:Partie imaginaire de l'impédance d'entrée.

III.5 Diagramme de rayonnement en 2D et 3D

III.5.1 Diagramme 2D

La Figure III-7 montre le diagramme de rayonnement 2D dans le plan E et le plan H de l'antenne conçue. L'énergie rayonnée par une antenne est représentée par son diagramme de rayonnement. Cette représentation schématique définit la variation de la puissance rayonnée par une antenne en fonction de la direction s'éloignant de l'antenne et montre la distribution de l'énergie rayonnée dans l'espace.

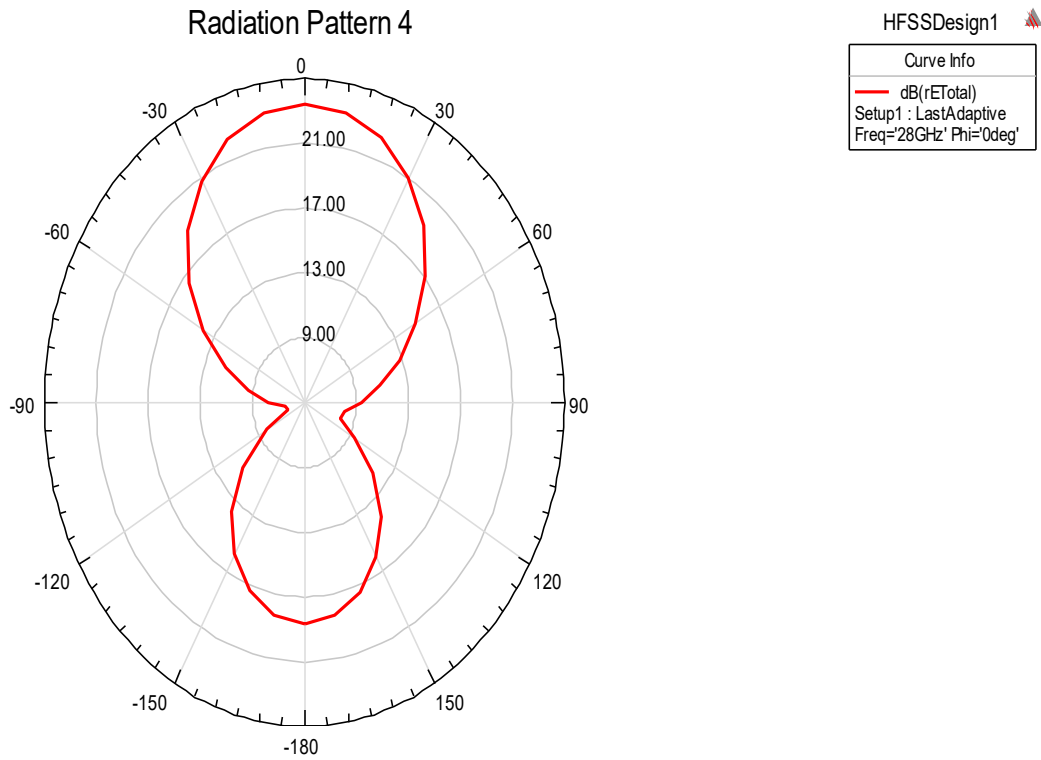


Figure III 7: Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 28GHz.

III.5.2 Diagramme 3D

Afin de vérifier la stabilité du diagramme de rayonnement de cette antenne conçue sur l'ensemble de la largeur de bande de fréquence considérée, le diagramme de rayonnement 3D est illustré à la figure 8. Selon cette figure, cette antenne a un autre facteur important de performance en termes de stabilité du diagramme de rayonnement produit pour des fréquences données de 22 GHz, 28 GHz et 34 GHz. L'antenne a un rayonnement maximal dans l'axe Z avec un gain de 4.8 dBi.

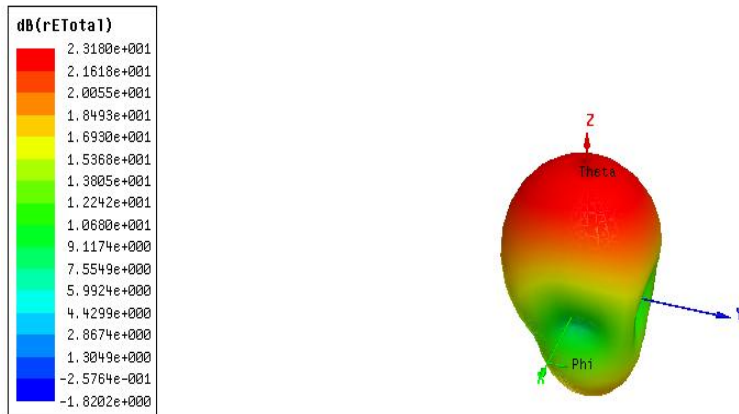


Figure III-8: 3D radiation pattern.

III.6 Conclusion

Notre objectif d'optimiser la bande passante de l'antenne conventionnel est bien achevé en gardant la même fréquence de résonance. Nous avons présenté les résultats de simulation suivis par des commentaires et des discussions. Les performances étudiées sont :

- ✓ La bande passante en dB.
- ✓ La variation de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence.
- ✓ Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.
- ✓ Le taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.
- ✓ Diagramme de rayonnement (2D, 3D).

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail était de concevoir une antenne microruban opérant à des ondes millimétriques dans la gamme de fréquence de 28 GHz pour des applications dans les systèmes de communication de 5^{ème} génération.

L'antenne proposée a été conçue et simulée avec le logiciel HFSS. La conception montre une bonne correspondance d'impédance avec un gain de crête d'environ 4,38 dBi, une bonne réponse de diagramme de rayonnement et une bande passante de plus de 15,78% centrée à 28 GHz. Par conséquent, ces résultats obtenus représentent un meilleur compromis en termes de taille, de gain, et de bande passante. L'antenne proposée présente l'avantage d'une large bande passante, d'un gain adéquat, d'une forme plane et d'une capacité d'intégration dans la technologie multicouche. Ces performances font de cette antenne un bon candidat pour les futurs composants de communication sans fil et d'autres applications à ondes millimétriques.

Références Bibliographiques

- [1] : M. KHELLADI Mounir ,Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G,Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER,2020.
- [2] :Olivier Ezratty . «Opinions Libres» <https://www.oezratty.net>,20 février 2018.
- [3] :FEI Hu « Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective »Livre, 5 avril 2016.
- [4] :A.Osseiran, J. F. Monserrat, P. Marsch « 5g Mobile and Wireless communications Technology » Livre, Juin 2016.
- [5] : M. KHELLADI Mounir ,Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G,Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER,2020.
- [6]:François MAGNE. «Télécommunications haut débit en ondes millimétriques»,10 mai 1998.
- [7] :R.Ghayoula « Contribution A L'optimisation De La Synthèse Des Antennes Intelligentes.
- [8] :Source: Large bande mobile à ondes millimétriques: Unleashing 3-300 GHz Spectrum, 2011.
- [9] :A. Bouake « simulation d'un réseauxd'antennes pour les mobiles 5G avec CST » Mémoire de Master, Université KasdiMerbah Ouargla 2018.
- [10] :H.ERRIFI « Analyse et conception d'antenne réseau a deux patch rectangulaire alimentée en série» ,Laboratoire EEA & TI, Université Hassan II, Faculté des Sciences et Techniques, Mohammedia, Maroc
- [12] :laboratoire de télécommunications(LTT), département de génie électrique et électronique de la faculté de technologie de l'université Abou BekrBelkaid de Tlemcen.2012/2013.
- [13]: C.A. Balanis, «Analysis Design, Third Edition», ISBN 0-471-66782-X Copyright 2005 John Wiley & Sons, Inc. CH14 page 811.
- [14] : VAUDON Patrick, « Réseaux d'antennes », IRCOM –Université de Limoges.
- [15] :FouadBenamrane Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fés) Maroc – Master Télécom Hyperfréquence 2011.

- [16]:MELIHI Souhila et FENGALTine-Hinane « Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation », Mémoire de Master en Télécommunication par Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [17] : Mr. Riabimouhamdlahti ,{Contribution à l'étude d'antenne imprimées rectangulaire double bande et multi bande tenant compte de l'effet de couplage}, Présenté pour obtenir le diplôme de Magister en Electronique,2009.
- [18] : HOCINI Abdeslam ,{Etude et conception d'un antenne patch ultra large band ULB a bande rejetée},université msila 2016/2017 .
- [19]: C.A. Balanis, «Analysis Design, Third Edition», ISBN 0-471-66782-X Copyright 2005 John Wiley & Sons, Inc. CH14 page 811.
- [20] D. KHEDROUCHE "" Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale "" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine, Juin2009.
- [21]:R.Alhalabi « High efficiency planar and RFIC-based antennas for millimeter-wave communication systems » ThèseDoctorat, Université de California-San Diego 2010.
- [22] R. M. Nelson and D.A. Rogers and A.GomesD'assunção "resonant frequency of a rectangular microstrip patch on several uniaxial substrates"IEEETrans.AntennasPropagat, vol.38, pp 973-981, 1990.
- [23]Imad MADI 'Conception,simulation et réalisation d'une antennepatch' 2016/2017
- [24] R. E. Munson, "Conformal Microstrip Antennas And Microstrip Phased Arrays" IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-22, no. 1, pp. 74-77, Jan. 1974.
- [25] D. M. Pozar , S. M. Voda, "A rigorous analysis of a micro strip line fed patch Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. AP-35, N°. 12, 12/1987.