

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

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

N° :..... 171735092493



DOMAINE : SCIENCE ET THTECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : SYSTEME DE
TELECOMMUNICATION (STLC)

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de master

Par : BOUCHELIG Siham
CHAKER Amina

Thème

**Conception d'une antenne bi-bande pour
des applications 5G**

Soutenu devant le jury composé de :

Président :	Dr. DLELID Asma	Université de M'sila
Encadreur :	Dr. BAKHTI Haddi	Université de M'sila
Co-Encadreur :	Dr. BENTOUMI Miloud	Université de M'sila
Examineur :	Dr. KHALFA Ali	Université de M'sila

N° : Année universitaire : 2021 /2022

Class
of **2022**



Remerciements

*On tient tout d'abord, à remercier Dieu,
le tout Puissant, de nous avoir donné le courage, la volonté
et la santé pour réaliser ce mémoire. On remercie vivement*

Nos directeurs de recherche

Dr. BAKHTI Haddi et Dr. BEN TOUMI Miloud

*Pour la confiance qu'ils ont bien voulu nous accorder en
acceptant de diriger ce mémoire, pour la qualité de leur
encadrement, leurs précieuses orientations, leur simplicité
et leur patience. Nos remerciements s'adressent aussi aux
membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner
ce travail. On remercie nos familles pour leur patience
avec nous. On remercie tous ceux qui nous ont aidés à
l'élaboration de ce travail de recherche*



Merci



Class
of 2022



Dédicace

C'est avec immense fierté et respect que je dédie ce modeste travail :

*A ceux qui donnent un sens à mon existence, à la lumière de mes yeux en témoignage de votre affection et de votre amour, pour votre patience et votre soutien pendant tous les moments que j'ai traversé, A ma très chère **mère** et Mon très cher **père**.*

*Que **DIEU** vous protège et vous garde*

***Ma vie** qui m'a beaucoup encouragée et m'a soutenue tout le long de ce travail jusqu'au dernier point. Merci de m'avoir montré beaucoup de patience durant les moments les plus stressants.*

A ma grand-mère décédée, que Dieu ait pitié d'elle.

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A ma chère amie et mon binôme

A mes meilleures amies qui m'ont toujours ouvert les portes de L'espoir

A tous ceux qui ont pris place dans mon cœur et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de Loin



Siham



Class
of 2022



Dédicace

Salutation d'amour et de gratitude et merci à

Nos familles

Nos amis

Tous ceux qui ont contribué ce travail

Nous disons merci

Amina



Résumé

De nos jours, la généralisation des systèmes de communication sans fil, et le besoin de miniaturiser les antennes pour permettre leur intégration sur de petits objets aux fréquences élevées UHF est croissante. A ces fréquences, l'antenne est la composante la plus volumineuse et sa miniaturisation constitue l'un des défis actuels les plus importants des concepteurs d'objets communicants.

L'objectif principal de notre travail est la conception d'une antenne patch dual bande fonctionnant pour des systèmes de la cinquième génération. Dans ce contexte, nous avons conçu une antenne miniature ayant deux fréquences de résonances l'une autour de 7GHz et l'autre autour de 28GHz. Pour cela, on s'y basé sur une antenne patch rectangulaire classique. Les techniques de miniaturisation et la déformation du plan de masse (GDS) sont utilisées pour atteindre les meilleures performances. Une étude paramétrique a été effectuée pour voir les paramètres les plus influents afin d'atteindre les exigences souhaitées. L'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance, la bande passante et la directivité ont été pris en considération. Dans ce but, l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST a été exploité comme moyen de développement. Les résultats obtenus ont montré de bonnes performances de l'antenne conçue.

المخلص

في الوقت الحاضر ، يتزايد تعميم أنظمة الاتصالات اللاسلكية والحاجة إلى تصغير الهوائيات للسماح بدمجها في الأجسام الصغيرة بترددات UHF عالية. في هذه الترددات ، يعد الهوائي هو المكون الأكبر وبشكل تصغيره أحد أهم التحديات الحالية لمصممي الكائنات المتصلة.

الهدف الرئيسي من عملنا هو تصميم هوائي مزدوج النطاق يعمل على أنظمة الجيل الخامس. في هذا السياق ، صممنا هوائياً مصغراً له ترددين رنين ، أحدهما حوالي 7 جيجاهرتز والآخر حوالي 28 جيجاهرتز. لهذا ، يعتمد عملنا على هوائي كلاسيكي مستطيل الشكل. تستخدم تقنيات التصغير وتشوه مستوى الأرض (GDS) لتحقيق أفضل أداء. تم إجراء دراسة بارامترية لمعرفة أكثر العوامل تأثيراً لتحقيق المتطلبات المرغوبة. تم أخذ تأثير المعلمات الهندسية للهوائي على تردد الرنين وعرض النطاق والاتجاهية في الاعتبار. لهذا الغرض ، تم استغلال أداة المحاكاة الكهرومغناطيسية في مجال التردد CST كوسيلة للتطوير. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أداءً جيداً للهوائي المصمم.

Abstract

Nowadays, the generalization of wireless communication systems and the need to miniaturize the antennas to allow their integration into small objects at high UHF frequencies is growing. At these frequencies, the antenna is the bulkiest component and its miniaturization constitutes one of the most important current challenges for designers of communicating objects.

The main objective of our work is the design of a dual-band patch antenna working for fifth-generation systems. In this context, we designed a miniature antenna having two resonance frequencies, one around 7GHz and the other around 28GHz. For this, our work is based on a classic rectangular patch antenna. Miniaturization techniques and ground plane deformation (GDS) are used to achieve the best performance. A parametric study was performed to see the most influential parameters to achieve the desired requirements. The influence of the geometrical parameters of the antenna on the resonance frequency, the bandwidth, and the directivity has been taken into consideration. For this purpose, the electromagnetic simulation tool in the frequency domain CST has been exploited as a means of development. The results obtained showed good performance of the designed antenna.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LA 5G	1
I.1. INTRODUCTION	4
I.2. BREF HISTORIQUE	4
I.3. 5 ^{ÈME} GÉNÉRATION	5
I.4. VISION DE LA 5G.....	6
I.4.1. Applications	8
I.4.2. Scénarios d'utilisation.....	8
I.5. ARCHITECTURE DE RÉSEAU MOBILE 5G	9
I.6. TECHNOLOGIES ÉMERGENTES POUR RÉSEAUX 5G.....	11
I.7. CONCLUSION	14
CHAPITRE II : LES ANTENNES PATCH.....	15
II.1. INTRODUCTION	16
II.2. DÉFINITION D'UNE ANTENNE	16
II.3. PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES D'UNE ANTENNES	16
II.3.1. Impédance d'entrée	16
II.3.2. Coefficient de réflexion	17
II.3.3. Rapport d'onde stationnaire (ROS)	17
II.3.4. Diagramme de rayonnement.....	18
II.3.5. Directivité.....	18
II.3.6. Gain	19
II.3.7. Fréquence de résonance et bande passante	19
II.4. DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS SUR LES ANTENNES MICROSTRIPS.....	19
II.5. DESCRIPTION DES ANTENNES MICROSTRIP.....	21
II.5.1. CMSA avec un U-slot	22
II.5.1. Description des éléments constitutifs d'une antenne microstrip.....	23
II.5.1.1. Les couches métalliques	23
II.5.1.2. Le substrat.....	24
II.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES ANTENNES MICROSTRIP BI-BANDE	24
II.7. CARACTÉRISTIQUES ET PROPRIÉTÉS D'ANTENNE MICROSTRIP BI-BANDE	25
II.7.1. Le coefficient de réflexion S_{11}	25
II.7.2. La bande passante.....	26
II.7.3. L'impédance d'entrée de l'antenne	27

II.7.4. Adaptation et condition d'adaptation	27
II.8. TECHNIQUES D'ALIMENTATION DES ÉLÉMENTS RAYONNANTS	28
II.8.1. Alimentation par ligne micro ruban	28
II. 8.2. Alimentation par câble coaxiale	29
II. 8.3. Alimentation par fente	29
II. 8.4. Alimentation par proximité.....	30
II.9. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ANTENNES MICROSTRIP	30
II.10. LES APPLICATIONS DES ANTENNES MICROSTRIPS.....	31
II.10.1. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch.....	32
II.10.2. Techniques d'alimentation des antennes patch	32
II.11. RÉSEAU D'ANTENNES IMPRIMÉES	36
II.11.1. La Configuration de réseau d'antenne patch.....	37
II.11.2. Configuration de l'alimentation de réseau d'antennes.....	38
II.12. LA BANDE MILLIMÉTRIQUE	38
II.12.1. Antennes patch dans la bande millimétrique	39
II.13. DOMAINES D'APPLICATIONS DES RÉSEAUX D'ANTENNES.....	39
II.14. PROPRIÉTÉS DES ONDES EM.....	40
II.14.1 Caractéristiques essentielles.....	40
II.15. CONCLUSION.....	41
CHAPITRE III : PRÉSENTATION DU SIMULATEUR CST MWS	42
III.1. INTRODUCTION.....	43
III.2. SIMULATEURS 3D.....	43
III.2.1. CST MWS.....	43
III.3. TECHNIQUE D'INTÉGRATION FINIE	44
III.4. DÉROULEMENT DES DIFFÉRENTES ÉTAPES D'UN PROJET	46
III.4.1. Choix des unités et du matériau de fond.....	47
III.4.2. Définition de la structure.....	47
III.4.3. Définition de la gamme de fréquences	48
III.4.4. Définition des Ports	48
III.4.5. Définition des conditions aux limites et des plans de symétries	49
III.4.6. Lancement de la simulation.....	49
III.5. CONCLUSION.....	50
CHAPITRE IV : CONCEPTION DE L'ANTENNE ET RÉSULTATS DE.....	51
SIMULATION.....	51
IV.1. INTRODUCTION.....	52

IV.2. CALCUL DE L'IMPÉDANCE DE LA LIGNE D'ALIMENTATION	52
IV.3. CALCUL DES DIMENSIONS DE L'ANTENNE	53
IV.4. ANTENNE AVEC UN PATCH CLASSIQUE	54
IV.4.1. Coefficient de réflexion	55
IV.4. 2. ÉTUDE DE L'EFFET DE L'ÉPAISSEUR DU SUBSTRAT	56
IV.4. 3. ÉTUDE DE L'EFFET DE PLAN DE MASSE.....	56
IV.5. ANTENNE PROPOSÉE.....	57
IV.5.1. Coefficient de réflexion	57
IV.5.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR)	58
IV.5.3. Diagramme de rayonnement.....	58
IV.5.4. Courant de surface	60
IV.6. Conclusion	61
CONCLUSION GÉNÉRALE	63
Conclusion générale.....	64
BIBLIOGRAPHIE	66
Bibliographie.....	67

Liste des figures

Chapitre I : Aspects généraux sur la 5G

Figure. I. 1. Les générations de communications mobiles [14].....	5
Figure. I. 2. La 5G moteur du changement industriel et sociétal [17].....	7
Figure. I. 3. Comparaison des architectures en couches des modèles OSI et 5G	10
Figure. I. 4. Couche PHY et couche MAC pour le réseau 5G.....	11
Figure. I. 5. MIMO massive	12
Figure. I. 6. Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD.....	12

Chapitre II : Les antennes patch

Figure. II. 1. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.....	17
Figure. II. 2. a) Diagramme dit « omnidirectionnel » dans le plan xOy et b) Diagramme dit « directif »	18
Figure. II. 3. Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.	19
Figure. II. 4. Structure d'une antenne microstrip.	20
Figure. II. 5. VSWR représente deux catégories de fonctionnement double bande (a) fixe et (b) accordable	21
Figure. II. 6. Les différentes formes d'une antenne imprimée	22
Figure. II. 7. CMSA avec un U-slot	23
Figure. II. 8. a) Principe de fonctionnement b) Résonateur BIE à D'une antenne BIE métalliques de plan masse structure.....	25
Figure. II. 9. Coefficient de réflexion à l'entrée d'une antenne patchen fonction de la fréquence.....	27
Figure. II. 10. L'impédance d'entrée d'une l'antenne.....	27

Figure. II. 12. Alimentation par ligne microruban	29
Figure. II. 13. Technique d'alimentation par câble coaxiale [45].....	29
Figure. II. 14. Technique d'alimentation de couplage par fente [45].....	30
Figure. II. 15. Méthode d'alimentation par couplage par proximité.....	30
Figure. II. 19. Distribution de charge dans l'antenne patch (a) [46]. Distribution du champ dans l'antenne patch (b) [46].	32
Figure. II. 20 Les techniques d'alimentation.....	33
Figure. II. 21 Alimentation du patch par un câble coaxial.	33
Figure. II. 22. Alimentation du patch par une ligne microbande.....	34
Figure. II. 23. Ligne microbande en sandwich	34
Figure. II. 24. Alimentation du patch par un guide d'onde coplanaire.	35
Figure. II. 25. Alimentation du patch le couplage par fente.....	35
Figure. II. 26. Géométries d'un réseau d'antennes. (a)-linéaire (b)-circulaire (c)-planaire (d)-volumique.....	37
Figure. II. 27. Alimentation d'un réseau d'antennes patch. (a) série (b) parallèle.....	38
Figure. II. 28. Angle solide vue d'une source	41

Chapitre III : Présentation du simulateur CST MWS

Figure. III. 1. Interface du CST.....	43
Figure. III. 2. Visualisation des résultats avec MWS.....	44
Figure. III. 3. Maille élémentaire issue d'une simulation FIT.....	45
Figure. III. 4. Modèles et leurs descriptions.	46
Figure. III. 5. Fenêtre de guide de démarrage rapide.	47
Figure. III. 6. Dialogue de configuration des unités de base.	47
Figure. III. 7. Dialogue d'outils de dessin des structures.....	48
Figure. III. 8. Dialogue de configuration de la plage de fréquence.....	48
Figure. III. 9. Dialogue d'ajout d'un port d'entrée.	48
Figure. III. 10. Conditions aux limites d'une structure (en couleur mauve).....	49
Figure. III. 11. Dialogue de simulation.....	49

Chapitre IV : Conception de l'antenne et résultats de simulation

Figure. IV. 1. Fenêtre de l'impédance de la ligne d'alimentation dans logiciel CST	52
Figure. IV. 3. Variation d'impédance de l'impédance de la ligne d'alimentation en fonction de la fréquence (a) $h=0.8\text{mm}$ (b) l'influence de h	53
Figure. IV. 4. (b) montre que une variation de h de 0.8mm a 1.6mm affecte légèrement l'impédance d'entrée de l'antenne. On verra prochainement l'effet de h sur le coefficient de réflexion.	53
Figure. IV. 5. Géométrie de l'antenne conçue.....	55
Figure. IV. 6. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne avec les paramètres du Tableau 1.....	55
Figure. IV. 7. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne avec les $h=0.8\text{mm}$ et $h=1.6\text{mm}$	56

Figure. IV. 8. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne après la déformation du plan de masse.....	57
Figure. IV. 9. La géométrie finale de l'antenne bi-bande conçue.....	57
Figure. IV. 10. S11 en (dB) en fonction de la fréquence	58
Figure. IV. 11. VSWR en fonction de la fréquence.....	58
Figure. IV. 12. Diagramme de rayonnement simulé pour les cas à $\Phi = 0$; $\Phi=90$; $\Theta=90$ pour $f=7.8\text{GHz}$	59
Figure. IV. 13. Diagramme de rayonnement simulé pour les cas à $\Phi = 0$; $\Phi=90$; $\Theta=90$ pour $f=28\text{GHz}$	59
Figure. IV. 14. Diagramme de rayonnement simulé en 3D (a) pour 7.8GHz et (b) pour 28GHz	60
Figure. IV. 15. Courant de surface pour (a)- $f=7.8\text{ GHz}$ (b)-28GHz	61

Liste des tableaux

Tableau. I 1. Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R.....	7
Tableau. II. 1. Caractéristiques des différentes structures des antennes.....	21
Tableau. II. 3. Comparaison entre méthodes d'alimentation.	35
Tableau. IV. 1. Paramètres géométriques de l'antenne de base.....	55

Introduction générale

Le développement de nouveaux systèmes de télécommunications sans fil nécessite la conception d'antennes performants. Ces derniers sont de plus en plus difficiles à élaborer vue la diversité des systèmes et standards (GSM, DCS, UMTS, WLAN. etc.). Dans le cas des communications entre mobiles, les ingénieurs sont amenés à concevoir des antennes plus performants afin de dépasser les nombreuses contraintes telles que : la compacité, faible coût de fabrication, large bande passante et fonctionnement multifréquences [1-2].

De ce fait, les études se sont orientées vers une miniaturisation importante, avec l'utilisation de nouveaux matériaux diélectriques et le développement de capacités multifonctionnelles. etc.

Afin de répondre à ces besoins, des méthodologies de conception innovatrices d'antenne sont nécessaires.

L'objectif principal de notre travail est la conception d'une antenne patch dual bande fonctionnant pour des systèmes de la cinquième génération. Dans ce contexte, nous voulions concevoir une antenne miniature ayant deux fréquences de résonances l'une autour de 7GHz et l'autre autour de 28GHz. Pour cela, on va se baser sur une antenne patch rectangulaire classique. Les techniques de miniaturisation et la déformation du plan de masse (GDS) vont être utilisées pour atteindre les meilleures performances. Une étude paramétrique va être effectuée pour voir les paramètres les plus influents afin d'atteindre les exigences souhaitées. L'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance, la bande passante et la directivité vont être pris en considération. Dans ce but, l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST va être exploité comme moyen de développement. L'analyse des résultats qui vont être obtenus vont montrer les performances de l'antenne conçue. Nous voulions que ces derniers répondent aux exigences imposées.

La première apparition des antennes micro-ruban était dans les années 1950 par le chercheur Deschamps, mais il a fallu attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui étaient essentiellement réservées à des applications militaires [3]. Deux atouts majeurs ont entraîné au développement très important de ce type : leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration.

Aujourd'hui ils sont implantés dans des nombreux dispositifs électroniques et constituent le type privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes. Par ailleurs ce type présente des limites, notamment la bande passante étroite. Afin

de compenser ces limitations et améliorer les performances plusieurs techniques ont été développées [4-5].

Dans notre sujet, nous avons couvert quatre chapitres, le premier chapitre traite les aspects généraux sur la 5G.

Le deuxième chapitre est dédié à la description des antennes patch de façon générale.

Le troisième chapitre donne une succincte présentation du logiciel utilisé dans notre travail CST. Une fois que la structure de l'antenne a été introduite dans l'environnement de développement, ainsi que la prise en considération des conditions aux limites et les paramètres de la solution selon les étapes décrites au chapitre trois, nous pouvons alors exécuter, analyser pour estimer les performances de l'antenne. Nous avons également introduit toutes les phases de conception.

Le quatrième chapitre est orienté à l'aspect de conception de l'antenne et la discussion des résultats obtenus. Dans ce dernier, toutes les résultats de simulation sont suivis de discussions et de commentaires.

À la fin de ce mémoire, nous terminerons par une conclusion générale qui résume le travail effectué.



**CHAPITRE I : ASPECTS
GÉNÉRAUX SUR LA 5G**

I.1. Introduction

Les réseaux mobiles ont connu de nombreuses évolutions depuis une trentaine d'années. Ces innovations technologiques ont permis d'offrir de plus en plus de services aux différents utilisateurs avec des débits croissants. Alors que la 4G est en cours de déploiement, la 5G, encore à l'état de recherche, constitue le future des réseaux mobiles [6-7].

L'économie numérique entame une nouvelle phase de son évolution notamment avec le développement de l'Internet des objets (IoT) et la future 5G. Ces avancées ouvrent la voie à l'avènement d'une véritable société connectée [7-8].

Aujourd'hui, il y aurait 15 milliards d'objets connectés au niveau mondial. En 2020, leur nombre pourrait atteindre 50 milliards et leur chiffre d'affaires 22,9 milliards de dollars. La valeur proviendrait surtout des services créés qui reposeront en grande partie sur le traitement massif des données (Big Data). L'architecture même des réseaux pourrait évoluer pour répondre à une demande croissante de qualité de service, de fiabilité et de rapidité [6-9].

La 5G est présentée comme l'ensemble des technologies dont le but est notamment d'améliorer l'efficacité spectrale en transmettant plus de contenus avec un débit plus élevé. La densification des cellules constituerait une partie de cette réponse [9]. Un bref historique va être exposé. La vision de la 5G est traitée. L'architecture du Réseau mobile est ainsi exposée. Les techniques qui sont utilisées pour la 5G sont mise en évidence.

I.2. Bref Historique

La 1G a donné la voix, la 2G a permis les SMS, la 3G a permis le développement du Web mobile, puis la 4G a permis la voix sur 4G (VoLTE) et augmenté le débit des connexions mobiles.

En Chine, elle est principalement développée par Huawei, et ZTE, en coopération avec Ericsson depuis 2015, et testée par China Mobile [6].

En octobre 2014, le chinois Huawei et l'opérateur japonais NTT Docomo, travaillant avec le fabricant d'électronique NEC, font un test conjoint à grande échelle de réseau 5G via la technologie du MIMO massif à Chengdu (province du Sichuan) [7].

En France, le 22 septembre 2015, l'Arcep autorise Orange à tester des technologies 5G11 dans les bandes de 3,7 GHz, 10,5 GHz et 17 GHz dans la ville de Belfort.

En juillet 2016, l'Institut de recherche technologique b-com est retenu par l'Arcep pour tester la 5G à Rennes [8].

En décembre 2016 Huawei et NTT DoCoMo font un test dans le quartier Minato Mirai 21 à Yokohama (région du Kantō), sur les fréquences de 4,5 GHz, avec une macro-cellule et 23

équipements d'utilisateurs. Ils obtiennent un débit de 11,29 Gbit/s, avec une latence de 0,5 ms [7].

En janvier 2017, le LETI annonce le déploiement sur le complexe Minatec d'un réseau 5G afin de tester une nouvelle forme d'onde multi porteuse [9]. Le même mois, Orange, en partenariat avec le géant suédois Ericsson, devient le premier opérateur français à réaliser un test 5G. Les résultats permettent d'atteindre un potentiel 75 fois supérieur à celui de la 4G [10]. Cette performance est toutefois à prendre avec des réserves puisque les conditions optimales du laboratoire dans lequel s'est déroulé le test ne permettent pas de garantir un tel débit dans un environnement lambda. En février 2017, l'opérateur sud-coréen KT fait des démonstrations de réalité virtuelle en 5G au Mobile World Congress (MWC) de Barcelone [11]. En France, le 22 juin 2017, un communiqué de L'ARCEP indique qu'elle souhaite préparer la procédure d'attribution de fréquences dans la bande 3,5 GHz (3 400 à 3 800 MHz) pour l'accès fixe à Internet à très haut débit à partir de 2018. Elle souhaite également s'engager dans les travaux préparatoires au lancement des réseaux mobiles 5G dans la bande des 3,46 à 3,80 GHz vers 2020 [12].

En juillet 2017, l'italien TIM signe un accord avec le gouvernement du micro-État Saint-Marin en vue de faire passer son réseau 4G en 5G [13].

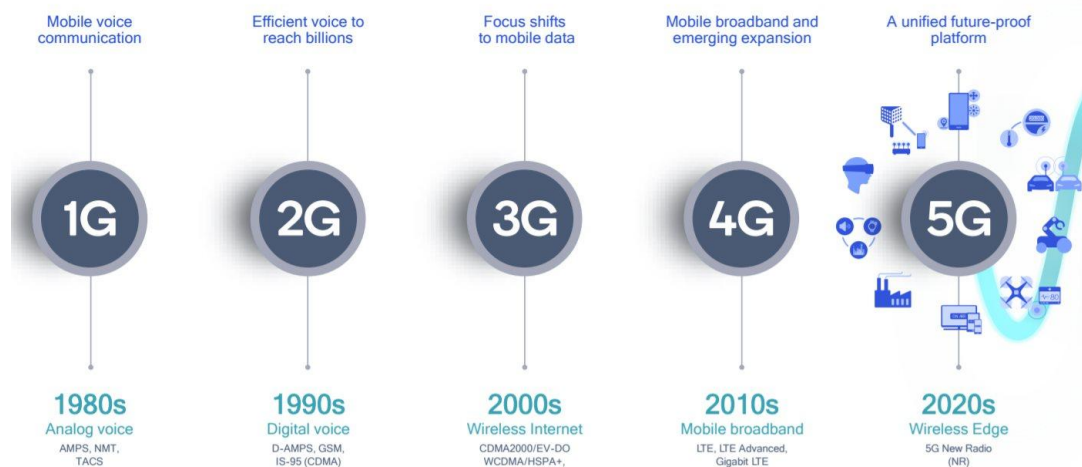


Figure. I. 1. Les générations de communications mobiles [14].

I.3. 5^{ème} Génération

Les réseaux 5G va être conçus pour pouvoir ouverts, flexible, et évoluer plus facilement que les réseaux traditionnels, et ne sera pas basés sur des technologies de cheminement et de commutation [15].

Elles pourront fournir la communication convergente de réseau à travers des réseaux de multi technologies, et fournissent le système de communication ouvert pour coopérer avec les

systèmes satellites, les réseaux cellulaires, les nuages et les centres des données, les passages à la maison, et beaucoup plus de réseaux et de dispositifs ouverts. En plus, les systèmes 5G pourront autonomes et suffisamment adapter sur les situations dépendant de la QoS exigé pour manipuler les réseaux axés sur les applications dynamiquement. L'intégrité de sécurité, d'élasticité, de robustesse et de données sera la première priorité dans la conception des futurs réseaux [16].

La technologie d'accès radio 5G sera une composante clé de la société gérée en réseau. Elle répondra la demande élevée de croissance et d'augmentation de trafic de la connectivité avec une largeur de bande large. Elle soutiendra également des nombres massifs des dispositifs reliés et rencontrera le temps réel, les besoins de communication de haute fiabilité. Le but général de 5G est de fournir la connectivité omniprésente pour n'importe quel genre de dispositif et n'importe quel genre d'application qui peut tirer bénéfice d'être relié. Il accélère le développement de la communication entre objets.

Les réseaux 5G ne seront pas basés sur une technologie d'accès radio spécifique. Plutôt, 5G est une brochure des solutions d'accès et de connectivité adressant les demandes et des conditions de communication mobile au-delà de 2020.

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

I.4. Vision de la 5G

La 5G souhaite se présenter comme la génération de rupture, la génération qui ne s'intéresse plus uniquement au monde des opérateurs de téléphonie mobile et des communications grand public, mais qui ouvre de nouvelles perspectives et permet la cohabitation d'applications et usages extrêmement diversifiés, unifiés au sein d'une même technologie. La 5G se pose en *enabler* de la numérisation de la société et de l'économie.

L'idée qui commence à se forger derrière la notion de 5G est que celle-ci ne correspondrait pas à une simple augmentation des débits, comme cela a été le cas pour les précédentes générations. Les communications mobiles grand public, le téléchargement de vidéos et l'utilisation d'applications mobiles représentent l'essentiel de l'utilisation actuelle des ressources radio dans les réseaux 4G ; avec la 5G, l'objectif serait que le spectre des usages et la diversité des utilisateurs soit grandement élargie.

La 5G vise des secteurs très variés, qui n’auraient pas nécessairement d’autre élément commun que cette technologie, mais qui sont des piliers importants d’une société : l’énergie, la santé, les médias, l’industrie ou le transport.

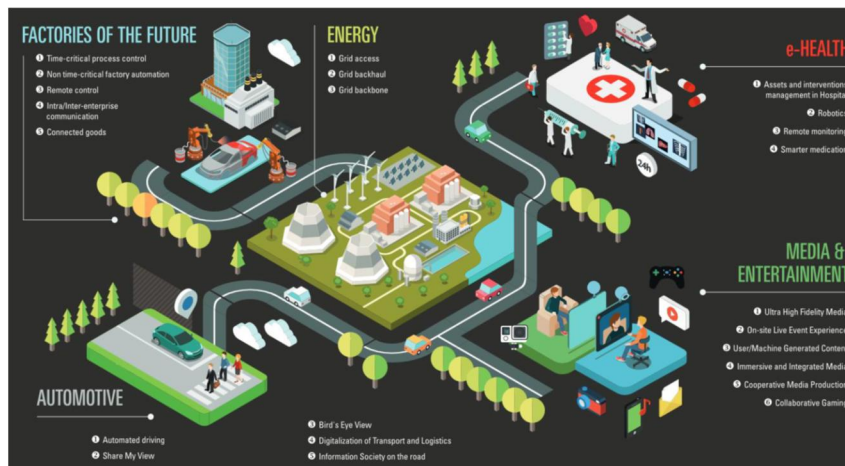


Figure. I. 2. La 5G moteur du changement industriel et sociétal [17].

Les systèmes de communication mobiles et sans fil 5G nécessiteront un mélange de nouveaux concepts de système pour augmenter l’efficacité spectrale et énergétique. Les visions et les exigences pour les systèmes sans fil 5G sont décrites ci-dessous [18].

Tableau. I 1. Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R [19].

Capacités clés	Definition	Valeurs
Débit maximal de données	Débit de données maximum atteignable par utilisateur	20 Gb/s
Taux de données expérimenté par l'utilisateur	Débit de données minimum atteignable pour un utilisateur dans un environnement réseau réel	0.1–1 Gb/s
Latence	Durée entre la transmission d’un paquet de données du nœud source et la réception réussie au nœud de destination	1 ms par voie hertzienne
Mobilité	Vitesse relative entre le récepteur et l’émetteur sous certaines conditions de performance	500 km/h
Densité de connexion	Nombre total d’appareils connectés par unité de surface	10 ⁶ / km ²
Efficacité énergétique	Nombre de bits pouvant être transmis par joule d’énergie	100 fois comparé avec IMT – Avancé
Efficacité du spectre	Débit de données par unité de ressource spectrale par cellule (ou par unité de surface)	3–5fois comparé avec IMT – Avancé

I.4.1. Applications

Le réseau 5G, contrairement aux réseaux mobiles actuels, ne sera pas axé prioritairement sur la téléphonie. Cette particularité est un challenge et fera la force de celle-ci. Ce réseau mondial repose sur l'utilisation de toutes les communications disponibles [20]. En effet on peut identifier plusieurs applications majeures auxquelles devra servir le réseau 5G :

- La ville intelligente (*smart-city*) dont l'infrastructure pourrait être gérée plus efficacement tout en optimisant sa consommation de ressources grâce à des réseaux de capteurs complexes.
- La maison connectée qui grâce à des capteurs et à la domotique pourra être gérée, notamment en terme de ressources, et utilisée facilement et efficacement ou encore sécurisée à distance.
- Les transports connectés, avec notamment l'avènement des voitures autonomes, qui permettra de sécuriser et d'optimiser le réseau routier.
- La santé connectée avec des innovations majeures telles que la chirurgie à distance des patients et personnes à risques [21].

D'autres applications moins révolutionnaires mais tout aussi majeures sont à prévoir dans les domaines de l'industrie, la logistique et la sécurité. Le divertissement reste une source d'applications futures orientées vers l'utilisateur telles que la réalité virtuelle, le jeu en réseau, le streaming vidéo en ultra haute définition, la télévision interactive en haute définition et de nombreuses applications auxquelles nous ne pensons pas encore devraient voir le jour.

L'amélioration du réseau mobile et de la qualité d'expérience [21] sont bien entendu des objectifs

Clés de la 5G : tout et tout le monde sera connecté partout tout le temps.

I.4.2. Scénarios d'utilisation

Les Scénarios d'utilisation classés comme suit :

A. Large bande mobile améliorée (EMBB : Enhanced Mobile Broadband) :

est dédié à toutes les applications et à tous les services, Il peut fournir des capacités haut débit entre 100 et 1000 fois la capacité des systèmes mobiles pour les téléphones mobiles, la réalité virtuelle et l'optimiseur, la vidéo 3D et la vidéo HD [17].

B. Communications massives de type machine (MMTC : Massive Machine-Type Communications) :

Ce terme comprend (V2V) pour l'échange d'informations entre les participants de la circulation en utilisant un véhicule à véhicule, (V2P) de véhicule à piéton ou de véhicule à l'infrastructure

(V2I) des communications qui fournissent la sécurité du trafic, l'efficacité, la santé en ligne et la gestion des villes intelligentes (Smart City) [20].

I.5. Architecture de Réseau Mobile 5G

A- Le modèle de référence OSI d'ISO

Au début des années 70, chaque constructeur a développé sa propre solution réseau autour d'architecture et de protocoles privés et il s'est vite avéré qu'il serait impossible d'interconnecter ces différents réseaux si une norme internationale n'était pas établie. Cette norme établie par l'Organisation internationale standardisation (ISO) est la norme : interconnexion de systèmes ouverts (ou OSI : open system interconnexion).

Un système ouvert est un ordinateur, un terminal, un réseau, ou n'importe quel équipement respectant cette norme et donc apte à échanger des informations avec d'autres équipements hétérogènes et issus de constructeurs différents. Le premier objectif de la norme OSI a été de définir un modèle de toute architecture de réseau basé sur le découpage en sept couches. A chacun de ces couches correspond à une fonctionnalité particulière d'un réseau. Les couches 1, 2, 3 et 4 sont dites basses et les couches 5, 6 et 7 sont dites hautes [22].

A.1. La couche physique

Cette couche définit les caractéristiques techniques, électriques, fonctionnelles et procédures nécessaires à l'activation et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de la couche liaisons de données [23].

A.2. La couche liaison

Cette couche définit les moyens fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation et à l'établissement ainsi qu'au maintien et à la libération des connexions de liaisons de données entre les entités du réseau.

Cette couche détecte et corrige, quand cela est possible, les erreurs de la couche physique et signale à la couche réseau les erreurs irrécupérables.

A.3. La couche réseau

Cette couche définit un transfert de données entre les entités en les déchargeant des détails d'exécution (contrôle entre l'OSI et le support de transmission). Son rôle est d'optimiser l'utilisation des services de réseau disponibles afin d'assurer à moindre coût les performances requises par la couche session [23].

A.4. La couche session

Cette couche fournit aux entités de la couche présentation les moyens d'organiser et de synchroniser les dialogues et les échanges de données. Il s'agit de la gestion d'accès, de sécurité et d'identification des services.

A.5. La couche présentation

Cette couche assure la transparence du format des données à la couche application.

A.6. La couche application

Cette couche assure aux processus d'application le moyen d'accès à l'environnement OSI et fournit tous les services directement utilisables par l'application (transfert de données, allocation de ressources, intégrité et cohérence des informations, synchronisation des applications) [23].

B. Architecture en couches du réseau 5G

L'architecture en couche du réseau 5G se divise en 4 parties :

B.1. Couche d'architecture sans fil ouvert

Cette couche fonctionne comme la couche physique et la couche liaison de données de pile d'OSI.

B.2. Couche réseau

Elle est employée pour conduire des données d'une source dotée d'une adresse IP à une destination possédant une adresse IP aussi. Elle est divisée en couches réseau inférieures et supérieures.

B.3. La Couche transport

Elle combine la fonctionnalité de la couche transport et de la couche session [23].

B.4. Couche application

Elle marque les données selon le format approprié et exigé. Elle fait également le chiffrement et le déchiffrement des données. Elle choisit le meilleur raccordement sans fil pour le service donné [17].

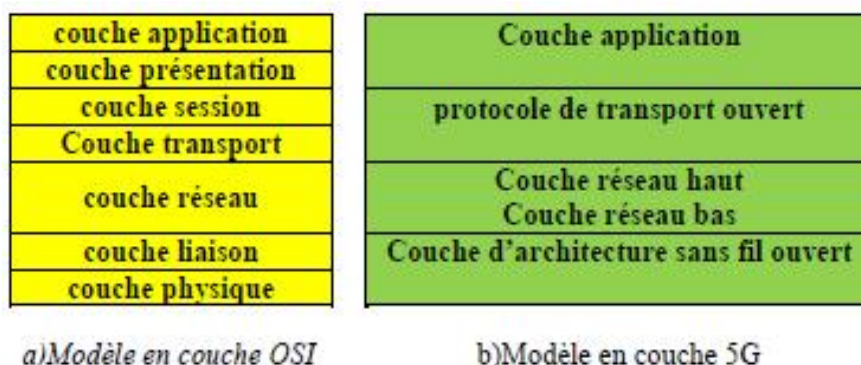


Figure. I. 3. Comparaison des architectures en couches des modèles OSI et 5G

C. Principes généraux de conception pour la couche PHY et couche MAC

Le graphique suivant montre les modules généraux qui déterminent la conception de la couche physique (PHY) et de la couche MAC (moyenne de contrôle d'accès) pour n'importe quelle technologie de communication, pas simplement pour la 5ème génération de communication sans fil.

Cependant, des exemples spécifiques pour 5G pour chaque module sont énumérés au-dessous de chaque bloc.

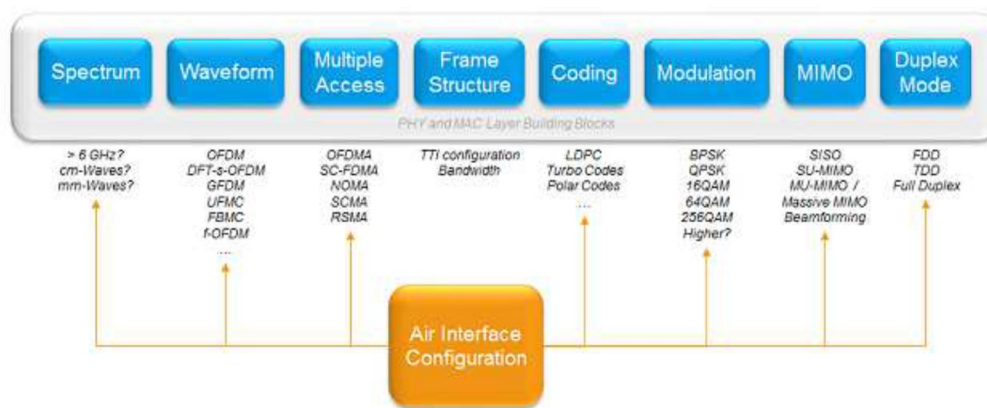


Figure. I. 4. Couche PHY et couche MAC pour le réseau 5G

I.6. Technologies Émergentes Pour réseaux 5G

A. Bandes millimétriques

Il s'agit tout simplement des fréquences supérieures à 6Ghz qui n'ont encore jamais pris pour déploiement des réseaux mobiles pour des raisons de maturité technologique et de qualité de propagation. Pour répondre à l'incessante augmentation des débits et des volumes de données échangés, elle pourraient offrir de telles réserves de spectre et leurs utilisation impose le développement de toutes les technologies nécessaires, miniaturisés bas cout et avec une consommation énergétique compatible avec des terminaux portable (amplificateur ,codeur, traitement de signal, antenne etc.) en particulier [24], la communication par onde millimétrique est susceptible d'être utilisée pour une couverture extérieure pour des réseaux denses telle que la portée allant jusqu'à 200 à 300 mètre, Chaque cellule aura une couverture réduite, ce qui nécessitera la mise en place de techniques de beamforming (MIMO).

B. MIMO massive

Cette technologie se caractérise par l'utilisation d'un nombre élevé de micro antennes « intelligentes » sur un seul équipement (de 8 à 128 actuellement, mais le nombre augmentera

avec l'utilisation de fréquences à 6Ghz). L'attrait l'utilisation du massive MIMO est double [24] :

- Permet d'augmenter les débits grâce au multiplexage spatiotemporel.
- Permet de focaliser l'énergie sur un terminal pour améliorer son bilan de liaison.

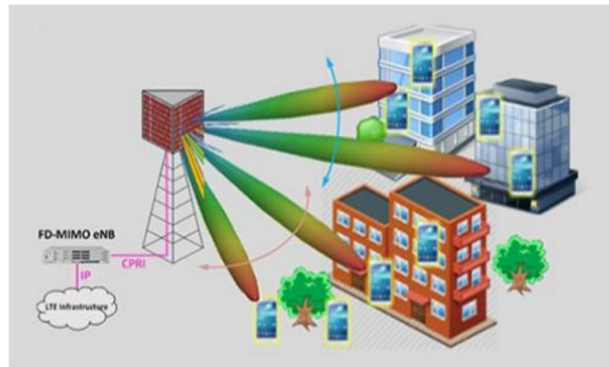


Figure. I. 5. MIMO massive

C. Un duplex plein

Le mode full-duplex a fait l'objet de tests lors de la première phase des essais 5G.

Ce mode permet la transmission et la réception simultanées des données au niveau de la station de base, avec trois niveaux de technologie en cascade, à savoir l'annulation analogique passive, l'annulation analogique active et l'annulation numérique. Les tests ont prouvé que le full-Duplex permet d'optimiser l'annulation des auto-interférences de plus de 113 dB en situation réelle, ce qui assure une augmentation de 90 % du débit du système par rapport aux modes (half-duplex) traditionnellement utilisés.

Le duplexage complet est destiné à permettre la transmission et la réception simultanées d'informations à la même fréquence, au même moment et au même endroit.

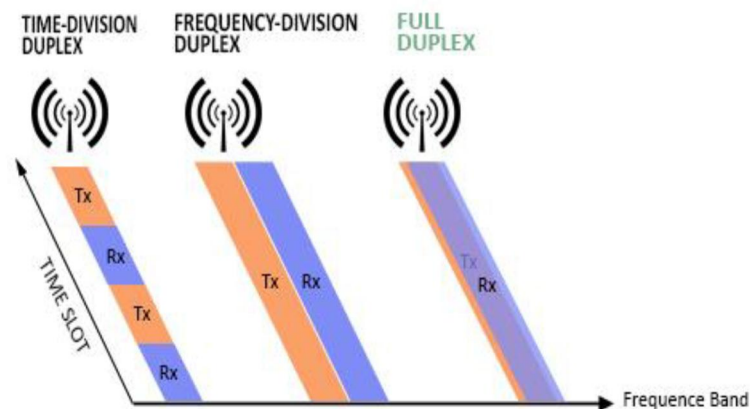


Figure. I. 6. Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD

D. Les petites cellules

Les petites cellules sont également un composant essentiel des réseaux hétérogènes (Het Nets) [25]. Les estimations évoquent pour satisfaire la demande et permettre l'introduction de la 5G. Un nombre d'au moins 10 petites cellules par macro site, dans un environnement urbain où les cellules sont déjà relativement serrées, peut faire face à la densité d'utilisation.

E. Formation de faisceaux

En raison de la sélection de l'espace résultant de la formation du faisceau, il a une relation étroite avec l'accès multiple par répartition spatiale (SDMA) [19].

F. Multiplexage NOMA

Plusieurs utilisateurs sont couplés et partagent les mêmes ressources radio, que ce soit en temps, en fréquence ou en code [25].

G. Communication Device-to-Device

En général, les avantages résultant du fonctionnement D2D comprennent, entre autres, une efficacité spectrale fortement accrue, un débit de données par utilisateur et une capacité par zone améliorés, une couverture étendue, une latence réduite et une efficacité accrue en termes de coût et de puissance [18].

H. Internet des objets

Le réseau devra prendre en charge un nombre considérable de connexions de périphériques et de petits paquets de données. Des services comme la vidéo surveillance et la santé mobile, permettant à des centaines de milliards d'appareils de se connecter à un réseau créant un véritable "Internet of Everything" [18].

I. Prise en charge native de la communication machine-to-machine

La communication M2M en 5G implique de satisfaire trois exigences fondamentalement différentes associées à différentes classes de services à bas débit : un nombre important d'appareils connectés, une fiabilité de liaison très élevée, une faible latence et un fonctionnement en temps réel [26].

J. Software Defined Network

Qui gère le plan de données réseau sous-jacent en utilisant une API service orientée qui lui permet de configurer les tables de transfert des équipements réseau (commutateurs par exemple) afin de réagir aux paquets entrants et aux flux [22]. Le SDN facilite la configuration, la mise à l'échelle et la gestion de l'infrastructure déployée de réseau [17].

K. Network Fonction Virtualisation

Le NFV s'appuie sur l'infrastructure de centre de données qui alimente d'une manière très efficace de nombreux services d'applications Internet, tels que Google et Amazon [17].

L. Cloud RAN

Cette nouvelle technologie permet d'augmenter la capacité et la couverture de réseau. Elle permet également une gestion globale des ressources, une gestion efficace des interférences et une meilleure utilisation de la technologie d'accès radio (RAT).

I.7. Conclusion

Pour permettre la connectivité pour un large gamme d'applications et de cas d'utilisations, les capacités de l'accès sans fil 5G doivent aller bien au-delà de celles des générations précédentes de communications mobiles.

Ces capacités incluent des débits de données réalisables très élevés, une latence très faible et une fiabilité ultra-élevée. De plus, l'accès sans fil 5G doit prendre en charge une augmentation massive du trafic de manière accessible et durable, ce qui implique un besoin de réduction drastique des coûts et de la consommation d'énergie.

L'accès sans fil 5G sera réalisé par l'évolution du LTE pour le spectre existant en combinaison avec de nouvelles technologies radio d'accès qui ciblent principalement le nouveau spectre.

Les composants technologiques de base de l'accès sans fil 5G incluent l'intégration de l'accès backhaul, communication appareil-appareil, utilisation flexible du spectre et transmission multi-antennes.



**CHAPITRE II : LES
ANTENNES PATCH**

II.1. Introduction

Dans les applications aéronautiques, aérospatiales et militaires où le faible volume, le faible poids, le faible coût, les hautes performances et la facilité de mise en œuvre sont les principales exigences. Aujourd'hui, avec l'explosion des télécommunications, ces contraintes se retrouvent dans les applications commerciales sans fils. Pour répondre à ces exigences un nouveau type d'antenne a été proposé qui est l'antenne imprimée.

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la définition des antennes. Nous donnerons ensuite leurs caractéristiques et domaines d'utilisation, leurs avantages ainsi que leurs inconvénients. Finalement, nous terminerons ce chapitre en rappelant brièvement sur la bande millimétrique.

II.2. Définition d'une Antenne

Les antennes sont des dispositifs permettant de rayonner ou de capter les ondes électromagnétiques [27], ou, en d'autres termes, une structure de transition entre espace libre et onde guidée [28]. L'antenne d'émission transforme le courant modulé d'excitation en ondes électromagnétiques capables de se déplacer dans l'atmosphère.

Tandis que l'antenne de réception convertit les ondes électromagnétiques reçus en courant susceptible d'être traité par le récepteur [29].

II.3. Paramètres Caractéristiques d'une Antennes

Une antenne se définit par les caractéristiques principales suivantes : Impédance d'entrée, Coefficient de réflexion, Rapport d'onde stationnaire (ROS), Diagramme de rayonnement, Directivité, Gain et Fréquence de résonance et bande passante [30].

II.3.1. Impédance d'entrée

Une antenne alimentée par une ligne de transmission d'impédance caractéristique, l'impédance d'antenne peut être considérée comme une impédance complexe [31] :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (\text{II.1})$$

L'impédance d'entrée de l'antenne dépend bien évidemment de la géométrie de l'antenne mais aussi du couplage entre la ligne et l'antenne.

L'antenne mais aussi du couplage entre la ligne et l'antenne.

L'impédance d'entrée de l'antenne que l'on souhaite la plus proche possible de 50Ω en partie réelle, et nulle en partie imaginaire, dépend du type d'alimentation.

II.3.2. Coefficient de réflexion

De manière générale lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation, une partie de cette onde est réfléchiée et l'autre partie est transmise dans l'autre milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchiées [31].

Généralement ce coefficient Γ est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne Z_e et l'impédance caractéristique Z_c par la relation

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

Signalons qu'on peut représenter Γ sous forme de paramètre S en dB tel que :

$$S_{11} (\text{dB}) = 20 \log (\Gamma) \quad (\text{II.3})$$

Le paramètre S11 qui est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne exprime le transfert d'énergie par 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 $|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$ [32].

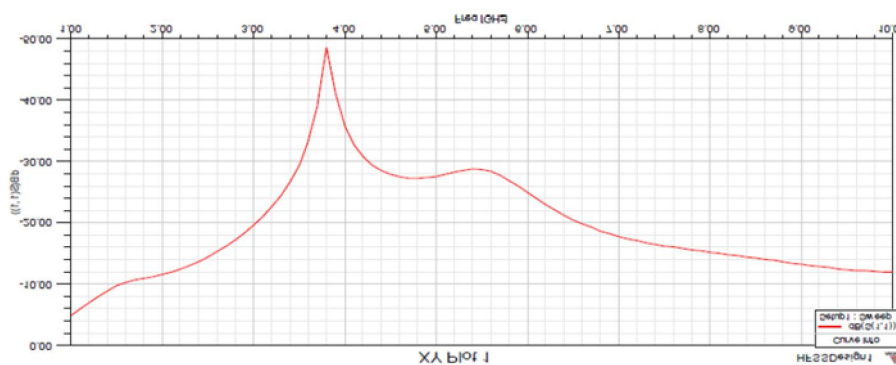


Figure. II. 1. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

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

Le taux d'onde stationnaire se définit comme le rapport des valeurs maximales (+V) et minimales (-V) de l'amplitude de l'onde stationnaire, il est donné par la relation suivante [8] :

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

Il est lié au coefficient de réflexion Γ par la relation :

$$\text{ROS} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{II.5})$$

II.3.4. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace.

En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace [29].

Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement $F(\theta, \varphi)$ de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ à la puissance P_{\max} de la direction où le rayonnement est maximal [33].

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_a}{4\pi} \quad (\text{II.6})$$

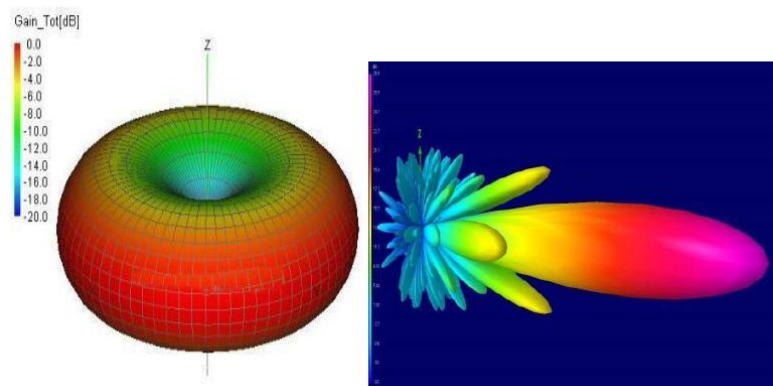


Figure. II. 2. a) Diagramme dit « omnidirectionnel » dans le plan xOy et b) Diagramme dit « directif »

II.3.5. Directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [31].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P} \quad (\text{II.7})$$

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

II.3.6. Gain

Le gain d'une antenne dans une direction donnée est le rapport de l'intensité de rayonnement et de celle d'une antenne isotrope [34].

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte. Si G est le gain, alors :

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \left(\frac{U(\theta, \varphi)}{\text{source isotropique sans perte}} \right) \quad (\text{II.8})$$

II.3.7. Fréquence de résonance et bande passante

La bande passante d'une antenne est déterminé par le domaine de fréquence dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques sollicitées. Elle correspond au transfert maximal de puissance du générateur vers l'antenne dans le cas d'émission (puissance d'alimentation), et de l'antenne vers le récepteur dans le cas de réception (puissance collectée). Dans la plupart des cas, la bande passante est définie en fonction du coefficient de réflexion. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Cependant, un critère typique est d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10dB sur toute la bande passante [35].

La bande passante est définie par la formule suivante :

$$\text{BP} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \quad (\text{II.9})$$

Avec f_2 la fréquence maximale et f_1 la fréquence minimale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB (voire -6dB) et f_c la fréquence centrale [36].

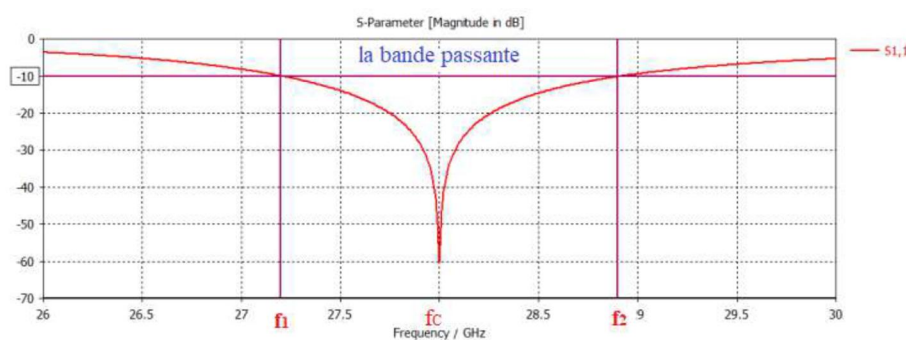


Figure. II. 3. Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.

II.4. Définitions et généralités sur les antennes microstrips

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le

long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa. Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception [30].

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation ;
- Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées ;
- Transmettre le plus fidèlement possible une information.

Les conceptions des antennes microstrip furent proposées il y a de cela plus de 50 ans. Vingt ans après, ces antennes furent fabriquées à partir de meilleurs modèles théoriques et par des techniques de substrat en cuivre ou en or à large bande de constant diélectrique ϵ_r . Leurs propriétés mécaniques furent ainsi développées. Montre la géométrie de base d'une antenne microstrip.

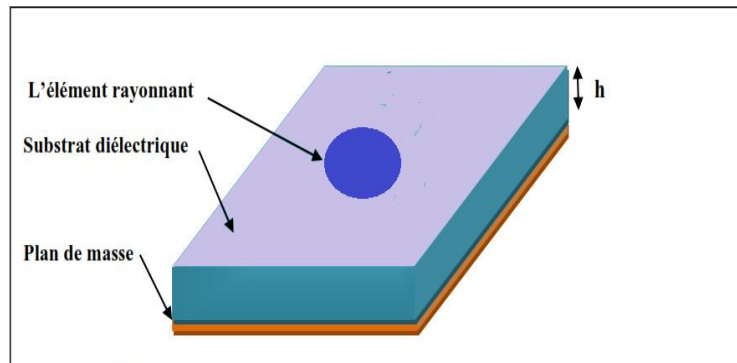


Figure. II. 4. Structure d'une antenne microstrip.

Une nouvelle antenne micro-ruban à double bande est introduite avec un schéma de conception. L'antenne étant plane, le coût de fabrication est faible, en particulier pour la production de masse, la procédure de conception est relativement facile [31]. L'antenne micro ruban bi-bande est une antenne qui fonctionne sur deux bandes de fréquence. Elles sont conçues en retranchant des fentes au niveau du patch, ces dernières peuvent être sous forme d'un H, L, U... Les deux bandes de fréquences n'apparaissent pas facilement en traçant une fente dès la première fois, mais il faut bien savoir comment la positionner et la dimensionner [32].

Tableau. II. 1. Caractéristiques des différentes structures des antennes [29]

Caractéristiques	Antenne à microbande	Antenne à fente	Antenne à dipôle imprimé
Profil	Mince	Pas très mince	Mince
Fabrication	Très facile	Facile	Facile
Polarisation	Linéaire+ circulaire	Linéaire	Linéaire
Opération de fréquence	Possible	Pas possible	Pas possible
Forme	N'importe laquelle	Seul rectangulaire	Rectangulaire plus triangulaire
Rayonnement parasite	Existent	Existent	Existent
Largeur de bande	1 ÷ 5%	1 ÷ 2%	=10%

Une variété de types de profil d'antennes imprimées furent développés, les antennes microbande (microstrip antennas), antennes à fentes (stripline slot antennas), antennes à dipôle imprimé (printed dipôle antennas), dont nous faisons une brève comparaison

II.5. Description des antennes microstrip

Le développement d'une MSA double bande suscite un intérêt considérable en raison de son utilité dans diverses applications. Ces opérations bi-bande peuvent être à des fréquences fixes, ou accordables sur les deux fréquences. Illustre les tracés VSWR (TOS) pour le fixe et la réglable catégorie. Les lignes pleines montrent deux fréquences fixes et les lignes pointillées montré l'accordabilité. Soit les deux, soit l'une des fréquences de double bande pourrait être ajustable en fonction de l'application. Plusieurs configurations MSA pour obtenir des caractéristiques bi-bande sont discutées dans cette section [33].

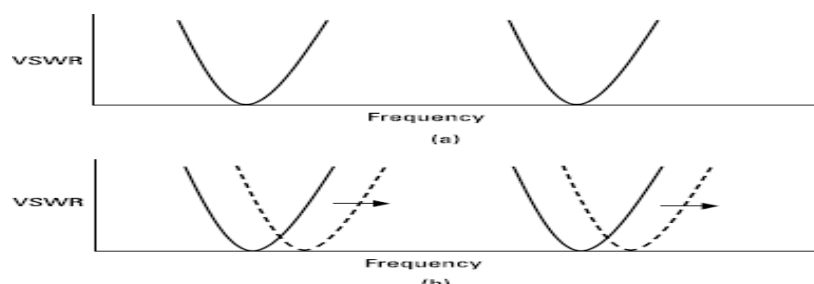


Figure. II. 5. VSWR représente deux catégories de fonctionnement double bande (a) fixe et (b) accordable

Une antenne microstrip est constituée d'une couche métallique d'épaisseur très fine (très inférieure à la longueur d'onde dans le vide λ_0) placée sur un plan de masse métallique à une hauteur proportionnelle à la longueur d'onde comprise entre $0.003 \lambda_0$ et $0.05 \lambda_0$, et séparée par un substrat mince en matériau isolant, généralement d'un diélectrique.

En général, le carré, le rectangle, le disque ou l'anneau sont les formes courantes des éléments rayonnants utilisés. Pour répondre à certaines contraintes spécifiques de fonctionnement, comme pour la polarisation circulaire, des géométries plus complexes sont envisagées [34].

Les antennes imprimées peuvent prendre des formes géométriques arbitraires. Parmi les formes les plus utilisées, on distingue : la forme circulaire, la forme rectangulaire qui est préférable à cause des dimensions encombrantes de la circulaire. Cependant, dans certaines applications, l'antenne microstrip circulaire offre des performances meilleures que celle de l'antenne rectangulaire. En outre, l'antenne circulaire présente l'avantage de pouvoir obtenir la polarisation circulaire [35].

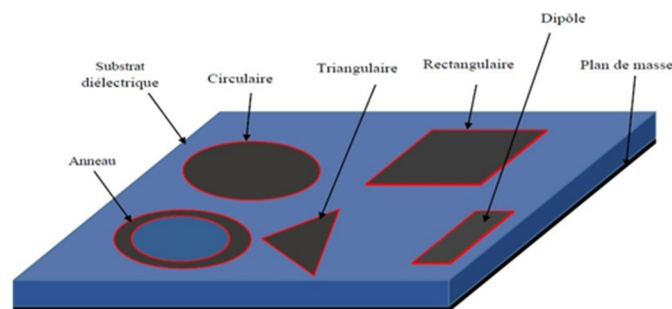


Figure. II. 6. Les différentes formes d'une antenne imprimée

II.5.1. CMSA avec un U-slot

Au lieu de couper une fente en forme de U dans le patch rectangulaire, il peut être coupé à l'intérieur du patch circulaire comme le montre. Le patch circulaire avec une fente en U est fabriqué sur la carte de circuit imprimé à faible coût substrat dans la configuration suspendue inversée. En conséquence, la couche supérieure agit comme une couche supérieure protectrice. Le patch inverse est pris en charge par un substrat en mousse avec $h = 0,5$ cm. une impédance BW pour $VSWR(TOS) \leq 2$ est de : 3,77 GHz à 4,78 GHz (24%). Le gain est d'environ 7 dB à une fréquence de 4 GHz [33].

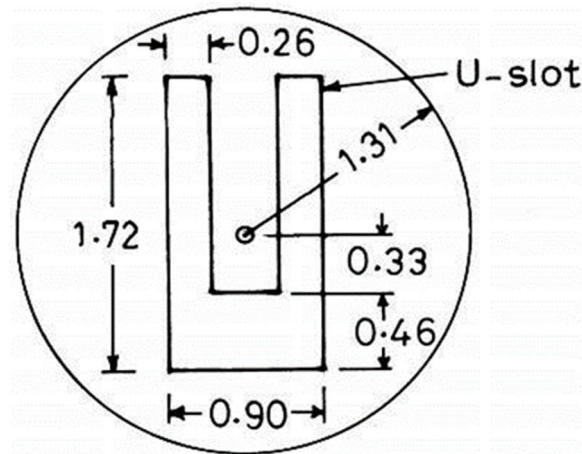


Figure. II. 7. CMSA avec un U-slot

II.5.1. Description des éléments constitutifs d'une antenne microstrip

II.5.1.1. Les couches métalliques

La métallisation dans les circuits microstrip peut être réalisée de deux manières fondamentalement différentes :

- Par la technique de la sérigraphie : elle est utilisée pour des couches épaisses et consiste à déposer une pâte métallique sur la région que l'on souhaite recouvrir, à travers un masque définissant le circuit à réaliser. Cette méthode ne fournit en général pas une résolution suffisante aux hyperfréquences.
- Par des procédés photo-lithographiques : ils sont utilisés en hyperfréquences pour l'obtention de couches minces. Le métal recouvrant entièrement la face du substrat est recouvert d'une couche photosensible, que l'on expose à la lumière à travers le masque du circuit à réaliser après quoi une attaque chimique enlève le métal non désiré dans les régions exposées. La couche inférieure de l'antenne imprimée joue le rôle d'un plan de masse parfaitement réflecteur, elle est souvent métallique et réalisée avec de très bons conducteurs :

Le cuivre ($\sigma = 59,6 \cdot 10^6 S/m^{-1}$), l'argent ($\sigma = 63 \cdot 10^6 S/m^{-1}$), et l'or ($\sigma = 45,2 \cdot 10^6 S/m^{-1}$).

Telle que σ représente la conductivité électrique du matériau. La couche supérieure peut comporter un ou plusieurs éléments métalliques qui s'appellent éléments rayonnants, pavés, plaques rayonnantes ou patches en anglais, son rôle principal consiste à rayonner l'énergie. Physiquement le patch est un conducteur mince (son épaisseur est souvent négligeable car elle est de l'ordre de quelques microns [34]).

II.5.1.2. Le substrat

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux, ils sont caractérisés par leurs épaisseurs et leurs permittivités relatives. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité, une large bande passante. Mais dans ce cas la perte par onde de surface augmente et l'antenne devient de plus en plus encombrante.

Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes parce qu'elle minimise les ondes de surface, les radiations non désirées et le volume de l'antenne. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause de la grande perte dans le substrat [36].

La conception des antennes microstrip dans le domaine des ondes millimétriques est guidée par les critères suivants pour le choix du substrat [35] :

- Possibilité d'excitation par onde de surface ;
- Effets de la constante et de la tangente de perte diélectrique sur la dispersion ;
- Importance des pertes par diélectrique et par conducteur ;
- Anisotropie dans le substrat ;
- Effets de l'environnement tels que la température, humidité ;
- Conditions mécaniques : Physiquement, le matériau doit résister aux contraintes mécaniques, conserver sa forme originelle. Son facteur d'expansion doit être voisin de celui de la métallisation, car il est confronté à de fortes températures lors des soudures ;
- Enfin, son état de surface doit être le plus parfait possible ;
- Coût de fabrication.

II.6. Principe de fonctionnement des antennes microstrip bi-bande

Le fonctionnement bi-bande de l'antenne peut être donc assuré grâce à deux états de phase du plan de masse structure. Pour obtenir des bandes de fonctionnement, il est nécessaire que deux valeurs de phase φ_1 et φ_2 à deux fréquences f_1 et f_2 satisfont les relations suivantes :

$$h_1 = \frac{c}{2f_1} \left(\frac{\varphi_1 + \varphi_{\text{sup}}(f_1)}{2\pi} \right) \quad (\text{II.10})$$

$$h_1 = \frac{c}{2f_2} \left(\frac{\varphi_2 + \varphi_{\text{sup}}(f_2)}{2\pi} \right) \quad (\text{II.11})$$

En effet, l'insertion de la surface partiellement réfléchissante au niveau du plan de masse métallique doit permettre de créer une seconde fréquence de fonctionnement f_2 de l'antenne

au voisinage de sa fréquence de fonctionnement initiale f_1 . Le comportement du résonateur est donc équivalent à celui de deux cavités de hauteur h_1 et h_2 , h_1 est la hauteur de la cavité initiale à plan de masse métallique, h_2 est la hauteur de la cavité à plan de masse structure.

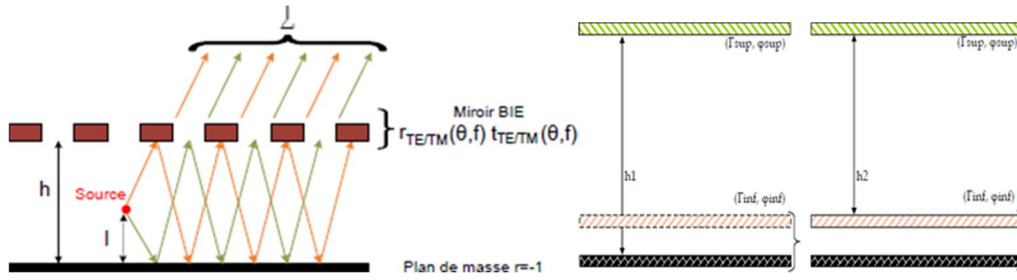


Figure. II. 8. a) Principe de fonctionnement b) Résonateur BIE à D'une antenne BIE métalliques de plan masse structure

Pour concevoir une antenne à fonctionnement bi-bande en suivant l'approche décrite ci-dessus, la condition de résonance doit être satisfaite pour deux fréquences f_1 et f_2 correspondant à deux valeurs de phase φ_1 et φ_2 dont la différence compense la différence fréquentielle entre f_1 et f_2 [37].

II.7. Caractéristiques et propriétés d'antenne microstrip bi-bande

II.7.1. Le coefficient de réflexion S_{11}

Le coefficient de réflexion (Return Loss: R_L) est un paramètre qui indique la quantité de puissance réfléchie vers l'émetteur, et qui n'est pas dissipée à la charge.

Dans un système électrique caractérisé par les paramètres S, lorsque le coefficient S_{11} connaît une forte atténuation à une fréquence donnée appelée fréquence de résonance, il y a un maximum de transfert de puissance entre la source et la charge. Ce paramètre est très important pour optimiser une antenne. Son expression est donnée par :

$$S_{11} = \frac{Z_e(f) - Z_0}{Z_e(f) + Z_0} \quad (\text{II.12})$$

Z_e : Impédance d'entrée de l'antenne

Z_0 : Impédance normalisée généralement égale à 50Ω

$$R_L = -20 \log_{10} |S_{11}| (\text{dB}) \quad (\text{II.13})$$

Pour une adaptation parfaite entre l'émetteur et l'antenne $S_{11} = 0$ et $R_L = \infty$ signifie qu'il n'aura aucune énergie réfléchie, tandis qu'une $S_{11}=1$ a une $R_L=0$ dB ce qui implique que tout la puissance incidente est réfléchie. Pratiquement, un TOS de deux est acceptable, qui correspond à un RL de -9.54 dB qui signifie 1% de la puissance sera réfléchie vers la source. Le TOS : (taux d'onde stationnaire) est donnée par [12] :

$$TOS = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (\text{II.14})$$

II.7.2. La bande passante

La largeur de bande, appelée aussi bande passante, d'une antenne définit le domaine de fréquences dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises. Il s'agit la plupart du temps de la puissance transmise par l'antenne, mais on peut définir d'autres caractéristiques exigées pour le fonctionnement d'une antenne telle que la polarisation. Il se peut par exemple qu'une polarisation circulaire soit recherchée et obtenue seulement dans une bande de fréquence. Dans la suite, nous allons définir la bande de fréquence relative à la puissance de rayonnement. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situé entre une

valeur minimale f_1 et une valeur maximale f_2 . La bande de fréquence Δf est définie par la différence entre ces deux fréquences :

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (\text{II.15})$$

La bande passante BW (Bandwidth en anglais) est un pourcentage exprimant le rapport de la bande à la fréquence centrale f_0 . [13]

$$(BW\%) = \frac{\text{la bande passante}}{\text{la fréquence de résonance}} \times 100 = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \times 100 \quad (\text{II.16})$$

Pour connaître la largeur de bande d'une antenne relativement au rayonnement, on trace le paramètre S11 de réflexion en fonction de la fréquence. On admet généralement que si ce paramètre est inférieur à -10 dB, la puissance de rayonnement est suffisante. Il suffit alors de repérer sur la courbe les valeurs de la fréquence correspondant à cette valeur ; Les antennes résonantes ont généralement des largeurs de bandes faibles. Une antenne de type dipôle d'une longueur égale à la demi-longueur d'onde a une largeur de l'ordre de 10 % ; Le paramètre de réflexion à l'entrée d'une antenne planaire simple est donné sur. Définissant la bande de fréquence pour un coefficient de réflexion inférieur à -10 dB, les fréquences limites

De la bande sont : $f_1 = 7,27$ GHz et $f_2 = 7,51$ GHz La bande relative est donc un peu supérieure à 3 % [38].

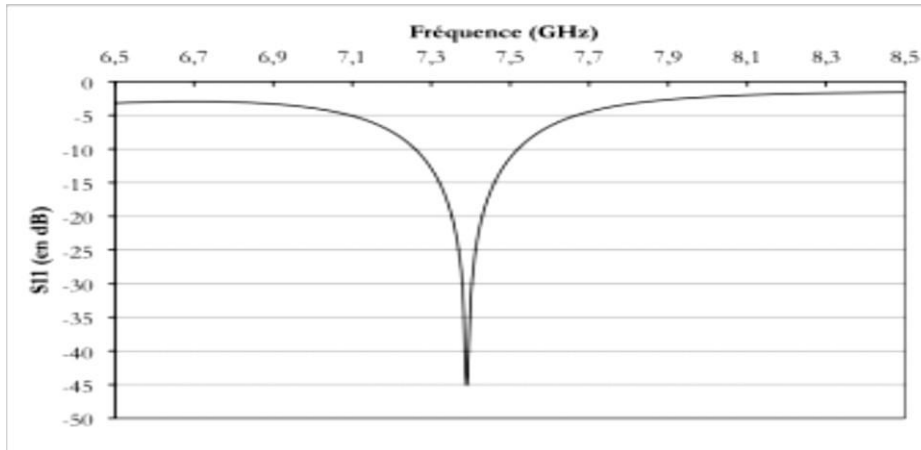


Figure. II. 9. Coefficient de réflexion à l'entrée d'une antenne patch en fonction de la fréquence

II.7.3. L'impédance d'entrée de l'antenne

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne. Cette impédance est donnée par la formule [39] :

$$Z = Z_0 \frac{1+(S_{11})}{1-(S_{11})} \quad (\text{II.17})$$

Z_0 : L'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R_e + jX_e \quad (\text{II.18})$$

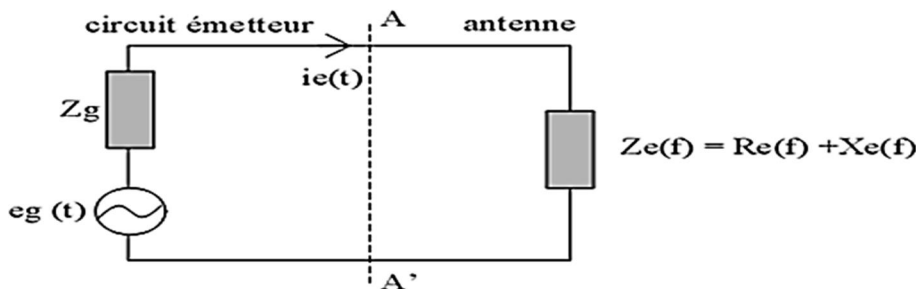


Figure. II. 10. L'impédance d'entrée d'une l'antenne.

II.7.4. Adaptation et condition d'adaptation

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission ayant une impédance caractéristique Z_c (en général : $Z_c = 50 \Omega$). Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance. L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion Γ_{in} ou S_{11} à l'entrée de l'antenne :

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée de l'antenne et de l'impédance caractéristique.

$$S_{11} = \Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (\text{II.19})$$

La condition d'adaptation est :

$$S_{11} = 0 \Leftrightarrow Z_{in} = Z_c \quad (\text{II.20})$$

Si l'adaptation n'est pas assurée, une partie de la puissance ($P_{\text{mismatch}} = \Gamma^2 \cdot P_A$) est renvoyée vers la source (ou re-rayonnée par l'antenne dans le cas de la réception), appelée en anglais mismatch loss (pertes de désadaptation). En pratique, soit on cherchera à concevoir l'antenne de telle manière à ce qu'elle présente une impédance égale à Z_c à la fréquence de travail, soit on disposera en entrée de l'antenne un circuit de transformation d'impédance qui modifiera l'impédance d'entrée de l'antenne vue depuis la source et assurera l'adaptation d'impédance. Ce réseau est composé d'éléments passifs (filtres à base d'inductances et de capacités) ou de lignes de transmission (à haute fréquence) [40].

II.8. Techniques d'alimentation des éléments rayonnants

L'alimentation joue un rôle très important lors de la conception des antennes imprimées. Elle peut modifier les caractéristiques de rayonnement de celles-ci. L'alimentation pourra être soit centrée soit arbitraire par rapport à la géométrie de l'élément. Par sa position, elle détermine l'adaptation de l'antenne à la ligne d'alimentation. Il existe une large variété de techniques d'alimentation permettant ainsi de fournir à l'antenne, l'énergie qui lui est nécessaire pour rayonner [43], les méthodes d'alimentation des antennes microbandes peuvent être classées en deux catégories :

- Les alimentations par contact (par câble coaxiale ou ligne micro ruban) ;
- Les alimentations sans contact (fente).

II.8.1. Alimentation par ligne micro ruban

Dans cette méthode d'alimentation, une ligne micro-ruban (généralement de 50Ω) est connectée directement au bord du patch rayonnant. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple à réaliser [43]

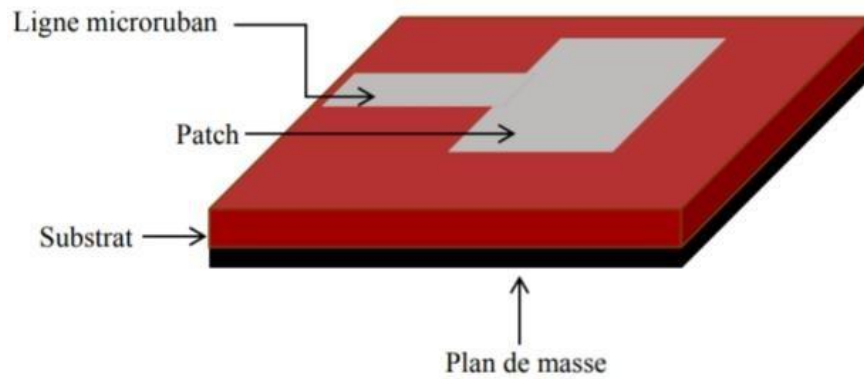


Figure. II. 11. Alimentation par ligne micro-ruban

II. 8.2. Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans. Dans ce cas, le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de 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 de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément rayonnant [44].

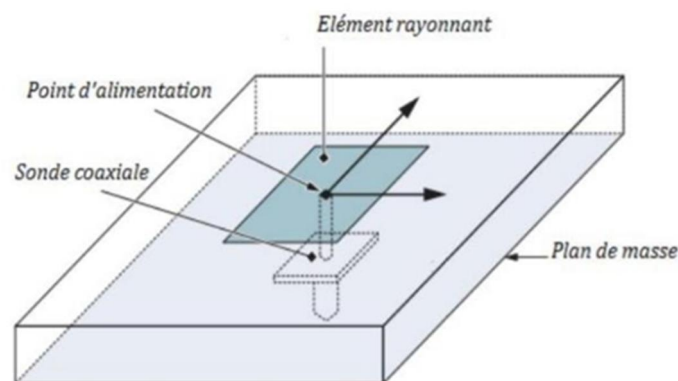


Figure. II. 12. Technique d'alimentation par câble coaxiale [45]

II. 8.3. Alimentation par fente

Une solution du problème de rayonnement de la ligne dans l'alimentation par ligne micro ruban, consiste à réaliser l'alimentation sous une seconde plaque de substrat. Le transfert de puissance de la ligne à l'élément rayonnant se fait par couplage magnétique depuis la ligne à travers la

fente. Ce type d'alimentation est appelé alimentation par fente. Cette technique nécessite un positionnement très précis qui n'est pas toujours facile à obtenir surtout dans le cas des structures de petites dimensions [46].

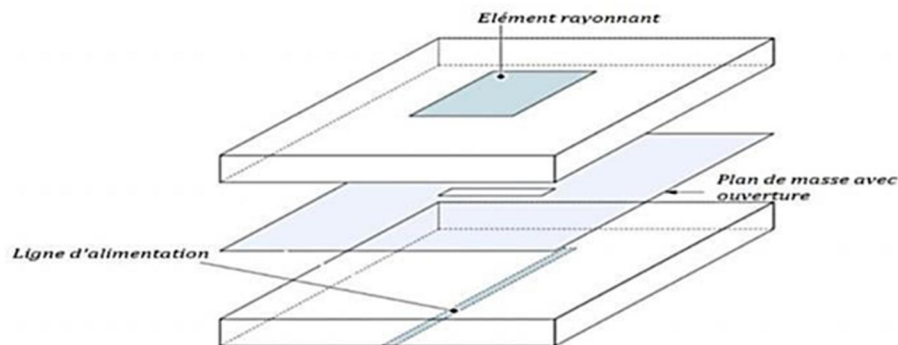


Figure. II. 13. Technique d'alimentation de couplage par fente [45].

II. 8.4. Alimentation par proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur, deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur. L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre.

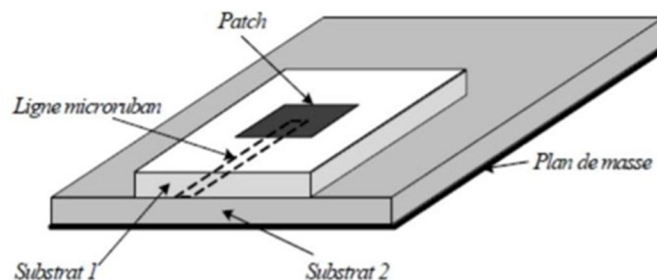


Figure. II. 14. Méthode d'alimentation par couplage par proximité.

II.9. Avantages et inconvénients des antennes microstrip

Les antennes microbandes ont de nombreux avantages comparés aux antennes micro-ondes classiques et on peut [44]:

- Faible poids, volume réduit, configuration plane, faible épaisseur ;
- Faible coût de fabrication, production en masse possible ;

Ces antennes peuvent être placées sur les fusées et les satellites sans modifications importantes ;

- Les antennes ont de petites aires de rayonnement ;

- La polarisation linéaire comme pour le cas des antennes plaques rectangulaire etcirculaire (gauche ou bien droite) est possible avec de légers changements dans la position de l'alimentation ;
- L'utilisation de deux fréquences de travail est possible ;
- Les antennes microbandes sont compatibles avec les constructions modulaires (Composants monolithiques tels que les oscillateurs, les alternateurs variables, les interrupteurs, les modulateurs, les mélangeurs, les déphaseurs et peuvent être adaptées directement sur le substrat) ;
- Les lignes d'alimentation et les circuits d'adaptation d'impédance sont fabriquéssimultanément avec la structure de l'antenne ;

Comme les antennes microbandes ont des avantages ; elles ont aussi quelques inconvénients tels que [44] :

- Bande passante étroite
- Gain plus faible dû aux pertes
- Limitations pratiques sur le gain (au maximum à 20dB)
- La performance du rayonnement longitudinal est faible
- L'isolation entre les éléments rayonnants et l'alimentation est faible
- Possibilité d'excitation des ondes de surface
- Capacité de manipulation à faible énergie.

II.10. Les applications des antennes microstrips

Remplacer les antennes classiques par des antennes patchs avec des performances équivalentes est le souci principal des concepteurs des systèmes de télécommunication, vu le besoin et les exigences du marché industriel. Il existe différentes applications réussies démontrant la possibilité de cette transition :

Télécommunication satellitaires

Commande et contrôle

Télémétrie (télémessure) par missile

Équipements portatifs

Éléments d'alimentation dans les antennes complexes

Antenne démission utilisée en médecine

Récepteur satellite de navigation [47]

II.10.1. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch, se comprend à partir de sa forme géométrique, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique [36]. Ce rayonnement d'antenne patch produit à partir des champs frangeants entre le bord du conducteur de l'antenne patch et le plan de masse. Lorsque on excite la ligne d'alimentation, il y a une onde électromagnétique qui va se propager sur cette dernière pour rencontrer l'élément rayonnant qui est généralement plus large que la ligne, à cause de distribution de charge s'établir sur et sous le composant rayonnant et entre le plan de masse et le substrat. Ce phénomène est illustré par les figures 7 et 8 suivantes :

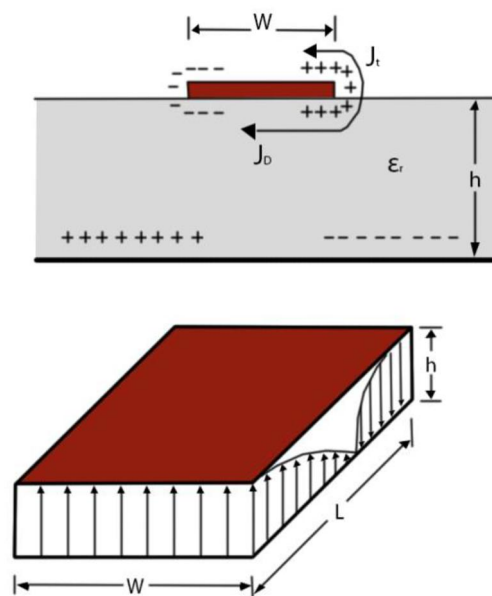


Figure. II. 15. Distribution de charge dans l'antenne patch (a) [46]. Distribution du champ dans l'antenne patch (b) [46].

II.10.2. Techniques d'alimentation des antennes patch

L'alimentation de l'antenne imprimée, repose essentiellement sur deux classe d'excitation ; excitation avec contact. Dans les méthodes d'excitation avec contact, la puissance est acheminée aux patches rayonnants en utilisant un élément de contacts tels le câble coaxial et ligne microbande. Dans la deuxième classe d'excitation, le couplage électromagnétique est utilisé pour transmettre la puissance de la ligne microbande au patch rayonnant. Les trois techniques d'alimentation les plus utilisées sont ligne microbande, sonde coaxiale, couplage par fente [47, 48].

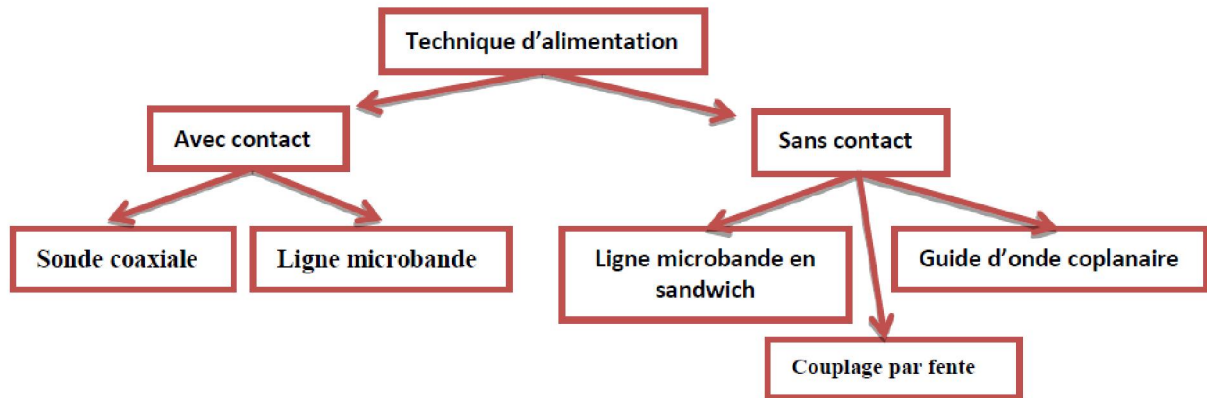


Figure. II. 16 Les techniques d'alimentation

A) Alimentation avec contact

A).1. Sonde coaxiale

Le câble de la sonde coaxiale traverse le plan de masse et le substrat. Le conducteur central est connecté sur l'élément rayonnant, et le conducteur extérieur est connecté au plan de masse [49], cette alimentation est très utilisée avec les patches de formes circulaire et annulaire.

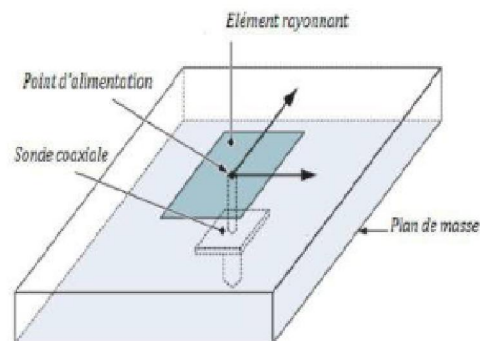


Figure. II. 17 Alimentation du patch par un câble coaxial.

A).2. Ligne microbande

Faite par une ligne microbande de largeur plus petite par rapport au patch, cette ligne est gravée avec le patch en même temps. Elle est très utilisée dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [49].

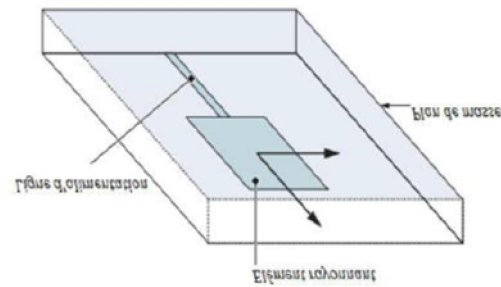


Figure. II. 18. Alimentation du patch par une ligne microbande

B) Alimentation sans contact

B).1. Ligne microbande en sandwich

Une antenne plaquée peut être aussi alimentée par couplage électromagnétique du micro-ruban à l'élément rayonnant. Dans ce cas, le résonateur et la ligne d'alimentation sont situés du même côté du plan de masse.

Le couplage électromagnétique a l'avantage de permettre la réalisation du patch rayonnant sur un substrat relativement épais, afin d'améliorer la bande passante, pendant que la ligne d'alimentation est imprimée sur substrat plus mince, afin de réduire les rayonnements et les couplages parasites [48].

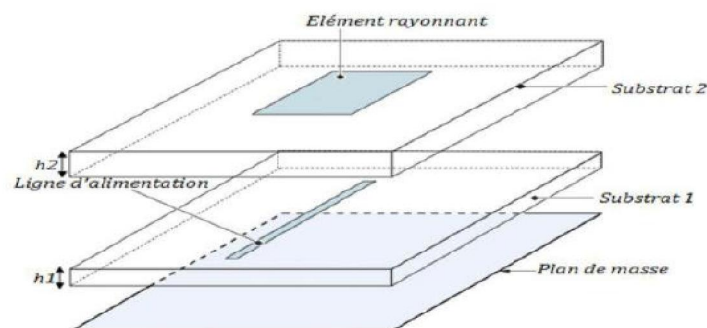


Figure. II. 19. Ligne microbande en sandwich

B).2. Guide d'onde coplanaire

L'élément rayonnant se trouve sur la face supérieure du substrat de fente rayonnante. La ligne d'alimentation et le plan de masse se trouvent à la même façade inférieure du substrat.

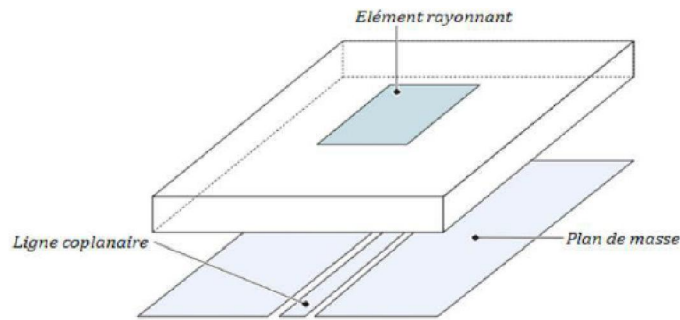


Figure. II. 20. Alimentation du patch par un guide d'onde coplanaire.

c) Couplage par fente

Une ligne est disposée au-dessus du plan de masse, qui est entaillé d'une fente sous le patch afin que l'énergie amenée par la ligne soit communiquée à l'antenne [49].

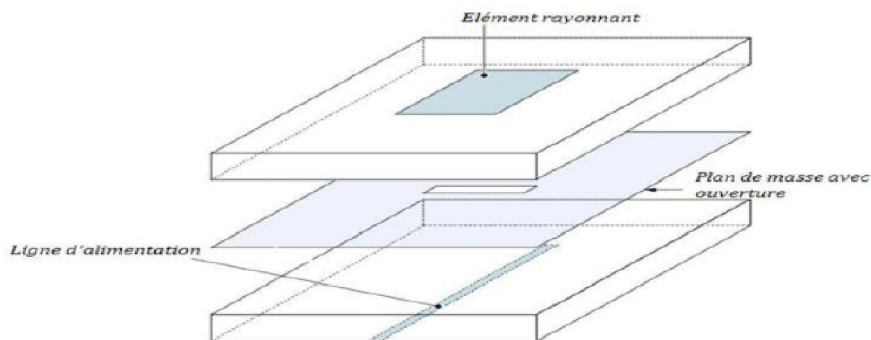


Figure. II. 21. Alimentation du patch le couplage par fente

Tableau. II. 2. Comparaison entre méthodes d'alimentation [50].

Méthode		Avantages	Inconvénients
Alimentation avec contact	Sonde coaxiale	<ul style="list-style-type: none"> -Pas de pertes par rayonnement de ligne -Sélection possible d'un mode privilégié -Obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde -Prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats faible hauteur -Technique de perçage simple jusqu'à 10 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> -Rayonnement parasite de la sonde de type monopolaire. -Partie selfique ramenée par l'âme du connecteur à prendre en compte. -Technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique. -Rapidement cher et compliqué industriellement pour exciter chaque élément d'un réseau à forte directivité.
	Ligne microbande	<ul style="list-style-type: none"> -Procédé technologique le plus simple par gravure sur la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation -Adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant 	<ul style="list-style-type: none"> -Rayonnement parasite de la discontinuité ligne aérien -Rayonnement parasite possible du circuit de distribution en millimétrique -Structure figée après gravure
Alimentation Sans contact	Par couplage	<ul style="list-style-type: none"> -Dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens -Bande passante plus large par augmentation de la hauteur ($h_1+h_2>h_1$) 	<ul style="list-style-type: none"> -Deux couches de substrat requises -Difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur
	Guide d'onde coplanaire	<ul style="list-style-type: none"> -Procédé technologique simple -Facilités pour intégrer des dispositifs actifs et dissiper la chaleur résultante -Faible rayonnement arrière -Transitions simples pour l'intégration de dispositifs actifs et circuits MMIC 	<ul style="list-style-type: none"> -Génération de modes de propagation parasites sur les guides d'onde coplanaire
	Couplage par fente	<ul style="list-style-type: none"> -Réalisation du circuit de distribution et de l'aérien indépendantes -Séparation électromagnétique des deux couches -Possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente 	<ul style="list-style-type: none"> -Technologie plus couteuse et complexe (positionnement des 2 couches, 4 faces de métallisation) -Intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions -Rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage de l'élément

II.11. Réseau D'antennes Imprimées

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et commandes à distance, a fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. L'emploi des fréquences de plus en plus élevées dans les systèmes micro-ondes à structure micro-ruban a été à l'origine du développement des antennes imprimées. Celles-ci sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières,

telles que : le pointage et le balayage électronique, la réjection de brouilleurs, la détection adaptative, l'auto-adaptative, la génération de diagrammes de rayonnement variés ou désirés, le contrôle du diagramme de directivité, le contrôle de la polarisation, etc. [51-53]

II.11.1. La Configuration de réseau d'antenne patch

Le gain et la directivité d'une antenne élémentaire telle que le dipôle ou les antennes imprimées sont assez faibles car le rayonnement est très peu directif, ces antennes ne répondent pas toujours aux exigences de certaines applications. Leur association crée un réseau dont la particularité est d'avoir un gain plus élevé dans une direction privilégiée puisque la taille électrique globale de l'antenne est augmentée. Les réseaux possèdent surtout l'avantage de pouvoir effectuer un balayage électronique du faisceau rayonné. On peut donc, par commande électronique, pointer successivement plusieurs directions ou modeler de manière dynamique le diagramme de rayonnement [52-54].

Il existe plusieurs configurations géométriques des réseaux d'antennes que l'on peut regrouper comme suit : réseau linéaire, réseau circulaire, réseau planaire (forme rectangulaire ou circulaire) et réseau volumique.

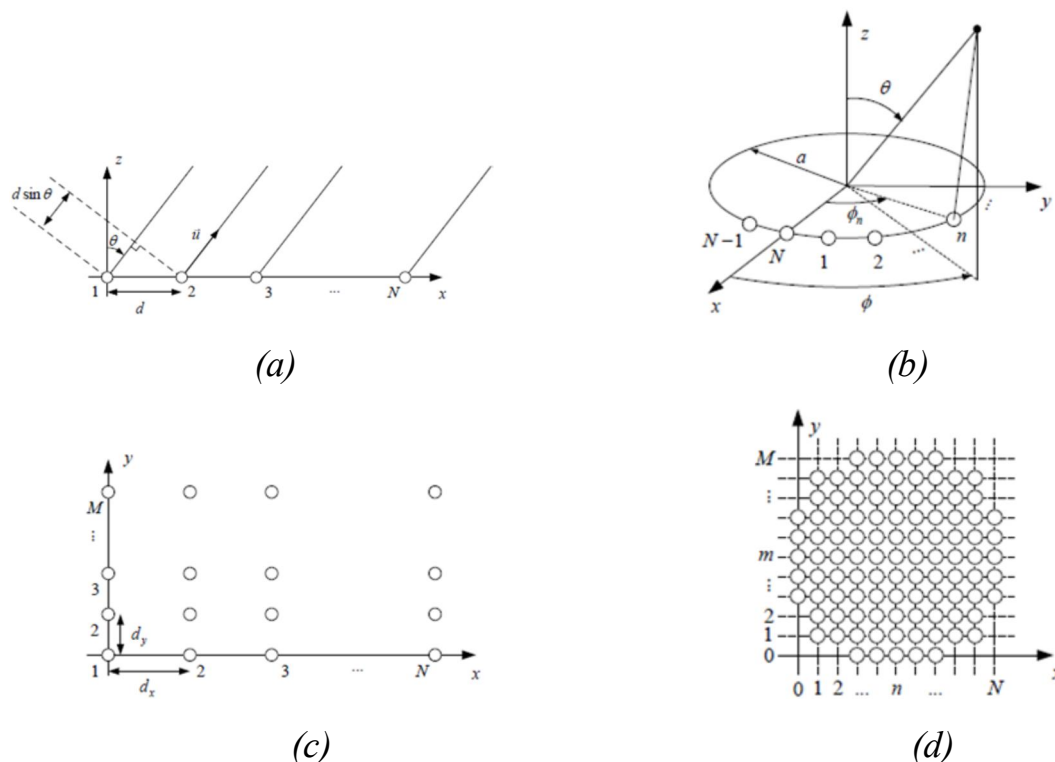


Figure. II. 22. Géométries d'un réseau d'antennes. (a)-linéaire (b)-circulaire (c)-planaire (d)-volumique

II.11.2. Configuration de l'alimentation de réseau d'antennes

La synthèse d'un réseau consiste à trouver les bons coefficients de pondération en amplitude et/ou en phase qui permettent d'approcher au mieux le besoin. Pour cela, l'alimentation d'un réseau d'antennes s'effectue à travers un réseau d'alimentation qui assure la répartition d'énergie sur différentes antennes élémentaires. Selon le besoin, le réseau d'excitation peut avoir des architectures différentes. Dans le cas d'un réseau d'antennes patch, le principe de la répartition d'énergie se fait par des lignes micro-rubans, où les déphaseurs, les diviseurs et les combineurs de puissance sont réalisés par des lignes micro-rubans. Nous montrons sur la figure.16 deux types d'alimentations d'un réseau d'antennes.

A) Alimentation série : les éléments rayonnants sont excités en série à travers une ligne de transmission. Entre deux éléments rayonnants consécutifs il y a un déphaseur qui permet d'imposer la loi de phase appropriée.

B) Alimentation parallèle : le circuit d'alimentation possède une entrée et plusieurs sorties égales aux nombres des éléments rayonnants. La synthèse du réseau permet de déterminer les coefficients de pondération et les déphasages des signaux à affecter à chaque élément.

Le problème de synthèse doit répondre aux contraintes de rayonnement, surtout la réduction des lobes secondaires et l'amélioration du lobe principal [55].

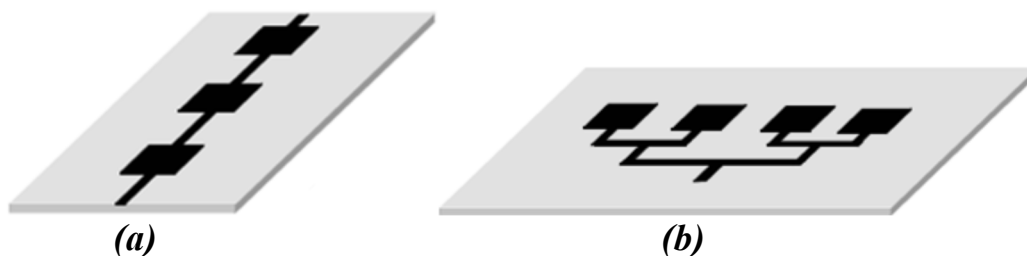


Figure. II. 23. Alimentation d'un réseau d'antennes patch. (a) série (b) parallèle

II.12. La Bande Millimétrique

La bande millimétrique est une bande du spectre électromagnétique correspondant à des longueurs d'onde entre [1 mm-10mm] à une propagation sur la plage de fréquence de [30 GHz-300GHz]. En effet, la communication par les ondes millimétriques est une solution d'un avenir proche pour la transmission des réseaux cellulaires mobiles sans fil, les réseaux locaux sans fil, les réseaux personnels [56].

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

- L'utilisation d'une large bande passante de (30 GHz-300 GHz) par rapport aux autres ondes radio des réseaux sans fil.
- Faisceaux étroits : avec la même taille d'antenne, il est possible d'emballer plus d'éléments d'antenne aux fréquences mmW.
- Elle offre au moins une bande passante continue de 5 GHz au monde dans le cas de certaines bandes, comme la bande autour de 60 GHz.

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

- Une courte portée.
- Une grande atténuation.

Les ondes millimétriques sont absorbées facilement par le feuillage et les bâtiments, les pertes de puissances sont provoquées par les matériaux comme la brique, les vitres teintées, les murs intérieurs et les cabines.

II.12.1. Antennes patch dans la bande millimétrique

La taille de l'antenne est déterminée par les lois de la physique pour un rayonnement efficace, la taille de l'antenne doit être inférieure ou égale à la moitié de la longueur d'onde, pour la gamme ($f=30$ à 300 GHz) et une longueur d'onde ($\lambda =10-1$ mm), il est possible de construire des petites antennes physiquement et en même temps être suffisamment grandes afin de rayonner électriquement 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 et sélectionner le substrat approprié pour minimiser les pertes et atteindre une efficacité de rayonnement élevée [56].

II.13. Domaines d'applications des réseaux d'antennes

Pour que la communication entre deux points distants puisse être effectuée et pour que le récepteur puisse distinguer le signal émis du bruit, les réseaux d'antennes, et grâce à leur robustesse par rapport à une antenne élémentaire, sont utilisés dans plusieurs applications [57-58] :

- Télécommunication : Téléphonie mobile (terminaux portatifs GSM, DCS, PCS, etc.) et Antennes sur stations de bases
- Satellites : Télévision directe domestique ou embarquée sur véhicules. Réseaux à faisceaux commutés à couverture reconfigurable. Systèmes de radiolocalisation par GPS, Galileo, Glonass.

- Aéronautique : Communication, navigation, altimètres, systèmes d'atterrissages. Radars de poursuite monopulse ou synchrone.

II .14. Propriétés des ondes EM

Les propriétés de l'onde électromagnétique sont, généralement, issues de ses caractéristiques physiques naturelles. Pourtant les raisonnements mathématiques montrent une partie importante de ces caractéristiques. Les équations de Maxwell, qui sont les bases même de l'étude de l'onde ont un caractère abstrait, mais la pratique montre sa pertinence. Car toutes les équations générales et propriétés sont tous issues de ces équations.

L'onde électromagnétique (OEM) se propage dans le vide, perpendiculairement au plan (vecteurs \vec{E} et \vec{B}) à une vitesse constante ($c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$) appelé aussi célérité de la lumière. La propagation de cette onde, plane, est rectiligne.

La propagation de l'onde électromagnétique suit les lois de l'optique géométrique (physique classique), par conséquent elle est sensible à la variation d'indice de réfraction. L'indice de réfraction d'un milieu est fonction de sa permittivité électrique et sa perméabilité magnétique, donc sa variation peut être engendrée par nombreux facteurs qui auraient un effet sur l'un de ces caractéristiques : variation de température, variation concentration d'ionisation, variation du champ magnétique, etc.

II .14.1 Caractéristiques essentielles

L'onde électromagnétique est caractérisée par :

- sa fréquence (f , commune à E et B , (nombre de vibrations par unité de temps, en Hz),
- sa période $T = 1/f$, : temps mis par une vibration pour se retrouver dans le même état, en s.

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f} \quad (\text{II.24})$$

- sa longueur d'onde dans le vide :

Où c défini comme la célérité dans le vide

- son intensité énergétique portée dans un angle solide élémentaire donné autour d'une direction.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (\text{II.25})$$

$d\phi$: est le flux d'énergie émis dans l'angle solide $d\Omega$

$d\Omega$: est une angle solide et $d\Omega = \frac{dS}{R^2}$

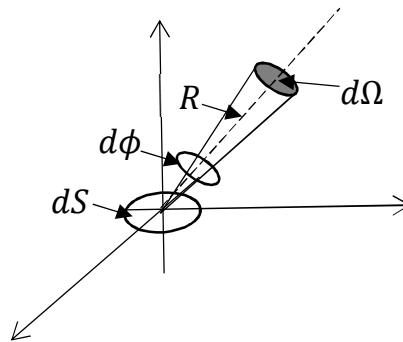


Figure. II. 24. Angle solide vue d'une source

II.15. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la forme générale d'une antenne patch, les sortes et les types d'antennes. On a présenté les paramètres essentiels de l'antenne tels que le gain, la directivité, le coefficient de réflexion et l'impédance d'entrée.

Nous avons exposé les types d'alimentation des antennes patch ainsi que leurs avantages et inconvénients. En dernier lieu nous avons parlé brièvement sur la bande millimétrique et les domaines d'applications des réseaux d'antennes.



**CHAPITRE III : PRÉSENTATION
DU SIMULATEUR CST MWS**

III.1. Introduction

CST MWS permet de simuler, d'analyser, Synthétiser, rechercher, concevoir et optimiser des dispositifs haute fréquence (HF) micro-ondes de formes planes (antennes, filtres, coupleurs, isolateurs, résonateurs, etc.) et Multicouche de la technologie microruban à câble coaxial. La commodité et la richesse des modules de solveur basées sur des méthodes numériques : Éléments (FEM), Moment (MoM), TLM, Multilevel Fast Multipole (MLFMM) et Rayon (SBR) ce sont des caractères de CST MWS.

III.2. Simulateurs 3D

Pour les structures à large bande Les outils dans le domaine temporel sont Suffisamment efficaces, ce sont les plus polyvalents qui peuvent gérer la plupart des problèmes électromagnétique. Efforts numériques la nécessité est très élevée en raison de la grille de l'ensemble de l'espace du problème. Il est peut-être plus facile de décrire des géométries complexes à l'aide d'outils FEM.

III.2.1. CST MWS

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structures passives en 3 dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales finies. Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle [59].

Une fois le projet est créé, on accède à l'interface d'utilisateur du CST

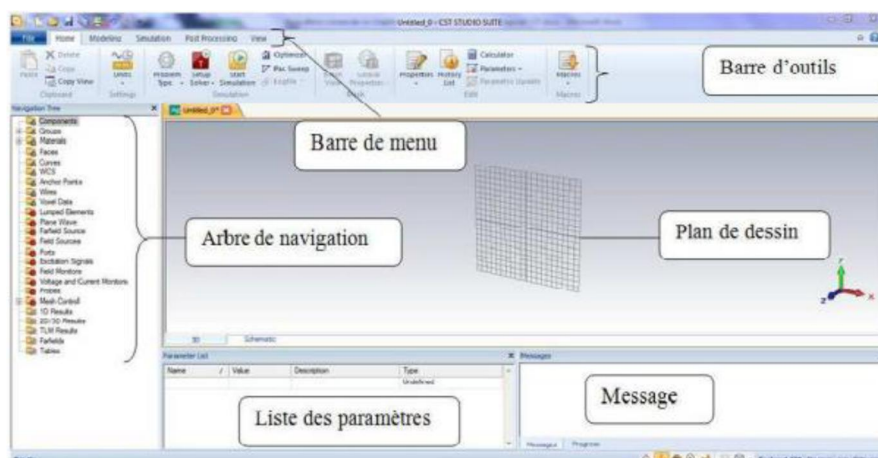


Figure. III. 1. Interface du CST.

A l'entête de l'interface, on trouve la barre d'outils qui est un ensemble de raccourcis de la barre de menu.

A gauche de l'interface, nous avons l'arbre de navigation d'où on peut accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.

Au corps de l'interface se trouve le plan de travail sur lequel la structure est en 3D.

Au pied de l'interface, nous avons :

- la liste des paramètres d'où on trouve les variables utilisées pendant la simulation.
- le message qui informe si chaque étape est simulée avec succès. Dans le cas contraire, un message d'erreur apparaît [60].

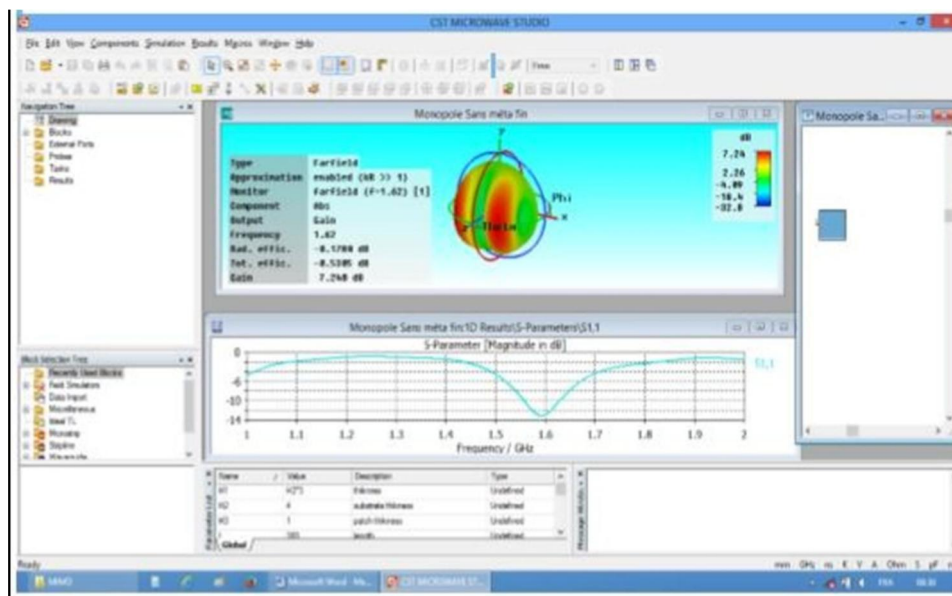


Figure. III. 2. Visualisation des résultats avec MWS.

III.3. Technique d'intégration finie

FIT repose sur la discrétisation des équations de Maxwell sous leurs formes intégrales [61] :

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_s \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{j} \right) \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_c \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_v \rho \, dV$$

$$\iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Une discrétisation en maille cubique pour le volume calculé est basé sur, fournissant ainsi équations matricielles pour chaque face du cube. Résolvez ces systèmes matriciels les transformations peuvent être utilisées pour répondre aux problèmes statiques, temporels et fréquentiels fourrier. Comme avec la méthode FDTD, la quantité de calcul doit être bornée, ce qui signifie étudier les systèmes ouverts en utilisant des conditions aux limites absorbantes. Les dérivées spatiales et temporelles sont calculées à l'aide de ce que l'on appelle des approximations différence centrale. La zone de modélisation est représentée par une grille de deux points discrets clipper une demi-maille. La grille contient les points du champ calculé le champ électrique et une autre grille contiennent les points où le champ magnétique est calculé. Ainsi Chaque composante fondamentale du champ magnétique est entourée de quatre composantes du champ électrique le champ électrique est représenté sur la figure.III. 3.

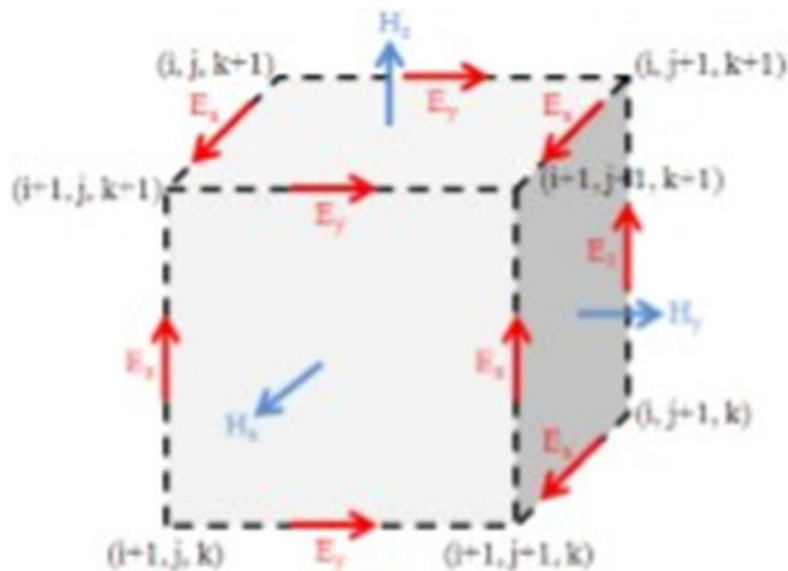


Figure. III. 3. Maille élémentaire issue d'une simulation FIT.

D'autre part va relier les calculs directs de la taille de mémoire requise et du temps de calcul pour les simulations FIT Les dimensions de la cellule unitaire, le volume englobant de la structure simulée, et donc le pas d'espace choisir. Par conséquent, le logiciel peut calculer les champs électriques et magnétiques et les paramètres S de l'appareil et visualisent le champ de rayonnement en trois dimensions.

Détermination de la précision de convergence du calcul et sélection des ports pour injecter le signal Excitation dans la structure. Le choix de la grille est primordial et peut donner des résultats complets s'il n'est pas bien géré Incorrect. Plus la taille du pas est petite, meilleurs sont les résultats de la simulation, mais au prix du temps calculs plus longs.

Il y a deux types de ports : guides d'ondes ou ports discrets. Le premier correspond à l'injection d'ondes électromagnétiques dont l'impédance dépend de la taille du port et sa polarisation peut être sélectionnée. La seconde ressemble à la source de tension permet l'injection de signaux haute fréquence.

III.4. Déroulement des différentes étapes d'un projet

La création d'un nouveau projet.

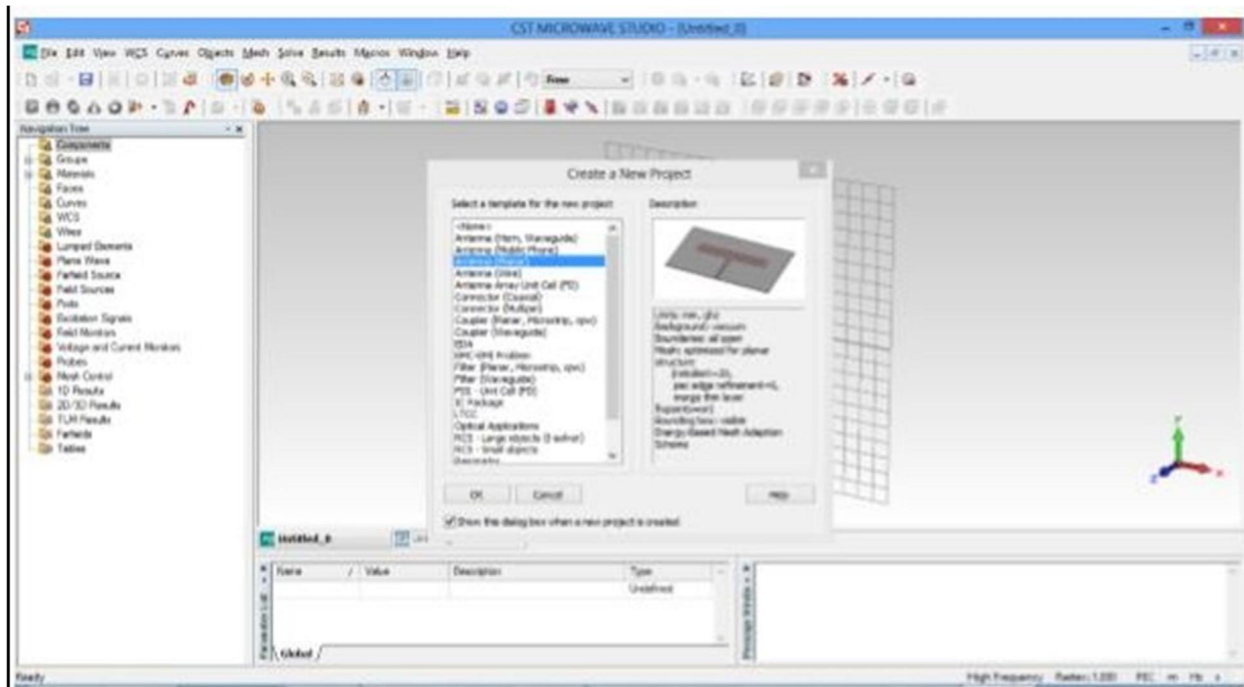


Figure. III. 4. Modèles et leurs descriptions.

CST Help a une fonctionnalité intéressante dans son guide de démarrage rapide " Quick Start Guide". Pour accéder à ce guide, cliquez sur le menu Aide et dans la fenêtre nous retrouvons notre contenu post-validation devant la fenêtre de la figure. III. 5.



Figure. III. 5. Fenêtre de guide de démarrage rapide.

III.4.1. Choix des unités et du matériau de fond

Selon le Guide de démarrage rapide, il doit d'abord être sélectionné unités des paramètres qui nous conviennent le mieux (fréquence, temps, température). Dépend du type d'application sélectionné excite matériel de fond Le choix du " Background Material"

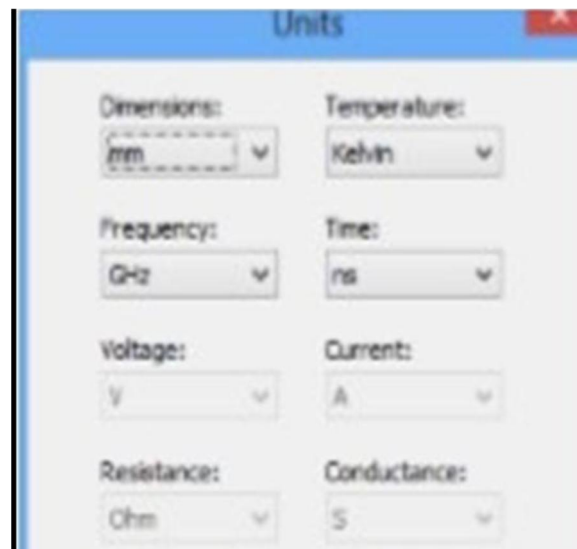


Figure. III. 6. Dialogue de configuration des unités de base.

III.4.2. Définition de la structure

Le simulateur fournit un certain nombre d'outils géométriques conception (plaque, cylindre, sphère, .etc.) pour modéliser la structure. Ces formes peuvent être assemblées ou disposées pour créer des formes plus complexes en utilisez les opérateurs booléens.

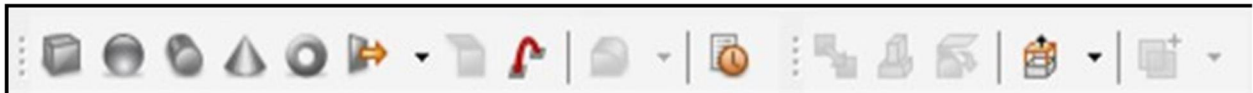


Figure. III. 7. Dialogue d'outils de dessin des structures.

III.4.3. Définition de la gamme de fréquences

La plage de fréquence à partir du menu "Solve" figure. III. 8.

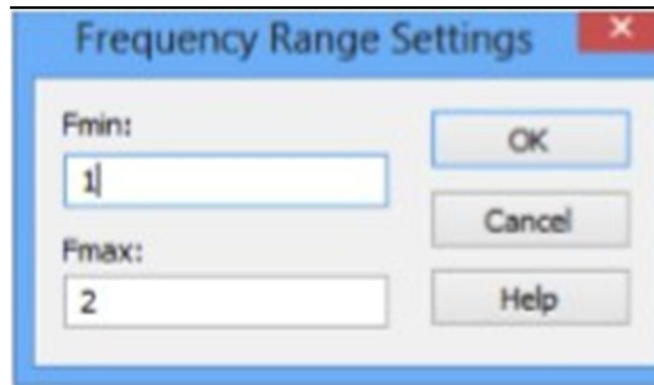


Figure. III. 8. Dialogue de configuration de la plage de fréquence.

III.4.4. Définition des Ports

Le port comme "guide d'onde" ou une source de courant ou de tension par un port "discret" en cliquant sur "Solve" et puis en choisissant "Waveguide Port"

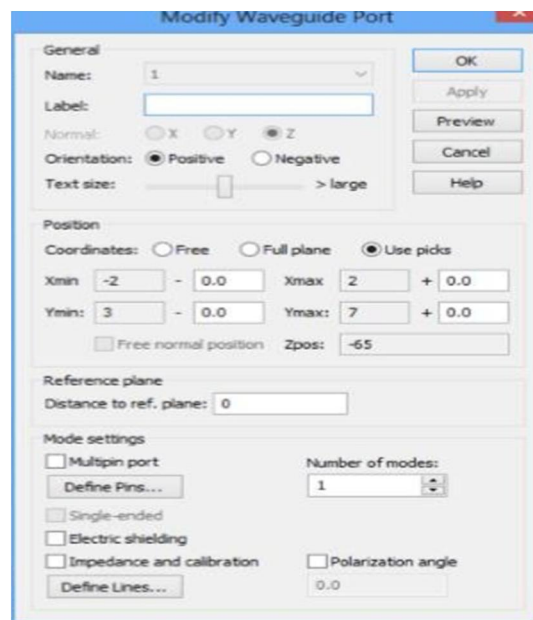


Figure. III. 9. Dialogue d'ajout d'un port d'entrée.

III.4.5. Définition des conditions aux limites et des plans de symétries

Si le modèle conçu est soumis à un champ électrique ou un champ magnétique, au vide ou à un mur conducteur permettent de spécifier.

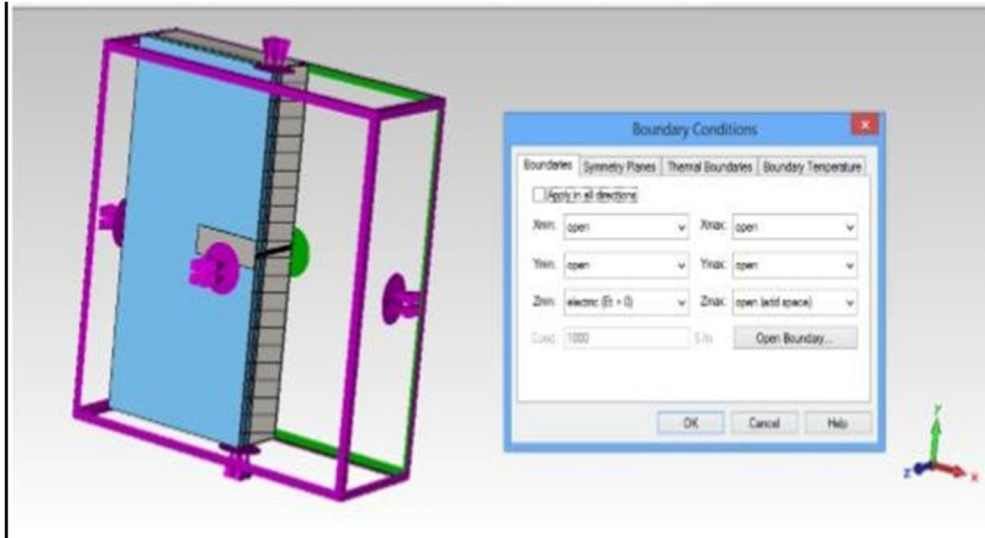


Figure. III. 10. Conditions aux limites d'une structure (en couleur mauve).

III.4.6. Lancement de la simulation

Transient Solver, Frequency Domain Solver, Integral Equation Solver, Eigenmode Solver sont des quatre techniques de simulations différentes de logiciel pour mieux répondre à leurs applications particulières. Le solveur transitoire est le solveur le plus flexible, dans la même session de calcul permettant de faire la simulation d'une large bande de fréquences simultanément

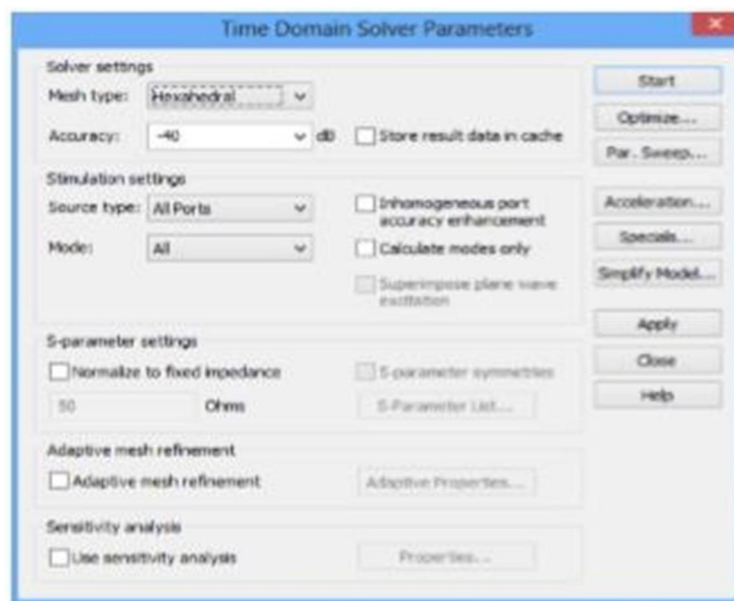
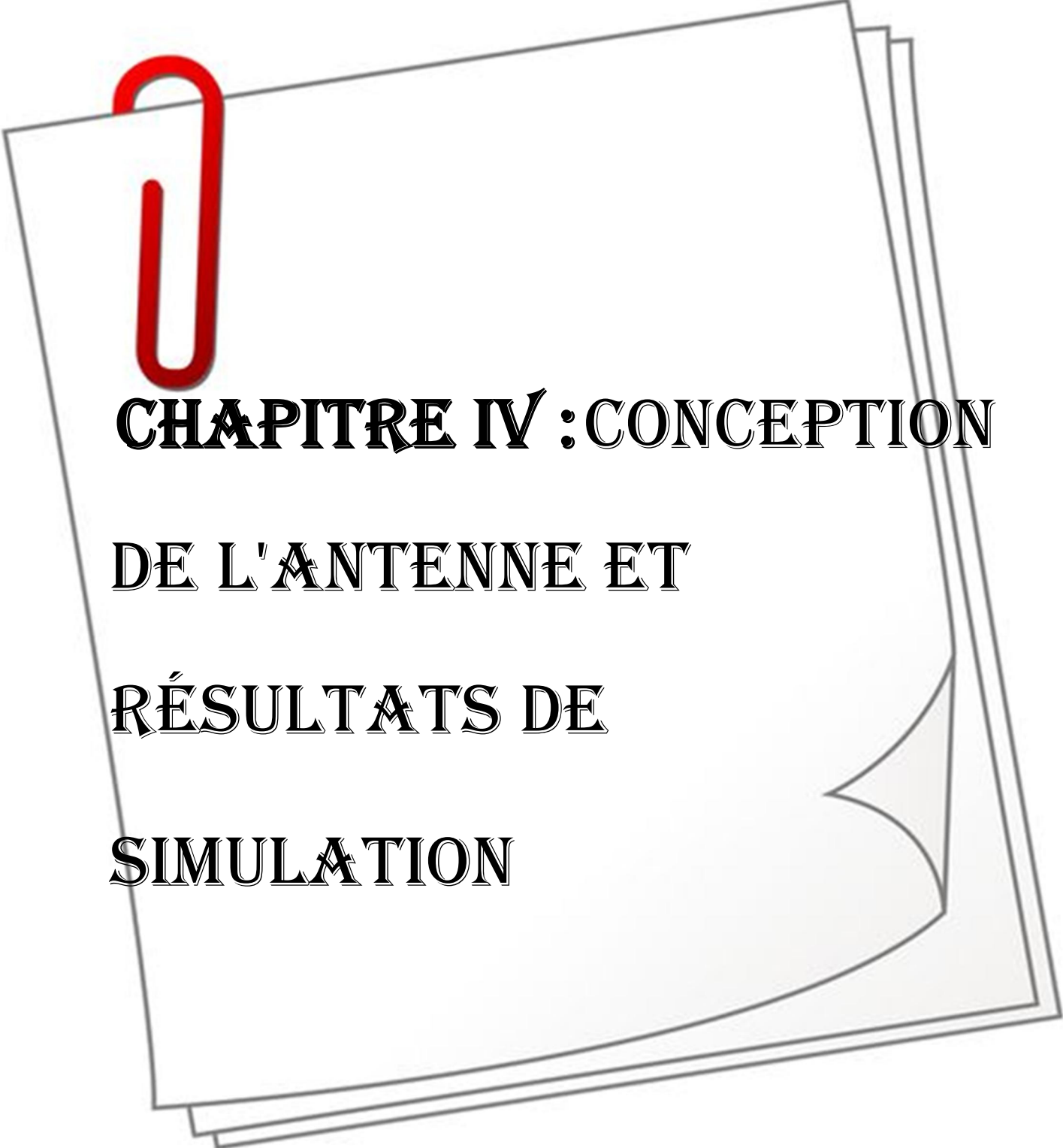


Figure. III. 11. Dialogue de simulation.

III.5. Conclusion

Le simulateur CST Microwave Studio a une possibilité de traiter toutes sortes de structures. Ce dernier se base sur l'utilisation du concept des éléments finies pour la résolution des équations de Maxwell. Ce qui nécessite un temps de traitement important. D'autre part, il exige des moyens informatiques puissants sachant que les calculs nécessitent la résolution de systèmes d'équations matriciels de grandes dimensions.



**CHAPITRE IV : CONCEPTION
DE L'ANTENNE ET
RÉSULTATS DE
SIMULATION**

IV.1. Introduction

De nos jours, les évolutions rapides des systèmes de communication sans fil intensifient les besoins de terminaux mobiles de plus en plus petits, comme les téléphones cellulaires, l'équipement sans fil portable pour la connexion à Internet, les appareils de communication à courte et à longue distance, les dispositifs RFID (identification par radiofréquence), etc.

Parallèlement, cette généralisation des dispositifs de communication sans fil contribue à renforcer la recherche de solution d'antennes miniatures et agiles susceptibles d'être intégrées dans les objets communicants compacts. Ce chapitre est dédié à l'étude et la conception d'une antenne patch micro ruban.

Pour la conception de notre antenne, nous avons choisi un outil de simulation électromagnétique 3D puissant et efficace, avec une méthode de calcul différente. L'outil CST Microwave studio, qui utilise la technique d'intégration finie (FIT) va être utilisé à cet effet.

IV.2. Calcul de l'impédance de la ligne d'alimentation

Le choix de la ligne d'alimentation est basé sur le fait que cette ligne doit avoir une impédance caractéristique autour de 50Ω . Parmi les divers types des lignes de transmission les plus couramment utilisées pour alimenter une antenne imprimée, nous avons choisi la ligne microbande. Le choix du type du substrat influe directement sur l'impédance caractéristique de la ligne de transmission, en particulier sa permittivité relative et son épaisseur pour obtenir une impédance d'entrée bien adapté. Pour cela il y a fenêtre de calcul de cette impédance avec les paramètres influents Figure (IV.1).

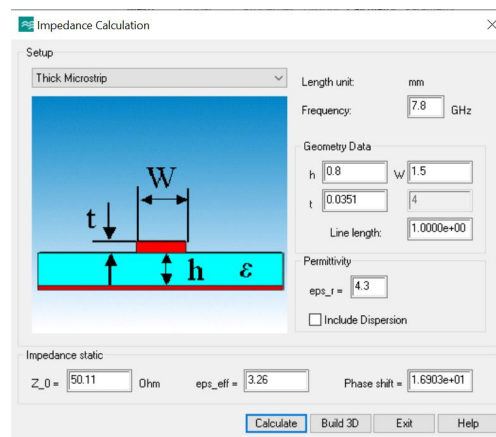
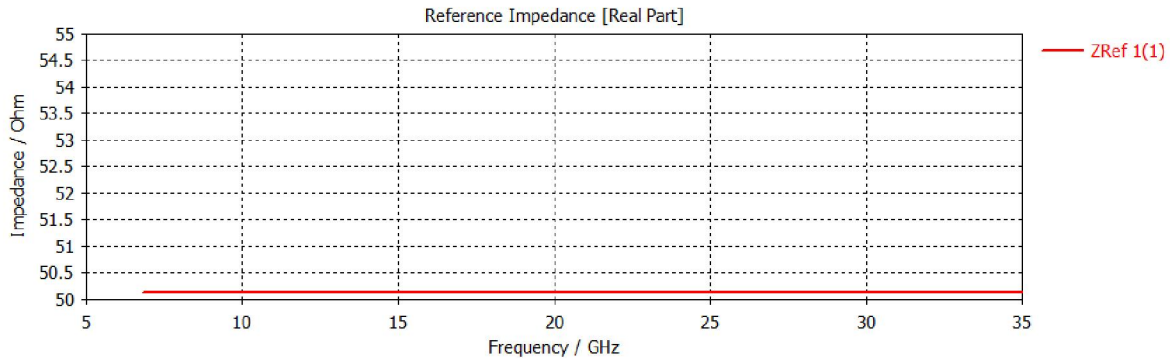


Figure. IV. 1. Fenêtre de l'impédance de la ligne d'alimentation dans logiciel CST

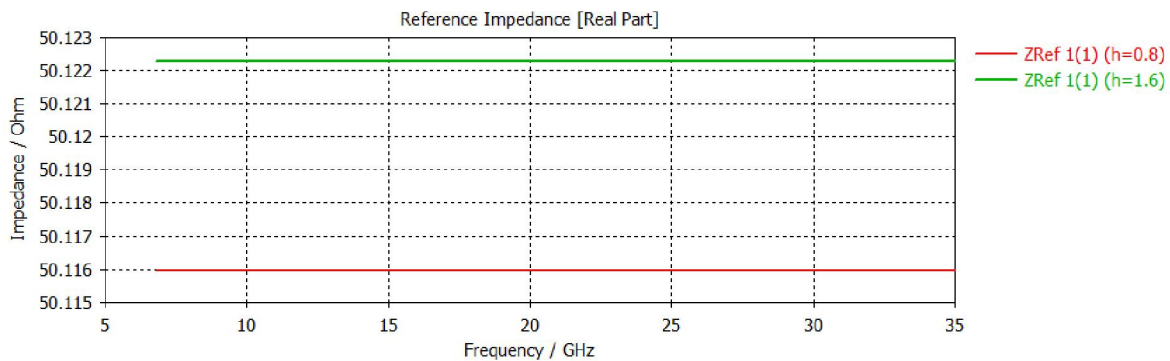
Comme le montre la figure ci-dessus les paramètres de la ligne d'alimentation pour une entrée bien adapté ($Z_0 = 50 \Omega$) sont les suivants :

$h=0.8\text{mm}$, $t=0.035\text{mm}$, $W=1.5\text{ mm}$, $\epsilon_r=4.3$ pour le Fr-4 époxy

La figure ci-dessous Figure. IV. 2. (a) présente la variation de l'impédance de la ligne d'alimentation en fonction de la fréquence pour un $h=0.8\text{mm}$. La figure montre une bonne adaptation de l'impédance d'entrée de l'antenne et elle est autour de 50Ω .



(a)



(b)

Figure. IV. 3. Variation d'impédance de l'impédance de la ligne d'alimentation en fonction de la fréquence (a) $h=0.8\text{mm}$ (b) l'influence de h .

Figure. IV. 4.(b) montre que une variation de h de 0.8mm a 1.6mm affecte légèrement l'impédance d'entrée de l'antenne. On verra prochainement l'effet de h sur le coefficient de réflexion.

IV.3. Calcul des dimensions de l'antenne

Pour démarrer, nous avons commencé par l'utilisation d'une géométrie classique de patch simple figure IV. 3.

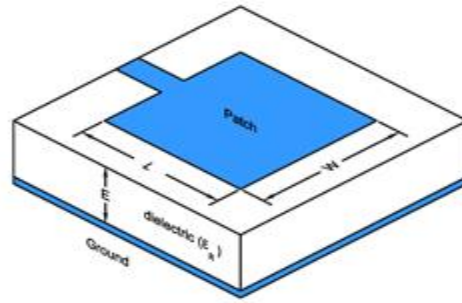


Figure. IV. 3. antenne patch rectangulaire simple.

Les dimensions de notre antenne miniature, nous avons calculé en utilisant les formules ci-dessous :

$$Wg = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (\text{IV.1})$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{w} \right)}} \right) \quad (\text{IV.2})$$

$$Lg = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0.824h \left(\frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{h}{w} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{h}{w} + 0.8 \right)} \right) \quad (\text{IV.3})$$

Pour une fréquence de résonance de 7.8 GHz et une hauteur du substrat de 0.8mm avec une permittivité de 4.3 pour le FR-4 epoxy, nous avons obtenus les résultats suivants $Lg = 9.027$ mm et $Wg = 11.81$ mm. Sachant que nous allons exploiter les techniques d'optimisation pour cela, nous avons opté les dimensions suivants $Lg = 9$ mm et $Wg = 6$ mm.

IV.4. Antenne avec un patch classique

La structure d'antenne de base se compose d'un patch rectangulaire excité par une ligne de transmission micro-ruban. La géométrie de cette antenne est donnée par la Figure (IV.3), imprimé sur la face de dessus d'un substrat de type FR4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$ et d'épaisseur $H = 1.6$ mm. Le plan de masse est un plan partiel imprimé sur la surface de dessous du substrat. Les paramètres géométriques primaire de l'antenne sont regroupés dans le Tableau (IV.1).

Tableau. IV. 1. Paramètres géométriques de l'antenne de base

Paramètres	Lg	Wg	t	h	lf	wf
Valeurs (mm)	8.64	6	0.035	0.8	3	0.75

La figure. IV.3 ci-dessous explicitent de près la structure de l'antenne patch simulée. La visualisation 2D permet de bien cerner les différents composants, à savoir, l'antenne patch, la ligne d'alimentation, le port d'excitation, le substrat diélectrique.

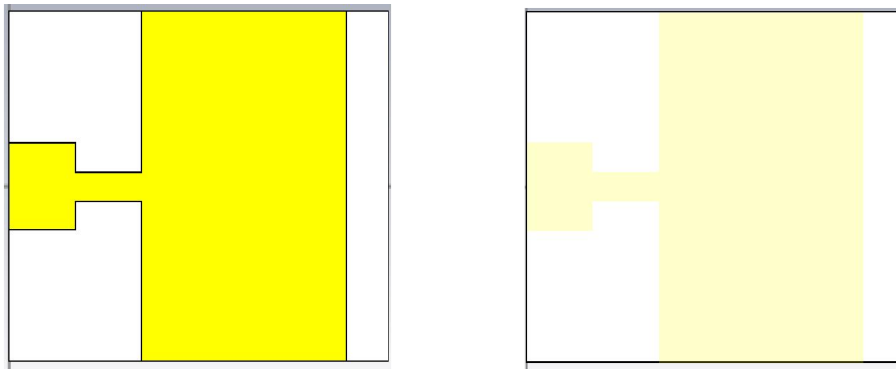


Figure. IV. 5. Géométrie de l'antenne conçue.

IV.4.1. Coefficient de réflexion

La Figure ci-dessous présente la variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence. Ce dernier présente deux fréquences de résonances l'une de 15GHz avec un gain autour de -11 dB et l'autre de 29.08 GHz avec un gain faible de -12dB.

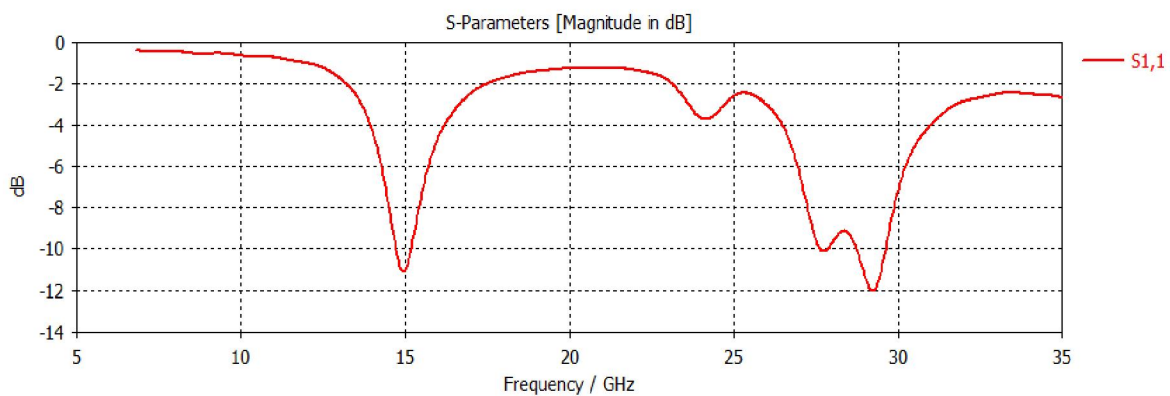


Figure. IV. 6. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne avec les paramètres du Tableau 1

IV.4. 2. Étude de l'effet de l'épaisseur du substrat

Nous avons changé l'épaisseur du substrat de 0.8mm au 1.6 mm le coefficient de réflexion est représenté sur la figure ci-dessous

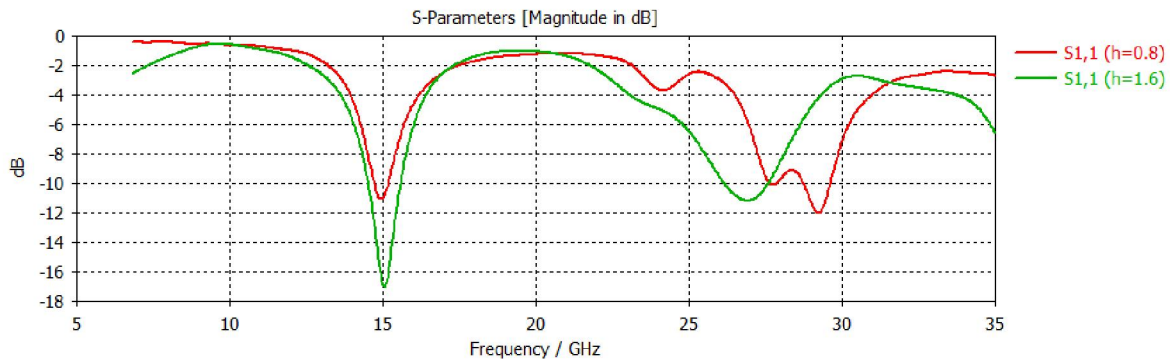


Figure. IV. 7. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne avec les $h=0.8$ mm et $h=1.6$ mm

En générale l'effet de l'épaisseur du substrat sur le gain et les fréquences de résonance de l'antenne est claire. Dans ce cas le gain de la première fréquence est amélioré est atteint -17dB par contre le gain de la deuxième fréquence de résonance est affaibli -12dB et la nouvelle fréquence de résonance décalé vers les basses fréquences (26.88GHz).

Sachant que nous voulions deux fréquence de résonance l'une autours 7GHz et L'autre autours 28GHz. Ce qui nous a poussé à étudier autres paramètres en utilisant le tuning et les technique d'optimisations.

IV.4. 3. Étude de l'effet de plan de masse

Pour voir l'effet du plan de masse sur le coefficient de réflexion S_{11} , nous avons fait une déformation du plan de masse comme le montre la figure ci-dessous Figure. IV. 5.

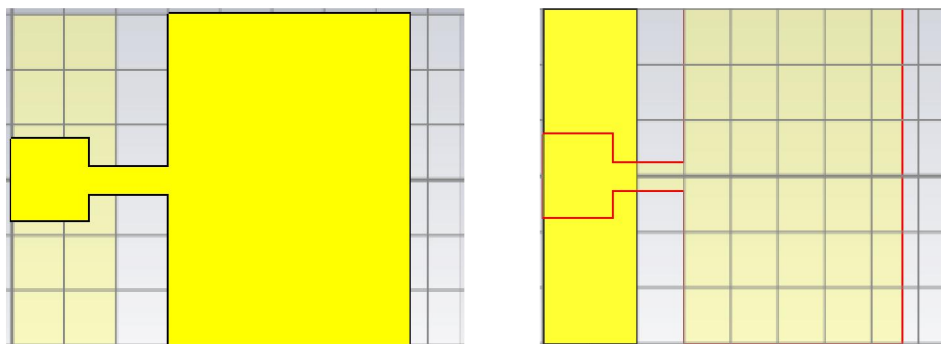


Figure. IV. 5. Effet du plan de masse sur S_{11}

Le coefficient de réflexion de l'antenne est représenté sur la figure. IV.6

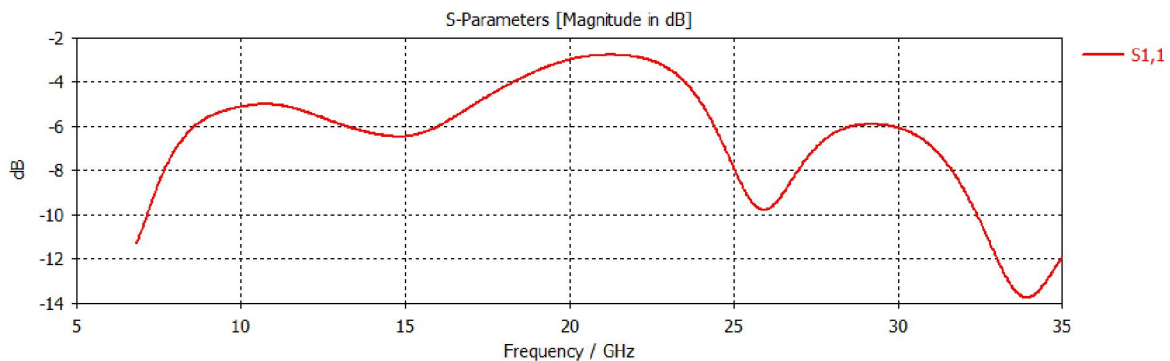


Figure. IV. 8. Résultats de simulation du coefficient de réflexion de l'antenne après la déformation du plan de masse

Pour répondre aux exigences cités auparavant ; nous avons procédé à des modifications partielles sur le patch et sur le plan de masse et à la fin nous avons utilisé les techniques d'optimisations pour améliorer les caractéristiques de l'antenne en passant par une étude paramétrique pour voir les éléments qui affectent les caractéristiques exigées de l'antenne.

IV.5. Antenne proposée

Pour améliorer les réponses de l'antenne, nous avons opté deux techniques l'une la déformation de la structure géométrique du patch ainsi le plan de masse ainsi que les techniques de miniaturisation. Le décalage de la ligne d'alimentation de notre antenne est utilisé.

La forme finale de notre antenne est la suivante :

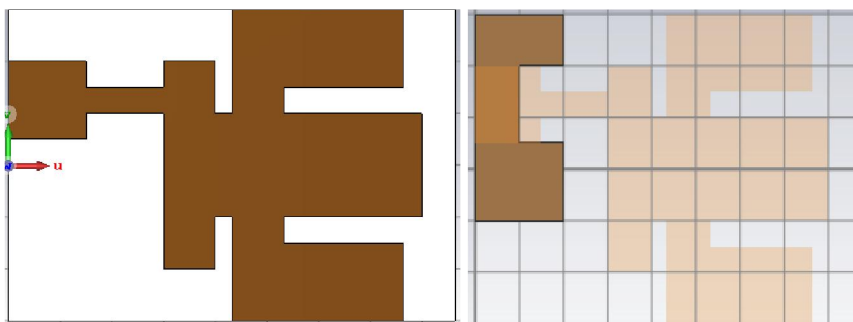


Figure. IV. 9. La géométrie finale de l'antenne bi-bande conçue

IV.5.1. Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne proposée est représenté sur la figure. IV.6.

Cette dernière montre que les S_{11} et les fréquences de résonance répondent bien aux exigences demandées qui sont :

- 1-les deux fréquences de résonances autour de 7.8 GHz et 28GHz
- 2-des S_{11} pratiquement acceptable.

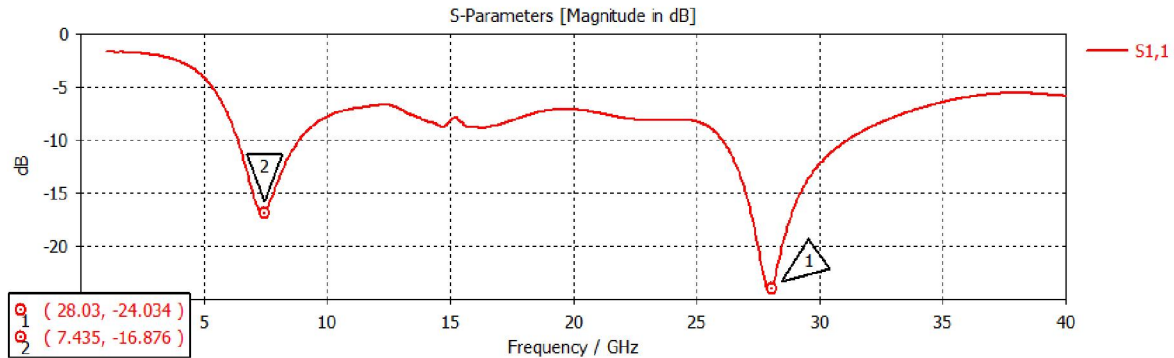


Figure. IV. 10. S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence

IV.5.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR)

La figure IV.7 présente la variation du Taux D'onde stationnaires TOS (VSWR) qui autour de 1 pour les fréquences de travail de l'antenne et qui sont acceptables et satisfaisants.

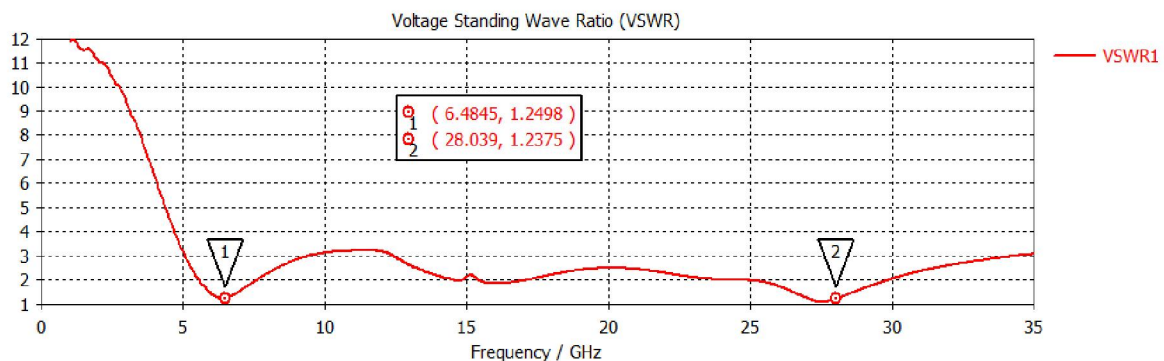


Figure. IV. 11. VSWR en fonction de la fréquence

IV.5.3. Diagramme de rayonnement

Les figures ci-dessous présentent les diagrammes de rayonnement pour les fréquences de travail de l'antenne.

a- La fréquence de résonance $f=7.8\text{GHz}$

Le diagramme de rayonnement pour la première fréquence présente des gains pour lobe principale de 2.95dBi pour $\Phi=0^\circ$, 2.31dBi pour $\Phi=90^\circ$ et 1.55dBi pour $\Theta=90^\circ$.

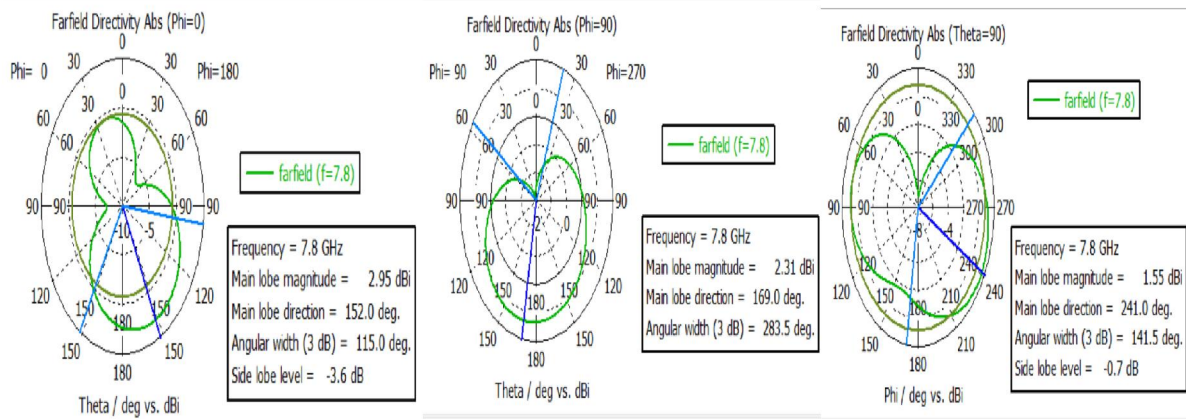


Figure. IV. 12. Diagramme de rayonnement simulé pour les cas à $\Phi = 0 ; \Phi=90 ; \Theta=90$ pour $f=7.8\text{GHz}$

b- La fréquence de résonance $f=28\text{GHz}$

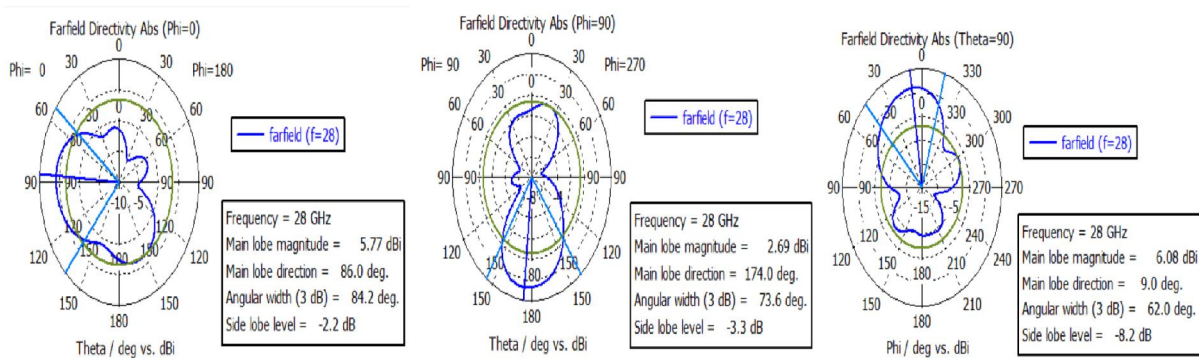
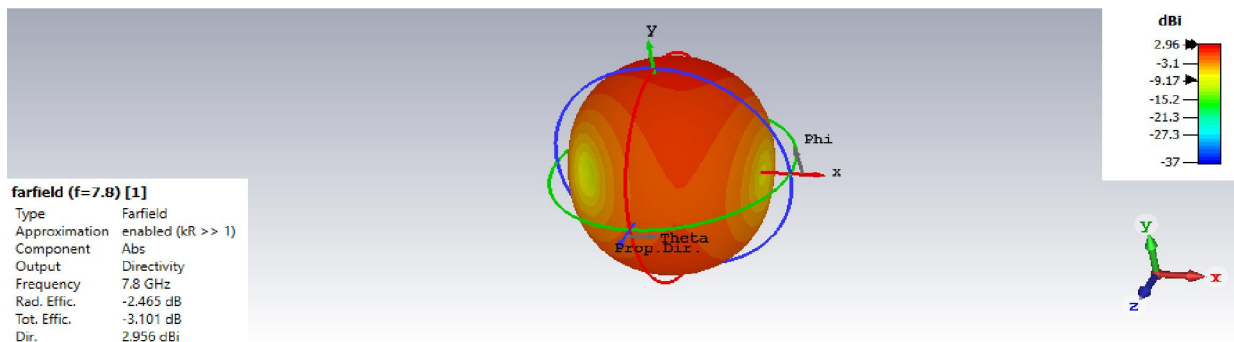


Figure. IV. 13. Diagramme de rayonnement simulé pour les cas à $\Phi = 0 ; \Phi=90 ; \Theta=90$ pour $f=28\text{GHz}$

Ces gains sont relativement acceptables et peuvent être améliorés toujours en ajustant les paramètres de l'antenne peut être dans une autre étude pour plus de performance.



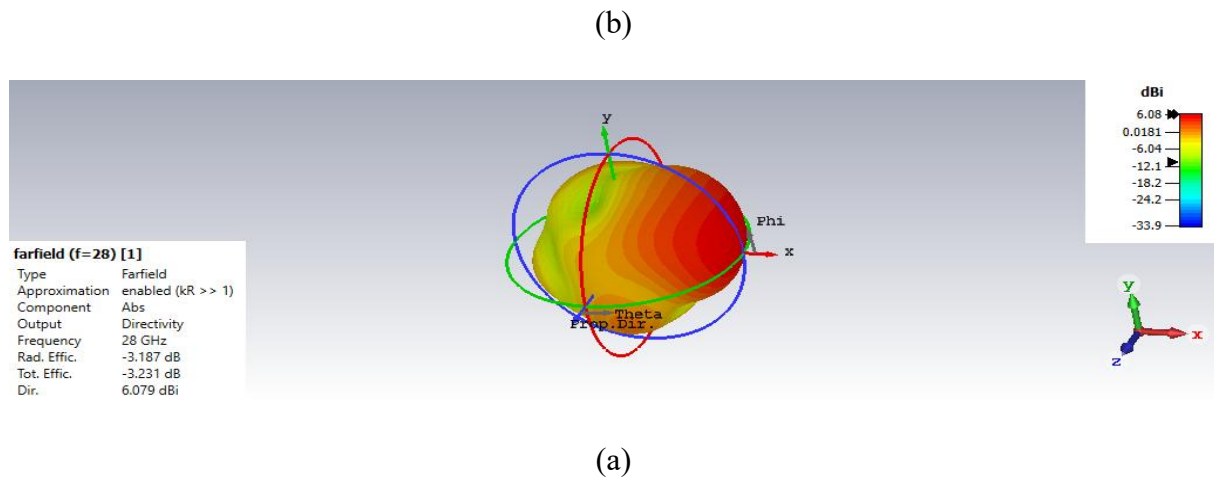


Figure. IV. 14. Diagramme de rayonnement simulé en 3D (a) pour 7.8GHz et (b) pour 28GHz

Les résultats de l'antenne conventionnelle sont :

L'antenne rectangulaire bi-bande a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture $97,6^\circ$, mais elle présente une bande passante étroite.

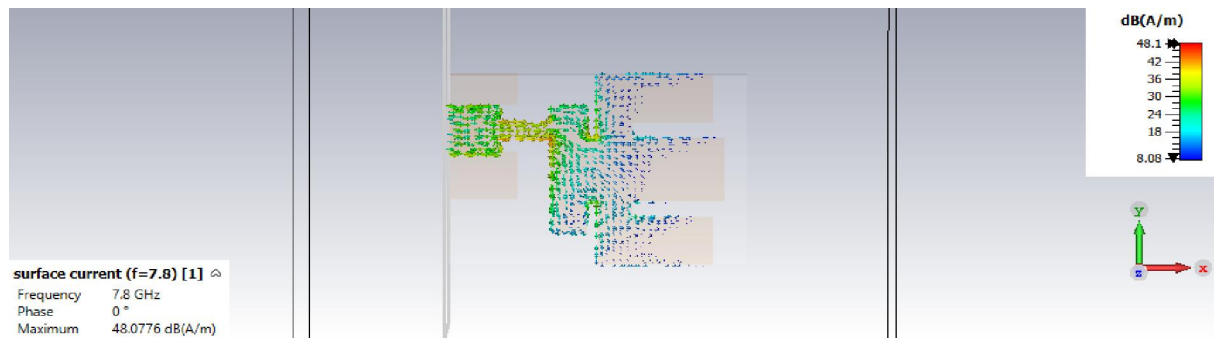
Comme cette antenne a des grandes dimensions, le courant de surface est relativement faible. Lorsque la bande passante est étroite, le facteur de qualité augmente.

Comme cette antenne présente une bande passante étroite, on souhaite réaliser un autre type d'antenne afin d'améliorer cet inconvénient.

IV.5.4. Courant de surface

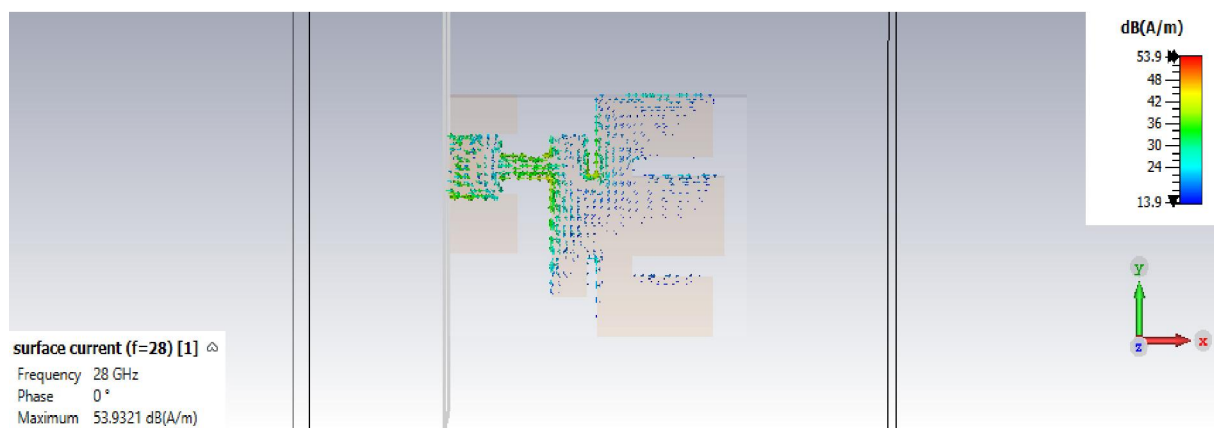
Les courants surfaciques présentent les pertes de puissance dans l'antenne. Quand les pertes de courants surfaciques soient minimales les pertes de puissance soient minimales aussi. Pour remédier à ce problème on effectue des fentes sur les surfaces ayant des pertes maximales. Dans notre cas Figure.IV.17 les pertes sont minimales pour les deux fréquences de résonances, donc on n'a pas besoin de faire encore des modifications sur l'antenne.

1. Pour $F=7.8$ GHz



(a)

(b)-Pour F=28 GHz



(b)

Figure. IV. 15. Courant de surface pour (a)-f=7.8 GHz (b)-28GHz

IV.6. Conclusion

Sachant qu'il n'y a pas de règle générale pour concevoir des antennes patch avec des dimensions, géométrie et des fréquences de résonances bien précises. Donc par l'utilisation du logiciel CST pour la conception d'une antenne patch rectangulaire, les techniques de miniaturisations, les techniques d'optimisation ; nous avons abouti de bons résultats répondant aux exigences demandées.

Dans ce contexte une antenne patch a été proposée. La conception et la simulation sont faites par l'utilisateur du simulateur CST, s'est déroulée en trois étapes. En premier lieu, une antenne de base conventionnelle a été réalisée. Mais cette antenne ne répond pas aux exigences demandées (deux bandes et deux fréquences de résonances l'une 6.8GHz et l'autre 28GHz, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement acceptables.

Sachant que le changement de l'épaisseur du substrat n'a pas abouti les caractéristiques voulues. Pour cela, nous avons opté pour une antenne avec une déformation sur le plan de masse (GDS). Cette technique est largement utilisée pour la conception d'antennes miniatures. Ainsi des déformations sur l'élément rayonnant ont été faites. Dans ce contexte, une antenne possédant des dimensions réduites par rapport à l'antenne conventionnelle, a été conçue. Les résultats obtenus n'ont pas encore satisfait les

besoins en fréquence de résonance, mais le gain et la directivité sont faibles par rapport à une antenne conventionnelle.

Finalement, Nous avons utilisé une étude paramétrique, qui nous a permis de lister les paramètres qui influent sur les fréquences ; les coefficients de réflexion ainsi que le gain et la directivité. Après cette étape, nous avons utilisé les techniques d'optimisation pour améliorer les résultats obtenus auparavant. Ces résultats, exhibent des gains, des directivités et un rendement important par rapport à celui conçu au départ. La bande passante obtenue, lui permet d'avoir d'autres utilisations dans le spectre radio fréquence.

Cette antenne présente deux bandes passantes l'une autour de 7.34 GHz et l'autre autour 28GHz avec des gains et rendements relativement importants. Elle peut fonctionner pour la cinquième génération des systèmes de télécommunication. Ses dimensions lui permettent d'être intégrée.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique inédit au cours des dernières années grâce à la forte demande de la nouvelle génération des systèmes de communications et de l'industrie. Parmi les composants les plus importants dans les systèmes de communication modernes, on cite les antennes miniatures.

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur la conception et l'analyse des résultats d'une antenne micro-ruban connectée à une ligne d'alimentation micro-ruban miniaturisée par la technique masse modifiée (GDS). Les avantages de ces antennes sont : la conception simple avec un matériau de faible coût, la taille de patch miniaturisée.

Dans le premier chapitre on a introduit un historique concernant les aspects généraux de la 5G. En deuxième chapitre, nous avons présenté des définitions sur les antennes patch microstrip, les caractéristiques et leur principe de fonctionnement et les techniques de conception.

Dans le troisième chapitre nous avons donné une présentation de logiciels CST et nous avons montré également comment travailler avec ce logiciel tel que la création, la simulation, et analyse d'une antenne micro-ruban en utilisant l'environnement de conception CST.

Le dernier chapitre a présenté les résultats et discussions, nous avons conçu deux antennes rectangulaires imprimées en utilisant le logiciel CST, la première antenne rectangulaire avec un patch en forme classique de dimension calculé

Le dernier chapitre a présenté les résultats et discussion, nous avons conçu 3 antennes rectangulaires imprimées en utilisant le logiciel CST, La première antenne rectangulaire avec un patch en forme classique de dimension $L_g = 8,60$ et $W_g = 4$.

Sachant qu'il n'y a pas de règle générale pour concevoir des antennes patch avec des dimensions, géométrie et des fréquences de résonances bien précise. Donc par l'utilisation du logiciel CST pour la conception d'une antenne patch rectangulaire, les techniques de miniaturisations, les techniques d'optimisation ; nous avons abouti de bonne résultats répondant aux exigences demandées.

Ce mémoire fait la présentation de l'analyse, de la conception et de la modélisation de nouvelles structures hyperfréquences planaires pour des applications des systèmes de communication. Dans ce contexte une antenne patch a été proposée. La conception et la simulation sont faites par l'utilisation du simulateur CST, s'est déroulée en trois étapes. En premier lieu, une antenne de base conventionnelle a été réalisée. Mais cette antenne ne répond pas aux exigences demandées (deux bandes et deux fréquences de résonances l'une 7.5 GHz et l'autre 28GHz, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement acceptables.

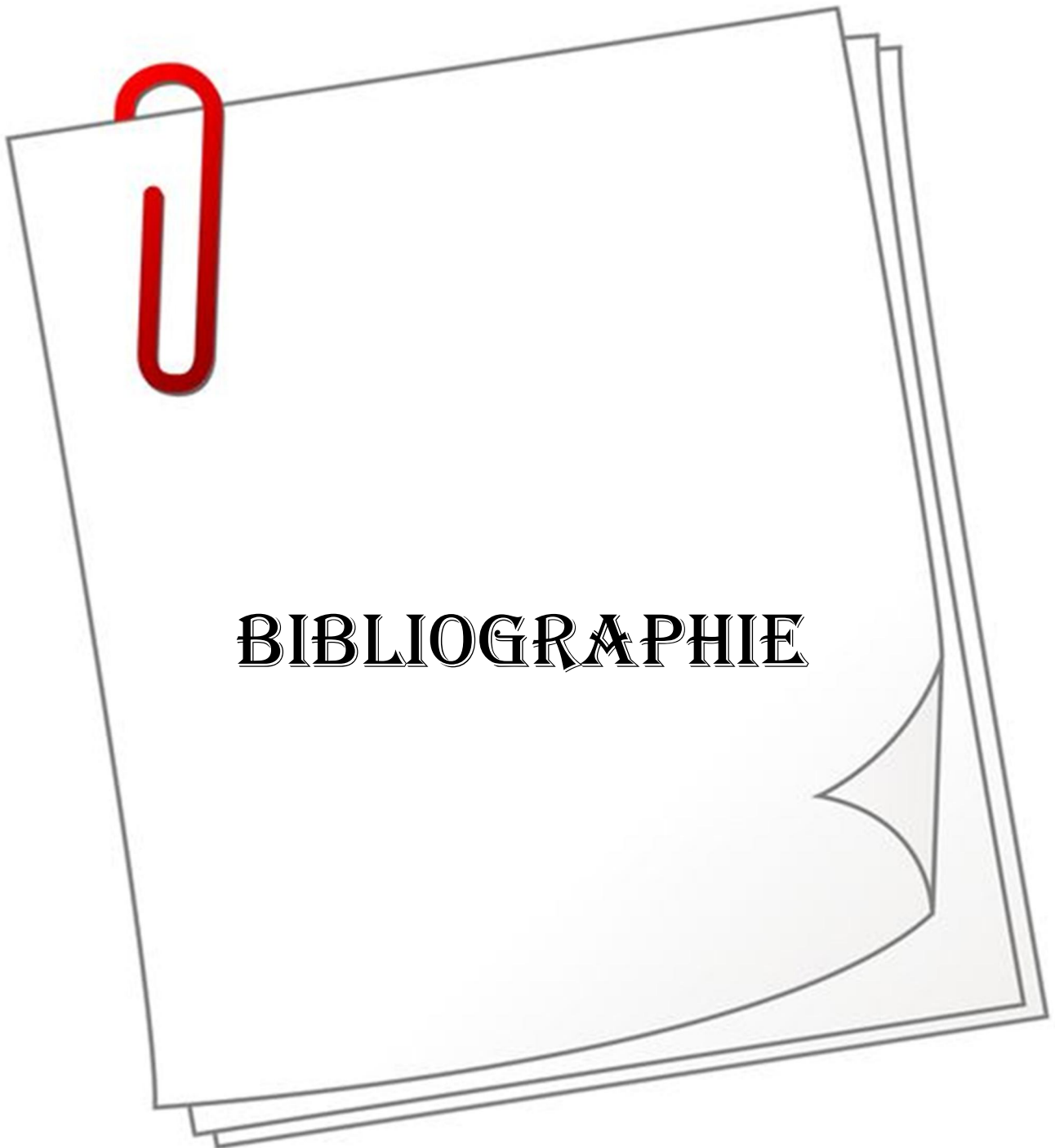
Sachant que le changement de l'épaisseur du substrat n'a pas abouti les caractéristiques voulues. Pour cela, nous avons opté pour une antenne avec une déformation sur le plan de masse (GDS). Cette

technique est largement utilisée pour la conception d'antennes miniatures. Ainsi des déformations sur l'élément rayonnant ont été faites. Dans ce contexte, une antenne possédant des dimensions réduites par rapport à l'antenne conventionnelle, a été conçue. Les résultats obtenus n'ont pas encore satisfait les besoins en fréquence de résonance, mais le gain et la directivité sont faibles par rapport à une antenne conventionnelle.

Finalement, Nous avons utilisé une étude paramétrique, qui nous a permis de lister les paramètres qui influent sur les fréquences ; les coefficients de réflexion ainsi que le gain et la directivité. Après cette étape, nous avons utilisé les techniques d'optimisation pour améliorer les résultats obtenus auparavant. Ces résultats, exhibent des gains, des directivités et un rendement important par rapport à celui conçu au départ. La bande passante obtenue, lui permet d'avoir d'autres utilisations dans le spectre radio fréquence.

Cette antenne présente deux bandes passantes l'une autour de 7.5 GHz et l'autre autour 28GHz avec des gains et rendements relativement importants. Elle peut fonctionner pour la cinquième génération des systèmes de télécommunication. Ses dimensions lui permettent d'être intégrée.

Sachant qu'il n'y a pas de règle générale pour concevoir des antennes patch avec des dimensions, géométrie et des fréquences de résonances bien précise. Donc par l'utilisation du logiciel CST pour la conception d'une antenne patch rectangulaire, les techniques de miniaturisations, les techniques d'optimisation ; nous avons abouti de bonne résultats répondant aux exigences demandées. Ce travail est fait après une étude approfondie sur les systèmes 5G ; les antennes patch et les différents techniques de conception d'alimentation et la prise en mains du simulation CST ainsi que les techniques de miniaturisations et d'optimisations.



Bibliographie

- [1] Panagiotis Blanos, National Technical University of Athens, University of Patras, "Miniaturization of Implantable Antennas for Medical Applications", June 2013.
- [2] Salima Azzaz Rahmani et Noureddine Boukli Hacene, "Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques : Etude et simulation des antennes imprimées fonctionnant en multibandes", avril 2012
- [3] Rouibah Ammar, Université Ferhat Abbas Setif, "Étude d'une Antenne Microruban de Forme Arbitraire par la Méthode FDTD ",28/10/2009
- [4] J. N. Sahalos, "Orthogonal methods for array synthesis, Theory and the ORAMA computer tool", John Wiley & Sons Ltd, ISBN-10 0-470-01741-4, 2006
- [5] A. A. Alshehri, "Novel ultra wideband antennas for wireless systems", Thèse de master présentée à l'université de Concordia, Montréal, Quebec, Canada, 2008.
- [6] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/china-5g/>
- [7] <https://www.zdnet.com/article/huawei-and-ntt-docomo-trial-5g-tech/>
- [8] <https://www.zdnet.fr/blogs/infra-net/rennes-va-tester-la-5g-39840152.htm>
- [9]<https://www.embeddedcomputing.com/news/leti-demonstrate-waveform-5g-networks-minatec-campus/>
- [10]<https://www.monpetitforfait.com/telephonie-mobile/orange/22365-5g-orange-ericsson-debit-15gbits>
- [11]https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/en-direct-du-monde/en-coree-du-sud-en-premiere-mondiale-les-entreprises-utilisent-les-jo-pour-tester-la-5g_2594206.html
- [12]<https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/larcep-publie-la-synthese-des-contributions-a-la-consultation-publique-de-nouvelles-frequences-po.html>
- [13]https://www.frandroid.com/telecom/488716_reseau-5g-tout-ce-qui-va-changer-quels-usages-et-pourquoi-la-technologie-est-importante
- [14] W. H. Chin, Z. Fan, R. Haines, "Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks", IEEE Wireless Commun, vol. 21, n° 2, p: 106-112, Apr. 2014.
- [15] Akram Hakiri, Pascal Berthou, "Leveraging SDN for The 5G Networks: Trends, Prospects and Challenges", June 2015.
- [16] 5G Empowering vertical industries. White Paper, 2016, https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf

- [17] E.Hossain, M. Rasti, H. Tabassum, A. Abdel Nasser « Evolution towards 5g Multi-Tier Cellular Wireless Networks: An Interference Management Perspective » IEEE Wireless Communications Conférence 17 Feb 2014.
- [18] W. Xiang, K. Zheng, X. Sherman « 5g Mobile Communications » Livre, 14 octobre 2016.
- [19] FEI Hu « Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective » Livre, 5 avril 2016
- [20] A.Osseiran, J. F. Monserrat, P. Marsch « 5g Mobile and Wireless communications Technology » Livre, Juin 2016.
- [21] Nicola Michailow, Ivan Gaspar, Stefan Krone, Michael Lentmaier, and Gerhard Fettweis, “Generalized frequency division multiplexing: Analysis of an alternative multi-carrier technique for next generation cellular systems.”, p: 171–175, 2012.
- [22] http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html, 22-Jan-2014.
- [23] A. Gohil, H. Modi, S. K. Patel « 5g Technology Of Mobile Communication : A Survey » Conférence Internationale Sur Les Systèmes Intelligents Et Le Traitement Du Signal 2013.
- [14] Les enjeux de la 5G - mars 2017
- [25] J.Rodriguez « Fundamentals Of 5g Mobile Networks » Livre, Institut des Télécommunications, Aveiro, Portugal, 2015.
- [26] P.Wallström « Device-To-Device Communications for 5G Radio Access
- [27] W. Robert, Heath Jr, Angel Lozano « Five Disruptive Technology Directions For 5g » article IEEE Communications Février 2014.
- [28] IEEE Standar Definition of Terms for Antennas. IEEE Std 145-1993. IEEE Press 1993.
- [29] C.A.Balanis, Modern Antenna Handbook. John Wiley and Sons, 2008.
- [30] H. Chorfi « Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Mémoire de Master, Université Québec Abitibi-Témiscamingue 2012.
- [31] Abdellatif HAFIANE, Etude du couplage d’antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique. Thèse de Doctorat, université de Marne la Vallée (France), 2003.
- [32] D. Ameziane « Etude Et Optimisation D’antennes Fractales Plaquées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2008.
- [33] Bruno Delorme : << les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile>> , Paris,2010
- [34] G. Le Ray C. Marchaisset A. Sharaiha, Stripline slot antenna for uwb communication, IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett., 5, 2006.
- [35] H.Oulad Mansour « Les Effets de l’anisotropie Uniaxiale et de la Tangente de Perte Sur

La Résonance Des Antennes Microbandes » Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla 2015.

[36] K.R. Foster and H.P. Schwan. Dielectric properties of tissues. Handbook of biological effects of electromagnetic fields, pages 25–102, 1996.

[37] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Repliement Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.

[38] K. S Cole. Membranes, Ions and Impulses, chapter A Chapter of Classical Biophysics, pages 120–122. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1968.

[39] S.Vergerio « Recherche Des Caractéristiques Optimales D'antennes Multi-Capteurs Pour Les Systèmes Mimo » Thèse Doctorat, Université de Provence, 06 juillet 2007.

[40] M.L.Refica « Modélisation Et Simulation Des Antennes En Onde Millimétrique A Base De Méta Matériaux » Mémoire De Magister, Université Zian Achour de Djelfa 24/05/2014.

[41] G.Irankunda, E. Ufiteyezu « Etude Et Conception D'une Antenne Patch Rectangulaire Pour Les Réseaux Personnels Sans Fils Wpan A 60 GHz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2011.

[42] Leila Chouiti, « Contribution à l'étude d'antenne imprimées rectangulaires doubles bandes et multi-bande tenant compte de l'effet de couplage », Thèse magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.

[43] I. J. Bahl and P. Bharia, « Microstrip Antenna », Dedham, Artech House, 1980.

[44] D. M. POZAR « Microstrip Antennas », IEEE, Vol. 80 N° 1, pp. 79-91, January 1992.

[45] G. Kumar and KP. Ray, « Broad band microstrip antennas » Aartech house baston London 2003

[46] Y. Qian and al, « A microstrip patch antenna using novel photonic band gap structures », Microwave J, vol. 42, pp. 66-67, Jan 1999.

[47] Kenneth R. Foster. Herman p. Schwan: A scientist and pioneer in biomedical engineering. Annual Review of Biomedical Engineering, 4 :1–27, 2002.

[48] D. Khedrouche, « Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale », Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 06/2009.

[49] D. Aissai, ‘ ‘ Analyse a l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées alimentées par ligne adaptées ‘ ‘, Mémoire de Magister, Université de Abou Baker Belkaid Tlemcen, 03/2007.

- [50] O. Picon, Coll, " Les Antennes, théorie, conception et applications ", Dunod, Paris, 978-2-10-051989-7, 2009.
- [51] A. Boufrioua, " Contribution à l'étude des antennes a patch résistifs et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant ", thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine, 11/2006.
- [52] L. Merad1, F.T. Bendimerad 1 et S.M. Meriah 1 "Conception de réseaux d'antennes imprimées par les algorithmes génétiques et le recuit simulé ", traitement du signal 2004, volume 21, numéro 3.
- [53] R.J.Mailloux " *Phased Array Antenna Handbook* ", *Second Edition* Artech House, Inc, 2005.
- [54] W.K. CHEN " *The Electrical Engineering Handbook* " Elsevier Inc, 2004.
- [55] L. Josefsson, P. Persson *Conformal Array Antenna Theory and Design*. IEEE antenna and propagation society, Wiley-Interscience 2006.
- [56] T.A. Milligan *Modern Antenna Desing, second edition* John Wiley & Sons, Inc, 2005
- [57] T. S. Rappaport and al, *Millimeter wave wireless communications*, Pearson Education, 2015.
- [58] J.Q. Howell *Microstrip Antennas* IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 23, Issue 1, p. 90-93, janvier 1975.
- [59] G. Kossiavas, A. Papiernik, R. Staraj, C. Luxey *Antennes imprimées - Bases et principes* Dossier E 3310, Antenne, Techniques de l'Ingénieur, 2012.
- [60] Bouaka. A, Temmar. L, " Simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio "Mémoire Master, Université de OUARGLA, Juin 2018.
- [61] Mr H.Kanane, Belabas. L, chemmoun. L, " Miniaturisation de l'antenne PATCH sous CST ", Mémoire Master, Université de Tizi-Ouzou, 2018.
- [62] M. Ney, "Simulation électromagnétique - outils de conception", Techniques de l'Ingénieur, e 1030, 2012, pp. 1-21.