

Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et
de la Communication
Département d'Electronique et Des Télécommunications



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Science et Technologie
Filière : Télécommunication
Spécialité : signal et communication
Présenté par :
Hacini Amel
Arezki Ourida

Thème

**SIMULATION D'UNE ANTENNE MICRO-STRIP LARGE BANDE
POUR LES APPLICATIONS WLAN ET WiMax**

Soutenu publiquement le 26 Juin 2018

Le jury composé de :

| | | | |
|--------------------|---------|--------------|-------------|
| BELHEDRI Abdelkrim | M.A.(A) | Encadreur | UKM Ouargla |
| MEKIMAH Bouaalam | M.A.(A) | Co-Encadreur | UKM Ouargla |
| CHEBBARA Fouad | M.C.(A) | Président | UKM Ouargla |
| BERHAB Souad | M.A.(B) | Examinatrice | UKM Ouargla |

REMERCIEMENT

Ce travail a été effectué au département de l'électronique de la faculté de Technologie de l'Université Kasdi-Merbah-Ouargla. Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur Mr. ABDELKRIM BELHEDRI Maître de conférences à l'université Kasdi-Merbah qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, tout particulièrement : CHEBBARA FOUAD pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de cet mémoire. Nous souhaitons exprimer notre gratitude à BERHAB SOUAD pour avoir faire de lecteur notre mémoire, aller l'examiner et ils peuvent évaluer cette mémoire.

Nous vous remercions pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et pour vos précieux conseils et remarques. Nous tenons à remercier Mr. MEKIMAH BOUALEM pour tous ses conseils et ces aides.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire.

DÉDICACES

Je dédie de mon cœur ce travaille à mes chers parents qui font leur possibles pour me donner tous le besoin et qu'ils m'encourager et le leur soutiens.

A mes chères sœurs et leurs familles.

A mes chers frères et leurs familles.

A touts mes amis et les collèges.

*Et aussi a ma collège de travaille **Hacini Amel.***

A.OURIDA

DÉDICACES

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté. Je dédie ce modeste travail :

- ✓ A mes très chers parents pour leurs soutiens inconditionnel, leurs sacrifices, leurs tendresses, leur amour infinie Que dieu les gardes et les protèges;
- ✓ A mes proches de mes frères et mes sœurs, chacun `a son nom;
- ✓ A toute la famille;
- ✓ A tous mes amis;
- ✓ A tous mes chers enseignants qui ont enseigné moi ;

H. Amel

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Généralités sur les antennes | 4 |
| 1.1 | Introduction | 5 |
| 1.2 | Système de communication radio | 6 |
| 1.2.1 | Bloc d'émission | 6 |
| 1.2.2 | Bloc de réception | 6 |
| 1.2.3 | Réciprocité | 6 |
| 1.3 | Définition d'une antenne | 7 |
| 1.4 | Le rôle d'une antenne | 7 |
| 1.5 | Paramètres caractéristiques d'une antenne | 7 |
| 1.5.1 | L'impédance d'entrée | 8 |
| 1.5.2 | Le coefficient de réflexion et la bande passante | 9 |
| 1.5.3 | Le rapport d'onde stationnaire ROS | 10 |
| 1.5.4 | Résistance de rayonnement | 10 |
| 1.5.5 | Les Zones de rayonnement | 11 |
| 1.5.6 | Diagramme de rayonnement | 12 |
| 1.5.7 | La directivité | 13 |
| 1.5.8 | Le gain | 13 |
| 1.5.9 | Rendement | 13 |
| 1.5.10 | La polarisation | 14 |
| 1.5.11 | Facteur de qualité | 15 |
| 1.6 | Conclusion | 16 |
| 2 | Généralités sur les antennes microbande | 19 |
| 2.1 | Introduction | 20 |
| 2.2 | Historique des antennes imprimées | 21 |
| 2.3 | Description d'une antenne imprimée | 21 |
| 2.4 | Format de patch | 22 |
| 2.5 | Principe de fonctionnement | 23 |
| 2.6 | Choix de la géométrie et du matériau de l'élément rayonnant | 23 |
| 2.7 | Choix du Substrat | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.8 | Méthodes d'excitation | 24 |
| 2.8.1 | Excitation par ligne microbande | 24 |
| 2.8.2 | Excitation par câble coaxial | 25 |
| 2.8.3 | Excitation par couplage électromagnétique | 26 |
| 2.8.4 | Excitation au travers d'une ouverture dans le plan de masse | 26 |
| 2.9 | Mécanisme de rayonnement | 27 |
| 2.10 | Méthodes d'analyses des antennes micro rubans : | 28 |
| 2.10.1 | Méthodes approximatives (analytiques) | 29 |
| 2.10.2 | Méthodes numériques | 31 |
| 2.11 | Avantages et inconvénients des antennes microbandes | 31 |
| 2.12 | Les Applications des Antennes Microbandes | 32 |
| 2.13 | Conclusion | 34 |
| 3 | Conception | 37 |
| 3.1 | Introduction | 38 |
| 3.2 | conception d'une antenne de base | 39 |
| 3.3 | Résultats de simulation pour l'antenne de base | 39 |
| 3.3.1 | Coefficient de réflexion | 39 |
| 3.3.2 | Diagramme de rayonnement | 40 |
| 3.3.3 | Gain et Directivité | 41 |
| 3.4 | Antenne Coplanaire | 42 |
| 3.5 | Résultats de simulation de l'antenne CPW | 43 |
| 3.5.1 | Coefficient de réflexion | 43 |
| 3.5.2 | Diagramme de rayonnement | 43 |
| 3.5.3 | Gain et Directivité | 44 |
| 3.6 | Antenne CPW asymétrique | 45 |
| 3.7 | Résultats et simulation | 46 |
| 3.7.1 | Coefficient de réflexion | 46 |
| 3.7.2 | Diagramme de rayonnement | 47 |
| 3.7.3 | Gain et Directivité | 48 |
| 3.8 | Tableaux de comparaison | 49 |
| 3.9 | Discussion et interprétation des résultats | 50 |
| 3.10 | Tableau de comparaison avec [1] | 50 |
| 3.11 | Conclusion | 51 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Schéma de principe d'un système de communication radio. | 6 |
| 1.2 | Principe de transmission par onde électromagnétique . . . | 7 |
| 1.3 | Représentation de l'impédance de l'antenne | 8 |
| 1.4 | Exemple du $ S_{11} $ d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et de la bande passante à -10 dB | 10 |
| 1.5 | Zone de rayonnement d'une ouverture rayonnante | 11 |
| 1.6 | Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive | 12 |
| 1.7 | Polarisation du champ électromagnétique. | 14 |
| 1.8 | Représentation de la polarisation verticale et horizontale . | 15 |
| 2.1 | structure d'une antenne patch | 21 |
| 2.2 | Différentes formes d'antennes imprimées[4]. | 22 |
| 2.3 | Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire | 23 |
| 2.4 | Excitation par ligne microbande. | 25 |
| 2.5 | Alimentation coaxiale ou par sonde. | 25 |
| 2.6 | Excitation par couplage électromagnétique. | 26 |
| 2.7 | Excitation au travers d'une ouverture dans le plan de masse. | 27 |
| 2.8 | Analogie optique du mécanisme de rayonnement | 28 |
| 2.9 | Modèle de la ligne de transmission d'une antenne microbande. | 30 |
| 2.10 | Modèle de la cavité [15]. | 30 |
| 3.1 | Géométrie de l'antenne de base,(a) vue du dessous, (b) vue du dessus | 39 |
| 3.2 | Coefficient de réflexion de l'antenne de base. | 40 |
| 3.3 | VSWR de l'antenne de base. | 40 |
| 3.4 | Diagramme de rayonnement en 3D pour $f=5.2\text{GHz}$ | 40 |
| 3.5 | Diagrammes de rayonnement polaire ,(a) plan E , (b) plan H. | 41 |
| 3.6 | Le gain et la directivité en fonction de la fréquence | 41 |
| 3.7 | géométrie de l'antenne coplanaire ,(a) vue du dessous,(b) vue de coté (coté ligne d'alimentations) | 42 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.8 | Coefficient de réflexion de l'antenne CPW | 43 |
| 3.9 | VSWR en fonction de la fréquence | 43 |
| 3.10 | Diagramme de rayonnement en 3D,(a) 2.442GHz,(b)2.7GHz , (c) 3.45GHz | 44 |
| 3.11 | Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires ,(A) plan E , (B) plan H | 44 |
| 3.12 | le gain et la directivité en fonction de la fréquence | 45 |
| 3.13 | Géométrie de l'antenne asymétrique | 46 |
| 3.14 | Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence | 46 |
| 3.15 | VSWR en fonction de la fréquence | 47 |
| 3.16 | Diagramme de rayonnement en 3D,(a) 2.442GHz,(b)3.45GHz , (c) 5.5GHz | 47 |
| 3.17 | Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires ,(A) plan E , (B) plan H | 48 |
| 3.18 | le gain et la directivité en fonction de la fréquence | 48 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Les propriétés de quelques types de substrats. | 24 |
| 3.1 | Paramètres géométriques de l'antenne de base. | 39 |
| 3.2 | Résumé de résultats. | 42 |
| 3.3 | Paramètres géométriques de l'antenne CPW | 42 |
| 3.4 | résumée de résultat | 45 |
| 3.5 | Valeurs de la position de la ligne d'alimentation trx. . . . | 46 |
| 3.6 | résumée de résultat | 49 |
| 3.7 | Tableau Comparatif entre les trois différentes antennes . . | 49 |
| 3.8 | Comparaison de nos résultats avec la référence [1]. | 50 |

Liste D 'Abréviations

| | |
|--------------|---|
| BW | bande passante |
| CPW | Coplanar Waveguide |
| CST | Computer Simulation Technologie |
| DCS | Direction Cohésion Sociale |
| FDTD | Finite Difference Time-Domain |
| GSM | Global System for Mobile communication |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| ROS | Rapport d'onde stationnaire |
| TEM | Transverse Electromagnetique |
| TM | Transverse Magnétique |
| TOS | Taux d'onde stationnaire |
| ULB | Ultra Large Bande |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| UWB | Ultra Wide Band |
| VSWR | Voltage Standing Wave Ratio RL : Return Loss |
| WIMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| WLAN | Wireless Local Area Network |

Introduction générale

Introduction générale

Les premières antennes sont apparues à la fin du XIXe siècle, à une époque où les travaux sur l'électromagnétisme ont connu un développement considérable. Depuis, leur réalisation n'a cessé d'évoluer. D'abord, grâce aux progrès scientifiques de l'électromagnétisme, plus tard, sous la pression de nombreuses demandes technologiques dans des domaines d'application variés. L'essor actuel des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisations : télécommunications mobiles, satellites, télévision, radio, identification, objets communicants [1].

Malgré cette grande diversité, toutes les antennes ont en commun de transformer un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences. Un principe fondamental régit leur rayonnement, celui de la diffraction des ondes [1].

Dans les radio communications, l'antenne désigne ce composant indispensable à l'émission et la réception des ondes électromagnétiques. Selon l'application considérée, on peut rechercher une illumination aussi uniforme que possible de l'espace environnant, ou encore un éclairage très localisé d'une partie de cet espace [2]. Parmi les antennes développées au cours de ces dernières années qui font l'objet de nombreux travaux de recherche et de développement, nous citons les antennes imprimées (antennes à résonateur microbande) dont la forme et les dimensions leur permettent d'être intégrées dans les modules d'émission ou de réception sur le même substrat [3].

Les antennes microrubans développées au cours des années 70, l'utilisation d'antenne imprimées permet théoriquement de satisfaire une partie des contraintes imposées telle que la discrétion (faible volume), la maîtrise de la polarisation (qui dépend de la géométrie de l'antenne et du mode excité) et sa capacité à être intégrée en réseau pour répondre non seulement au critère de gain mais aussi de fonctionnalité (pointage électronique), encombrement réduit, facilité de fabrication, en masse, faible coût, adaptation aux surfaces planes et non planes, grande robustesse et également bonne performance en terme de résonance, d'impédance d'entrée et de diagramme de rayonnement. Cependant, pour ces antennes résonantes, les inconvénients majeurs se manifestent au niveau de leur bande passante (lié au coefficient de qualité élevé de telle structure), de leur gain relativement modeste et leur faible capacité à supporter les puissances élevées [4] [5].

Pour minimiser ces inconvénients plusieurs travaux de recherches ont été menés et ont abouti à des progrès considérables améliorant les performances de ces antennes [6].

De nos jours, l'optimisation occupe une place de plus en plus grande dans le monde scientifique. Il existe plusieurs méthodes d'optimisation, et chacune d'entre elles donne de bons résultats avec certains types de problèmes. Le choix de cette méthode dépend d'une série de caractéristiques du problème à optimiser, et surtout du comportement de la fonction qui le représente [7].

L'utilisation des méthodes d'optimisation et d'approximation dans le domaine des réseaux d'antennes imprimées est pour rechercher la combinaison optimale des différents paramètres, afin que le réseau réponde aux besoins de l'utilisateur et selon un cahier des charges précis [8] [9].

La connaissance et la modélisation de la propagation et des antennes sont complexes mais nécessaires pour dimensionner un système de transmission sans fils [10].

Actuellement, la multiplication et la diversité des standards de communications radiomobiles (GSM, DCS, UMTS, WLAN (Wireless Local Area Network), WiMax, TV Numérique...), ont créé un besoin très fort pour des antennes compactes multifréquences permettant notamment d'assurer la compatibilité des différentes normes ou accéder à de nombreux services à partir d'un véhicule (automobile, avion, ...etc)[3].

L'objectif de notre travail est la conception et la simulation avec le logiciel CST d'une antenne microbande large bande de forme rectangulaire fonctionnant dans les applications WLAN et WiMax.

Ce travail se compose de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on donne des généralités sur les antennes. Puis, nous présentons une étude basée sur les principales caractéristiques des antennes, tels que la bande passante, le gain, la directivité, le rendement... etc.

Le deuxième chapitre est consacré à une description générale des antennes imprimées, leurs principes de fonctionnement et les différentes techniques d'alimentation et la comparaison entre eux, une présentation des méthodes d'analyse. Après nous évoquerons les différentes applications, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces antennes.

Le troisième chapitre sera consacré aux résultats de simulation. Le simulateur CST sera exploité pour la conception de trois structures d'antennes : une structure conventionnelle, une structure coplanaire et la même structure coplanaire avec ajout d'un slot (trou) on a aussi étudié l'effet de décalage de la ligne d'alimentation sur les caractéristiques de l'antenne imprimée. Les trois structures seront simulées et les résultats seront comparés. La structure qui sera retenue devra couvrir toute la bande WLAN et WiMax avec un gain, une directivité et un rendement acceptables.

On termine par une conclusion générale.

Bibliographie

- [1] Picon, Odile, et al. *Les antennes : Théorie, conception et applications* . Dunod, 2009.
- [2] SCHREIDER, Ludovic. *Antennes à très large bande passante et de très faible épaisseur- Application à l'intégration d'antennes dans des structures de porteurs dans la bande 100MHz-1GHz*. 2006. Thèse de doctorat. Télécom Paris Tech.
- [3] GAHA, Hafedh. *Analyse et conception des antennes fractales : applications aux Télécommunications Large Bande*. 2007. Thèse de doctorat.
- [4] Haiyang ZHANG. *Design and realization of an auto-focus antenna array for satellite communications*. PhD thesis, Université de Nantes, 2014. 59, 87
- [5] P.S. Bhatnagar, T. Razban, and J. Sarrazin. *Antennae & wave propagation* . PRAGYA publications, 2010.
- [6] HARRABI, Amal. *"Conception et réalisation d'une antenne plate pour la réception satellite"*. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE NANTES/UNIVERSITE DE TUNIS EL MANAR.2015.
- [7] TIGHILT, Yamina. *"Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les reseaux de neurones"*. Thèse de doctorat.2014.
- [8] Rana J. Pratap, *"Design and Optimization of Microwave Circuits and Systems Using Artificial Intelligence Techniques"* .PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, August 2005.
- [9] M. Sarevska, and A. B. M. Salem, *"Antenna array beamforming using neural network"* Proceeding of world academy of science engineering and technology, Vol. 17, ISSN 1307-6884, December 2006.
- [10] P.F.Combes . *"micro-onde 2. Circuit passif, propagation, antennes "* –Dunod,Paris,1997

Chapitre 1

Généralités sur les antennes

1.1 Introduction

Une antenne constitue l'organe principal dans une communication en espace libre. Une antenne peut être utilisée en émission et en réception. Pour décrire les performances d'une antenne, il est nécessaire de définir ses différentes caractéristiques, à savoir le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain, le rendement etc. Dans ce chapitre nous allons définir l'antenne et indiquer ses rôles principaux ainsi nous allons décrire mathématiquement les paramètres caractéristiques d'une antenne afin d'expliquer leur intérêt dans sa conception d'une antenne.

1.2 Système de communication radio

On considère un système de communication qui se compose de deux blocs, un pour la transmission et l'autre pour la réception, relié par un canal de propagation comme un intermédiaire dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu comme la figure 1.1 illustre. Les antennes constituent les éléments essentiels dans la chaîne de communication radio, car incontournables et situés à l'interface entre les signaux véhiculés dans l'électronique de l'émetteur ou du récepteur et le milieu de propagation.[1]

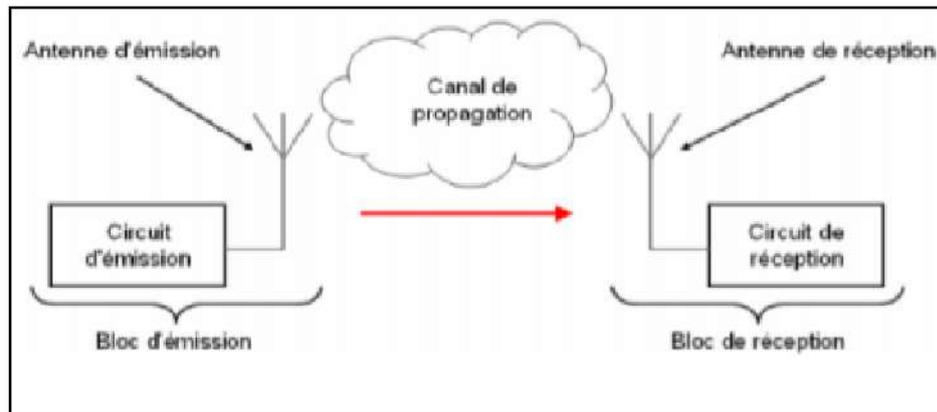


FIGURE 1.1 – Schéma de principe d'un système de communication radio.

1.2.1 Bloc d'émission

Dans ce bloc le courant sort de la sortie de circuit d'émission avec haute fréquence et modulé, qui va être transformé en ondes électromagnétiques capables de se propager dans le canal.

1.2.2 Bloc de réception

A l'inverse au niveau du bloc de réception, quand les ondes atteignent le récepteur c'est à l'antenne de réception qui capte l'onde électromagnétique et la transfère vers le circuit de réception pour le traiter.

L'antenne, qui permet de recevoir ou de rayonner des ondes, peut également être vue comme un adaptateur d'impédance entre le milieu de propagation et un circuit électronique.[2]

1.2.3 Réciprocité

On dit qu'une antenne est réciproque lorsqu'on peut l'utiliser avec la même antenne à l'émission et à la réception avec les mêmes propriétés rayonnantes. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception [3].

1.3 Définition d'une antenne

Parmi plusieurs définitions d'antennes la plus juste est donnée dans la norme IEEE. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [2].

Plus quasiment, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La figure 1.2 en fait une illustration très simple [4].

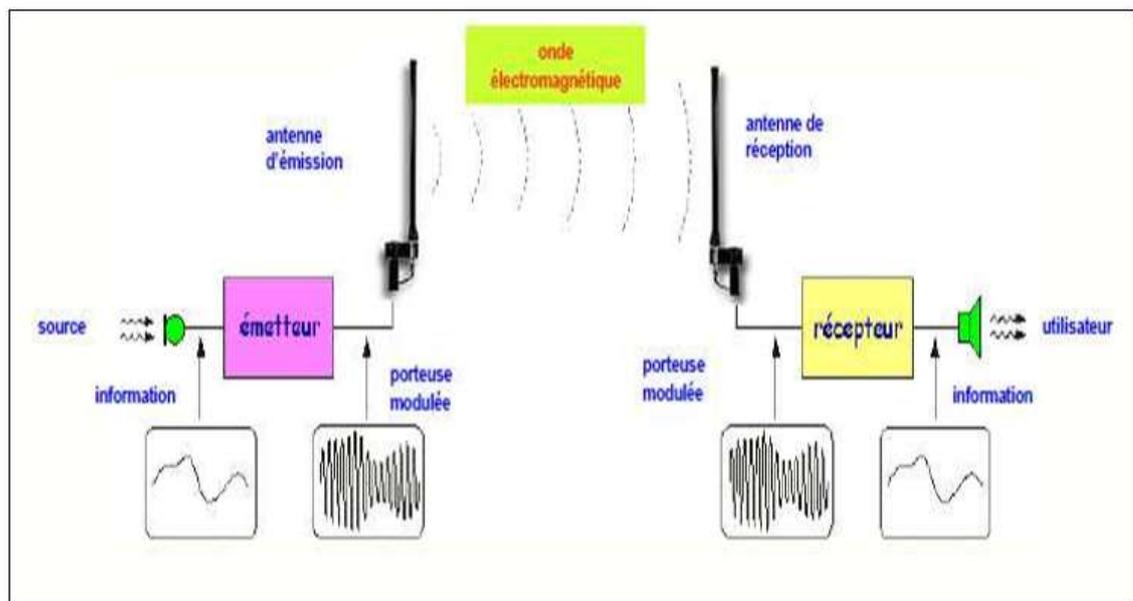


FIGURE 1.2 – Principe de transmission par onde électromagnétique

1.4 Le rôle d'une antenne

Le rôle de l'antenne est trop large, on cite les principaux :

- L'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 [5].

Dans les parties qui suivent nous allons préciser quelles sont les paramètres qui définissent de manière exhaustive une antenne.

1.5 Paramètres caractéristiques d'une antenne

Pour la transmission des signaux on utilise des antennes. Ces antennes ont des caractéristiques utiles pour le dimensionnement des systèmes d'émission et de réception, et pour les décrire on utilise plusieurs paramètres [6, 7].

Ces paramètres sont regroupées en deux . Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique (Z_{in} et S_{11}) et le second groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement, tel que le diagramme de rayonnement, la directivité et le gain.

Enfin, précisons que la notion de puissance (absorbée ou rayonnée) joue un rôle important dans l'étude des antennes. Donc les paramètres nécessaires des antennes sont citées comme suit :

1.5.1 L'impédance d'entrée

On peut définir l'impédance d'entrée en deux termes, le premier comme le rapport entre la tension et le courant aux terminaux de l'antenne, et le deuxième terme comme le rapport entre les composants appropriés des champs électriques et magnétiques. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne Z_{Ant} se décompose en une partie réelle R_{Ant} et une partie imaginaire X_{Ant} et s'écrit comme suit :

$$Z_{Ant} = R_{Ant} + jX_{Ant} \quad (1.1)$$

Z_{Ant} : impédance caractéristique de l'antenne. La partie réelle de l'impédance regroupe deux parties : une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et l'autre partie la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$R_{Ant} = R_{perte} + R_{ray} \quad (1.2)$$

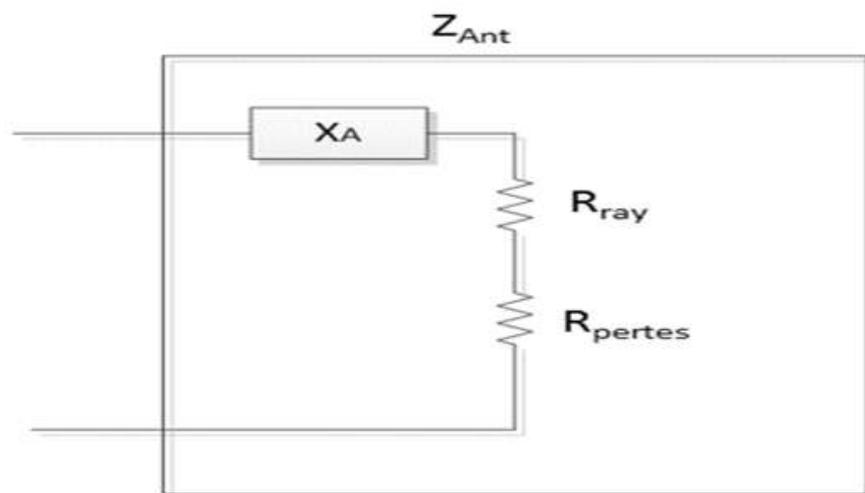


FIGURE 1.3 – Représentation de l'impédance de l'antenne

Donc il est nécessaire d'avoir une adaptation d'impédance pour confirmer le transfert de la puissance de l'alimentation vers l'antenne. Le transfert maximal de puissance est obtenu lorsque l'impédance de l'alimentation est égale à l'impédance conjuguée de l'antenne et comme S_{11} est fonction de la fréquence alors Z_{Ant} varie aussi avec la fréquence. Cette impédance d'entrée en fonction de S_{11} est donnée par la relation suivante [8] :

$$Z_{Ant} = Z_c \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (1.3)$$

Avec Z_c : l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

1.5.2 Le coefficient de réflexion et la bande passante

Le coefficient de réflexion d'une antenne est donné par le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z_{Ant} , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_c , le coefficient de réflexion peut être défini comme suite :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{Ant} - Z_c}{Z_{Ant} + Z_c} \quad (1.4)$$

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log(S_{11}) \quad (1.5)$$

Le rôle de coefficient de réflexion est de permettre de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, lorsque le module tend vers l'infini lorsque l'antenne est adaptée. Souvent, au tend que le coefficient de réflexion d'une antenne est minimal on dit que c'est la fréquence de résonance.

On définit La largeur de bande ou bande passante en adaptation d'une antenne par une bande de fréquences pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné. Elle peut être définie comme correspondant à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est supérieur à un seuil.

Alors la bande passante d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion.

$$BP = \Delta F = F_2 - F_1 \quad (1.6)$$

On peut avoir la bande passante à partir critère typique de la représentation de coefficient de réflexion sur une droite inférieure à -10 dB ou à -15 dB. La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10 dB [8].

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 passante est donnée par[9] :

$$BP(\%) = \left(\frac{F_2 - F_1}{F_0} \right) 100 \quad (1.7)$$

ou :

- F_1 : fréquence minimale
- F_2 : fréquence maximale
- F_0 : la fréquence centrale

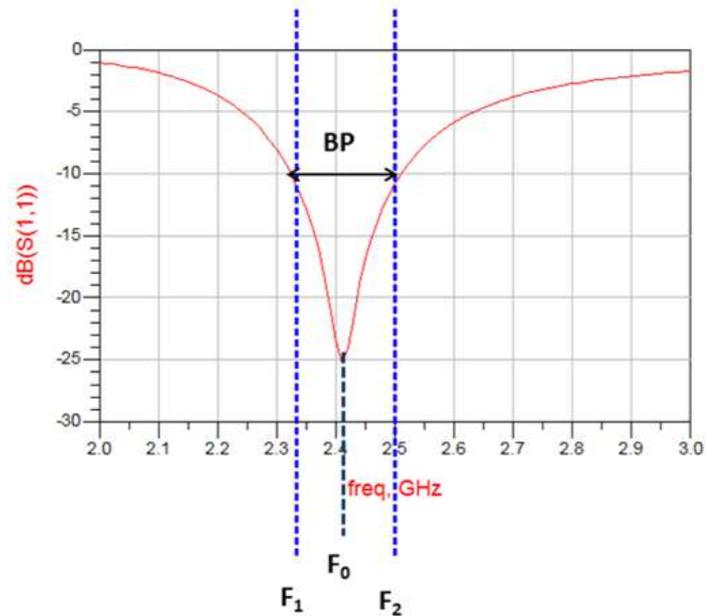


FIGURE 1.4 – Exemple du $|S_{11}|$ d’une antenne en dB en fonction de la fréquence et de la bande passante à -10 dB

1.5.3 Le rapport d’onde stationnaire ROS

Le Rapport d’Onde Stationnaire ou ROS tout comme le coefficient de réflexion traduit l’adaptation ou la désadaptation d’impédance entre deux éléments . Lorsque l’adaptation n’est pas parfaite, une partie de l’onde réfléchi se superpose à l’onde incidente pour ne former qu’une seule onde, c’est l’onde stationnaire. Le ROS se définit comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l’amplitude de l’onde stationnaire. En anglais, c’est le VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio qui peut également s’exprimer à partir du coefficient de réflexion à travers l’expression : [10]

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{1.8}$$

On peut aussi remplacé le ROS par le TOS Taux d’Onde Stationnaire [5]

1.5.4 Résistance de rayonnement

La puissance totale émise $\langle P_t \rangle$ des antennes est reliée au courant crête avec l’utilisation du courant efficace $I_{rms} = I_{crête} / \sqrt{2}$, on obtient $\langle P_t \rangle = R_{ri} I_{in,rms}^2$ mesuré à l’entrée de l’antenne via la résistance de rayonnement vue à l’entrée qui n’est pas une résistance dissipative physique :

$$\langle P_t \rangle = \frac{1}{2} R_{ri} I_{in}^2 \tag{1.9}$$

Cette résistance s’ajoute à celle des pertes joules (ou pertes en général) pour former la partie réelle de l’impédance de l’antenne :

$$R_A = R_{ri} + R_{perte} \tag{1.10}$$

R_{perte} : est la résistance qui provoque :

1. Les pertes ohmiques ou thermiques R_{ohm} ;
2. Les pertes dans le diélectrique R_{die} ;
3. Les pertes de retour (conductivité du sol) pour les monopoles R_{sol} ;

La résistance qu'est responsable du rayonnement d'antenne s'appelle R_{ri} car sans ça présence aucune puissance active fournie à l'antenne n'est émise . On a donc intérêt à l'avoir la plus élevée possible pour accroître l'importance des champs rayonné.

Le symbole R_r est réservé à la résistance de rayonnement, laquelle est calculée à partir de l'amplitude maximale de la distribution du courant sur l'antenne :

$$\langle P_t \rangle = \frac{1}{2} R_r I_{max}^2 \tag{1.11}$$

Si l'amplitude maximale se situe au niveau des bornes, alors $R_r = R_{ri}$ [11].

1.5.5 Les Zones de rayonnement

Les champs dans la proximité de l'antenne sont extrêmement complexes à analyser. l'espace entourant une antenne peut être divisé en trois zones distinctes comme le montre la Figure 1.5. La structure du champ électromagnétique est différente en fonction des régions. Bien qu'il n'y ait pas de changement brutal de la configuration des champs aux frontières de ces régions, il existe de réelles différences entre elles.[10]

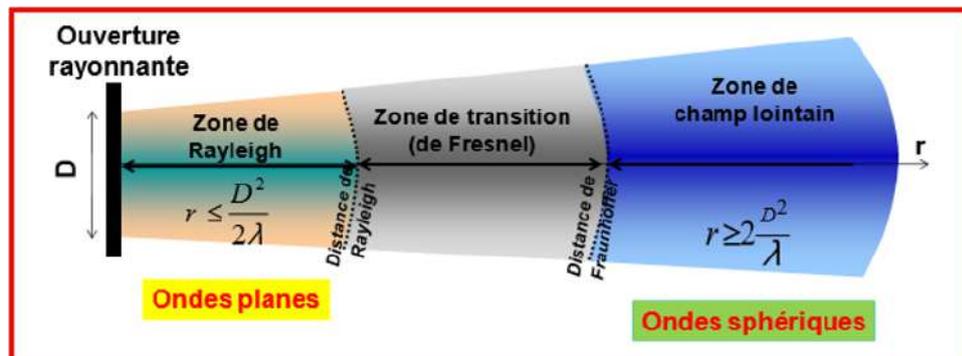


FIGURE 1.5 – Zone de rayonnement d'une ouverture rayonnante [12].

- **Zone de Rayleigh** : appelée aussi la région de champ réactif. C'est la zone du champ très proche qui entoure immédiatement la source radio-fréquence. Dans cette zone, la majorité de l'énergie électromagnétique n'est pas rayonnée, mais plutôt emmagasinée. Cette zone se situe à des distances de l'antenne comprises entre $\frac{\lambda}{2\pi}$ et $\frac{D^2}{2\lambda}$ avec D étant la plus grande dimension de l'antenne.
- **Zone de Fresnel** : il s'agit d'une zone intermédiaire entre la zone du champ proche réactive et la zone du champ lointain. Cette zone est située entre $\frac{D^2}{2\lambda}$ et $\frac{2D^2}{\lambda}$ Associée à la zone de Rayleigh, ces deux zones constituent la zone de champ proche de l'antenne.
- **Zone de Fraunhofer** : cette région est située à grande distance de la source, elle se situe au-delà de $\frac{2D^2}{\lambda}$, et correspond à la zone de champ lointain de l'antenne. Le gain et la distribution angulaire sont indépendants de la distance et l'onde électromagnétique est quasiment plane

1.5.6 Diagramme de rayonnement

On définit le diagramme de rayonnement par La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne . C'est une représentation du rayonnement en 2D ou 3D de la puissance, du gain ou du champ électrique rayonné à grande distance qui est en fonction de θ (angle de Site : plan vertical) et φ (angle d'Azimut : plan horizontal). Classiquement,le diagramme de rayonnement était représenté en deux plans perpendiculaire le plan E pour le champ électrique et le plans H pour le plans magnétique atteignent leurs valeurs maximales ,qui sont présentées ci-dessous. [13]

Le diagramme de rayonnement de l'antenne directive est montré dans la figure 1.6 :

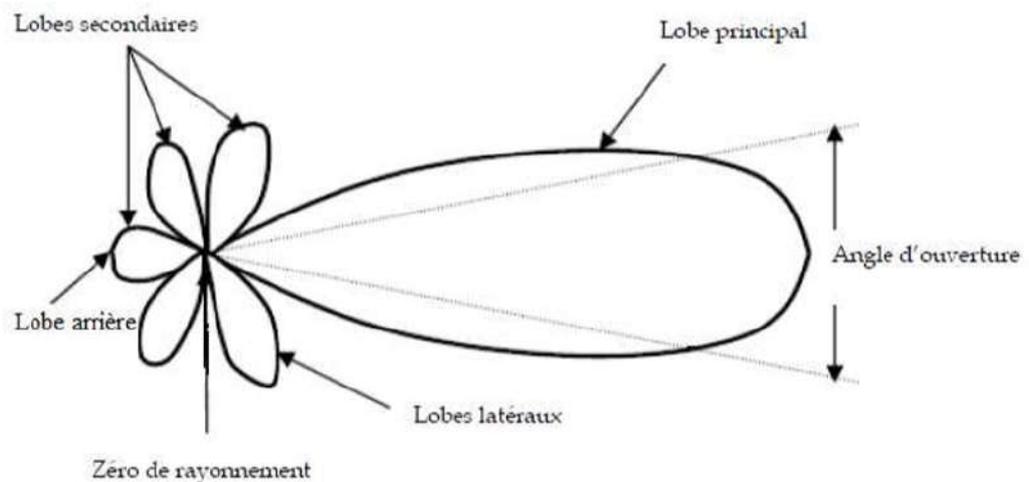


FIGURE 1.6 – Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive

En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est découpée en plusieurs partie dans l'espace , certaines directions sont privilégiées : ce sont les lobes de rayonnement.

Un type plus pratique est l'antenne directionnelle qui rayonne plus de puissance dans certaines directions et moins de puissance dans d'autres directions. Un cas particulier de l'antenne directionnelle est l'antenne omnidirectionnelle, dont le diagramme de rayonnement peut être constant dans un seul plan (plan E), et varie dans le plan orthogonal (plan H).

- **Un lobe principal** :C'est le lobe de rayonnement qui contient le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement
- **Un angle d'ouverture** :L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.
- **Des lobes secondaires** :Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.
- **Un lobe arrière (rayonnement arrière)** :C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal.

Dans la plupart des systèmes antennaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les lobes secondaires [14, 15].

1.5.7 La directivité

Elle présente les directions dans lesquelles la densité de puissance est meilleure ou moins bonne par rapport à celle de l'antenne isotrope, elle est défini par le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle pour une même puissance totale rayonnée.

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{\eta P_A} \quad (1.12)$$

$P(\theta, \varphi)$: La puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ)

P_A : La puissance d'alimentation

η : Le rendement

On dira donc qu'une antenne fortement directive quand l'antenne accepte une faible ouverture de rayonnement, et qu'une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement [16].

1.5.8 Le gain

D'une façon générale, une antenne rayonne une puissance qui change toujours en fonction de la direction considérée. On définit le gain $G(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) , le rapport de la puissance $P(\theta, \varphi)$ dans cette direction à la puissance $P_0(\theta, \varphi)$ que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation, il est donné par la relation suivante [16]

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta, \varphi)} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad (1.13)$$

on peut lier entre le gain et la directivité par l'équation ci-dessous :

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (1.14)$$

1.5.9 Rendement

On considère P_A la puissance d'alimentation d'une antenne. Cette puissance est transformée en une puissance rayonnée P_R dans l'espace libre. la puissance rayonnée est inférieure à la puissance d'alimentation dans le bloc d'émission [17][18]. L'antenne est un transformateur imparfait. À cause des pertes qui se font lors de la transformation d'énergie, comme dans tout système. L'efficacité de l'antenne est définie par :

$$\eta = \frac{P_R}{P_A} \quad (1.15)$$

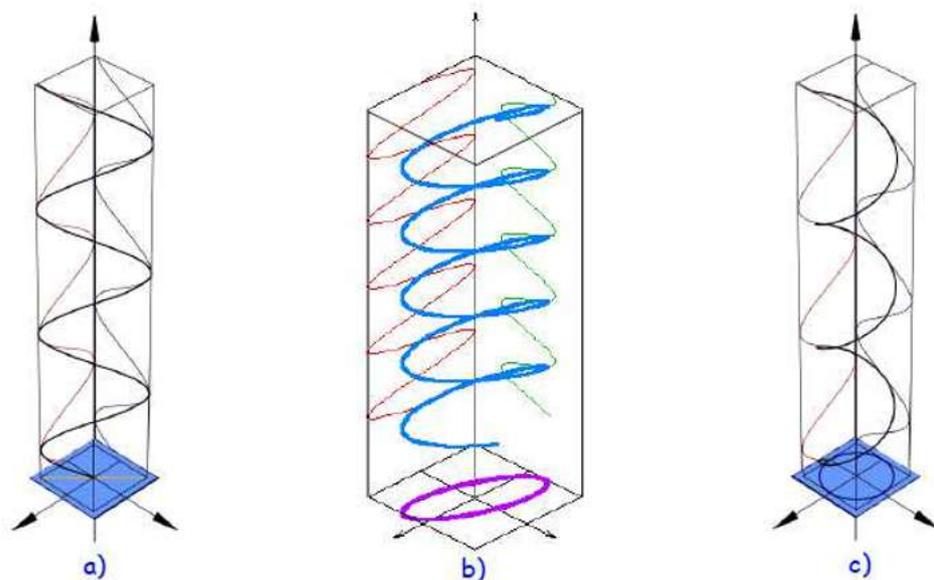
De ce rendement on peut mesurer le taux de transformation. C'est un rendement au sens thermodynamique du terme : $\eta < 1$

Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. En comparant les équations 2.12-13, on voit que le rendement relie le gain et la directivité [5]

$$P_R = \eta P_A \Rightarrow G = \eta D \quad (1.16)$$

1.5.10 La polarisation

La polarisation est définie comme étant la direction d'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique. La polarisation d'une onde est une donnée très importante pour l'étude des antennes. En effet selon la composition de l'antenne, elle ne recevra qu'une certaine forme de polarisation. La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est donnée par la direction du champ électrique E . Si E garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne (voir la Figure 1.7). Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné est à polarisation circulaire ou elliptique



- (a) polarisation linéaire.
 (b) polarisation elliptique.
 (c) polarisation circulaire.

FIGURE 1.7 – Polarisation du champ électromagnétique.

Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste toujours dans le même plan. Le champ électrique peut laisser l'antenne dans divers orientations, vertical, horizontale ou dans un angle entre les deux. Le rayonnement verticalement polarisé est presque moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission et l'angle de rayonnement plus bas.

Les antennes omnidirectionnelles ont toujours une polarisation verticale. Avec la polarisation horizontale, de telles réflexions causent des variations dans la force du signal reçu. Les antennes horizontales sont moins sensibles aux interférences causées par les humains, car celles-ci sont généralement polarisées verticalement [8].

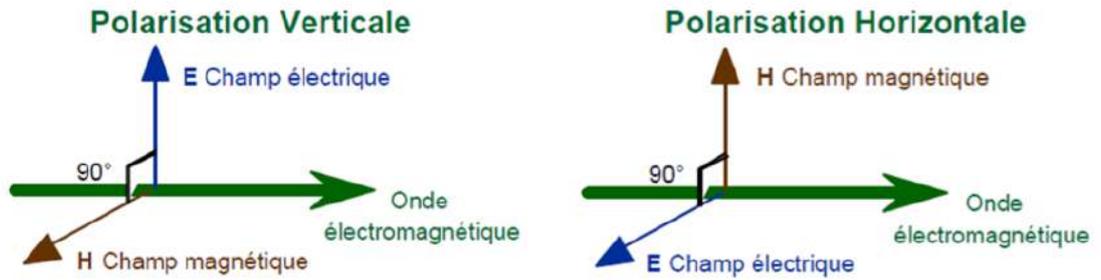


FIGURE 1.8 – Représentation de la polarisation verticale et horizontale .

1.5.11 Facteur de qualité

D'un point de vue électrique, une antenne peut être considérée comme un circuit résonant RLC. La bande passante BW (bande passante à 3 dB de la valeur du champ) est liée au facteur de qualité Q du circuit RLC à la fréquence de résonance f_{res} . Le facteur de qualité représente la quantité de résistance présente lors de la résonance (pour un circuit résonant série comme le montre l'équation (1.17)).

$$Q = \frac{f_{res}}{BW} \Rightarrow \frac{1}{Q} = \frac{R_{ant}}{2\pi f_{res} L_{ant}} \quad (1.17)$$

On dit qu'une antenne rayonne très efficacement à la fréquence de rayonnement sur une bande de fréquence étroite quand on aura un facteur de qualité fort, ce qui peut limiter les interférences hors bande. Cependant, si la bande passante est trop étroite, tout signal émis ou reçu proche des bornes de la bande de fréquence de fonctionnement sera diminués. Une antenne avec un faible facteur de qualité est considérée comme large bande si la fréquence supérieure f_2 est au moins égale à environ deux fois la fréquence inférieure f_1 [15].

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a défini ce qu'était une antenne, et son rôle , ensuite nous avons également présenté ses principaux paramètres caractéristique.

Les antennes qu'on travaille avec eux ont des propriétés selon la quelles elles sont améliorées, on trouve aussi plusieurs techniques existent pour les réaliser. Alors, pour assurer un bon fonctionnement, il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée.

Le chapitre suivant nous intéresserons à la présentation générale plus détaillées sur les antennes microbande .

Bibliographie

- [1] Sibille, Alain, et al. "Conception et caractérisation d'antennes ULB pour communications multimédia haut débit." ,REVUE DE L ELECTRICITE ET DE L ELECTRONIQUE 4 :73-80.2004.
- [2] Balanis, C.A," *Antenna Theory : Analysis and Design*" , John Wiley& Sons, Inc, 1997.
- [3] Odile Picon et coll, "*Les antennes Théorie, conception et application* ", Dunod, ISBN 978-2-10-054245-1,Paris,2009.
- [4] A. Kamil,"*Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz)*" , grade du Maitreès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.
- [5] A.BENOMAR,"*Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications*" , Docteur de l'Universite de Tlemcen et Docteur de l'Universite de limoges, 2015.
- [6] E. Roubine, J.Ch. Bolomey, "*Introduction générale*", Antennes, tome 1, Masson, Paris, France, 1978
- [7] E.A. Wolff,"*Antenna analysis*", John Wiley & Sons, New York, U.S.A, 1966
- [8] Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki ; "*Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHZ*" ; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2013-2014.
- [9] Amina MEFTAHI et Rabia OUZZIR« *Conception des nouvelles topologies des antennes multi fonctionnelles* » 13-jui-2017.
- [10] NIANG, Anna. "*Antennes miniatures et structures électromagnétiques à circuits non-Foster*". Thèse de doctorat. Paris Saclay. 2017.
- [11] Dominic Grenier,"*Antenne et propagation radio*" , Université Laval Québec, Canada G1V 0A6, Hiver 2017.
- [12] Alexander Boyer,"*Antenne & outils et modèles pour la transmission* " institue national des science appliquées de toulouse 2014.
- [13] Ulaby, F.T, "*Fundamentals of Applied Electromagnetics*" , Prentice Hall, 1999.
- [14] M. Gujral, J.L.W. Li,T. Yuan, and C. W. Qiu,"*Bandwidth improvement of Microstrip antenna array using dummy ebg pattern on feedline*" , National University of Singapore, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 127, pp79-92, 2012.
- [15] Makarov, S.N, "*Antenna and EM Modeling with MATLAB*" , John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [16] Abderrahmane Agouzoul ; "*Conception et réalisation d'une antenne à résonateur diélectrique à 60 GHZ pour les applications souterraines*" ; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en ingénierie, Université du Québec, Aout 2013.

- [17] J.D. Kraus, "*Antennas*" , Mc Graw-Hill book company, New York, USA, 1950.
- [18] J.R. James, P.S. Hall, C. Wood, "*Microstrip antenna theory and design*" , Peter Peregrinus Ltd, pp. 103-109, New York, USA, 1981.

Chapitre 2

Généralités sur les antennes microbande

2.1 Introduction

Une antenne microbande est constitué d'un élément conducteur appelé patch imprimé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique, la face inférieure complètement métallisée constitue le plan de masse.

Dans ce chapitre, nous donnons un brève historique sur les antennes patches et description des éléments rayonnants ; nous abordons, leur principe de fonctionnement, leurs techniques d'alimentation , et les méthodes d'analyse les plus utiliser dans ce domaine.

2.2 Historique des antennes imprimées

Le concept des antennes micro rubans fut initialement proposé en 1953 par *Deschamps* au Etats Unis d'Amérique et en France par *Guttan* et *Baissimot* en 1955 [52]. Un peu plus tard le phénomène de rayonnement provenant des discontinuités dans les strip-lines fût observé et étudié par *Lewin* en 1960 .

Au début des années 70, *Byron* décrit une piste rayonnante conductrice gravée sur un substrat diélectrique ($\epsilon_r < 10$) et repose sur un plan de masse .

Par la suite, les caractéristiques des patchs micro-ruban rectangulaires furent publiées par *Howell*. *Weinschel*, de son côté, développa plusieurs géométries de patchs micro-ruban pour l'usage en réseau cylindrique en fusée. Les travaux additionnels sur les éléments basiques du micro-ruban furent publiés en 1975. Le travail de *Nunson* dans le développement des antennes micro rubans a montré que celui-ci était un concept pratique s'étalant à d'autres problèmes relatifs à d'autres systèmes d'antennes .

Le modèle mathématique d'un micro-ruban basique fut initialement réalisé à travers l'application de l'analogie avec les lignes de transmission pour patchs rectangulaires simples. Le diagramme de rayonnement d'un patch circulaire fut analysé et le résultat publié par *Corver*. La première analyse mathématique d'une ample variété de patchs de micro-ruban fut publiée en 1977 par *Lo* et *Al*.

A la fin des années 70, les antennes micro-ruban sont devenues plus connues et utilisées dans divers systèmes de communications. De nos jours elles sont très utilisées dans les appareils téléphoniques, les ordinateurs portables, les systèmes embarqués (missiles, fusées, satellites etc.).[1]

2.3 Description d'une antenne imprimée

La structure générale d'une antenne imprimée est composée d'un conducteur métallique de plusieurs forme quelques soit de forme carré, rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique...etc, placé sur un substrat diélectrique au-dessus d'un plan de masse, utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par l'effet joule et amélioré la bande passante de l'antenne. (Figure 2.1) Généralement, pour une structure rectangulaire, la longueur « L » de la pastille est de $0,3333\lambda_0 < L < 0,5\lambda_0$ ou λ_0 est la longueur d'onde en espace libre. Le patch est sélectionné pour être très mince de telle sorte que $t \ll \lambda_0$ (ou t est l'épaisseur de patch). La hauteur « h » du substrat diélectrique est généralement $0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$. Le constant diélectrique du substrat « ϵ_r » est typiquement dans la gamme $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

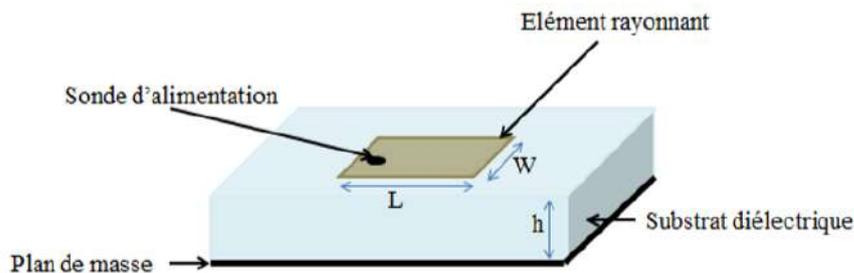


FIGURE 2.1 – structure d'une antenne patch

La fréquence de résonance d'une antenne appartient essentiellement des dimensions du patch, de la constante diélectrique du substrat et dans une moindre mesure, de l'épaisseur de ce dernier [2].

2.4 Format de patch

Les divers formats de l'antenne imprimée sont les plus utilisées a cause de leur faciliter de fabrication et d'analyse , mais avec un diagramme de rayonnement très intéressant, leurs dimensions sont faibles de l'ordre de $\lambda/2$ à λ . La figure suivante montre ces différentes formes [3]

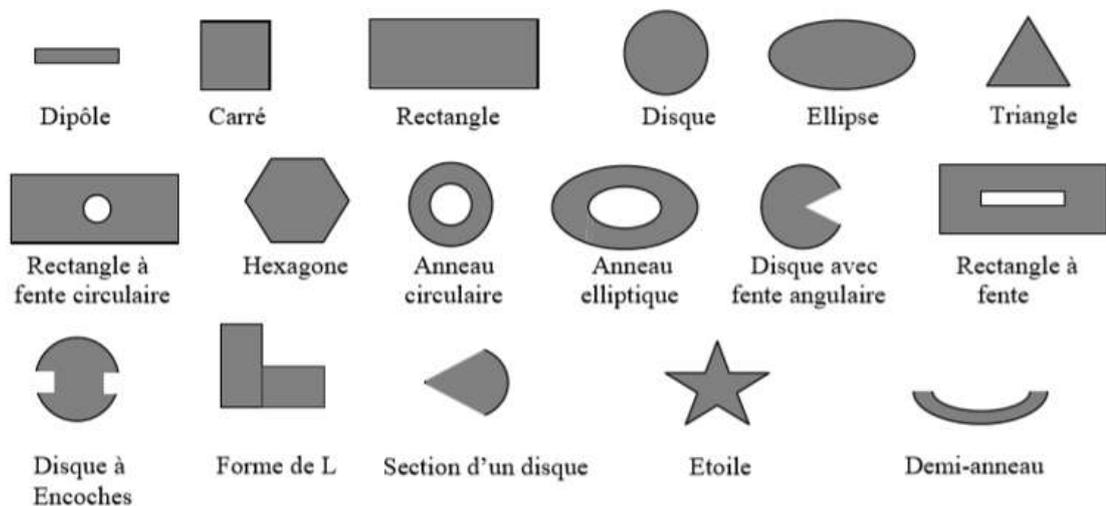


FIGURE 2.2 – Différentes formes d'antennes imprimées[4].

Les patches rectangulaires et carrés sont les premiers et probablement les plus utilisées des formes. Les patches rectangulaires ont tendance à avoir la plus large bande passante et les patches carrés peuvent générer la polarisation circulaire.

Les plaques circulaires et elliptiques sont probablement les deuxièmes formes les plus courantes. Elles sont légèrement plus petites que leurs contreparties rectangulaires et ont donc un gain et une bande passante légèrement inférieurs. Une des principales raisons pour lesquelles la géométrie circulaire était assez étudiée dans le passé est sa symétrie inhérente.

Cela a permis aux outils d'analyse des ondes complètes (full-waves), telle que la technique du domaine spectral à être mathématiquement plus efficace. Les géométries ; triangulaire et disque sont plus petites que les géométries rectangulaire et circulaire, et présentent une réduction de la bande passante et du gain. Les plaques triangulaires ont également tendance à générer des niveaux de polarisation croissante, en raison de leur manque de symétrie dans la configuration.

Des patches à double polarisation peuvent être développés en utilisant ces formes de conducteurs, cependant, la bande passante est généralement très étroite. La géométrie annulaire est la plus petite forme de conducteur, encore une fois aux dépends de la bande passante et du gain.

Un problème associé au patch annulaire est qu'il n'est pas simple pour exciter le mode d'ordre le plus bas et obtenir une bonne adaptation d'impédance à la résonance. Les méthodes d'excitation sans contact sont habituellement requises.

2.5 Principe de fonctionnement

En générale dans sa configuration originale, le comportement de l'antenne est contrôlé à l'aide d'une sonde de courant connectée entre le patch rayonnant et le plan de masse, ce qui va provoquer l'apparition et la distribution de charges qui s'établit au-dessus et en dessous de l'élément, entre le plan de masse et le substrat .

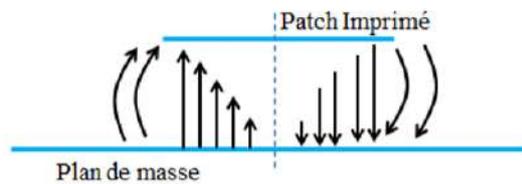


FIGURE 2.3 – Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné : ceux générés par les bords séparés par l'étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ. Ces 2 bords sont donc appelés bords rayonnants.[5]

2.6 Choix de la géométrie et du matériau de l'élément rayonnant

Dans la pratique, les formes des éléments rayonnants les plus souvent utilisées sont le carré, le rectangle, le disque et l'anneau. Des géométries plus élaborées sont toutefois employées pour répondre à des contraintes spécifiques sur l'antenne (en particulier pour générer de la polarisation circulaire).

Les matériaux peuvent être classés suivant leur susceptibilité et leurs variations en fonction de différents facteurs physiques. Lors du passage de l'onde dans l'antenne, le conducteur de l'élément rayonnant s'échauffe et la chaleur est alors dissipée par effet Joule. Pour un métal normal (cuivre), l'impédance de surface est définie comme le rapport des composantes parallèles des champs électrique et magnétique [6].

2.7 Choix du Substrat

Les substrats possèdent aussi des qualités en tant que métaux, leurs propriétés électromagnétiques sont caractérisées essentiellement par trois grandeurs physiques : conductivité, constante diélectrique relative, angle de perte.

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de l'élément rayonnant. Dans le cas où le

matériau du patch de l'antenne est normal comme le cuivre, la permittivité relative du substrat varie de 1 à 12. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité et une bande passante large. Mais dans ce cas, les pertes par onde de surface augmentent 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 permettant la minimisation des ondes de surfaces et des radiations non désirées. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause de la grande perte dans le substrat. [6]

Nous présenterons par la suite un tableau résumant quelques types de substrats :

TABLE 2.1 – Les propriétés de quelques types de substrats.

| Propriétés | RO4003C | RO4350B | FR-4 | Condition |
|---|-----------------|-----------------|-------|---------------------------|
| constant diélectrique ϵ_r (pratique) | 3.38 ± 0.05 | 3.48 ± 0.05 | – | 10GHZ/23°c |
| Design diélectrique ϵ_r (théorique) | 3.55 | 3.66 | 4.3 | 8 à 40 GHZ |
| Dissipation $ta\delta n$ | 0.0027 / 0.0021 | 0.0037 / 0.0031 | 0.025 | 10GHZ/23°c 2.5GHZ/23°c |

2.8 Méthodes d'excitation

Un point important dans l'étude et la réalisation d'antennes imprimées est leur alimentation. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. [7] Les méthodes d'alimentation des antennes plaquées peuvent être classées en deux catégories :

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

2.8.1 Excitation par ligne microbande

L'alimentation peut être établie par la connexion directe à une ligne microbande (Figure 2.4), dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe de symétrie si cela permet une meilleure adaptation d'impédance (généralement de 50 Ohms) [8].

La longueur de la ligne est considérée plus petite que les dimensions du patch. Ce principe assez simple à réaliser fournit la possibilité de fabriquer une structure planaire sur un substrat diélectrique. Cet avantage est l'origine d'une large utilisation d'une alimentation micro-ruban dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [9]. Ce type d'alimentation présente les limitations suivantes :

- Une bande passante étroite.
- Rayonnement parasite possible du circuit de distribution .
- Rayonnement parasite de la distribution ligne – aérien [10]

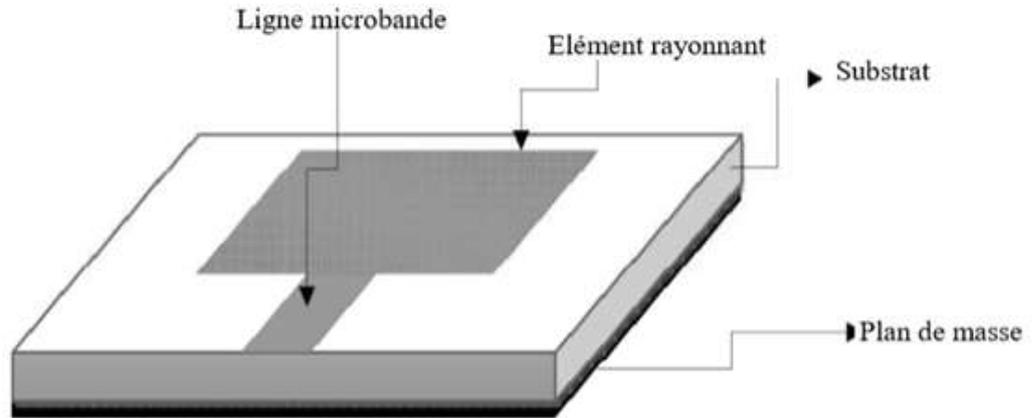


FIGURE 2.4 – Excitation par ligne microbande.

2.8.2 Excitation par câble coaxial

Elle est effectuée par connexion directe à câble coaxial (Figure2.5), où le conducteur central est connecté en un point situé sur l'axe de symétrie de l'élément, plus ou moins près du bord. Le conducteur extérieur de câble coaxial est relié au plan de masse.

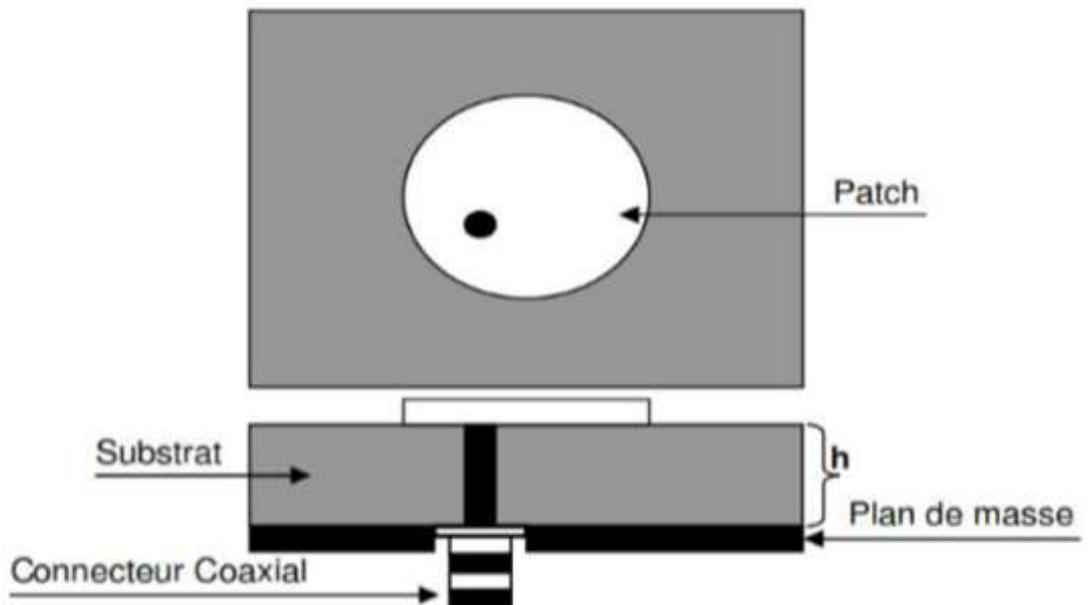


FIGURE 2.5 – Alimentation coaxiale ou par sonde.

Ce type d'alimentation présente les avantages suivants : [10]

- peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch
- Pas de pertes par rayonnement de ligne .
- Sélection possible d'un mode privilégié .
- Obtention de l'impédance d'entrée 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.

Parmi les inconvénients de ce type d'alimentation on trouve :

- Rayonnement parasite de la sonde de type monopolaire.
- Partie selfique ramenée par l'âme du conducteur à prendre en compte .

2.8.3 Excitation par couplage électromagnétique

Ce type d'alimentation se fait par couplage électromagnétique d'une ligne micro-bande à l'élément rayonnant (Figure 2.6). 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 [2]. Parmi les avantages de ce type d'alimentation, on cite : [10]

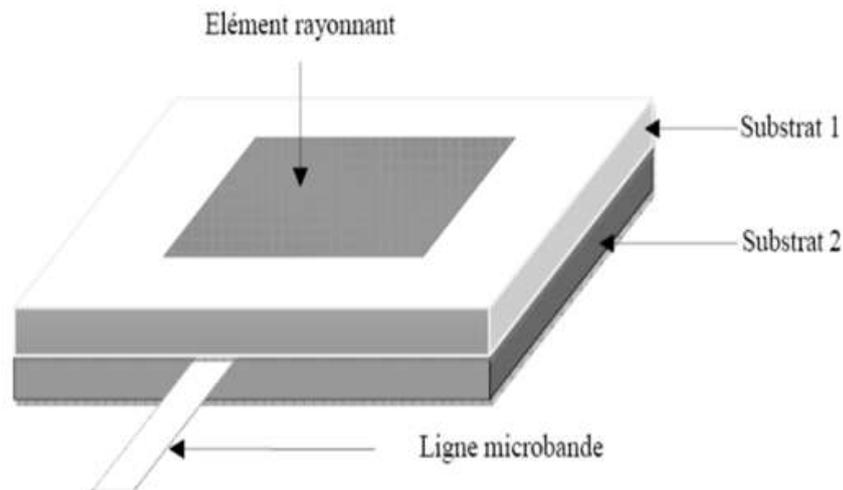


FIGURE 2.6 – Excitation par couplage électromagnétique.

- Bande passante plus large par augmentation de la hauteur .
- Dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens.

Néanmoins elle présente quelques inconvénients :

- Rayonnement parasite de la ligne microruban.
- Difficultés de placage des couches diélectriques.
- Difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de la chaleur.

2.8.4 Excitation au travers d'une ouverture dans le plan de masse

Dans la structure représentée par la figure 2.7, un plan de masse commun sépare la ligne micro ruban d'alimentation. Située en dessous, de l'élément imprimé, située au-

dessus. C'est par l'intermédiaire de la fente usinée dans le plan de masse que s'effectue le couplage électromagnétique entre l'élément rayonnant et la ligne microruban [18].

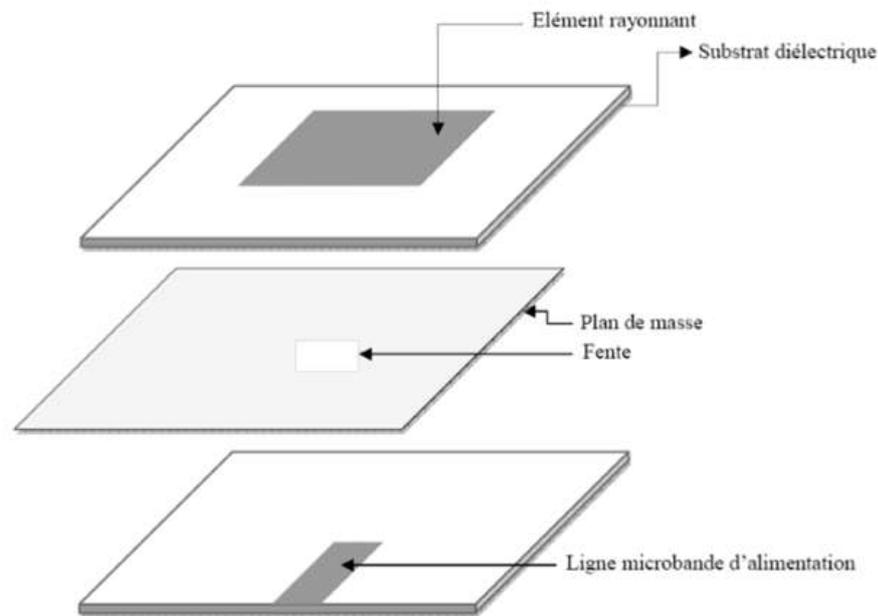


FIGURE 2.7 – Excitation au travers d'une ouverture dans le plan de masse.

Ce type d'alimentation présente les avantages suivants :[10]

- Réalisation du circuit d'alimentation de distribution et de l'aérien indépendant.
- Séparation électromagnétique des deux couches
- Possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente.

Néanmoins il présente quelques limitations :

- Intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions .
- Rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage de l'élément.
- Technologie plus couteuse et complexe (positionnement des deux couches diélectriques, trois faces de métallisation).

2.9 Mécanisme de rayonnement

Pour mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique. Considérons la figure 2.8[10]

La source ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions. Une partie de ce dernier est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arrête du conducteur (b), qui les diffractent et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse. On peut donc envisager trois régions [10]

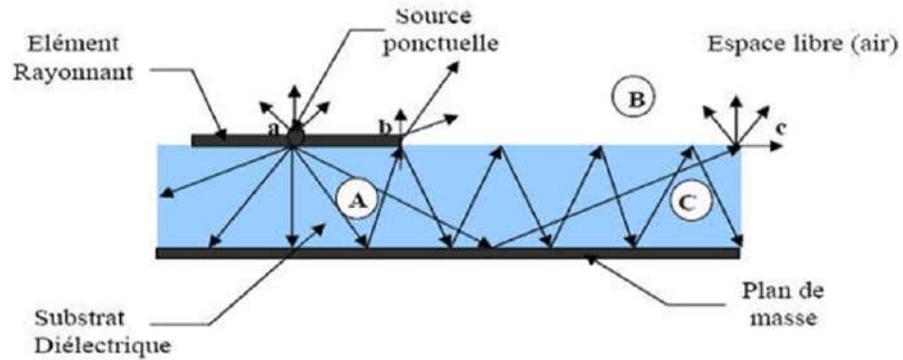


FIGURE 2.8 – Analogie optique du mécanisme de rayonnement

- a .**La région A** : est la plus dense en rayons, le champ électromagnétique s’accumule plus fortement dans cette zone de l’espace. Cette propriété est d’ailleurs utilisée pour la propagation le long des lignes micro-rubans. En basse fréquence les champs restent concentrées dans cette zone, il y a donc propagation sans rayonnement.
- b .**La région B (espace libre)** : occupant tout le demi –espace supérieur à l’antenne, représente une zone où le champ se disperse librement dans l’air et vient s’ajouter au rayonnement propre de la source. Si on augmente la fréquence, ce rayonnement électromagnétique, malgré un rendement restreint, devient significatif d’où un fonctionnement en antenne.
- c .**La région C** : certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante, et restent piégés dans le diélectrique. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique ne contribuant pas directement au rayonnement de l’antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (C), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite.

2.10 Méthodes d’analyses des antennes micro rubans :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l’analyse des antennes microbandes. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans une des deux catégories : méthodes approximatives et méthodes rigoureuses (Full-wave) [11][12].

Les méthodes approximatives sont basées sur des hypothèses simplificatrices donc elles ont des limitations et elles fournissent des solutions moins précises. Elles sont généralement utilisées pour la modélisation des antennes à élément unique à cause de la difficulté rencontrée dans la modélisation du couplage entre les différents éléments. Cependant, elles offrent un bon aperçu physique avec un temps de calcul généralement très petit.

Les méthodes rigoureuses tiennent compte de tous les mécanismes important de l’onde et s’appuient énormément sur l’utilisation d’algorithmes numériques efficaces. Lorsqu’elles sont appliquées convenablement, les méthodes rigoureuses sont très précises et peuvent être employées pour la modélisation d’une variété d’antennes y compris les antennes réseaux. Ces méthodes ont tendance à être plus complexes et fournissent

moins d'aperçu physique. Souvent, elles nécessitent plus de calculs et donc un temps de calculs élevé [13].

2.10.1 Méthodes approximatives (analytiques)

Les méthodes approximatives prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle en question. Parmi ces méthodes, on cite :

- Le modèle de la ligne de transmission ;
- Le modèle de la cavité.

Le modèle de la ligne de transmission

Le modèle de la ligne de transmission est considéré comme le plus simple. Ce modèle exploite l'analogie qui existe entre un patch d'une antenne imprimée et un tronçon d'une ligne de transmission ayant deux bords rayonnants. Ce modèle prend en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle. Dans le modèle de la ligne de transmission, l'inconnu à déterminer est la constante de propagation. Les pertes par rayonnement sont incluses dans le coefficient d'atténuation de la constante de propagation. Cependant, cette technique ne rend pas compte des effets des modes d'ordre supérieur [14].

La fréquence de résonance pour le mode T_{m0} peut être évalué à :

$$f_{rm} = \frac{mc}{2(L + \Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.1)$$

Avec

$$\Delta L = 0.412t \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(\frac{w}{t} + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(\frac{w}{t} + 0.8)} \quad (2.2)$$

c : vitesse de la lumière
 m : indice du mode
 L : longueur du patch
 W : largeur du patch
 t : l'épaisseur du substrat
 ΔL : l'extension de la longueur

Le mode dominant est le mode T_{10}

ϵ_{reff} est la constante diélectrique effective. Elle représente la constante diélectrique, homogène et fictive, de la structure réelle air-substrat comme il est illustré sur la figure 2.9.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{t}{w}\right)^{-\alpha\beta} \quad (2.3)$$

Avec $\alpha = 1 + \frac{1}{49} \log \frac{(\frac{w}{t})^4 + (\frac{w}{52t})^2}{(\frac{w}{t})^4 + 1.432} + \frac{1}{18.7} \log \left[1 + \left(\frac{1}{18.1} \frac{w}{t}\right)^3\right] 0.564 \left(\frac{\epsilon_{reff} - 0.9}{\epsilon_{reff} + 0.3}\right)^{0.053}$

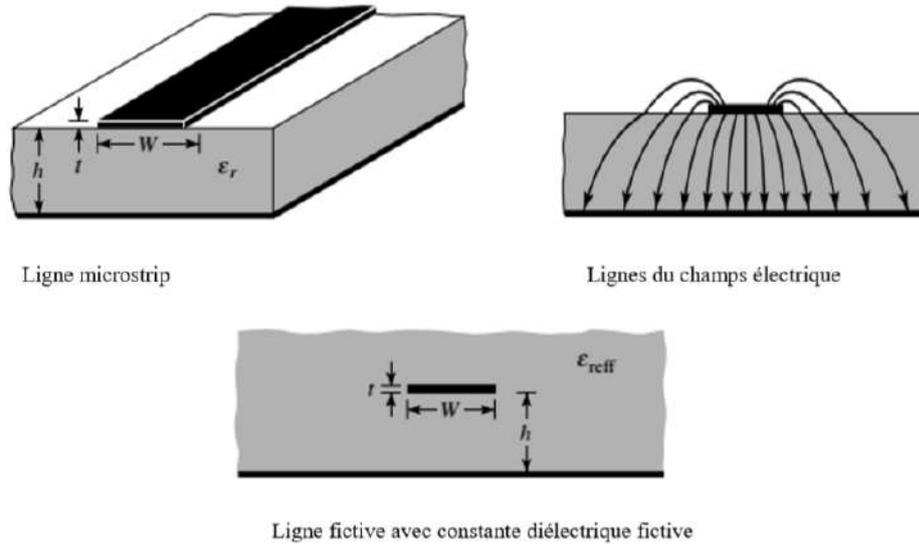


FIGURE 2.9 – Modèle de la ligne de transmission d’une antenne microbande.

Le modèle de la cavité

La structure imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques en bas par un plan de masse en $z = 0$, en haut par une plaque conductrice en $z = h$, et par des murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des champs sur les bords de l’antenne. Pour l’excitation, on prend pour modèle un courant électrique J parallèle à l’axe oz (Figure 2.10) et répartie uniformément.

Pour calculer le champ interne à la cavité, on utilise la méthode dite de raccord de mode. Elle consiste à diviser la cavité en deux régions I et II dépourvues de sources et ensuite à résoudre l’équation de *Helmholtz* (sans second membre) dans chaque région. Les champs lointains sont donnés par le rayonnement des ouvertures verticales et la puissance totale rayonnée est obtenue en intégrant le champ lointain dans tout le demi-espace supérieur [11].

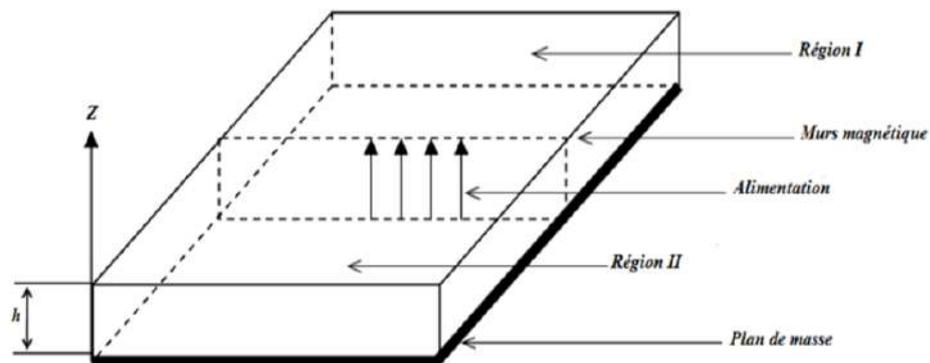


FIGURE 2.10 – Modèle de la cavité [15].

2.10.2 Méthodes numériques

Méthodes des éléments finis

La méthode des éléments finis basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode. Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électriques qui minimisent la fonction d'énergie [16].

Méthodes des différences finies

Elle notée F.D.T.D. Elle permet de calculer à chaque instant discret de l'espace, les composantes du champ électromagnétique dans chaque cellule élémentaire du volume tridimensionnel. On applique la transformée de Fourier à la réponse temporelle pour obtenir la réponse fréquentielle du système .

La méthode des différences finies a été implémentée dans des logiciels commerciaux tels que Fidelity de Zeland [13].

La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM

La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM permet de discrétiser les champs et les courants de la structure étudiée en petits éléments, chacun des ces éléments est considéré comme un ensemble de ligne de transmission et les calculs s'effectuent directement dans le domaine temporel [17].

La méthode des moments

L'utilisation de la méthode des moments dans les problèmes électromagnétiques a été développée pour la première fois par Newman [18], est une manière de résolution d'équations intégrales qui permet de réduire celles-ci en un système d'équations linéaires appliqués aux structures planaires ou quasi-planaires sur les structures 2D [19].

Malgré les avantages de cette méthode [20] , elle souffre de quelques inconvénients tels que :

- La précision exigée pour déterminer les éléments de la matrice d'impédance
- Le temps de calcul qui est important.
- L'existence des solutions parasites.

2.11 Avantages et inconvénients des antennes micro-bandes

Les antennes microbandes ont de nombreux avantages comparés aux antennes micro-ondes classiques et par conséquent plusieurs applications dans la large gamme de fréquences allant de 100MHz à 50GHz sont réalisables. Parmi ces avantages, on peut citer [11]

- Faible poids, petit volume, configuration planaire, faible épaisseur ;
- Simples et robustes ;

- Faible coût de fabrication, production en masse possible ;
- Ces antennes peuvent être placées sur les missiles, les fusées et les satellites sans modifications importantes (flexibilité envers les formes géométriques) ;
- Les antennes ont de petites aires de rayonnement, et faible dimension ;
- La polarisation linéaire comme pour le cas des antennes plaques rectangulaire et circulaire (gauche ou bien droite) est possible avec de légers changements dans la position de l'alimentation ;
- 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 fabriqués simultanément avec la structure de l'antenne ;

Comme tout composant fabriqué, l'antenne patch n'est plus un élément idéal, elle présente par conséquent quelques inconvénients qui peuvent être résumés comme suit :

- Bande passante étroite, souvent associée à des problèmes de tolérance (géométriques et physiques),
- Généralement gain faible dû essentiellement aux pertes importantes et aux limitations pratiques.
- 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
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan
- Le circuit d'alimentation est parfois complexe et il génère des rayonnements parasites qui peuvent compromettre les performances de l'antenne et des équipements voisins

Il s'avère donc que la conception des antennes doit répondre aux compromis entre la performance et la complexité de réalisation. Ainsi, il existe des remèdes à quelques inconvénients, à titre d'exemple, l'insertion d'un trou métallisé entre la plaque rayonnante et le plan de masse permet d'élargir la bande passante et de remédier aux problèmes des décharges électrostatiques et d'écoulement thermique [1]

2.12 Les Applications des Antennes Microbandes

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimées, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences [21].

Pour cette raison, les antennes microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications. Parmi ces applications on cite :

- Les télécommunications par satellites ;
- La commande et contrôle ;
- La télémessure par missile ;
- Les équipements portatifs ;
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes ;

- Les antennes d'émission utilisées en médecine ;
- Les récepteurs satellite de navigation

2.13 Conclusion

Ce chapitre a constitué, dans son ensemble, un bref historique sur les antennes imprimées .

On a mis en évidence l'importance de ces éléments dans les défis technologiques actuels ainsi que leur utilisation dans des secteurs très divers Nous avons montré également quelques techniques d'alimentation, ainsi que les méthodes d'analyses les plus utilisées à des structures microbandes de forme quelconque.

Aucune de ces méthodes numériques citées n'est parfaite, elles présentent toutes des avantages et des inconvénients. Nous avons montré quelques applications des patchs, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Bibliographie

- [1] SOUFIANE, Tebache. "*Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées*". Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra.2013.
- [2] Chouti Leila, "*Contribution à l'étude des antennes imprimées rectangulaires double et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage*", Mémoire de Magister en électronique, option : Micro-ondes ; Université Mentouri de Constantine, Janvier 2009.
- [3] Meriem, MEDDOUR, and BENKEDDA.Siham. "*Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz.*" 2017.
- [4] Aissaoui, Chafika, and Abdemedjid Benghalia. "*Contribution à l'analyse des antennes microbandes avec excitation par la méthode du domaine spectral-Application à un réseau d'antennes microbandes.*" Diss. Mai 2017.
- [5] A.BENOMAR, "*Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques*". Application aux Réseaux de Télécommunications, Docteur de l'Université de Tlemcen et Docteur de l'Université de limoges, 2015.
- [6] S. Courreges, "*Les matériaux ferroélectriques et supraconducteurs appliqués à la conception de dispositifs micro-ondes*", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [7] L. Merad, "*Modélisation et optimisation de réseaux d'antennes imprimées par les réseaux de neurones et les méthodes stochastiques*", Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, juin 2005.
- [8] Pozar, D. M, "*Microstrip Antennas*", Proc.IEEE, Vol. 80, pp. 79-91, 1992.
- [9] T.Itoh and W.Menzel, "*A full-wave analysis method for apen microstip structures*" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol AP 29, PP 63-67, Jan. 1981.
- [10] Aissaoui Djelloul ; "*Analyse à l'Aide de Modèles Equivalents d'Antennes Imprimées Alimentées par Lignes Adaptées*"; thèse de Magister en Electronique, Département d'Electronique, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Mars 2007.
- [11] MEKIMAH Boualem, "*Etude du fonctionnement en mode bi fréquence des patches microbandes empilés et excentrés*", mémoire de Magister, Université de Ouargla.2007.
- [12] M. Titaouine, "*Analyse des antennes microrubans de forme arbitraire par la méthode des moments et le modèle généralisé de la cavité*" Thèse de Doctorat, Université de Sétif, Sept.2007.
- [13] F. Chebbara, "*Etude des caractéristiques de résonance et de rayonnement des antennes microbandes réalisées avec des matériaux ayant une anisotropie de type électrique et magnétique*", Thèse de doctorat, université de Batna, juin 2011.
- [14] M. BELHEDRI.A, "*Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique*", mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.

- [15] BOUFRIOUA Amel, " *Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant*", Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2006.
- [16] CH. ZEBIRI, " *Effet de l'anisotropie tensorielle sur les paramètres des structures planaires.*", Thèse de doctorat, Université de Constantine. 2011.
- [17] Y. TIGHILT, " *identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones*", thèse de doctorat en électronique, Université de Sétif, juin 2011.
- [18] E. H. Newman, and P. Tylyathan, " *Analysis of microstrip antennas using moment methods*", IEEE Transaction on Antennas and Propagations, Vol. AP-29, N°. 1, pp. 47-53, January 1989.
- [19] P. R. Haddad and D. M. Pozar " *Anomalous mutual coupling between microstrip antennas*", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 42, N°. 11, pp.1545-1549, November 1994.
- [20] Soltane Samia, " *Etude Et Caractérisation D'antennes Imprimées Pour Système Ultra-Large Bande*", Thèse De Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, Novembre 2015.
- [21] Abl. B, " *Contribution A L'étude Des Antennes Microstrip Supraconducteur De Forme Triangulaire*", Mémoire De Magister, Université Mentouri Constantine, 2010.

Chapitre 3

Conception

3.1 Introduction

Notre antenne est conçue pour couvrir toute la bande WLAN(2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) et WiMax(3,3-3,6 GHz) . Elle est effectuée et simulée avec le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Elle est alimentée par une ligne microstrip 50 Ω . La phase de conception est passée par trois étapes.

En premier lieu, une antenne de type conventionnelle (plan de masse au dessous du substrat) a été procédé.

Ensuite, on a fait une antenne coplanaire pour augmenter la bande passante.

A la fin nous avons changer la structure coplanaire par le décalage de la ligne d'alimentation, est cette fois nous a donné des bonne résultats qui couvrent les deux bande WLAN et WiMax. Cette dernière structure a été retenue à cause de ses performances qui sont relativement meilleures que celles les deux premières structure.

3.2 conception d'une antenne de base

L'antenne imprimée choisi est de forme rectangulaire alimentée par ligne micro-ruban. La géométrie de cette antenne est donnée à la Figure 3.1.

L'antenne est constituée d'un patch rectangulaire de dimension $w_p \times L_p = 30 \times 25$ mm, imprimé sur la face de dessus d'un substrat de type RogersRO4003C de dimensions $w_g \times L_g = 60 \times 50$ mm, et de permittivité relative $\epsilon_r = 3.38$, de tangente de pertes $\tan \sigma = 0.0027$ et d'épaisseur $h = 1.524$ mm. Le patch est alimenté par une ligne micro-ruban (50 Ohm) de largeur $w = 3.5$.

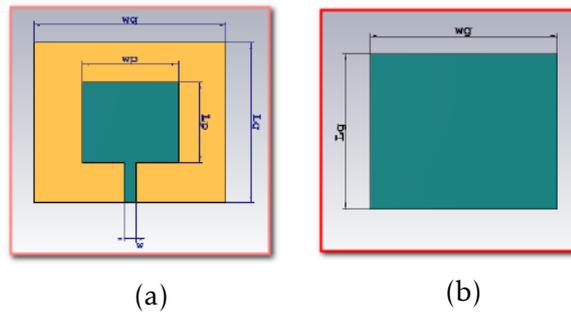


FIGURE 3.1 – Géométrie de l'antenne de base,(a) vue du dessous, (b) vue du dessus

Les paramètres géométriques de l'antenne sont regroupés dans le tableau paramétrique suivant :

TABLE 3.1 – Paramètres géométriques de l'antenne de base.

| Paramètres | w_g | L_g | W_p | L_p | W |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Valeurs(mm) | 60 | 50 | 30 | 25 | 3.5 |

3.3 Résultats de simulation pour l'antenne de base

3.3.1 Coefficient de réflexion

Les résultats du simulation du coefficient de réflexion sont représentés dans les figures 3.2 et 3.3.

Ces résultats montrent que l'antenne présente une bonne adaptation dans la bande (5.1535-5.2672 GHz), avec un coefficient de réflexion inférieur à -10dB .

Ainsi l'antenne présente une bande passante très faible de 2.182%.Un coefficient de réflexion minimal de -22.922dB est obtenu à la fréquence de 5.211GHz pour la bande WLAN . Cette bande ne permet pas de couvrir les deux bande WLAN (2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) et WiMax (3,3-3,6 GHz).

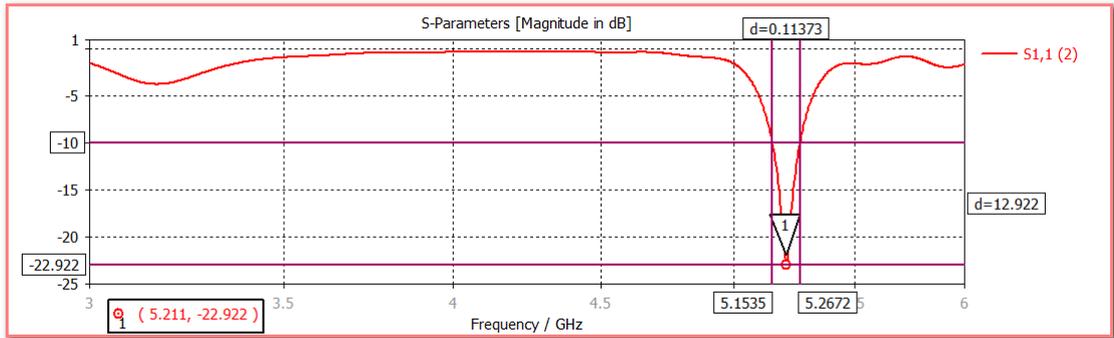


FIGURE 3.2 – Coefficient de réflexion de l’antenne de base.

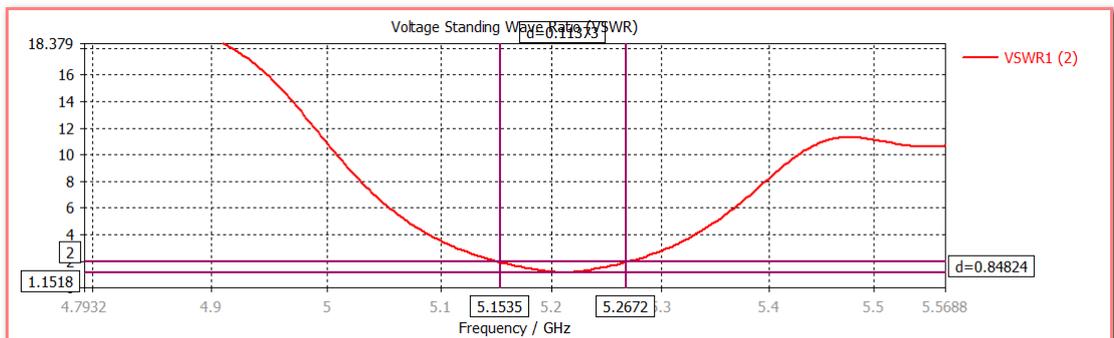


FIGURE 3.3 – VSWR de l’antenne de base.

3.3.2 Diagramme de rayonnement

Dans les figures 3.4 et 3.5 , nous avons présenté le diagramme de rayonnements en 3D et en coordonnées polaires dans le plans E et le plans H, simulés pour la fréquence de résonance 5.211GHz.

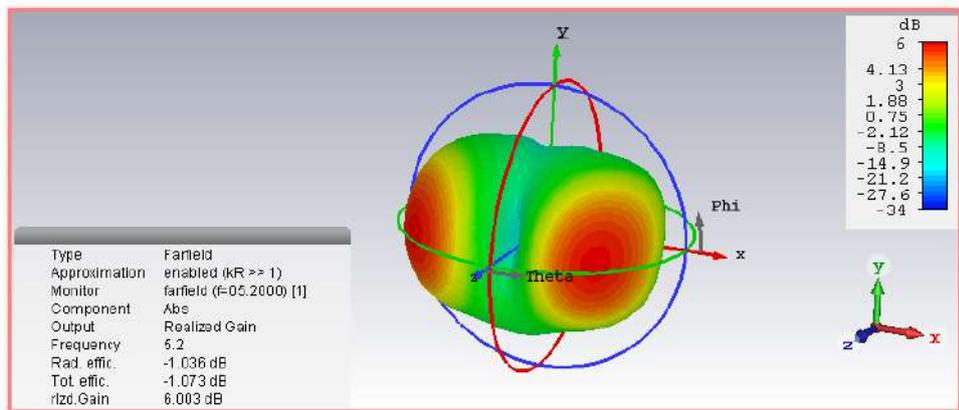


FIGURE 3.4 – Diagramme de rayonnement en 3D pour f=5.2GHz

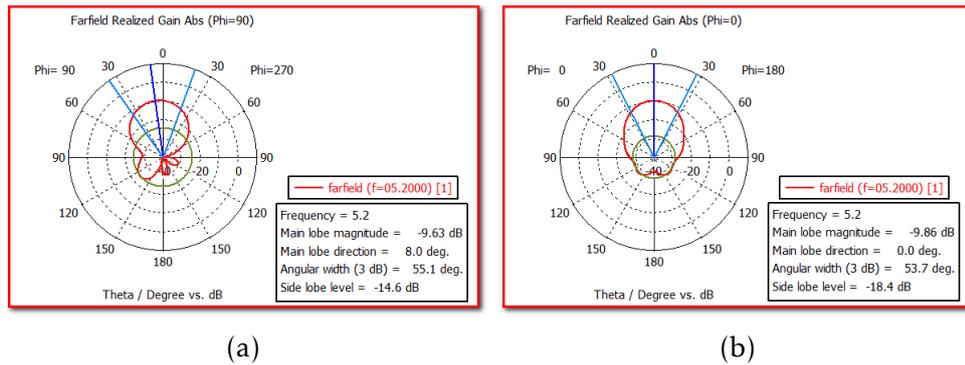


FIGURE 3.5 – Diagrammes de rayonnement polaire ,(a) plan E , (b) plan H.

Il est clair que le diagramme de rayonnement de l’antenne pour la fréquence 5.2GHz dans le plan E est directionnelle, de même pour le plan H et aussi les lobe secondaire sont moins importants que le principale.

3.3.3 Gain et Directivité

Les résultats de simulation pour le gain et la directivité sont représentées dans la figure ci-dessus :

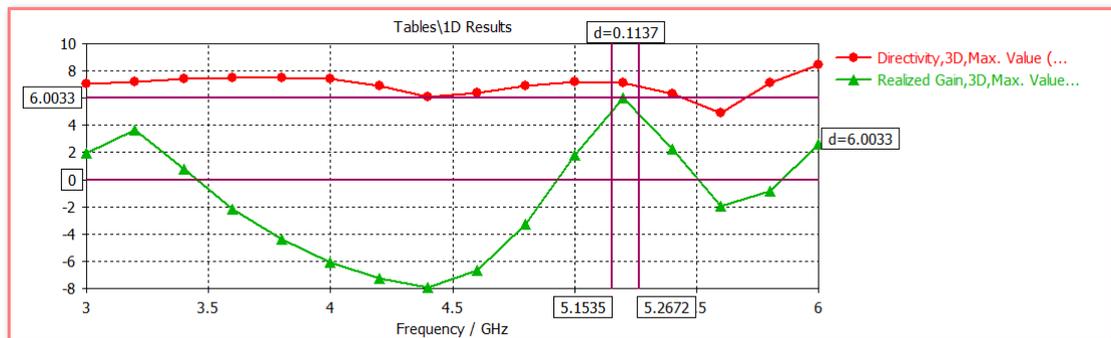


FIGURE 3.6 – Le gain et la directivité en fonction de la fréquence

D’après les résultats obtenus, on remarque que le gain prend une valeur maximale 5.9 dB. Le gain et la directivité sont proche dans la bande [5.1535-5.2672] cela indique que le rendement est très acceptable avec une valeur 76.23% dans la fréquence de résonance 5.2GHz.

Les résultats de l’antenne de base sont résumés dans le tableau 3.2.

A partir le tableau, l’antenne de base présent des bons résultats telle que la directivité et le gain, ce qui donne un bon rendement avec une bande passante étroite .

Comme cette antenne présente une bande passante étroite, elle ne permet pas de couvrir les deux bande WLAN(2.4,5.8 GHz) et WiMax(3.5GHz) . Il est donc nécessaire de modifier la structure pour élargir la bande passant. Pour cela on a opté a une structure coplanaire.

TABLE 3.2 – Résumé de résultats.

| Caractéristique | Antenne de base |
|-------------------------|-----------------|
| $S_{11}(\text{min})$ | -22.922 |
| BP(%) | 2.182 |
| VSWR(min) | 1.1518 |
| Gain(dB)(5.2GHz) | 5.9001 |
| Directivité(dB)(5.2GHz) | 7.0784 |
| rendement(%) (5.2GHz) | 76.23 |

3.4 Antenne Coplanaire

Les structures coplaires présentent une bande passante relativement large par rapport aux structures simples. La figure 3.7 représente la structure d'une antenne de type coplaire qui est composée un plan de masse placé au même plan que l'élément rayonnant. La figure ci dessus montre la géométrie de cette antenne CPW :

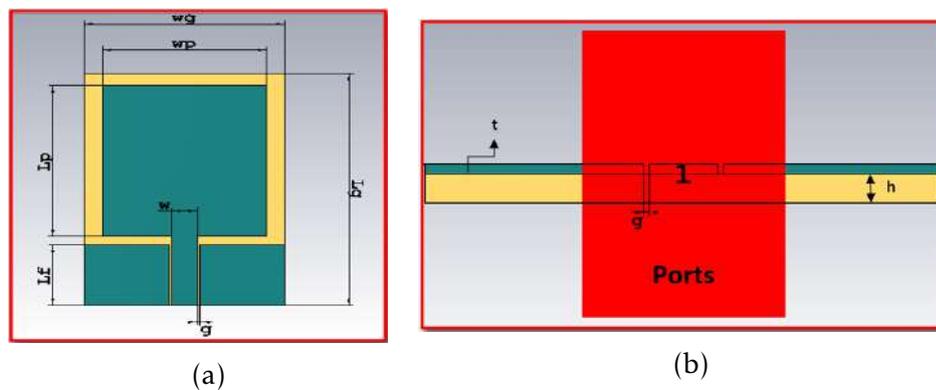


FIGURE 3.7 – géométrie de l'antenne coplanaire ,(a) vue du dessous,(b) vue de coté (coté ligne d'alimentations)

Le tableau suivant regroupe tous les paramètres caractéristiques de cette antenne :

TABLE 3.3 – Paramètres géométriques de l'antenne CPW

| Paramètres | wg | Lg | Wp | Lp | W | Lf | g | h | t |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Valeurs(mm) | 26.7 | 41.1 | 21.9 | 26.8 | 3.51 | 10.7 | 0.30 | 1.24 | 0.017 |

3.5 Résultats de simulation de l'antenne CPW

3.5.1 Coefficient de réflexion

Les résultats de simulation pour le coefficient de réflexion (S_{11}) est représenté dans les figures 3.8 et 3.9.

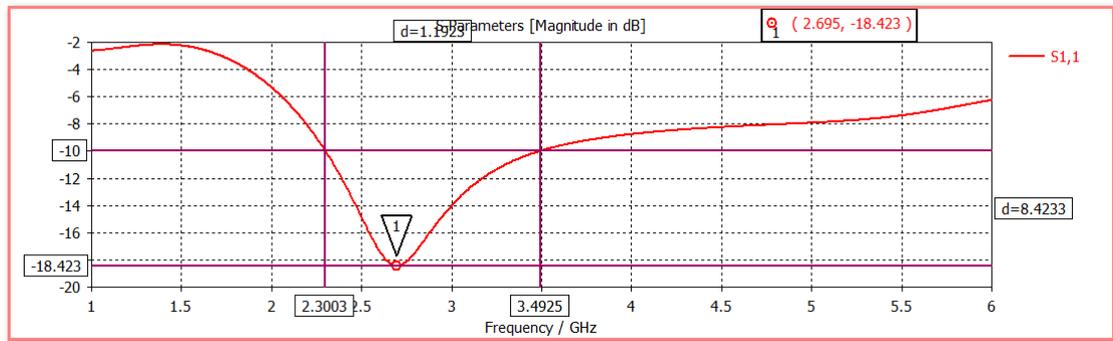


FIGURE 3.8 – Coefficient de réflexion de l'antenne CPW

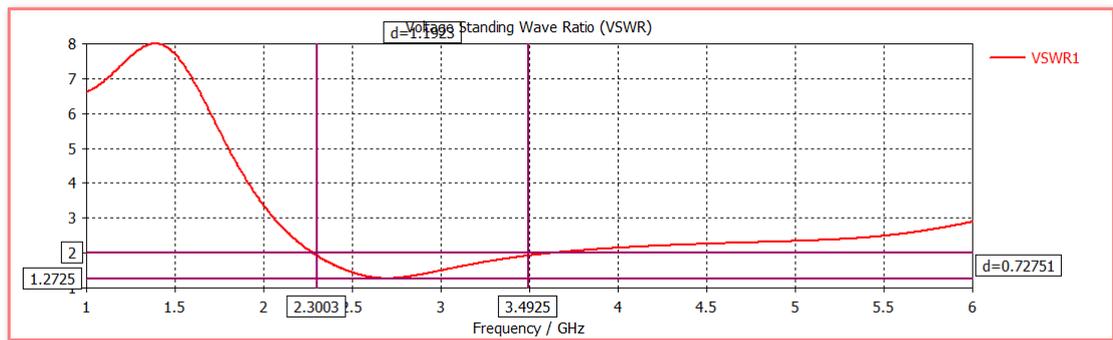


FIGURE 3.9 – VSWR en fonction de la fréquence

D'après les résultats obtenus, on remarque que la bande passante est large par rapport à l'antenne de base avec une valeur 20.58 % . Un coefficient de réflexion minimal de -18.423dB est obtenu à la fréquence de résonance 2.695 GHz .

Cependant notre bande passante nous ne permet pas de couvrir toute la bande WLAN. Aussi nous observons que l'antenne est bien adaptée dans la bande $[2.3003-3.4925]$.

3.5.2 Diagramme de rayonnement

Les figures 3.10 et 3.11 montre les diagrammes de rayonnements en 3D et en cordoné polaire pour le Plan E et le Plan H à les fréquences 2.424GHz , 2.7GHz , 3.45GHz .

On remarque que le diagramme de rayonnement est bidirectionnels dans le plans E et omnidirectionnelle dans le plans H.

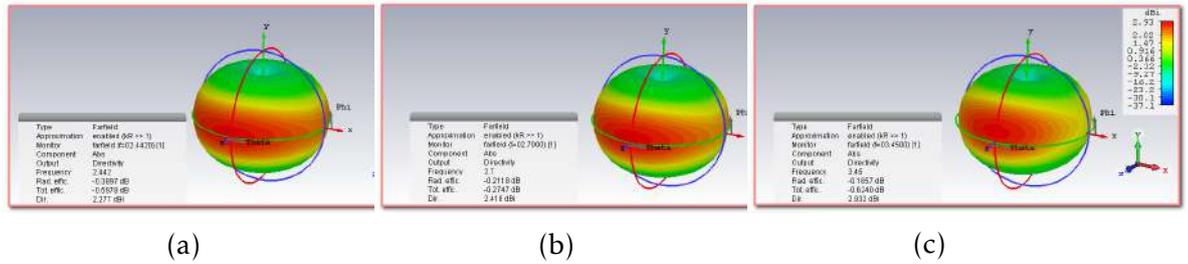
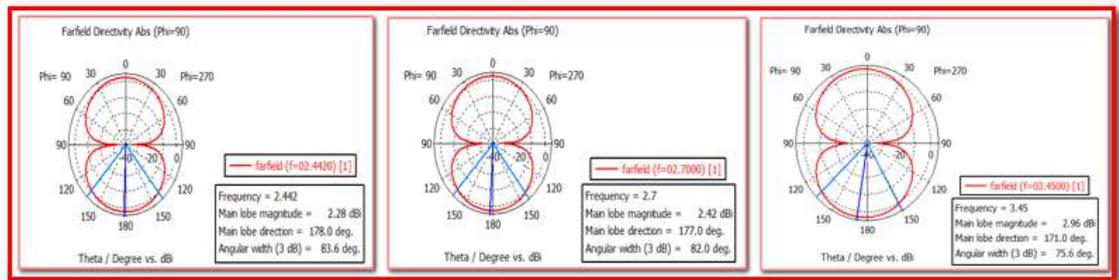


FIGURE 3.10 – Diagramme de rayonnement en 3D,(a) 2.442GHz,(b)2.7GHz , (c) 3.45GHz

(A) plan E



(B) plan H

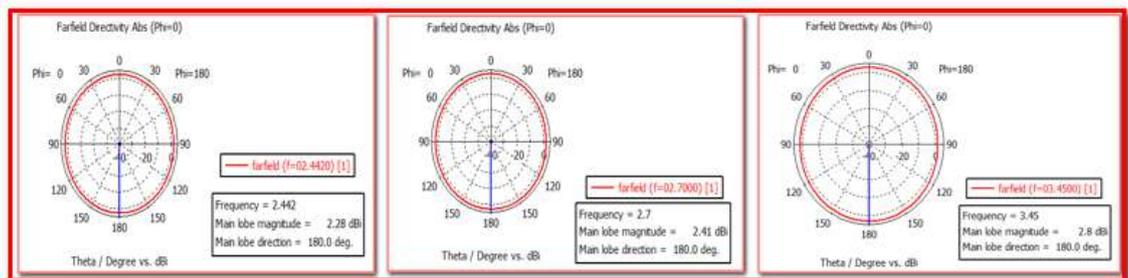


FIGURE 3.11 – Diagramme de rayonnement en cordonnée polaire ,(A) plan E , (B) plan H

3.5.3 Gain et Directivité

La figure 3.12 montre la directivité et le gain en fonction de la fréquence.

D’après les résultats obtenus, on remarque que le gain prend une valeur maximal égale 2.3258.Cette valeur est inférieure par rapport a l’antenne de base .Mais les valeurs de gain et de la directivité sont très proche ce qui donne un très bon rendement avec une valeur 92.83% dans la fréquence(3GHz).

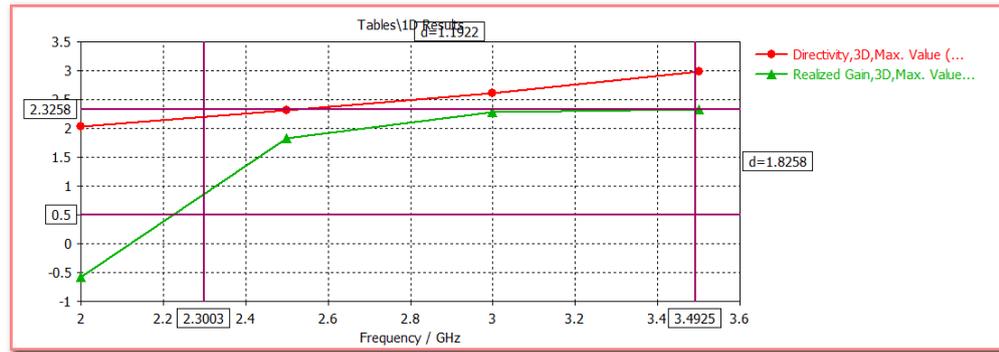


FIGURE 3.12 – le gain et la directivité en fonction de la fréquence

Les résultats de l’antenne CPW sont résumés dans le tableau suivant.

TABLE 3.4 – résumée de résultat

| Caractéristique | Antenne CPW |
|-----------------------|-------------|
| S11(min) | -18.423 |
| BP(%) | 20.58 |
| VSWR(min) | 1.2725 |
| Gain(dB)(3GHz) | 2.2806 |
| Directivité(dB)(3GHz) | 2.6033 |
| Rendement(%) (3GHz) | 92.83 |

A partir du tableau 3.4, on constate une amélioration considérable par rapport à l’antenne de base.

- On observe une augmentation importante au niveau de la bande passante,
- Un rendement meilleur par rapport à l’antenne de base
- L’inconvénient est que le gain et la directivité sont très faibles

La bande passante ne couvre pas toutes les bandes qui nous intéressent. Elle couvre uniquement la bande WLAN, qui est juste une partie de la bande WiMax. Il est nécessaire de faire d’autres modifications pour améliorer la bande passante. Pour cela, nous avons procédé au décalage de la ligne d’alimentation.

3.6 Antenne CPW asymétrique

Dans cette structure, on a gardé les mêmes dimensions de l’antenne CPW précédente, on a décalé la ligne d’alimentation par une certaine valeur, afin de voir l’effet de ce dernier sur les résultats de l’antenne.

La figure 3.13 donne la géométrie de cette antenne avec le décalage tr_x .

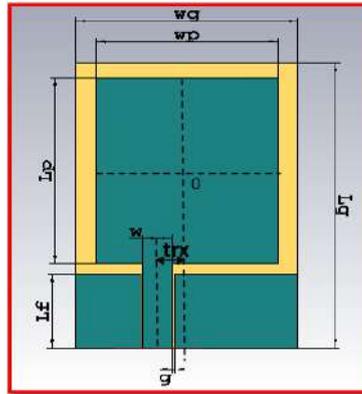


FIGURE 3.13 – Géométrie de l’antenne asymétrique

3.7 Résultats et simulation

3.7.1 Coefficient de réflexion

Les résultats de simulation pour le coefficient de réflexion et le VSWR pour différentes valeurs de tr_x sont donnés dans les figures 3.14 et 3.15.

Les valeurs de la position tr_x sont données au tableau 3.5.

TABLE 3.5 – Valeurs de la position de la ligne d’alimentation tr_x .

| Paramètre | tr_x | | | |
|-------------|--------|----|----|------|
| Valeur (mm) | -3 | -4 | -2 | -3.5 |

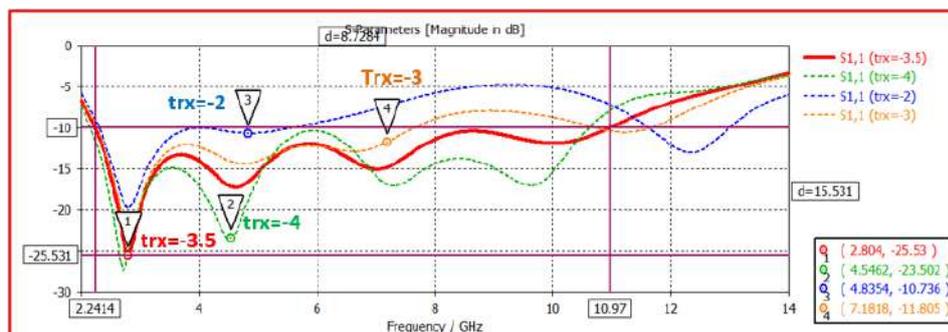


FIGURE 3.14 – Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

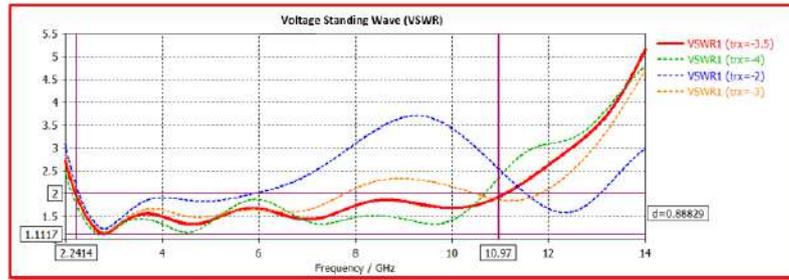


FIGURE 3.15 – VSWR en fonction de la fréquence

À travers des Figures, on constate que la position optimale de la ligne est $trx=-3.5$ tell que la bande passante est égale à 132.13 GHz. (allant de 2.2414 à 10.97 GHz).

3.7.2 Diagramme de rayonnement

Les résultats de simulation de diagramme de rayonnement en 3D et en cordonné polaire pour l’antenne CPW asymétrique sont donné dans les figures 3.16 et 3.17.

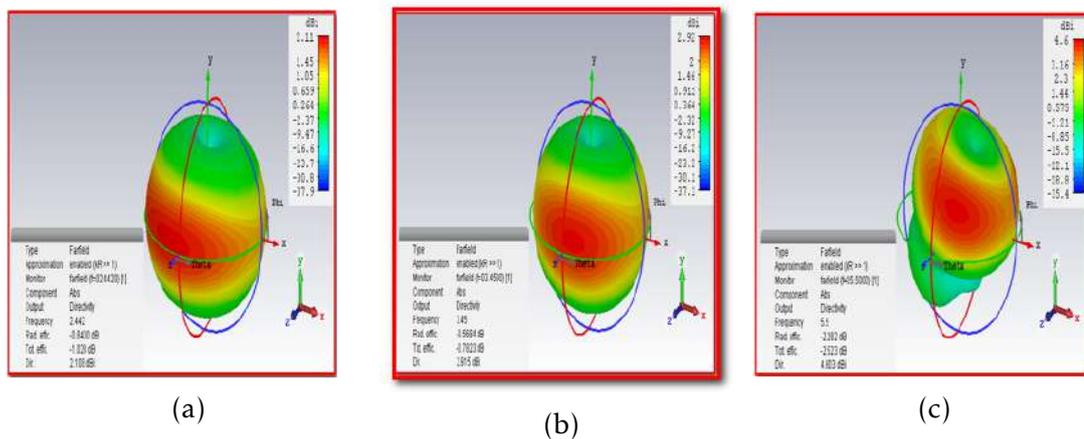
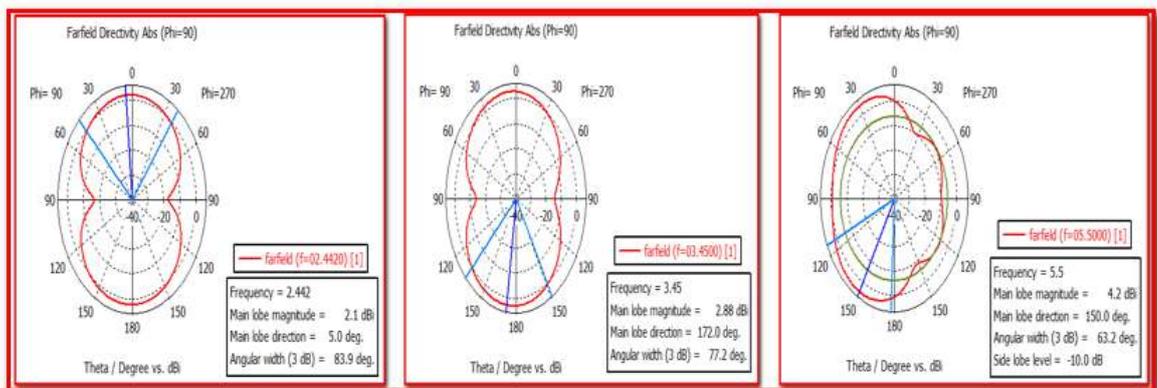


FIGURE 3.16 – Diagramme de rayonnement en 3D,(a) 2.442GHz,(b)3.45GHz , (c) 5.5GHz

(A)Plans E



(B)Plans H

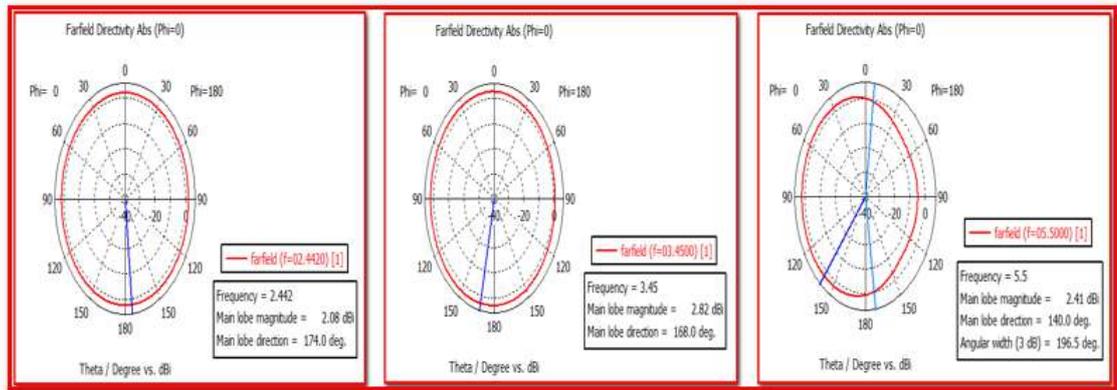


FIGURE 3.17 – Diagramme de rayonnement en coordonnée polaire ,(A) plan E , (B) plan H

A partir des figures, on remarque que les diagrammes de rayonnement sont bidirectionnels dans le plan E et omnidirectionnelle dans le plan H.

Lorsque la fréquence augmente le diagramme de rayonnement subit une déformation que ce soit dans le plan E ou dans le plan H, mais dans ce dernier la déformation est moins importante que celle du premier.

3.7.3 Gain et Directivité

Les résultats du gain et la directivité obtenus aux différentes fréquences sont représentés dans la figure dessus.

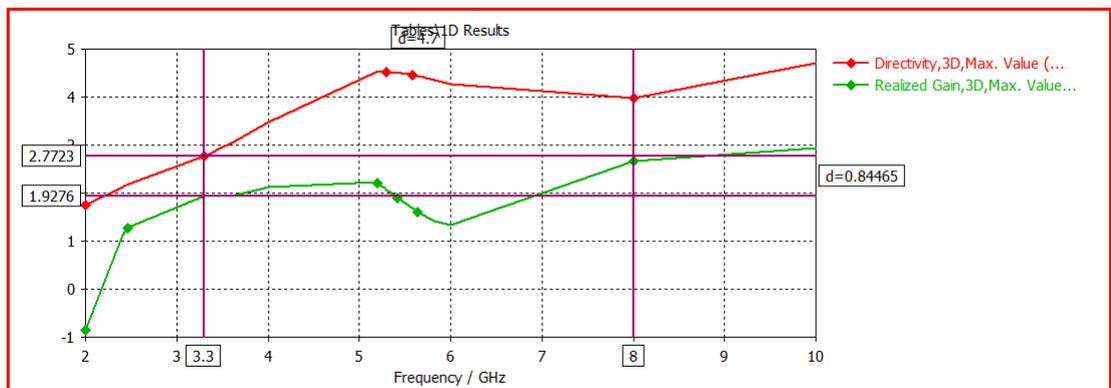


FIGURE 3.18 – le gain et la directivité en fonction de la fréquence

D'après les résultats obtenus, on remarque que le gain prend une valeur maximale 1.92 à la fréquence 3.3 GHz ce qui donne un rendement égale 82.32%.

Les résultats de l'antenne CPW sont résumés dans le tableau 3.6

TABLE 3.6 – résumée de résultat

| Caractéristique | Antenne CPW asymétrique |
|-------------------------|-------------------------|
| S ₁₁ (min) | -25.531 |
| BP(%) | 132.13 |
| VSWR(min) | 1.1117 |
| Gain(dB)(3.3GHz) | 1.9 |
| Directivité(dB)(3.3GHz) | 2.77 |
| Rendement(%) (3.3GHz) | 82.32 |

A partir du tableau 3.6 , on constate une amélioration considérable par rapport aux deux structure(conventionnelle et CPW) .

Mais malgré ces résultats, nous avons perdu le gain et la directivité.

3.8 Tableaux de comparaison

Le tableau 3.7 résume les résultats de simulations des trois structures d’antennes.

TABLE 3.7 – Tableau Comparatif entre les trois différentes antennes

| caractéristique | Les antennes | | |
|-----------------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| | Antenne de base | Antenne CPW | Antenne CPW asymétrique |
| Dimension (mm) | 60x50 | 26.7x41.1 | 26.7x41.1 |
| S ₁₁ (min) | -22.922 | -18.423 | -25.531 |
| BP (%) | 2.182 | 20.58 | 132.13 |
| VSWR (min) | 1.1518 | 1.2725 | 1.1117 |
| Gain (dB)max | 6.0033(5.2GHz) | 2.2806(3GHz) | 1.9(3.3GHz) |
| Directivité (dBi)max | 7.0765(5.2GHz) | 2.6033(3GHz) | 2.77(3.3GHz) |
| Rendement (%) | 78.10(5.2GHz) | 92.83(3GHz) | 82.32(3.3GHz) |

D’après le tableau de comparaison, on a vu que les performances dans la bande passante ont été améliorées durant le changement de chaque structure , le plan de masse de type coplanaire a l’effet d’élargir la bande passante et aussi le décalage de la ligne d’alimentation a augmenté la bande passante de façon considérable.

3.9 Discussion et interprétation des résultats

- Les résultats de l'antenne de base présentent une bande passante étroite et un bon gain et un rendement satisfaisant.
- La bande passante de l'antenne coplanaire (CPW) c'est bien par rapport à l'antenne conventionnelle. Les dimensions de l'antenne ont été réduites.
- Le diagramme de rayonnement de cette antenne permet de visualiser les lobes en deux et trois dimensions. Dans le plan H ($\phi=0^\circ$) ou dans le plan E ($\phi=90^\circ$) contenant le lobe le plus important. En observant le diagramme de rayonnement en 3D, on remarque que la plupart du rayonnement pour les trois fréquences (2.442, 3.45, 5.5 GHz) va dans la direction oz avec un petit angle d'ouverture dans ces fréquences. Cette antenne a un gain maximum de 2.28dB.
- Les résultats de l'antenne coplanaire avec une ligne d'alimentation décalée montrent une bonne amélioration dans la bande passante de ces deux premières structures.
- La bande passante de l'antenne proposée convient aux applications large bande. L'antenne proposée fonctionne dans d'autres applications comme le UWB, les communications par satellite ...etc.

3.10 Tableau de comparaison avec [1]

Les comparaisons de certaines performances de notre antenne proposée avec d'autres antennes sont résumées dans le Tableau suivant. Les résultats sont comparés avec ceux de la référence [1], qui propose une antenne patch de forme carrée avec une large bande passante et un plan de masse compact pour les applications sans fil. L'antenne est conçue à partir d'un matériau diélectrique FR4 d'une hauteur de 1,6 mm et d'un ϵ_r de 4,4.

Nous constatons qu'il y a une miniaturisation dans les dimensions de l'antenne.

TABLE 3.8 – Comparaison de nos résultats avec la référence [1].

| Antenne | caractéristique | | | |
|-------------------|-----------------|--------|--------------|---------------------------|
| | Dimension(mm) | BP(%) | Rendement(%) | Matériaux |
| l'antenne proposé | 41.1 x 26.7 | 132.13 | 82.32 | RO4003C $\epsilon_r=3.38$ |
| ref[1] | 40x43 | 136.59 | - | FR4 $\epsilon_r=4.4$ |

3.11 Conclusion

L'antenne conventionnelle qui a été conçue donne une bande passante qui ne couvre pas notre besoin pour les application WLAN et WiMax.

Une antenne CPW est fait pour améliorer la bande passante.Cette dernier permet de couvrir uniquement la sous bande WLAN 2.4 et une partie de la bande WiMax.

A la fin on à fait une structure CPW pour élargir la bande passante avec une décalage de la ligne d'alimentation. Ceci a permit de couvrir toute la bande WLAN et WiMax et d'autre application telle que le ULB.

Bibliographie

- [1] Abedin, Zain Ul, and Zahid Ullah. "*Design of a Microstrip Patch Antenna with High Bandwidth and High Gain for UWB and Different Wireless Applications.*" INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTER SCIENCE AND APPLICATIONS 8.10 : 379-382.(2017).

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail est la conception d'une antenne micro-strip large bande pour les applications WLAN (2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) et WiMax (3,3-3,6 GHz). Pour atteindre notre objectif, nous avons passé par trois étapes durant la conception de cette antenne.

En premier lieu, une antenne conventionnelle a été effectuée. Cette antenne présente une bande passante étroite, ce qui ne lui permet pas de couvrir toute la bande WLAN et WiMax, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement satisfaisant.

En deuxième lieu, une structure coplanaire a été conçue pour élargir la bande passante. Pour cela, nous avons opté pour une antenne avec une alimentation coplanaire (CPW). Cette technique est largement utilisée pour la conception d'antennes larges bandes ou ultra larges bandes (ULB). Dans ce contexte, nous avons modifié notre antenne en utilisant cette technique, ce qui a permis de réduire les dimensions de l'antenne pour avoir les bandes désiré.

Pour améliorer encore les performances de l'antenne, une structure coplanaire avec ligne d'alimentation décalée, a été réalisée. Les Résultats obtenus présentent une large bande passante qui a permis de couvrir les deux bandes .Cette bande permet d'avoir d'autres applications dans le spectre radio fréquence comme la technologie UWB.

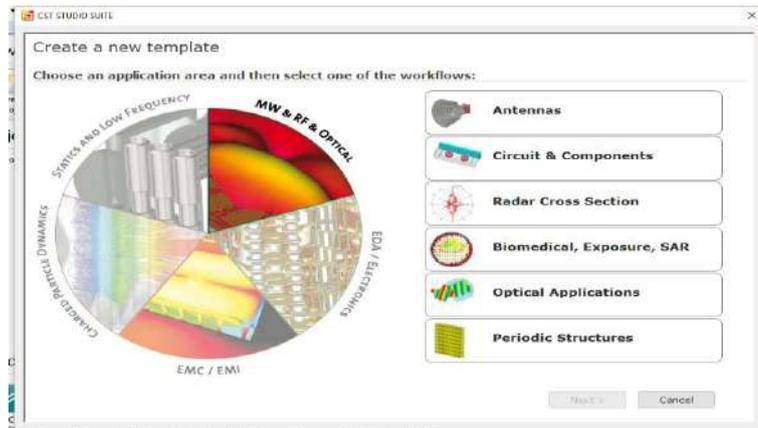
La réalisation de ce projet a énormément approfondi nos connaissances théoriques dans le domaine des antennes, ainsi que l'utilisation du logiciel CST. Une large bande passante a été obtenue, mais le gain reste relativement faible.

En perspective, notre structure pourra subir des modifications géométriques ou l'introduction d'autres techniques pour améliorer le gain, la directivité et par conséquent le rendement.

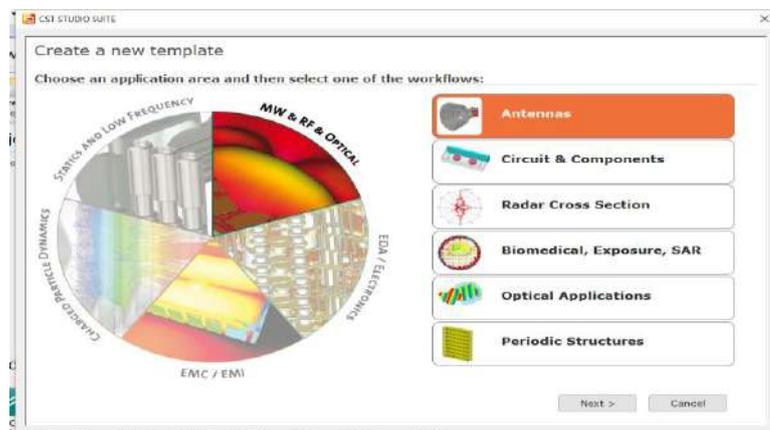
ANNEXE

Création De L'antenne Patch:

Après le lancement du simulateur CST par un double click, créer un nouveau projet. Vous serez invité à sélectionner "MW & RF & OPTICAL"

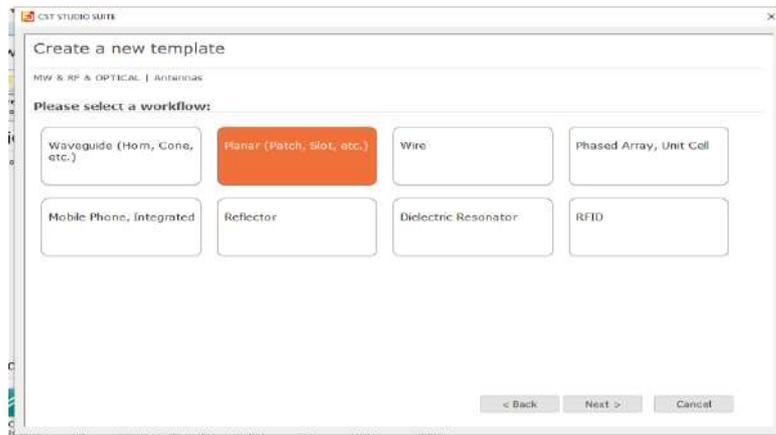


Après vous choisissez "Antennas"

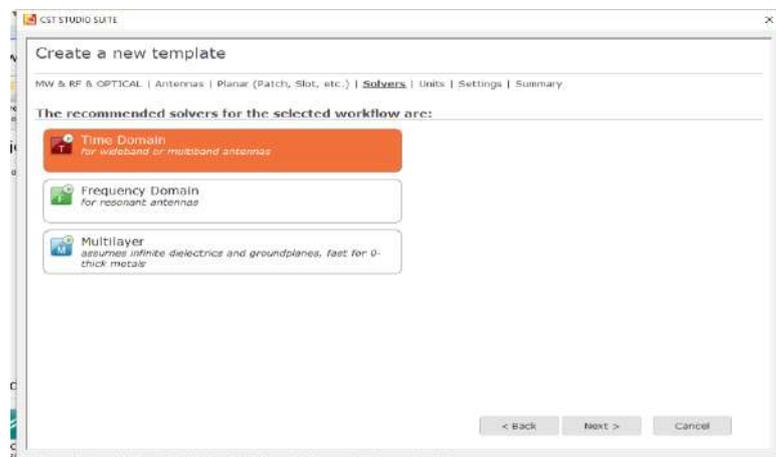


Next→ "Planar " comme montre la figure suivant:

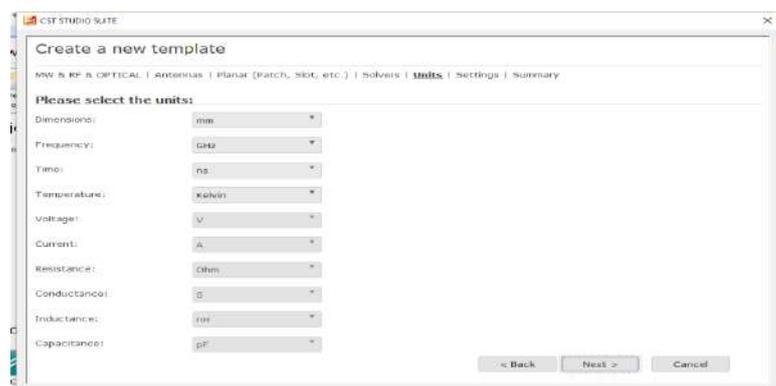
ANNEXE



Ensuite vous cliquez sur next → Time Domain



Choisissez les paramètres qui font définir les unités des dimensions, fréquences, temps et température... etc.

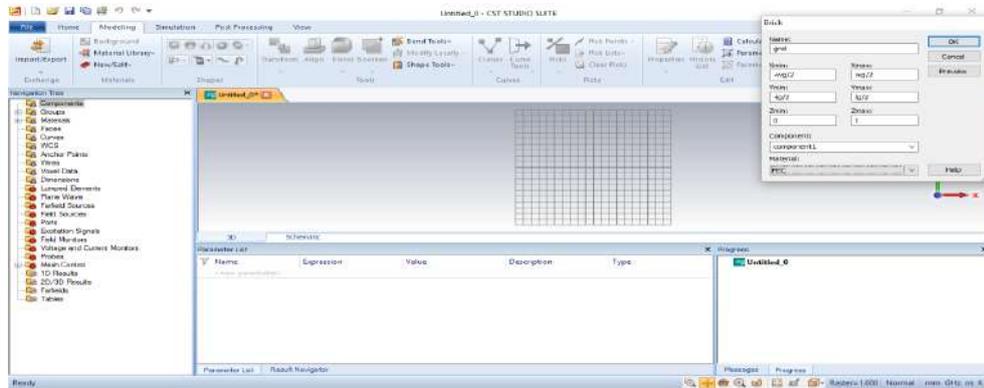


Dessiner la structure :

Pour la modélisation de la structure d'antenne, un certain nombre de différents outils de conception géométrique pour des géométries typiques tel que les Briks, les cylindres, les sphères. Ces formes peut être ajoutées ou se croisent à l'aide des opérations booléens pour construire des formes plus complexe.

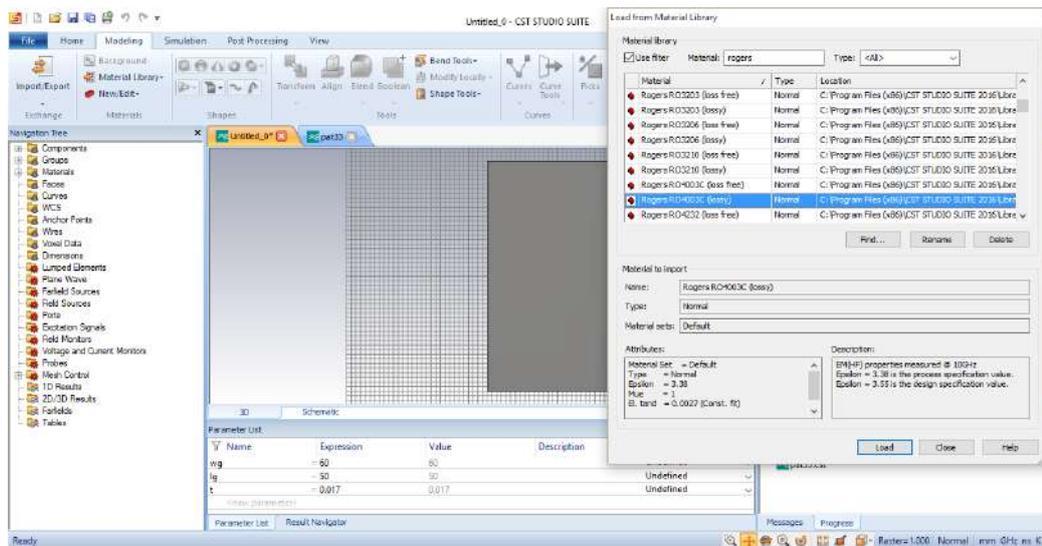
a. Création de plan de masse

Modeling → Briks → Echap → ajouter les dimensions.



b - Création du substrat

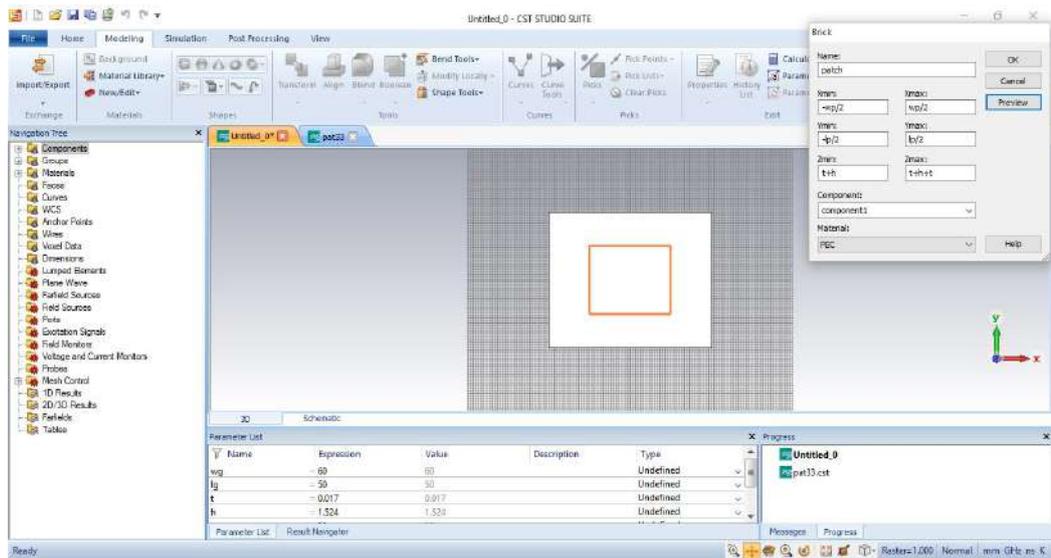
Suivez les mêmes étapes précédentes, avec le choix du type de substrat.



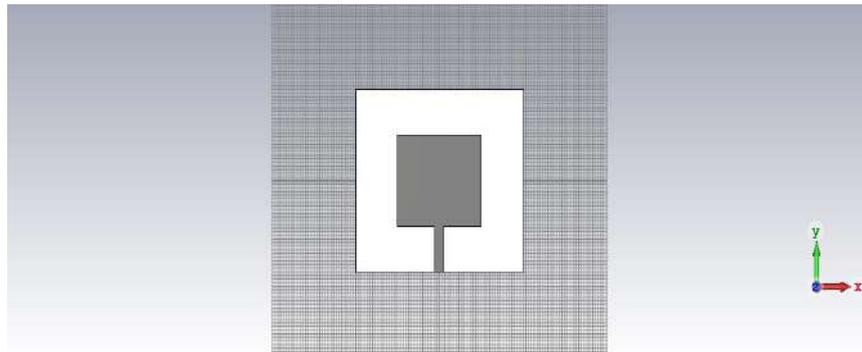
c. Création de l'élément rayonnant et sa ligne d'alimentation :

Dans cette partie, dessiner le patch avec les dimensions que vous choisissez.

ANNEXE



Ensuite, ajouter la ligne d'alimentation.



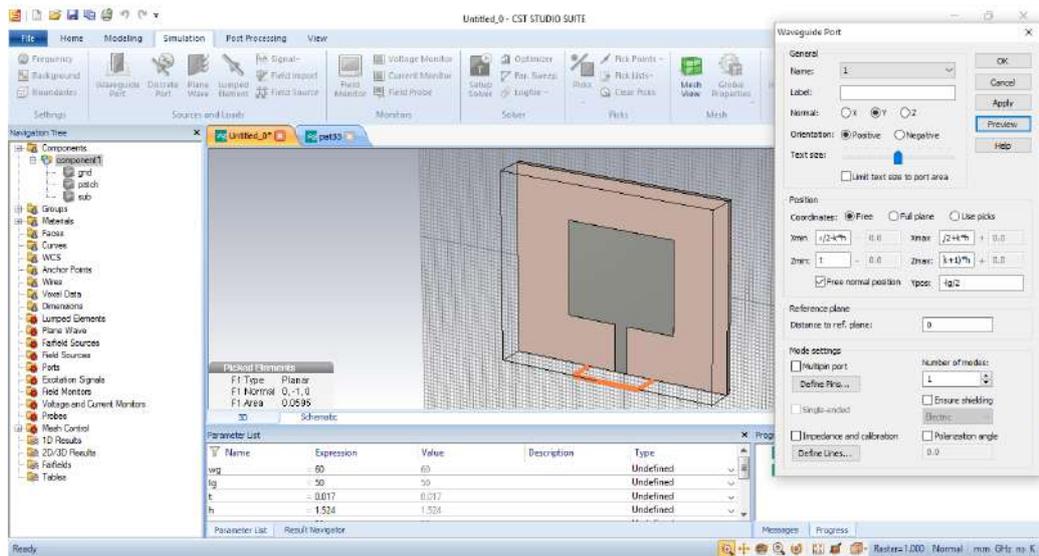
Définir les Ports :

Chaque structure d'antenne a besoin d'une source d'énergie à haute fréquence d'excitation des ondes électromagnétiques désiré.

Vous pouvez définir le port tel que guide d'onde ou une source de courant ou de tension par un port discret en choisissant simulation → Waveguide Port

La définition correcte des ports est très importante pour obtenir des résultats précis des paramètres S.

ANNEXE

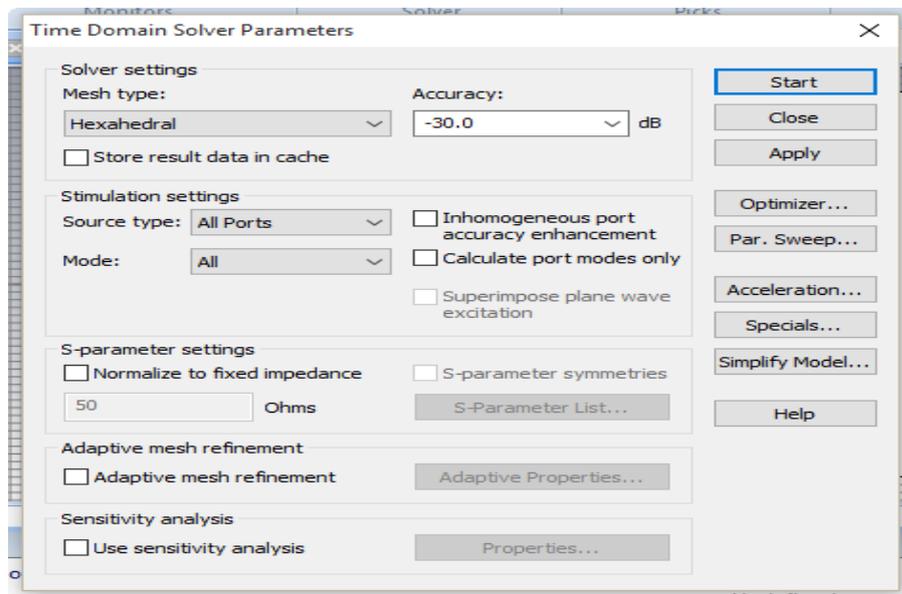


Définir la gamme de fréquences :

Vous pouvez spécifier la gamme de fréquence en choisissant simulation → frequency dans le menu principale. Les réglages de fréquences sont importants parce que le générateur de maillage ajustera le raffinement de maillage à la gamme de fréquences spécifiée.

Démarez la simulation :

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, vous êtes prêt à commencer votre première simulation. Démarrer la simulation en choisissant le setup solver.

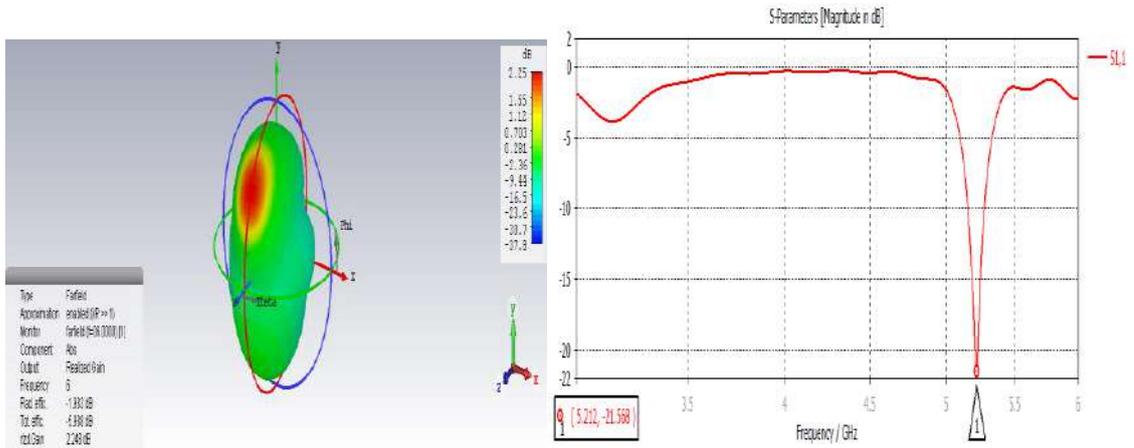


Résultats de simulation :

Après l'exécution avec succès d'une simulation, vous serez en mesure d'accéder aux résultats des différentes calculs et récupérer les données de sortie obtenus dans la partie «1D Results

ANNEXE

». Les différents graphes que nous pouvons visualiser telle que le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement sont représentés ci-dessous.



Résumé

L'objectif de ce mémoire est consacré à la conception et la simulation des topologies d'antennes large bande basées sur la technologie CPW (Coplanar Wave Guide) pour couvrir les bandes WLAN (2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) et la bande WiMax (3,3-3,6 GHz). La conception d'antenne, se base essentiellement sur la géométrie de l'élément rayonnant, le type du substrat et l'épaisseur de ce dernier, afin d'avoir une structure qui résonne dans des fréquences désirées pour des applications précises. La conception et la simulation de l'antenne microbande est conçus par le simulateur CST. Cette conception s'est déroulée en trois étapes. En premier lieu, une antenne de base est conçue. Cette antenne n'a pas donné les résultats souhaités en ce qui concerne la bande passante qui ne couvrait pas toutes les plages de nos besoins. Deuxièmement, on a fait une antenne de type coplanaire (CPW) dont l'objectif d'élargir la bande passante. La bande reste relativement faible pour pouvoir couvrir les bandes souhaitées. Finalement, une structure coplanaire avec un décalage de la ligne d'alimentation est étudiée. Les résultats obtenus permettent l'utilisation de cette antenne pour les applications WLAN et WiMax.

Mots clés : antenne microbande, bande passante, CPW, WiMax, WLAN

Abstract

The objective of this dissertation is devoted to the design and simulation of broadband antenna topologies based on CPW (Coplanar Wave Guide) technology in order to cover WLAN (2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) and WiMax (3,3-3,6 GHz) bands. The antenna design, based essentially on the geometry of the radiating element, the type of the substrate and the thickness of the latter, to have a structure that resonates in desired frequencies for specific applications. The design and simulation of the microstrip antenna have performed by the CST simulator. This design is carried out in three steps. First, a basic antenna was created. This antenna presents a narrow band, which cannot cover all the desired bands. Second, a coplanar type antenna (CPW) is designed to enhance the bandwidth. The obtained band remains relatively small to cover all the bands. Finally, a coplanar structure with a shift of the feed line is studied. The obtained results allow the use of this antenna for WLAN and WiMax applications.

Keywords: microband antenna, bandwidth, CPW, WiMax, WLAN

المخلص

خصص الهدف من هذه المذكرة لتصميم ومحاكاة طوبولوجيا الهوائيات عريضة النطاق القائمة على تقنية (دليل الموجات CPW Coplanar) من أجل تغطية نطاقات WLAN (2,412-2,484 GHz et 5,18-5,825 GHz) و WiMax (3,3-3,6 GHz). إن تصميم الهوائي، الذي يعتمد أساساً على هندسة العنصر المشع، ونوع الركيزة وسمك الأخير، يكون له بنية يتردد صداها في الترددات المرغوبة لتطبيقات معينة. تم تنفيذ تصميم ومحاكاة هوائي microstrip من قبل برنامج CST، تم تنفيذ هذا التصميم في ثلاث خطوات. أولاً، تم إنشاء هوائي أساسي. هذا الهوائي لم يعط النتائج المرجوة فيما يخص النطاق العريض الذي لم يغطي جميع نطاقات احتياجاتنا. ثانياً، تم تصميم هوائي من النوع (CPW) لتعزيز عرض النطاق الترددي. لا يزال النطاق الذي تم الحصول عليه صغيراً نسبياً لتغطية جميع النطاقات المرجوة. أخيراً، تمت دراسة بنية متسلسلة مع تحول لخط الإمداد عن موضعه. تسمح النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام هذا الهوائي لتطبيقات WLAN و WiMax.

الكلمة المفتاحية: هوائي النطاق العريض، عرض النطاق الترددي، CPW، WiMax، WLAN.