

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : TELECOMMUNICATION

Spécialité: Systèmes des Télécommunications

Par

- **Khaoula MERADI**
- **Rayane OULMI**

Intitulé

*Etude et conception de structures d'antenne à gain élevé à base de cavité
Fabry Pérot FPCA pour les applications 5G*

Évalué le : 21 / 09 / 2021

Par la commission d'évaluation composée de :*

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Pr. Salih AIDEL</i>	<i>Pr.</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. Idris MESSAOUDENE</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. Massinissa BELAZZOUG</i>	<i>MAB</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. Nassim ASBAI</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2020/2021

ملخص

أدت الحاجة إلى استيعاب المزيد من المستخدمين بمعدلات بيانات أعلى مع موثوقية أفضل مع استهلاك طاقة أقل إلى ولادة جيل جديد من الاتصالات المتنقلة ؛ تقنية 5G تعمل هذه التقنية في طيف الموجات المليمترية من أجل تقديم نطاق تردد كبير جدًا ، ولضمان زيادة معدلات الإرسال حول عدة جيجابت / ثانية ، والهدف من هذا المشروع هو دراسة ومحاكاة هوائيات تجويف فابري بيرو (FPCA) في النطاق Ka (26.5- 40 جيجا هرتز) مع طبقة فائقة للحصول على كسب وكفاءة عاليين وعرض نطاق عريض ومستوى SLL منخفض.

الكلمات المفتاحية: 5G, نطاق ka, موجة مليمترية, FPCA, SLL.

Résumé

Le besoin d'accueillir plus d'utilisateurs à des débits de données plus élevé avec une meilleure fiabilité tout en consommant moins d'énergie a imposé la naissance d'une nouvelle génération de communication mobile ; technologie 5G. Cette technologie fonctionne dans le spectre des ondes millimétriques dans le but d'offrir une gamme de fréquences très importante, et d'assurer une augmentation de débits de transmission autour de plusieurs Gbit/s, l'objectif de ce projet est d'étudier et simuler des antennes à cavité Fabry Pérot (FPCA) dans la bande Ka (26.5- 40GHz) avec un superstrat pour obtenir un gain et une efficacité élevés, une large bande passante ,et un niveau de SLL faible.

Mots clés : 5G, bande Ka, ondes millimétriques, FPCA, SLL.

Abstract

The need to accommodate more users at higher data rates with better reliability while consuming less energy has imposed the birth of a new generation of mobile communication, 5G. This technology works in the airwave's spectrum. millimeter in order to offer a very large frequency range, and to ensure an increase in transmission rates around several Gbit /s; The objective of this project is to study and simulate the Fabry Pérot cavity antenna (FPCA) in the Ka band (26.5- 40GHz) with a superstrate to obtain high gain and efficiency; high bandwidth and SLL reduction

Key-words: 5G, Ka band, millimeter waves, FPCA, SLL.



REMERCIEMENTS

Nous profitons de cette occasion pour remercier :

*Avant tout, ALLAH, le tout puissant, de nous
avoir donné le Courage et la volonté pour accomplir
ce travail de recherche.*

*Un remerciement et une reconnaissance particulière
à nos encadreurs Dr. Messaoudene Idris et*

*Dr. Belazzoug Massinissa pour Leurs conseils
Avérés, Leurs efforts et Leurs écoutes particulières*

*Tous ceux qui de près ou de loin ont participés à
notreÉducation.*

*Nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien
indéfectible.*

*L'ensemble du personnel Enseignant et Administratif de
L'université BBA*

*Nous n'oublions pas de remercier : Dr. Attia Salim,
Dr. Hammache Boualem pour leurs aides,
nous vous en sommes reconnaissants*

Merci à tous

DEDICACES

*C'est avec une joie que je dédie ce travail à
ceux qui m'ont
été une source d'inspiration et de volonté.
A ma mère et mon père et à mes grands-
parents.*

*Je le dédie à mes très chères sœurs et mon frère
Adam*

*Une dédicace spéciale à : Dounia, Imane,
Ismahanne, Kahina, Aya, Marwa, douaa et
Kaouthar*

À toute la Famille MERADI et BAHRI

*A la fin je dédie très chaleureusement ce
mémoire*

À mon binôme Rayane



Dédicace

Je dédie ce modeste travail, en première lieu, aux être qui me sont les plus chers ;

Mes parents qui ont toujours aimé me voir réussir, leurs encouragements qu'ils m'ont apportés tout au long de ces années d'études.

À mon père « Dilmi » pour son soutien moral et financier.

À ma mère « Houria » ange de l'âme, pour tous ce que tu as sacrifié pour moi.

À mes frères et mes chères sœurs, pour tout le bonheur.

À tous mes amies et mes collègues de l'étude sans exception, et mon binôme.

Rayane Oulmi



SOMMAIRE

Liste des Figures	
Liste des Tableaux.....	
Liste des Abréviations.....	
Introduction Générale	1

Chapitre I : Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

I.1 Introduction	2
I.2 5 ^{ème} génération	2
I.2.1 Nécessité de la 5G.....	3
I.2.2 Domaines d'applications de la 5G	4
I.3 Les communications à ondes millimétriques (MMW)	4
I.4 Futurs systèmes de communication sans fil (5G) dans la bande Ka.....	5
I.5 Antennes à gain élevé dans les communications MMW	6
I.6 Antennes à résonateur diélectrique dense.....	6
I.6.1 Applications des antennes à un diélectrique dense	7
I.7 Les antennes à cavité Fabry Pérot	9
I.8 Structures périodiques (FSS, PRS, AMC)	11
I.8.1 Applications des structures périodiques (FSS, PRS, AMC).....	13
I.9 Conclusion.....	15

Chapitre II : Résultats Numériques et Discussions

II.1 Introduction.....	16
II.2 Description du Logiciel CST Microwave Studio (MWS)	16
II.3 Description des antennes à réaliser	17
II.4 Réseau d'antenne à patch dense diélectrique (2×2) proposée avec un superstrat troué	18
II.4.1 Résultats de simulation d'un réseau d'antenne patch à diélectrique dense (2×2) ...	19
II.5 Réalisation du modèle d'antenne 2×2 patches à DD	20

II.5.1 Résultats et discussions	22
II.5.1.1 Coefficient de réflexion (S_{11}).....	22
II.5.1.2 Gain.....	23
II.5.1.3 Diagramme de rayonnement.....	23
II.6 Conception de l'antenne patch à diélectrique dense en forme losange.....	24
II.6.1 Structure de l'antenne.....	24
II.7 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques)	26
II.7.1 Effet de la distance d	27
II.7.2 Effet de Diamètre de trou (rprs)	28
II.8 Résultats de la structure d'antenne finale	30
II.8.1 Coefficient de réflexion (S_{11})	30
II.8.2 Gain	30
II.8.3 Diagramme de rayonnement.....	31
II.8.4 Efficacité.....	33
II.9 Comparaison entre l'antenne avec superstrat troué et sans superstrat troué	34
II.9.1 Gain	34
II.9.2 Efficacité.....	35
II.10 Conclusion	36
Conclusion générale	37
Bibliographie.....

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1 Évolution de la 1 G à la 5G.	2
Figure I.2 Évolution du LTE en combinaison avec une nouvelle technologie d'accès radio 5G.	3
Figure I.3 Applications des réseaux 5G.	4
Figure I.4 : Spectre potentiel 5G au-dessus de 20 GHz.	6
Figure I.5 : Configurations d'un DRA cylindrique (a) et d'un disque circulaire MSA (b).	7
Figure I.6 : Antenne patch diélectrique dense.	8
Figure I.7 : Schéma de principe de l'antenne patch diélectrique dense.	9
Figure I.8 : les premières structures d'antenne FPC	10
Figure I.9 : Schéma d'une cavité Fabry-Pérot conventionnelle.	11
Figure I.10 : Réseau FSS bidimensionnel de type patch.	12
Figure I.11 :Réflexions multiples entre le mur réflecteur et le plan de masse.	13
Figure I.12 :(a) Géométrie de l'antenne à cavité résonante (RCA), (b) Géométrie de la surface sélective en fréquence capacitive (FSS) Vue de dessus.	13
Figure I.13 : Configuration de l'élément d'antenne dipôle planaire proposé chargé Avec surface AMC pour point d'accès intérieur.	14
Figure I.14 : (a) Vue de dessus de l'antenne d'alimentation et (b) Vue de côté de l'antenne FPC.	14

Chapitre II

Figure II.1 : Interface du CST.	17
Figure II.2 : Géométrie de l'antenne proposée : (a) vue de côté, (b) vue de dessus.	18
Figure II.3 : Coefficient de réflexion du réseau d'antennes patch 2×2 DD avec un superstrat troué.	19
Figure II.4 : Gain simulé et mesuré et efficacité de rayonnement simulée de l'antenne proposée par rapport au réseau patch DD avec un Conventionnel superstrat.	20
Figure II.5 :Diagramme de rayonnement simulé et mesuré du réseau de patches DD proposé avec un superstrat perforé.	20
Figure II.6 : (a) 1er couche (b) 2ème couche (c) 3ème couche (d) 4ème couche.	21
Figure II.7 : (a) vue de côté (b) vue d'Arrière (c) vue de bas (d) vue de dessus.	22
Figure II.8 : Coefficient de réflexion(S11) en fonction de la fréquence.	22
Figure II.9 : Gain simulé d'un réseau patch DD.	23
Figure II.10 : Diagramme de rayonnement simulé à 28.5 GHz dans le plan E et le plan H.	23
Figure II.11 : (a) Antenne patch à DD de forme losange avec superstrat trouée (b) Les dimensions de superstrat.	24

Figure II.12 : Structure détaillée d'antenne DD patch de forme losange avec superstrat trouée.....	25
Figure II.13 : Les différentes valeurs utilisées dans l'étude paramétrique.....	26
Figure II.14 : Effet de la distance d sur le paramètre S_{11}	27
Figure II.15 : Effet de la distance d sur le gain.....	28
Figure II.16 : Effet du diamètre de trou rprs sur le paramètre S_{11}	29
Figure II.17 : Effet du diamètre de trou rprs sur le gain.....	29
Figure II.18 : S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence.....	30
Figure II.19 : Le gain en (dB) fonction de la fréquence.....	31
Figure II.20 : Diagramme de rayonnement simulé de l'antenne patch DD proposé avec un superstrat troué.....	31
Figure II.21 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne du forme losange.....	32
Figure II.22 : Diagramme de rayonnement ($\phi=0^\circ$) d'antenne du forme losange.....	32
Figure II.23 : Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$) d'antenne du forme losange.....	33
Figure II.24 : Efficacité de rayonnement.....	33
Figure II.25 : Antenne patch à DD de forme losange sans superstrat troué.....	34
Figure II.26 : Gain en(dB) avec PRS et sans PRS.....	34
Figure II.27 : Efficacité de rayonnement avec PRS et sans PRS.....	35

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Les résultats obtenus dans	9
Tableau I.2 : les résultats obtenus dans	15
Tableau II.1 : Les dimensions et les matériels utilisé dans le réseau d'antenne.....	18
Tableau II.2 : Dimensions de l'antenne DD patch de forme losange avec superstrat trouée.....	25
Tableau II.3 : Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28.55GHz.....	35

Liste des Abréviations

5G : cinquième génération.

AMC: Artificial Magnetic Conductor.

DD: Dense dielectric.

DRA: dielectric resonator antenna.

FPCA: Fabry Perot cavity antenna.

FSS: Frequency-Selective surface.

MMW: millimeter wave.

MSA: microstrip antenna.

PRS: Partially Reflective Surface.

Introduction Générale

Les télécommunications sans fil représentent une grande importance car elles permettent une simplification des infrastructures par rapport aux télécommunications filaires, une mobilité accrue des terminaux, et finalement un usage plus souple pour les utilisateurs.

Le monde des télécommunications sans fils connaît une évolution très rapide, cette évolution s'accompagne toujours par une nouvelle technologie et plus de complexité pour subvenir à une forte recrudescence des demandes de clients en termes de débit et de disponibilité des services proposés. Les opérateurs télécom cherchent des solutions pour répondre à cette grande sollicitation des réseaux. La technologie 5G a une grande capacité pour répondre à ces exigences.

Récemment, Comme il y a eu une augmentation extrême du trafic de données sans fil, la communication en ondes mmW est devenue l'une des techniques les plus attrayantes des systèmes de communication mobile 5G. Plusieurs avantages sont obtenus en utilisant la gamme d'onde-millimétriques, y compris un gain élevé avec une grande bande passante disponible, une taille compacte, et une sécurité élevée. Néanmoins, la perte d'atténuation causée par l'absorption atmosphérique peut limiter la plage de transmission des systèmes de communication sans fil. Par ailleurs, la technologie d'antenne imprimée a attiré l'attention des concepteurs d'antennes en raison de son profil bas et de sa facilité de fabrication. Les antennes à gain élevé sont très désirables comme une partie critique des systèmes mmW. La construction des antennes à ondes millimétriques avec des caractéristiques de gain élevé constituerait un avantage important en raison de leur sensibilité élevée aux pertes d'absorption atmosphérique. De plus, des configurations planes sont nécessaires dans de nombreuses applications, telles que la communication sans fil [1].

L'objectif principal de ce travail est d'étudier et de développer des conceptions d'antenne à cavité Fabry Pérot (FPCA) dans la bande Ka (26.5- 40GHz) avec un ou plusieurs superstrats pour obtenir un gain élevé et une efficacité de rayonnement élevée pour répondre aux exigences des applications sans-fil avancées.

Chapitre I

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

I.1 Introduction

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner ou capter des ondes radioélectriques dans l'espace. Les antennes 5G dirigent un signal dans une direction précise plutôt que dans toutes les directions, c'est ce qui donne de bonnes performances par rapport aux générations précédentes.

Ce chapitre est consacré à un état de l'art sur les antennes à un résonateur diélectrique dense et les métamatériaux. Dans un premier temps, nous allons présenter une brève description de la technologie 5G et les ondes millimétriques (mmW) qui sont l'un des principaux moteurs du développement de la communication sans fil 5G, ainsi que l'importance de la bande Ka celle qui permettra à la 5G d'exprimer tout son potentiel. Ensuite, nous avons également abordé les améliorations apportées par la science moderne dans la fabrication d'antennes avec de bonnes capacités.

I.2 5^{ème} génération

La 5G, ou 5G NR (New Radio) est, comme son nom l'indique, la 5^{ème} génération de communications mobiles qui va donc succéder à la 4G LTE, et avant elle la 3G et la 2G. Les réseaux de communication mobile ont toujours connu une évolution continue et rapide depuis leur lancement en tant que réseaux téléphoniques. D'une génération à l'autre, les services se sont multipliés et diversifiés pour inclure les données dans un premier temps puis la vidéo et de nombreux autres services au fur et à mesure. La figure.I.1 montre que chaque génération a des améliorations qui sont proposées aux utilisateurs jusqu'à la 5G :

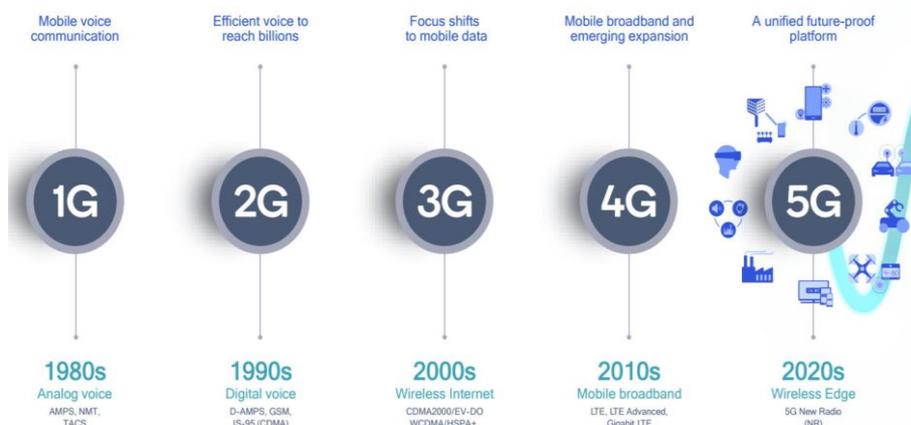


Figure I.1 : Évolution de la 1 G à la 5G.

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

La 5G est la dernière-née des générations de téléphonie mobile considérée comme un élément de future communication qui utilise les bandes millimétriques pour la transmission des données. La 5G faisant suite à la 4G LTE comme le montre la (figure.I.2), se différencie sur plusieurs points très importants. La nouvelle norme 5G apporte des débits plus importants encore que la 4G, et qui peuvent être garantis (la 4G n'assure qu'un débit maximal possible).

La 5G est une mise à jour technologique de la 4G LTE qui peut réutiliser les mêmes bandes de fréquences que cette dernière. Grâce à cette mise à jour, un smartphone 5G peut bénéficier d'un meilleur débit qu'un smartphone 4G pourtant connecté à la même antenne et en utilisant la même fréquence. La 5G fait également appel à de nouvelles bandes de fréquences divisées en deux groupes : Le groupe FR1 avec les basses fréquences 5G Sub-6, et le groupe FR2 avec les hautes fréquences en ondes millimétriques, le groupe des ondes millimétriques permet d'augmenter sensiblement le débit au détriment de la portée.

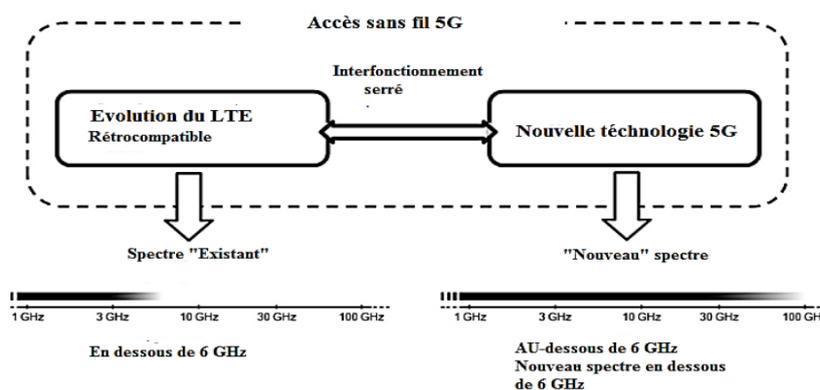


Figure I.2 : Évolution du LTE en combinaison avec une nouvelle technologie d'accès radio 5G.

I.2.1 Nécessité de la 5G

La 5G est l'internet du futur, elle vise principalement l'internet mobile à très haut débit mais aussi l'industrie du futur par l'apparition de nouvelles technologies avec de nouveaux services comme par exemple l'Internet des objets, ou encore le big data. Parmi les principaux objectifs on cite :

- De plus gros forfaits data : le volume de données devra être 1000 fois plus élevé.
- Un temps de « latence » plus court donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Moins d'antennes : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.

- 1Gb par seconde. Les meilleurs débits.
- Plus de batterie, moins de consommation.

I.2.2 Domaines d'applications de la 5G

La technologie 5G possède des pas de développements immenses afin de faciliter nos vies. En réalité les performances annoncées de la 5G devraient également toucher de nombreux secteurs et permettent à de nouveaux usages d'émerger. Pour le mobinaute qui a besoin d'une grande quantité de données, l'apparence de la 5G permettra le déploiement massif de l'Internet des objets (IoT), et il peut être très bénéfique s'il est utilisé à des fins industrielles ou dans des applications liées à la santé. Les différentes applications de la 5G sont illustrées par la figure.I.3.

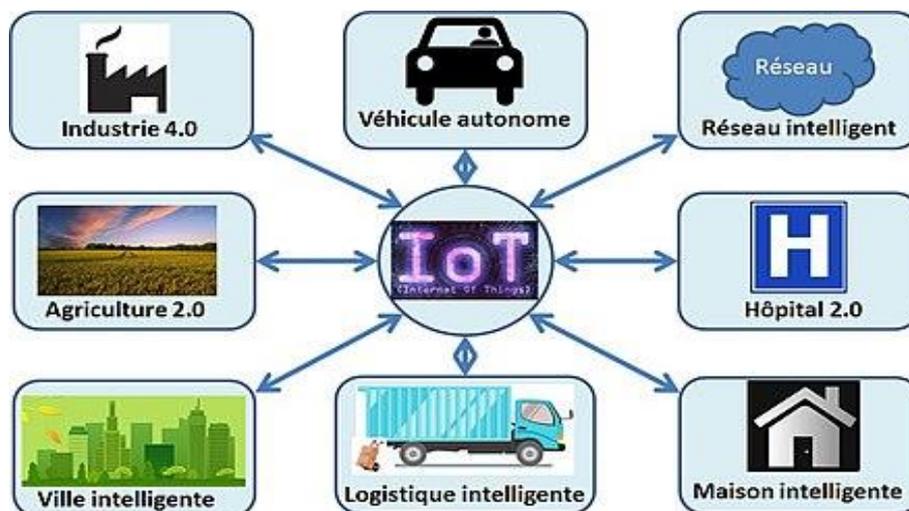


Figure I.3 : Applications des réseaux 5G.

I.3 Les communications à ondes millimétriques (MMW)

Il s'agit de toutes les ondes dont la fréquence est comprise entre 30 et 300 GHz. Correspondant à une longueur d'onde resserrée, allant de 1 mm jusqu'au 10mm. Leur usage dans les télécommunications s'étend typiquement de 30 à 70GHz.

Les communications sans fil à ondes millimétriques constituent la prochaine avancée révolutionnaire pour les réseaux sans fil dans l'industrie cellulaire mobile, les réseaux locaux sans fil émergents, les réseaux personnels et les communications véhiculaires [2].

Les avantages présentés par les ondes millimétriques sont :

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

- Larges bandes disponibles ; Petites antennes.
- Gain et efficacité élevés, ce qui permet de minimiser les risques d'atténuations.
- Réduire la latence entre les appareils.
- La compacité des équipements.
- Haut Débits de données.

En revanche, certains inconvénients majeurs restent à prendre en compte comme :

- Le prix élevé des équipements en hyperfréquence.
- Les ondes millimétriques sont facilement absorbées par les obstacles, ce qui réduit l'énergie.
- Une courte portée.

I.4 Futurs systèmes de communication sans fil (5G) dans la bande Ka

Le choix de la bande Ka est dû à sa fréquences plus élevée, donc les antennes peuvent être plus petites est d'un débit élevé. Le spectre mmWave ce serait l'élément clé de la grande rapidité du futur réseau, mmW technologie promet une capacité de données plus élevée. Une connaissance détaillée des caractéristiques de propagation des canaux dans la bande de fréquences ka (26.5 à 40GHz) joue un rôle décisif dans le développement de la technologie de communication sans fil 5G.

L'évolution des communications sans fil de la première génération à l'incarnation de la quatrième génération s'est accompagnée de l'évolution des technologies utilisées telles que Time Division Multiple Access (TDMA), Code Division Multiple Access (CDMA), Voice over Internet Protocol (VOIP). Le développement des communications de cinquième génération (5G) a été motivé par le besoin croissant de communications fiables à haut débit lié à la volonté d'améliorer considérablement l'expérience utilisateur.

Le domaine des fréquences plus élevées, au-dessus de 20 GHz, a également été exploré pour minimiser la taille des antennes. La gamme MMW autour de 28 GHz est un spectre largement sous licence et sous-utilisé qui s'est avéré prendre en charge les communications cellulaires dans la gamme de 500 mètres. Le spectre à 28 GHz a une perte de trajet en espace libre très comparable à celle des bandes cellulaires 1-2 GHz.

En fournissant plus de spectres pour les futurs systèmes cellulaires MMW, les futures exigences de capacité peuvent être satisfaites, avec des investissements stimulants et développements technologiques en même temps. La figure.I.4 met en évidence les groupes de cette région au plus fort potentiel :

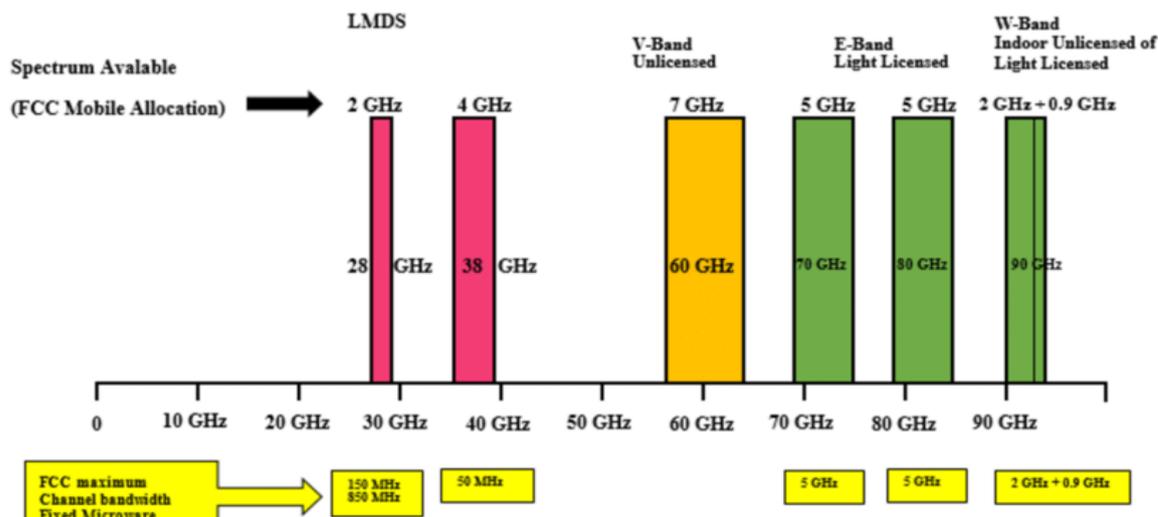


Figure I.4 : Spectre potentiel 5G au-dessus de 20 GHz.

I.5 Antennes à gain élevé dans les communications MMW

Les antennes à gain élevé sont des antennes directionnelles avec un faisceau radio étroit qui est utilisée pour augmenter la force du signal, sont donc très essentielles pour les réseaux sans fil ; Ils amplifient même les signaux faibles utilisés dans les communications par satellite.

Ce type d'antenne est largement utilisé par les applications MMW (5G) pour :

- ✓ Surmonter les pertes de propagation en espace libre, et les pertes par multi-trajets.
- ✓ Compenser les pertes d'atténuation atmosphérique.

I.6 Antennes à résonateur diélectrique dense

Afin d'améliorer le rendement des antennes, les chercheurs ont réalisé des antennes à résonateur diélectrique dense (DRAs) caractérisant d'un faible poids et un coût réduit, et une efficacité élevée. Au début des années 1980, McAllister et Shen ont étudié les résonateurs diélectriques en tant qu'éléments rayonnants et ils ont testé les caractéristiques des antennes à résonateur diélectrique (DRA) avec des formes hémisphériques, cylindriques et rectangulaires

[3]. C'était la première étude théorique et expérimentale sur l'application potentielle des configurations à base de résonateur diélectrique.

Les résonateurs ont été initialement utilisés comme éléments à un facteur de qualité Q élevé dans les circuits hyperfréquences, tels que les filtres et les oscillateurs dans les applications de circuits micro-ondes. Les résonateurs diélectriques sont plus faciles à intégrer avec des circuits planaires.

Les résonateurs diélectriques de forme cylindrique sont largement utilisés, et fabriqué à partir de matériaux avec des constantes diélectriques relativement élevées ($\epsilon_r \geq 35$) pour la compacité. Pour empêcher le rayonnement et maintenir un facteur Q élevé, Ils sont également souvent enfermés dans des cavités métalliques, ce qui est particulièrement important pour les conceptions de filtres ou d'oscillateurs.

I.6.1 Applications des antennes à un diélectrique dense

La réalisation des antennes avec un patch à diélectrique dense pour les applications MMW fait partie des derniers avancements microélectroniques, en raison de leurs avantages attrayants, telle que l'efficacité de rayonnement et le gain élevés des antennes à résonateur diélectrique (DRA).

Dans la référence [4], une comparaison d'antenne à résonateur diélectrique (DRA) avec une antenne microstrip (En anglais Micro-Strip Antenna : MSA) dans la bande Ka pour des applications à ondes millimétriques. Un DRA cylindrique et un MSA à disque circulaire ont été conçus pour fonctionner alentour de 35 GHz. Ces deux antennes ont été construites sur le même substrat et alimentées par des lignes micro-ruban de même longueur à l'aide de transformateurs quart d'onde comme illustre la figure.I.5.

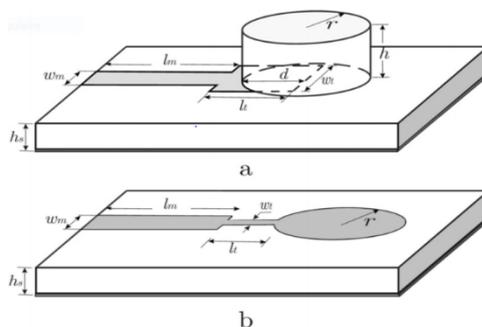


Figure I.5 : Configurations d'un DRA cylindrique (a) et d'un disque circulaire MSA (b)[4].

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

Les résultats listés dans le tableau.I.1 montrent que la bande passante du DRA est plus large que celle du MSA tandis que les diagrammes de rayonnement sont légèrement plus larges que ceux du MSA. À travers les mesures d'efficacité de rayonnement, il a été constaté que l'antenne à résonateur diélectrique peut rayonner plus efficacement que l'antenne micro-ruban, ce qui s'explique par l'absence de pertes ohmiques.

L'antenne à résonateur diélectrique (DRA) a suscité un intérêt considérable et malgré les solutions présentées par cette antenne en termes d'efficacité et gain mieux que l'antenne conventionnel MSA, cependant, il présente l'inconvénient de la grande taille, la solution proposée consiste à utiliser un patch à diélectrique dense (DD) (permittivité élevée).

Une antenne patch à diélectrique dense (DD), est introduite dans [5], la structure basée sur le remplacement d'un patch métallique d'une antenne micro-ruban classique par un patch à diélectrique dense (DD) circulaire à très haute permittivité dans la couche supérieure, un substrat diélectrique en tant que couche intermédiaire et une carte de circuit imprimé (PCB) à double couche en tant que couche inférieure. (figure.I.6)

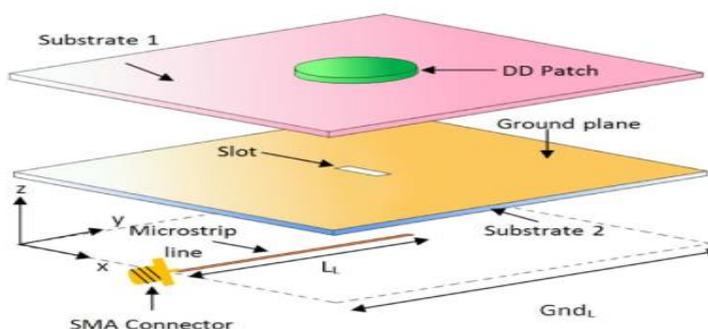


Figure I.6 : Antenne patch diélectrique dense [5].

Dans cette section, un prototype fonctionnant à 3,98 GHz sera présenté. L'antenne patch DD proposée a un gain de 5,5 dBi. En comparaison avec les DRA classiques disponibles dans la littérature, le gain est supérieur d'environ 1 dB, en raison de la réduction des pertes métalliques, l'antenne a des applications potentielles à des fréquences micro-ondes plus élevées. (Tableau.I.1)

Dans la référence [6], un patch à diélectrique dense de forme circulaire, l'antenne résonne à la fréquence 3,86 GHz et elle est composée de trois parties principales, à savoir un patch à

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

diélectrique dense en tant que couche supérieure, un substrat diélectrique en tant que couche intermédiaire et la couche inférieure est constituée d'une carte de circuit imprimé à double couche PCB. Le PCB double face a un plan de masse fendu sur la surface supérieure et une ligne microrubans est imprimée sur la surface inférieure. (figure.I.7)

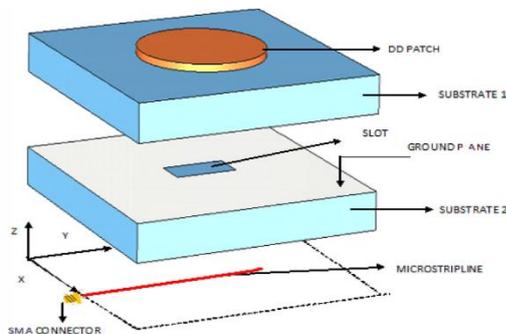


Figure I.7 : Schéma de principe de l'antenne patch diélectrique dense.[6]

Les performances de l'antenne conçue sont données dans le tableau.I.1. Il est montré que l'antenne patch à diélectrique dense a de meilleurs gain et efficacité de rayonnement que l'antenne conventionnel. En plus, il y a une réduction des pertes métalliques en raison de l'utilisation de diélectrique dense, donc l'antenne a des applications potentielles à des fréquences micro-ondes plus élevées.

Tableau I.1 : Les résultats obtenus dans [4],[5], et [6]

Types d'antennes	Bande passante [%]	Gain [dBi]	Efficacité [%]
MSA	3.7	6	81.8
DRA	18.6	6.7	95.2
[4]			
DD circulaire [5]	1	5.5	92
DD circulaire [6]	1.5	15,5	/

I.7 Les antennes à cavité Fabry Pérot

Giswalt Von Trentini est le premier qui a inventé ce type de structure FPCA en 1956 (figureI.8).

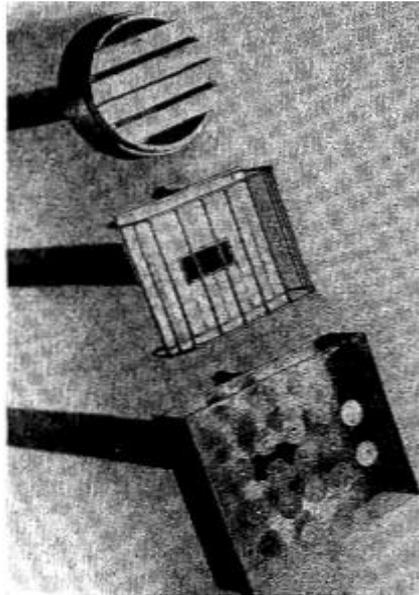


Figure I.8 : Les premières structures d'antenne FPC [7].

Un FPCA est réalisé par une source de rayonnement primaire généralement un patch, entre deux surfaces réfléchissantes (plan de masse de la source primaire et un mur partiellement réfléchitif PRS). Ce type d'antennes est une sorte d'antenne à gain élevé. Il a attiré une attention considérable dans les ondes micro-ondes et millimétrique. De nombreuses caractéristiques le distinguent telles qu'une directivité élevée, une faible complexité, une structure simple, d'un rendement élevé une capacité de déploiement conforme. La cavité résonante FP formée entre un plan de masse métallique et un mur semi-rélecteur, une résonance produite à l'intérieur de la cavité grâce aux réflexions multiple entre le plan de masse et le mur semi-rélecteur. La relation entre la hauteur et la fréquence de résonance d'une antenne à cavité FP donnée par [8] :

$$h = (\phi_{\text{SPR}} + \phi_r) \frac{c}{4\pi f} \pm N \frac{\lambda}{2}$$

Le schéma d'une antenne Fabry-pérot conventionnelle est montré sur la figure (I.9) :

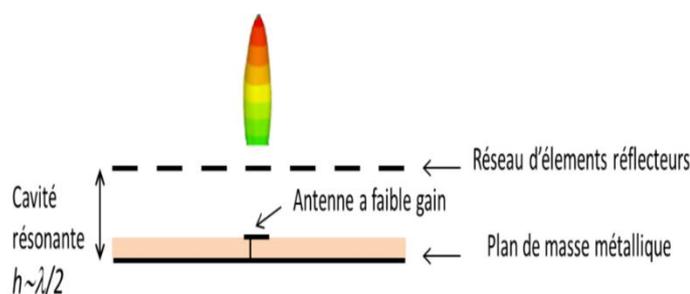


Figure I.9 : Schéma d'une cavité Fabry-Pérot conventionnelle [9].

L'antenne à cavité FP conventionnelle souffre des inconvénients en raison de sa structure de résonance ; telles qu'un faisceau de fixation et un profil élevé, des diagrammes de rayonnement à bande étroite et fixes.

I.8 Structures périodiques (FSS, PRS, AMC)

Il existe de nombreuses techniques pour améliorer les caractéristiques et les performances des antennes, parmi ces techniques l'utilisation des structures périodique. Une structure est définie comme périodique lorsqu'elle peut être conçue par un nombre infini de la même unité de base, appelée cellule unitaire, et qu'il peut s'agir d'une structure 1D, 2D ou 3D, Les structures périodiques sont considérées comme des matériaux artificiels non-existants dans la nature(métamatériaux), permettent également de modifier la propagation d'une onde (le cas des antennes à cavité de Fabry-Pérot). La périodicité d'une structure ajoute quelques caractéristiques pour la propagation des ondes à l'intérieur.

Les types de structures périodiques :

a) Surfaces sélectives en fréquence (FSS)

Les FSSs sont un élément clé dans la conception de systèmes multifréquences. Elles sont des structures périodiques planes de patchs ou d'ouvertures identiques une d'éléments conducteurs qui se réitèrent périodiquement dans un réseau à une ou deux dimensions sur une couche de substrat diélectrique qui fournissent différentes caractéristiques sur différentes bandes de fréquences. Chaque élément est appelé une cellule unitaire et se répète selon un, deux, ou trois vecteurs de translation. La distance entre les cellules est appelée « gap » qui est généralement inférieur à la longueur d'onde (figure.I.10). On distingue trois paramètres principaux affectent les surfaces sélectives en fréquence :

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

- 1- La nature de la géométrie de l'élément (imprimés ou ouvertures).
2. La distance entre les cellules (gap).
- 3- la périodicité selon les axes x et y.

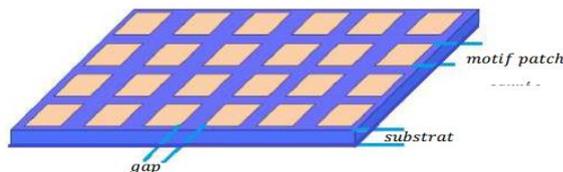


Figure I.10 : Réseau FSS bidimensionnel de type patch.

En raison de leurs propriétés uniques les FSS ont de nombreuses applications dans plusieurs secteurs, ce qui conduit à leur utilisation dans les domaines des antennes à réflecteur, de l'aérospatiale, de la médecine et des communications micro-ondes. Des antennes hautes performances peu observables sont nécessaires dans les zones stratégiques. Ces qualités peuvent être acquises en combinant une structure FSS avec une antenne planaire, où le FSS peut agir comme un superstrat ou comme le plan de masse à haute impédance d'une antenne. L'intégration d'un FSS avec une antenne améliore à la fois son gain et sa bande passante [10].

b) Murs partiellement réfléchifs (PRS)

Trentini a été le premier à étudier le concept d'une antenne FPC et il a prouvé que la directivité d'une ouverture de guide d'ondes dans le plan de masse pouvait être augmentée à l'aide de plusieurs types de surfaces partiellement réfléchissantes (PRS) grâce aux multiples réflexions entre le plan de masse et le PRS en utilisant la méthode d'approximation, elle calcule l'amplitude et la phase des réflexions multiples qui se produisent entre ces deux dernières en les considérant comme des rayons optiques. L'approximation optique à rayon considère le mur réflecteur et le plan de masse comme infinis, cette supposition permet de négliger les effets de diffractions et le couplage des modes supérieurs [5]. Le schéma des réflexions multiples entre le mur réflecteur et le plan de masse est montré à la figure.I.11.

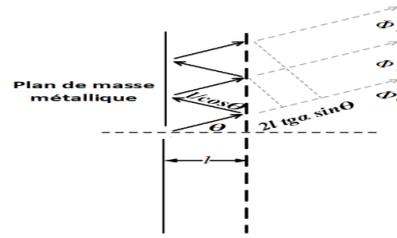


Figure I.11 : Réflexions multiples entre le mur réflecteur et le plan de masse.

c) Conducteurs artificiels magnétiques (AMC)

Les conducteurs artificiels magnétiques (AMC) ou surfaces à haute impédance (HIS) sont des structures créées par un arrangement périodique d'une cellule unitaire avec des propriétés uniques en une, deux ou trois dimensions. Les cellules unitaires sont généralement constituées de patchs conducteurs. Des fentes de différentes formes sont intégrées dans ces patchs pour créer différentes formes avec des propriétés variables. Les plus populaires parmi ceux-ci sont un anneau carré, une croix de Jérusalem ...etc. Cette cellule unitaire est répétée en deux dimensions pour créer une surface à haute impédance. Les propriétés de réflexion et de transmission de ces surfaces attirent beaucoup d'attention pour les applications d'antenne. L'une de leurs caractéristiques uniques utilisées dans les systèmes d'antenne est la réflexion en phase avec une amplitude proche de l'unité dans la bande d'intérêt conçue [11].

I.8.1 Applications des structures périodiques (FSS, PRS, AMC)

Premièrement, une antenne Fabry-pérot à cavité résonante (RCA) à gain élevé double bande avec une seule polarisation a été présentée dans [12]. Une seule couche d'FSS carré a été utilisée comme illustré dans la figure I.12. L'antenne est composée d'un substrat, d'un système d'alimentation et d'un superstrat.

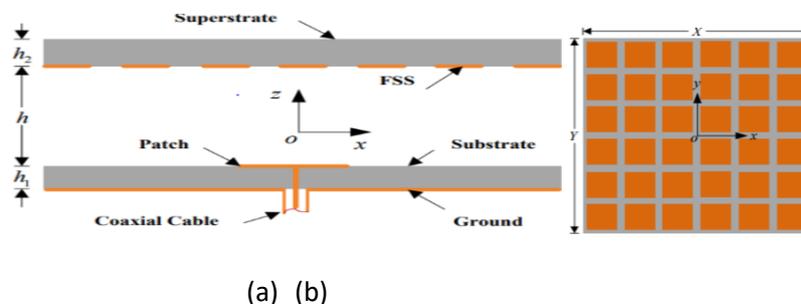


Figure I.12 :(a) Géométrie de l'antenne à cavité résonante (RCA), (b) Géométrie de la surface sélective en fréquence capacitive (FSS) Vue de dessus [12].

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

Dans cette contribution, l'antenne est conçue pour fonctionner dans la bande de fréquence souhaitée, qui est utilisée comme superstrat de l'antenne à cavité résonnante à gain élevé bi-bande (tableau I.2). Les directivités obtenues dans les deux fréquences n'ont pas été mentionnées.

Ensuite dans [13], l'élément d'antenne dipôle proposée comporte une paire de dipôles plans pliés, alimentés par une ligne d'alimentation micro-ruban en forme de E, adossée à une surface AMC qui été déposée sous un dipôle imprimé à une distance de $0.13 \lambda_0$ pour améliorer la bande d'impédance ainsi que le gain (figure.I.13). La surface AMC joue également un rôle clé dans la miniaturisation des antennes, l'amélioration de la bande passante et le profil bas (tableau.I.2).

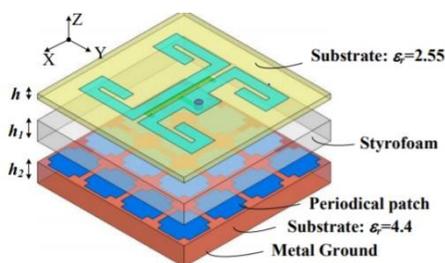


Figure I.13 : Configuration de l'élément d'antenne dipôle planaire proposé chargé Avec surface AMC pour point d'accès intérieur [13].

Finalement dans la référence [14], une antenne à cavité fabry-perot reconfigurable basée sur des méta-surfaces à phase contrôlable a été présentée. Les surfaces artificielles à réflexion partielle (PRS) sont utilisées pour concevoir une antenne FPC. L'antenne est imprimée sur un substrat de type FR4 et elle se compose de deux patches métalliques qui sont reliés par une ligne micro-ondes, et d'un anneau carré. Deux fentes sont ajoutées sur l'anneau carré ainsi que deux diodes PIN sont insérées dans les fentes. Le fond du substrat est un plan de masse métallique. Un connecteur SMA est utilisé pour alimenter l'antenne par le bas et le point d'alimentation se trouve sur la ligne micro-ruban (figure.I.14).

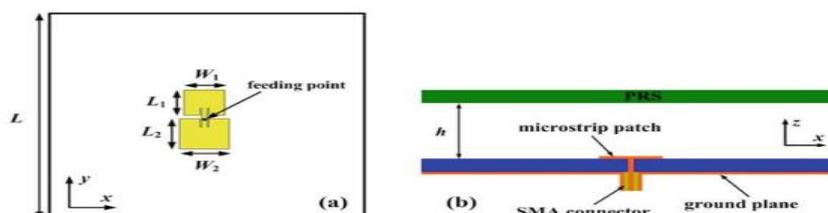


Figure I.14 : (a) Vue de dessus de l'antenne d'alimentation et (b) Vue de côté de l'antenne FPC.

Etat de l'art sur les antennes à DD et les surfaces partiellement réfléchissantes pour la 5G

Tableau I.2 : Les résultats obtenus dans [12],[13],[14]

	Fréquence [GHz]	Bande passante [%]	Gain [dBi]
FPC avec FSS [12]	6.95 13	1.3 1.46	16.5 20.9
Antenne dipôle avec AMC [13]	4.8 à 6.6	32	>5
FPCA avec PRS [14]	4,6 diodes allumées 5,5 diodes éteintes	3,3 4,7	11,9 8,2

Tous les résultats obtenus montrent que :

- ✓ Les structures (FSS) fournissent des fonctionnalités et des performances améliorées à l'antenne qui représente un facteur clé dans un tel système.
- ✓ Les conducteurs artificiels magnétiques (AMC) sont utilisés pour réaliser des antennes à gain élevé et améliorer la largeur de la bande d'impédance.
- ✓ Les surfaces (PRS) sont employées dans le but de recevoir un fort gain et une large bande de rayonnement.

I.9 Conclusion

La 5G a été conçue pour satisfaire les besoins croissants de communications toujours plus rapides entre individus. La technologie 5G va être une nouvelle révolution sur les marchés des systèmes sans fil, elle est la meilleure technologie mobile pour le transfert de données.

Les améliorations apportées aux antennes et l'utilisation des techniques qui offrent plus de fonctionnalités d'antenne, moins de pertes, coût moindre, et à profil bas, ont augmenté le niveau de performance.

De nombreuses techniques existent pour réaliser des antennes, il faut choisir celle la plus adaptée qui permet d'obtenir de bonnes performances et assurer un bon fonctionnement, le chapitre suivant sera consacré pour la conception et la simulation de ces antennes par le logiciel CST.

Chapitre II

Résultats Numériques et Discussions

II.1 Introduction

La phase de conception d'une antenne, à l'aide d'un logiciel adapté est une étape obligatoire. Pour cela, les étapes de fabrications et de mesure de prototype sont remplacées par des simulations, permettant aussi la réduction du temps de conception et donc du cout. Parmi les simulateurs dédiés à la simulation et l'analyse des circuits micro-onde et les antennes, les plus utilisés sont le HFSS et le CST.

Le choix de logiciel « **CST** » pour notre application est justifié, en effet c'est un logiciel dédié à la simulation haut fréquence des circuits micro-onde. Il s'agit d'un logiciel puissant qui étudie et simule des structures complexe en trois dimensions, il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonances ainsi que les champs électrique et magnétique et aussi la visualisation du diagramme de rayonnement en 3D.

Dans ce chapitre nous allons développer la phase de conception en présentant un bref récapitulatif sur le logiciel de simulation « **CST** ». Ensuite, nous présentons les structures de l'antenne conçue (antennes patches à d'électrique dense DD). En finira par la présentation et la discussion des résultats de la simulation de ces antennes.

II.2 Description du Logiciel CST Microwave Studio (MWS)

Le logiciel CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio est un outil spécialisé pour la conception électromagnétique des composantes hautes fréquences tels que les lignes de transmission, les filtres, les antennes...etc. Ce logiciel est basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des intégrations finies (FIT) qui peut être considérée comme une génération puissante de la méthode FDTD (Finite Difference Time Domain).

La méthode numérique (FIT) offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3D de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques, s'étendant du calcul des champs statiques aux applications haute fréquence dans le domaine temporel ou fréquentiel.

Afin de résoudre les équations de Maxwell numériquement, un domaine de calcul est défini. L'espace est donc divisé en cellules élémentaires, ce qu'on l'appelle un maillage parallélépipédique. La discrétisation générée est donc volumique et chaque cellule du

maillage est cubique. Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé.

L'outil de résolution temporelle remplace les dérivées partielles par des différentielles. Cet outil de résolution dans le domaine temporel est très avantageux en termes de temps de calcul.

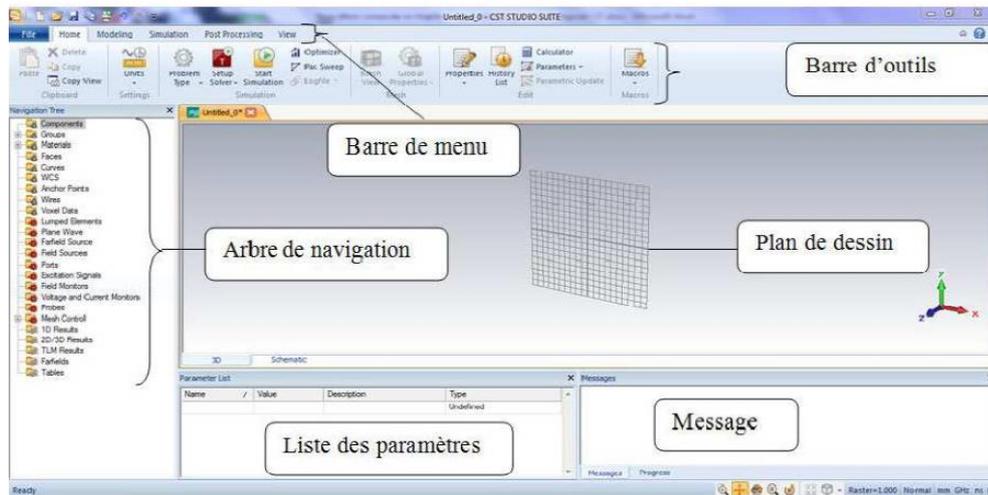


Figure II.1 : Interface du CST.

II.3 Description des antennes à réaliser

L'objet de ce travail consiste de décrire la conception d'une nouvelle antenne qui puisse travailler dans la bande ka (26.5-40 GHz). La première chose à faire est la présentation de la structure d'antenne patch à diélectrique dense DD (2×2) avec les résultats obtenus dans [15].

Ensuite, la prochaine étape consiste à valider et déterminer les dimensions géométriques et les résultats obtenus de cette structure.

Finalement, afin d'améliorer les performances de l'antenne, une étude paramétrique de la nouvelle antenne patch à DD de forme losange avec un superstrat troué a été présenté. Pour évaluer l'effet du superstrat, on a effectué une comparaison de performances de l'antenne en présence et en absence du superstrat.

II.4 Réseau d'antenne à patch dense diélectrique (2×2) proposée avec un superstrat troué

Dans la référence [15], un patch diélectrique à haute densité (2×2 DD) avec une permittivité relative de 82 est monté sur un substrat diélectrique. Cette antenne est conçue pour répondre à certaines des applications MMW (5G). Elle est basée sur la technique d'alimentation par ouverture qui est imprimée sur le bas substrat. Quatre slots sont créés dans le plan de masse pour assurer l'alimentation des patches DD. Un certain nombre de trous circulaires uniformes sont percés sur une couche de superstrat diélectrique pour réduire la permittivité et améliorer la bande passante d'impédance de l'antenne. Les dimensions et le matériau de ces couches sont donnés dans le tableau 3 et la structure globale est illustrée sur la (figure II.2). Cette conception offre un gain plus élevé, une bande passante plus large, un faible niveau de lobe latéral et une efficacité de rayonnement élevée.

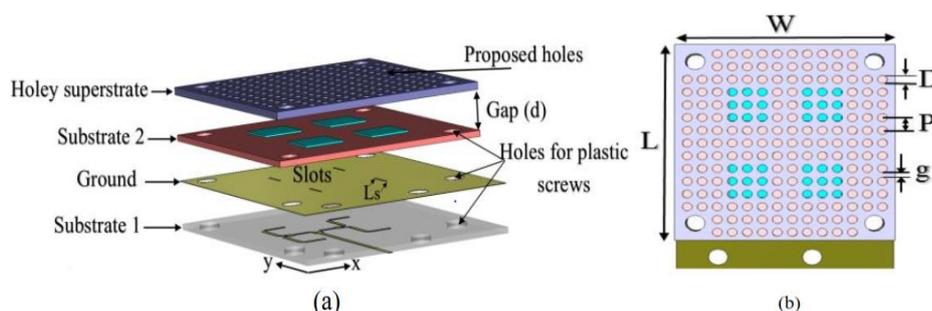


Figure II.2 : Géométrie de l'antenne proposée : (a) vue de côté, (b) vue de dessus [15].

Tableau II.1: Les dimensions et les matériels utilisé dans le réseau d'antenne [15].

Couche	Matériel	Permittivité	Longueur(mm)	Largeur(mm)	Hauteur(mm)
Substrat 1	Rogers RT 3010	11.2	20	20	0.508
Ground	Copper	/	20	20	/
Slots	PEC	/	2.55	0.25	0.64
Substrat 2	Rogers Duroid 6002	2.94	20	20	0.508
Patch	Dense diélectrique	82	4.1	4.1	0.15
Superstrat	Rogers RT 6010LM	10.7	/	/	0.64

La ligne de transmission utilisée dans cette structure est une alimentation par ouverture, c'est-à-dire, l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation sont séparés par le plan de masse. Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est assuré par une ouverture ou une fente niveau du plan de masse, les dimensions de cette technique ne sont pas mentionnées dans la référence [15].

II.4.1 Résultats de simulation d'un réseau d'antenne patch à diélectrique dense (2×2)

D'après les résultats de la référence, la fréquence de résonance de l'antenne à 28 GHz est obtenue, et un gain plat de 16 dBi est atteint. De plus, un taux de 15.35 % la bande passante est fourni.

Pour vérifier les résultats simulés, un réseau de patches DD carré 2×2 avec un superstrat perforé est fabriqué et testé. La figure.II.3 montre les coefficients de réflexion simulé et mesuré de l'antenne proposée. Ils présentent une bande passante plus large de 15.35 %, allant de 26.5 GHz jusqu'à 30.8 GHz. On peut observer qu'il existe un décalage de fréquence entre les résultats mesurés et simulés compte tenu de la valeur nominale de fabrication (à 10 GHz) de la permittivité relative pour toutes les couches.

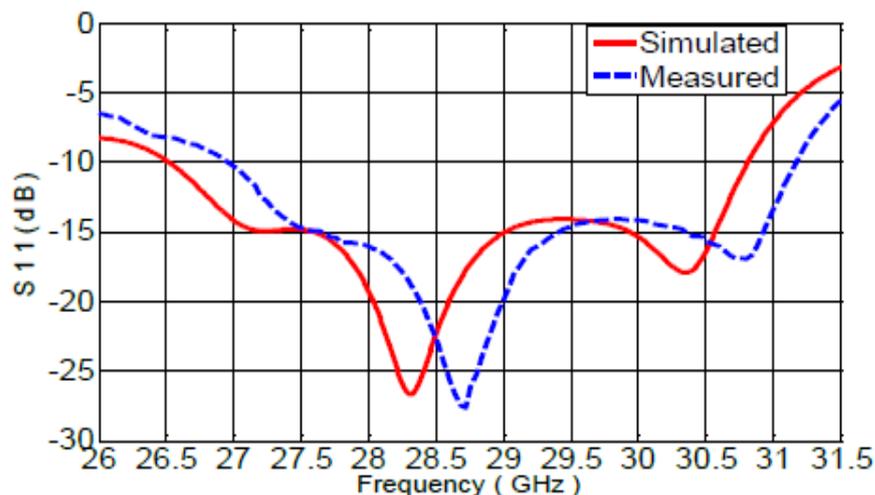


Figure II.3 : Coefficient de réflexion du réseau d'antennes patch 2×2 DD avec un superstrat troué.

Le gain et l'efficacité de rayonnement du réseau implémenté avec un superstrat troué sont représentés sur la figure II.4. Le gain et l'efficacité de rayonnement d'un patch 2×2 DD avec un superstrat conventionnel sont également introduits dans la même figure à des fins de comparaison. Les résultats mesurés et simulés du gain d'antenne sont en bon accord. Un gain

presque plat est atteint sur la bande où le gain de crête est d'environ 16 dBi. L'efficacité de rayonnement simulée de l'antenne est de près de 92% sur la bande passante.

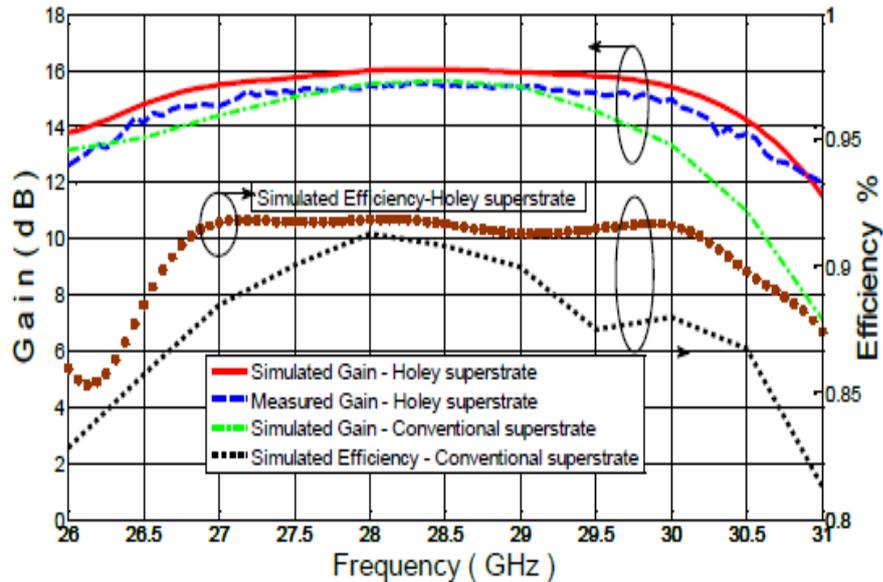


Figure II.4 : Gain simulé et mesuré et efficacité de rayonnement simulée de l'antenne proposée par rapport au réseau patch DD avec un Conventiennel superstrat.

La figure II.5 montre un diagramme de rayonnement plus directif avec des niveaux de lobes secondaires plus bas pour un réseau d'antennes patch carré DD proposé à 28 GHz ; les niveaux des lobes latéraux SLL sont d'environ -15.8 dB, -21dB dans le plan E et dans le plan H, respectivement.

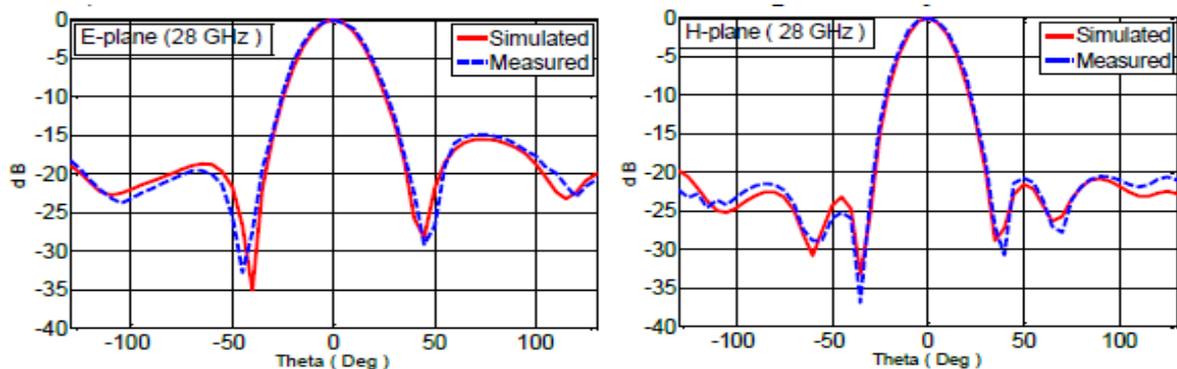


Figure II.5 : Diagramme de rayonnement simulé et mesuré du réseau de patches DD proposé avec un superstrat perforé.

II.5 Réalisation du modèle d'antenne 2×2 patches à DD

Pour simuler l'antenne proposée sous CST MWS, il faut suivre les instructions indiquées dans le tableau II.1. La structure de réseau d'antenne est montrée sur la figure II.6. Elle se compose de quatre couches :

- a) Le substrat inférieur avec la ligne de transmission.
- b) Le plan de masse à quatre fentes.
- c) Le substrat du milieu avec les quatre DD patches qui sont posés au-dessus.
- d) Le substrat supérieur (superstrat troué).

Concernant la ligne de transmission, c'est une ligne avec la technique de couplage par ouverture qui est gravée sur le premier substrat. Les dimensions indiquées sont approximatives car elles ne sont pas données dans la référence.

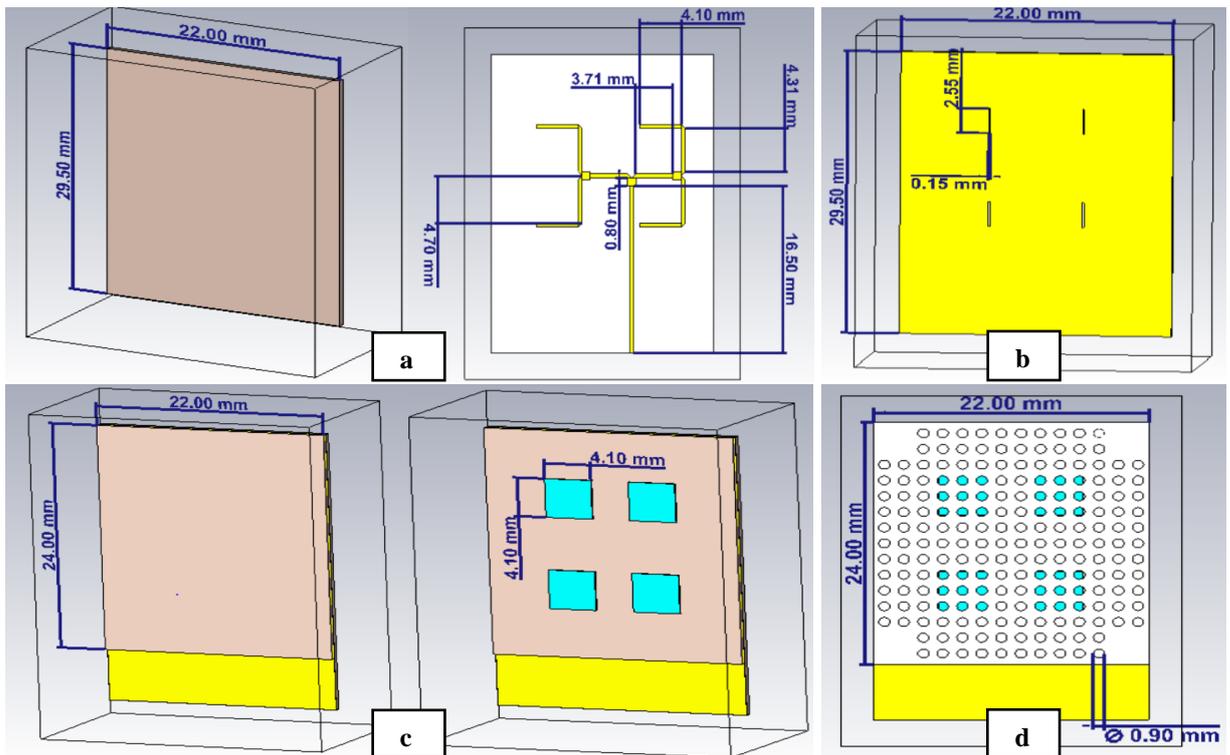
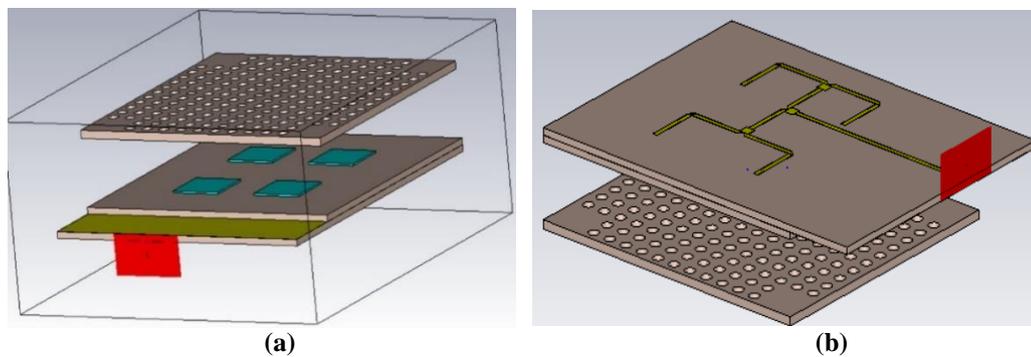


Figure II.6 :(a) 1er couche (b) 2ème couche (c) 3ème couche (d) 4ème couche.

La structure complète d'antenne illustré dans la figure II.7 :



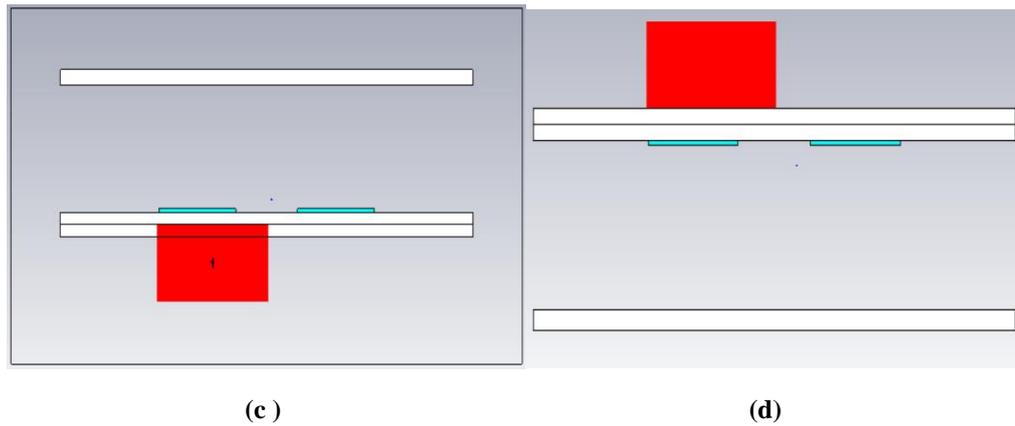


Figure II.7 : (a) vue de côté (b) vue d'Arrière (c) vue de bas (d) vue de dessus.

II.5.1 Résultats et discussions

En utilisant les paramètres mentionnés ci-dessus, il est possible de simuler des paramètres S et même le diagramme de rayonnement et le gain du réseau d'antenne via CST MWS. Les résultats de simulation pour les coefficients S11, les diagrammes et le gain sont illustrés sur les figures II.8, II.9 et II.10.

II.5.1.1 Coefficient de réflexion (S₁₁)

La figure II.8 montre le coefficient de réflexion d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10dB. D'après cette figure, on remarque que l'antenne conçue résonne dans trois fréquences différentes donc elle a trois bandes passantes qui sont ; [26.41 à 27.92] GHz, [28.36 à 29.76] GHz, [30.64 à 30.83] GHz.

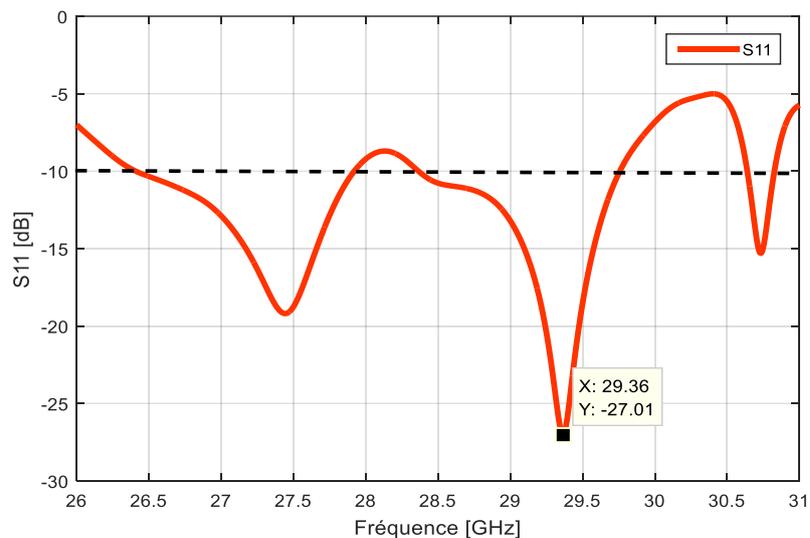


Figure II.8 : Coefficient de réflexion(S₁₁) en fonction de la fréquence.

II.5.1.2 Gain

Le gain simulé du réseau implémenté avec un superstrat troué sont représentés sur la figure II.9. Un maximum du gain obtenu d'environ 13.45 dBi se situe à 28.5 GHz.

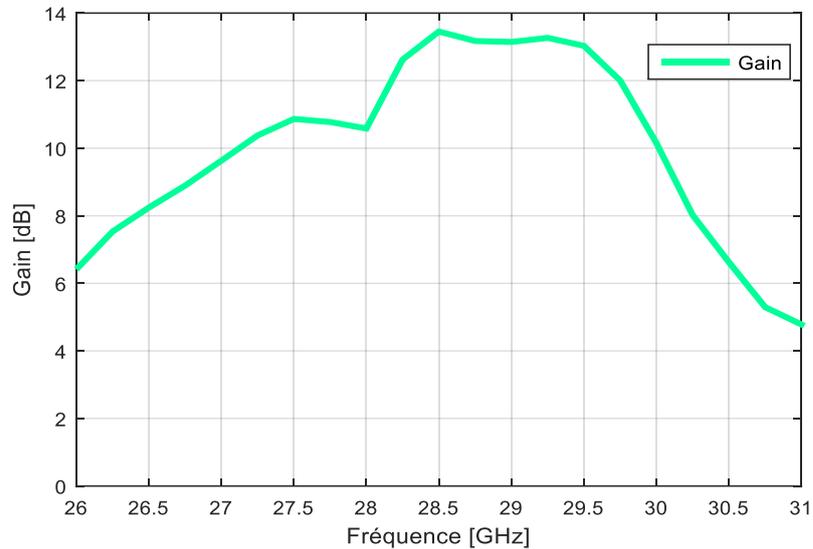


Figure II.9: Gain simulé d'un réseau patch DD.

II.5.1.3 Diagramme de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement dans les deux plan E et H sont représentés sur la figure II.10 à la fréquence ou le gain maximum, soit à 28.5 GHz. Les niveaux des lobes latéraux SLL sont d'environ -5.9 dB et -12.7dB dans le plan E et dans le plan H, respectivement.

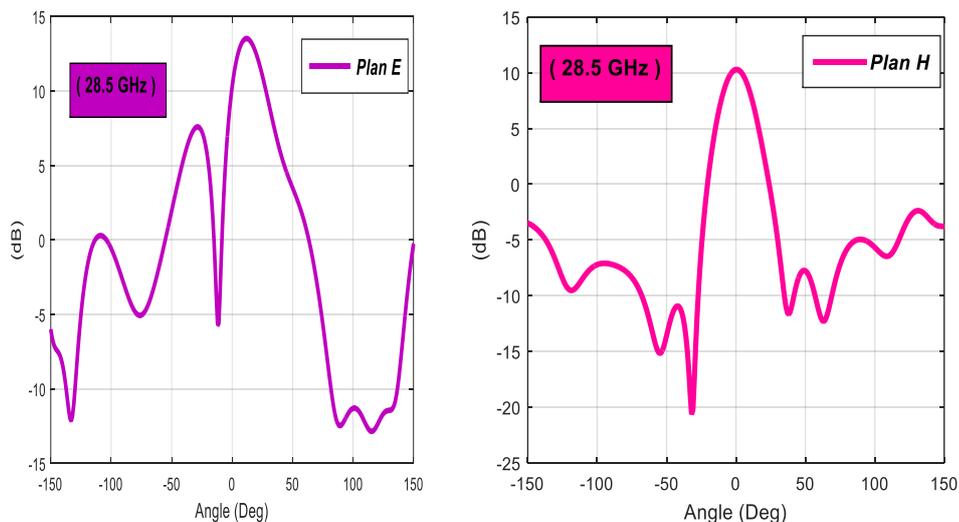


Figure II.10 : Diagramme de rayonnement simulé à 28.5 GHz dans le plan E et le plan H.

II.6 Conception de l'antenne patch à diélectrique dense en forme losange

II.6.1 Structure de l'antenne

La structure de l'antenne proposée est indiquée dans la figure II.11. Elle présente une fente de forme X gravée sur un patch de forme losange. Le plan inférieur représente le plan de masse qu'il est composé d'un matériau cuivre, celui-ci a un petit trou d'un matériau PEC (Perfect electric conductor). Le substrat de l'antenne est un Rogers RT 5880, qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2.2$ et une tangente de perte diélectrique $\tan \delta = 0,0009$. De plus, une couche diélectrique de superstrat trouée de type Rogers RT 6010LM est conçue et appliquée sur l'antenne patch à DD à une distance d au-dessus du résonateur, avec une permittivité relative de 10,2 et une tangente de perte diélectrique $\tan \delta = 0,0023$.

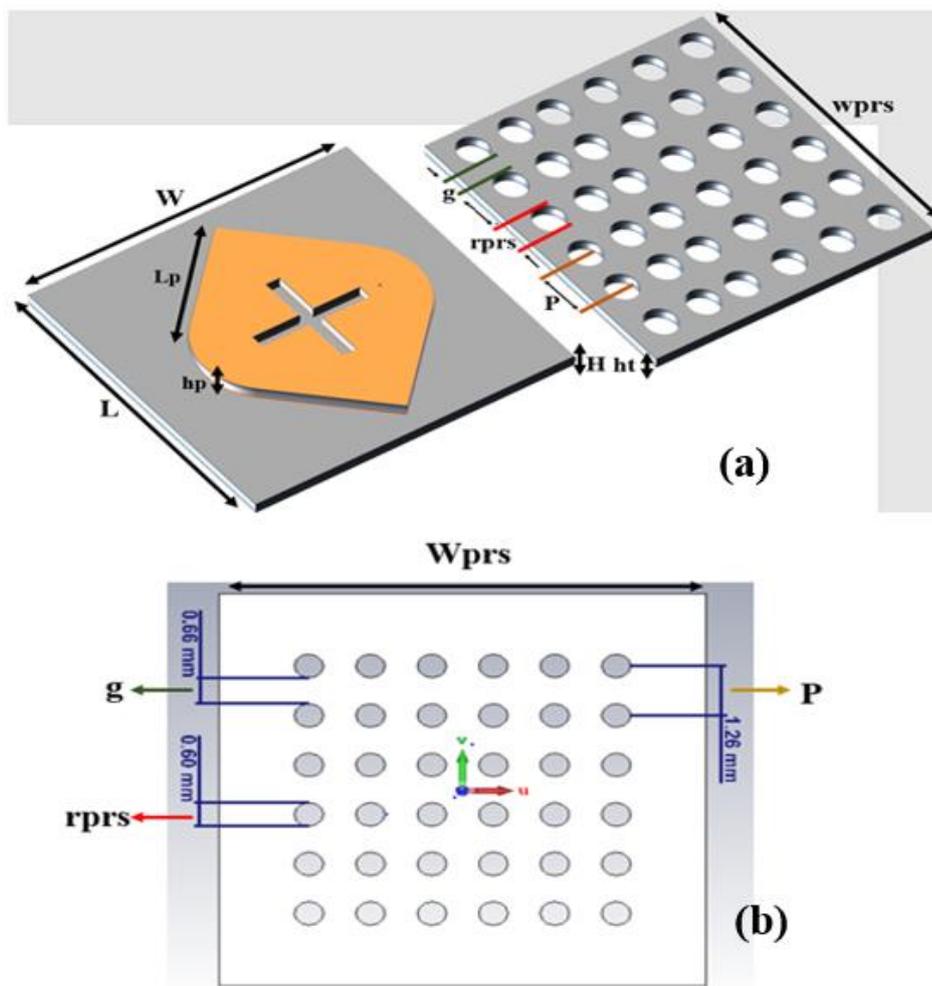


Figure II.11 :(a) Antenne patch à DD de forme losange avec superstrat trouée (b) Les dimensions de superstrat.

La ligne de transmission est un port ASMA (multimetre wave port) qui travaille dans la bande Ka. La forme finale de l'antenne est détaillée dans la figure II.12

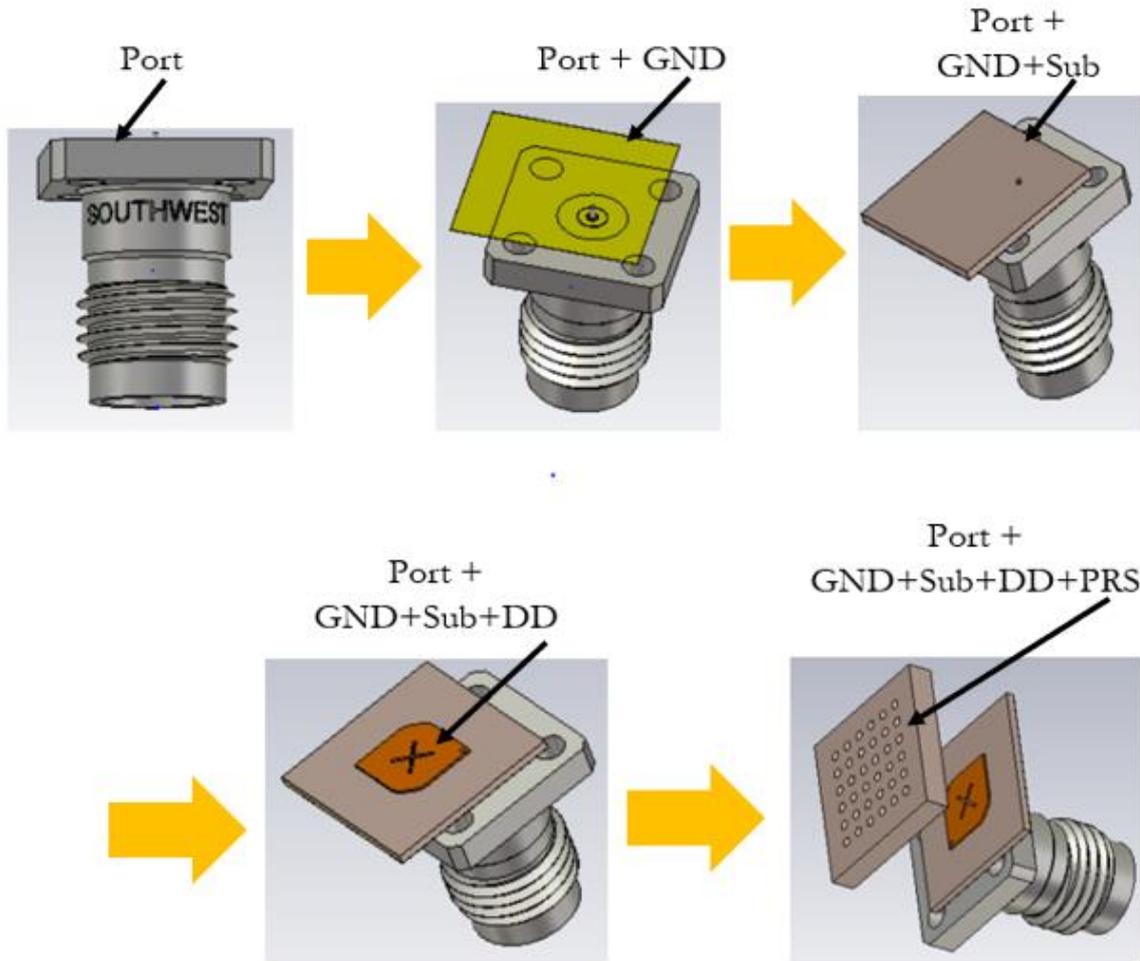


Figure II.12 : Structure détaillée d'antenne DD patch de forme losange avec superstrat trouée. Les dimensions de l'antenne à simuler sont illustrées par le tableau II.2

Tableau II.2 : Dimensions de l'antenne DD patch de forme losange avec superstrat trouée.

Paramètres	Description	Valeur(mm)	Paramètres	Description	Valeur(mm)
L	Longueur du substrat et du plan de masse	10	slot_l	Longueur de Slot	2.18333
W	Largeur du substrat et du plan de masse	10	slot_w	Largeur de Slot	0.165
C	Epaisseur de plan de masse	0.017	Ht	Epaisseur du superstrat	1.6
H	Epaisseur de substrat	0.508	Wprs	Longueur du Superstrat	5

Lp	Longueur du patch	4.3667	P	Diamètre intérieur de trou	0.25
Wp	Largeur de patch	4.3667	rprs	Diamètre de trou	0.3
hp	Épaisseur de patch	0.15	g	Distance entre les trous	0.66

II.7 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques)

Cette section est consacrée à l'étude de l'influence de différents paramètres sur le coefficient de réflexion S_{11} et le gain. Afin d'aboutir à une structure finale efficace et optimisée, une étude paramétrique de 65 valeurs différentes a été menée pour comprendre les effets de certains paramètres sur les performances de l'antenne.

L'étude est effectuée en fixant tous les paramètres de l'antenne et en variant les valeurs de l'un des paramètres suivants ; la distance (d) entre le patch et superstrat et le diamètre de trou ($rprs$), comme le montre la figure II.13, tels que :

La variation de d commence de 1 mm jusqu'à 7 avec un pas de 0.5mm.

La variation de $rprs$ commence de 0.2mm jusqu'à 0.6mm avec un pas de 0.1mm.

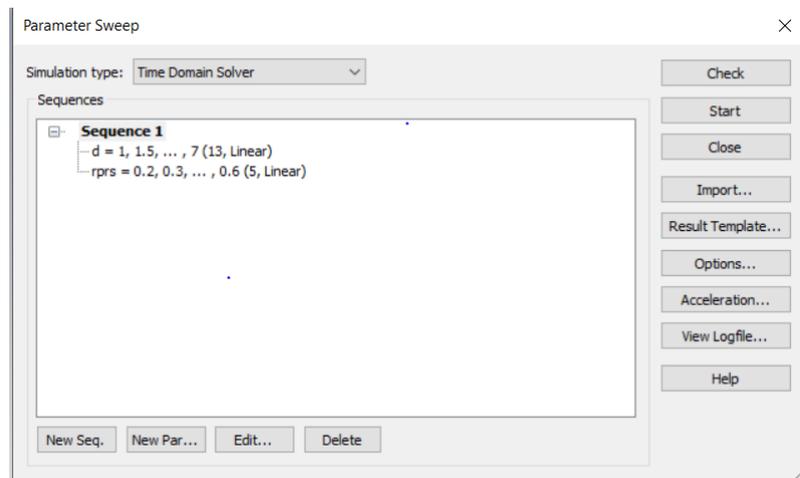


Figure II.13 : Les différentes valeurs utilisées dans l'étude paramétrique.

Les résultats indiqués ci-dessous représentent les 6 cas qui ont été sélectionnés parmi les 65 cas effectués. Ces 6 cas ont été divisés en deux parties :

- ✓ Dans les trois premiers cas, on fixe la valeur du $rprs$ et on change la distance d .

✓ Dans les derniers cas, on fixe la distance d et on change la valeur du r_{prs} .

A partir des résultats obtenus, on choisit le cas le plus efficace qui présente un gain et une bande passante élevées et un niveau de lobe latéral faible.

II.7.1 Effet de la distance d

Le diamètre de trou r_{prs} est fixée à 0.5mm. Une variation de la distance d entre le patch et superstrat du 3 mm à 5 mm par pas de 1 mm est effectuée pour voir son effet sur l'adaptation et le gain de l'antenne. Les figures II.14 et II.15 illustrent l'effet de cette variation.

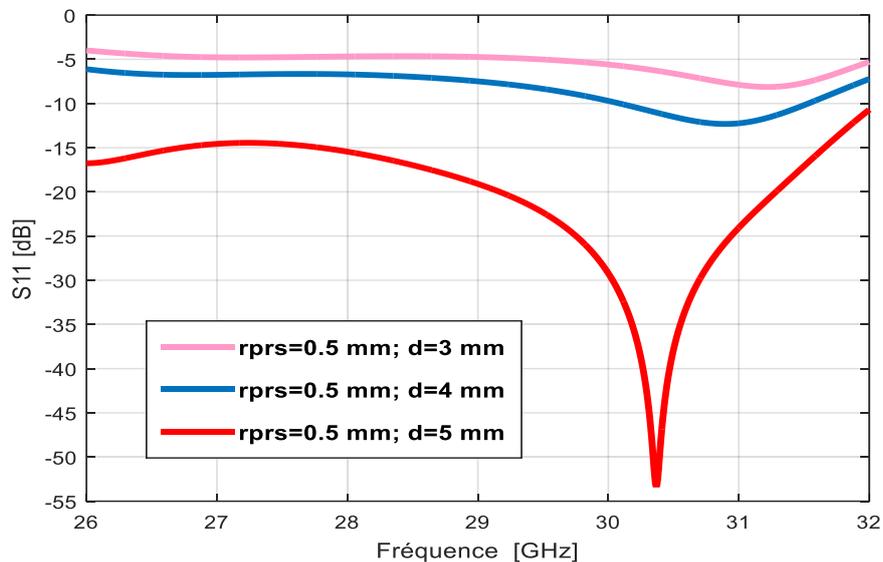


Figure II.14 : Effet de la distance d sur le paramètre S_{11}

Le résultat obtenu représenté par la figure II.14 est assez intéressant et montre un effet, remarquable de la distance d sur la fréquence de résonance et la bande passante de l'antenne étudiée.

Lorsque $d=3$ mm et $d=4$ mm l'adaptation est faible. Par contre lorsque $d=5$ mm, on a une adaptation acceptable avec une fréquence de résonance autour de 30.3 GHz, ce qui indique qu'une diminution de la distance d conduit à une faible adaptation.

La figure II.15 décrit la variation du gain en fonction de la fréquence. D'après l'analyse des courbes de cette figure, on constate que le gain confirme les résultats obtenus pour le coefficient de réflexion. Par conséquent, on obtient un gain d'environ [11.8dB] pour $d=5$ mm, [11 dB] pour $d=4$ mm, [10.5dB] pour $d=3$ mm, ce que signifie que l'augmentation du gain s'est accompagnée d'un accroissement de la distance d .

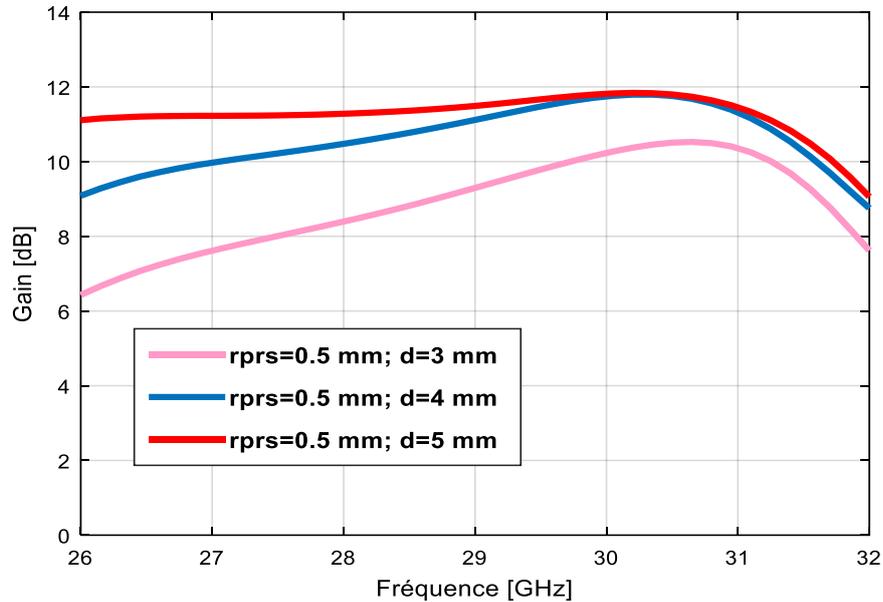


Figure II.15 : Effet de la distance d sur le gain.

II.7.2 Effet de Diamètre de trou (r_{prs})

Maintenant, la distance d entre le patch et superstrat est fixée à 5 mm (sa valeur optimale), et on va varier le diamètre du trou r_{prs} avec les valeurs suivantes ; 0.2mm, 0.4mm et 0.5mm. Les figures II.16 et II.17 montrent l'effet de cette variation sur les performances de l'antenne.

La figure II.16 présente la variation du coefficient S_{11} en fonction de la fréquence pour les différentes valeurs du diamètre de trou. Les résultats montrent un effet primordial du diamètre sur la fréquence de résonance. Alors que pour les trois cas il y a une adaptation acceptable, c'est-à-dire que le diamètre du trou n'affecte pas beaucoup la valeur du S_{11} .

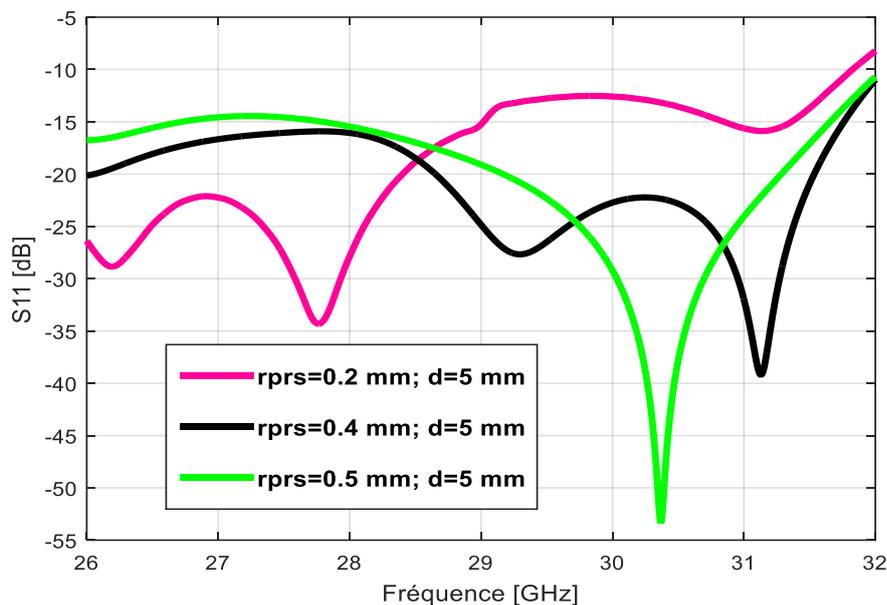


Figure II.16 : Effet du diamètre de trou r_{prs} sur le paramètre S_{11}

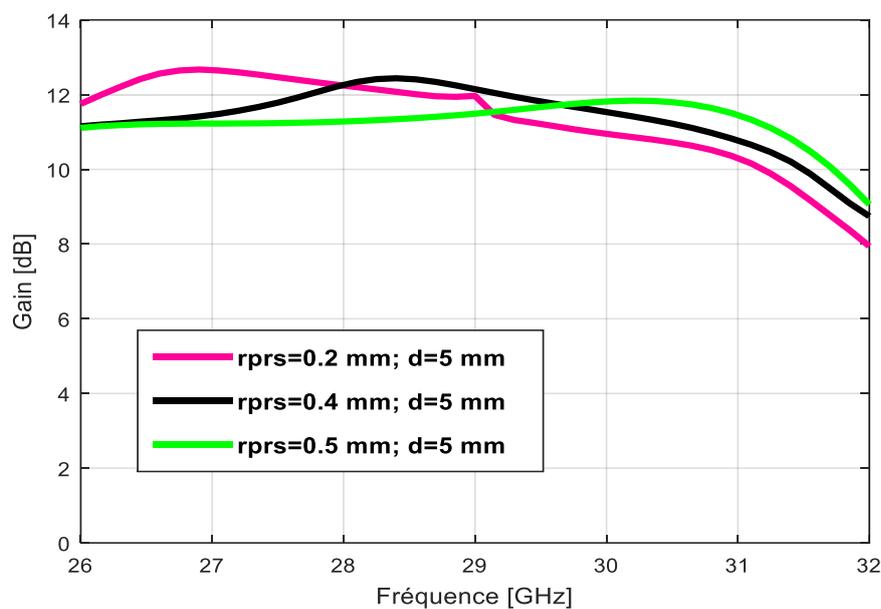


Figure II.17 : Effet du diamètre de trou r_{prs} sur le gain.

La figure II.17 montre l'évolution du gain simulé en fonction de la fréquence. On remarque d'après cette figure que le gain simulé est presque stable sur toute la bande passante pour une valeur du $r_{prs} = 0.4$ mm. Il varie entre 10 dB et 12.5 dB dans la bande de 27 GHz à 31 GHz.

A l'issue de cette étude paramétrique les dimensions du la distance et diamètre qui permettent une meilleure adaptation et un meilleur gain sont $d = 5\text{mm}$ et $r_{\text{prs}} = 0.4\text{mm}$.

II.8 Résultats de la structure d'antenne finale

Les résultats de simulation pour les valeurs S_{11} , les diagrammes, l'efficacité et le gain sont illustrés sur les figures II.18-II.24.

II.8.1 Coefficient de réflexion (S_{11})

L'adaptation obtenue est représentée dans la figure II.18. Un coefficient de réflexion (S_{11}) de -39.21 dB à une fréquence de résonance 31.13GHz est mesuré dans la bande de fréquences $28\text{GHz} - 32\text{ GHz}$, répondant ainsi à cette exigence de conception.

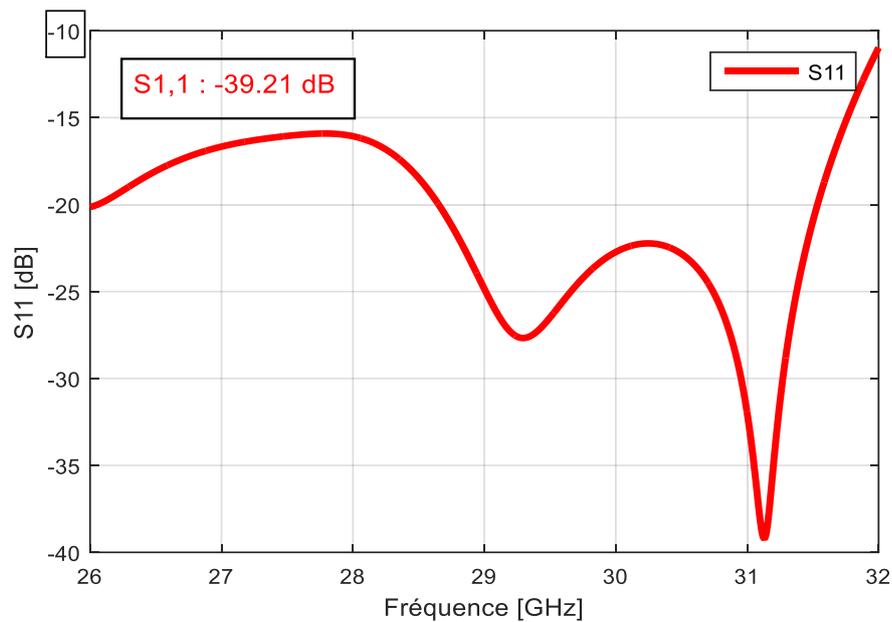


Figure II.18 : S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence.

II.8.2 Gain

Le gain simulé en fonction de la fréquence est représenté sur la figure II.19. Le gain est presque stable dans la bande $[26-31\text{GHz}]$, on remarque que le maximum du gain (12.41dB) est obtenu dans la fréquence 28.55 . Cela montre que cette antenne a satisfait les exigences de 5G (gain supérieur à 12dB).

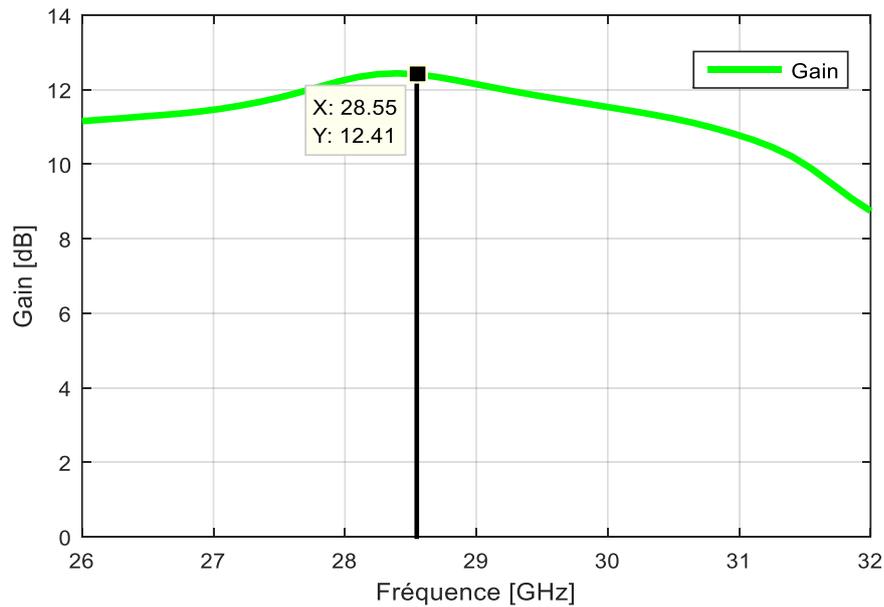


Figure II.19 : Le gain en (dB) fonction de la fréquence.

II.8.3 Diagramme de rayonnement

La figure II.20 montre un rayonnement plus directif avec des niveaux de lobes secondaires plus bas pour une antenne patch en forme losange à 28.55 GHz, les niveaux des lobes latéraux SLL sont d'environ -14.1 dB, -14.0dB dans le plan E et dans le plan H, respectivement.

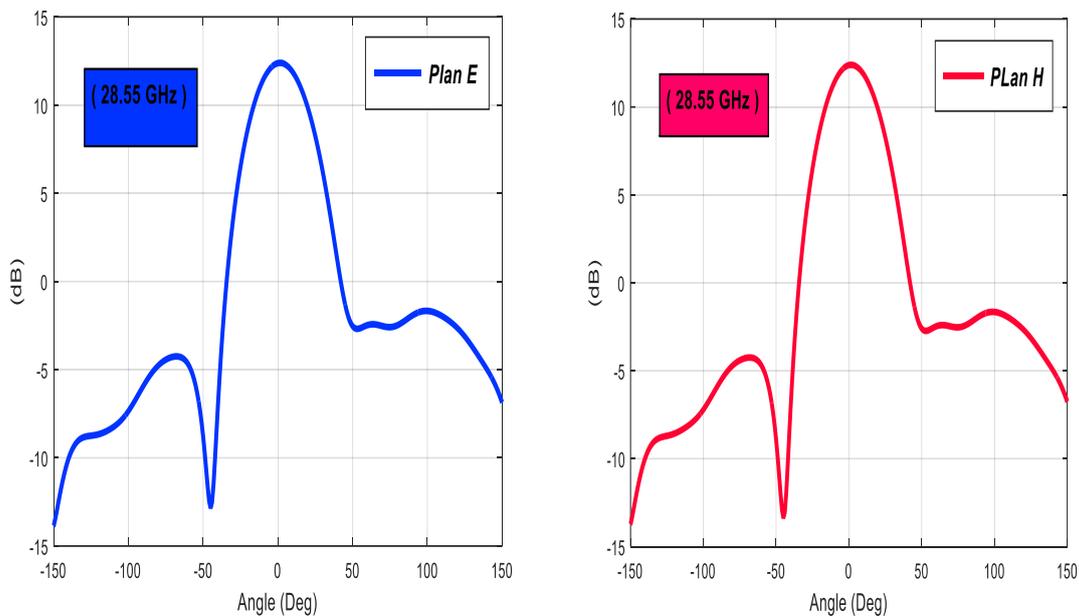


Figure II.20: Diagramme de rayonnement simulé du l'antenne patch DD proposé avec un superstrat troué.

Le modèle du diagramme de gain en 3D du l'antenne est prédite grâce au logiciel de simulations CST comme montré sur la figure suivante :

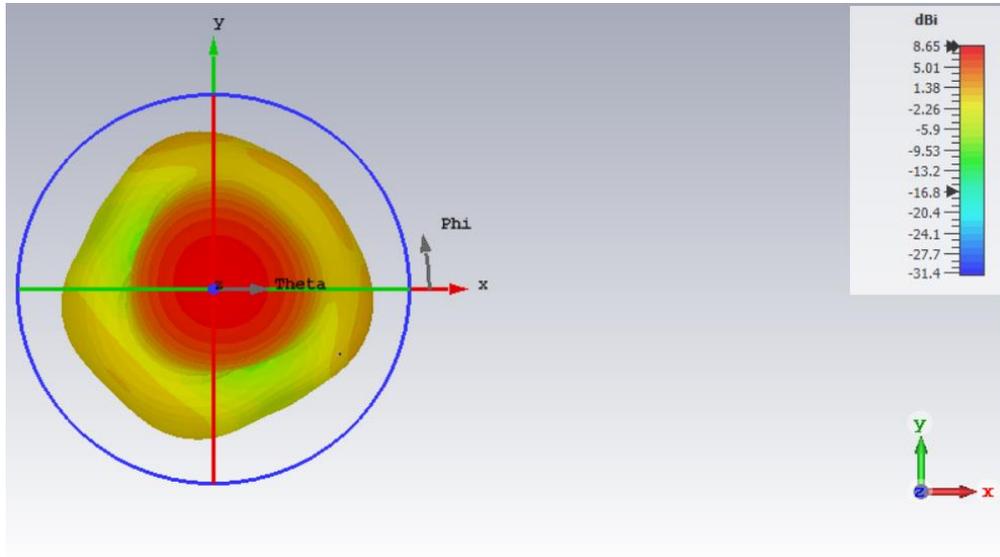


Figure II.21 : Diagramme de rayonnement (Gain réalisé) d'antenne du forme losange.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée, comme le montre la figure II.21, puisque le rayonnement est concentré dans le plan supérieur de l'antenne, comme exigé dans le cas de ce type de réseaux (5G).

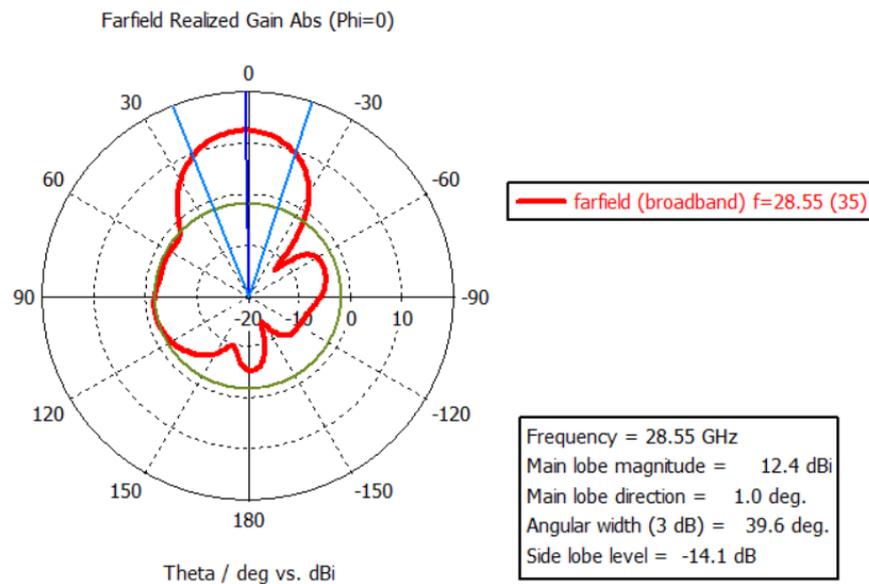


Figure II.22 : Diagramme de rayonnement (phi=0°) d'antenne du forme losange.

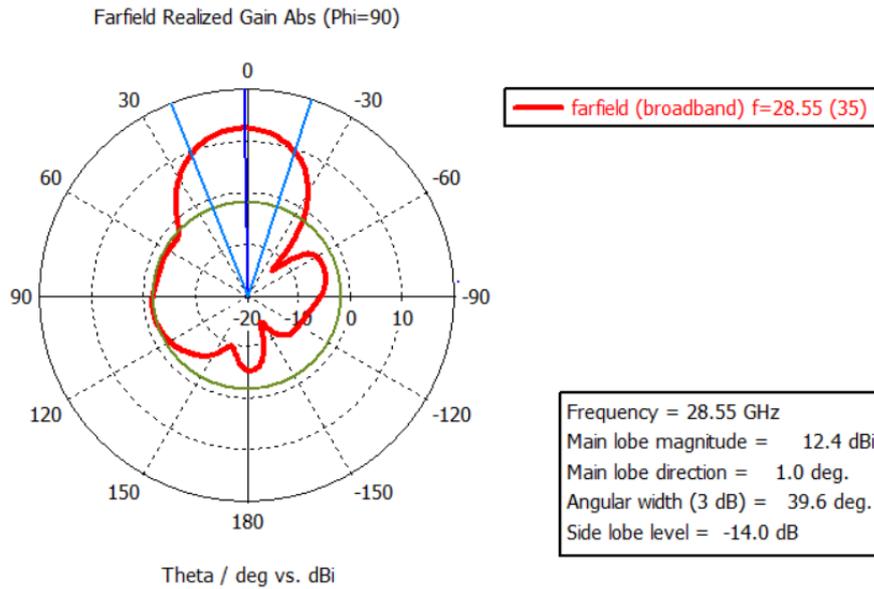


Figure II.23 : Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$) d'antenne du forme losange.

La courbe polaire 2D du diagramme de rayonnement (à $\phi = 0^\circ$) est illustrée sur la figure II.22 et (à $\phi = 90^\circ$) est illustrée sur la figure II.23 pour l'antenne conçue. Ils sont permis de visualiser ses composants notamment ses lobes dans les deux plan vertical et horizontal.

On peut constater que la plupart du rayonnement se trouve dans la direction verticale suivant z. Cette antenne est directive et elle a un gain important dont son maximum est de 12.4dB.

II.8.4 Efficacité

La figure II.24 montre l'efficacité de rayonnement de l'antenne DD. On note que la valeur du rendement fourni par cette antenne est très élevée (0.98 dans la bande de fréquence 26-30GHz), ce qui assure un bon fonctionnement de l'antenne proposée.

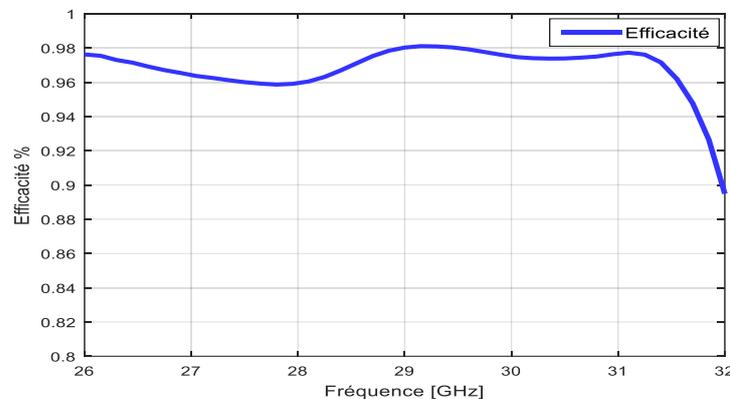


Figure II.24 : Efficacité de rayonnement.

II.9 Comparaison entre l'antenne avec superstrat troué et sans superstrat troué

La structure d'antenne losange à DD conventionnel (l'absence du superstrat) est illustrée sur la figure II.25 :

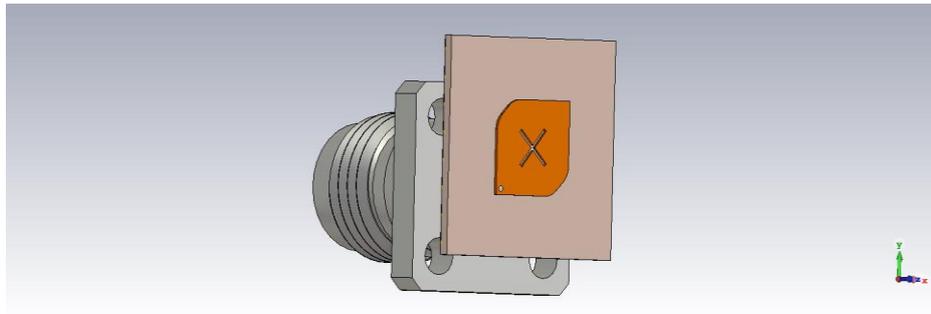


Figure II.25 : Antenne patch à DD de forme losange sans superstrat troué.

La comparaison entre la présence et l'absence du superstrat troué sur antenne DD de forme losange en termes de gain et d'efficacité est éclaircie dans les figures II.26 et II.27.

II.9.1 Gain

D'après la figure II.26, on peut observer que le gain de l'antenne avec PRS est de 12.41 dB et il présente une augmentation de 4.4 dB par rapport au celui de l'antenne sans PRS (8dB). Il sera donc nécessaire d'utiliser le superstrat troué pour améliorer le gain répondre aux spécifications de la 5G mobile).

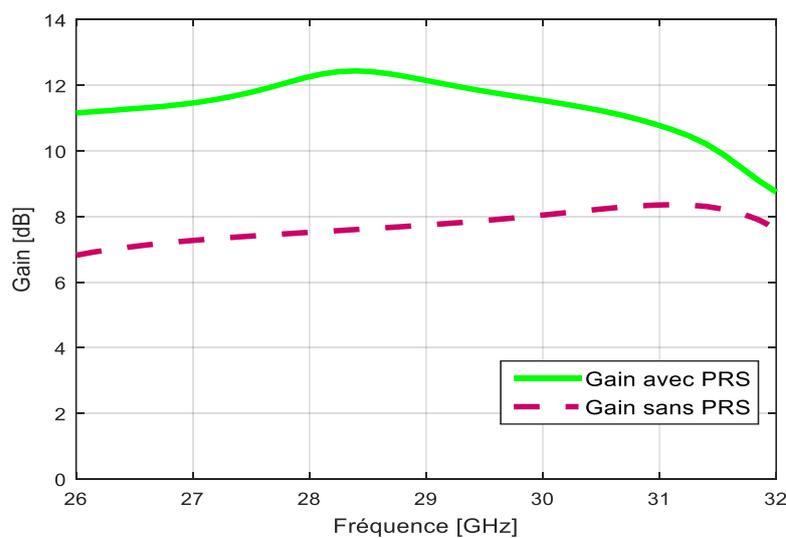


Figure II.26 : Gain en(dB) avec PRS et sans PRS.

II.9.2 Efficacité

D'après les courbes de la figure II.27, on peut constater que l'utilisation du superstrat améliore l'efficacité de l'antenne entre 2 % et 7% dans la bande opérationnelle de l'antenne proposée.

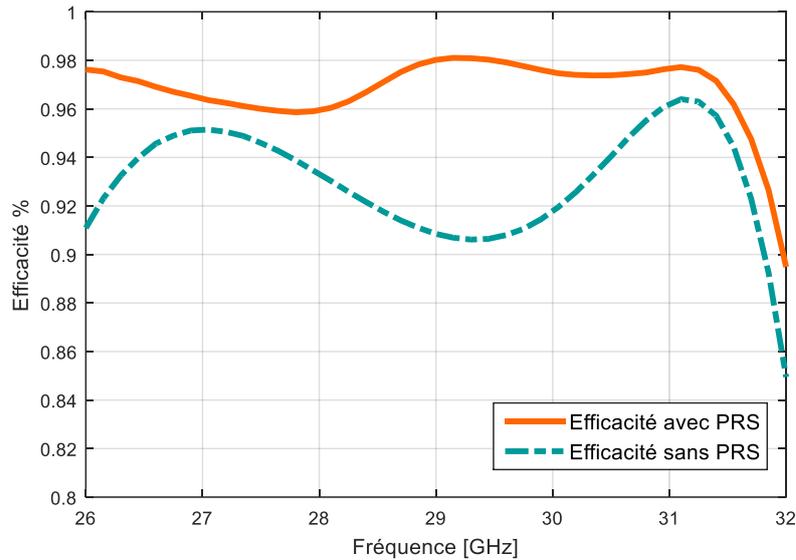


Figure II.27 : Efficacité de rayonnement avec PRS et sans PRS.

Les paramètres précédemment analysés de l'antenne proposée pour la bande des 28.55 GHz sont résumés dans le tableau II.3

Tableau II.3 : Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28.55GHz.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	$S_{11} = -18.9\text{dB}$
Directivité	$D=9.14\text{dB}$
Gain	$G=12.41\text{dB}$
Bande passante	$B= [26.5-32] \text{ GHz}$
SLL Plane E	$SLL=-14.0\text{dB}$
SLL Plane H	$SLL=-14.1\text{dB}$

II.10 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, on a présenté un réseau d'antennes patch DD carré 2×2 avec superstrat troué alimenté par un diviseur de puissance classique. La validation du prototype a été effectuée en utilisant le simulateur CST. On a trouvé quelques différences dans les résultats en raison du manque de données dans la référence [15].

La deuxième partie du chapitre a été consacrée à étudier un nouveau type d'antenne patch DD de forme losange en utilisant un superstrat perforé. L'antenne présente une bande passante d'impédance d'environ 18.8%. De plus, un gain élevé de 12.41 dBi est obtenu et une efficacité de rayonnement d'environ 98 % est atteinte. A la fréquence de résonance, l'antenne proposée a de bonnes performances de rayonnement avec un SLL inférieur à -14 dB et à -14.1 dB dans le plan E et H, respectivement.

En comparant les résultats de l'antenne avec PRS avec ceux de l'antenne sans PRS, on trouve que les performances peuvent très bien être améliorées en intégrant un PRS au-dessus de l'élément rayonnant.

Conclusion générale

La technologie des ondes millimétrique (mmW) est l'une des exigences de communication 5G sans-fil, et l'antenne à cavité Fabry Péro est un bon choix pour atteindre cet objectif.

Les pertes diélectriques sont un critère majeur lors de la conception d'une antenne à cavité Fabry Péro. Pour obtenir des gains élevés, il est impératif de partir sur un substrat diélectrique à faible perte. L'antenne patch à DD a reçu plus d'attention en raison de l'avantage d'une efficacité supérieure à celle de l'antenne patch métallique traditionnelle.

Nous avons voulu dans un premier temps d'informer le lecteur que :

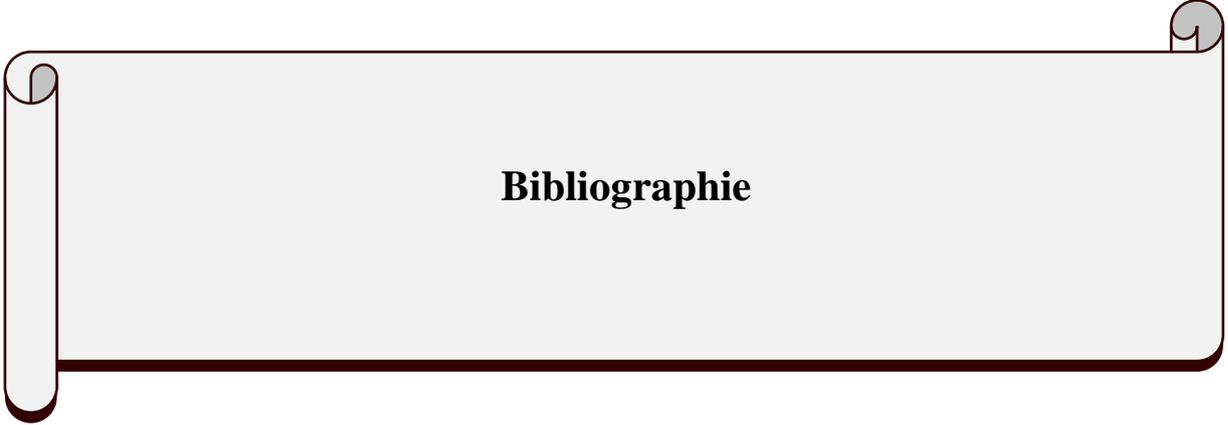
- ✓ La 5G est la prochaine phase majeure des normes de télécommunications mobiles au-delà les courants 4G.
- ✓ Pour les applications 5G, l'antenne doit avoir un gain élevé supérieur à 12dB et un faisceau directif qui peut être orienté dans une certaine direction.
- ✓ Les antennes sont la base et la pièce maitresse de la télécommunication.
- ✓ Le logiciel CST est effectivement un outil d'aide indispensable lors de la conception d'antenne.

Une antenne patch diélectrique dense carrée 2×2 en utilisant un superstrat troué a été validée dans un premier lieu à l'aide du logiciel CST.

Nous avons tenté au cours de ce travail de proposer une nouvelle antenne à cavité Fabry-Péro basée sur des surfaces partiellement réfléchissantes (PRS) pour répondre à la demande croissante d'antennes large bande à gain élevé.

Le diamètre des trous de PRS, le choix du type d'alimentation, la distance entre le substrat et superstrat influent considérablement sur les performances de l'antenne notamment ; le coefficient de réflexion, la bande passante et les caractéristiques de rayonnement.

Finalement, on trouve que l'application du superstrat troué sur les antennes patch à DD joue un rôle important pour augmenter le gain et améliorer bande passante ainsi à réduire les niveaux des lobes latéraux, et donc de répondre aux exigences des systèmes de communication sans fil 5G.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] ASAADI, Muftah Mohamed. Performance Improvement of Dense Dielectric Patch Antenna using Partially Reflective Surfaces. 2019. Thèse de doctorat. Concordia University.
- [2] RAPPAPORT, Theodore S., MACCARTNEY, George R., SAMIMI, Mathew K., et al. Wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models for future wireless communication system design. *IEEE transactions on Communications*, 2015, vol. 63, no 9, p. 3029-3056.
- [3] LONG, S., MCALLISTER, Mark, et SHEN, Liang. The resonant cylindrical dielectric cavity antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1983, vol. 31, no 3, p. 406-412.
- [4] LAI, Qinghua, ALMPANIS, Georgios, FUMEAUX, Christophe, et al. Comparison of the radiation efficiency for the dielectric resonator antenna and the microstrip antenna at Ka band. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, vol. 56, no 11, p. 3589-3592.
- [5] LAI, Hau Wah, LUK, Kwai-Man, et LEUNG, Kwok Wa. Dense dielectric patch antenna—A new kind of low-profile antenna element for wireless communications. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 2013, vol. 61, no 8, p. 4239-4245.
- [6] SUDHARSAN, J. et RAMESH, S. Design and simulation of dense dielectric patch antenna for wireless applications. In: 2014 International Conference on Communication and Signal Processing. IEEE, 2014. p. 490-492.
- [7] TRENTINI, G. Von. Partially reflecting sheet arrays. *IRE Transactions on antennas and propagation*, 1956, vol. 4, no 4, p. 666-671.
- [8] RATNI, Badr Eddine. Étude et conception d'antennes à base de métasurfaces destinées aux applications spatiales et aéronautiques. 2017. Thèse de doctorat. Université Paris-Saclay (ComUE).
- [9] ABDELGHANI, Mohamed Lamine. Étude et conception d'antennes directives large bande à base de méta-surfaces. 2017. Thèse de doctorat. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.

[10] WILTON, Donald R. Book Review: Frequency Selective Surfaces: Analysis and Design by John C. Vardaxoglou, ResearchStudiesPress, Taunton, England, 1997. ISBN 0-86380-196-X. No. of pages: 298. Price:£ 45. 1998.

[11] PRAKASH, Pooja, ABEGAONKAR, Mahesh P., BASU, A., et al. Gain enhancement of a CPW-fed monopole antenna using polarization-insensitive AMC structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2013, vol. 12, p. 1315-1318.

[12] MENG, Fanji et SHARMA, Satish K. A dual-band high-gain resonant cavity antenna with a single layer superstrate. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2015, vol. 63, no 5, p. 2320-2325.

[13] LI, Guihong, ZHAI, Huiqing, LI, Long, et al. AMC-loaded wideband base station antenna for indoor access point in MIMO system. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, vol. 63, no 2, p. 525-533.

[14] XIE, Peng, WANG, Guangming, LI, Haipeng, et al. Reconfigurable Fabry-Pérot Cavity Antenna Basing on Phase Controllable Metasurfaces. In : *Advanced Radio Frequency Antennas for Modern Communication and Medical Systems*. IntechOpen, 2020.

[15] ASAADI, Muftah et SEBAK, Abdelrazik. Gain and bandwidth enhancement of 2×2 square dense dielectric patch antenna array using a holey superstrate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2017, vol. 16, p. 1808-1811.