République **A**lgérienne **D**émocratique et **P**opulaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique



Université YAHIA Farés de Médéa

Faculté des Technologies

Département de Génie Electrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Electrique

Option : Télécommunication

Thème :

Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande wifi

Réalisé par :

- ZEGHAR Selma
- MECHTI Zahia

Dirigé par :

- Mr. BAKHTI Mimen

Soutenue publiquement le 14. /06 /2018, Devant le jury composé de :

BESSGHI Mourad	Université de Médéa	Président
ELSAID Bilel	Université de Médéa	Examinateur
MIMEN Bakhti	Université de Médéa	Encadreur

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciement

*Enpremier lieu nous devons remercier **Dieu,** le tout puissant qui nous a donné la volonté, la patience et le courage pour mener ce travail à son terme.*

J'exprime mes remerciements dévoués à Mr. BAKHTI Mimen mon encadreur, me voudrais également lui témoigner mon gratitude pour sa patience qui me précieux afin de mener mon travail à bon port.

Je remercie mon professeur Mr.MESSADI qui nous a aidés pour réaliser la partie pratique

Mes vifs remerciements va également aux membres du jury pour l'intérêt qu'il ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

J'exprime aussi toute ma reconnaissance et gratitude à l'administration et à l'ensemble du corps enseignant du département Génie Electrique et Informatique YAHIA FARES et spécialement le chef département : Ms.GASSMI pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme.

En fin, nous voulons témoigner nos gratitudes à tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin afin de réaliser ce travail.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon père, ma mère, mes chères sœurs et mon frère.

A mes charmantes nièces et mon petit neveu et tous les membres de la Famille Zeghar et la famille Kak.

A mon promoteur : Mr BEKHTI Mimen.

A mon professeur : Mr MESSADI Abdelwafi.

A mes chères copines et à mon

binôme Zahia, et à toutes mes amis et mes camarades de groupe TELECOMS.

A tous ceux qui me connaissent

Et qui m'aiment surtout.

ZEGHAR Selma

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail.

Tout d'abord je tiens à remercier dieu le tout puissant de m'avoir

Donné la santé, la volonté et le courage.

Ensuite, à mon père et ma mère pour leurs soutiens et leurs encouragements

Mon marie, sa famille qui me donne une vie plein du bonheur

A ma fille nihal soudjoud que je lui souhaite une longue vie.

A mes chers frères youcef, mourad, djalal, sahraoui, pour lesquels j'ai beaucoup d'estimes.

A ma petite sœur férial que je lui souhaite une longue vie pleine de joie et de réussite.

A mes oncles, mes tantes et toute ma famille.

A mes amis << KARIMA ,ZAKIA ,MONA,ASMA >>

En particulier mon collègue du présent projet selma zaghar

Qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année mastère système de télécommunications.

A notre encadreur M.mimen

Et a tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement d ce projet

Avec réussite

Mechti zahia

الملخص

في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية ، هناك هوائيات ذات شرائط دقيقة لها أهمية كبيرة في انبعاث واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية وإيجاد تكاملاتها في مختلف معدات الاتصالات السلكية واللاسلكية مثل الهواتف المحمولة ... إلخ.

مشروعنا مخصص لتصميم ومحاكاة الهوائيات التي تعمل في نطاق التردد 2.5GHz " WIFI إلى 6 GHz، حيث تم إجراء مناقشة للنتائج التي تم الحصول عليها لمعرفة تأثير التحجيم على المعلمات. الإشعاع ، الكسب ، الانعكاس ، والتوجيهية تم إجراء هذه المحاكاة باستخدام برنامج.HFSS

كلمات البحث: الهوائي المطبوع، متغير شريطي، نطاق الترددي.

Résumé

Dans le domaine des télécommunications, on trouve les antennes micro-rubans qui ont une grande importance en émission et réception des ondes électromagnétiques et qui trouvent leurs intégrations dans divers équipements de télécommunication tels que les téléphones mobiles...etc.

Notre projet est consacré à la conception et à la simulation des antennes microbandes qui fonctionnent dans la gamme fréquentielle WIFI ‘’ 2.5GHz à 6GHz, où une discussion des résultats obtenues a été effectuée pour voir l’effet de dimensionnement sur les paramètres (diagramme de rayonnement, le gain, le coefficient de réflexion et la directivité. Cette Simulation a été effectuée en utilisant le Logiciel HFSS.

Mots-clés: antenne imprimée, diagramme de rayonnement, microbandes, bande passante, fréquence de résonance, HFSS,……..

Abstract:

In the field of telecommunications, there are micro-ribbons antennas that have a great importance in emission and reception of electromagnetic waves and find their integrations in various telecommunications equipment such as mobile phones ... etc.

Our project is dedicated to the design and simulation of microstrip antennas that operate in the frequency range WIFI " 2.5GHz to 6GHz, where a discussion of the results obtained was performed to see the sizing effect on the parameters. radiation, gain, reflectance, and directivity This simulation was performed using the HFSS software.

Keywords: Patch antenna, radiation pattern, microstrip, bandwidth, resonance frequency, HFSS

Table des matière

Dédicace .....…….…….....

Remerciement .....……..…..……...

Résumé……..……

Table des matières…….……. I

Liste des figures……..…….…….…… IV

Liste des tableaux ....……...…… VI

Liste des abréviations…… VII

Introduction générale……. 1

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de télécommunications

I. 1 Introduction…….…..……...... 3

I.2 Les systèmes de télécommunication……...……. 3

I.2.1 La liaison point à point…….……. 3

I.3 Les réseaux sans fil……..... 3

I.3.1 Transmissions sans fil……...……. 4

I.4 Principe de propagation des ondes électromagnétique……. 5

I.4.1Elaboration des équations de Maxwell…… 5

I.5 Le spectre micro-ondes……. 6

I.6 Les réseaux filaires…… 7

I.7 Les technologies sans fil……...……..... 7

I.7.1 Le Wi-Fi……...……..... 7

I.7.2Définition de Wi-Fi……..……..... 7

I.7.3Les différentes normes wifi……...……..... 8

I.8 Antenne pour les télécommunications……. 8

I.8.1 introduction……..……. 8

I.8.2Définition…… 8

I.8.3Le rôle d'une antenne……..……... 8

I.8.4 comment rayonne une antenne……..……..... 10

I.8.5 Paramètres de l'antenne…….……..... 11

I.8.6 Différents types d'antennes……..……...….. 14

I.9 Conclusion…….…….……..... 20

Chapitre II : Etude et caractéristiques des antennes microbandes

II.1 Introduction……..……... 21

II.2 Historique……..……... 21

II.3 Description des antennes microbandes……...…….. 21

II.3.1 Les substrats……...……..……..……... 22

II.4 Alimentation des antennes plaquées……..…… 23

II.4.1 Alimentation directe par une ligne micro ruban……...……. 23

II.4.2 Alimentation par câble coaxiale……...…….……. 24

II.4.3Alimentation couplée par ouverture……..……..…… 24

II.4.4 Alimentation couplée par proximité……...…….……... 25

II.5 Techniques de miniaturisation pour les antennes micro ruban..... 26

II.5.1 Introduction de court-circuit……..…….……..….. 26

II.5.2Utilisation d'éléments localisés……..……..…..... 27

II.5.3Modification de la géométrie……...…….. 28

II.5.4 Utilisation d'un matériau pour réduire la longueur d'onde guidé…… 29

II.6 Principe de fonctionnement……...……..… 31

II.7 Les caractéristiques électriques d'une antenne micro ruban…….….. 32

II.7.1 Impédance d'entrée de l'antenne…..…….. 32

II.7.2. Coefficient de réflexion et R.O.S……..……..……. 33

II.8 Type de réseaux d'antennes……..……..……..... 33

II.9 Les applications des antennes imprimées……..……..…….. 34

II.10 Les avantages et les inconvénients des antennes patchs……..... 35

II.11 Conclusion……..……. 35

Chapitre III : simulation et discussion des résultats

III.1 Introduction ……... 36

III.2.Présentation du logiciel ANSYS HFSS (High Frequency Structure Simulator)…… 36

III.2.1 Definition ……. 36

III.2.2 Configuration principale ……..…… 36

III.2.3 Création du projet en HFSS ……....…….. 37

III.2.3.1 Ouvrir un projet HFSS……. 37

III.2.3.2 Etapes de réalisation du projet …… 40

III.3. Résultats et discussions……. 44

III.3.1 Cas d'antenne microbande Carré ……...……. 44

III.3.1.1 Maillage……. 45

III.3.1.2 Analyse…….. 45

III.3.1.3 Vérification du modèle…….. 46

III.3.2 Cas d'antenne microbande Rectangle ……...… 54

III.3.3 Cas d'antenne microbande rectangulaire à fentes (déformée) …….. 62

III.3.4 Tableau comparatif des résultats …….. 69

III.9. Conclusion……. 69

Conclusions Générale……...……... 71

Références bibliographique……

Liste des figures

Figure I.1 : La relation point à point. 3
Figure I.1 : La relation point à point. 7
Figure I.2 : Les différentes catégories de réseaux informatiques. 9
Figure I.3: Schéma de principe d'un système de communication radio. 10
Figure I.4 : Rayonnement d'une antenne. 11
Figure I. 5: Diagramme de rayonnement d'une antenne direct. 14
Figure I.6: Exemple de polarisation. 15
Figure I.7 : Antenne dipolaire. 16
Figure I.8: Boucle magnétique. 16
Figure I.9: Antenne cornet. 17
Figure I.10 : Réseau de fentes. 18
Figure I.11 : Antenne à réflecteur parabolique. 18
Figure I.12: Antenne à réflecteur parabolique. 19
Figure I.13: Antenne Imprimée. 19
Figure I.14: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique. 22
Figure II.1. Présentation d'une antenne micro bande. 22
Figure II.2. Divers types d'éléments rayonnants. 23
Figure II.3 : Alimentation par une ligne micro ruban. 24
Figure II.4 : Alimentation par câble coaxiale ou sonde. 25
Figure II.5 : Alimentation couplée par ouverture. 25
Figure II.6 : Alimentation couplée par proximité. 26
Figure II.7 : Cartographie du champ $\vec{E}$ dans la cavité d'une antenne microruban. 27
Figure II.8 : PIFA avec court-circuit (a) plan, (b) languette. 28
Figure II.9: PIFA avec (a) capacité verticale, (b) capacité horizontale. 28
Figure II.10: Antenne à fente (a) demi-onde non débouchante, (b) quart d'onde débouchante. 29
Figure II.11: Antenne repliée (a) bow-tie, (b) repliement vertical. 31
Figure II.12 : Distribution de charge. 32
Figure II.13 : Distribution de champ électrique. 32
Figure II.14: Schéma équivalent du dispositif à l'émission. 34
Figure II.15 : Différentes configurations géométriques des réseaux, linéaire (a), planaire (b) et circulaire (c). 34
Figure III. 1 :la fenêtre principale de logiciel HFSS 37
Figure III. 2 :la fenêtre principale de logiciel HFSS 38
Figure III-3 : Fenêtre de HFSS 39
Figure III-4 : Boite de dialogue du Type de Solution. 39
Figure III-5 : Boîte de dialogue des Unités de Modèle 40
FigureIII.5.a Perfect E pour le plan de masse 43
FigureIII.5.b Perfect E pour le Patch 43
FigureIII.5.c Lumped Port pour la source d'excitation 44

FigureIII.5.d Radiation pour l'air 44

Figure III-5.e. : Le boitier d'air 44

FigureIII.5.h. Validation check 45

FigureIII.5.h. Validation check 45

Figure III-6.1 : Le boitier d'air 45

FigureIII.6.2 Driven Solution Setup 45

FigureIII.6.3 Edit frequency sweep 46

FigureIII.6.4 Validation check 46

Figure III.6.6.b : Gain total d'une antenne patch carré, Theta=0°, 30°, 60°, 90°, Phi = 90° 47

Figure III.6.6.a : Gain total d'une antenne patch carré, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0° 47

Figure III.6.6.a : Gain total d'une antenne patch carré, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90° 48

Figure III.6.7 : Impédance d'entré d'une antenne patch carré 48

Figure III.6.8 : VSWR en fonction de la fréquence. 49

Figure III.6.9.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz 53

Figure III.6.9.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz 53

Figure III.6.9.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz 53

Figure III.7.1 : Antenne patch rectangle. 54

Figure III-7.2 : Paramètre S11 de l'antenne patch avec adaptation à la fréquence 55

Figure III-7.3. a : Diagrammes de rayonnement (Theta=0) 55

Figure III-7.3. b : Diagrammes de rayonnement (Theta=90) 56

Figure III.7.4 : Directivité en fonction de la fréquence 57

Figure III.7.5.a : Gain d'une antenne patch rectangulaire en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=0° 57

Figure III.7.5.b : Gain d'une antenne patch rectangulaire en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=90° 57

Figure III.7.6.a : Gain total d'une antenne patch rectangle, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0° 58

Figure III.7.6.a : Gain total d'une antenne patch rectangle, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90° 59

Figure III.7.7: Impédance d'entré d'une antenne patch rectangulaire 59

Figure III.7.7 : VSWR en fonction de la fréquence 60

Figure III.7.8.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz 60

Figure III.7.8.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz 61

Figure III.7.8.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz 61

Figure III.8.1 : Antenne patch difforme. 62

Figure III.8.2 : Paramètre S11 d'une antenne patch déformée avec adaptation à la fréquence 62

Figure III-8.3. a : Diagrammes de rayonnement (Theta=0) 63

Figure III-8.3. b : Diagrammes de rayonnement (Theta=90) 63

Figure III.8.4 : Directivité en fonction de la fréquence 64

Figure III.8.5.a : Gain d'une antenne patch déformée en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=0° 64

Figure III.8. 6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Theta=0°, 30°, 60°, 90°, Phi = 90° 65

Figure III.8.6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0° 65

Figure III.8.6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90° **66**
Figure III.8.7: Impédance d'entré d'une antenne patch déformée **67**
Figure III.8.8.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz **67**
Figure III.8.8.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz **68**
Figure III.8.8.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz **68**
Figure III.8.9 : VSWR en fonction de la fréquence **68**

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les grandes lignes de la répartition des ondes en France **5**

Tableau I.2: les équations de maxwell **6**

Tableau I.3: Spectre micro-onde **7**

Tableau II.1: Comparaison des principaux résultats obtenus avec une antenne patch dedimensions constantes imprimée sur différents matériaux tels que l'indice optique resteconstant **31**

Tableau III.1. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Phi = 0 **49**

Tableau III.2. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Phi= 90 **50**

Tableau III.3. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Theta = 0 **51**

Tableau III.4. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Theta = 90 **51**

Tableau III.5 Les paramètres caractéristiques de l'antenne carré. **54**

Tableau III.6. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Phi = 0 **57**

Tableau III.7. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Phi = 90 **58**

Tableau III.8. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Theta = 0 **58**

Tableau III.9. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Theta = 90 **59**

Tableau III.10 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne rectangulaire. **61**

Tableau III.11. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Phi = 0 **64**

Tableau III.12. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Phi = 90 **65**

Tableau III.13. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Théta = 0 **66**

Tableau III.14. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Theta = 90 **66**

Tableau III.15 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne déformée. **69**

Tableau III.16 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne microbandes **69**

Liste des abréviations

HFSS: High Frequency Structure Simulator.

ISO : Organisation Nationale de Normalisation.

CEI : communication des Etats Indépendant.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

R.O.S : Rapport Onde Stationnaire.

PDA: Personal Digital Assistant.

ADSL: Asymetric Digital Subscriber Line.

PAN: Personnal Area Network.

LAN: Local Area Network.

MAN: Metropolitan Area Networks.

VSWR: Taux d'onde stationnaire

WAN: Wide Area Networks.

Wi-Fi: Wigglers Fidelity.

Wi-Di: Wireless Display.

MMIC: Les circuits MMICs (Monolithic Microwave Integrated Circuit).

TM: Transversal Magnétique.

PIFA: Antenne patch avec court-circuit (Planar Inverted-F Antenna).

E : Champ électrique.

H : Champ magnétique.

L : Longeur du patch.

W : Largeur du patch.

Introduction générale :

Les télécommunications sont définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens à base d'électronique et d'informatique et de transmission filaire, optique ou électromagnétique. Ce terme a un sens plus large que son acception équivalente officielle « communication électronique ». Elles se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique [24].

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les applications dans ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes. Elles sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil. [14]

Aujourd'hui, les résonateurs microrubans sont implantés dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés moderne, par ailleurs ils des avantages et des limites, parmi ces avantages : compacte, légères, configuration planaire, faible coût de fabrication et possibilité de réalisation en grande séries, capables d'opérer à des fréquences élevées…etc. Mais par, et comme tout système, il présente des limites d'utilisations, par exemple, un gain restreint, une bande passante étroite, un rayonnement parasite, une faible puissance peut être surmontée en employant un réseau d'antennes. [23]

Les structures planaires constituent actuellement la technologie utilisée dans la plupart des dispositifs microondes dans la gamme des faibles et moyennes puissance. Ceci est dû à l'amélioration récente des caractéristiques électriques des substrats et la parfaite maîtrise de la technologie des circuits imprimés ainsi que la miniaturisation des circuits modulaires hautes fréquences. Les structures planaires, selon la nature de guidage de l'onde électromagnétique, peuvent être divisée en deux grandes classes : dans la première classe on transmet au sein de la même structure un signal d'un point à un autre (guide d'ondes, lignes de transmission…), ou encore effectué des opérations sur un ou plusieurs signaux, tel que l'amplification, le filtrage, le multiplexage, le déphasage…etc. La deuxième classe présente les structures rayonnantes en technologie micro ruban ou les applications sont intégrées dans les structures imprimées des antennes composées par une cellule unique, ou par un réseau passif ou actif [28].

Dans ce manuscrit, on va s'intéressé aux antennes microrubans. Deux atouts majeurs ont entraîné un développement très important de ce type : leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration. Aujourd'hui ils sont implantés dans des nombreux dispositifs électroniques et constituent le type privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes. Par ailleurs ce type présente des limites, notamment la bande passante étroite. Afin de compenser ces limitations et améliorer les performances des antennes microrubans [25], nous proposons une nouvelle structure d'antenne patch opérant dans la bande 2.5 GHz – 6 GHz (bande WiFi). La technique de conception de cette antenne est effectuée à l'aide d'outils de IAO (Ingénierie assistée par ordinateur) basés sur la résolution numérique des équations de Maxwell et par la méthode des éléments finis sous le logiciel ANSYS, HFSS.

Ce travail se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre, est consacré à une généralité sur les systèmes de télécommunication ainsi la description générale des antennes imprimés, leurs paramètres et un rappel théorique sur l'antenne micro ruban.

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des antennes microbandes ainsi les méthodes d'analyses et les méthodes d'alimentation.

Le troisième chapitre concerne l'aspect de la conception d'une antenne imprimée avec un simulateur électromagnétique HFSS. Une fois la structure d'antenne est introduite dans l'environnement de développement HFSS ainsi que les conditions aux frontières et les paramètres de la solution selon les étapes expliquées dans le chapitre III, nous pouvons alors exécuter une "Analyze" afin d'estimer les performances de l'antenne. Ainsi, nous développerons dans ce chapitre la phase de conception en présentant des résultats de la simulation d'une antenne à patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban, ensuite on va introduire deux fentes rectangulaire sur l'élément rayonnant, dans ce cas l'antenne peut être désadaptée sur une certaine sous bande. Toutes les simulations sont suivies par des discussions et des commentaires. A la fin de ce mémoire, on finira par donner une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de télécommunications.

I. Généralité sur les systèmes de télécommunications

I.1. Introduction

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique durant les dernières années grâce à la forte demande de l'industrie et des utilisateurs. En réalité, le développement des nouveaux systèmes de télécommunications nécessite des évolutions technologiques majeures au niveau des antennes. Ces dernières sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. [1]

Comme nous le verrons par la suite, ce chapitre a pour objectif de présenter les différents types d'antennes qui s'appliquent dans le domaine des télécommunications. Nous allons dans un premier temps donner quelques informations généralistes sur les réseaux de télécommunication. Puis, revenir sur certaines notions fondamentales d'électromagnétisme avant de se concentrer sur les antennes. Les caractéristiques générales de l'antenne telles que le coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement, 1'angle de couverture, la directivité et le gain y sont mises en valeur également. Plusieurs exemples d'antennes de base ou avancées utilisées dans les télécommunications sont présentées dans ce chapitre.

I.2. Les systèmes de télécommunication

Un système de télécommunication est défini comme un ensemble des nœuds, permettant la capture ou le traitement de l'information dans un spectre de fréquences bien défini, reliés entre eux par des liaisons qui peuvent fonctionner en mode point à point, pour une liaison directe, ou en point à multipoint pour desservir plusieurs utilisateurs situés dans le périmètre de la transmission [2.3].

I.2.1. La liaison point à point

Dans ce mode de liaison chaque correspondant est relié par un lien dédié à un seul autre correspondant. C'est le cas par exemple d'une liaison entre nœuds d'un même réseau ou entre un ordinateur et un terminal (figure I.1). [4]

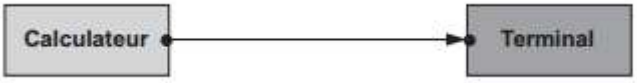


Figure I.1 : La relation point à point.

I.3. Les réseaux sans fil

Aujourd'hui, la majorité des ordinateurs et la quasi-totalité des appareils « mobiles » (tels que les téléphones portables, les PDA, Les tablettes, …) disposent de moyens de connexion à un ou plusieurs types de réseaux sans fil comme le Wifi, le Bluetooth ou l'infrarouge. Ainsi, il est très facile de créer en quelques minutes un réseau « sans fil » permettant à tous ces appareils de communiquer. Un réseau sans fil est un ensemble

d'appareils connectés entre eux et qui peuvent s'envoyer et recevoir des données sans qu'aucune connexion « filaire » physique reliant ces différents composants entre eux ne soit nécessaire. [5]

I.3.1. Transmissions sans fil

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère ou dans le vide (le terme d'*éther* désigne parfois ce type de support). L'absence de support matériel apporte une certaine souplesse et convient aux applications comme la téléphonie ou les télécommunications mobiles, sans nécessiter la pose coûteuse de câbles. On utilise des faisceaux directifs, faisceaux hertziens (pour franchir de grandes distances) ou ondes diffusées (pour atteindre des récepteurs géographiquement dispersés).

a. Faisceaux hertziens

Les *faisceaux hertziens* reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles qui émettent dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple sur une tour ou au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions environnantes. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longue distance dans les réseaux téléphoniques. [6]

Gamme de fréquence	Type d'utilisation
10KHZ-150KHZ	Communications radiotélégraphiques
150KHZ-300KHZ	Radiodiffusion (grandes ondes)
510KHZ-1605KHZ	Radiodiffusion (petites ondes)
6MHZ-20MHZ	Radiodiffusion (ondes courtes)
29.7MHZ-41MHZ	Radiotéléphonie
47MHZ-68MHZ	Télévision
68MHZ-87.5MHZ	Liaisons radio en modulation de fréquence
87.5MHZ-108MHZ	Radiodiffusion
108MHZ-162MHZ	Radiotéléphonie
162MHZ-216MHZ	Télévision
216MHZ-470MHZ	Radiotéléphonie
470MHZ-860MHZ	Télévision et radar
860MHZ-960MHZ	Radiotéléphonie
Autour de 1800MHZ	Radiotéléphonie
Entre 6 et 30MHZ	Services satellites en fixe

Tableau I.1 : les grandes lignes de la répartition des ondes en France.

I.4. Principe de propagation des ondes électromagnétique

I.4.1. Elaboration des équations de Maxwell

C‘est à Maxwell que l‘on doit la formulation la plus complète des relations liantes entre les grandeurs électriques et magnétiques. Les équations de Maxwell spécifient que toute variation spatiale d‘un champ (électrique ou magnétique) en un point de l‘espace entraîne (ou est dû à) l‘existence ou la variation temporelle d‘un autre champ au même point.

Analytiquement, voici les équations en quatre formules : [7]

Forme différentielle	Forme intégrale
Div $\vec{D} = \rho$	$\oint D.da = \iiint \rho \, dv$
Div $\vec{B} = 0$	$\oint B \, da = 0$
$\overrightarrow{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint E \, dl = -\iint -\frac{\partial B}{\partial t}$
$\overrightarrow{rot}\vec{H} = j + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint H \, dl = \iint (j + \frac{\partial D}{\partial t}) da$

Tableau I.2: les équations de maxwell.

Ces quatre équations ne sont pas indépendantes entre elles, si celles de la première ligne sont satisfaites à tout instant, celles de la deuxième ligne le sont aussi.

Avec :

$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ Le vecteur induction électrique.

ε : La primitivité de milieu**.**

$\vec{B} = \mu \vec{H}$**:** Le vecteur induction magnétique.

μ : La perméabilité de milieu.

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$: Courant de déplacement.

$\vec{j} = \gamma \vec{E}$: Courant de conduction.

$\boldsymbol{\rho}$ **:** Densité de charge**.**

γ : Conductivité.

I.5. Le spectre micro-ondes

Les micro-ondes ou hyperfréquences existe plusieurs catégories de bandes de transmission. Chaque catégorie est caractérisée par sa longueur d'onde ou par l'antenne opérante utilisée dans les différents domaines de télécommunications, comme le montre le tableau (I.3) [8].

Bande	Fréquence	Application
L	1à2GHZ	Communication mobile (marine, aviation, véhicules terrestres…)
S	2à4 GHZ	
C	4à8 GHZ	Service fixe.
X	8à12.5GHZ	Application militaire
K U	12.5à18GHZ	Radionavigation Exploration de la terre par satellite
K	18à26GHZ	
K A	26à40GHZ	
V	40à70GHZ	Radioastronomie
W	75à11GHZ	Recherche spatiale

Tableau I.3: Spectre micro-onde.

I.6. Les réseaux filaires

On distingue des réseaux (Figure I.2) :

Personnels : PAN *"Personnal Area Newwork "* aux dimensions d'une pièce, qui permettent l'interconnexion de matériel informatique comme les souris et claviers sans fil.

Locaux : LAN *"Local Area Newwork "* aux dimensions de locaux d'une entreprise qui permettent d'interconnecter différents ordinateurs ensemble.

Métropolitains : MAN "*Metropolitan Area Networks*" aux dimensions d'une ville, ce sont typiquement les réseaux aux quels on se connecte de chez soi pour l'accès à Internet. (ADSL, Câble) Elargis :

WAN "*Wide Area Networks*" aux dimensions d'un pays ou de la planète (Internet). [9]

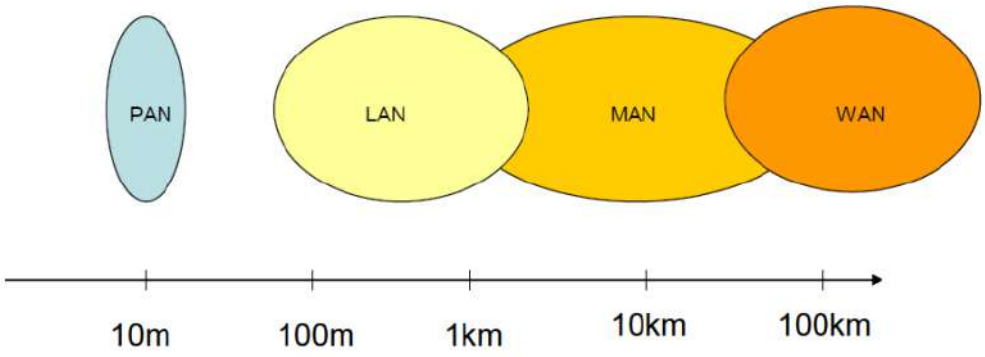


Figure I.2 : Les différentes catégories de réseaux informatiques.

I.7. Les technologies sans fil

I.7.1. Le Wi-Fi

Il existe plusieurs catégories de réseaux sans fil, définies selon plusieurs normes. La plus médiatisée est Wi-Fi, à l'origine fondée sur la compatibilité des équipements à la norme 802.11. Wi-Fi est en fait le label d'un groupe de travail appelé Wi-Fi Alliance, qui se charge de certifier les équipements pour qu'ils soient compatibles entre eux (dans une certaine limite). [10]

I.7.2. Définition de Wi-Fi

Le Wi-Fi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11 (ISO/CEI 880211).

Un réseau Wi-Fi permet de relier par ondes radio plusieurs appareils informatiques (ordinateurs, routeurs, Smartphones, décodeurs Internet…etc.) au sein d'un réseau informatique afin de permettre la transmission de données entre eux. Le Wireless Display (de

l'anglais Affichage sans-fil), également appelé Wi-Di, est une technologie de diffusion de flux vidéo sans fil utilisant le protocole Wi-Fi. [11]

I.7.3. Les différentes normes wifi

La norme IEEE 802.11 est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées normes 802.11 physiques) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité. [9]

I.8. Antenne pour les télécommunications

I.8.1. Introduction

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 scientifique 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 : télécommunication mobile, satellites, télévision, radio, identification, objets communicants, etc.

Malgré cette grande diversité toutes les antennes ont en commun de transformé un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences.

Actuellement, la course à l'innovation concernant les domaines de télécommunications entraîne des études poussées dans le domaine des antennes. [12]

I.8.2. Définition

L'antenne est un dispositif permettant de rayonner ou de capter à distance les ondes électromagnétiques dans un appareil ou une station d'émission ou de réception. L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe généralement placé dans un endroit dégagé. L'antenne est un dipôle électrique qui se comporte comme un circuit résonant.

La fréquence de résonance de l'antenne dépend d'abord de ses dimensions mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. [13]

I.8.3. Le rôle d'une antenne

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

- Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.

- Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- Transmettre le plus fidèlement possible une information

Si nous considérons un système de communication sans fil le plus simple qui soit, celui-ci serait composé d'un bloc d'émission et d'un bloc de réception. Ces deux blocs seraient séparés par un canal de propagation dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu comme le montre (la figure I.3)

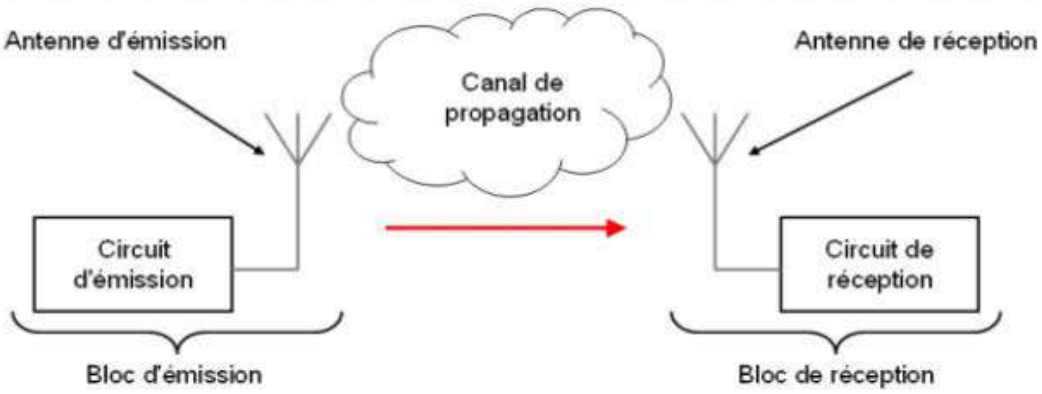


Figure I.3: Schéma de principe d'un système de communication radio.

- **Bloc d'émission**

Au niveau du bloc d'émission, le circuit d'émission fournit à sa sortie un courant haute fréquence, généralement modulé, qui va être transformé en ondes électromagnétiques capables de se propager dans le canal, c'est l'antenne d'émission qui assure ce rôle.

- **Bloc de réception**

A l'inverse au niveau du bloc de réception, lorsque les ondes atteignent le récepteur c'est à l'antenne de réception qu'incombe le rôle de les transformer en courant susceptible d'être traité par le circuit de réception. Ainsi une antenne peut se définir par sa fonction : c'est un transducteur passif qui convertit les grandeurs électriques d'un conducteur ou d'une ligne de transmission (tension et courant) en grandeurs électromagnétiques dans l'espace (champ électrique et champ magnétique) et inversement. Une antenne peut donc indifféremment être utilisée à la réception ou à l'émission ; de plus comme le montre le théorème de réciprocité de Lorentz, l'ensemble des caractéristiques d'une antenne sont identiques que l'antenne soit utilisée comme antenne d'émission ou de réception. Ceci est très intéressant car cela signifie qu'un objet communicant disposant d'une partie émission et d'une partie réception pourra utiliser la même antenne.

- **Réciprocité**

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque. 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. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas. [14]

I.8.4. comment rayonne une antenne

Afin de savoir comment une antenne rayonne, voyons d'abord comment le rayonnement ce produit un fil conducteur rayonne principalement en raison d'une variation temporel du courant ou une accélération (ou décélération) de la charge. S'il n' Ya pas de déplacement de charges dans le fil n'y aurai pas de rayonnement. Car aucun flux de courant ne se produit. Le rayonnement ne se produira pas même si les charges sont en mouvement avec une vitesse uniforme dans un fil rectiligne. Mais dans un fil courbé ou plié le mouvement des charges avec une vitesse uniforme produira des rayonnements.si la charge oscille dans le temps. Le rayonnement se produit même dans un fil rectiligne comme l'a expliqué Balanis.

Le rayonnement d'une antenne peut être expliqué comme montré la figure I.4 qui présente une source de tension connecté à une ligne de transmission à deux conducteurs. Quand une tension sinusoïdale est appliquée à travers la ligne de transmission, un champ électrique est créé qui sont tangentielle du champ électrique. L'amplitude du champ électrique est indiquée par la concentration des lignes de force électriques.

Les électrons libres sur les conducteurs sont déplacés par les lignes électriques de force et le mouvement de ces charges provoque la circulation du courant qui à son tour conduit à la création d'un champ magnétique. [12]

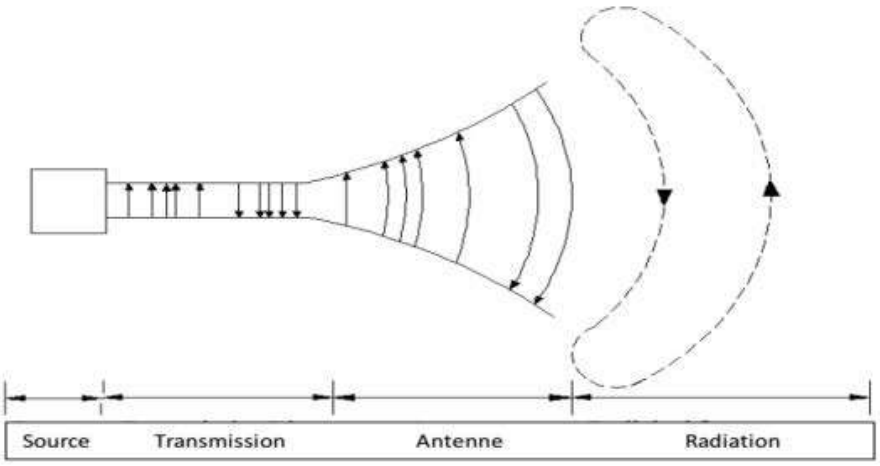


Figure I.4 : Rayonnement d'une antenne.

I.8.5. Paramètres de l'antenne

Avant d'arriver à la performance des antennes, il pourrait être intéressant de définir au préalable les différents paramètres d'une antenne, parmi ces paramètres les plus courantes sont notamment la bande passante, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain et l'impédance d'entrée...etc.

a. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement fournit des informations sur la répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée ou reçue par l'antenne considérée. Ainsi, à partir du diagramme de rayonnement, il est possible de définir plusieurs paramètres du rayonnement d'une antenne dont l'ouverture, le niveau de puissance et la direction des lobes secondaires.

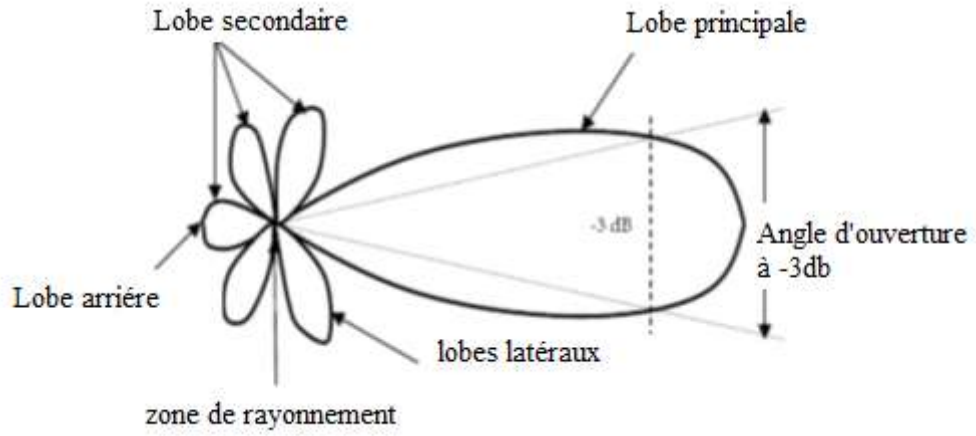


Figure I. 5: Diagramme de rayonnement d'une antenne direct.

D'un lobe principal : C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.

Des lobes secondaires : Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables. Le niveau d'un lobe secondaire est en général exprimé sous forme de rapport entre la densité de puissance dans le lobe en question et celle du lobe principal. Ce rapport est appelé le niveau des lobes secondaires et il est exprimé en dB.

D'un lobe arrière (rayonnement arrière) : C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée (à 180°) du lobe principal. Le rapport avant/arrière est le rapport en dB de la puissance rayonnée dans la direction du maximum de rayonnement par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée.

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

b. Directivité de l'antenne

Elle indique les directions dans lesquelles la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de 1'antenne isotrope, elle est égale au rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction(θ, φ)a la puissance qui rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle pour une même puissance totale rayonnée [15].

$$D\ (\theta, \varphi) = \frac{4\pi \mathrm{P}\ (\theta,\varphi)}{\eta\ P_a} \qquad \text{(I.1)}$$

η : Le rendement d'une antenne défini comme étant le rapport de la puissance totale P qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentationP_a.

Avec cette définition, une antenne fortement directive admet une faible ouverture de rayonnement, et une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement.

c. Gain d'une antenne

D'une façon générale, une antenne rayonne une puissance qui varie en fonction de la direction considérée. On appelle 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 $Po\ (\theta, \varphi)$ que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation [16], il est donné par la relation.

$$G\ (\theta, \varphi) = \frac{P\ (\theta,\varphi)}{P_0(\theta,\varphi)} = \frac{4\pi\ \mathrm{P}\ (\theta,\varphi)}{P_a} \qquad (I, 2)$$

Le gain s'exprime en décibel (dB). On utilise quelquefois la notation dB pour préciser la référence au rayonnement isotrope. Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB.

d. Impédance

Une antenne est caractérisée par son impédanceZ_a composée d'une partie réelle R_a et d'une partie imaginaireX_a. L'impédance est donnée par l'expression :

$$Z_a = R_a + \mathrm{j}X_a \qquad (I, 3)$$

La partie réelle est constituée de la résistance de rayonnement R_r et de la résistance de pertes R_l , *et* dont l'expression est donnée par la relation (I.4). L'énergie dissipée par R_r correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne. L'énergie dissipée par R_l correspond aux pertes de conduction, aux pertes diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne.

$$R_a = R_r + R_l \qquad (I, 4)$$

Dans le cas de l'émission, un générateur connecté à l'antenne possède également une impédance de sortie Z_g constituée d'une partie réelle R_g et d'une partie imaginaire X_g montré par l'expression :

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (I,5)$$

Dans la plupart des cas on a : $\boldsymbol{R_g}$= 50$\boldsymbol{\Omega}$ et $\boldsymbol{Xg = 0\Omega}$

e. Adaptation

L'adaptation est un procédé qui permet à l'antenne, en émission par exemple, d'accepter le maximum de la puissance fournie par le générateur. Elle est caractérisée généralement par le paramètre $S11$ qui est le rapport entre l'onde incidente $(Pinc)$ appliquée à l'entrée de l'antenne et l'onde réfléchie $(Pref)$ vers la source. Il s'exprime en fonction de l'impédance de sortie du générateur et l'impédance d'entrée de l'antenne. Ce paramètre est jugé satisfaisant généralement à partir d'une valeur seuil de 0.1 en linéaire ou de -10 dB. Les expressions $(I,6)$ et (I.7) expriment la valeur de S_{11} en linéaire et en dB [16].

$$|S11|^2 = \frac{Pref}{Pinc} \qquad (I,6)$$

$$S11(dB) = 10\log\frac{Pref}{Pinc} \qquad (I,7)$$

f. La bande passante

La bande passante est définie comme étant une plage de fréquences sur laquelle les performances d'un dispositif électronique sont conformes à certaines spécifications. Dans le domaine des antennes en applications terrestres, la bande passante correspond généralement à la plage de fréquences sur laquelle 90% de la puissance incidente est transmise, ce qui correspond à $S11 = -10dB$ et sous condition que le diagramme de rayonnement, ou la répartition de l'énergie rayonné, ne change pas sur cette bande.

g. L'angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.

h. Polarisation

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est indiquée par la direction du champ électrique$\vec{E}$. Lorsque la direction du champ électrique reste constante dans le temps, on parle de polarisation rectiligne. Sinon, l'on pourra représenter plusieurs positions

successives de$\vec{E}$, et l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. Dans ce cas, le champ rayonné sera donc à polarisation circulaire ou elliptique.

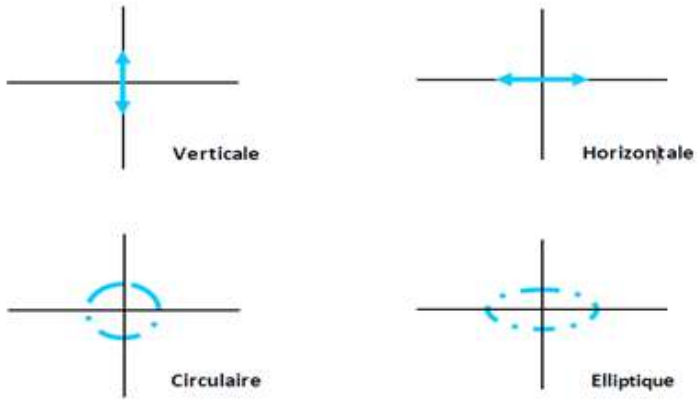


Figure I.6: Exemple de polarisation.

I.8.6. Différents types d'antennes

Les antennes sont réparties en plusieurs catégories selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau, et la bande passante. Ainsi, on peut les classer comme suit :

- **Selon la forme géométrique**
  - Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale.
  - Antennes à ouvertures : cornet, fente, antenne à réflecteur
  - Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale.
- **Selon le gain**
  - Gain élevé : planaire.
  - Gain moyen : cornet.
  - Gain bas : dipôle, fente, patch.
- **Selon la forme du faisceau**
  - Omnidirectionnelle : dipôle.
  - Faisceau étroit : antenne réseau.
  - Faisceau large : planaire.
- **Selon la largeur de bande**
  - Bande large : spirale.
  - Bande étroite : patch, fente. [17]

a. Antenne dipolaire

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire (Figure I.7). En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur. Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle, les courants sont dans le même

sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. Étant donnée la symétrie du dipôle, le rayonnement s'effectue autour de l'axe, matérialisé parle fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler d'un rayonnement isotrope.

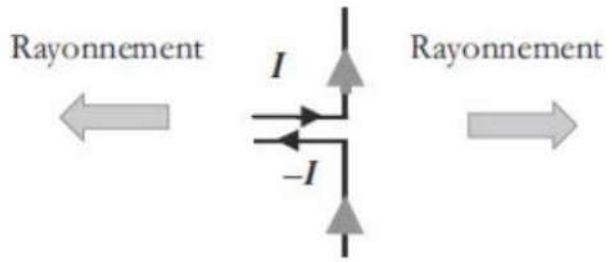


FIGURE I.7 : Antenne dipolaire.

À l'extrémité de chaque fil apparaissent des charges de signes opposées dont l'existence s'explique par la conservation de la charge. En effet, la relation de conservation suivante lie les charges au courant :

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (I,8)$$

D'autres antennes de même type sont obtenues avec des fils rayonnants plus longs. Ces antennes de type filaires ont de nombreuses applications. Citons rapidement les antennes pour récepteurs radio, les antennes des talkies-walkies, etc.

b. Antenne à boucle magnétique

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (Figure I.8). La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur. Le rayonnement, à grande distance, est maximal dans le plan de la boucle et s'effectue de façon radiale. Le courant circulant dans le fil crée un champ magnétique qui se propage. Sa variation engendre le champ électrique associé, d'où le rayonnement électromagnétique associé. En champ lointain, les boucles magnétiques ont été très utilisées pour les récepteurs de grandes ondes radio sous forme d'un cadre sur lequel étaient enroulées plusieurs spires de fil. En champ proche, on les utilise dans tous les dispositifs RFID (identification radio fréquence). Les cartes à puce sans contact sont munies de ce type d'antenne, incluse dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique.

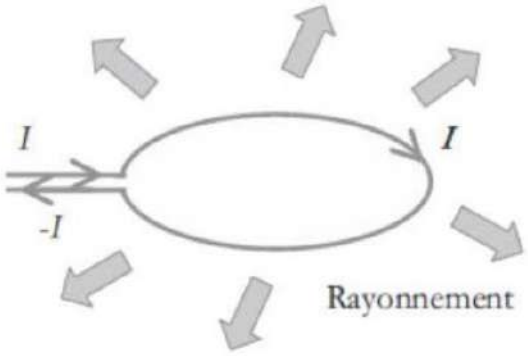


Figure I.8: Boucle magnétique.

c. Antenne cornet

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente, pour cette raison son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (Figure I.9). Sa forme permet dépasser graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique. Les transitions présentent des formes variées : linéaires, exponentielles…. etc. Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance du cornet et celle du vide.

De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que les précédentes, dans la mesure où la puissance n'est émise que dans une région de l'espace limitée. Le guide d'onde est un dispositif hyperfréquence très utilisé du fait des pertes très faibles engendrées par la propagation dans celui-ci, même à hautes fréquences et de sa capacité à supporter de la puissance. Les antennes cornets qui lui sont associées sont donc aussi très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites… etc.

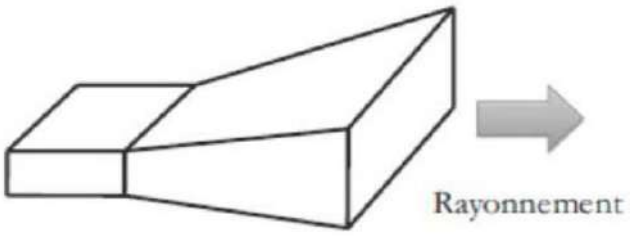


Figure I.9: Antenne cornet.

d. Antenne à réseau de fentes

Toujours en utilisant le guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'envisager un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide, en utilisant des

fentes dans le corps du guide (Figure I.10) Le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan troué du guide. Ce type de dispositif est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Par exemple, dans des tunnels, où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes. En général la ligne est en haut du tunnel avec émission vers le bas.

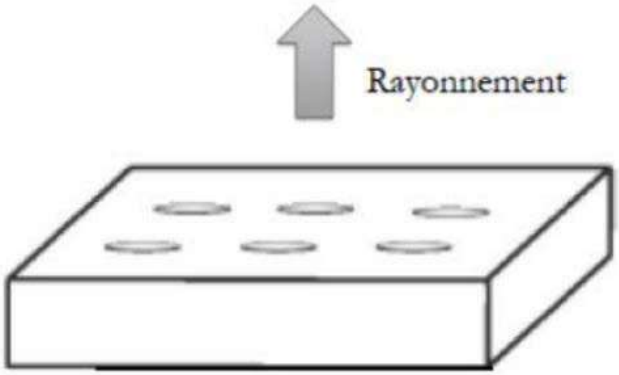


Figure I.10 : Réseau de fentes.

e. Antenne à réflecteur parabolique

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réflectrice, souvent de forme parabolique (Figure I.11). La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement. Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles. Par décalage de la source dans le plan focal, les rayons parallèles à la sortie du réflecteur, peuvent présenter une inclinaison par rapport à l'axe de la parabole. Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision. Leur orientation est choisie de façon à viser un satellite particulier. Afin d'éviter les perturbations par la pluie ou la neige, ces antennes sont souvent recouvertes d'un radôme. C'est le cas des antennes très exposées aux conditions climatiques, utilisées pour les transmissions hertziennes. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer.

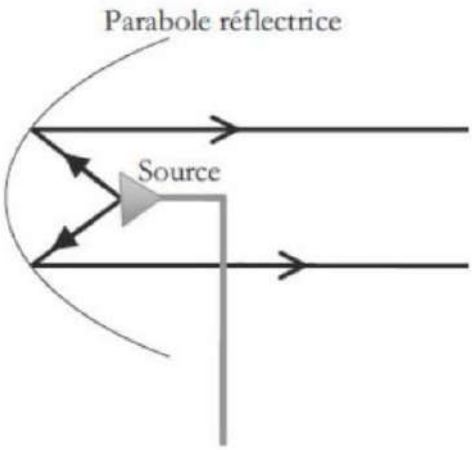


Figure I.11 : Antenne à réflecteur parabolique.

f. Antennes de type Cassegrain

Une variante des antennes précédentes consiste à utiliser un réflecteur principal et un réflecteur secondaire, comme dans le montage Cassegrain (Figure I.12). Ce nom provient du télescope du même nom reposant sur le même principe. Les rayons issus de la source se réfléchissent sur un premier réflecteur de forme hyperbolique, puis sur le réflecteur principal de forme parabolique. Les rayons ressortent parallèlement. La propriété de l'antenne parabolique est ainsi conservée. L'intérêt de ce type d'antenne est d'être moins sensible aux parasites provenant de l'extérieur de la parabole. De plus, les câbles reliant la source à l'électronique sont plus courts que dans les systèmes d'alimentation d'une antenne parabolique. La qualité du signal s'en trouve améliorée.

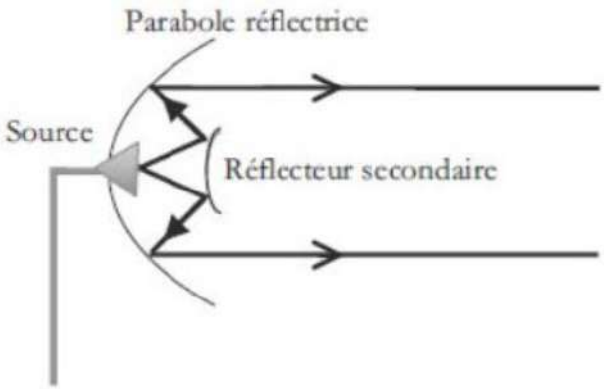


Figure I.12: Antenne à réflecteur parabolique.

g. Antenne microbande :

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (Figure I.13). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban. Elle présente l'avantage du poids sur certaines antennes décrites précédemment. Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception.

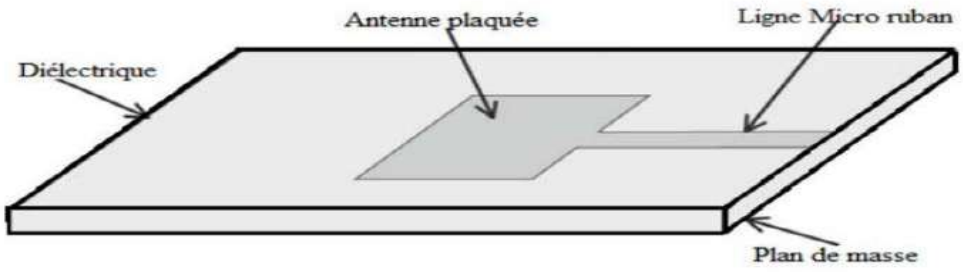


Figure I.13: Antenne Imprimée.

h. Antenne active

Les progrès réalisés sur la fabrication des antennes plaquées, rendent possible le report d'un circuit actif sur l'antenne. L'antenne a des fonctions qui dépassent son rôle simple de transformateur d'énergie. Selon les fonctions électroniques adjointes, on obtient un dispositif complexe. On parle ainsi d'antennes intelligentes si le dispositif a une partie de contrôle et de commande.

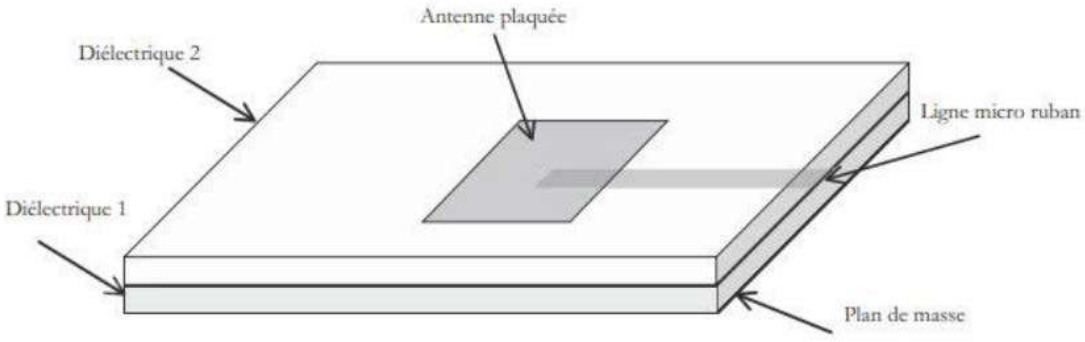


Figure I.14: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique.

Les applications des antennes actives sont très variées. Elles sont utilisées pour des tâches nécessitant:

- de la commutation.
- du déphasage dans les réseaux d'antennes.
- de l'amplification (de puissance à l'émission ou faible bruit à la réception).
- de l'agilité en fréquence, etc.

On distingue les antennes actives intégrées des antennes hybrides sur les quelles des composants sont reportés. L'intérêt actuel porte toutefois sur les antennes intégrées, pour lesquelles l'antenne est au plus près du circuit intégré car réalisée en même temps, sur le même support.

Il existe d'autres types d'antennes qui seront vus dans la suite. Ce n'est ici qu'une introduction à leurs principes de fonctionnement. [18]

I.9. Conclusion

On conclue que la communication sans fil a beaucoup d'avantages.

Elle est rapide, facile en général, disponible a tout le monde, en somme :c'est pratique. On peut économiser du temps.

Une variété de types d'antennes peut être utilisée dans des nombreuses technologies. Notamment que ses caractéristiques permettent le bon choix de l'antenne étudiée.

Dans ce chapitre nous avons dressé un état de l'art sur les antennes : le rôle des antennes, le rayonnement des antennes. D'autre part, on a présenté les diverses types d'antennes ainsi leurs paramètres.

Le chapitre suivant est consacré à l'étude des caractéristiques des antennes micro-rubans dans les domaines wifi (de 2,5GHz à 6GHz).

Chapitre II

Etude et caractéristiques des antennes Micro rubans.

II. Etude et caractéristiques des antennes Micro rubans

II.1. Introduction

Les antennes microbandes, souvent appelées antennes micro rubans ou patchs, sont largement utilisées dans la bande de fréquences micro-ondes, à cause de leur simplicité et compatibilité avec la technologie des circuits imprimés faisant d'elles une structure faciles à produire, Dans ce chapitre nous présentons l'historique, la description, les différents types d'alimentation, les Techniques de miniaturisation pour les antennes imprimées **,** le principe de fonctionnement, les caractéristiques ,les type de réseau, les applications ainsi que les avantages et les inconvénients des antennes patchs.

II.2. Historique

Le concept d'antenne microbande a été proposé pour la première fois par Deschamps en 1953. Un brevet a été publié en France en 1955 par Gutton et Baissinot. Dès le début des années 1970, grâce au développement de la technologie des circuits imprimés et la disponibilité de substrats de bonne qualité avec des pertes minimes et des propriétés mécaniques meilleures, plusieurs applications d'antennes microbandes ont étés réalisées. Faiblement profilées, ces antennes sont largement utilisées en particulier dans les communications mobiles et personnelles. [14]

II.3. Description des antennes micro rubans

Les antennes microbandes, construites par la technique des circuits imprimés, ont en général des bandes de fréquence étroites dans leur structure de base. L'antenne microbande est représentée dans (la Figure II. 1), est constituée d'un mince conducteur métallique (habituellement de 17,5 à 35 µ*m* d'épaisseur en hyperfréquence et 9 µ*m* en millimétrique) de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat épais 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, la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse.

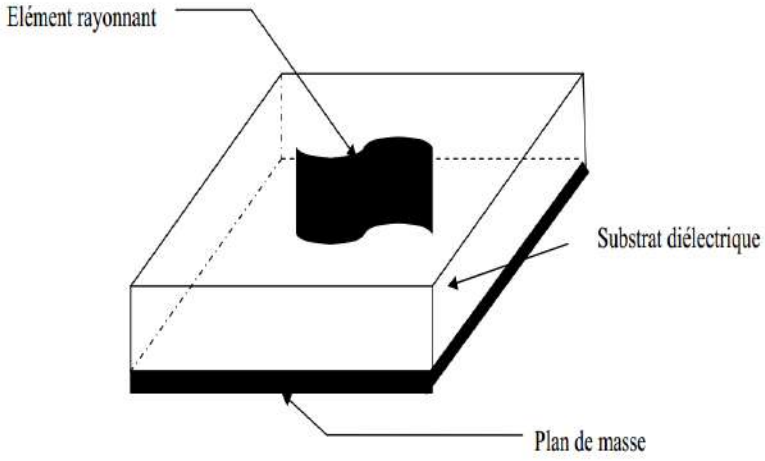


Figure II. 1. Présentation d'une antenne micro bande.

En pratique, les formes des éléments rayonnants les plus utilisés sont montrés sur la Figure II. 2, leurs dimensions sont faibles de l'ordre de λ /2 à λ.

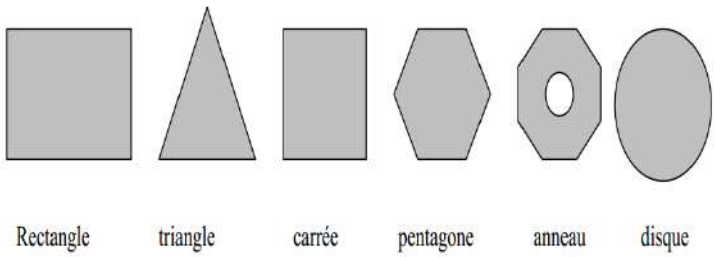


Figure II. 2. Divers types d'éléments rayonnants.

Parmi toutes les formes des éléments rayonnants, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes micro bandes. [19]

II.3.1. Les substrats

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 toute fois employées pour répondre à des contraintes spécifiques sur l'antenne (en particulier pour générer de la polarisation circulaire).

Les substrats exploites dans la conception des antennes imprimées sont nombreux. Leurs permittivités relatives varient 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, une large bande passante. Mais dans ce cas la perte par onde de surface augmente et l'antenne devient de plus en plus encombrante.

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

II.4. Alimentation des antennes plaquées

L'excitation c'est un point très important en étudiant des antennes imprimées. En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière ou un peut influer directement sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif.

Les méthodes d'alimentations des antennes plaques 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).

II.4.1. Alimentation directe par une ligne micro ruban

Dans ce type d'alimentation (figure II.3). Une bande de conduite est reliée directement au bord du patch de micro ruban. La bande de conduite est plus petite dans la largeur par rapport au patch.

L'avantage de ce type d'alimentation est qu'elle peut être gravée sur la même face de l'antenne, elle est facile à fabriquer, et simple à adapter à résonance. C'est l'une des techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées, elle a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite.

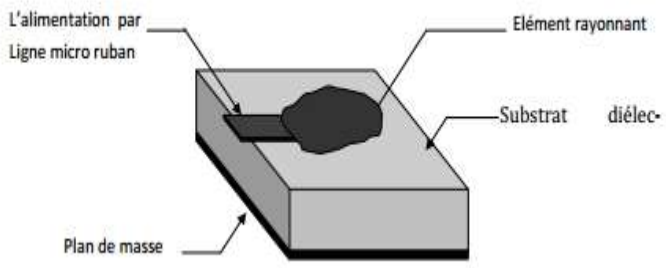


Figure II.3 : Alimentation par une ligne micro ruban**.**

Le but de l'encart coupé dans le patch est d'adapter l'impédance de la ligne d'alimentation au patch sans avoir besoin d'un élément d'adaptation additionnel. Ceci est achevé par un contrôle correct de la position de l'encart. Par conséquent c'est une technique d'alimentation facile, puisqu'elle fournit la facilite de fabrication et la simplicité de modalisation, ainsi que l'adaptation d'impédance. Cependant, certain de ces applications nécessitent un substrat épais, ce qui engendrent l'augmentation des ondes de surface et de rayonnement parasite, entrainent une dégradation de la bande passante.

II.4.2. Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans (figure II.4). Dans ce cas le conducteur intérieur de connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan da masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau de diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que l'élément plaqué.

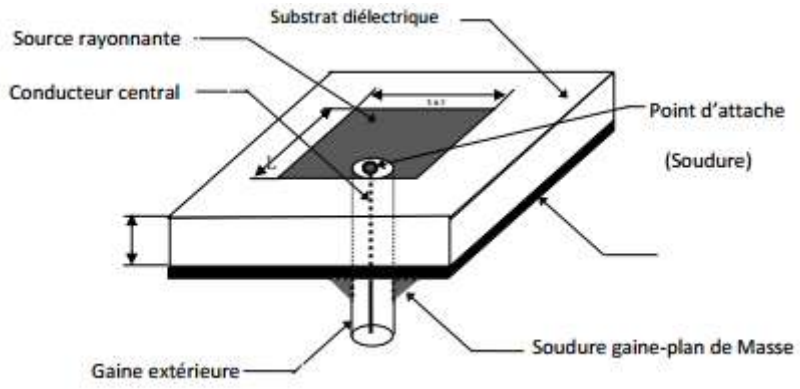


Figure II.4 : Alimentation par câble coaxiale ou sonde.

II.4.3. Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et de la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique sur la (figure II.5). La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le pan de masse. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inferieur par contre les matériaux faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre L'élargissement de bande passante.

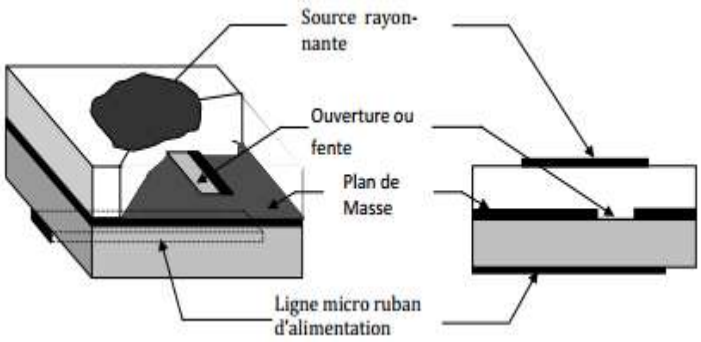


Figure II.5 : Alimentation couplée par ouverture.

II.4.4. Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est représenter sur la (figure II.6), deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation et entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux rayonnement d'alimentation et d'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause de deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs. [12]

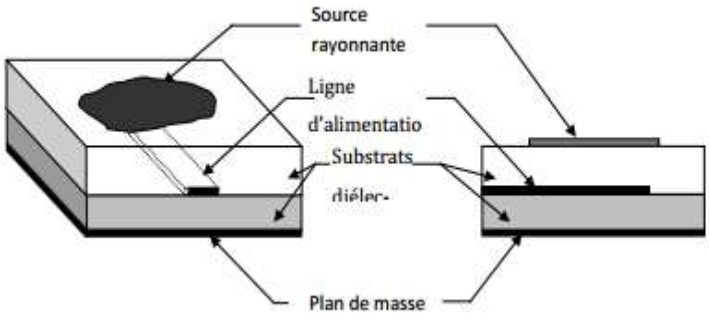


Figure II.6 : Alimentation couplée par proximité.

II.5. Techniques de miniaturisation pour les antennes imprimées

De nombreuses techniques, largement détaillées dans des ouvrages de référence et de nombreux papiers internationaux, ont été utilisées pour réduire la taille des antennes pour une fréquence donnée. En majorité, concernant l'élément rayonnant, plusieurs catégories de méthodes de miniaturisation émergent ayant pour objectif commun un allongement artificiel des dimensions résonantes de la structure. Il peut s'agir d'une part, de changer localement la structure rayonnante en utilisant des éléments localisés ou des courts-circuits et d'autre part de modifier ponctuellement sa géométrie. Le principe de fonctionnement ainsi que les avantages et inconvénients respectifs de ces techniques sont présentés dans les sections suivantes.

II.5.1Introduction de court-circuit

Une des méthodes les plus utilisées dans le domaine des antennes imprimées consiste à introduire un ou plusieurs courts-circuits entre l'élément rayonnant et le plan de masse. En observant la distribution du champ électrique du premier mode résonant ou mode fondamental, TM100, dans la cavité virtuellement délimitée par des murs électriques et magnétiques (Figure II.7), on constate que le champ s'annule au milieu de la longueur résonante. Cela signifie qu'en positionnant un mur électrique parfait dans ce plan vertical, la distribution des lignes équipotentielles n'est nullement affectée. Ainsi, les dimensions de la structure peuvent être réduites de moitié.

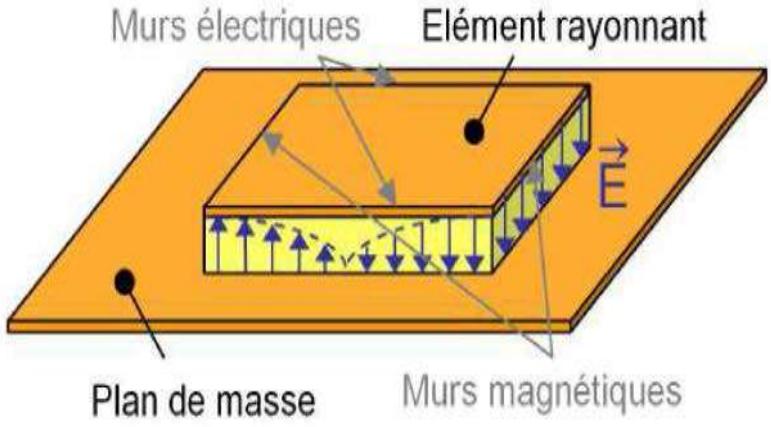


FIGURE II.7 : Cartographie du champ $\vec{E}$ dans la cavité d'une antenne microruban.

En pratique, il est possible de court-circuiter le patch en son centre avec un mur métallique vertical qui le relie au plan de masse. Il en résulte une antenne ayant une longueur physique de $\frac{\lambda_g}{4}$ dite antenne quart d'onde (réduction de dimension de 50 %). Elle porte le nom de Planar Inverted-F Antenna ou PIFA (Figure II.8).

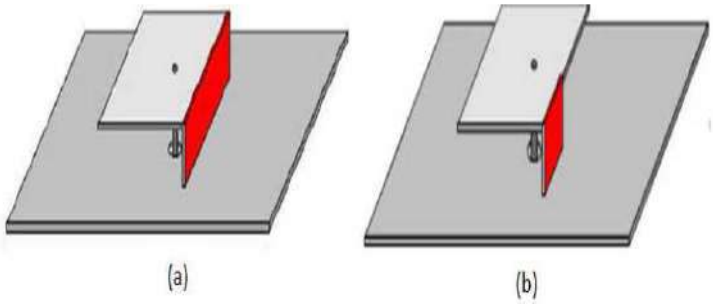


Figure II.8 : PIFA avec court-circuit (a) plan, (b) languette.

L'inductance effective globale de l'antenne augmente et les trajets de courants sur l'élément rayonnant sont naturellement rallongés, ce qui entraîne une diminution de la fréquence de résonance, équivalente à une réduction de la dimension résonante de l'élément comme l'illustre l'équation (II,1). En effet, la fréquence de résonance de l'antenne micro-ruban est principalement déterminée par la longueur de l'élément rayonnant.

$$fr = \frac{c}{2L\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad \text{(II ,1)}$$

Où c est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air, L la longueur physique de l'élément rayonnant et ε_r la permittivité relative.

Deux inconvénients majeurs sont généralement observés lors de l'utilisation de la technique de miniaturisation par introduction d'un court-circuit : on constate une dégradation du gain de l'antenne et de la pureté de polarisation.

II.5.2. Utilisation d'éléments localisés

Ces éléments localisés peuvent prendre différentes composants discrets, trois types peuvent être utilisés, les charges résistives, capacitives ou encore inductives. En pratique, un composant discret de type résistif (faible résistance de 1 à 2Ω) peut remplacer le court-circuit languette d'une PIFA. L'inconvénient de cette technique est l'introduction de pertes ohmiques, d'où une baisse de l'efficacité due à la concentration des courants dans la résistance qui, bien que faible, demeure plus résistive qu'un court-circuit. Concernant l'utilisation de tronçons capacitifs ou selfiques, ces techniques ont également pour objectif l'augmentation artificielle de la longueur électrique de l'antenne et donc une diminution de sa fréquence de résonance.

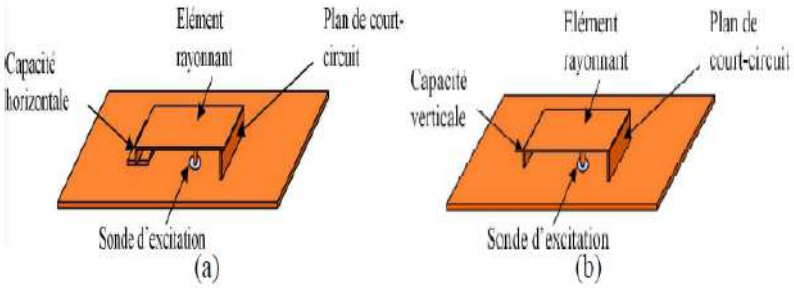


Figure II.9: PIFA avec (a) capacité verticale, (b) capacité horizontale.

Dans le cas présenté dans la figure II.9 (a) la capacité est accrue puisque la surface est plus importante que dans le cas (b), ce qui tend à augmenter le facteur de qualité et donc contribue à diminuer la bande passante disponible.

II.5.3. Modification de la géométrie

La dernière famille de techniques s'intéresse à la modification structurelle de l'antenne en utilisant des fentes, le repliement, des formes fractales ou arbitraires.

a) Insertion de fentes et/ou création de méandres

La figure II.10 illustre l'allongement de la longueur électrique de l'élément. En effet, les flèches bleues, représentant le chemin parcouru par le courant surfacique, les fentes ainsi pratiquées sur l'élément rayonnant vont induire des effets capacitifs et selfiques modifiant l'impédance d'entrée de l'antenne.

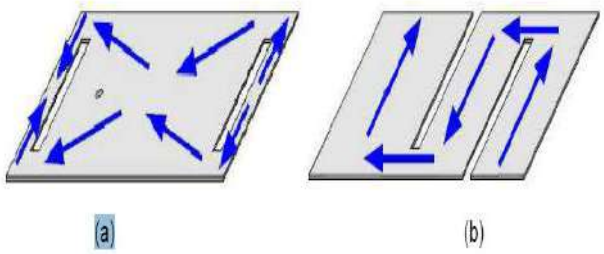


Figure II.10: Antenne à fente (a) demi-onde non débouchante, (b) quart d'onde débouchante.

Il rayonnée, en plus de la dégradation de la bande passante et du gain dus à la concentration existe aussi des cas où les fentes débouchantes et non débouchantes sont utilisées simultanément. Enfin, il est important de noter que l'augmentation des dimensions latérales de la fente peut entraîner une augmentation de la polarisation croisée des courants.

b) Repliement

Cette technique consiste à modifier la forme de l'élément rayonnant ou à le replier sur lui-même. Cette opération conduit naturellement à un élément qui occupe physiquement moins d'espace qu'une structure non repliée.

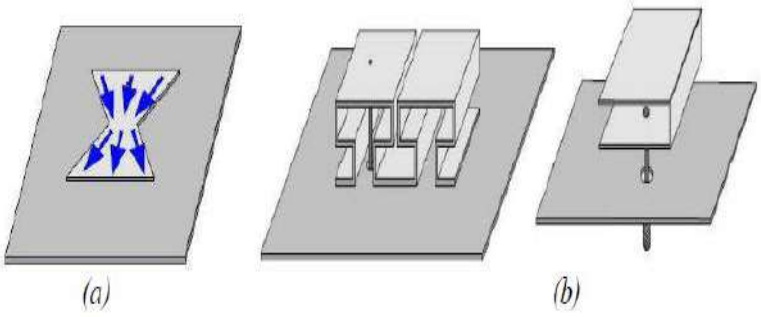


Figure II.11: Antenne repliée (a) bow-tie, (b) repliement vertical.

La principale contrepartie de ce type d'opération réside dans l'augmentation des pertes ohmiques et donc une diminution de l'efficacité et du gain. Le cas présenté dans la figure II.11 (a) a également pour vocation d'élargir la bande passante. Dans le second cas de repliement dans la figure II.11 (b), le désagrément de cette technique réside dans l'augmentation non négligeable de la hauteur de l'antenne.

II.5.4. Utilisation d'un matériau pour réduire la longueur d'onde guidée

Utiliser un matériau diélectrique ou magnéto-diélectrique permet la réduction de la longueur d'onde guidée et donc la diminution de la longueur physique de l'élément rayonnant. En effet, la longueur de l'antenne patch est inversement proportionnelle à l'indice de réfraction du substrat $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$ La méthode la plus courante est d'utiliser des matériaux purement diélectriques. Une première partie montrera la réduction de taille obtenue dans le cas d'une antenne imprimée sur un substrat purement diélectrique, puis, une seconde partie mettra en évidence l'apport de l'utilisation d'un substrat magnéto-diélectrique.

a) Utilisation de substrat diélectrique

Une technique de miniaturisation simple consiste à modifier les caractéristiques radioélectriques de l'environnement proche de l'antenne. Pour des raisons de simplicité de mise en œuvre, il est préférable, dans le cas des antennes microrubans, de modifier le substrat qui supporte l'élément rayonnant. Ainsi, on concentre les lignes de champ sous l'antenne. Ce Phénomène peut s'expliquer par le fait qu'un champ électrique appliqué dans un milieu fortement primitif influe sur l'organisation des charges électriques, notamment sur le déplacement des charges et la réorientation des dipôles électriques. Il est en effet bien connu que les matériaux à fort contraste permettent de réduire la taille physique de l'antenne en raison d'une longueur d'onde plus courte dans le matériau. En utilisant un diélectrique avec

une permittivité relative élevée, ε_r typiquement de l'ordre de 10 à 20, la longueur d'onde guidée λ_g diminue, comme le montre l'équation (II ,2).

$$\lambda_g = \frac{\lambda_g}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} \qquad \text{(II,2)}$$

Ce type de chargement conduit à une réduction de la bande passante *BP* car le facteur de qualité Q est augmenté.

$$Bp = \frac{f}{\sqrt{2}Q} \qquad \text{(II,3)}$$

$$Q = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_{cond}} + \frac{1}{Q_{diel}} \qquad \text{(II,4)}$$

Q_{rad},Q_{cond}etQ_{diel} sont les facteurs de qualité de la puissance rayonnée de la perte de puissance dans le conducteur et la perte de puissance dans le diélectrique respectivement. Ceci est du à une concentration du champ électrique dans les zones de forte permittivité, ce qui rend difficile le passage progressif de propagation en milieu guidé à une propagation en espace libre. En effet, cette méthode engendre le stockage d'une grande quantité d'énergie électromagnétique dans la région champ proche en raison d'existence d'un fort contraste d'impédance entre le matériau diélectrique et la région environnante en espace libre.

b) Utilisation de substrat d'un matériau magnéto-diélectrique

Hansen et Burke ont montré que dans le cas d'une antenne patch imprimée sur un substrat magnéto-diélectrique la bande passante était plus importante que dans le cas d'un matériau purement diélectrique de même indice n [32]. En effet, ils ont montré que l'expression de la bande passante BP était définie par la relation (II ,5).

$$Bp = \frac{96\frac{h}{\lambda_0}\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}}{\sqrt{2}(17+4\sqrt{\mu_r \varepsilon_r})} \qquad \text{(II,5)}$$

Où h représente la hauteur du substrat etλ_0 la longueur d'onde dans le vide. Ainsi pour un facteur de miniaturisation$\sqrt{\mu\varepsilon}$ constant la largeur de bande de l'antenne pourra être augmentée d'un facteur $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ En considérant une antenne patch imprimé carrée avec un côté égal à 4 cm et une hauteur de 3 mm et en remplaçant le matériau purement diélectrique par un matériau magnéto-diélectrique, nous obtenons les résultats du Tableau II.1 :

	Fréquence de Résonance	Fréquence d'adaptation	Bande passante
Antenne patch avec $\varepsilon_r = 9$ et $\mu_{r=1}$	1.3*GHz*	1.32*GHz*	0.98%
Antenne patch avec $\varepsilon_r = 4$ et $\mu_r = 2.25$	1.35*GHz*	1.38*GHz*	1.87%
Antenne patch avec $\varepsilon_r = 3$ et $\mu_r = 3$	1.37*GHz*	1.41*GHz*	2.82%
Antenne patch avec $\varepsilon_r = 2.25$ et $\mu_r = 4$	1.38*GHz*	1.45*GHz*	3.29%
Antenne patch avec $\varepsilon_r = 1$ et $\mu = 9_r$	1.31*GHz*	1.65*GHz*	4.66%

Tableau II.1: Comparaison des principaux résultats obtenus avec une antenne patch de dimensions constantes imprimée sur différents matériaux tels que l'indice optique reste constant.

Il compare les résultats principaux de l'antenne patch pour différents matériaux tels que l'indice optique $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$reste constant. Afin de montrer l'apport d'un matériau magnéto-diélectrique de manière la plus juste, tous les résultats montrés le sont pour des matériaux sans perte. Ainsi le matériau magnéto-diélectrique a permis d'augmenter la bande passante puisqu'elle passe de 0.98% dans le cas du matériau purement diélectrique à 4.66% dans le cas du matériau purement magnétique. Une antenne patch imprimée sur un matériau magnéto diélectrique permet donc d'allier miniaturisation et amélioration de la bande passante. [20]

II.6. Principe de fonctionnement

L'onde électromagnétique qui naît de 1'excitation de la ligne d'alimentation se propage tout au long pour rencontrer l'élément rayonnant qui est en général plus large que la ligne. On a alors une distribution de charges qui s'établit au-dessus et en dessous de l'élément, entre le plan de masse et le substrat (voir Figure II.12).

Le cas représenté sur cette figure correspond au mode fondamental de 1'antenne. Ces distributions, associées aux densités des courants engendrent une distribution des champs électriques représentés à (la Figure II.13) dans le mode fondamental. [21]

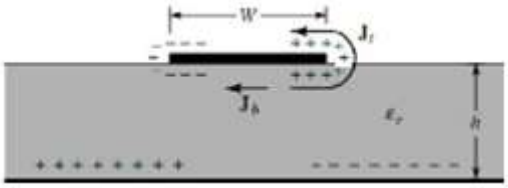


Figure II.12 : Distribution de charge.

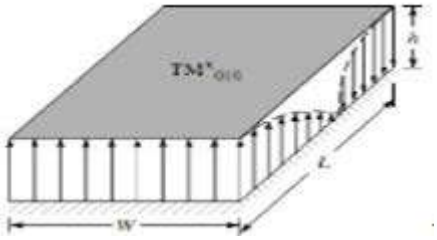


Figure II.13 : Distribution de champ électrique.

II.7. Les caractéristiques électriques d'une antenne micro ruban

Les paramètres électriques définissent l'antenne comme élément du circuit dans lequel elle est connectée. Ils permettent d'évaluer la charge apportée par l'antenne au circuit d'excitation et, ainsi, de caractériser l'efficacité du transfert de puissance entre le système radioélectrique et le milieu de propagation. Plusieurs paramètres peuvent servir à cette caractérisation mais nous ne définirons que les trois principaux, à savoir l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion et le taux d'onde stationnaire.

II.7.1 Impédance d'entrée de l'antenne

En ce qui concerne l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaire, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe :

$$Ze(f) = Re(f) + JXe(f) \qquad \text{(II,6)}$$

<< chargeant et la sortie du circuit émetteur modélisé par une source d'impédance interne

$$Zs(f) = Rs(f) + JXs(f) \qquad \text{(II.7)}$$

Précisons que $f = F$ est la fréquence de résonance de l'antenne.

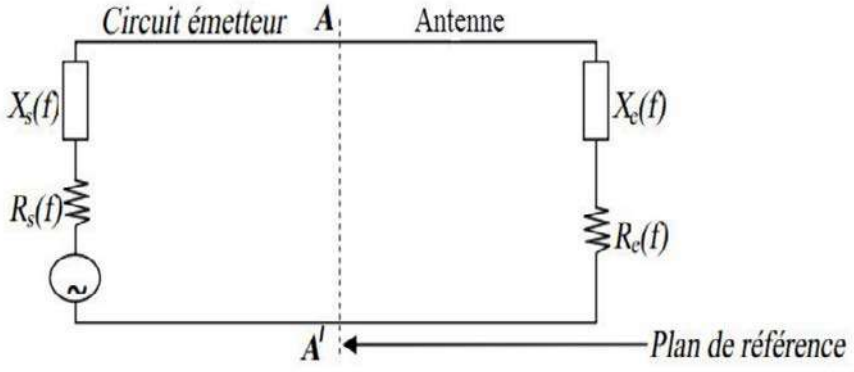


Figure II.14: Schéma équivalent du dispositif à l'émission.

D'une part, la partie réelle de l'impédance d'entrée $Re(f)$ caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet

Joule, onde de surface, etc.) et d'autre part, la partie imaginaire $Xe(f)$ d'interprétation plus délicate est liée à la puissance réactive concentrée au voisinage immédiat de l'antenne et au déphasage.

II.7.2. Coefficient de réflexion et R.O.S

Dans le plan de référence introduit précédemment, la discontinuité présentée par l'antenne peut être caractérisée par le coefficient de réflexion p (en tension ou champ) ; Le coefficient p est alors lié à l'impédance d'entrée de l'antenne par une relation classique. Dans la pratique, l'adaptation est délicate par rapport à la géométrie de l'antenne, la fréquence, l'endroit de la ligne d'alimentation ou encore l'impédance d'entrée. Ces paramètres jouent un rôle plus ou moins fort. [18]

II.8. Type de réseaux d'antennes

L'utilisation d'une antenne plaque unitaire est insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposé. Pour améliorer les performances des antennes patch, on utilise une structure multicouche pour augmenter la bande passante jusqu'à 70 % et associer les différents éléments rayonnants pour former un système appelé réseau, permettant de compenser les limitations des caractéristiques d'une antenne seule et jouer sur de nombreux facteurs (espacement et phase des patchs et taille du plan de masse) pour avoir un gain plus élevé et un lobe principal conforme. La Figure II.15 (a, b, c) montre trois configurations de réseaux d'antennes : réseaux linéaires, réseaux planaires et réseaux circulaires.

- **Antenne en réseau linéaire (rectiligne)**

Pour un réseau linaire, les éléments rayonnants sont placés l'un après de l'autre par des déplacements parallèles sur une même droite Figure II. 15a.

- **Antenne en réseau plan**

Pour un réseau plan, les éléments rayonnants se déduisent l'un de l'autre par des translations parallèles à un même plan Figure II. 15b.

- **Antenne en réseau circulaire**

Antenne constituée d'un groupement d'éléments rayonnants identiques dans lesquels chaque ensemble de points est placé sur un cercle Figure II. 15c.

La Figure II.15 (a, b, c) montre trois configurations de réseaux d'antennes :

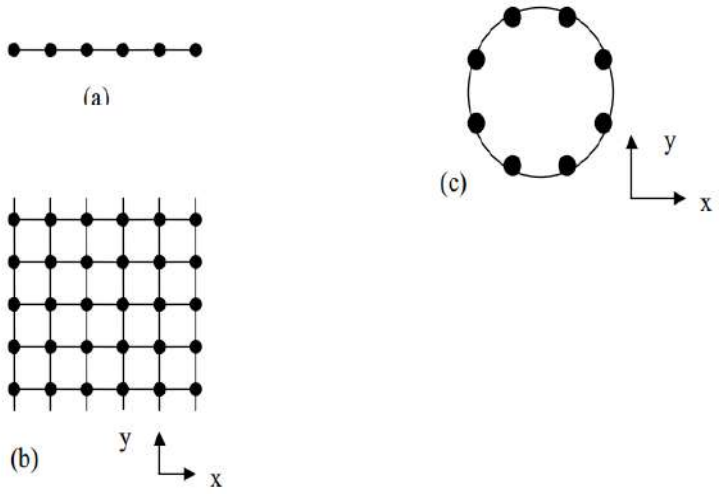


Figure II.15 : Différentes configurations géométriques des réseaux, linéaire (a), planaire (b) et circulaire (c).

On prend en considération les paramètres suivants pour contrôler la forme du rayonnement global :

- La géométrie du réseau : linéaire, plan…
- L'espacement relatif entre chaque élément.
- L'amplitude de l'excitation de chaque élément.
- La phase appliquée à chaque excitation.
- Le diagramme de rayonnement propre à chaque élément. [19]

II.9. Les applications des antennes microrubans

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. Pour cette raison, les antennes imprimées remplacent les antennes classiques dans bon nombre d'applications parmi lesquelles on peut citer :

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et le contrôle.
- La télémesure par missile.
- Les équipements portatifs.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation. [18]

II.10 Les avantages et les inconvénients des antennes patchs

L'antenne micro ruban présente de nombreux avantages par rapport aux antennes microondes classiques, on peut citer entre autres :

- Faible poids, encombrement réduit, faible profile et structure plane.
- S'adapte facilement aux surfaces planes et non planes.
- Facile à fabriquer en m0asse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible coût.
- Facile à intégrer avec les circuits MMICs sur un même substrat.
- Polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- Antennes multi bandes multi polarisations possibles.

Toutefois, elle présente certains inconvénients limitant son efficacité à savoir:

- Bande passante étroite.
- Faible gain.
- Supporte uniquement des faibles puissances.
- Faible efficacité de rayonnement.
- Faible pureté de polarisation.

Pour y remédier à ces inconvénients plusieurs travaux de recherches ont été menés et ont abouti à des progrès considérables améliorant les performances de ces antennes. [9]

II.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement les antennes microrubans. On conclura que les avantages d'une antenne microrubans sont nombreux permettent de les utiliser dans différents secteurs et surtout dans les communications mobiles (satellite, avion, voiture, missile, téléphone portable…etc.). Dans le chapitre suivant, on utilise le logiciel HFSS pour simuler et étudier les caractéristiques des antennes microrubans destinées aux applications dans la bande fréquentielle wifi allant de 2.5 GHz à 6 GHz.

Chapitre III

Simulation et discussion des résultats.

III. Simulation et discussion des résultats

III.1 Introduction

Durant les dernières décades, la découverte de la technologie micro-ruban a aidé à réduire d'une manière considérable la taille des antennes et leur encombrant, donnons par exemple les antennes filiformes des appareils cellulaires. Les anciennes antennes cellulaires étaient intégrées d'une façon apparente, mais actuellement grâce à la technologie des hyperfréquences on a pu réduire leurs tailles d'une manière à les embarquer à l'intérieur des appareils mobiles avec une occupation minimale d'espace. Le but tout au long de cette partie couvre ce domaine, et l'objectif est de réaliser une antenne patch, alors on va essayer d'adapter divers paramètres et simuler diverses structures sur H.F.S.S pour essayer d'aboutir à des résultats adéquats.

Ce chapitre est consacré à la conception et simulation des antennes microbandes de forme géométrique rectangulaire dans le domaine fréquentiel WIFI en utilisant le Logiciel HFSS. Les résultats obtenus montrent les caractéristiques pertinentes des antennes microbandes (le diagramme de rayonnement, le gain, la directivité etc.), pour divers fréquences et divers dimensions (λ, W, L, h).

III.2. Présentation du Logiciel ANSYS HFSS (High Frequency Structure Simulator)

III.2.1 Définition :

HFSS est un logiciel de simulation électromagnétique qui étudie des structures complexes en trois dimensions en simulant ces structures et en proposant des visualisations claires des résultats en 2D et en 3D.

HFSS est utilisé essentiellement pour les expérimentations et les études de systèmes fonctionnant en hautes fréquences, il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonnances ainsi que les champs électromagnétiques. En utilisant les équations de Maxwell, le HFSS divise les structures géométriques complexes en des formes géométriques plus simples, précisément des tétraèdres sur lesquels le calcul mathématique sera plus faisable, d'où on commence à parler de la convergence qui est la persistance des résultats obtenus. Le logiciel présenté ici utilise la méthode des éléments finis. [26]

III.2.2 Configuration principale

Comme une première approche les dimensions de l'antenne patch, vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative ε_r, l'épaisseur h) et le choix de la fréquence de résonnance. L'alimentation sera faite à l'intermédiaire d'une ligne coaxiale et une ligne micro-ruban. L'épaisseur du substrat doit être suffisante pour implanter la sonde [27]. Les extrémités du diélectrique doivent être éloignées de au moins $\lambda\backslash 2\pi$ à partir de l'antenne, alors l'espacement du plan de masse situé au fond du diélectrique est inclus. Pour

le choix de l'épaisseur du substrat, une bonne épaisseur favorise l'extension des champs alors la radiation vers l'extérieur, donc nous avons choisi une épaisseur du substrat de 1.6mm.

III.2.3 Création du projet en HFSS :

Cet exemple est prévu pour montrer comment créer, simuler, et analyser une antenne micro ruban en utilisant l'environnement de conception d'ANSYS HFSS. La fenêtre de HFSS a plusieurs panneaux facultatifs :

- ✓ **Le Project Manager** : contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.
- ✓ **Le Message Manager** : permet d'afficher toutes les erreurs avant de commencer la simulation.
- ✓ **La fenêtre de Propriétés :** pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle.
- ✓ **La fenêtre de Progress:** affiche les progressions de la solution
- ✓ **La fenêtre de 3D Modeler :** contient le modèle et son arbre pour la conception active

III.2.3.1. Ouvrir un projet HFSS

Voici en résumé les étapes à suivre :

a. Commencer HFSS :

Première des choses, HFSS devrait être installé sur l'ordinateur et apparaitre sur le bureau de l'ordinateur comme suit :

()

Figure III. 1 :la fenêtre principale de logiciel HFSS

b. Ouvrir un nouveau projet HFSS

En ouvrant le logiciel HFSS, cette fenêtre apparaitra :

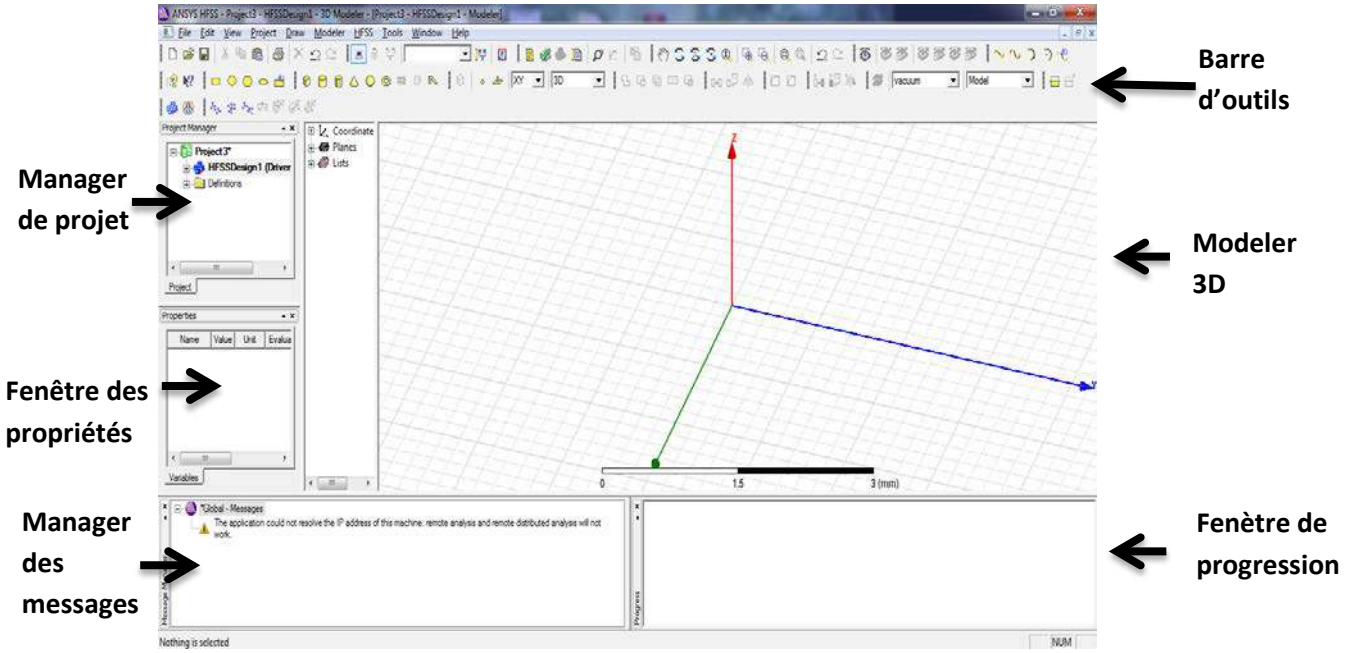


Figure III. 2 :la fenêtre principale de logiciel HFSS

Quand vous commencez HFSS v 15, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé project3 par défaut. Des définitions sont stockées sous le nom de projet comme (la tâche matérielle, des états de frontière, et des ports d'excitation).

c. Sauvegarder le projet :

Sur le menu fichier, cliquer sur « **Save As »,** employer le navigateur de dossier pour localiser le dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme **C:\Ansoft\HFSS15\Projects,** et double –cliquer le nom de dossier, puis cliquer **Save**.

d. Insérer une conception de HFSS :

Sur le menu Project cliquer **Insert HFSS Design**

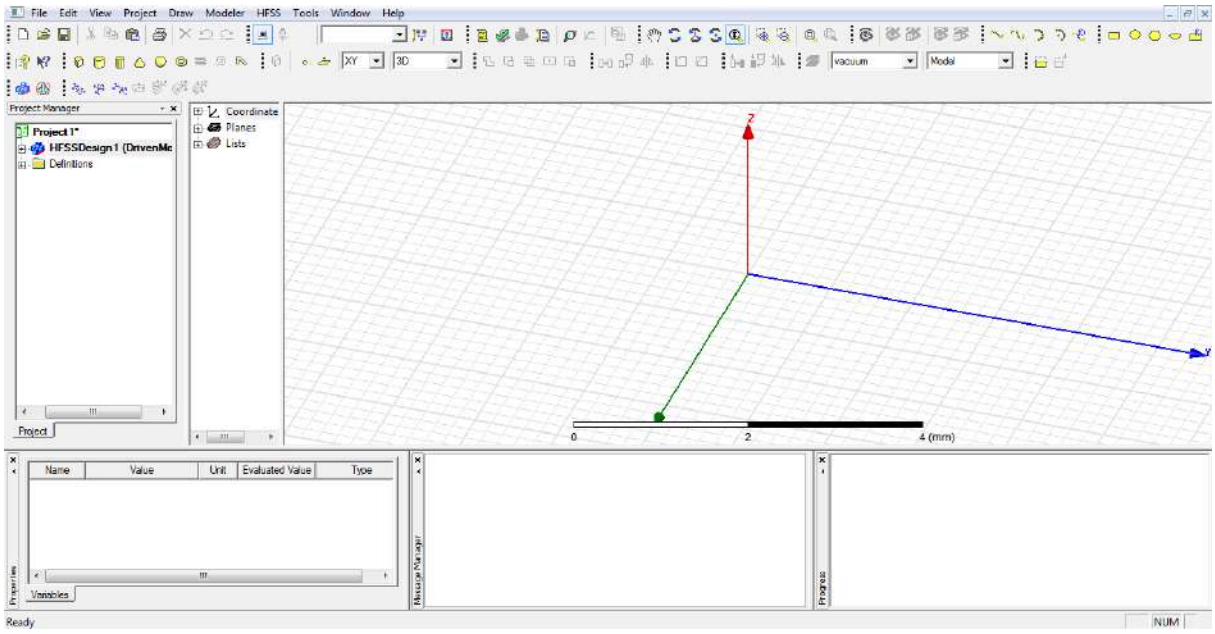


Figure III-3 : Fenêtre de HFSS

e. Choisir le Type de solution

Pour créer une géométrie ou un modèle, il est nécessaire d'insérer un nouveau projet qui apparaît automatiquement sur la fenêtre "**Project Manager**". Nous sélectionnons le type de solution à partir du menu HFSS, en cliquant sur le bouton "**Solution Type**".

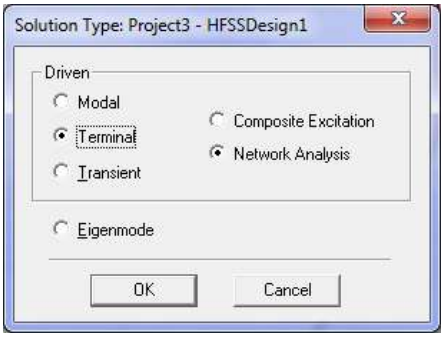


Figure III-4 : Boite de dialogue du Type de Solution.

f. Unités du Modèle de Mesure

Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente. Sur le menu "**Modeler**", puis cliquer sur "**Units**", la boîte de dialogue "**Set Model Units**" apparaît figure III-4, Dans cette boîte de dialogue, on choisit l'unité à partir de la liste déroulante.

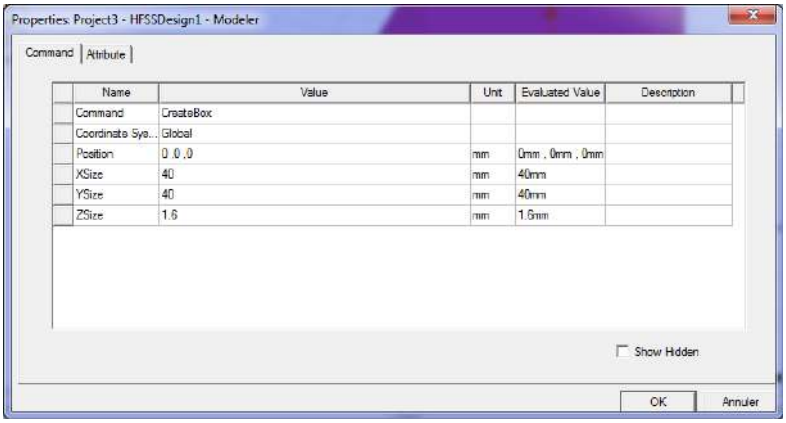


Figure III-5 : Boîte de dialogue des Unités de Modèle

III.2.3.2. Etapes de réalisation du projet

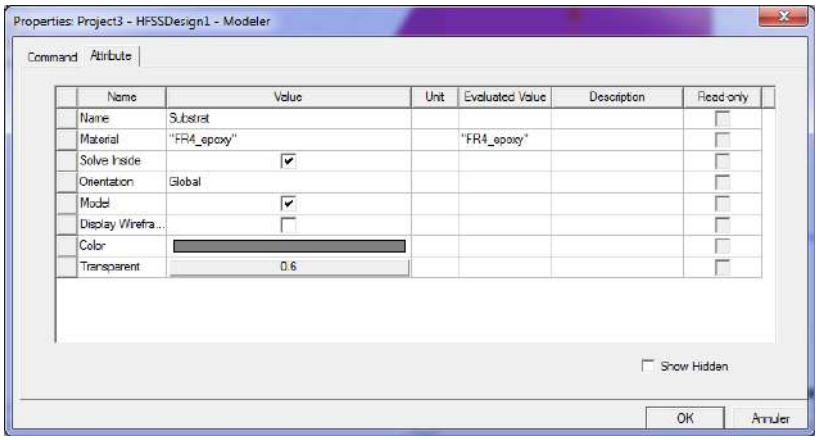
a. Dessiner un substrat

Pour dessiner le substrat, cliquer dans la barre d'outils, Dessiner alors une boîte. En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, les positions et démontions de Box comme montré dans la figure suivante :

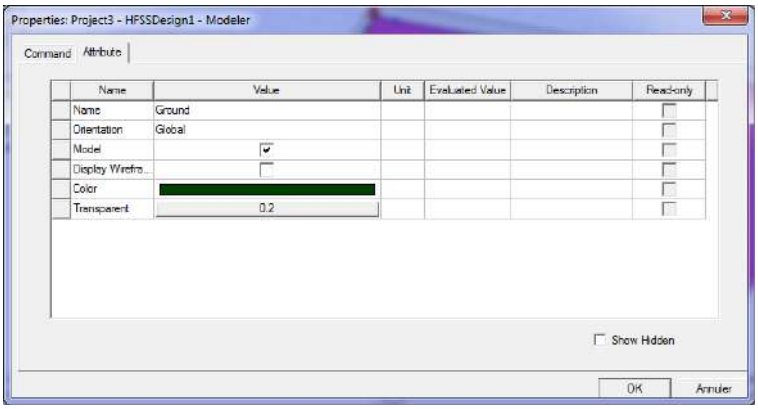


Choisir le nom et la matière de substrat :

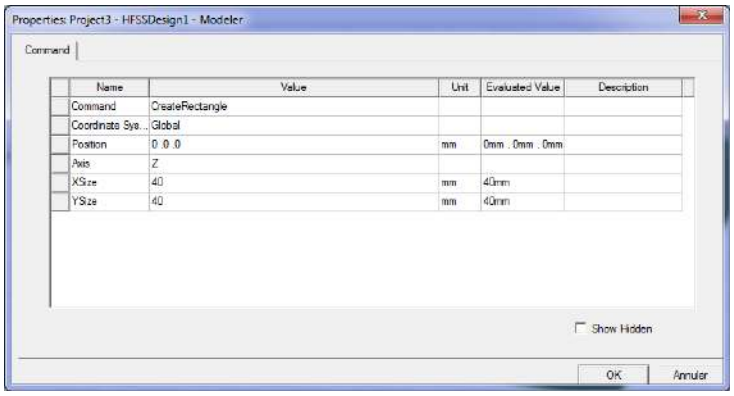
1- Choisir la case Attribut à partir de la fenêtre de Propriétés.
2- Pour la Valeur du type **Name : substrat.**
3- Pour la Valeur du type **Matériel** : (**"FR4_epoxy"**)
4- Cliquer sur le Bouton **Ok**



b. Dessiner le plan de masse

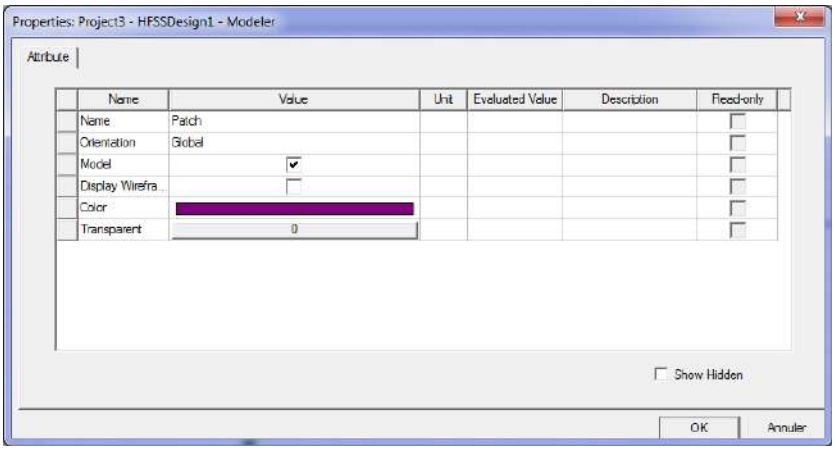


Le plan de masse est représenté par un rectangle dont les dimenssions sont les mêmes que celles du substrat (dans notre cas)

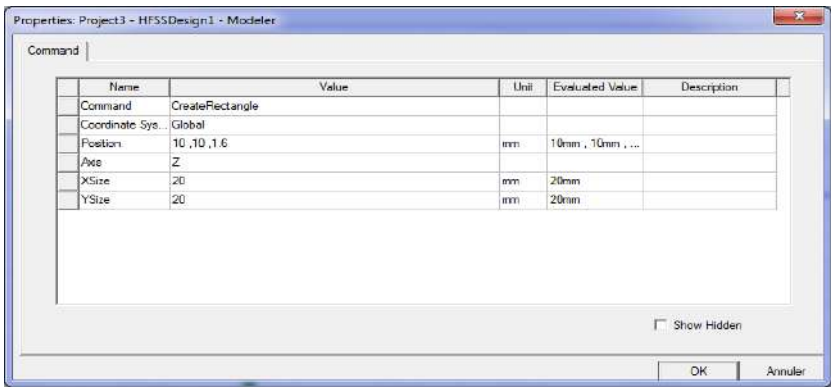


c. Dessiner l'antenne micro-ruban (Patch)

Les critères de conception les paramètres qui affectent principalement la fréquence de résonance sont : la permittivité relative du substrat et la longueur, la largeur d'antenne patch et l'épaisseur de ce dernier possède un effet dans la sélectivité de la fréquence et elle altère principalement l'impédance d'entrée et la bande passante, alors les paramètres qu'on va changer sont la longueur et la largeur de l'antenne.

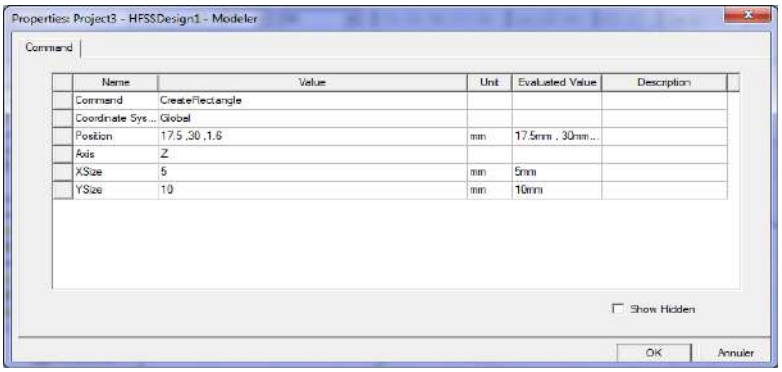


L'antenne doit être conçu de telle manière que l'on peut faire des changements si nécessaire, et donc dans un premier temps, on dessine sur la face supérieure du substrat, un rectangle ou bien un carré (tout dépond l'intention de conception) ensuit, on dimensionne le rectangle de cette manière :



d. Dessiner la ligne d'alimentation (Feed)

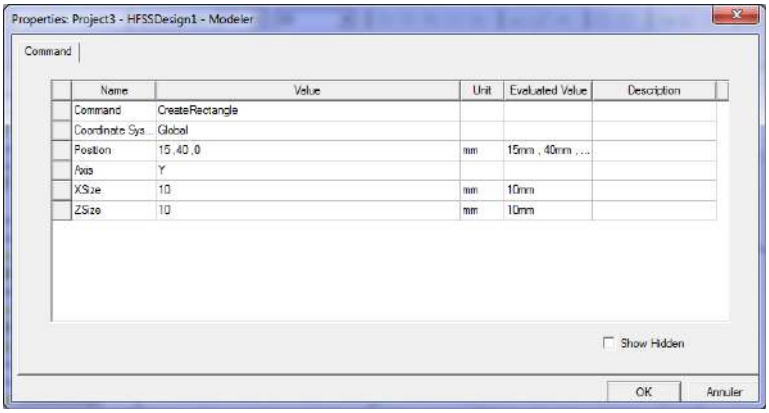
On clique sur dans la barre d'outils pour dessiner l'antenne (patch). En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de **Box** comme montré dans la figure ci-dessous :



On clique sur **Edit**, select by **name**, **Feed**+**Patch**, ensuit nous allons sur **Modler**, **Boolean**, et on clique sur **Unite**. De cette façon on obtiendra un corps unit constituer d'une antenne (patch) et ligne d'alimentation (feed).

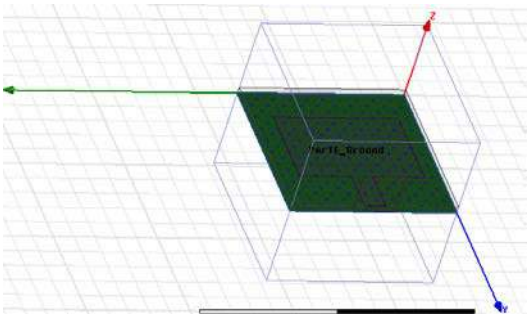
e. Dessiner le Port d'excitation

On doit maintenant spécifier le port de guide d'ondes au début de la ligne d'alimentation. Le plan de référence de ce port est situé directement au début du plan de rayonnement. Les antennes sont excitées par le port. Pour dessiner le port, cliquer sur dessus la barre d'outils. Dessiner alors un rectangle en remplissant les données suivantes comme montré ci-dessous.

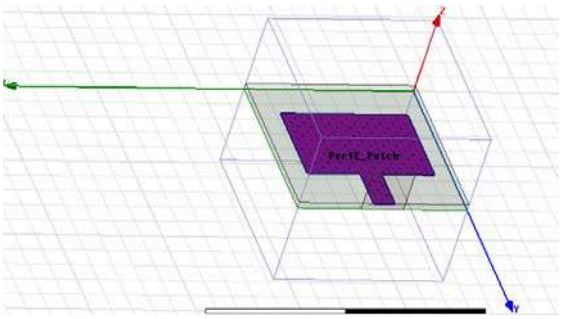


f. Les conditions aux limites :

- **Assigner Perfect E Boundary :** Pour l'antenne (Patch) et pour le plan de masse (Ground)

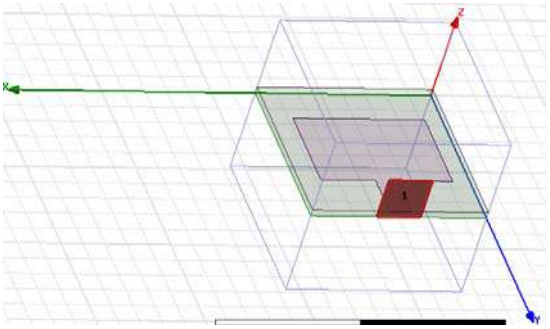


FigureIII.5.a. Perfect E pour le plan de masse



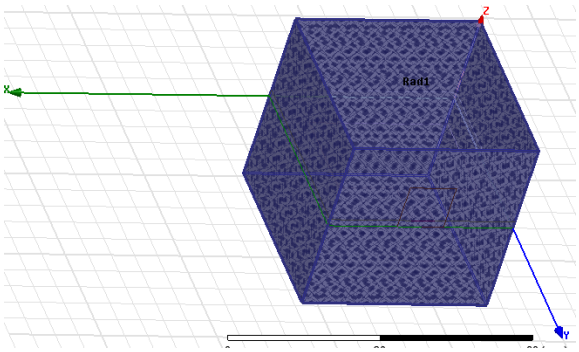
FigureIII.5.b. Perfect E pour le Patch

- **Assigner une excitation au port : Lumped Port :** Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.



FigureIII.5.c. Lumped Port pour la source d'excitation

- **Assigner Radiation Boundary:** selectionner **AIR,** ensuite, HFSS, Boundary, Radiation click sur ok.



FigureIII.5.d. Radiation pour l'air

III.3. Résultats et discussions

III.3.1. Cas d'antennes microbandes Carré

La figure III.6.1 ci-dessous explique de près la structure de l'antenne patch simulée en configuration carré. La visualisation 3D permet de bien cerner les différents composants, à savoir, l'antenne patch, la ligne d'alimentation (feed), le port d'excitation, le substrat diélectrique et le boitier d'air.

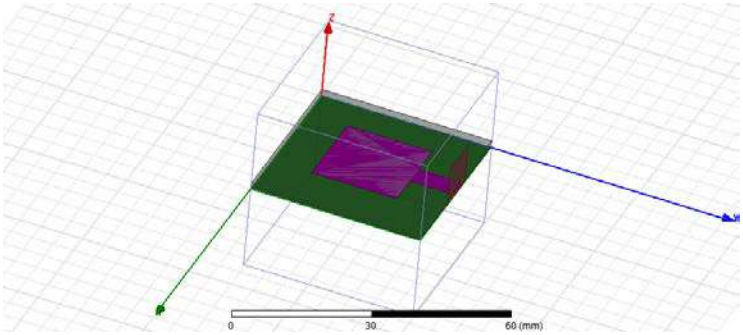


Figure III-5.e. : Le boitier d'air

III.3.1.1. Maillage

Les champs à l'infini sont calculés par intégration les champs sur la surface de radiation, afin d'obtenir des champs à l'infini concrètes pour les problèmes d'antennes, on doit choisir un maillage adéquat selon ʎ, donc pour cela on calcule ʎ/3.

III.3.1.2. L'Analyse

a. Créer un paramétrage d'analyse :

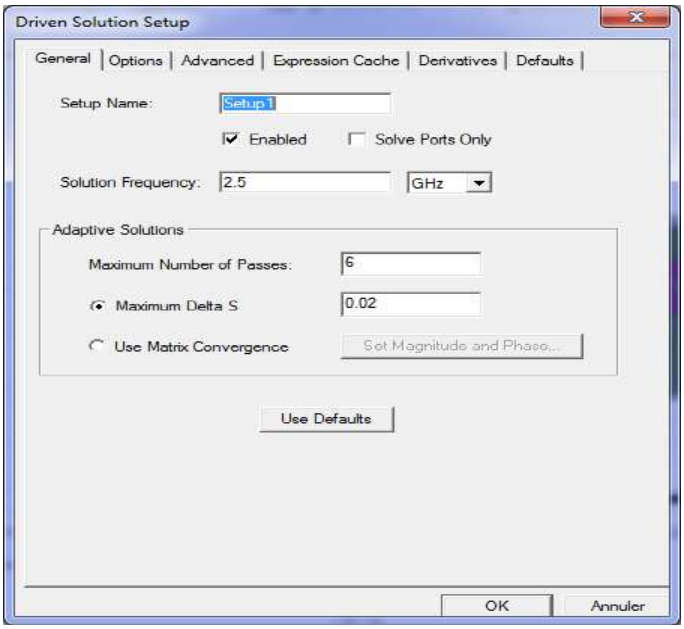
Sur l'anglet **HFSS**, on clique sur **Analysis setup**, et ensuit **Add solution setup**

Une fenêtre apparaitra sous le nom **''Driven Solution type'' :**

- L'anglet **General,**

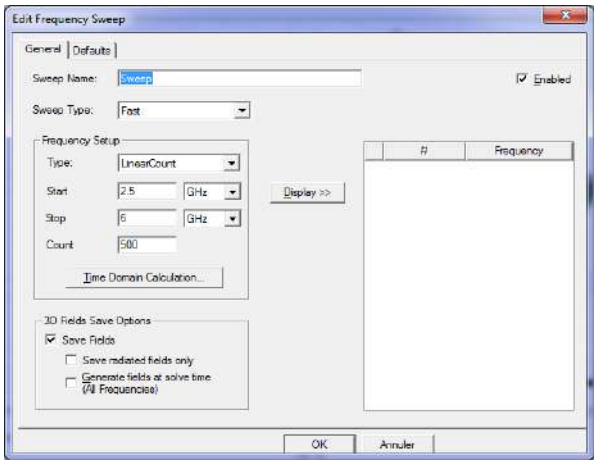
Vous pouvez laisser le nom de la configuration comme par défaut ou bien la renommer, on introduit la fréquence min dans ''solution frequency''. On laisse les autres paramètres comme par défaut.

- Cliquer sur le Bouton **OK**.



FigureIII.5.f. Driven Solution Setup

b. Créer un champ de fréquence :

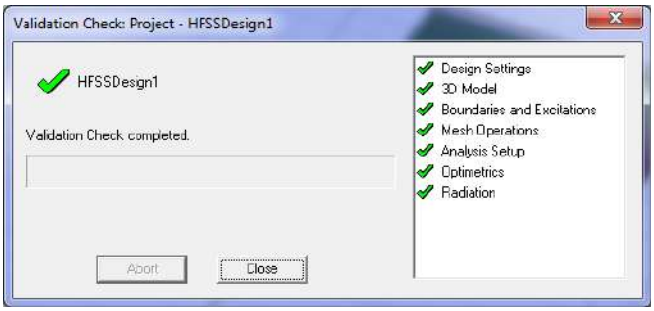


FigureIII.5.g. Edit frequency sweep

III.3.1.3. Vérification du modèle

Afin de valider la procédure utiliser dans chaque configuration, on doit vérifier par l'utilisation de la fonction ''validation check'' la consistance de la méthode ainsi s'assurer que la procédure suivie est correcte.

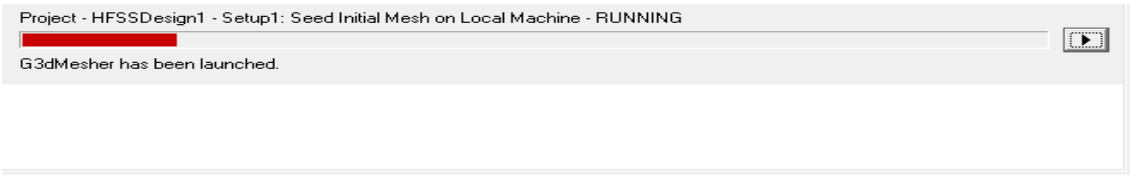
Sur l'anglet **HFSS**, on clique sur **Validation check**



FigureIII.5.h. Validation check

Après vérification du modèle, il est temps de lancer l'analyse :

Sur l'onglet **HFSS**, on clique sur **Analyse All**, la fenêtre de progression nous permet de suivre la progression de l'analyse :



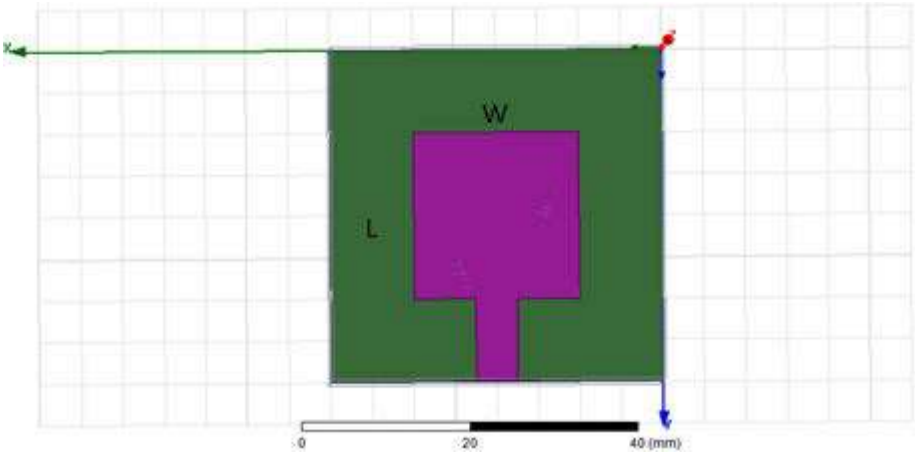


Figure III.6.2 : Antenne patch carré.

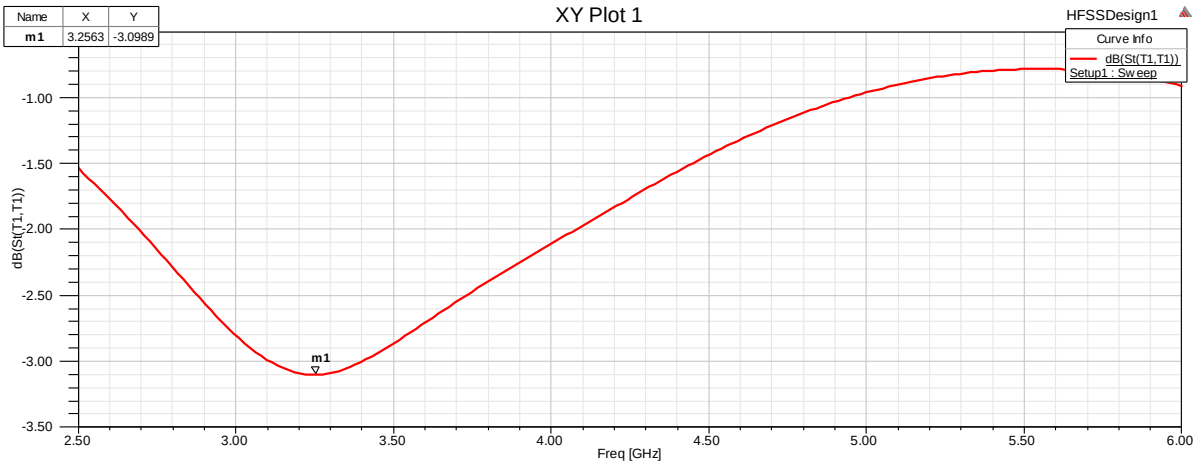
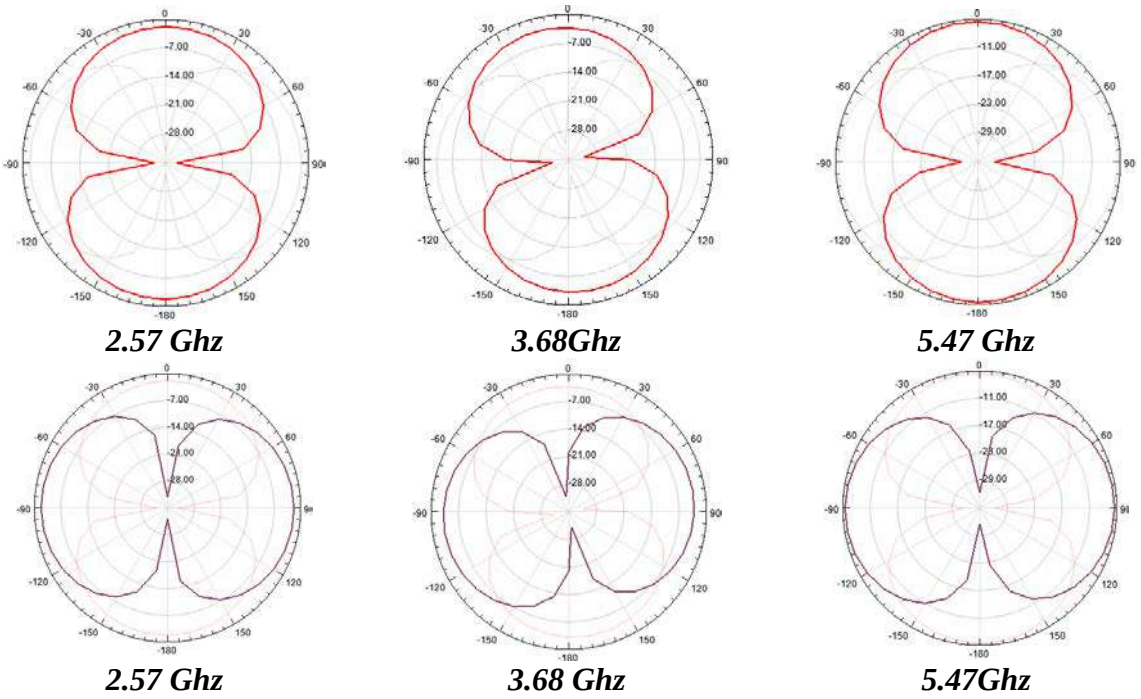


Figure III.6.3 : Paramètre S11 de l'antenne patch avec adaptation à la fréquence

La figure III.6.3 montre la courbe du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. En utilisant ces paramètres, l'antenne Patch carré ici résonne sur la fréquence de 3.25 GHZ [f_1=2.88 Ghz ; f_2=3.72 Ghz]

Diagramme de rayonnement



2.57 Ghz ***3.68Ghz*** ***5.47 Ghz***

2.57 Ghz ***3.68 Ghz*** ***5.47Ghz***

Figure III-6.4. a : Diagrammes de rayonnement (Theta=0)

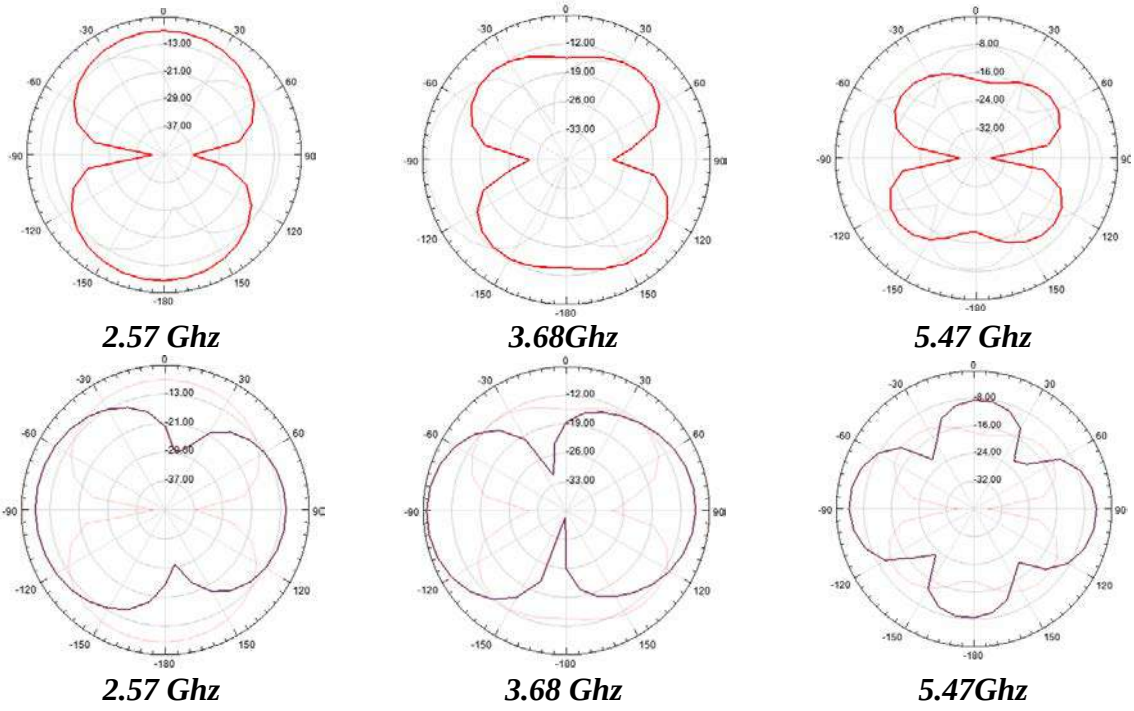


Figure III-6.4. b : Diagrammes de rayonnement (Theta=90)

Les figures III.6.4.a et b montrent les diagrammes de rayonnement de trois valeurs de fréquences 2.57, 3.68 et 5.47 Ghz en cordonné polaires avec les deux coupes d'angle Theta= 0° et 90°

a. Directivité

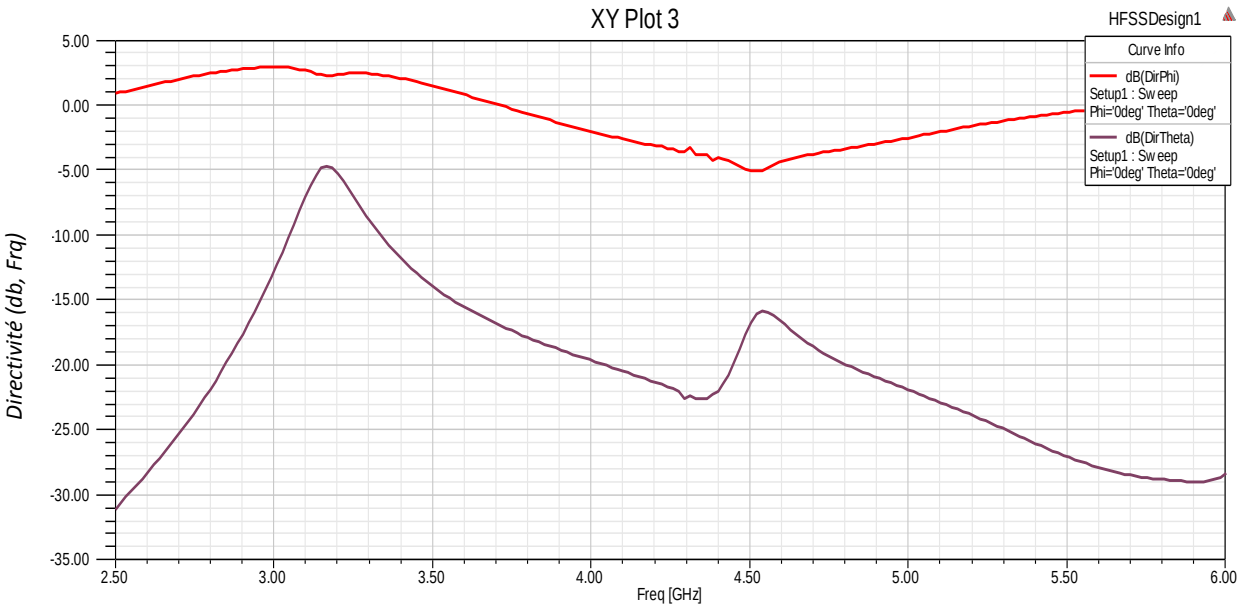


Figure III.6.5 : Directivité en fonction de la fréquence

b. Gain

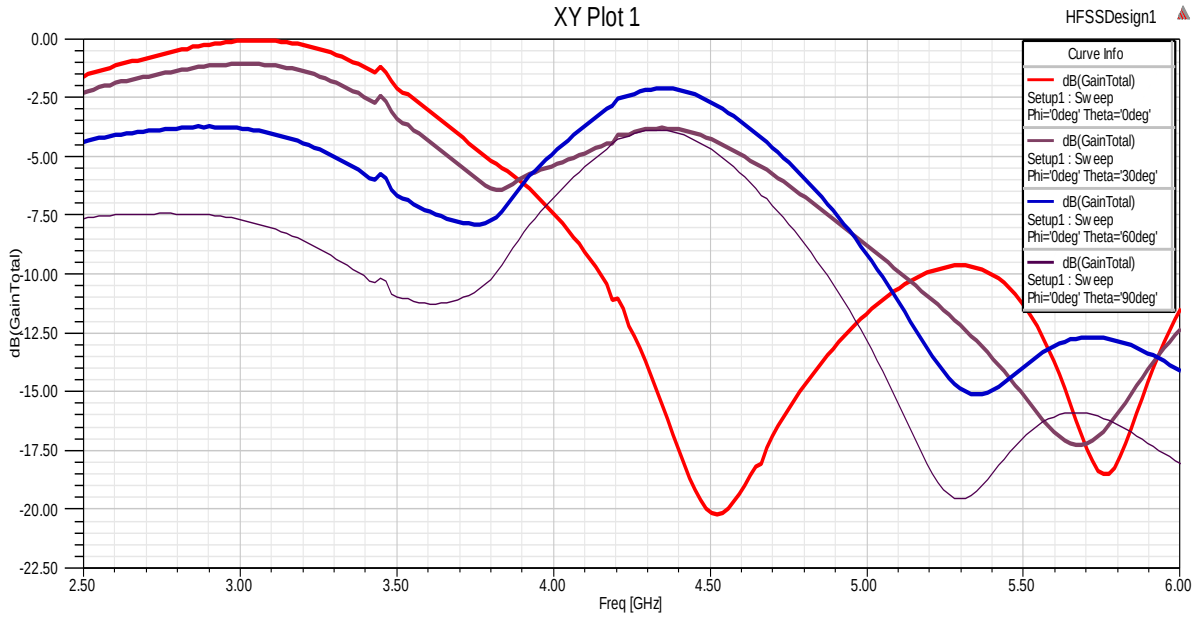


Figure III.6.6.a : Gain total d'une antenne patch carré, Theta=0°, 30°, 60°, 90°, Phi = 0°

Tableau III.1. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Phi = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**4.52**
0	**30**	**5.68**
0	**60**	**5.35**
0	**90**	**5.29**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch carré, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi = 0° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires et varies entre 4.52 à 5.68 Ghz.

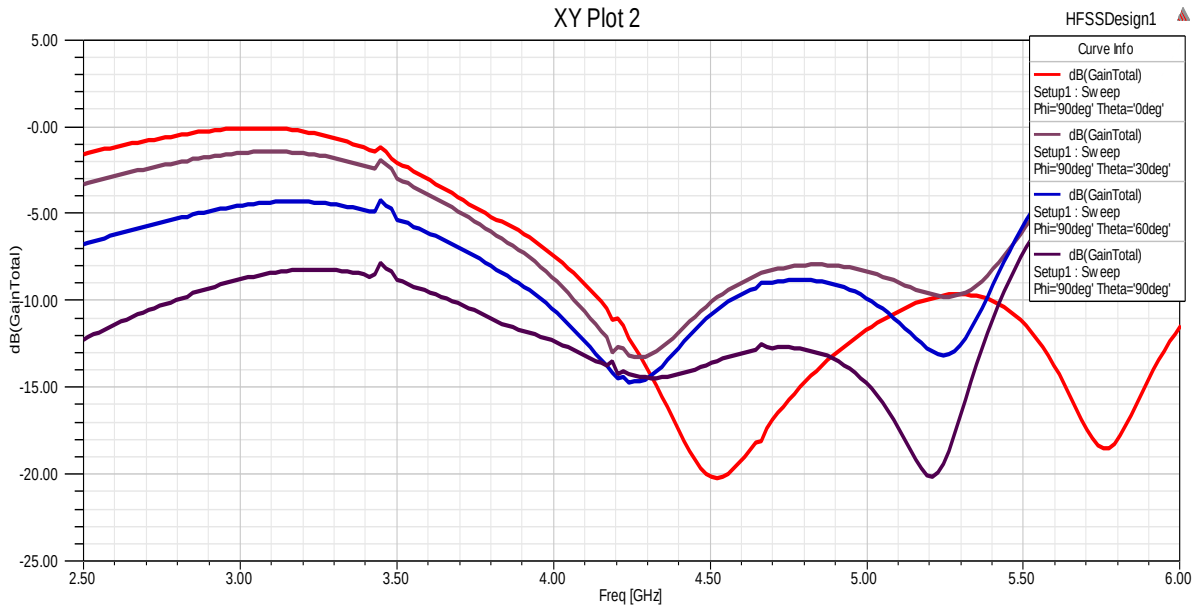


Figure III.6.6.b : Gain total d'une antenne patch carré, Theta=0°, 30°, 60°, 90°, Phi = 90°

Tableau III.2. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Phi= 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
90	**0**	**4.52**
90	**30**	**4.27**
90	**60**	**4.24**
90	**90**	**5.2**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch carré, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi =90° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires avec un champs de variation très faible (entre 4.24 à 5.2 Ghz) par rapport au cas précedent (Phi=0°)

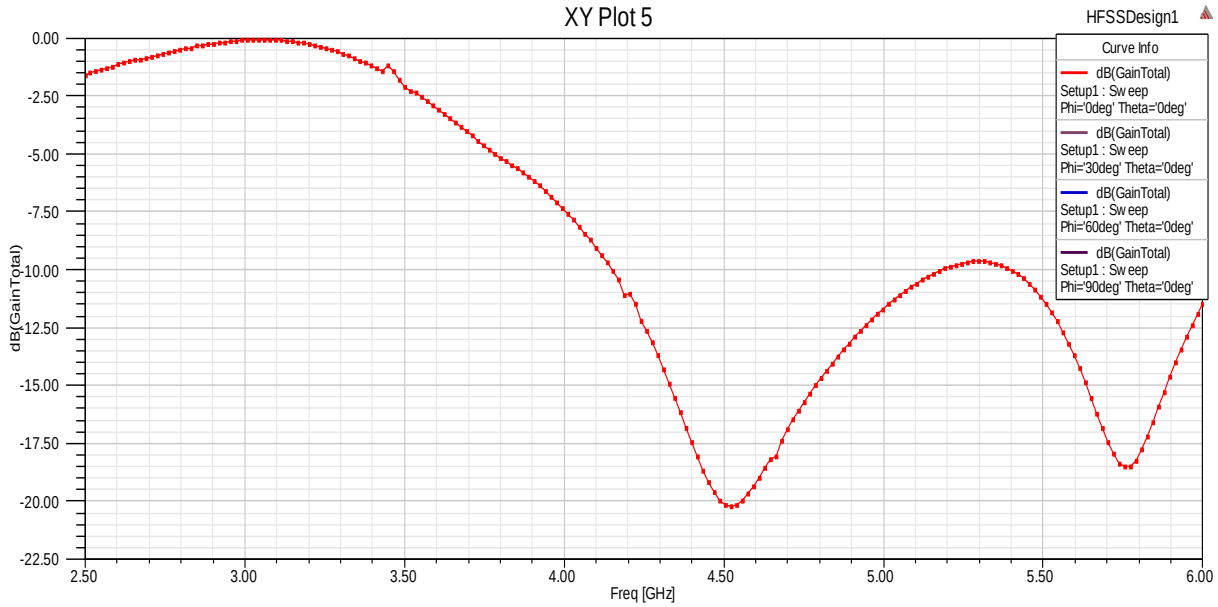


Figure III.6.6.a : Gain total d'une antenne patch carré, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0°

Tableau III.3. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Theta = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**4.52**
30	**0**	**4.52**
60	**0**	**4.52**
90	**0**	**4.52**

Le tableau montre que pour une antenne patch carré, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta = 0° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont identiques.

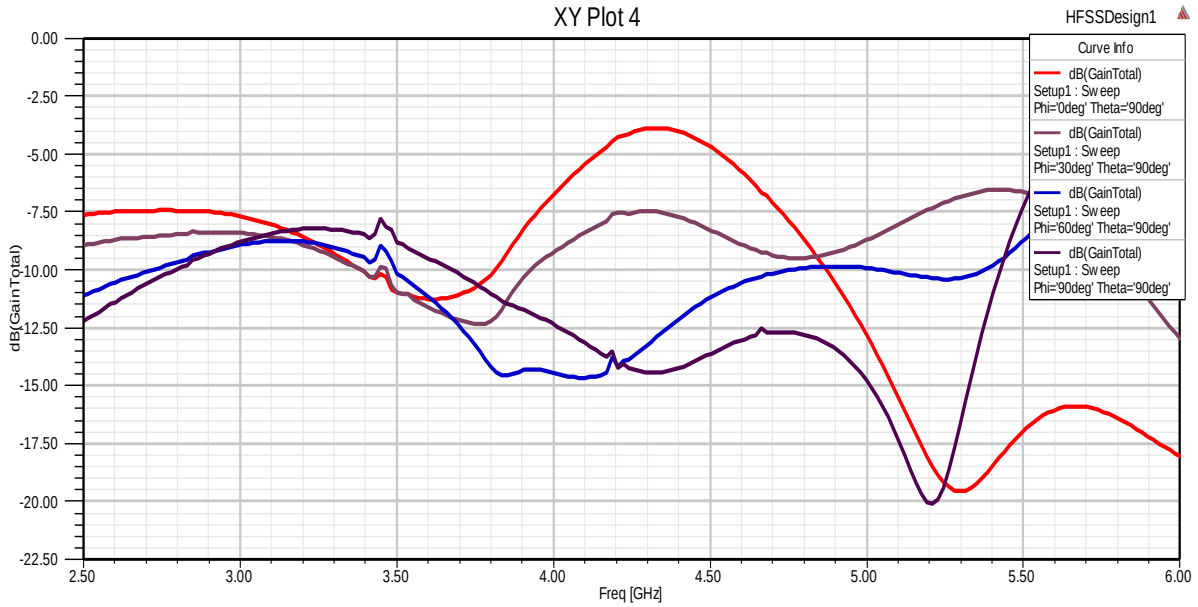


Figure III.6.6.a : Gain total d'une antenne patch carré, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90°

Tableau III.4. les fréquences de resonance pour l'antenne patch carré, Theta = 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**90**	**5.29**
30	**90**	**3.76**
60	**90**	**4.1**
90	**90**	**5.2**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch carré, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta =90° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, ont un champs de variation entre 3.76 à 5.29 Ghz

c. Impédance de rayonnement

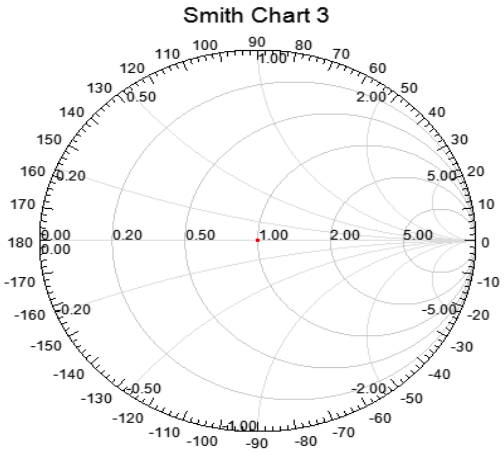


Figure III.6.7 : Impédance d'entrée d'une antenne patch carré

La figure III.6.7 représente le diagramme de Smith, qui caractérise l'impédance de rayonnement, la figure montre qu'il y a une adaptation et donc $Z_a=Z_c$.

d. Taux d'onde stationnaire :

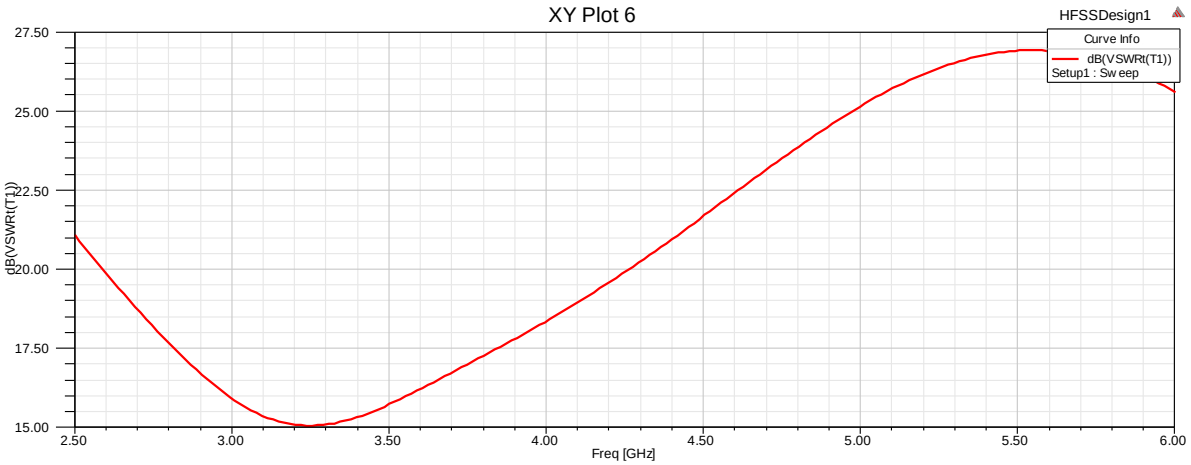


Figure III.6.8 : VSWR en fonction de la fréquence.

La figure III.6.8 montrent la courbe du taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

e. Courant de surface d'une antenne patch carré

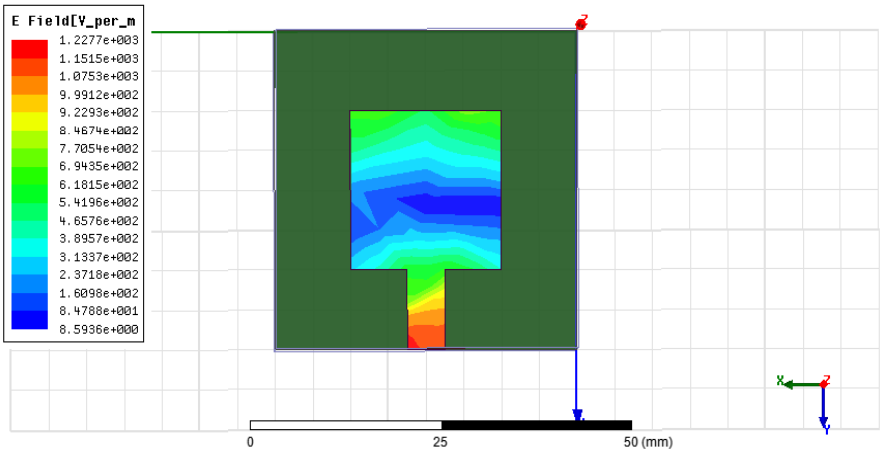


Figure III.6.9.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz

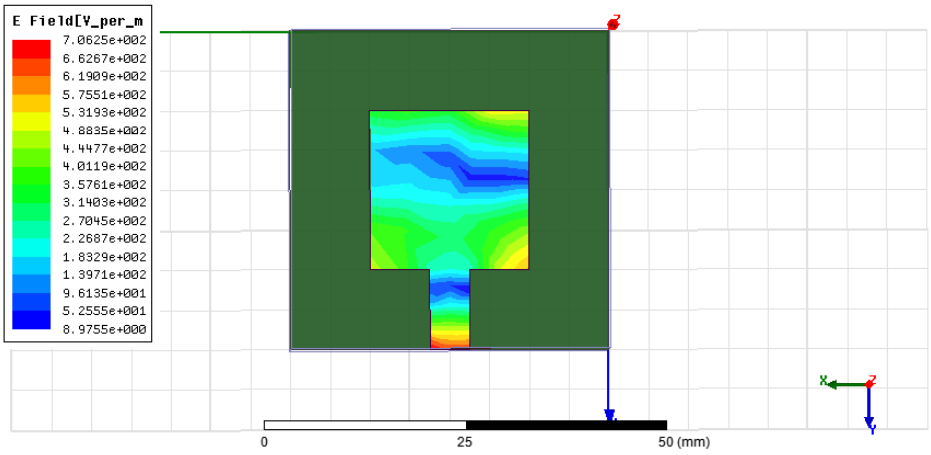


Figure III.6.9.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz

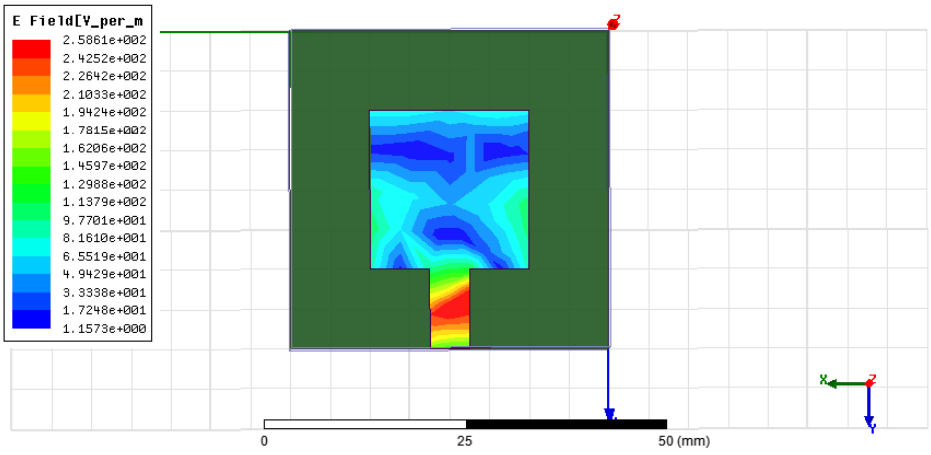


Figure III.6.9.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz

Les résultats de l'antenne simulée sur le substrat Epoxy FR4 présentent un bon coefficient de réflexion et un gain satisfaisant. Le rayonnement est moins important pour des fréquences relativement élevées.

Tableau III.5 Les paramètres caractéristiques de l'antenne carré.

Caractéristiques	Antenne carré
S11 (min) a 3.25GHZ	-3.1
VSWR (min) a 3.25 GHZ	15
Directivité (dB) a 3.9 GHZ	-19
Courant de surface (A/m)	1.22
BP (Ghz)	0.84

L'antenne carré a des résultats acceptables tels que la directivité et le taux d'onde stationnaire sont meilleure avec une bande passante large.

III.3.2. Cas d'antennes microbandes Rectangle :

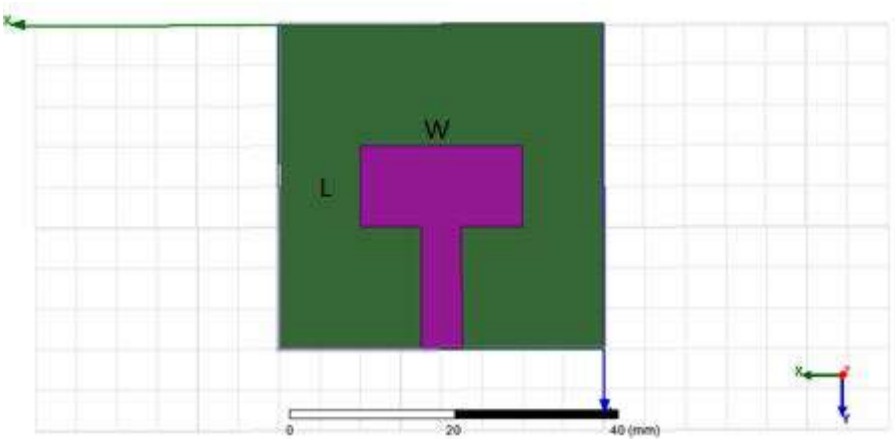
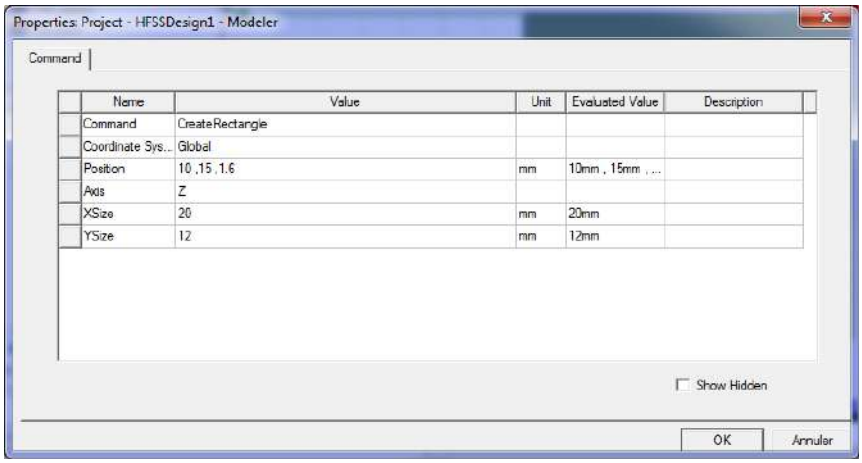


Figure III.7.1 : Antenne patch rectangle.



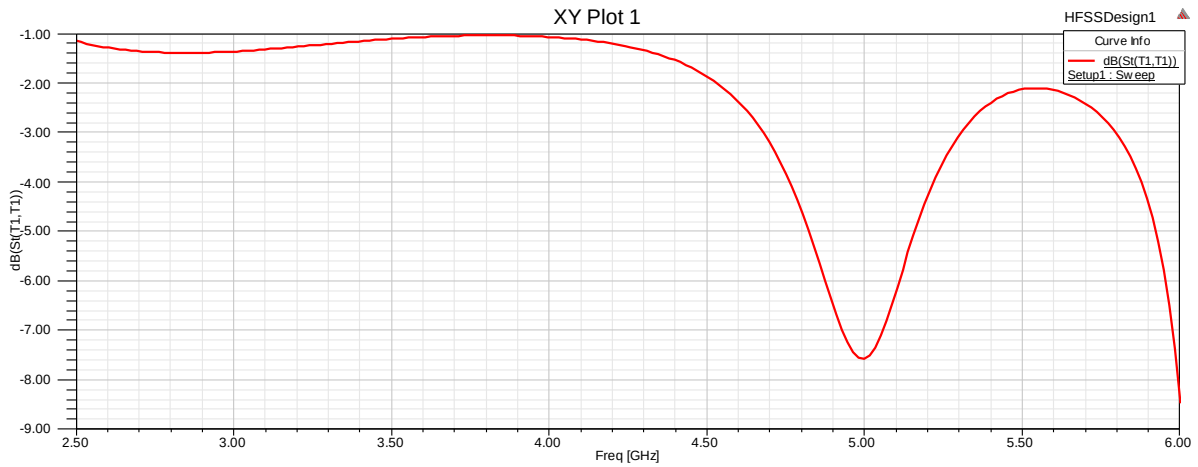


Figure III-7.2 : Paramètre S11 de l'antenne patch avec adaptation à la fréquence

Montre la courbe du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. En utilisant ces paramètres, l'antenne Patch rectangulaire ici résonne sur la fréquence de 5 GHZ [f1=4.76 Ghz ; f2=5.22 Ghz]

a. ***Diagramme de rayonnement :***

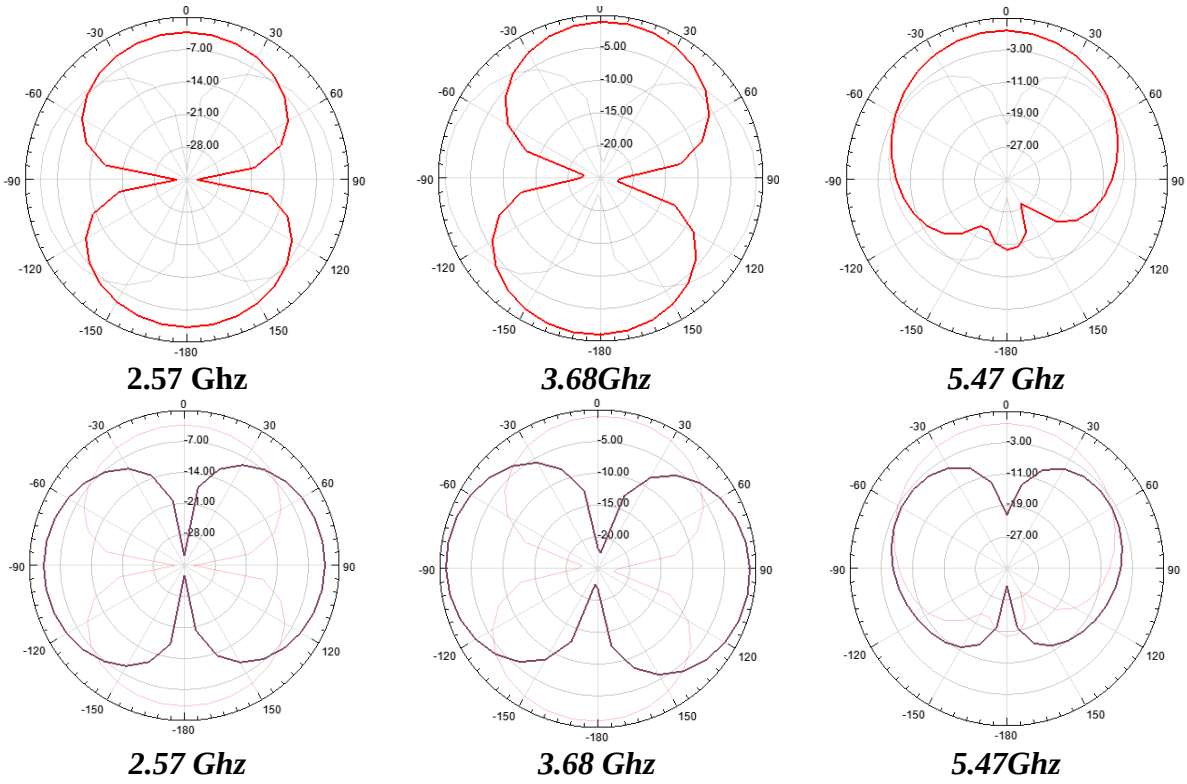


Figure III-7.3. a : Diagrammes de rayonnement (Theta=0)

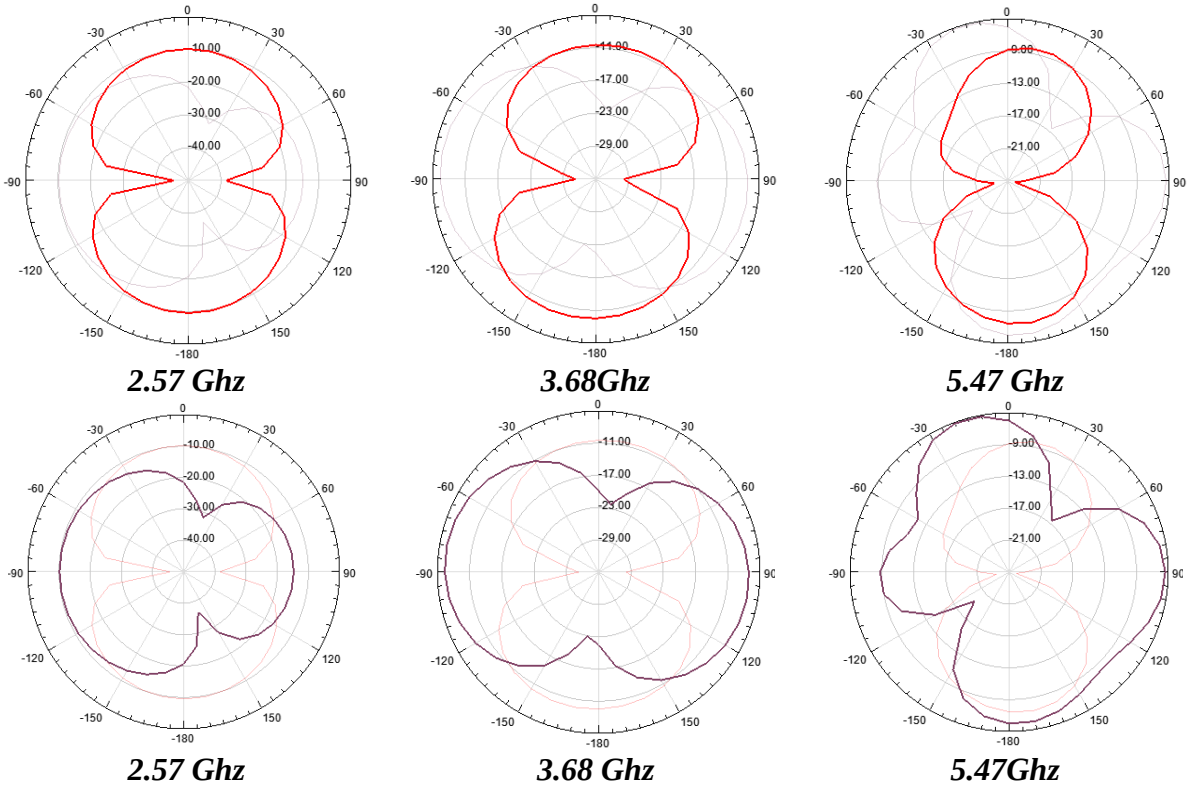


Figure III-7.3. b : Diagrammes de rayonnement (Theta=90)

Les figures III.7.3.a et b montrent les diagrammes de rayonnement de trois valeurs de fréquences 2.57, 3.68 et 5.47 Ghz en cordonné polar avec les deux coupes d'angle Theta= 0° et 90°

a. Directivité

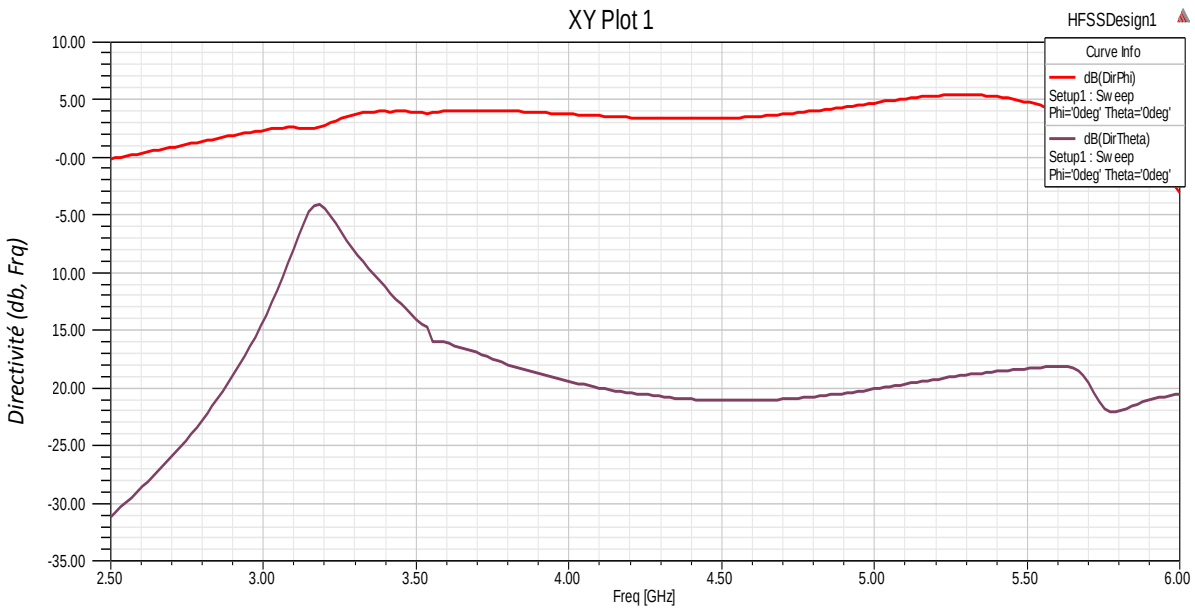


Figure III.7.4 : Directivité en fonction de la fréquence

b. Gain :

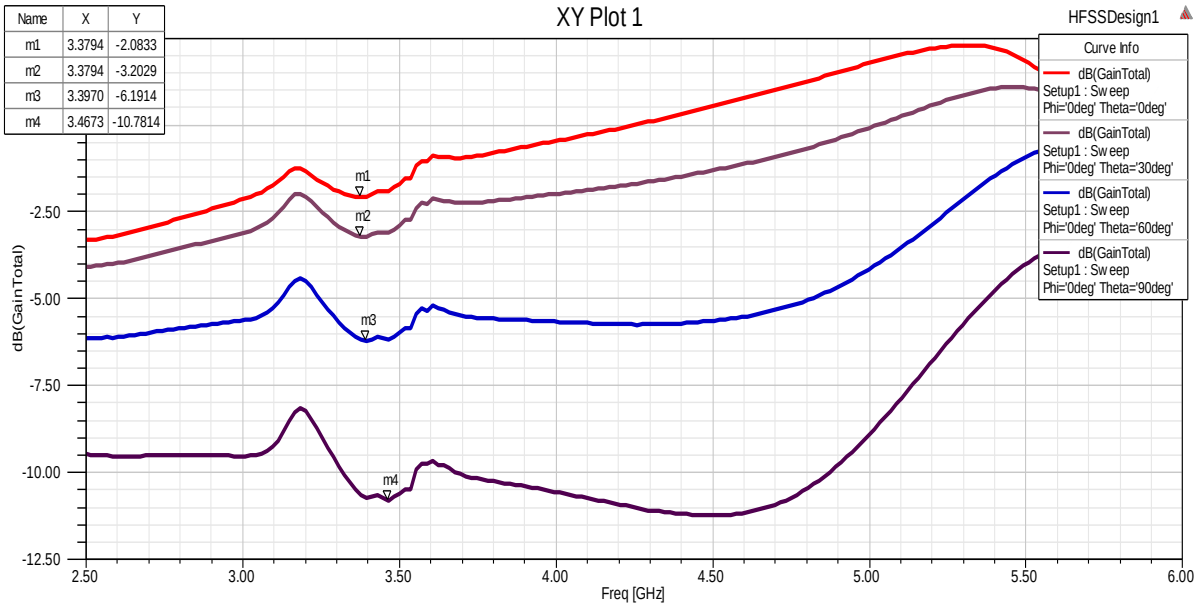


Figure III.7.5.a : Gain d'une antenne patch rectangulaire en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=0°

Tableau III.6. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Phi = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**3.38**
0	**30**	**3.38**
0	**60**	**3.4**
0	**90**	**3.47**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch rectangulaire, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi = 0° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires et varies entre 3.38 à 3.47 Ghz.

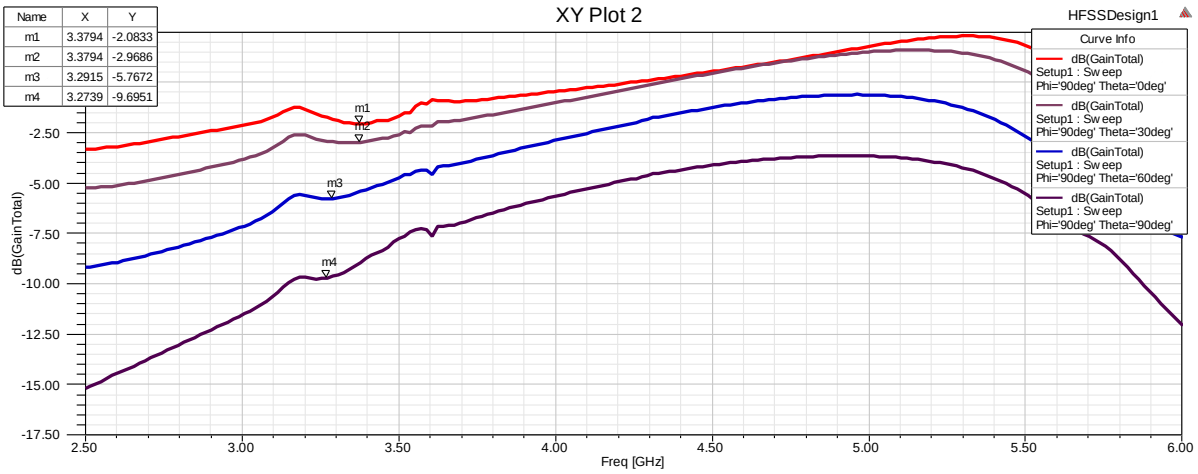


Figure III.7.5.b : Gain d'une antenne patch rectangulaire en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=90°

Tableau III.7. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Phi = 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
90	**0**	**3.38**
90	**30**	**3.38**
90	**60**	**3.29**
90	**90**	**3.27**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch rectangulaire, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi =90° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires avec un champs de variation très faible (entre 3.27 à 3.38 Ghz) par rapport au cas précedent (Phi=0°)

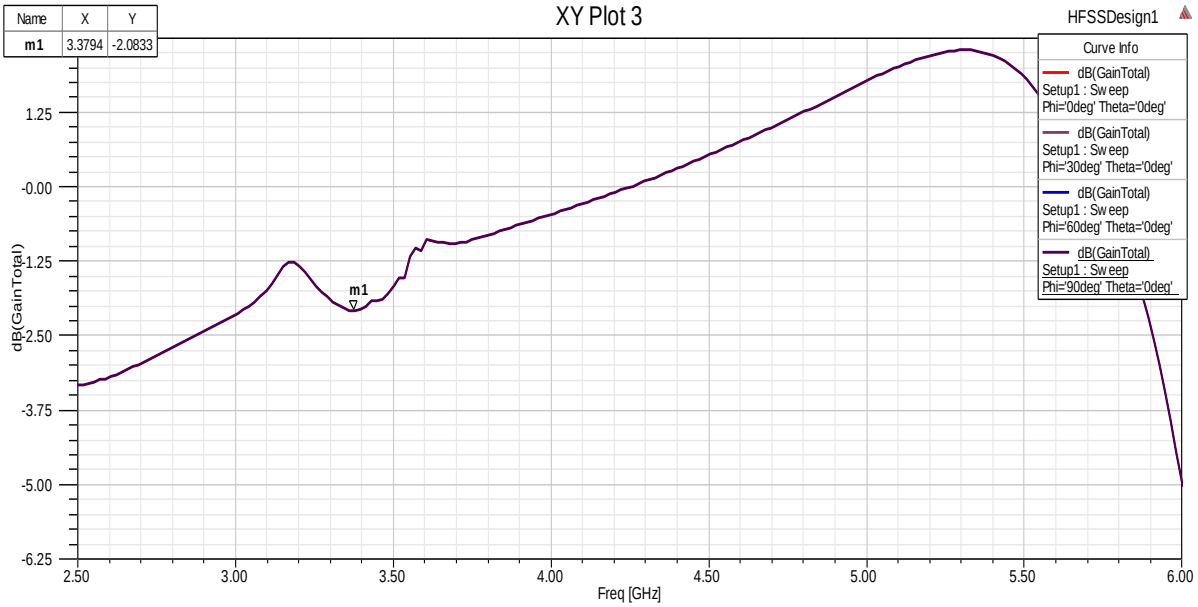


Figure III.7.6.a : Gain total d'une antenne patch rectangle, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0°

Tableau III.8. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Theta = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**3.38**
30	**0**	**3.38**
60	**0**	**3.38**
90	**0**	**3.38**

Comme pour le cas d'une antenne rectangulaire, le tableau montre que pour une antenne patch rectangulaire, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta = 0° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont identiques et égale à 3.38 Ghz.

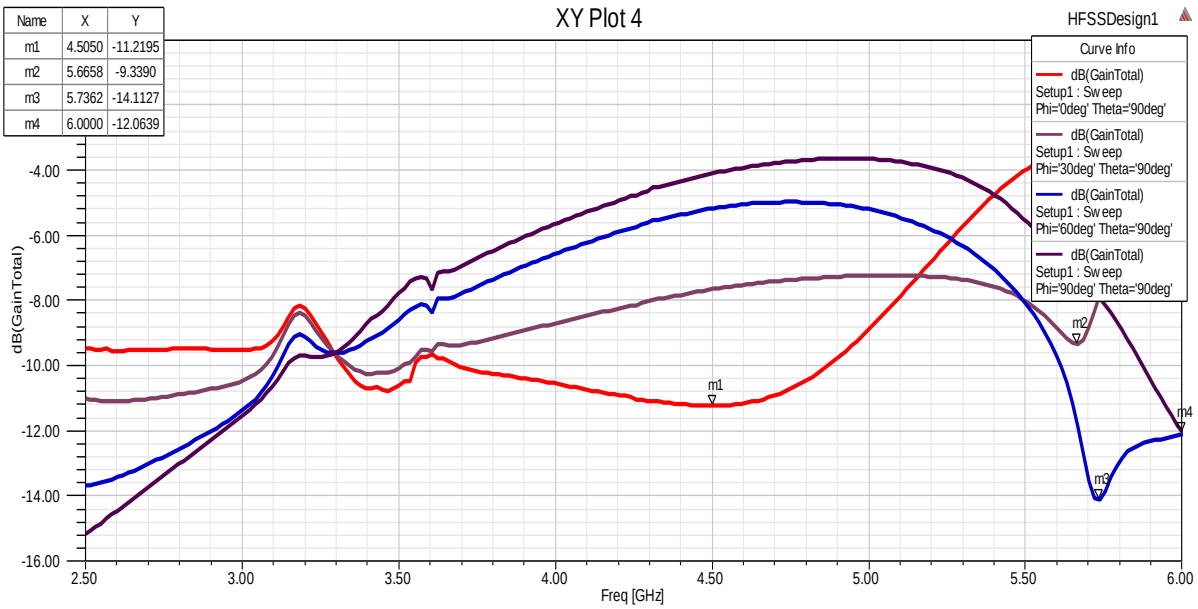


Figure III.7.6.a : Gain total d'une antenne patch rectangle, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90°

Tableau III.9. les fréquences de resonance pour l'antenne patch rectangle, Theta = 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**90**	**4.5**
30	**90**	**5.65**
60	**90**	**5.73**
90	**90**	**6**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch rectangulaire, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta =90° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, ont un champs de variation entre très large et élevé en comaraison avec les cas précédants (entre 4.5 à 6 Ghz)

a. Impédance de rayonnement

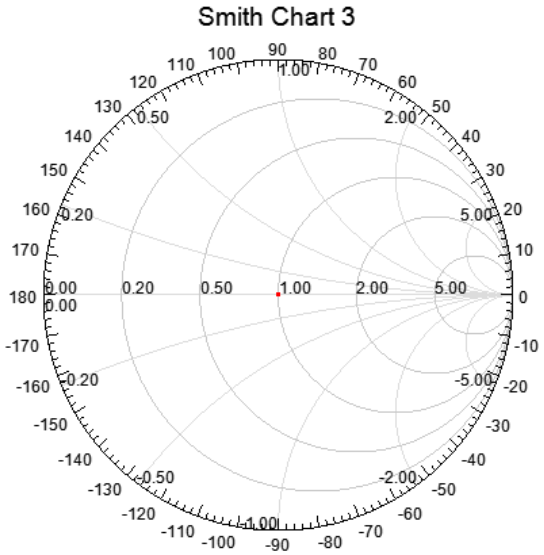


Figure III.7.7: Impédance d'entré d'une antenne patch rectangulaire

La figure III.7.7 représente le diagramme de Smith, qui caractérise l'impédance de rayonnement, la figure montre qu'il y a une adaptation et donc $Z_a=Z_c$.

b. Taux d'onde stationnaire

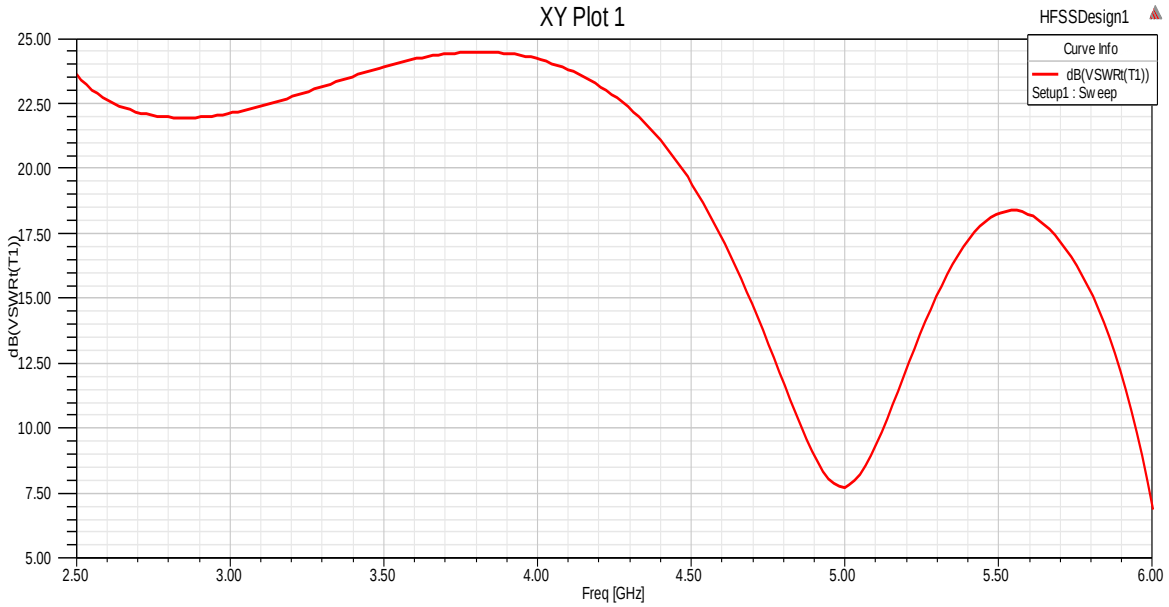


Figure III.7.7 : VSWR en fonction de la fréquence

c. Courant de surface d'un patch rectangulaire

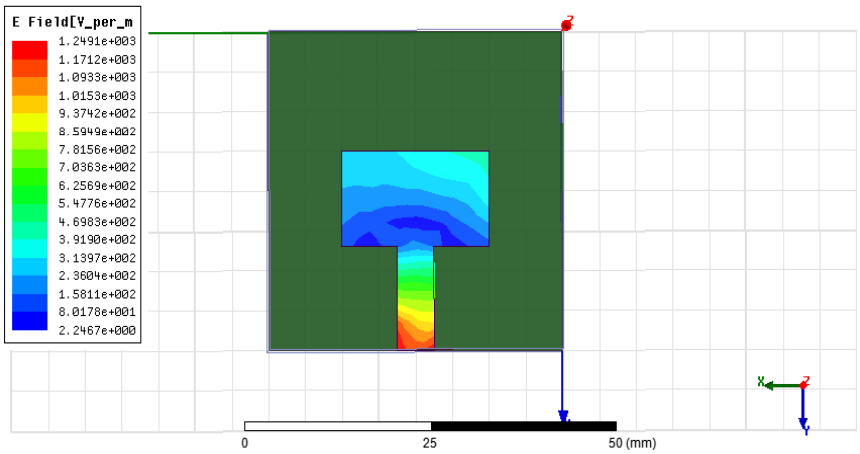


Figure III.7.8.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz

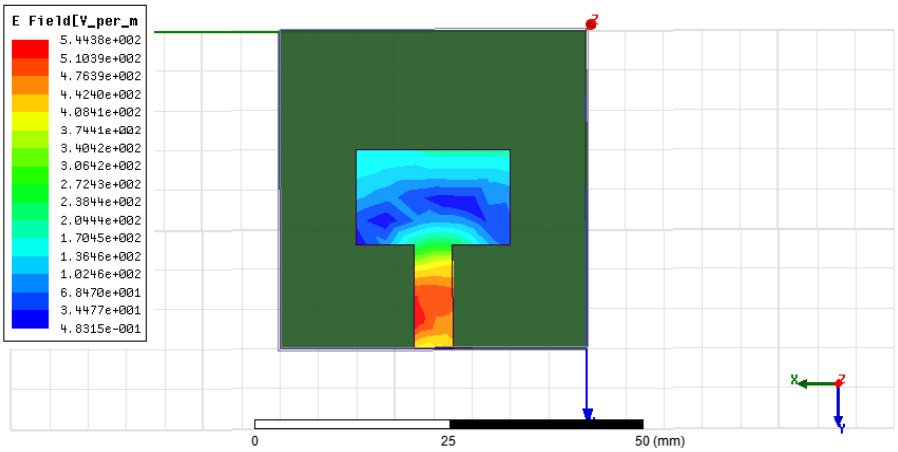


Figure III.7.8.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz

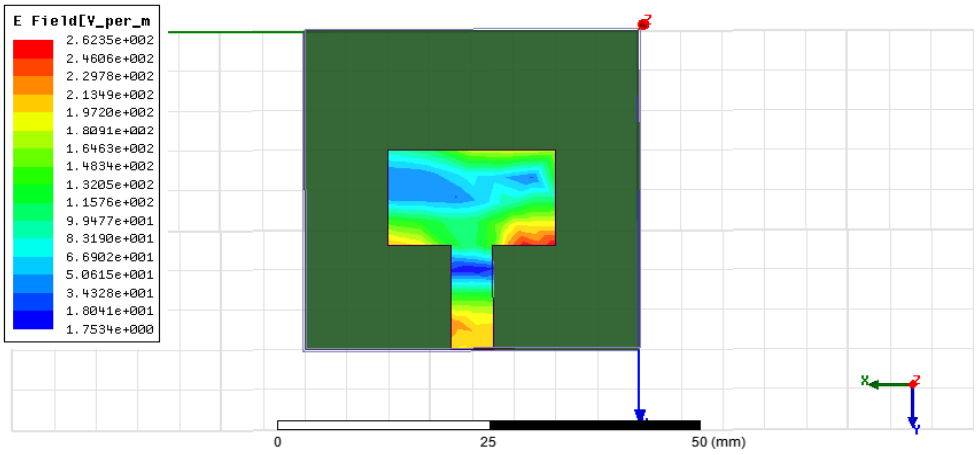


Figure III.7.8.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz

Tableau III.10 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne rectangulaire.

Caractéristiques	Antenne rectangulaire
S11 (min) a 5GHZ	-7.6
VSWR (min) a 5 GHZ	8
Directivité (dB) a 3.2 GHZ	-4
Courant de surface(A/m)	1.24
BP (Ghz)	0.46

Comme cette antenne présente une faible directivité, on souhaite réaliser un autre type d'antenne afin d'améliorer cet inconvénient.

III.3.3. Cas d'antennes microbandes à rectangulaires à Fentes (Déformées)

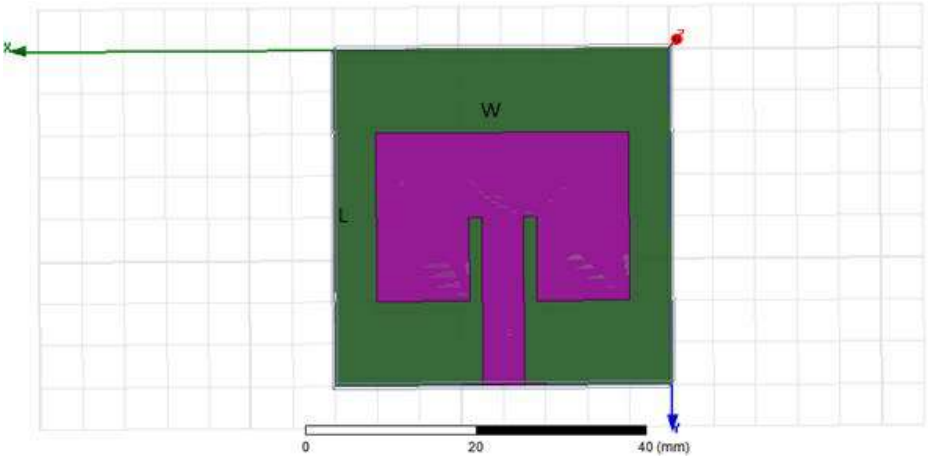


Figure III.8.1 : Antenne patch déformées.

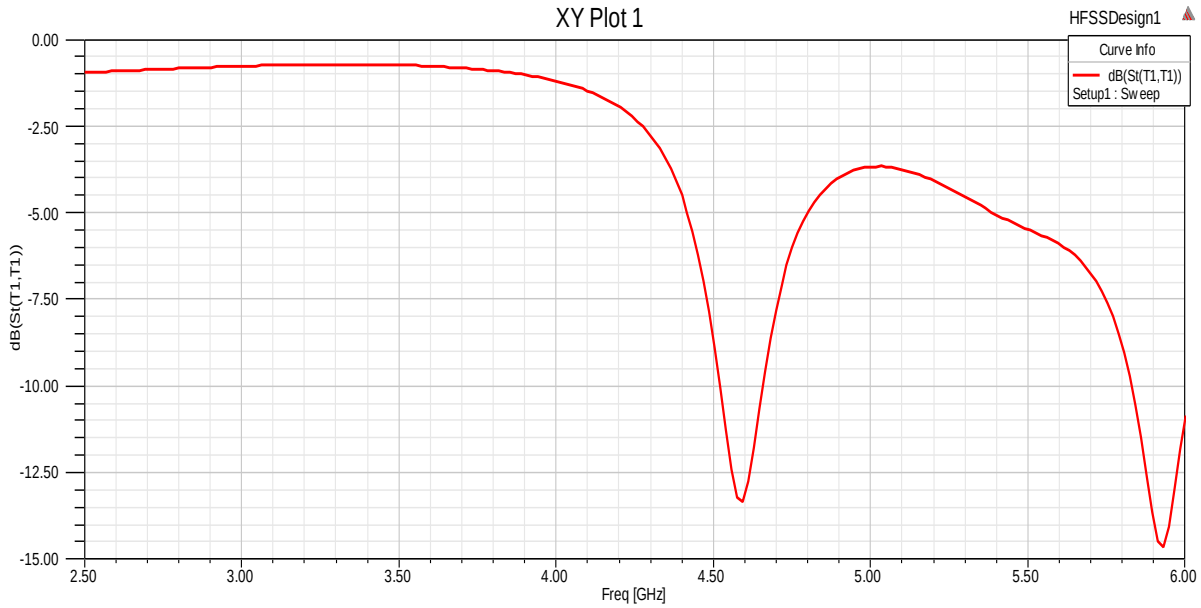


Figure III.8.2 : Paramètre S11 d'une antenne patch déformée avec adaptation à la fréquence

La figure III.8.2 montre la courbe du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. En utilisant ces paramètres, l'antenne Patch déformée ici résonne sur la fréquence de 4.59 GHZ [f_1=4.49 Ghz ; f_2=4.71 Ghz]

a. Diagramme de rayonnement

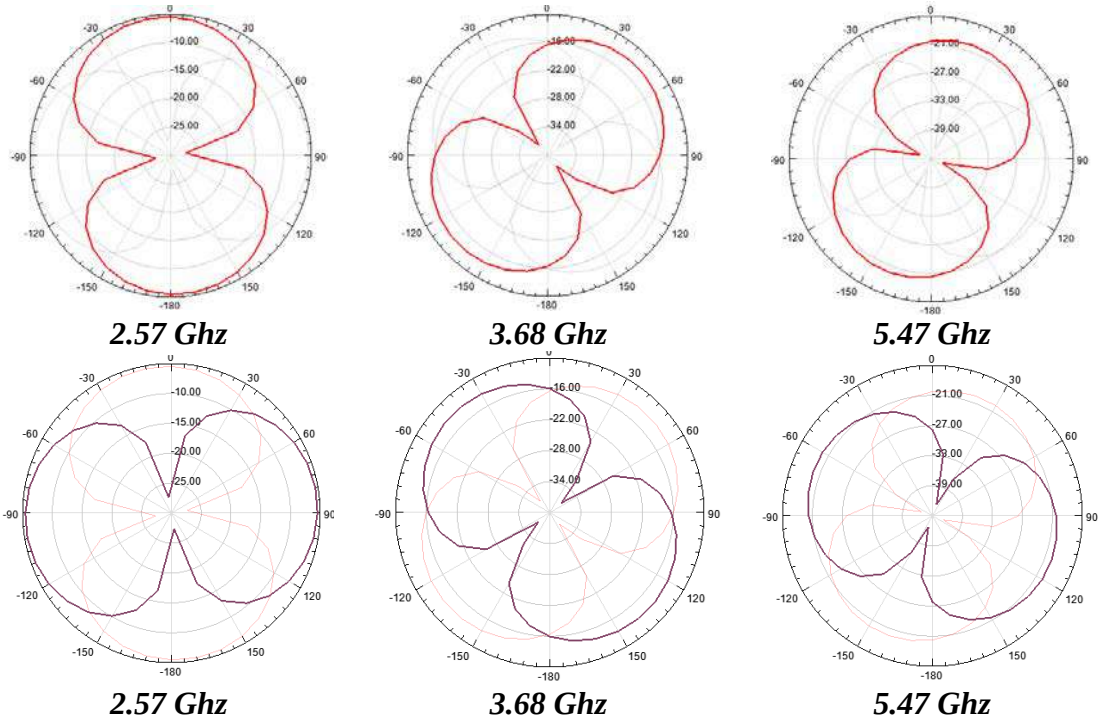


Figure III-8.3. a : Diagrammes de rayonnement (Theta=0)

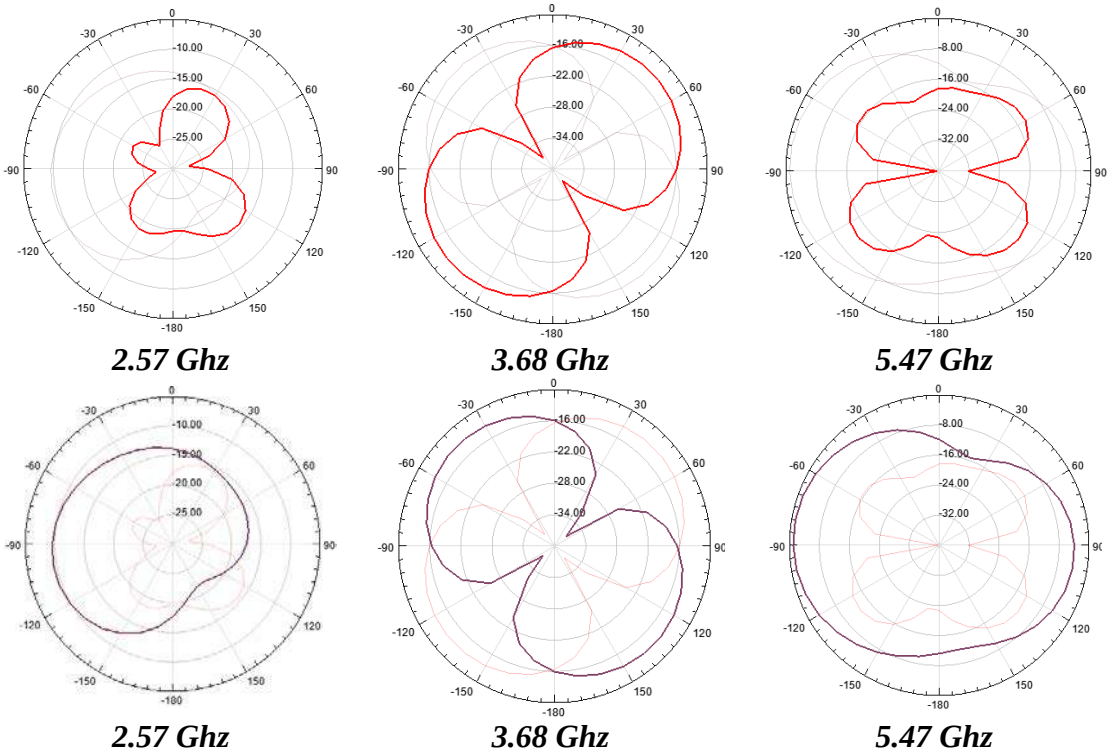


Figure III-8.3. b : Diagrammes de rayonnement (Theta=90)

b. Directivité

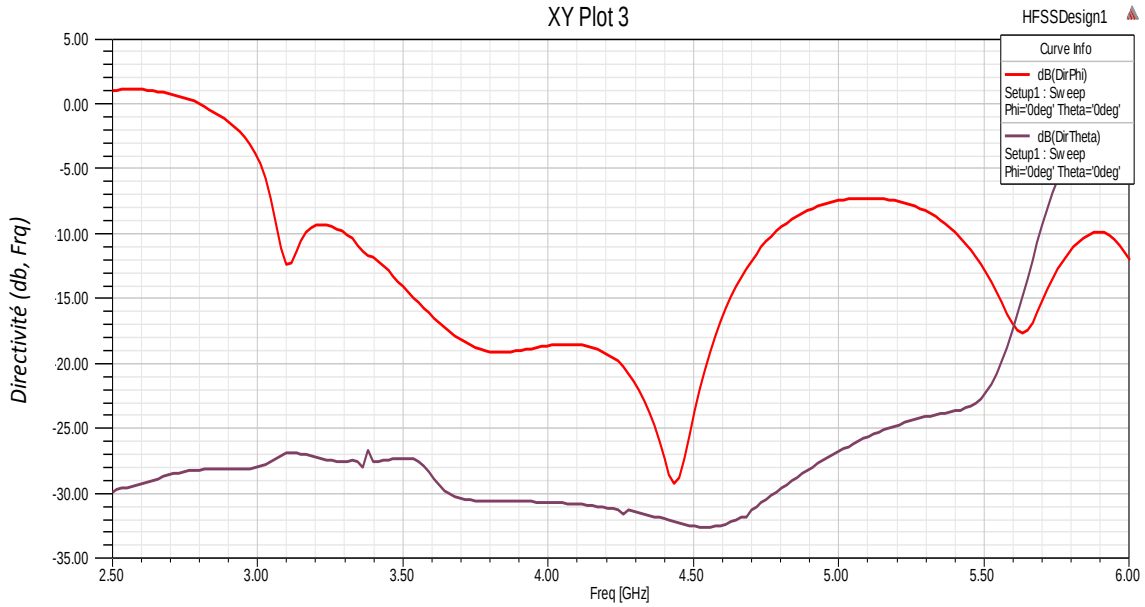


Figure III.8.4 : Directivité en fonction de la fréquence

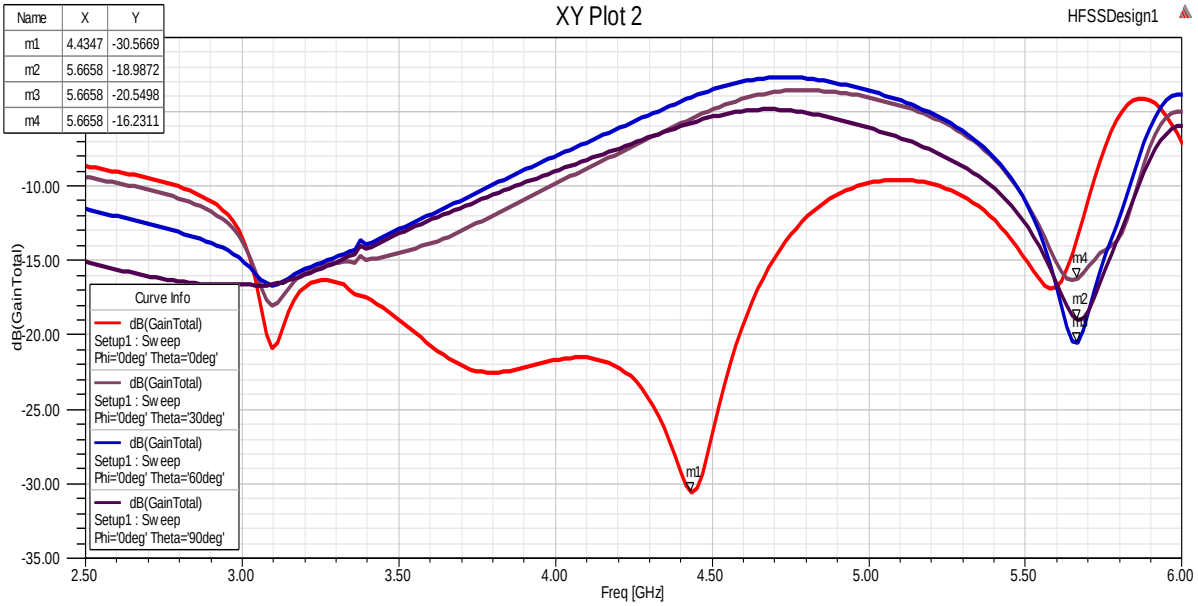


Figure III.8.5.a : Gain d'une antenne patch déformée en fonction de la fréquence phi=0°,30°,60°,90°, Theta=0°

Tableau III.11. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Phi = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**4.43**
0	**30**	**5.66**
0	**60**	**5.66**
0	**90**	**5.66**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch déformée, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi = 0° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires et varies entre 4.43 à 5.66 Ghz.

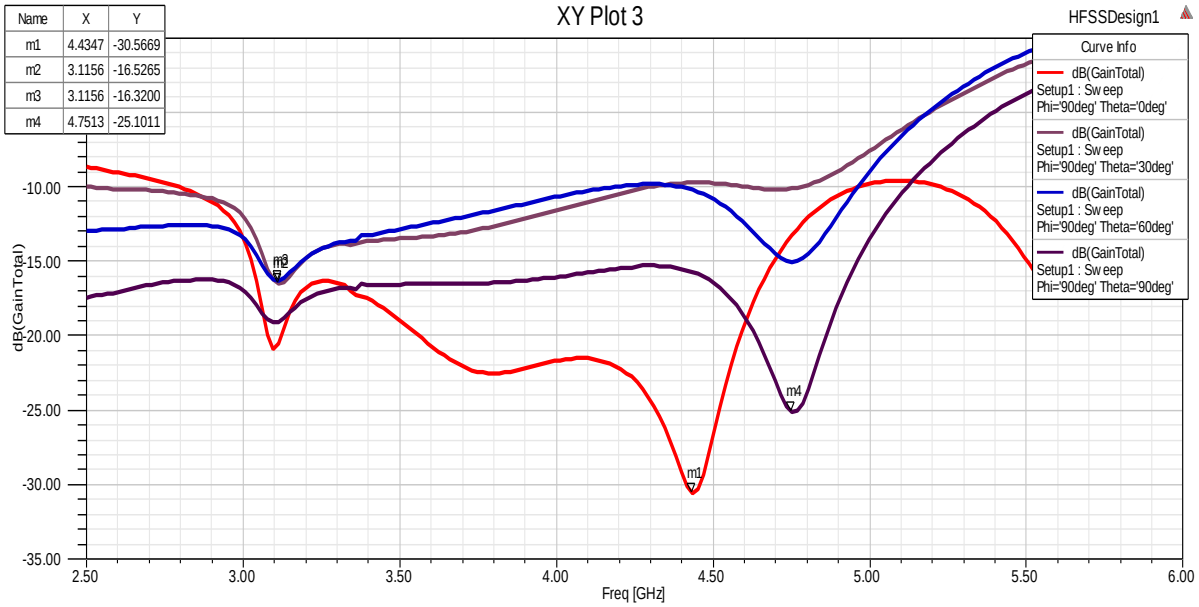


Figure III.8. 6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Theta=0°, 30°, 60°, 90°, Phi = 90°

Tableau III.12. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Phi = 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
90	**0**	**4.43**
90	**30**	**3.11**
90	**60**	**3.11**
90	**90**	**4.75**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch déformée, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Phi =90° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont réguliaires avec un champs de variation (entre 3.11 à 4.75 Ghz) inférieurs au cas précedent (Phi=0°)

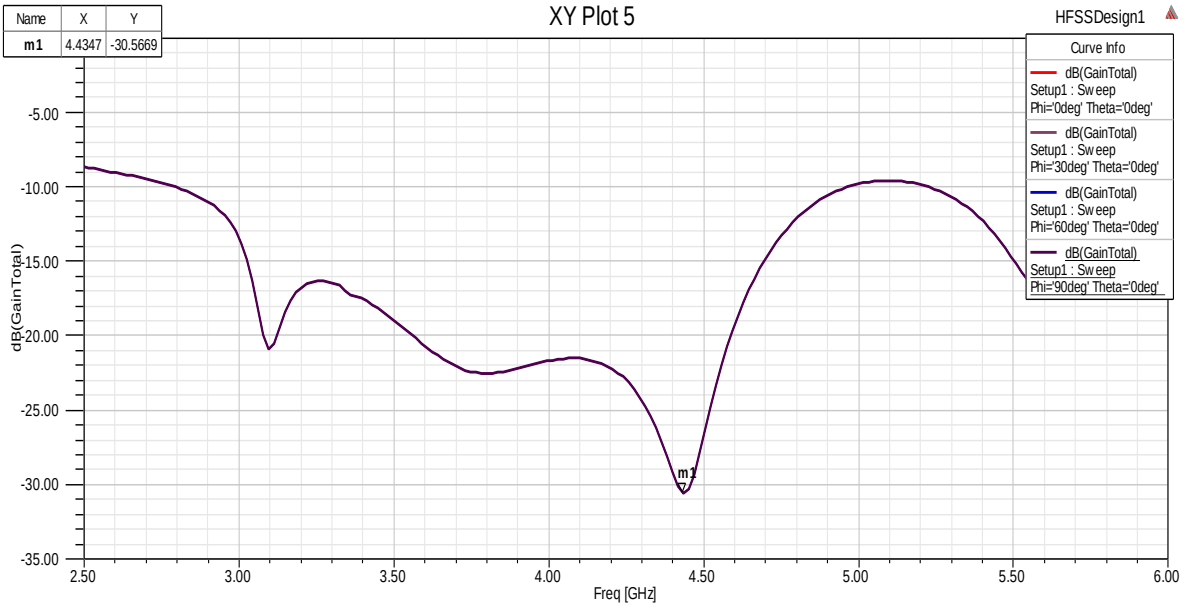


Figure III.8.6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 0°

Tableau III.13. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Théta = 0

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**0**	**4.43**
30	**0**	**4.43**
60	**0**	**4.43**
90	**0**	**4.43**

Comme pour les cas précedants, le tableau montre que pour une antenne patch déformée, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta = 0° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, sont identiques et égale à 4.43 Ghz.

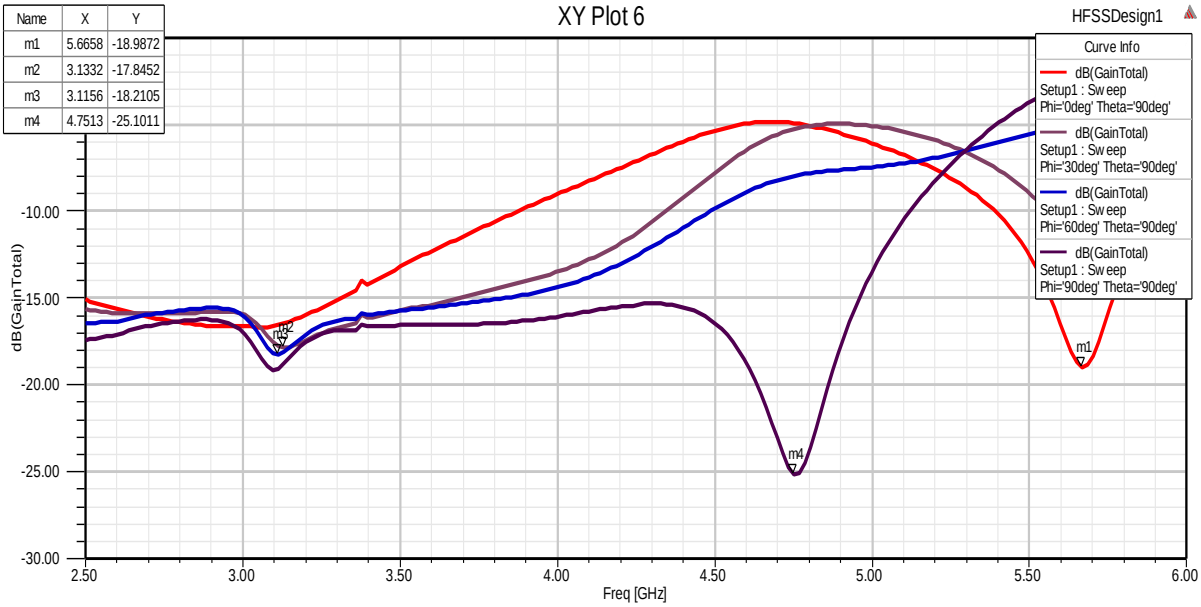


Figure III.8.6.a : Gain total d'une antenne patch déformée, Phi=0°, 30°, 60°, 90°, Theta = 90°

Tableau III.14. les fréquences de resonance pour l'antenne patch déformée, Theta = 90

Phi [°]	Theta [°]	Fréquence résonnance [Ghz]
0	**90**	**5.66**
30	**90**	**3.13**
60	**90**	**3.11**
90	**90**	**4.75**

Le tableau ci-dessus montre que pour une antenne patch déformée, les fréquences de résonnance pour le gain lorsque Theta =90° et Phi varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, ont un champs de variation entre très large et élevé en comaraison avec les cas précédants (entre 3.11 à 5.66 Ghz)

c. Impédance de rayonnement

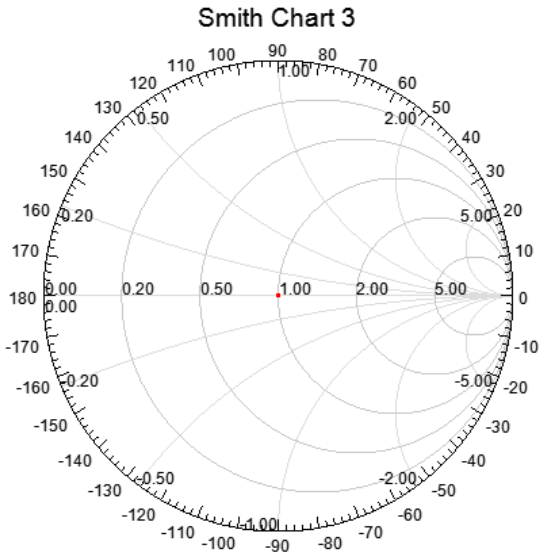


Figure III.8.7: Impédance d'entré d'une antenne patch déformée

La figure III.8.7 représente le diagramme de Smith, qui caractérise l'impédance de rayonnement, la figure montre qu'il y a une adaptation et donc $Z_a=Z_c$.

a. Courant de surface d'une antenne patch déformée

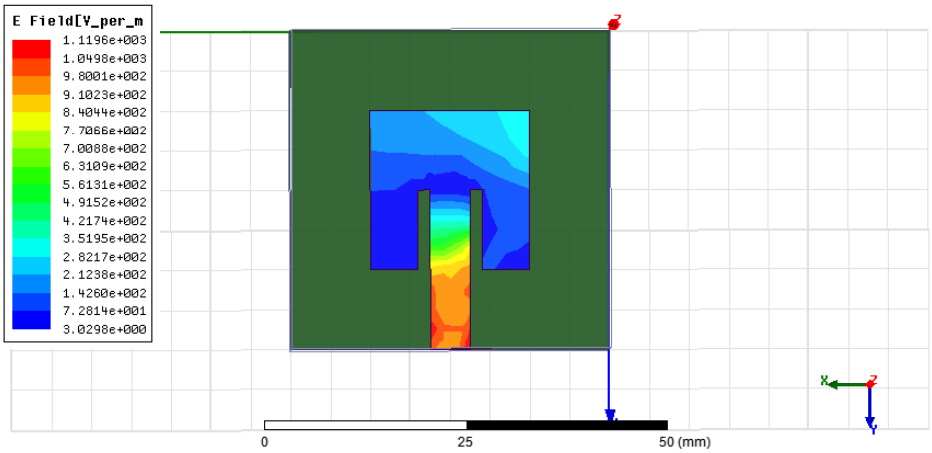


Figure III.8.8.a : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 2.57 Ghz

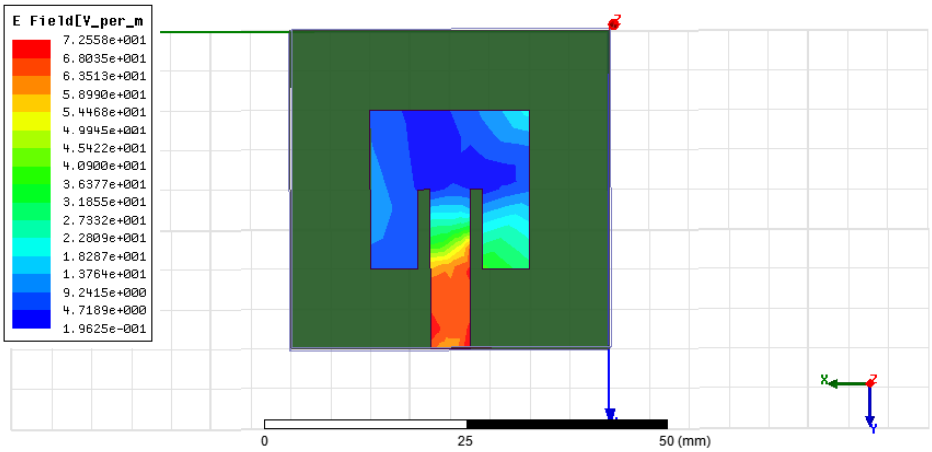


Figure III.8.8.b : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 3.68 Ghz

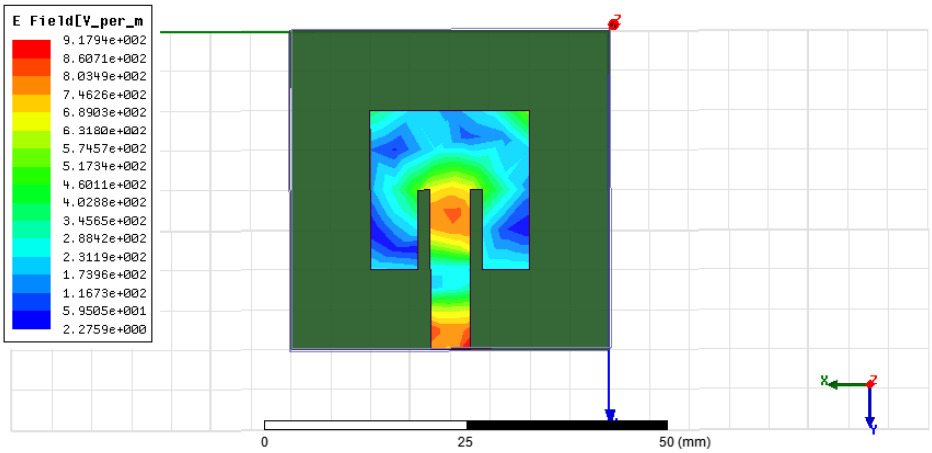


Figure III.8.8.c : Courant de surface, Phase 0° Fréquence= 5.47 Ghz

d. Taux d'onde stationnaire

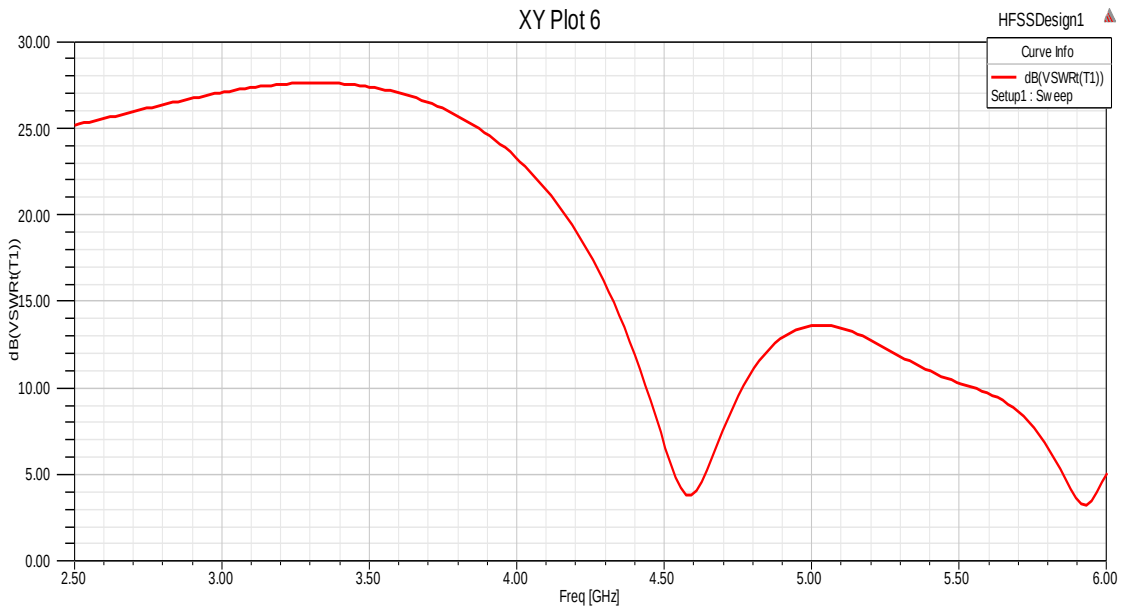


Figure III.8.9 : VSWR en fonction de la fréquence

Tableau III.15 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne déformée.

Caractéristiques	Antenne déformée
S11 (min) a 4.6 GHZ	-13.5
VSWR (min) a 4.6 GHZ	4
Directivité (dB) a 4.45 GHZ	-29
Courant de surface(A/m)	1.11
BP (Ghz)	0.22

A partir du tableau 1.3. On constate que les performances de cette antenne ont été améliorés par rapport les deux antennes précédentes avec une bande passante étroit.

III.3.4 : Tableau comparatif des résultats

Tableau III.16 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne microbandes

Caractéristiques	Antenne carré	Antenne rectangulaire	Antenne déformée
S11 (min)	-3.1	-7.6	-13.5
VSWR (min)	15	8	4
Directivité (dB)	-19	-4	-29
Courant de surface	1.22	1.24	1.11
BP (Ghz)	0.84	0.46	0.22

Une comparaison a été faite sur les trois types d'antenne, on a vu que les performances ont été améliorés durant le changement de chaque structure.

D'après le tableau 3.4 l'antenne déformée donne un bon résultat, le coefficient de réflexion =-13.5 dB à une fréquence de résonance proche de la fréquence souhaitée qui est de l'ordre de 5GHz.

On a trouvé que l'antenne déformée a des résultats acceptables et plus directive que les autre.

III.9. Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé en bref les étapes à suivre pour élaborer un projet sur HFSS un logiciel très puissant qui nous a permet de concevoir une configuration d'un antenne patch et de faire des simulations afin d'observer divers paramètres en l'occurrences le gain, le paramètre S, le diagramme de rayonnement, directivité, taux d'onde stationnaire, impédance de rayonnement…etc. On a observé comment : réduire les pertes, augmenter le gain et changer la fréquence dans la technologie d'antenne micro ruban (patch) tout ça en changeant dans les paramètres (longueur L, largeur du patch) où ces paramètres ont montré un changement considérable sur ces paramètres.

D'après les simulations, on a observé que l'antenne Patch carré résonne sur la fréquence de 3.25 GHZ et avec une bande passante très large. L'antenne Patch rectangulaire résonne sur

la fréquence de 5 GHZ et avec une bande passante inférieur à celle de la configuration carrée. Et enfin, l'antenne Patch déformée résonne sur la fréquence de 4.59 GHZ et avec une bande passante inférieur à celles de la configuration carrée et rectangulaire.

Aussi, on a constaté sur les courbes des gains que lorsque : Phi = 0° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°, les fréquences de résonnance pour le cas d'une antenne rectangulaire sont inférieurs a celles des autres cas (en l'occurrence carré et déformée).

Même constat a été observé lorsque Phi =90° et Theta varies de 0 à 90° avec incrémentaion de 30°.

On a observé qu'il n'y a aucune variation dans le gain lorsque Theta = 0° et Phi varies de 0 à 90°, et cela dans les trois configurations considérées.

Par contre, pour le cas Theta =90° et Phi varies de 0 à 90°, on a observé que la variation la plus élevée correspond à la configuration rectangulaire.

D'après la comparaison entre les réseaux d'antennes, on a trouvé que le déformée donne des meilleures résultats que les autres.

Conclusion générale :

Dans notre travail nous avons essayé de mettre en évidence l'intérêt que présente l'utilisation des simulateurs micro-ondes pour la modélisation et la conception des circuits passives (dans notre cas une antenne patch micro ruban). Ces simulateurs conçus à base de logiciel, utilisant des méthodes de caractérisation électromagnétiques, sont devenus nécessaires durant les étapes d'optimalisation des caractéristiques attendues du circuit une fois implémenté dans son environnement final [28].

L'objectif de ce travail est la conception d'une antenne patch de forme rectangulaire permettant d'émettre ou de recevoir à une seule fréquence 2.5GHz. Pour ce faire, on a utilisé un logiciel de simulation électromagnétique 3D HFSS (High Frequency Structure Simulator) qui est un outil performant à onde électromagnétique (EM) commercial qui fait la simulation du champ d'un model arbitraires en 3D. Il intègre la simulation, visualisation, modélisation des solides, et l'automatisation dans un environnement facile à utiliser où les solutions des problèmes EM 3D sont obtenues rapidement et avec précision. HFSS emploie la méthode des éléments finis (FEM) pour la résolution des équations de Maxwell.

A travers de ce mémoire, nous nous sommes attachés à modéliser et concevoir des antennes micro ruban pour différents systèmes de communication sans fils. Nous avons simulé sous HFSS une antenne micro rubans de forme rectangle : Une antenne imprimée sur le substrat Duroid 5880 de faible permittivité relative $\varepsilon r=1.1$, l'autre sur l'Epoxy-FR4 dont la permittivité relative $\varepsilon r=4.4$, d'épaisseur 1.6 mm à bande étroite qui résonnent à 2.5 GHz. Dans cette étude, l'épaisseur du patch et le plan de masse sont considérée comme étant nulle.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et vérifient complètement et parfaitement la bande wifi, toutes les caractéristiques de l'antenne (coefficients de réflexion, le gain et le rayonnement) obéissent au cahier de charge. Le seul défaut et l'unique problème rencontré est le décalage de la fréquence résonance. Pour être plus exact, et s'approcher un peu de la valeur désirée, nous avons fait un ajustement de l'antenne en agrandissant ou en diminuant légèrement le rayon du patch.

Dans les perspectives de ce travail, nous proposerons une conception d'un réseau d'antennes micro rubans à fente multi bandes alimenté par ouverture couplée ou couplage par proximité, des antennes compacts fonctionnant dans la bande millimétrique en utilisant d'autres forme géométrique (rectangulaire, E, H, …etc.), à l'aide d'autre logiciel électromagnétique 3D [9].

[1] **:** Bellatreche A, Senaini F**, Modélisation et simulation d'antenne base à résonateur diélectrique,** UNIVERSITE Dr YAHIA FARES DE MEDEA, juin 2017.

[2] : Perkins D, "**Exigences pour une norme de protocole point à point Internet**", W. Simpson, éditeur, juillet 1994.

[3] :A.D. Kucar, "Mobile Radio: an overview", **The Mobile Communications Handbook**, I.E.E.E. C.R.C. Press, U.S.A, pp. 242-262, 1996.

[4] : Claude S, Jean-Pierre D, **RÉSEAUX ET TELECOMS,** paris, 2003.

[5] : Jean-Marie D, from télécommunication, LAAS-CnRZ ,2004[lire en ligne] [ar-chive].

[6] : DROMARD D, Dominique SERET, **Architecture des réseaux,** France, Pearson éduction 2009.

[7] : Antenne – Cours Universitaire Préparé par Dr Youssef DAHER

[8] : Combes P. F., **Circuits Passifs, Propagation, Antennes,** Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997.

[9] : Touati Mohamed Houssem Eddine, **Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire,** Université Mohamed Khider Biskra, 5 juin 2014.

[10] : Pavie O, **Monter un réseau sans fil,** Education France 2003.

[11] : M.KOSSEIR Farouk et SMAAL Bouzid, **Etude et réalisation d'un système de communication LI-FI,** Université Yahia Faras

[12] : Lallam C, Benabadji S, **conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile,** université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, juillet 2012.

[13] : Ben Salem J, **Systèmes de communication,** Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Décembre 2014

[14] : MEDDOUR M, BENKEDDA S, **Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz,** Université Kasdi Merbah Ouargla, le 25/05/2017

[15]: Constantine A. Balanis, **Antenna Theory Analysis and Design**, 2005, John Wiley & Sons, INC.

[16]: D. M. Pozar, **Microwave and RF wireless Systems**, John Wiley & Sons, USA, 2001.

[17] : O. Picon, coll., **Les antennes Théorie, conception et applications**, Dunod, Paris, 2009

[18] : Zaoui B, **Modélisation d'une antenne micro ruban compacte,** UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED, 02/06/2015.

[19] : CHOUTI L, **Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage,** UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE, 13/01/2009.

[20] : ARAB T, **Etude des matériaux composites (Titanate oxyde) : application pour la réalisation des substrats d'antennes miniatures,** UNIVERSITE SETIF-1 UFAS (ALGERIE), Soutenu le 04 /11/2014.

[21] : M. Hassad, **Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseur de permittivité et de perméabilité diagonaux**, thèse, Université de Batna, Juin.2009.

[22] : Guillaume V, **Cours techniques d'antennes**, INSA

[23] : A. AICHE (2013), **Alimentation par ouverture d'une antenne de forme circulaire**, Univ de M'sila 1

[24] : https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9communications , consultée le 28/05/2018

[25] : Touati M." **Conception et Simulation d"une antenne micro-ruban circulaire**" Université Mohamed Khider Biskra,2014.

[26] : Ansoft HFSS 9.1 User Manual.pdf

[27] : TP Simulation Hyperfréquence De la ligne microbande à l'antenne patch, DESS en Optoélectronique et Hyperfréquence, pp. 2, Université de Limoges, Limoges, France.

[28] : Baalouj O,**Etude de l'éffet du matériaux du substrat sur les caractéristiques d'une antenne patch micro ruban**,Larbi Tebessi-Tebessa,29/05/2016.