REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE Dr. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DU GENIE ÉLECTRIQUE



Mémoire de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master
Spécialité : Systèmes des télécommunications

Thème

Etude comparatif entre une antenne patch rectangulaire Et une autre inversée par le logiciel HFSS

Présenté par
Mr. Khellaf Mohamed islem
Mr. Alikacem Mohamed Kamel

Proposé et Dirigé par :
Mr. BOURAIOU ABDELOUAHAB

2020/2021



Remerciements



Avant toute chose, nous remercions Dieu tout Puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, Volonté et courage.

Nous tenons cordialement à exprimer notre profonde et Respectueuse reconnaissance à notre promoteur **Mr. BOURAIOU ABDELOUAHAB** , pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de diriger ce projet de fin d'études, ainsi que pour sa disponibilité, sa gentillesse et ses précieux conseils qui nous ont permis de nous orienter vers les voies de recherche.

Nous remercions infiniment les membres du jury **Mr. MIMEN BAKHTI**

et

Mr. SOUMALI CHAABANE qui nous font l'honneur de juger et évaluer notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaborés à notre étude durant notre cursus universitaire à L'université yahia fares de Médéa.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leur soutient durant toute ma vie

D'étude et sans eux je ne serai jamais devenu ce que je suis.

Ainsi que mon frère

A mes chères sœurs et leurs enfants

A mes amis d'enfance

Et toute la famille

Et bien sur sans oublier mon binôme Islem

A tous les professeurs et enseignants qui m'ont suivi durant tout mon

Cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir dans mes études

A mes amies études

A toute la promotion Master II télécommunication 2021.

A toute personnes ayant contribué à ce travail de prés ou de loin.





Alikacem mohamed kamel

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'aider à faire des choix importants, et veillés à est ce que je ne manque de rien depuis ma tendre enfance, ils ont tout mis à ma disposition pour pouvoir étudier dans les meilleures conditions possibles, que Dieu les bénisse et que leur vie soit longue.

A mon cher frère : mohcen

A mes chères sœurs : Khadija, Sanaa, Nesma,Malak

Mes grand-mères que j'aime beaucoup.

Tous mes oncles et leurs femmes & tantes et leurs maris

A mes très chers cousin: Houcine, Kamel, Akrem Soumia, Ahlem, Abir, Yousra, Nada

A mes meilleurs amis : Ayoub, Othman, Salah, Azzo, Ismail, Nadjib Azzedine, Yakoub, Dahman,

A ma meilleure amie «Malak »

A mon binôme Kamel.

A tous ce qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.



Khellaf Mohamed Islem

Résumé

ملخص

الهوائي هو عُنصر هام في مجال الاتصالات لنقل وتلقي المعلومات في شكل موجات كهرومغُناطيسية، كَما أَنها تستخدم في عدة مجالات مثل أنظَّمة الكشف الأقمار الصُناعية وطائرات الاستطلاع ، شبكات الاتصالات و ذاتية الحركة GPS و الأقمار الصُناعية الاتصالات من خلال نظام تصَّميم الهوائي باستخدام برنامج HFSS "بُناء النُظم الميكانيكية الكهربائية، عالية التردد هيكل جهاز محاكاة "ويستند في المقام الأول علي اختلاف شكل الهوائي والمواد الموصلة، وطبيعة وسَمك الركيزة وأُن يكونٌ لها هيكل و صدي في الترددات المطلوبة لتطبيقات محددة . الهدف من عَملنُا هو دراسة وتصَّميم الهوائي لتصحيح وجود معامل الانعكاس مُنظور خصائص مرضية، وزيادة، والإشعاع باستخدام برنامج HFSS.

Résumé

L'antenne est un élément important dans le domaine de la communication pour émettre et recevoir des informations sous la forme d'ondes électromagnétiques, elle est également utilisé dans plusieurs domaines tels que les systèmes de détection, de satellites et d'avions de surveillance, des réseaux de communications et GPS automobiles et de communications par satellite grâce au système La conception des antennes utilisant le logiciel HFSS «Ansoft- High Frequency Structure Simulator» se base essentiellement sur la variation de la forme de l'antenne et de son matériau conducteur, la nature et l'épaisseur du substrat afin d'avoir une structure qui résonne dans les fréquences désirées pour des applications précises. L'objectif de notre travail est d'étudier et de concevoir d'antenne patch ayant des caractéristiques satisfaisantes de point de vue coefficient de réflexion, gain, et rayonnement utilisant le logiciel HFSS.

Abstract

The antenna is an important element in the field of communication for transmitting and receiving information in the form of electromagnetic waves, it is also used in several fields such as detection systems, satellites and surveillance aircraft, communications networks and GPS automotive and satellite communications system The design of the antennas using the HFSS "Ansoft-High Frequency Structure Simulator" software is essentially based on the variation in the shape of the antenna and its conductive material, the nature and the thickness of the substrate in order to have a structure that resonates in the desired frequencies for applications precise. The objective of our work is to study and design patch antennas with characteristics Sates factory from the point of view of reflection coefficient, gain, and radiation using the HFSS Software

SOMMAIRE

Remercîments……I

Dédicace..... II

Dédicace.....II

Résumé ……IV

Liste des figures…… Ix

Liste des tableaux……XII

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I:**Généralités sur les antennes**

I Introduction 1

I.1 Définition de l'antenne 1

I.2 Le rôle des antennes.....2

I.2.1 Antenne d'émission.....2

I.2.2 Antenne de réception.....2

I.2.3 Réciprocité 2

I.3 Caractéristique des antennes.....3

I.3.1 Diagramme de rayonnement.....3

I.3.1.1 Les différents lobes de diagramme :.....3

I.3.2 Gain.....4

I.3.3 La directivité.....5

I.3.4 Le rendement 5

I.3.5 L'impédance d'entrée 5

I.3.6 Adaptation d'une antenne 6

I.3.7 Le coefficient de réflexion.....7

I.3.8 Bande passante et facteur de qualité.....7

I.3.9 La polarisation d'une onde.....8

I.3.9.1 Polarisation rectiligne 8

I.3.9.2 Polarisations Horizontale et Verticale 9

I.3.9.3 Polarisations TE et TM 9

I.3.9.4 Polarisation elliptique.....9

I.3.9.5 Polarisation circulaire 10

I.4 Les zones de rayonnement 11

I.4.1 Région réactive.....11

I.4.2 Région du champ proche rayonné.....11
I.4.3 Région de Fraunhofer (zone du champ lointain).....11
I .5 Modèle électrique d'une antenne.....12
I.6 Notions sur l'électromagnétisme.....12
I.6.1 Les charges électriques.....12
I.6.2 Le Champ magnétique.....13
I.6.3 Equations de Maxwell.....13
I.6.3.1 Présentation des équations de Maxwell.....13
I.7 Différente types d'antennes [6].....14
I.7.1 Antennes dipolaire.....14
I.7.2 L'antenne monopôle.....15
I.7.3 Antenne à boucle magnétique.....15
I.7.4 Antenne cornet.....16
I.7.5 Antenne Yagi :.....17
I.7.6 L'antenne log-périodique.....18
I.7.7 Antenne à réseau de fentes.....18
I.7.8 Antenne à réflecteur parabolique.....19
I.7.9 Antennes de type Cassegrain.....19
I.7.10 Antenne Imprimée.....20
I.7.11 Antennes actives.....21
I.7.12 L'antenne IFA.....22
I.8 Conclusion.....23

CHAPITRE II :**Antenne Patch Rectangulaire et Présentation du logiciel HFSS**

II Introduction :.....25
II.1 Antennes patch.....25
II.2 Structure d'une antenne patch.....26
II.3 Les différentes formes du patch.....27
II.4 Principe de fonctionnement.....27
II.4.1 Mécanisme de rayonnement d'un ''patch''.....28
II.4.2 Représentation en quadripôles.....29
II.5 Les caractéristiques des antennes ''patch''.....30
II.5.1 Diagramme de rayonnement et polarisation.....30
II.5.2 Bande passante de l'antenne ''patch''.....30
II.5.3 Gain.....30
II.5.4 Le coefficient de réflexion.....31
II.5.5 Directivité.....31

II.6 Techniques d'alimentation 32
II.6.1 Alimentation par contact 32
II.6.1.1 Alimentation par ligne micro-ruban 32
II.6.1.2 Alimentation par sonde coaxiale 32
II.6.2 Alimentation par proximité 33
II.6.2.1 Alimentation par fente 33
II.6.2.2 Alimentation par couplage de proximité 33
II.7 Circuits équivalents pour les types d'alimentations 34
II.8 Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation [9] 35
II.9 Avantages et inconvénients des antennes patchs 35
II.10 Les applications des antennes micro-rubans 36
II.11 Les pertes dans les antennes 36
II.11.1 Effet de peau 36
II.11.2 Pertes dans le substrat 37
II.12 Introduction Sur logiciel HFSS 39
II.13 Présentation du logiciel Ansoft HFSS 39
II.14 Un projet en HFSS 40
II.14.1 Le Project Manager ……. 40
II.14.2 Le Message Manager … 40
II.14.3 La fenêtre de Propretés … 40
II.14.4 La fenêtre de Progress 40
II.14.5 La fenêtre de 3D Modeler 40
II.15 Comment commencer HFSS 41
II.15.1 Comment ouvrir un nouveau projet 41
II.15.2 Sauvegarder le projet 41
II.15.3 Insérer une conception de HFSS 41
II.15.4 Choix du type de solution 42
II.15.5 L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure 43
II.16 Créer le substrat 43
II.17 Création du Patch 44
II.18 Création du port (waveport) 45
II.19 Assigner les conditions aux frontières 46
II.19.1 Assigner une excitation au port d'alimentation 47
II.20 Créer une installation d'analyse (analysis setup) 48
II.20.1 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep) 49
II.21 analyse 49

II.22 Créer les rapports 50
II.23 Conclusion : 51

CHAPITRE III :Simulation et Comparaison des Caractéristiques Entre Deux D'antennes Patch Rectangulaires Normale et Inversée

III.I Introduction 53
III.2 Les paramètres spécifiques pour la conception d'une antenne patch 53
III.3 Description de la conception à réaliser : 53
III.4 La géométrie des deux antennes patch rectangulaire normale et inversé : 54
III.4.1 Résultats de simulation pour les deux antennes avec :εr= 2.5 56
III.4.2 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : εr=3.75 60
III.4.3 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : εr=4.4 64
III.4.4 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : εr=6.8 68
III.4.2 Récapitulation des résultats et conclusion générale du chapitre 3.....72
Gain : 72
III.5 conclusion : 73

Conclusion Générale

Conclusion Générale 75

Bibliographie

Bibliographie.....77

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1 : PRINCIPE DE TRANSMISSION UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE 2
FIGURE I.2 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE DIRECTIVE 3
FIGURE I.3 : DIFFERENTS PARAMETRES D'UN DIAGRAMME DE RAYONNEMENT BIDIMENSIONNEL (DANS UN PLAN VERTICAL). (A) EN COORDONNEES CARTESIENNES ; (B) EN COORDONNEES POLAIRES 4
FIGURE I.4 : A) : SCHEMA EQUIVALENT EN MODE DE RECEPTION 6
FIGURE I.5 : B) : SCHEMA EQUIVALENT EN MODE D'EMISSION 6
FIGURE I.6 : ADAPTATION D'IMPEDANCE 6
FIGURE I.7 : BANDE PASSANTE ET COEFFICIENT DE REFLEXION ($S11$) 7
FIGURE I.8 : CHAMP ELECTROMAGNETIQUE D'UNE ONDE PLANE POLARISEE RECTILIGNEMENT 8
FIGURE I.9 : ONDE PLANE A POLARISATION VERTICALE. 9
FIGURE I.10 : EXEMPLE D'ELLIPSE DE POLARISATION 10
FIGURE I.11 : POLARISATION CIRCULAIRE 10
FIGURE I.12 : LIMITE DES 3 ZONES DE RAYONNEMENT 11
FIGURE I.13 : MODELE D'IMPEDANCE COMPLEXE D'UNE ANTENNE 12
FIGURE I.14 : CHAMP ELECTRIQUE 13
FIGURE I.15 : LE CHAMP MAGNETIQUE 13
FIGURE I.17 : ANTENNE DIPOLAIRE 15
FIGURE I.16 : ANTENNE DIPOLAIRE 15
FIGURE I.18 : MONOPOLE QUART D'ONDE ET REPRESENTATION DE SON IMAGE 15
FIGURE I.19: BOUCLE MAGNETIQUE 16
FIGURE I.20 : ANTENNE CORNET 17
FIGURE I.21 : L'ANTENNE YAGI ET SON DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 17
FIGURE I.22 : ANTENNE YAGI AVEC CES COMPOSANTS. 17
FIGURE I.23 : ANTENNE LOG-PERIODIQUE 18
FIGURE I.24 : RESEAU DE FENTES 18
FIGURE I.25 : ANTENNE A REFLECTEUR PARABOLIQUE 19
FIGURE I.26: ANTENNE A REFLECTEUR PARABOLIQUE. 20
FIGURE I.27 : L'ANTENNE A REFLECTEUR (PARABOLIQUE) ET SON DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 20
FIGURE I.28 : ANTENNE IMPRIMEE 21
FIGURE I.29 : ANTENNE MICRO-RUBAN RECTANGULAIRE 21
FIGURE I.30 : ANTENNE PLAQUEE AVEC ALIMENTATION A COUPLAGE ELECTROMAGNETIQUE 21
FIGURE I.31 : STRUCTURE D'UNE ANTENNE IFA. 22
FIGURE II.1 : MODE FONDAMENTAL D'UNE ANTENNE PATCH MICRO-RUBAN. 25
FIGURE II.2 : STRUCTURE D'UNE ANTENNE PATCH 26
FIGURE II.3 : DIFFERENTES FORMES DU PATCH 27
FIGURE II.4: RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE 27
FIGURE II.5: DISTRIBUTION DE CHARGE ET DE DENSITE DE COURANT. 28
FIGURE II.6: DISTRIBUTION DU CHAMP ELECTRIQUE VERTICAL. 29
FIGURE II.7 : REPRESENTATION EN QUADRIPOLE. 29
FIGURE II.8 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE 30
FIGURE II.9 : LE COEFFICIENT DE REFLEXION EN FONCTION DE LA FREQUENCE 31
FIGURE II.10 : ALIMENTATION PAR LIGNE MICRO-RUBAN 32
FIGURE II.11 : ALIMENTATION PAR SONDE COAXIALE 33
FIGURE II.12 : ALIMENTATION PAR FENTE. 33
FIGURE II.13: ALIMENTATION PAR COUPLAGE DE PROXIMITE. 34
FIGURE II.14 : CIRCUITS EQUIVALENTS POUR LES TYPES D'ALIMENTATIONS 34
FIGURE II.15 : LES ONDES GUIDEES 37
FIGURE II.16 : LES ONDES RAYONNEES. 38
FIGURE II.17 : LES ONDES DE SURFACE. 38

FIGURE II.18 : ORGANIGRAMME DES DIFFERENTES ETAPES D'UN DESIGN HFSS 39
FIGURE II.19 : ARBRE DE GESTION D'UNE STRUCTURE SOUS HFSS 40
FIGURE II.20 : REPRESENTATION DES PROPRIETES 40
FIGURE II.21 : FENETRE PRINCIPALE DU LOGICIEL HFSS. 41
FIGURE II.22 : FENETRE DE HFSS. 42
FIGURE II.23 : BOITE DE DIALOGUE DU TYPE DE SOLUTION. 42
FIGURE II.24 : BOITE DE DIALOGUE DES UNITES DE MODELE. 43
FIGURE II.25 : LE SUBSTRAT DIELECTRIQUE. 44
FIGURE II.26 : REPRESENTE LE PATCH 45
FIGURE II.27 : LE PORT. 46
FIGURE II.29: LE BOITIER D'AIR 47
FIGURE II.30 : LUMPED PORT. 48
FIGURE II.31 : REPRESENTATION DE LA FREQUENCE D'UTILISATION. 48
FIGURE III.1 : LES DIMENSIONS D'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE 54
FIGURE III.2 : LA GEOMETRIE D'ANTENNE PATCH NORMALE 55
FIGURE III.3 : LA GEOMETRIE DE L'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE 55
FIGURE III.4 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH NORMALE EN 3D POUR εr= 2.5 56
FIGURE III.5 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH INVERSE EN 3D POUR 56
εr= 2.5 56
FIGURE III.6 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH NORMALE POUR εr= 2.5 57
FIGURE III.7 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH INVERSE POUR εr= 2.5 57
FIGURE III.8 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH NORMAL POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 2.5 58
FIGURE III.9 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH INVERSE POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 2.5 58
FIGURE III.10 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH NORMALE EN 3D POUR 60
εr= 3.75 60
FIGURE III.11 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH INVERSE EN 3D POUR 60
εr= 3.75 60
FIGURE III.12 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH NORMALE POURεr= 3.75 61
FIGURE III.13 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH INVERSE POUR εr= 3.75 61
FIGURE III.14 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH NORMAL POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 3.75 62
FIGURE III.15 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH INVERSE POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 3.75 62
FIGURE III.17 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH INVERSE EN 3D POUR εr= 4.4 64
FIGURE III.16 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH NORMALE EN 3D POUR 64
εr= 4.4 64
FIGURE III.18 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH NORMALE POUR εr= 4.4 65
FIGURE III.19 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH INVERSE POUR εr= 4.4 65
FIGURE III.20 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH NORMALE POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 4.4 66
FIGURE III.21 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH INVERSE POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 4.4 66
FIGURE III.22 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH NORMALE EN 3D POUR εr= 6.8 68
FIGURE III.23 : LE DIAGRAMME DE GAIN CAS D'ANTENNE PATCH INVERSE EN 3D POUR 68

εr= 6.8 68
FIGURE III.24 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH NORMALE POUR εr= 6.8 69
FIGURE III.25 : COEFFICIENT DE REFLEXION $S11$ EN FONCTION DE LA FREQUENCE D'UNE ANTENNE PATCH INVERSE POUR εr= 6.8 69
FIGURE III.27 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT POUR ANTENNE PATCH INVERSE POUR PHI = '' 0DEG'' AVEC εr= 6.8 70

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU II.1 : COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'ALIMENTATION 35
TABLEAU III.1 : DIMENSIONS D'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE 54
TABLEAU : LES VALEURS DE PERMITTIVITE RELATIVE DE L'AIR ET LE SUBSTRAT (ARLON AD250A) 56
TABLEAU : LES VALEURS DE PERMITTIVITE RELATIVE DE L'AIR ET LE SUBSTRAT (ISOLA GIGAVER 210 TM) 60
TABLEAU : LES VALEURS DE PERMITTIVITE RELATIVE DE L'AIR ET LE SUBSTRAT (FR4_EPOXY) 64
TABLEAU : LES VALEURS DE PERMITTIVITE RELATIVE DE L'AIR ET LE SUBSTRAT (BE_O) 68
TABLEAU III.1 : COMPARAISON DE GAIN POUR LES DEUX ANTENNES POUR εr=2.5,εr=3.75, εr=4.4,εr=6.8 72
TABLEAU III.2 : COMPARAISON DE LA BANDE PASSANTE POUR LES DEUX ANTENNES POURεr=2.5,εr=3.75, εr=4.4,εr=6.8 72

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

A l'évolution du domaine des télécommunications, les communications filaires sont améliorées par des réseaux sans fil, pour plus de mobilité et pour des applications à haut débit. En plus l'enjeu est de venu de proposer des structures d'antennes micro-ruban permettant de remplacer l'ancienne génération des antennes ayant des grandes dimensions par une nouvelle génération a taille assez minimale permettant de les embarquer dans des espaces plus restreintes ,tout en conservant leurs caractéristiques électromagnétiques.

Les antennes micro-ruban et particulièrement les patchs qui ont été inventés durant les années cinquante, présentent l'avantage d'être facilement intégrées dans les surfaces planes, en plus elles présentent une rigidité, faible cout de production et une bonne performance en termes de résonnance, elles sont les plus utilisées puisqu'elles permettent de répondre à de nombreuses contraintes imposées par le système de transmission. Leurs dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles.

Notre contribution s'échelonne sur trois chapitres :

Le premier chapitre comprend quelques généralités sur les antennes ; On commence par donner une définition d'une antenne ainsi qu'il met en valeur les caractéristiques d'antenne st elles que ; le diagramme de rayonnement, gain et directivité, la polarisation et la bande passante, ont été introduites et discutées.

Le deuxième chapitre est consacré à la description d'une antenne patch rectangulaire, autrement dit sa forme, ses caractéristiques principales et la comparaison de différentes techniques d'alimentation, aux calculs mathématiques des paramètres caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire et du réseau d'antennes à savoir le gain, la directivité le rendement Ainsi que la définition de logiciel HFSS

Le troisième chapitre est le dernier. Dans ce chapitre on va faire une étude comparative entre une antenne patch rectangulaire et une autre inversée par l'utilisation du logiciel HFSS. Notre but de cette étude de comparaison, c'est de voir comment on peut amélioré quelques caractéristiques d'antenne patch rectangulaire sans perdre l'aspect poids (on n'ajoute aucun matériau), encombrement (on ne va pas modifier les démentions de l'antenne), et sans changer le substrat diélectrique (on utilise le même substrat diélectrique pour chaque cas d'étude).La seule chose modifier c'est qu'on va inverser le patch et dans le volume résultant ne possède aucun poids de plus vu que ce volume sera rempli de l'air et que la dimension de l'antenne va légèrement augmenter.

CHAPITRE I

Généralités sur les antennes

I Introduction

Ce chapitre a pour but la présentation des différents types d'antennes appliquées dans le domaine de la communication perso. Il met en valeur les caractéristiques générales de l'antenne comme le diagramme de rayonnement, l'angle de l'ouverture, directivité, gain et polarisation.

I.1 Définition de l'antenne

Une antenne d'émission est un élément conducteur qui transforme l'énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique. Une antenne de réception convertit un rayonnement électromagnétique en courant électrique. La même antenne peut servir en émission qu'en réception : réciprocité des antennes.

Les antennes sont utilisées dans des gammes de longueur d'onde très différentes pour un très grand nombre d'applications dont nous citons quelques exemples :

- Ondes kilométriques (30 à 300KHz) (LF) et hectométriques (300 à 30000kHz) (MF) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude, les liaisons avec les sous-marins, navigation, radio de la garde côtière, etc.
- Ondes décamétriques (3à30MHz) (HF) pour les liaisons intercontinentales ou maritimes, téléphone, télégraphe, station radio amateur, etc.
- Ondes métriques (30 à 300MHz) (VHF) pour la radiodiffusion à modulation de fréquence, la télévision et les communications et radionavigation aéronautiques, etc.
- Ondes décimétriques (300à3000MHz) (UHF) pour la télévision, le radar et les liaisons avec les mobiles.
- Ondes centimétriques (3à30GHz) (SHF) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens et les liaisons spatiales, radars d'avions embarqués militaires, liaisons microondes, téléphone mobile, etc.

Ondes millimétriques (30à300GHz) (EHF) pour les radars, l'expérimental, etc. [1]

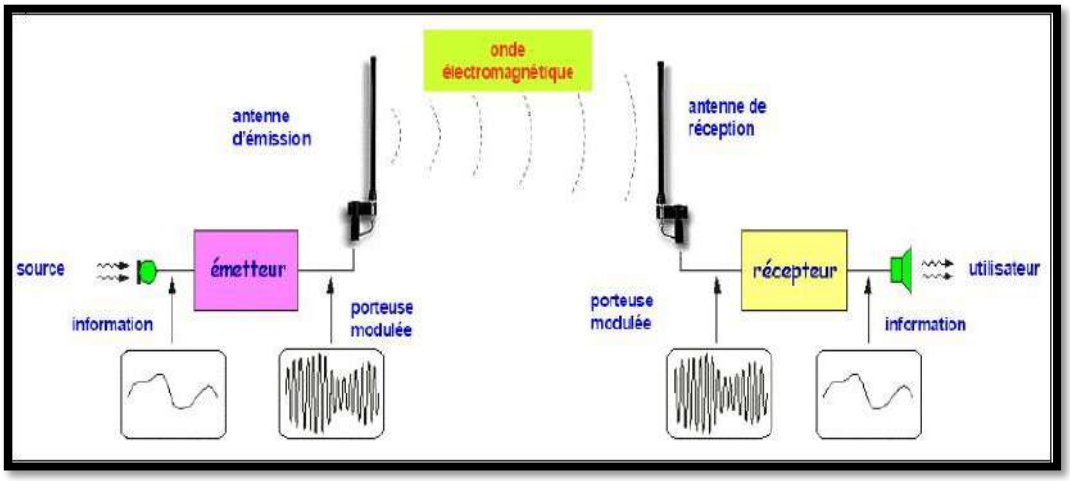


Figure I.1 : Principe de transmission une onde électromagnétique

I.2 Le rôle des antennes

I.2.1 Antenne d'émission

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée. Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur. [2]

I.2.2 Antenne de réception

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme. [2]

I.2.3 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 qui sera démontré plus loin. Dans quelques cas exceptionnels pour lesquels les antennes comportent des matériaux non linéaires ou bien anisotropes, elles ne sont pas réciproques. 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. [2]

I.3 Caractéristique des antennes

I.3.1 Diagramme de rayonnement

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de diagramme de rayonnement. C'est la représentation du rayonnement en 2D ou 3D de la puissance, du gain ou du champ électrique rayonné En général, le diagramme de rayonnement est relevé dans deux plans qui sont: le plan E (plan vertical) et le plan H (plan horizontal) ceux sont respectivement les plans pour lesquels les champs électriques et magnétique atteignent leurs valeurs maximales C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En réalité l'énergie rayonnée est repartie également dans l'espace. Certaines directions sont privilégiées ce sont les lobes de rayonnement.

Un type plus pratique est l'antenne directionnelle qui rayonne plus de puissance dans certain directions et moins de puissance dans d'autres directions. Le diagramme de rayonnement de l'antenne directive est représenté dans la (Figure 1.2). [3]

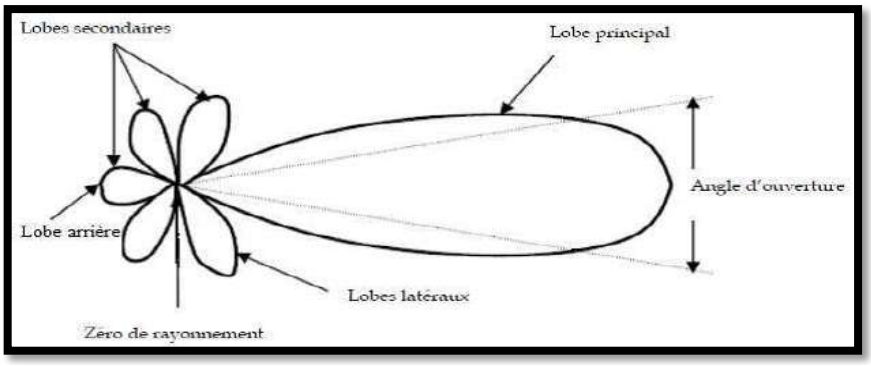


Figure I.2 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directive

I.3.1.1 Les différents lobes de diagramme :

Un lobe principal :

C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction de maximum de rayonnement [4].

Des lobes secondaires :

Les autres lobes, autres que les lobes principaux, sont appelés lobes secondaires et se subdivisent en lobes latéraux et lobes arrières. Les lobes latéraux, imposés par la distribution des amplitudes et des phases sur les sources rayonnantes constituant l'antenne, sont adjacentes aux lobes principaux et occupent le même hémisphère. L'amplitude de ces lobes décroît régulièrement à mesure que l'on s'éloigne de la direction du rayonnement maximal.

Les lobes arrière, liés aux imperfections de réalisations, sont situés dans l'hémisphère opposé. Les lobes secondaires représentent généralement le rayonnement dans les directions indésirables et par conséquent leur niveau doit être minimisé. Une antenne ayant un niveau des lobes secondaires de - 20 dB par rapport au niveau du lobe principal peut être satisfaisante dans beaucoup d'applications.

Un lobe arrière (rayonnement arrière) :

C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180o 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 a 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 lobes secondaires [4].

Angle d'ouverture :

L'angle d'ouverture caractérise la largeur du lobe principal. Il s'agit de l'angle entre les deux directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal. [4]

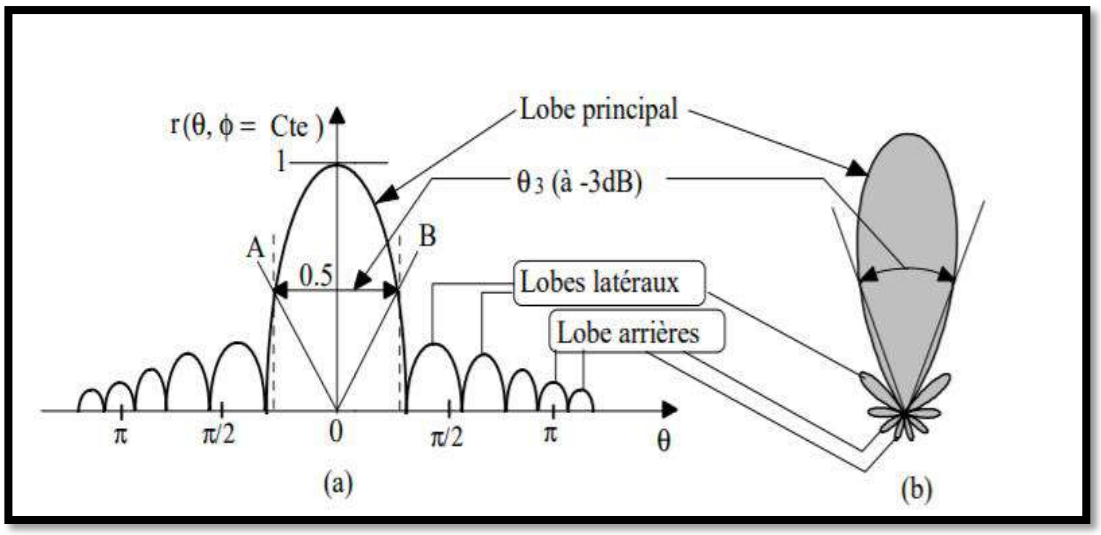


Figure I.3 : différents paramètres d'un diagramme de rayonnement bidimensionnel (dans un plan vertical). (a) en coordonnées cartésiennes ; (b) en coordonnées polaires

I.3.2 Gain

Le gain G (θ, ϕ) d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans direction donnée P (θ, ϕ) sur la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide.

En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement max (θ_0, ϕ_0). [4]

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta,\phi)}{P_A} \qquad \textbf{(I.1)}$$

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta,\phi)_0}{P_A} \qquad \textbf{(I.2)}$$

I.3.3 La directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité d'une antenne dans une direction(ϑ,φ) est le rapport de la puissance P (ϑ,φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide. [4]

$$D(\vartheta,\varphi) = \frac{P(\vartheta,\varphi)}{(P_r/4\pi)} \qquad \textbf{(I.3)}$$

Pr : est la puissance totale le rayonné.

I.3.4 Le rendement

Dans le cas de dégradation de puissance au niveau de l'antenne, soit du fait des pertes ou de mauvaise utilisation, on peut définir le rendement comme suit [4] :

$$\eta = \frac{P_r}{P_0} \qquad \textbf{(I.4)}$$

Où

Pr : La puissance totale qu'elle rayonne.

La relation qui liant le rendement avec le gain et la directivité est :

$$\eta = \frac{G(\vartheta,\phi)}{D(\vartheta,\phi)} \qquad \textbf{(I.5)}$$

I.3.5 L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée d'une antenne caractérise la charge apportée par cette antenne au circuit d'excitation. Le cas le plus simple est celui des antennes pour lesquelles on peut définir deux bornes d'entrée telles qu'en régime d'émission, il existe entre elles une tension V_e lorsque circule un courant I_e ; L'antenne peut alors être représentée par un dipôle, au sens de la théorie des circuits, dont l'impédance d'entrée serait $Z_a = R_a + J X_a$

R_a *et* X_a Représentent respectivement la résistance et la réactance de l'antenne aux bornes de l'entrée a-b.

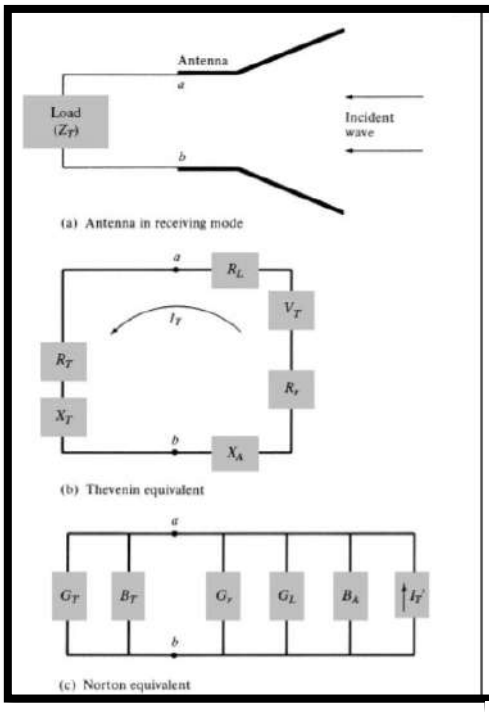


Figure I.4 : a) : Schéma équivalent en mode de réception

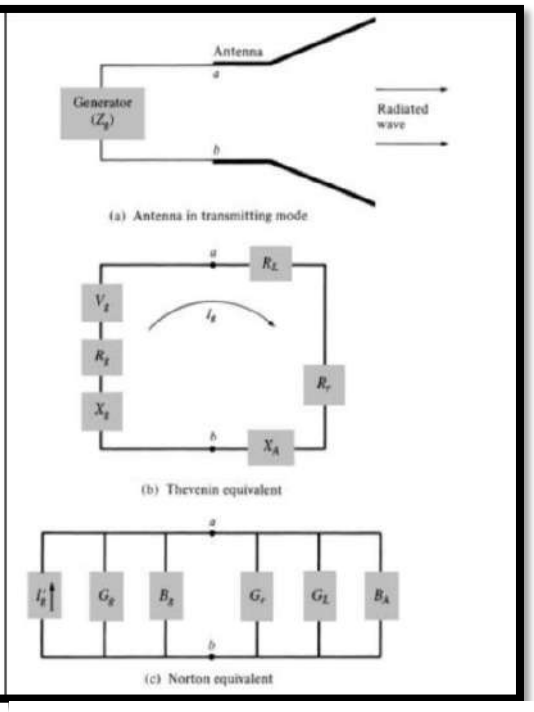


Figure I.5 : b) : Schéma équivalent en mode d'émission

En général, la partie résistive $\boldsymbol{R_a}$ correspond à la somme de la puissance active rayonnée et à la puissance dissipée dans l'antenne. Elle peut donc s'écrire sous la forme

$\boldsymbol{R_a = R_r + R_l}$

$\boldsymbol{R_r}$ *et* $\boldsymbol{R_l}$ Sont respectivement la résistance de rayonnement et la résistance de pertes de l'antenne [5].

I.3.6 Adaptation d'une antenne

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission d'impédance caractéristique $\boldsymbol{Z_c}$ (en général, $\boldsymbol{Z_c}$= 50 Ω). Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance.

L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion $\boldsymbol{\Gamma_{in}}$ou $\boldsymbol{S_{11}}$ en entrée de l'antenne [5].

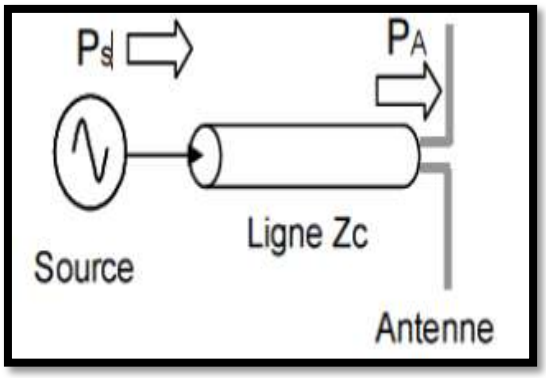


Figure I.6 : adaptation d'impédance

$$P_A = P_S(-|\Gamma_{in}|^2) \; et S_{11} = \Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{z_A + Z_0} \qquad \textbf{(I.6)}$$

Condition d'adaptation $\rightarrow S_{11} = 0 <==>= Z_{in} = Z_C$

I.3.7 Le coefficient de réflexion

D'une manière générale, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de cette onde incidente est réfléchie et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies. Pour une antenne d'impédance Z, reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_s (souvent égale à 50 Ω), le coefficient de réflexion peut être défini comme suit :

$$S_{11} = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{z_{in} + Z_s} \qquad \textbf{(I.7)}$$

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

$$|S_{11}|_{db} = 20log|S_{11}| \qquad \textbf{(I.8)}$$

Le coefficient de réflexion permet de connaitre la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle ou le coefficient de réflexion est minimal. [7]

I.3.8 Bande passante et facteur de qualité

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure a -10 dB ou -15 dB sur la bande passante [5].

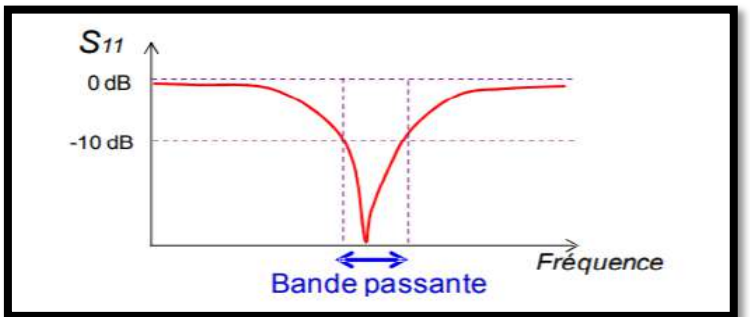


Figure I.7 : Bande passante et coefficient de réflexion (S_{11})

D'un point de vue électrique, nous avons vu que l'antenne pouvait être vue comme un circuit résonant RLC. La bande passante BW (bande passante à 3 dB de la valeur du champ) est liée au facteur de qualité $\boldsymbol{Q}$ du circuit RLC à la fréquence de résonance $\mathbf{f}_{\boldsymbol{Res}}$. Le facteur de qualité représente la quantité de résistance présente lors de la résonance (pour un circuit résonant série équation). [5]

$$\boldsymbol{Q}=\frac{\boldsymbol{BW}}{\boldsymbol{f_{Res}}} \qquad \textbf{(I.9)}$$

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{Q}}=\frac{\boldsymbol{R_{ant}}}{\boldsymbol{2\pi f_{Res}\cdot L_{ant}}} \qquad \textbf{(I.10)}$$

I.3.9 La polarisation d'une onde

La polarisation d'une onde est une donnée fondamentale pour l'étude des antennes. En effet selon la constitution de l'antenne, elle ne recevra qu'une certaine forme de polarisation. Donc si la polarisation de l'antenne de réception n'est pas accordée sur la polarisation de l'antenne d'émission, la puissance reçue ne sera pas maximale. Nous rappelons ici les caractéristiques de l'onde électromagnétique pour sa polarisation [2].

I.3.9.1 Polarisation rectiligne

La polarisation rectiligne est la plus simple à étudier. C'est celle d'un champ électromagnétique dont l'orientation reste la même au cours de la propagation (Figure I.8). Le champ électrique est parallèle au vecteur unitaire $\overrightarrow{\boldsymbol{u}_{\boldsymbol{x}}}$ et le champ magnétique est parallèle au vecteur unitaire $\overrightarrow{\boldsymbol{u}_{\boldsymbol{y}}}$. Le vecteur de propagation $\overrightarrow{\boldsymbol{\mathcal{K}}}$ est alors parallèle au vecteur unitaire $\overrightarrow{\boldsymbol{u}_{\boldsymbol{z}}}$

L'exemple choisi est celui d'une onde plane, par souci de simplicité. Une onde sphérique peut aussi présenter une polarisation rectiligne [2].

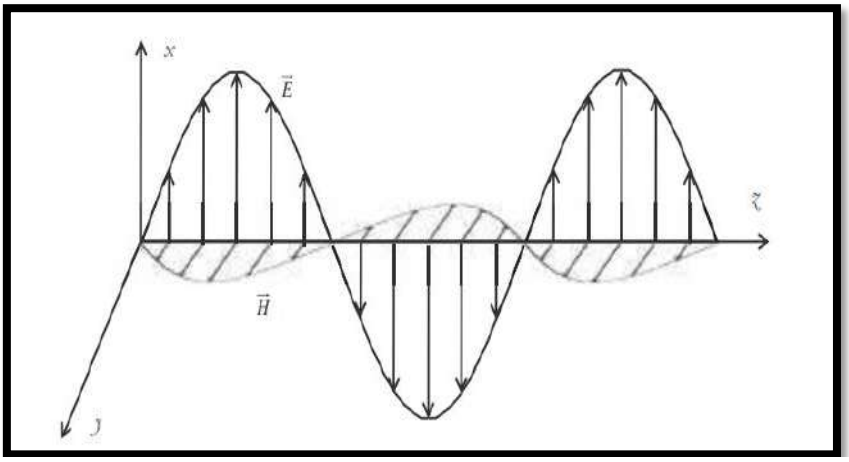


Figure I.8 : Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement

I.3.9.2 Polarisations Horizontale et Verticale

Ces termes sont les abréviations de polarisations horizontale et verticale. Pour définir l'orientation de la polarisation, on choisit de repérer l'onde par rapport à la surface vers laquelle elle se propage (Figure I.9). Cette surface est assimilée au sol. On parle donc de polarisation horizontale si le champ électrique est parallèle au sol. Si le champ électrique est contenu dans un plan perpendiculaire au sol, on parle de polarisation verticale. Le champ magnétique est alors parallèle au sol [2].

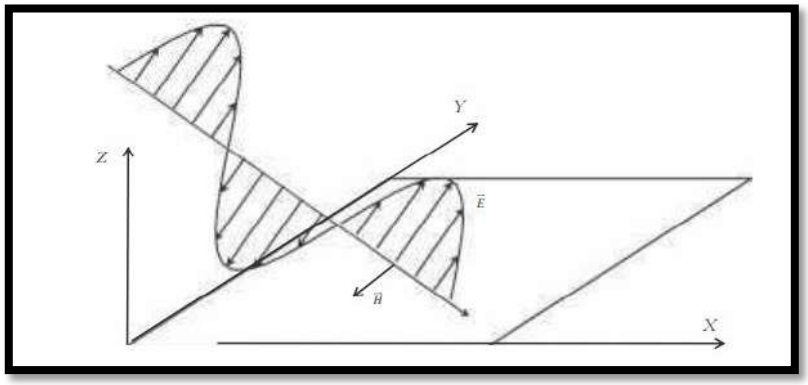


Figure I.9 : Onde plane à polarisation verticale.

Toute onde polarisée rectilignement est la combinaison d'une onde à polarisation verticale et d'une onde à polarisation horizontale en phase l'une par rapport à l'autre.

I.3.9.3 Polarisations TE et TM

Une autre façon de définir la polarisation rectiligne est de repérer les champs par rapport au plan d'incidence, défini par la direction d'incidence et la normale au plan vers lequel se dirige l'onde. Lorsque le champ électrique est perpendiculaire au plan d'incidence, la polarisation est dite transverse électrique (TE). Si au contraire, elle est dans ce plan, c'est le champ magnétique qui est perpendiculaire au plan d'incidence. La polarisation est dite transverse magnétique (TM) [2].

I.3.9.4 Polarisation elliptique

La polarisation d'une onde est décrite de façon générale par le lieu de l'extrémité du champ électrique lors de sa propagation. Pour décrire l'état de polarisation d'une onde, on regarde l'onde arriver. Lorsque les pertes sont nulles, l'extrémité du champ électrique décrit alors une courbe fermée qui est, dans le cas le plus général, une ellipse. La polarisation rectiligne est le cas particulier d'une ellipse d'excentricité nulle. Considérons un champ électrique quelconque repéré par rapport au référentiel sphérique de (la Figure I.10). [2]

L'expression du champ électrique en notation complexe dans ce référentiel est :

$$\vec{E} = \left(E_\theta \vec{u}_\theta + E_\varphi \vec{u}_\varphi\right). e^{j\omega t} \qquad \textbf{(I.11)}$$

Les composantes sont complexes et s'expriment sous la forme :

$$E_\theta = E_\theta^r + jE_\theta^i \text{Et} E_\varphi = E_\varphi^r + jE_\varphi^i \qquad \textbf{(I.12)}$$

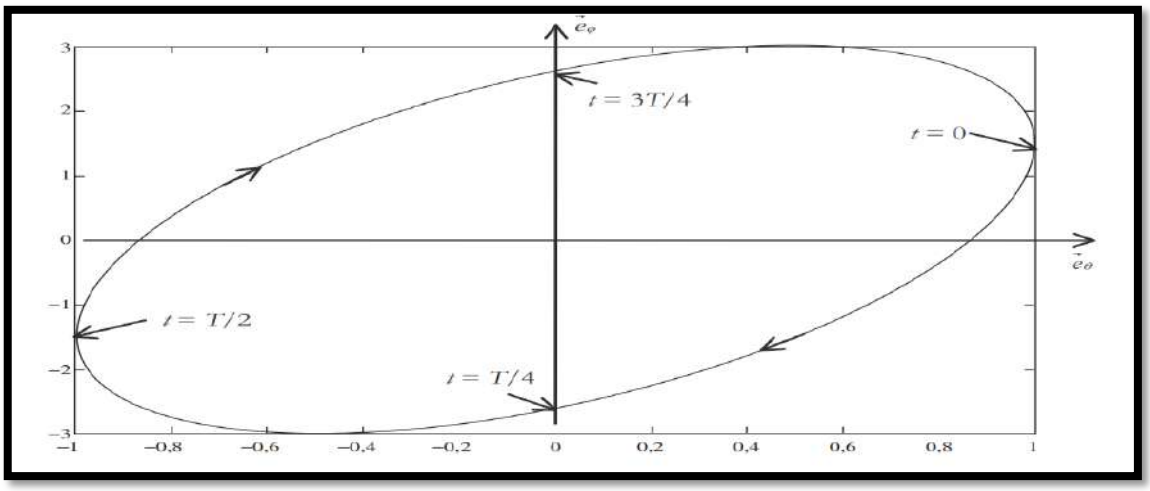


Figure I.10 : Exemple d'ellipse de polarisation

I.3.9.5 Polarisation circulaire

La polarisation est dite circulaire si l'extrémité du vecteur champ électrique en un point de l'espace décrit un cercle lorsque les ondes se propagent. L'onde électromagnétique peut alors être considérée comme la somme de deux ondes planes à polarisation rectiligne donc les champs électriques sont d'égales amplitudes, perpendiculaires l'un à l'autre et déphasés de $\pm\pi/2$ (quadrature de phase). Par convention, la polarisation circulaire est dite "droite" si, pour l'observateur qui regarde l'onde qui s'éloigne, le vecteur de polarisation tourne dans le sens trigonométrique. Elle est dite "gauche" dans le cas contraire.

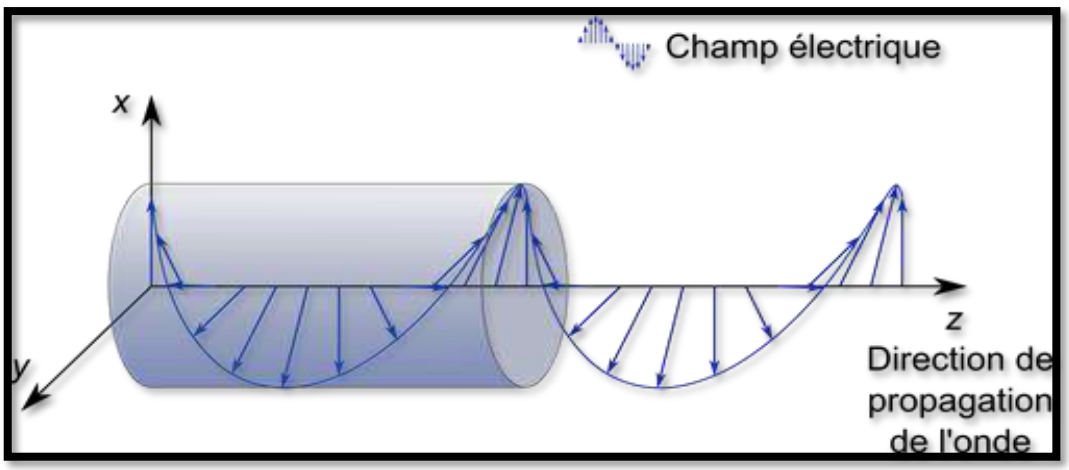


Figure I.11 : Polarisation circulaire

I.4 Les zones de rayonnement

L'espace entourant l'antenne est généralement subdivisé entoirs région : [6]

I.4.1 Région réactive

Dénommée également zone de Rayleigh, C'est la région entourant la source de rayonnement ou la puissance réactive (purement imaginaire) prédomine. L'énergie Électromagnétique reste confinée à 90%à l'intérieur d'un faisceau tubulaire. Pour la plupart des antennes, cette région est dé limitée par une sphère de rayon

$$\mathbf{R_1 = 0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}} \qquad \textbf{(I.13)}$$

Où λ est la longueur d'onde et D la plus grande dimension de l'antenne.

I.4.2 Région du champ proche rayonné

C'est la région comprise entre la zone réactive et la zone du champ lointain et dans laquelle la divergence du faisceau devient appréciable. Cette région est également appelée zone de Fresnel par analogie à la terminologie de l'optique géométrique. Elle est dé limitée par une Distance R avec R1 ≤ R ≤ R2

$$\text{Avec : } \mathbf{R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}} \qquad \textbf{(I.14)}$$

Et le champ rayonné dépend, en général, de la distance .De plus la composante radiale du Champ Est Appréciable. [1]

I.4.3 Région de Fraunhofer (zone du champ lointain)

C'est la région, définie par une distance radiale R telle que R ≥ R2, où l'énergie électromagnétique rayonnée dans toutes les directions de l'espace couvertes par le diagramme de rayonnement de l'antenne .La puissance rayonnée est une structure TEM par rapport à la direction Radiale réelle et elle est indépendante de cette dernière. [1]

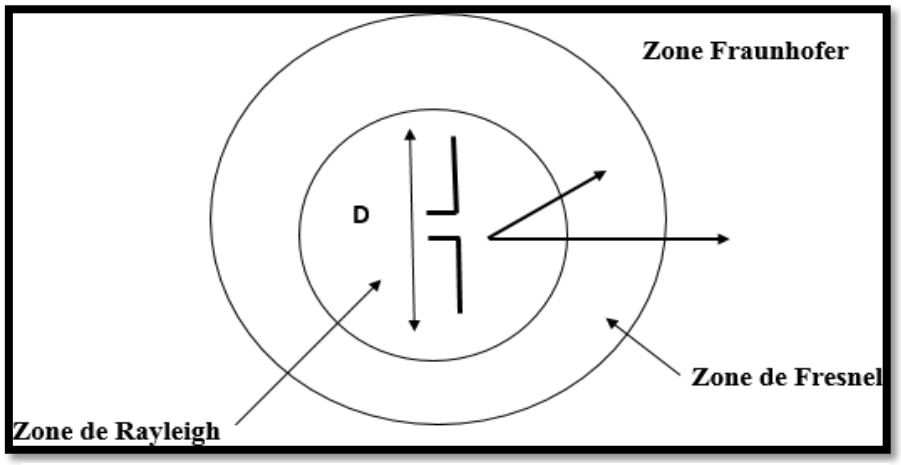


Figure I.12 : Limite des 3 zones de rayonnement

I .5 Modèle électrique d'une antenne

On peut résumer le comportement de l'antenne passive (qui présente un comportement linéaire) ainsi : une antenne stocke des charges (comportement capacitif = stockage sous forme d'énergie électrique), s'oppose aux variations des courants qui y circulent (comportement inductif = stockage sous forme d'énergie magnétique) et dissipe une partie de l'énergie (pertes ohmiques et par rayonnement). D'un point de vue électrique, une antenne passive peut donc être modélisée par un circuit équivalent RLC (Figure I.13) valable pour une antenne dipôle) et l'impédance $\boldsymbol{Z_{in}}$ vue à l'entrée de l'antenne est donnée par l'équation I.15). A noter que les valeurs du modèle ne sont valides que sur des bandes étroites. [4]

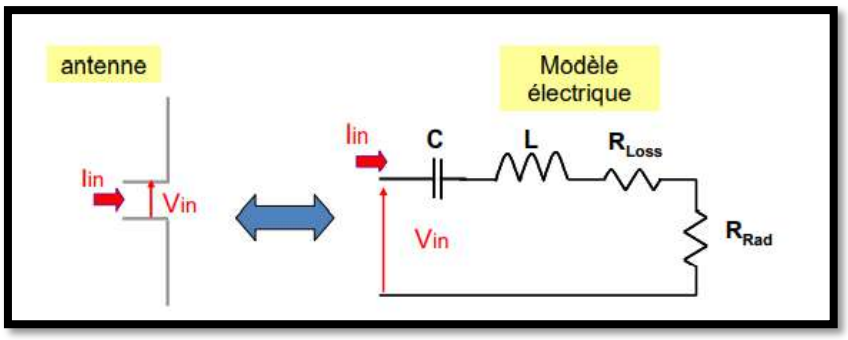


Figure I.13 : Modèle d'impédance complexe d'une antenne

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + j.X_{in}$$

Partie active : $R_{in} = R_{Rad} + R_{Loss}$ — Résistance de rayonnement ; Résistance de pertes

Partie réactive : $X_{in} = iL\omega + \frac{1}{iC\omega}$ **(I.15)**

I.6 Notions sur l'électromagnétisme

Le but est de revenir sur certaines notions fondamentales d'électromagnétisme avant de se concentrer sur les antennes. Il s'agit de répondre aux questions suivantes : pourquoi une antenne rayonne ? Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ? [5]

I.6.1 Les charges électriques

Les charges électriques au repos peuvent exercer des forces électriques entre elles, cette action, à distance se fait par l'intermédiaire d'un champ électrique. Toute charge électrique Q immobile créé un champ électrique E dans l'espace environnant, qui décroit.

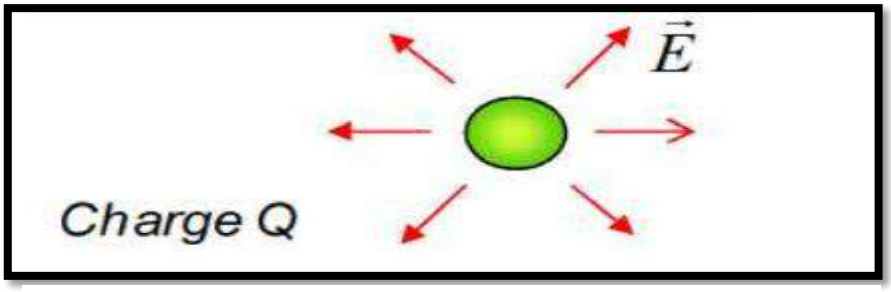


Figure I.14 : champ électrique

Inversement avec le carré de la distance. On peut assimiler ça à la force de gravitation qui exerce une force sur les objets pour les déplacer dans une direction bien précise. [5]

$$\overrightarrow{E(r)} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}\overrightarrow{u_r} \qquad \textbf{(I.16)}$$

I.6.2 Le Champ magnétique

Toute circulation de courant (c'est-à-dire des charges en mouvement) est à l'origine d'un champ magnétique tournant autour de la ligne. Cette ligne exercera une force à distance sur toute autre interconnexion parcourue par un courant. [5]

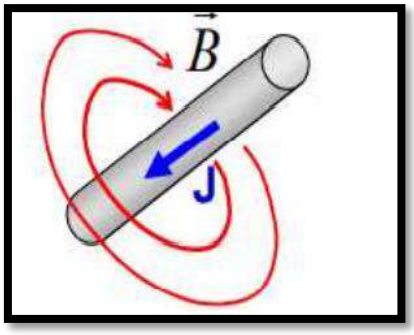


Figure I.15 : Le Champ magnétique

I.6.3 Equations de Maxwell

Toute l'électromagnétisme est contenue dans les équations de Maxwell .La présentation des équations de Maxwell permet de donner un cadre un peu plus mathématique à la discussion précédente. En réalité ces équations sont des postulats qui veut dire qu'elles ne se démontrent pas. [5]

I.6.3.1 Présentation des équations de Maxwell

La répartition des champs électriques et magnétiques dans l'espace produite par une Distribution donnée de charges et de courants peut être déterminée en résolvant les

équations de Maxwell. En outre, celles-ci permettent de déterminer comment l'onde électromagnétique se propage dans l'espace. Pour un milieu homogène et isotrope (cas général de la propagation en espace libre ou guidée), celles-ci sont données par les équations ci-dessous : [5]

- **L'équation de Maxwell-Gauss-électrique :** $\boldsymbol{div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}}$ **(I.17)**

- **L'équation de Maxwell-Gauss-magnétique :** $\boldsymbol{div\vec{B} = 0}$ **(I.18)**

- **L'équation de Maxwell-Faraday :** $\boldsymbol{rot\vec{E} = -\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}}$ **(I.19)**

- **L'équation de Maxwell-Ampère:** $\boldsymbol{rot\vec{H} = \sigma\vec{E} + \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}}$ **(I. 20)**

Avec :

$\boldsymbol{\rho}$: Densité volumique de charge (c/m).

ε :Permittivité électrique (F/m). noter ε_0 permittivité diélectrique dans le vide ($8.85.10^{-12}$).

$\boldsymbol{\varepsilon_r}$: Permittivité électrique relative telle que $\varepsilon = \varepsilon 0 \times \varepsilon r$.

μ : perméabilité magnétique (H/m).

$\boldsymbol{\mu_0}$: permittivité diélectrique dans le vide ($4\pi.10\text{-}7$).

$\boldsymbol{\mu_r}$: Permittivité magnétique relative telle que $\mu = \mu 0 \times \mu r$.

I.7 Différente types d'antennes [6]

Généralement, il existe une grande variété de techniques pour la réalisation des antennes, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée .Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut citer quelques-unes [1] :

I.7.1 Antennes dipolaire

Antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts est relies chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire.

En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne, À la réception, la ligne bifilaire branchée sur le récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont de 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 créant l'onde électromagnétique dans l'espace.

Ces antennes de types filaires ont de nombreuses applications. Citons rapidement

Les antennes pour réception radio, les antennes de talkie- walkie, etc. [1]

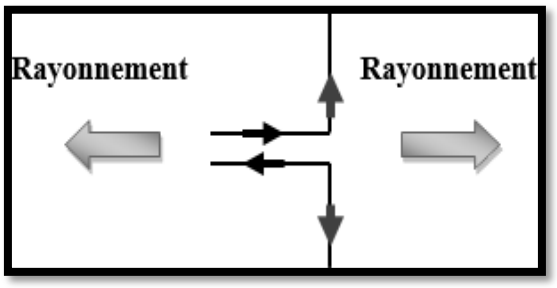


Figure I.16 : Antenne dipolaire

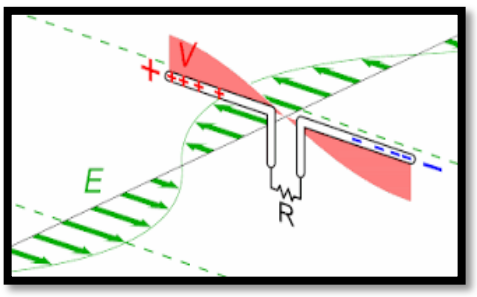


Figure I.17 : Antenne dipolaire

I.7.2 L'antenne monopôle

L'antenne monopôle est une demi-antenne dipôle. Théoriquement elle est constituée d'un brin placé au-dessus d'un réflecteur de dimension infinie. En pratique, un fouet quart d'ondes placé au-dessus d'un plan métallique de grande dimension par rapport à la longueur d'onde 2 à 3λ au minimum. [3]

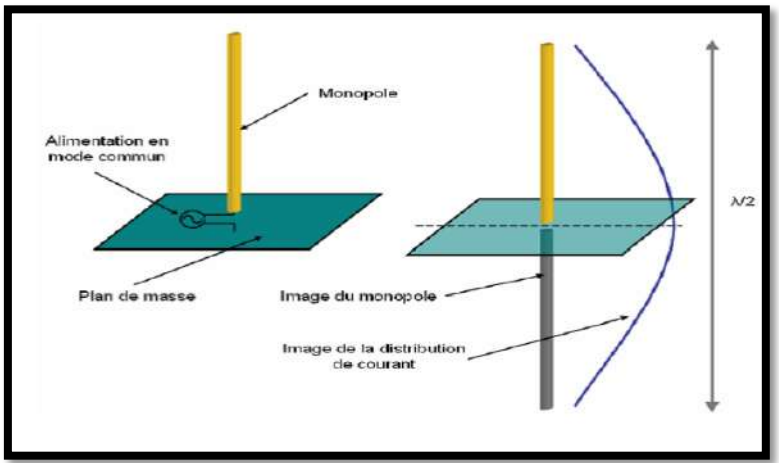


Figure I.18 : Monopole quart d'onde et représentation de son image

I.7.3 Antenne à boucle magnétique

La boucle magnétique est constituée d'un fils conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même .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 fils. En champ proche, on utilise dans de tous les dispositifs RFID (identification radio fréquence). Les cartes sans contact sont munies de ce type d'antenne, incorporée dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques, sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique. [1]

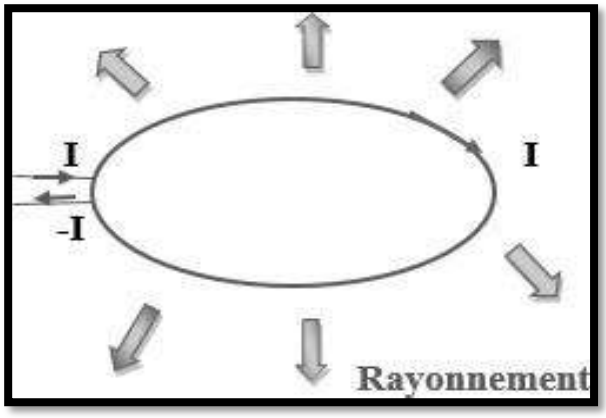


Figure I.19: Boucle magnétique

I.7.4 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.sa forme permet passer graduellement
Des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique.

De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que l'antenne à boucle magnétique.

Les antennes cornet sont très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée.
En onde rayonnée. On retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes, satellites, etc ... [6]

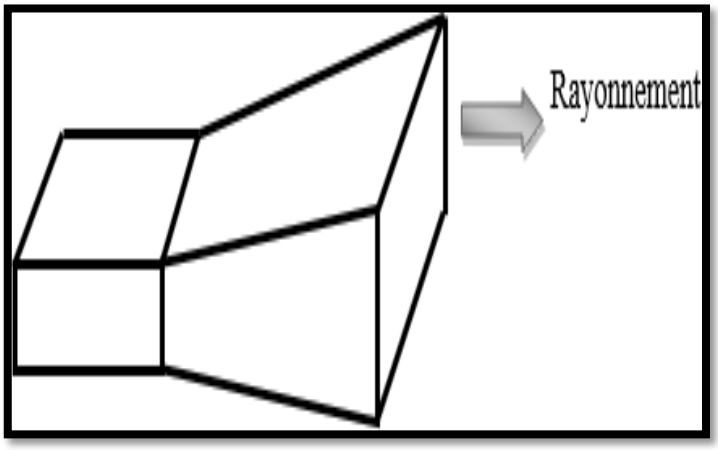


Figure I.20 : Antenne cornet

I.7.5 Antenne Yagi :

L'antenne Yagi est constituée d'un dipôle actif (le radiateur qui est généralement un dipôle replié), auquel on a associé un ou plusieurs éléments passifs, appelés directeur(s)et réflecteur Lorsque le dipôle actif est alimenté, il émet des ondes électromagnétiques, les dipôles passifs vont être excités par des courants et ils vont rayonner à leur tour. Le champ rayonné est la somme des champs émis par tous les éléments rayonnants. La présence d'éléments passifs diminue la résistance de rayonnement de l'antenne. [6]

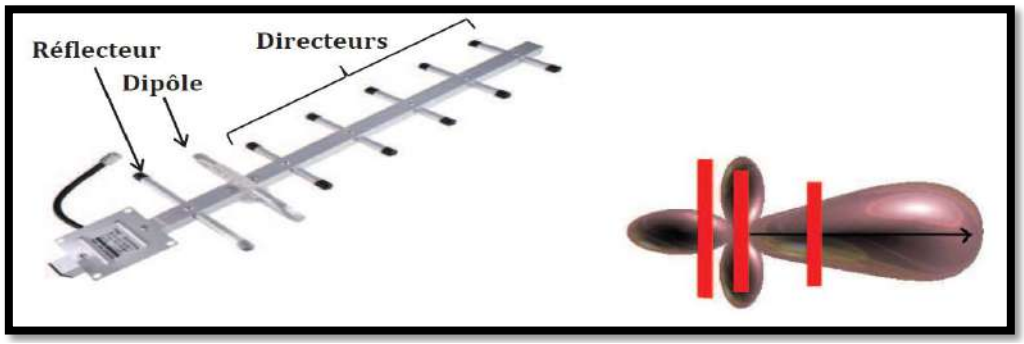


Figure I.21 : L'antenne Yagi et son diagramme de rayonnement

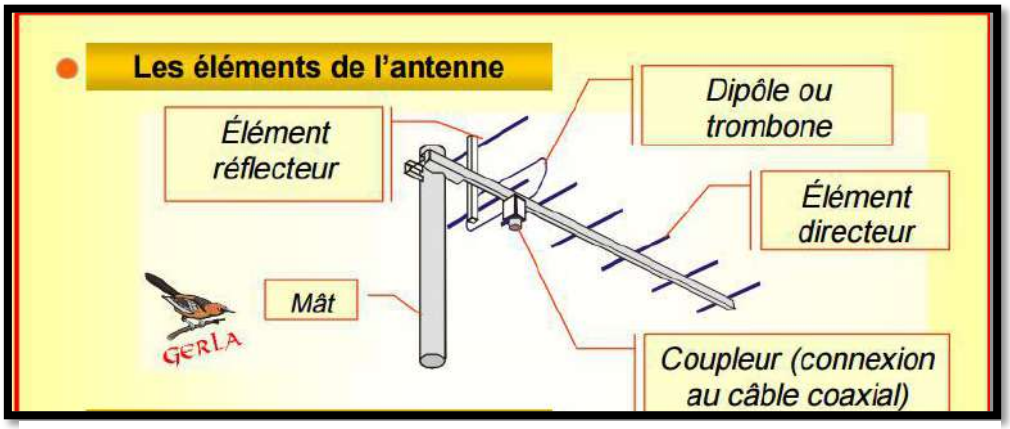


Figure I.22 : Antenne YAGI avec ces composants.

I.7.6 L'antenne log-périodique

L'antenne log-périodique est très utilisée en télécommunication, pour son bon fonctionnement, bien que ses performances sont limitées en gain et ROS, cette antenne est très utile en réception pour mesurer et contrôler des émissions de 800 MHz a 3MHz. Elle a l'avantage d'être indépendante de la fréquence. Elle peut être vue comme un réseau de dipôles rayonnant à λ/4 dont l'agencement et la taille sont ordonnés selon une loi logarithmique. [3]

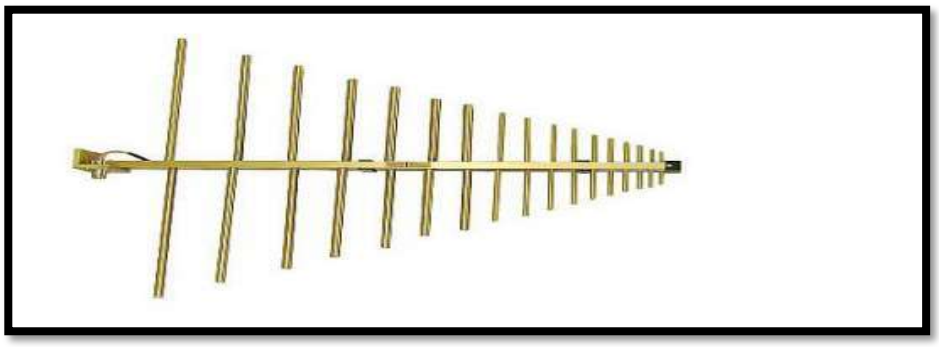


Figure I.23 : Antenne log-périodique

I.7.7 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, utilisant dans le corps du guide. Le rayonnement s'effectue alors perpendiculaire au plan troué du guide. Ce type d'antennes est utilisé, 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 de tunnel avec émission vers le bas. [6]

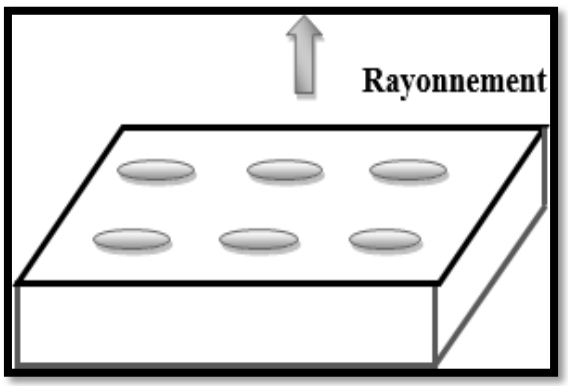


Figure I.24 : Réseau de fentes

I.7.8 Antenne à réflecteur parabolique

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission à une partie métallique réflectrice, souvent de forme parabolique.

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 parlement. Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance.

Les antennes de ce type très répandues pour la réception de la télévision, utilisées pour la transmission hertzienne. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer. [6]

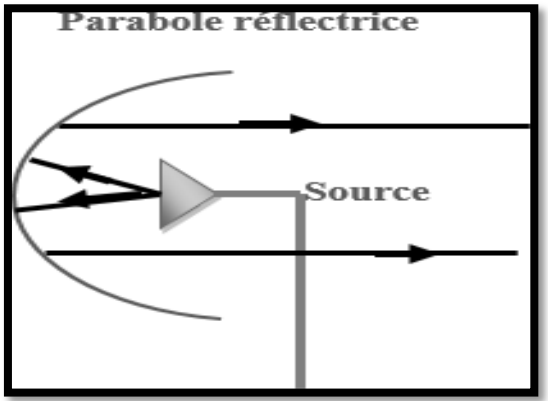


Figure I.25 : Antenne à réflecteur parabolique

I.7.9 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.26). Ce nom provient du télescope du même nom reposant sur le même principe. [2]

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. [2]

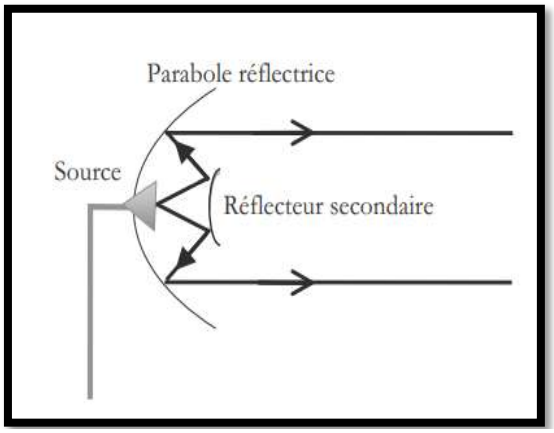


Figure I.26: Antenne à réflecteur parabolique.

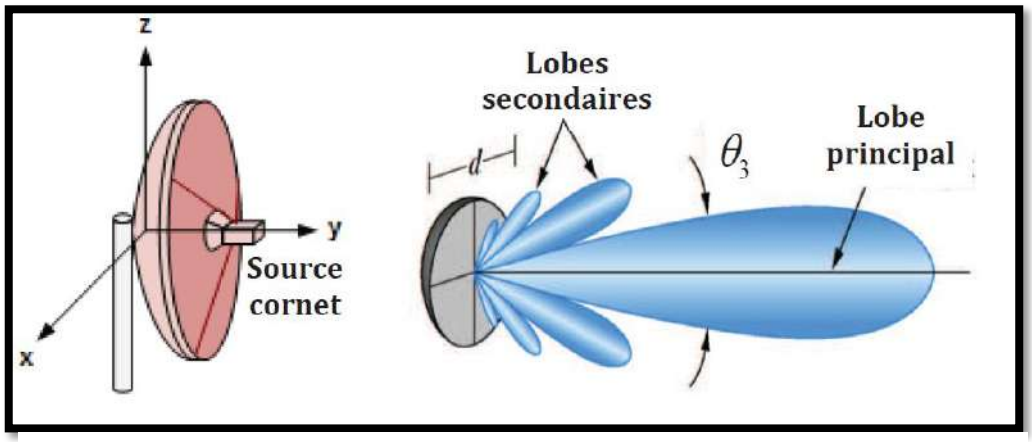


Figure I.27 : L'antenne a réflecteur (parabolique) et son diagramme de rayonnement

I.7.10 Antenne Imprimée

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. Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban. [6]

L'avantage de l'antenne de patch par rapport à certaines antennes, est que les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction de des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception. [6]

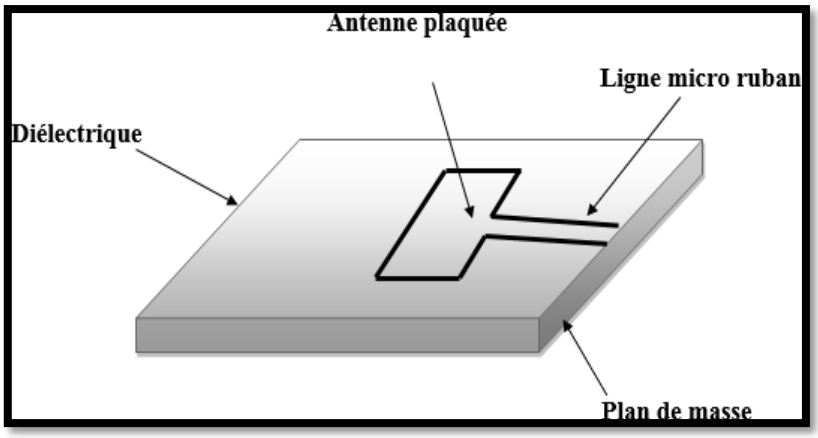


Figure I.28 : Antenne Imprimée

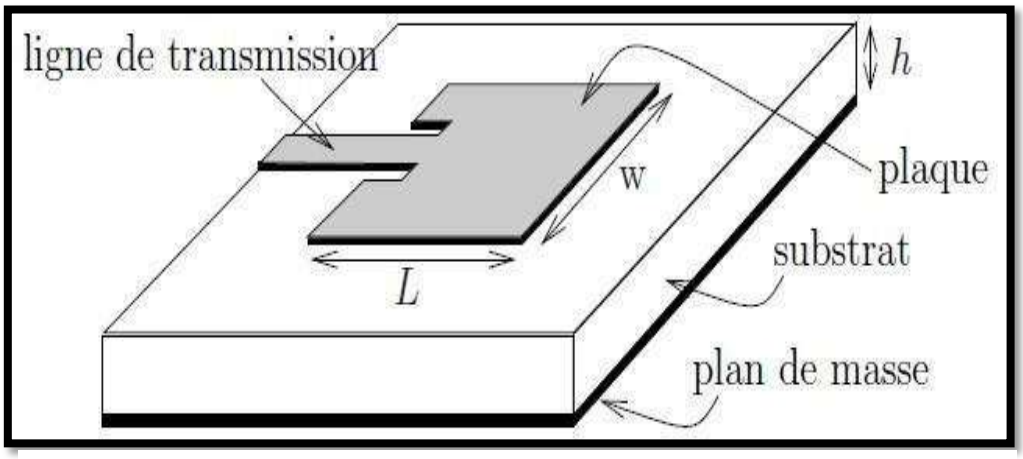


Figure I.29 : antenne micro-ruban rectangulaire

I.7.11 Antennes actives

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. [2]

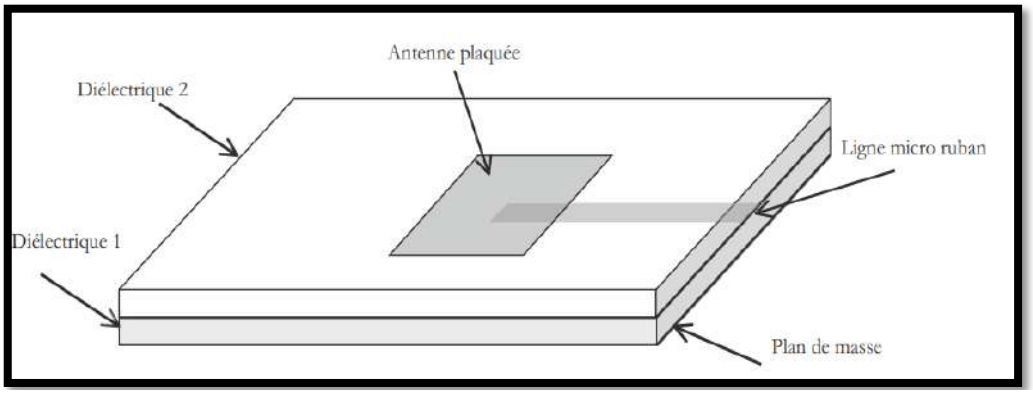


Figure I.30 : antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique

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 lesquelles 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. [2]

I.7.12 L'antenne IFA

L'antenne (IFA) " Inverted F Antenna " se compose généralement d'un élément plan rectangulaire situé au-dessus d'un plan de masse avec le plan de masse de l'antenne qui joue un rôle important dans son fonctionnement, une plaque de court-circuit ou une broche, et un mécanisme d'alimentation pour l'élément planaire (Figure I.31).

Cette antenne ressemble à un F inversé, ce qui explique le nom. Le principe de fonctionnement de l'antenne IFA consiste à établir un mode de résonance quart d'onde sur une structure assimilable à un tronçon de ligne de transmission.

Pour forcer l'établissement du mode, outre le choix d'une longueur adaptée à la fréquence à exciter, on impose une condition de circuit ouvert à l'une des extrémités de la ligne et une condition de court-circuit à l'autre extrémité. Il reste alors à exciter le mode en un point d'impédance adaptée à la source d'alimentation .La (Figure I.31) présente une antenne IFA, dont on a un brin rayonnant alimenté auquel on applique une condition de court-circuit. [3]

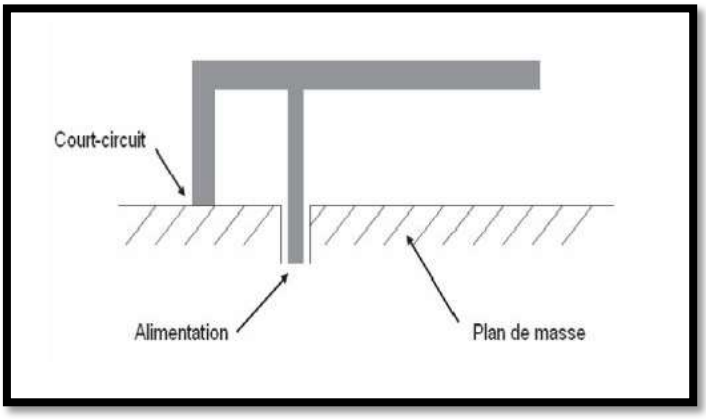


Figure I.31 : Structure d'une antenne IFA.

I.8 Conclusion

La maitrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, elle nous permet de comprendre leur comportement à des différentes gammes de fréquences. Car pour toute application, il faut choisir des caractéristiques bien conforme au standard spécifie. Dans ce chapitre nous avons dressé un état de l'art sur les antennes : le rôle des antennes, et Chaque antenne a des caractéristiques bien définies comme : l'impédance d'entrée, bande passante, diagramme de rayonnement, gain, etc... Puis on a présenté les différents paramètres des antennes en suite donné un bref aperçu sur quelques types d'antennes. Après ce passage, on présente l'antenne patch rectangulaire qu'on détaillera dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

Antenne Patch Rectangulaire et Présentation du logiciel HFSS

II Introduction :

Pour répondre aux besoins actuels du domaine des télécommunications, les concepteurs en hyperfréquences sont amenés à élaborer des dispositifs à base d'antennes planaires.

Le concept d'antennes imprimées est apparu dans les années 1950, mais il faudra attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui seront essentiellement réservées à des applications militaires, et les années 1990 pour un véritable passage au stade industriel.

Deux atouts majeurs vont entraîner un développement très important de ce type d'antenne :

- Leur faible coût de réalisation.
- Leur capacité d'intégration.

Elles sont aujourd'hui implantées dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type d'antenne privilégié aux fréquences micro-ondes dans les systèmes de communication intégrés modernes, et elles sont aussi utilisées dans les réseaux locaux sans fil à haut débit.

II.1 Antennes patch

Une antenne à éléments rayonnants imprimés « figure II-1 », communément appelée antenne patch est une ligne micro-ruban (micro strip) de forme particulière. Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'antenne de manière générale, il s'agit bien du rayonnement (émission) et de la réception d'une onde électromagnétique. Elle se compose de :

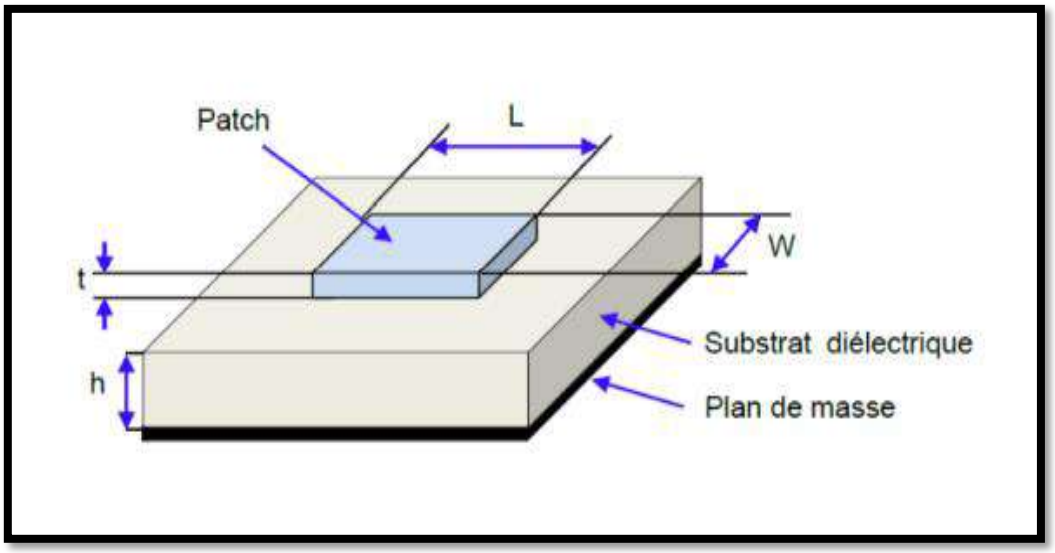


Figure II.1 : Mode fondamental d'une antenne patch micro-ruban.

- **Le plan de masse (ground plane) :**

Est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.

- **Un substrat diélectrique (dielectric substrat) :**

Composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative (2,2<$\boldsymbol{\varepsilon_r}$<12). Il est utilisé pour augmenté la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et amélioré la bande passante de l'antenne. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante.

- **L'élément rayonnant (patch) :**

Est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire …etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit être adaptée d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion Dans la pratique, le rectangle et le disque représentent les formes de l'élément rayonnant les plus utilisées. Il est constitué d'une partie conductrice qui va rayonner. La forme et les dimensions conditionnent la fréquence de fonctionnement de l'antenne. [7]

II.2 Structure d'une antenne patch

La configuration la plus simple d'une antenne microbande (Figure II.2) est constituée d'un plan de masse, un substrat diélectrique caractérisé à la fois par une permittivité électrique $\boldsymbol{\varepsilon_r}$, et une perméabilité magnétique μ_r ,et un élément rayonnant de forme quelconque appelé patch [8].

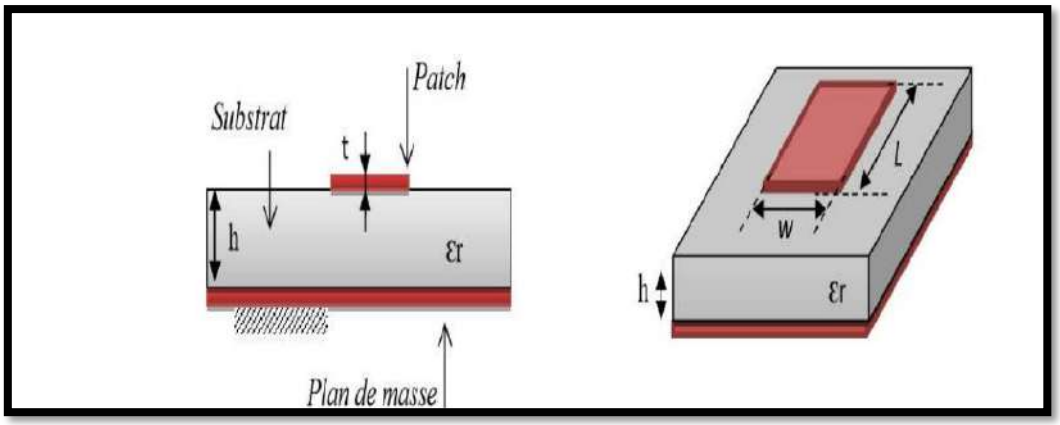


Figure II.2 : Structure d'une Antenne patch

II.3 Les différentes formes du patch

Les formes des éléments rayonnants les plus souvent utilisées sont : le carré, le rectangle, le disque et le triangle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes : [8]

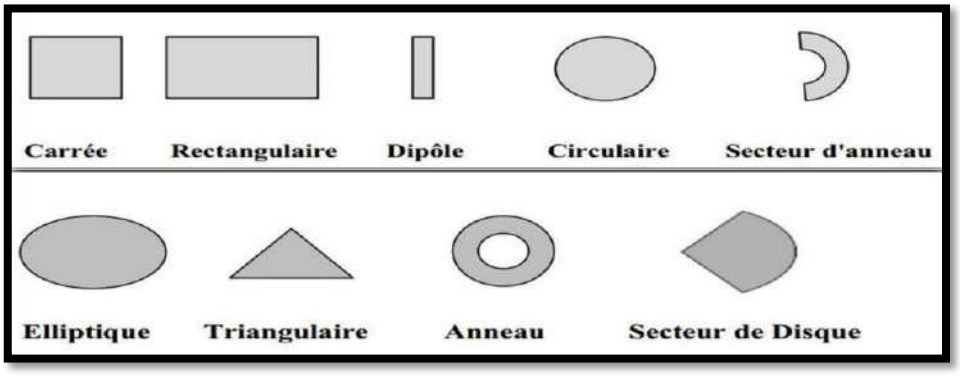


Figure II.3 : Différentes formes du patch

II.4 Principe de fonctionnement

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

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné ; celui généré par les bords séparés par L étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ. Ces deux bords sont donc appelés fentes rayonnantes.

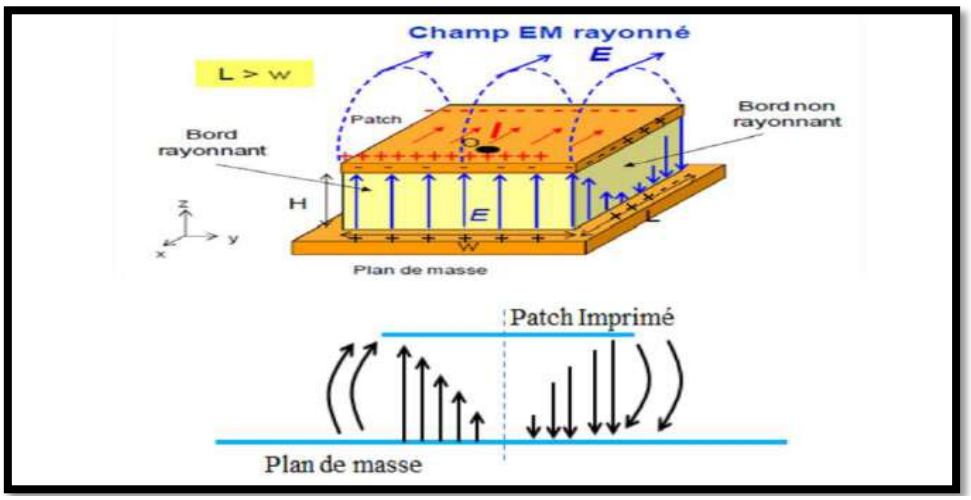


Figure II.4: Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné ; celui généré par les bords séparés par L étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ. Ces deux bords sont donc appelés fentes rayonnantes. [9]

II.4.1 Mécanisme de rayonnement d'un ''patch''

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch s'effectue à partir de sa forme géométrique. Lorsqu'on excite la ligne d'alimentation avec une source RF, une onde électromagnétique va se propager sur cette ligne, puis attaque l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus apte à rayonner). Une distribution de charge (Figure II.5) va se s'établir à l'interface (substrat /plan de masse), sur et sous l'élément rayonnant, et crée un champ électrique vertical (Figure II.5) entre le patch et le plan de masse ce qui va provoquer :

- Une inversion des phases des composantes verticales du champ électrique sur la longueur de l'antenne.
- Contrairement à précédemment, des rayonnements qui sont en phase dans le plan de l'antenne et dus aux composantes horizontales des lignes de champ qui entoure l'élément imprimé.
- Une modélisation de l'antenne patch par une cavité à 4 murs magnétiques (bords de) la cavité) et 2 murs électriques (formés par les métallisations). [9]

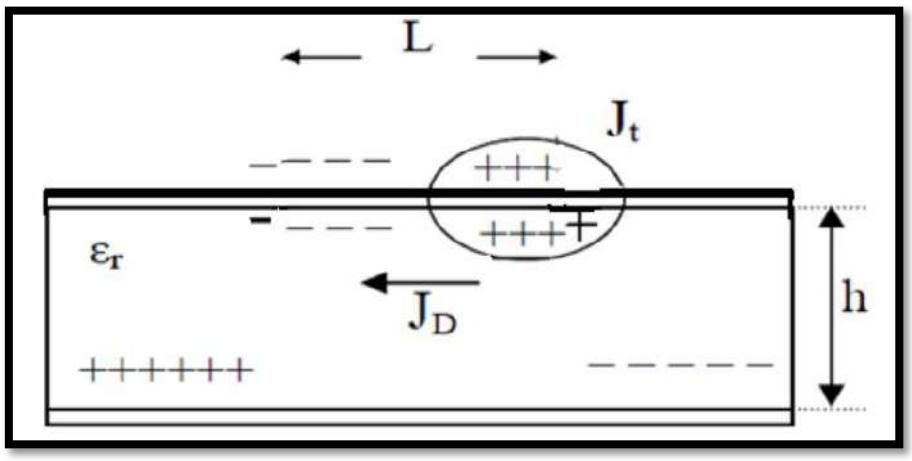


Figure II.5: distribution de charge et de densité de courant.

Avec : $\mathbf{J_D}$ courant de déplacement ;

$\mathbf{J_t}$ Courant de surface

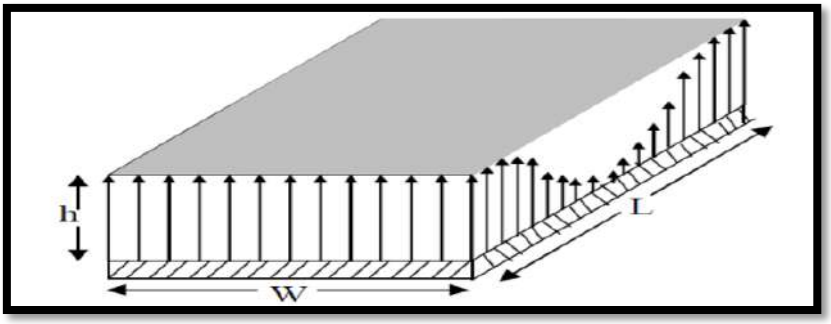


Figure II.6: distribution du champ électrique vertical.

II.4.2 Représentation en quadripôles

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure II.7), défini par les paramètres S :

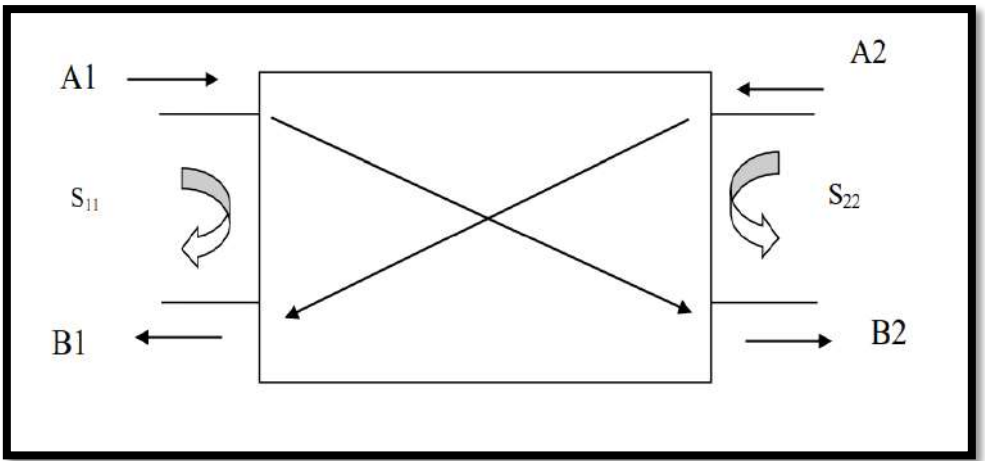


Figure II.7 : Représentation en quadripôle.

A1, A2, B1et B2 Sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$$B1 = S_{11} \times A1 + S_{12} A2 \qquad \textbf{(II.1)}$$

$$B2 = S_{21} \times A1 + S_{22} A2 \qquad \textbf{(II.2)}$$

Le coefficient S_{11} correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque A2= 0.

Le coefficient S_{12} représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque A1= 0.

Le coefficient S_{21} est le gain du quadripôle lorsque $A2 = 0$.

Le coefficient S_{22} est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque A1=0. [9]

II.5 Les caractéristiques des antennes ''patch''

II.5.1 Diagramme de rayonnement et polarisation

Le rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est similaire à celui d'un dipôle orienté dans l'axe x. La polarisation du champ rayonnée est rectiligne. Le rayonnement est dépendant de θ et f. Il est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch (θ= 0°). En raison du plan de masse, le rayonnement ne se fait que dans le demi-plan au-dessus du plan de masse. (Figure II.8) illustre le diagramme de rayonnement de cette antenne. [9]

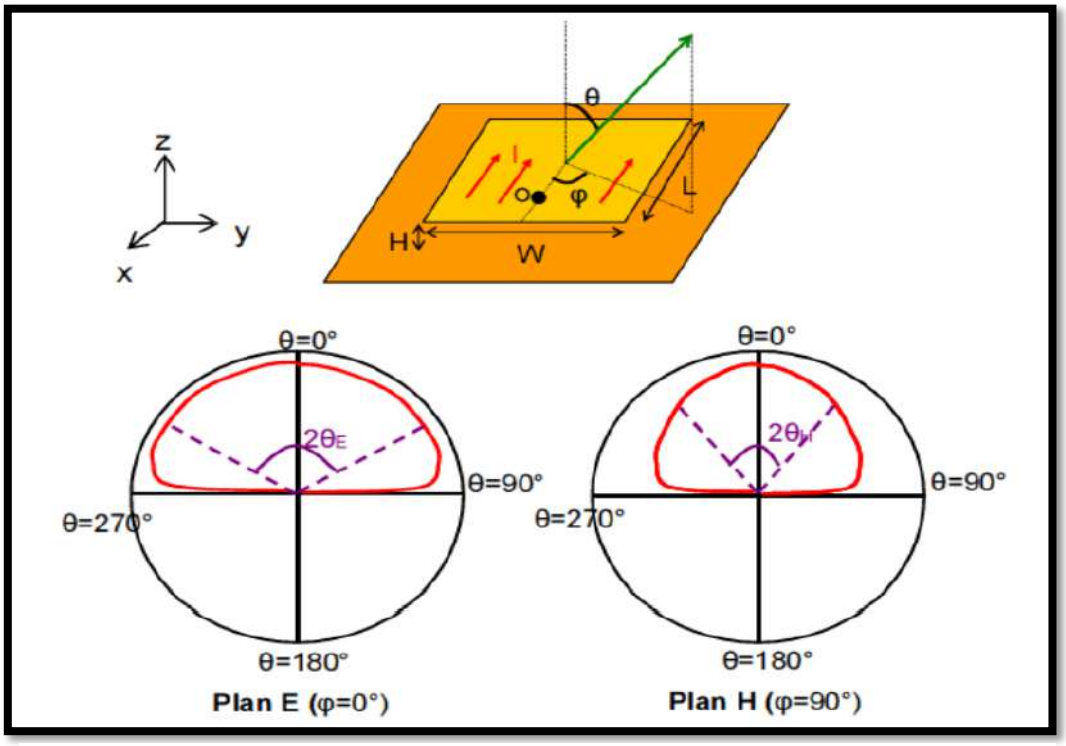


Figure II.8 : Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

II.5.2 Bande passante de l'antenne ''patch''

La bande passante d'une antenne patch est définie comme la gamme de fréquence pour laquelle le patch est adapté a sa ligne d'alimentation, elle est relativement faible. Pour accroître la bande passante il est possible d'augmenter l'épaisseur du substrat. Elle est donnée par la relation :

$$\mathbf{BP\ (\%) = [(f2 - f1)/f0]. 100} \qquad \mathbf{(II.3)}$$

Avec 0 la fréquence à la résonance, $f1$ et $f2$ les deux fréquences minimale et maximale.

II.5.3 Gain

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

$$G\ (\theta, \varphi) = \eta \times D\theta, \varphi \qquad \mathbf{(II.4). [9]}$$

II.5.4 Le coefficient de réflexion

On définit la qualité d'adaptation d'une antenne soit en donnant son impédance caractéristique (II.9) (souvent 50 ohms), soit en donnant son coefficient de réflexion S (II.9).

$$\boldsymbol{Z_e = R + J} \qquad \textbf{(II.5)}$$

$$\boldsymbol{|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_t}} \qquad \textbf{(II.6).}$$

$\boldsymbol{|S_{11}|}$ est le coefficient de réflexion en tension, donné par la formule et exprimé en décibels. C'est le rapport de la tension réfléchie à la tension transmise, sa valeur varie donc de 0 (aucune réflexion) à 1 (réflexion totale)

L'impédance déduite d'une mesure du coefficient de réflexion est donnée par :

$$\boldsymbol{Z_e = Z_c \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}}} \qquad \textbf{(II.7)}$$

Le paramètre S11 qui est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne exprime le transfert d'énergie par cette antenne. La valeur de ce paramètre varie en fonction de la fréquence. Afin d'assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence désirée, nous imposons le critère suivant $|S_{11}| \leq$ -10 dB [10].

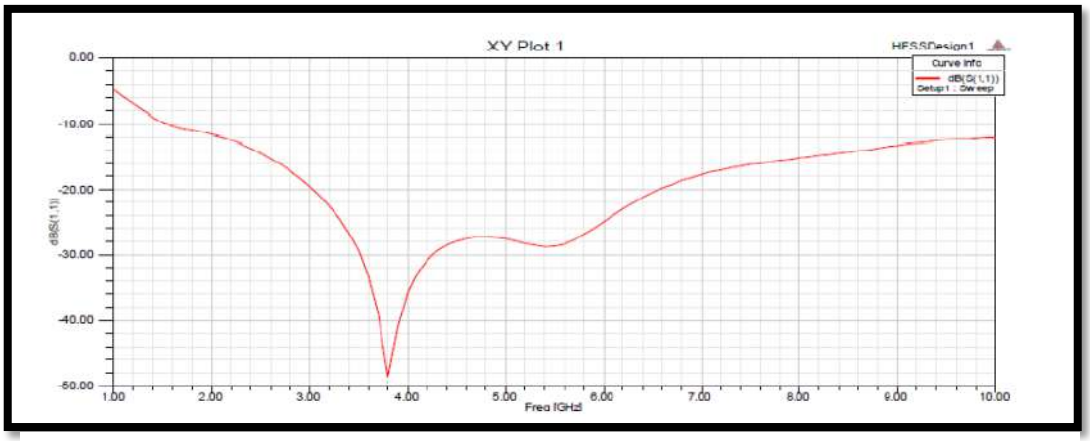


Figure II.9 : Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

II.5.5 Directivité

La directivité (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope

$$\boldsymbol{D\ (\theta, \varphi) = (\theta\ ,\varphi)/Pr4\pi = 4\pi P(\theta\ ,\varphi)/Pr} \qquad \textbf{(II.8).[9]}$$

II.6 Techniques d'alimentation

L'alimentation des antennes patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. En effet, elles peuvent être classées en deux grandes catégories [8] :

• Par contact :

- ligne micro-ruban.
- câble coaxial.

• Par proximité (sans contact) :

- couplage électromagnétique,
- couplage à ouverture (fente).

II.6.1 Alimentation par contact

II.6.1.1 Alimentation par ligne micro-ruban

L'alimentation peut être établie par la connexion directe à une ligne microbande (Figure II.10), dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe de symétrie si cela permet une meilleure adaptation d'impédance [8].

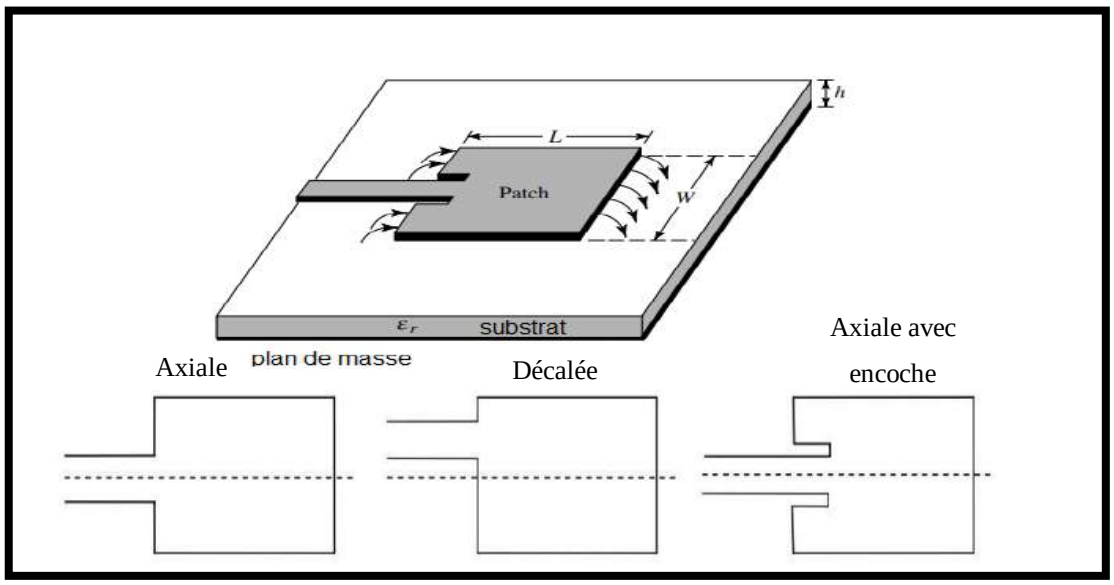


Figure II.10 : Alimentation par ligne micro-ruban

II.6.1.2 Alimentation par sonde coaxiale

Le câble traverse le plan de masse et le substrat. Le conducteur central est soudé sur l'élément rayonnant .Le conducteur extérieur quant à lui est soudé au plan de masse, (Figure II.11).

Cette alimentation est très utilisée dans les antennes imprimées qui ont des patchs de formes circulaire et annulaire [8].

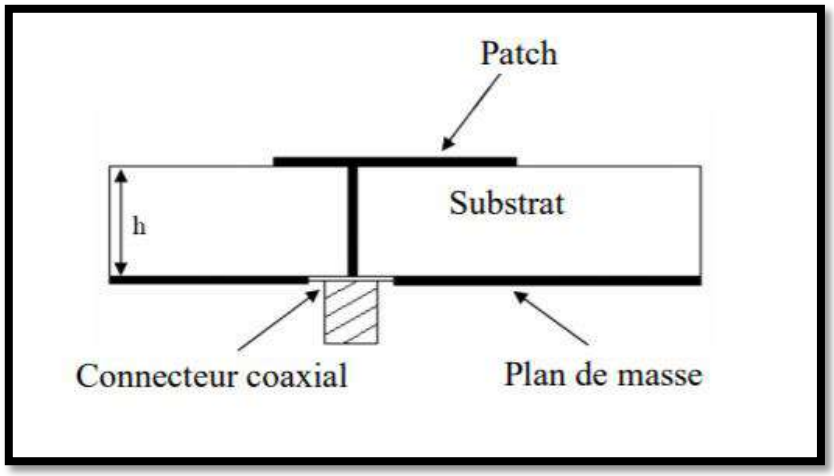


Figure II.11 : Alimentation par sonde coaxiale

II.6.2 Alimentation par proximité

II.6.2.1 Alimentation par fente

Cette structure (Figure II.12) est constituée par deux substrats séparés par un plan de masse, le patch est imprimé sur le substrat supérieur et le ruban d'alimentation est imprimé sur le substrat inférieur, avec une fente non résonnante fendue dans le plan de masse [8].

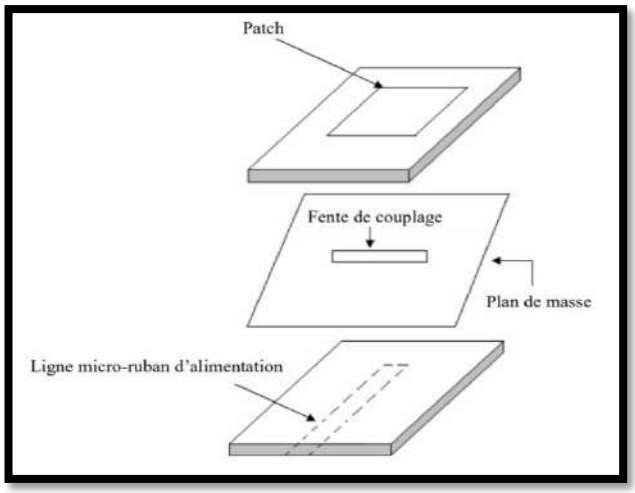


Figure II.12 : Alimentation par fente.

II.6.2.2 Alimentation par couplage de proximité

Cette technique d'alimentation est connue également sous le nom de couplage électromagnétique. Deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est située entre les deux substrats et le patch est imprimé sur le substrat supérieur (Figure II.13). L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le

rayonnement parasite due à l'alimentation et fournit une largeur de bande élevée, en raison de l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande. Cette technique fournit également des choix entre deux milieux diélectriques différents, un pour le patch et un pour la ligne d'alimentation pour optimiser les performances de l'antenne. [8]

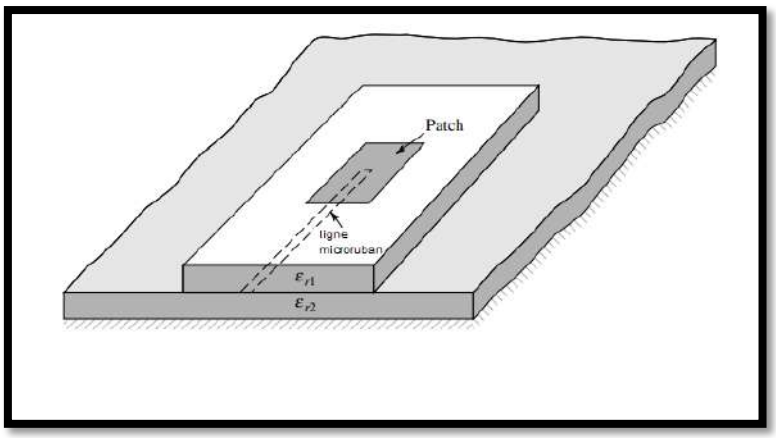


Figure II.13: Alimentation par couplage de proximité.

II.7 Circuits équivalents pour les types d'alimentations

La figure suivante donne des circuits équivalents RLC dont les équations différentielles peuvent être trouvées pour différentes types d'alimentations.[3]

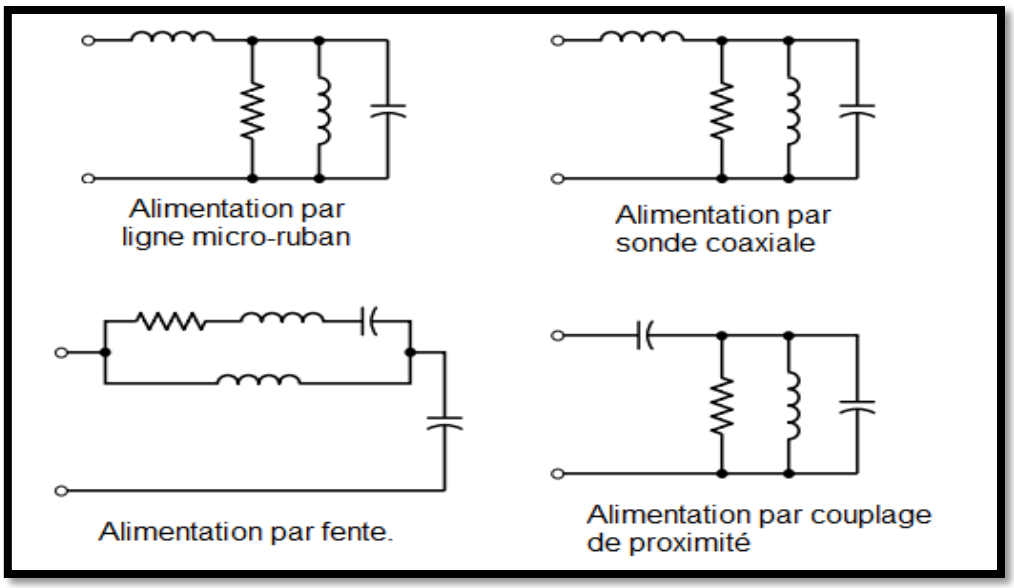


Figure II.14 : Circuits équivalents pour les types d'alimentations

II.8 Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation [9]

Caractéristiques	Alimentation par Ligne microruban	alimentation Coaxiale	alimentation couplée par Proximité	Alimentation couplée par Ouverture
rayonnement parasite de l'alimentation	Plus	Plus	Minimum	Moins
Fiabilité	Meilleur	Pauvres A Cause De Soudure	Bon	Bon
Facilité de Fabrication	Facile	Soudure Et Forage Requis	Alignement Requis	Alignement Requis
Adaptation d'Impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante (réalisé avec adaptation d'impédance)	2-5%	2-5%	13%	2-5%

Tableau II.1 : Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation

II.9 Avantages et inconvénients des antennes patchs

- Faible poids, masse, épaisseur, et volume.
- Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable.
- Faible cout et facilité de fabrication.
- Capables d'émettre à deux ou trois fréquences.

Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non planes. [10]

Néanmoins ces antennes présentent des limitations à savoir :

- Faible rendement, puissance d'émission (<100W) et un faible gain (6dB).
- Facteur de qualité Q trop élevé (50 jusqu'à 75)
- bande passante étroite (de 1 à 5 %).
- Faible pureté de polarisation.
- Pertes de rayonnement par onde de surfaces dans le substrat diélectrique.

Donc la conception des antennes doit répondre à des compromis en termes de performance et de complexité de réalisation. [10]

Les antennes patch ont un facteur de qualité (Q) très élevé. Q représente les pertes lié à

l'antenne et un grand facteur de qualité mène à une largeur de bande étroite et un faible rendement. Le facteur de qualité peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat diélectrique. [10]

II.10 Les applications des antennes micro-rubans

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimés, 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 microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications, Parmi ces applications on cite [11]:

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et contrôle.
- La télémesure par missile.
- Les équipements portatifs
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.

II.11 Les pertes dans les antennes

La résistivité finie des couches métalliques entraine des pertes par effet Joule dans les conducteurs. Or au fur et à mesure que celles-ci augmentent, le champ magnétique généré par l'inductance induit des courants dont la densité est distribuée de façon non-uniforme, et ce à la fois dans le conducteur et le substrat. Ces derniers, qui sont à l'origine de la majeure partie des pertes aux fréquences micro-ondes, sont essentiellement connus liés à l'effet de peau.[10]

II.11.1 Effet de peau

Lorsqu'un courant alternatif circule dans un conducteur, un champ magnétique est créé autour de ce dernier. L'effet le plus important est sans aucun doute la propriété du courant à se concentrer sur les couches superficielles d'un conducteur lorsque la fréquence augmente. Ce phénomène est appelé effet de peau ou " skin effect".La densité du courant J(z) décroît de façon exponentielle dans le conducteur, Cette propriété permet de définir une grandeur caractéristique appelée "l'épaisseur de peau$\boldsymbol{\delta}$".$\boldsymbol{\delta}$ Est inversement proportionnel à la fréquence et s'écrit :

L'épaisseur de peau détermine, en première approximation, la largeur de la zone où

se concentre le courant dans un conducteur. Elle permet de calculer la résistance effective à une fréquence donnée. Dans ce calcul, on néglige la partie réelle devant la partie imaginaire : la conductivité des métaux étant très élevée.

$$\boldsymbol{\delta} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\sigma\mu\pi f}} \qquad \textbf{(II.9)}$$

$\boldsymbol{\sigma}$: Épaisseur de peau en mètre [m]

$\boldsymbol{\omega}$: Pulsation en radian par seconde [rad/s]

$\boldsymbol{f}$: Fréquence du courant en hertz [Hz]

μ : perméabilité magnétique en henry par mètre [H/m]

ρ : résistivité en ohm-mètre [Ω .m] σ : conductivité électrique en siemens par mètre [S/m]

Pour un conducteur de diamètre significativement plus grand que δ, on peut calculer la résistance effective à une fréquence donnée en considérant que seule la partie extérieure d'épaisseur δ contribue à la conduction.

Le champ magnétique généré par l'antenne étant lui-même variable en fonction du temps, le courant qui circule dans le patch, induit un courant image dans le substrat, on appelle cela l'effet de proximité. Ce courant, appelé courant de Foucault "Eddy curent", est orienté de telle façon à ce qu'il s'oppose aux variations initiales du champ magnétique. [10].

II.11.2 Pertes dans le substrat

Les caractéristiques de rayonnement des antennes imprimées ont largement été étudiées dans la littérature On distingue trois types d'ondes responsables d'une augmentation du couplage.

Les ondes guidées (Figure II.15). Elles traduisent une propagation du champ électromagnétique dans le substrat entre deux plans conducteurs, à savoir entre l'élément rayonnant (patch et ligne micro-ruban) et le plan de masse. Cette propriété est très utile pour la propagation du signal le long d'une ligne micro-ruban.[10]

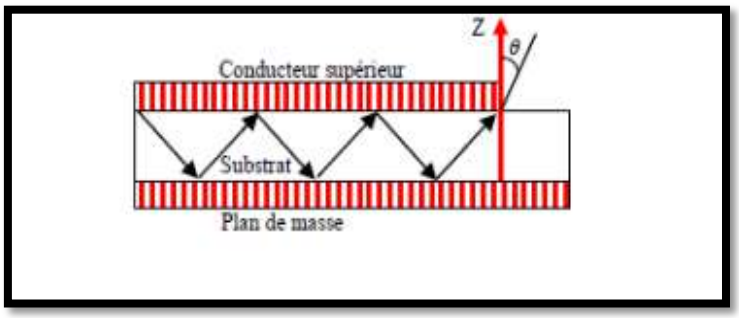


Figure II.15 : Les ondes guidées

Les ondes rayonnées (Figure II.16) Elles proviennent du rayonnement émis par les différentes parties métalliques composant l'antenne. Celles-ci se propageant dans l'espace libre, le signal se disperse librement dans l'espace et contribue au rayonnement de l'antenne.

Pour les antennes imprimées la totalité du couplage dans ce cas est liée aux ondes rayonnées.[10]

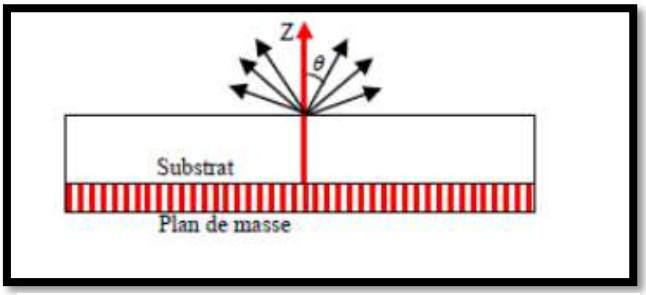


Figure II.16 : Les ondes rayonnées.

Les ondes de surface (Figure II.17). Une étude complète sur les antennes imprimées doit prendre en compte les perturbations liées aux ondes de surface qui ont traversé le substrat avec un angle d'incidence θ variant entre π/2 et arcsin ($1/\sqrt{\varepsilon_r}$).Ces ondes se propagent dans le diélectrique, c'est à dire entre le plan de masse et l'interface air-diélectrique. Lorsqu'elles atteignent les extrémités de la structure micro ruban.

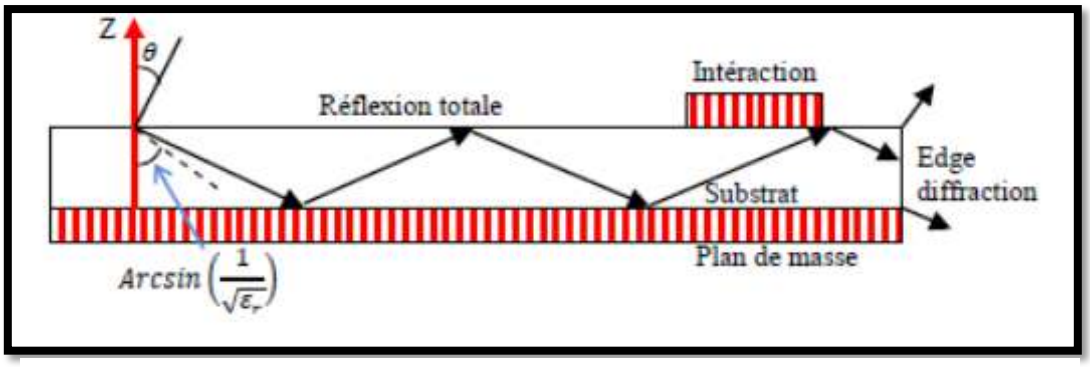


Figure II.17 : Les ondes de surface.

Le choix des substrats est donc primordial afin de limiter au maximum les différentes pertes et d'optimiser les rendements des antennes conçues. En effet, le rendement des antennes sera d'autant meilleur que la constante diélectrique est faible et l'épaisseur du substrat limitée afin d'éviter les pertes dues aux ondes de surface qui sont inhérentes aux couches diélectriques. L'énergie perdue sous forme d'ondes de surface sera réduira l'efficacité de l'antenne.[10]

II.12 Introduction Sur logiciel HFSS

Cette partie développe les différents aspects de mise en œuvre d'un projet HFSS (High Frequency Structure Simulation) depuis le dessin de la structure à étudier jusqu'à l'exécution "Analyze". Les menus et les projets présentés dans ce mémoire sont réalisés dans la version 13 de HFSS.

HFSS est un logiciel de modélisation électromagnétique et d'analyse des circuits passifs et des structures tridimensionnels. Il aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure tels que les caractéristiques de rayonnement et de la dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Dans ce qui suit, nous présentons la structure physique de l'antenne à étudier et le projet HFSS correspondant avec quelques illustrations graphiques.

II.13 Présentation du logiciel Ansoft HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) v13.0 de Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule des champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell.

Pour cela, il faut construire des objets en trois dimensions et leur assigner des caractéristiques (type de matériau, taille, épaisseur, …).Il est également nécessaire de spécifier les sources électromagnétiques. Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S, Y, Z en fonction de la fréquence. Les principales étapes d'un "Design" HFSS sont illustrées par l'organigramme suivant :

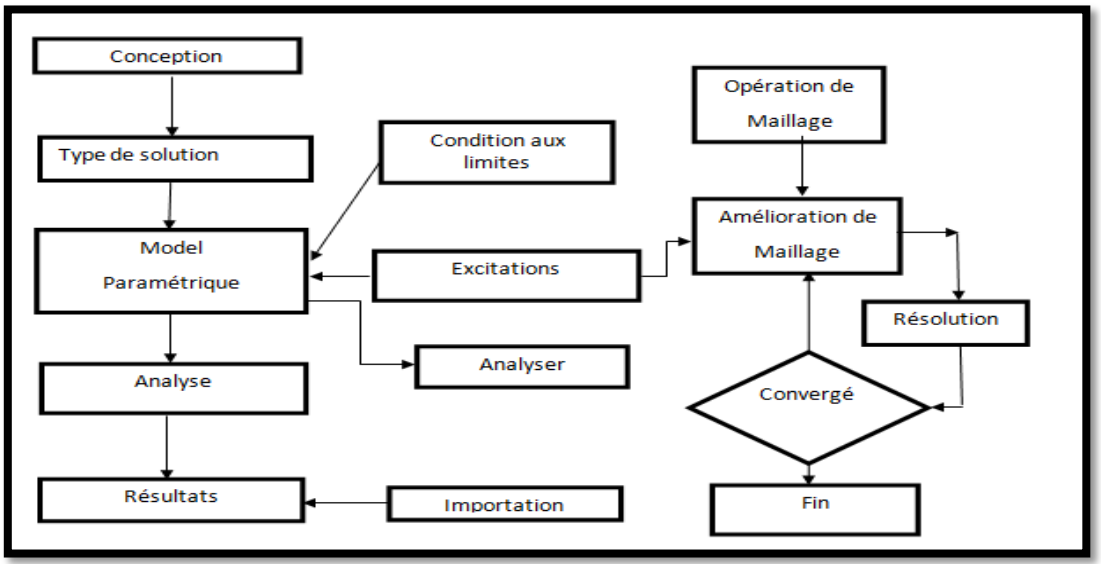


Figure II.18 : Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

II.14 Un projet en HFSS

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

II.14.1 Le Project Manager : contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.

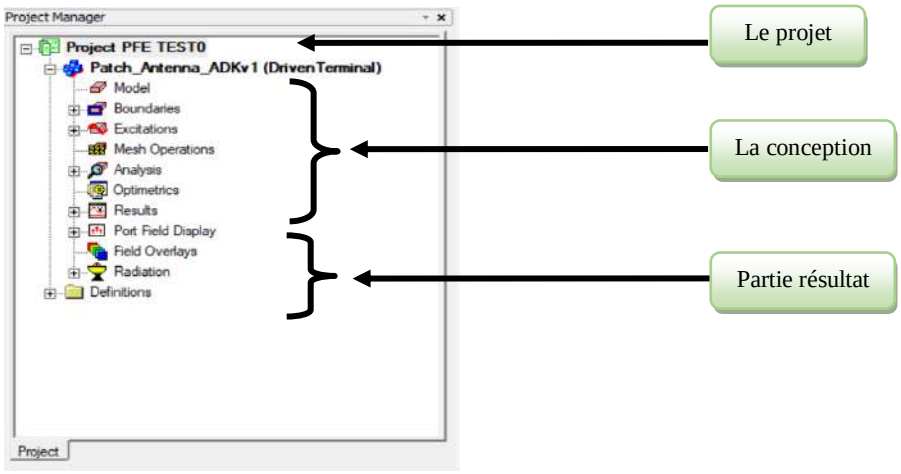


Figure II.19 : Arbre de gestion d'une structure sous HFSS

II.14.2 Le Message Manager : permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.

II.14.3 La fenêtre de Propretés : pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle.

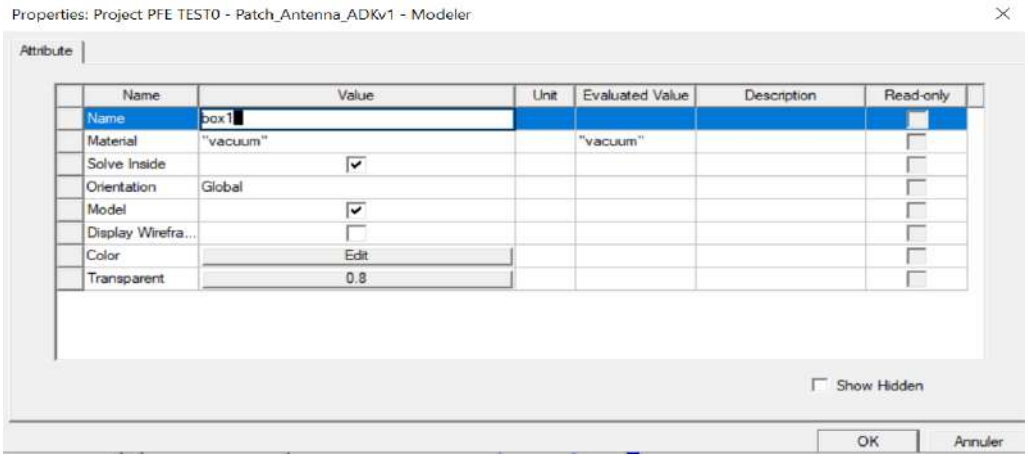


Figure II.20 : Représentation des propriétés

II.14.4 La fenêtre de Progress : affiche les progressions de la solution.

II.14.5 La fenêtre de 3D Modeler: contient le modèle et son arbre pour la conception active L'organigramme suivant résume les étapes à suivre :

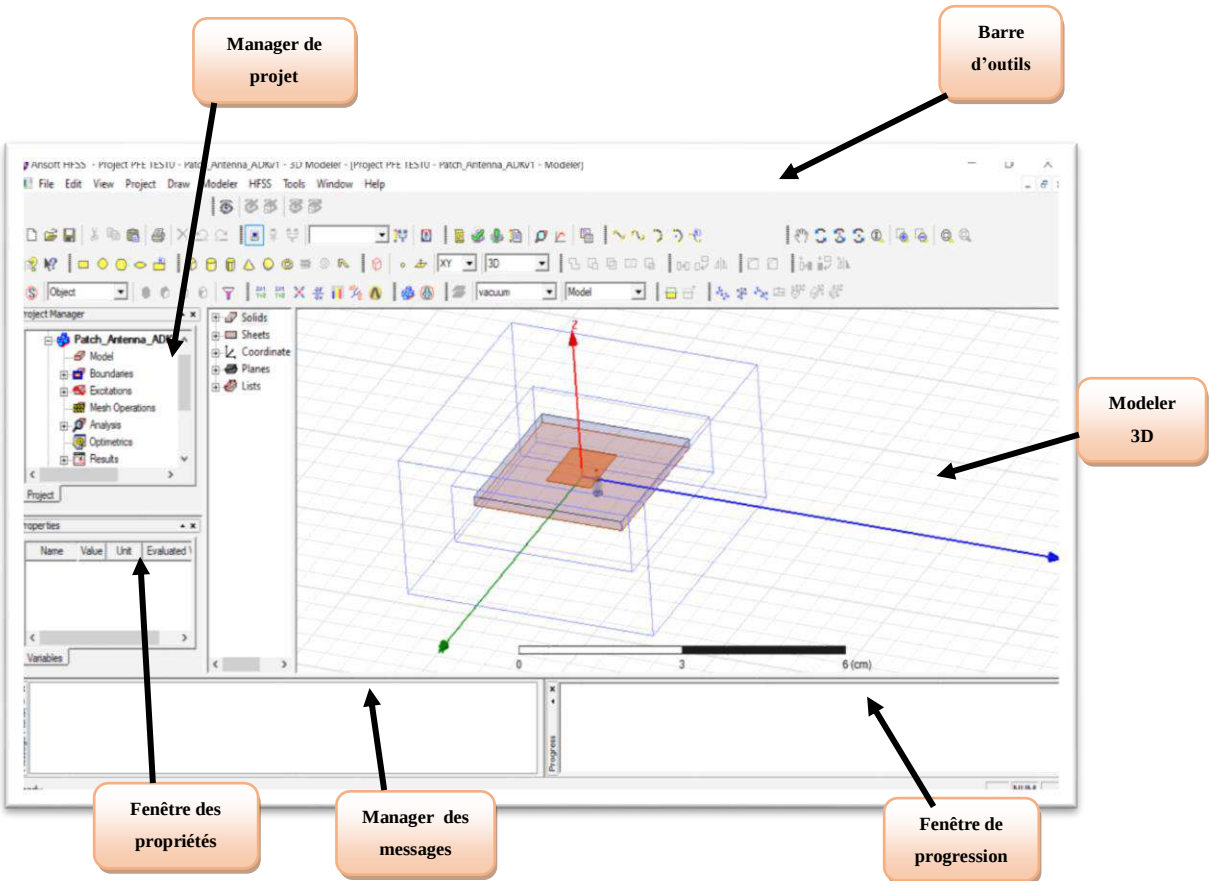


Figure II.21 : fenêtre principale du logiciel HFSS.

II.15 Comment commencer HFSS

HFSS devrait être installé sur l'ordinateur que vous travaillez dessus. Il devrait y avoir une icône de HFSS ( ) sur l'ordinateur de bureau que vous pouvez double-cliquer dessus pour lancer HFSS.

II.15.1 Comment ouvrir un nouveau projet

Quand vous commencez HFSS v13, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé TESTE01 par défaut. Des définitions de projet, telles que la tâche matérielle, des états de frontière, et des ports d'excitation sont stockées sous le nom de projet.

II.15.2 Sauvegarder le projet

Sur le menu fichier, cliquer Save As, employer le navigateur de dossier pour localiser le dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme

C : \Ansoft\HFSS13\Projects, et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer Save.

II.15.3 Insérer une conception de HFSS

Sur le menu Project cliquer Insert HFSS Design. La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet, il est appelé Model par défaut. La fenêtre 3D Modeler

apparaît à la droite du Project Manager.

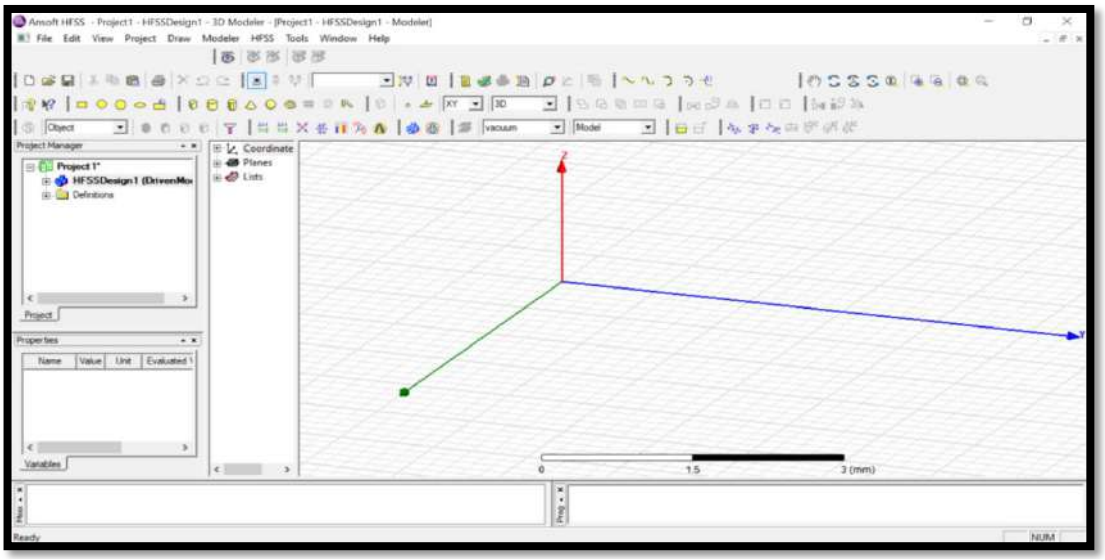


Figure II.22 : Fenêtre de HFSS.

II.15.4 Choix du 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", la boîte de dialogue du Type de Solution apparaît (Figure II.23).



Figure II.23 : Boîte de dialogue du Type de Solution.

- **Driven Modal :** Permet de calculer S_{11} d'une structure en haute fréquence en fonction des ondes incidentes et réfléchies.
- **Driven Terminal :** nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les micro-rubans, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source.
- **Eigen mode :** Permet de calculer la fréquence de résonance de la structure et les champs à ces fréquences.

II.15.5 L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure

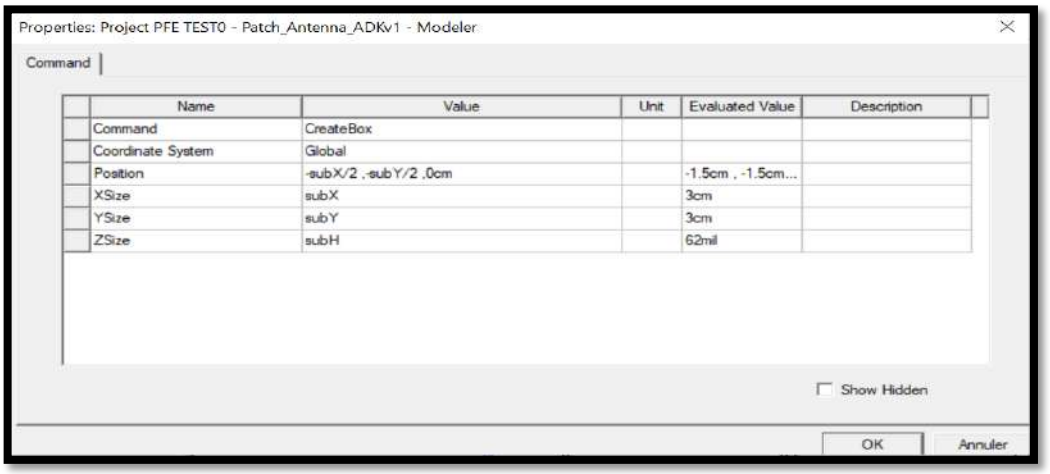
Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente. Sur le menu "Modeler", puis cliqué sur "Units", la boîte de dialogue "Set Model Units" apparaît (Figure II.24) Dans cette boîte de dialogue, on choisit l'unité à partir de la liste déroulante.



Figure II.24 : Boîte de dialogue des Unités de Modèle.

II.16 Créer le substrat

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



Placer le nom et la choisir la matière de substrat :

1- Choisir la case Attribut à partir de la fenêtre de Propretés.

2- Pour la Valeur du type Name : substrat.

3- Pour la Valeur du type Matériel : ("Isola Gigaver 210 (tm)").

4- Cliquer sur le Bouton OK.

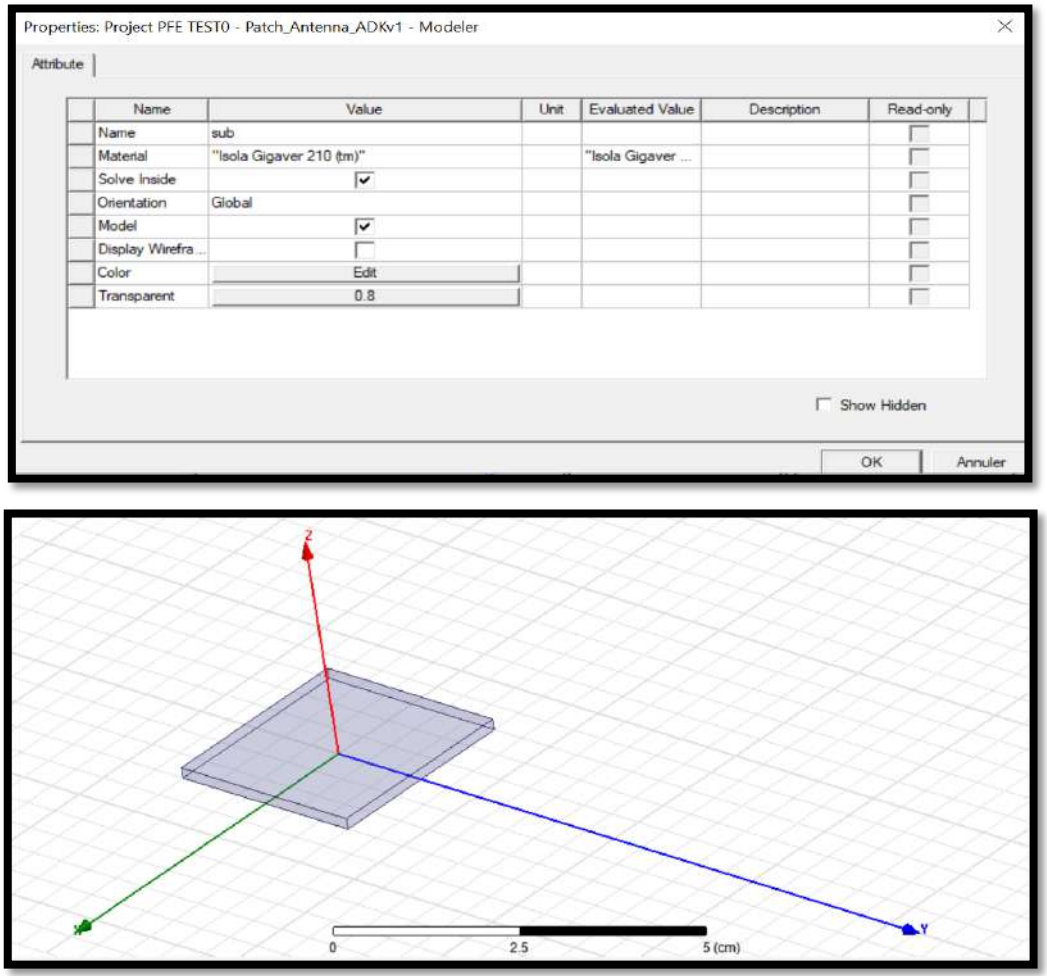
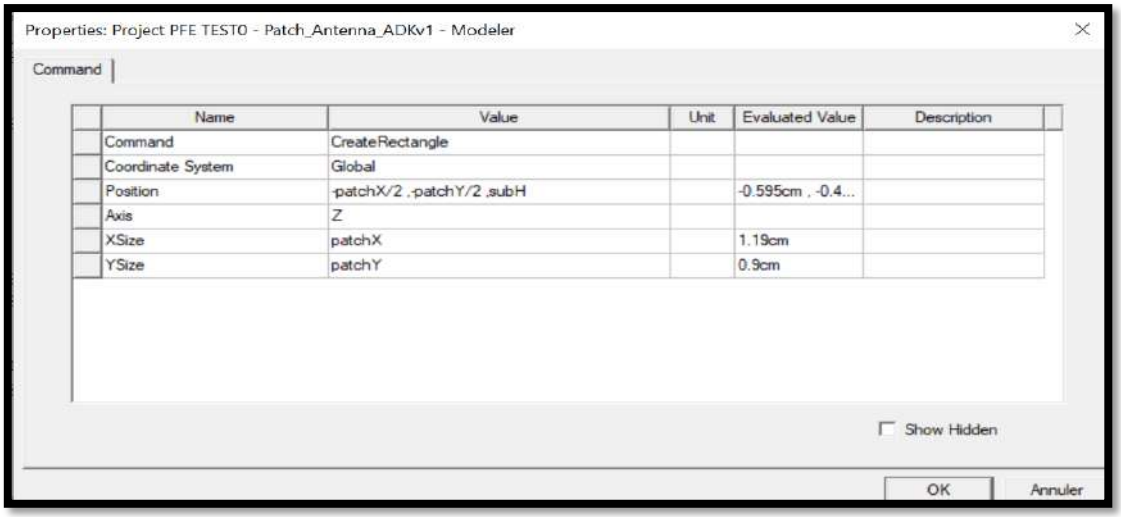


Figure II.25 : Le Substrat diélectrique.

II.17 Création du Patch

Premièrement on clique sur dans la barre d'outils pour dessiner le patch. En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de Box comme montré dans la figure ci-dessous :



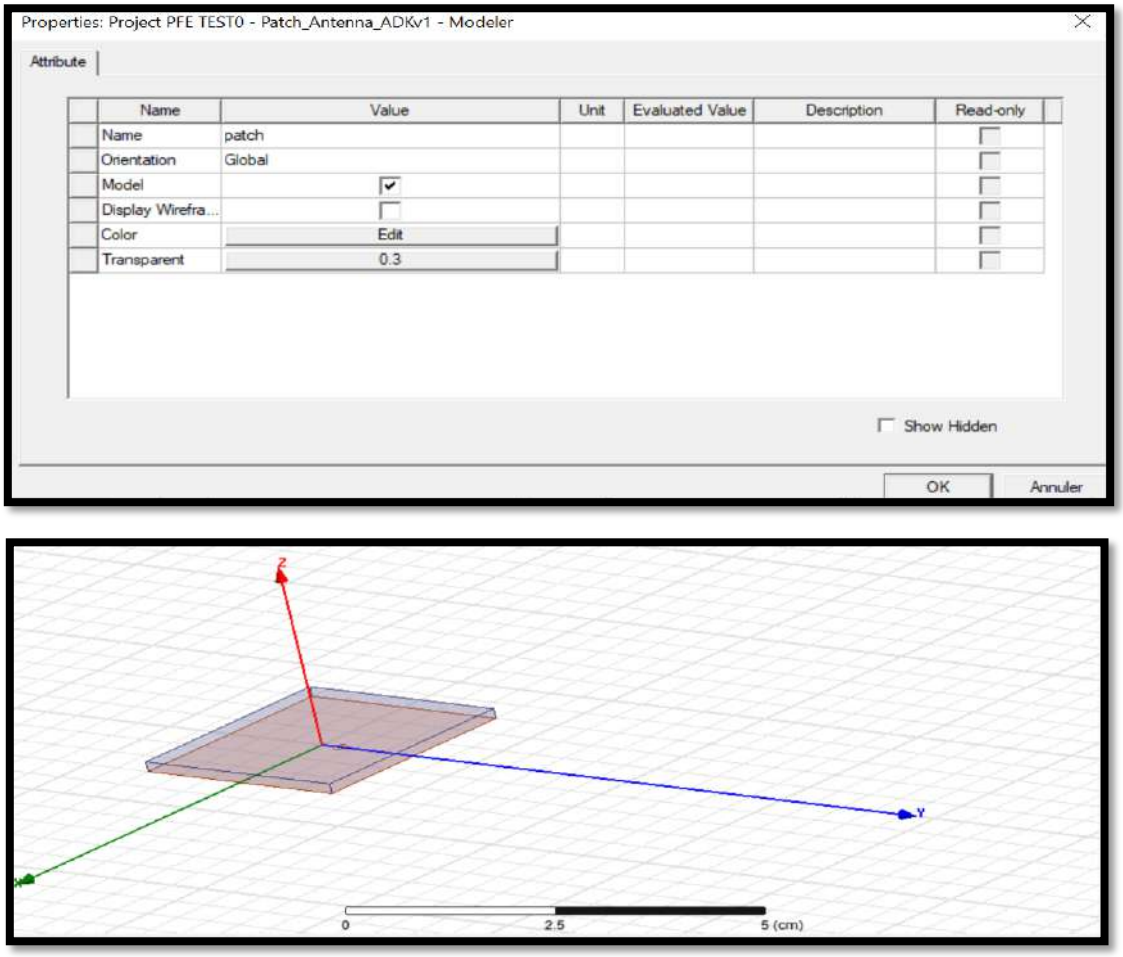
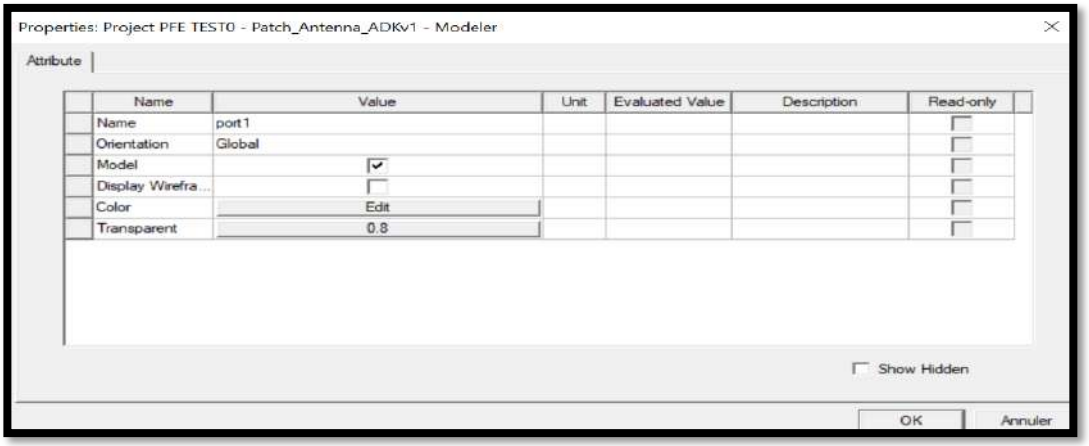


Figure II.26 : représente le patch

II.18 Création du port (waveport)

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.



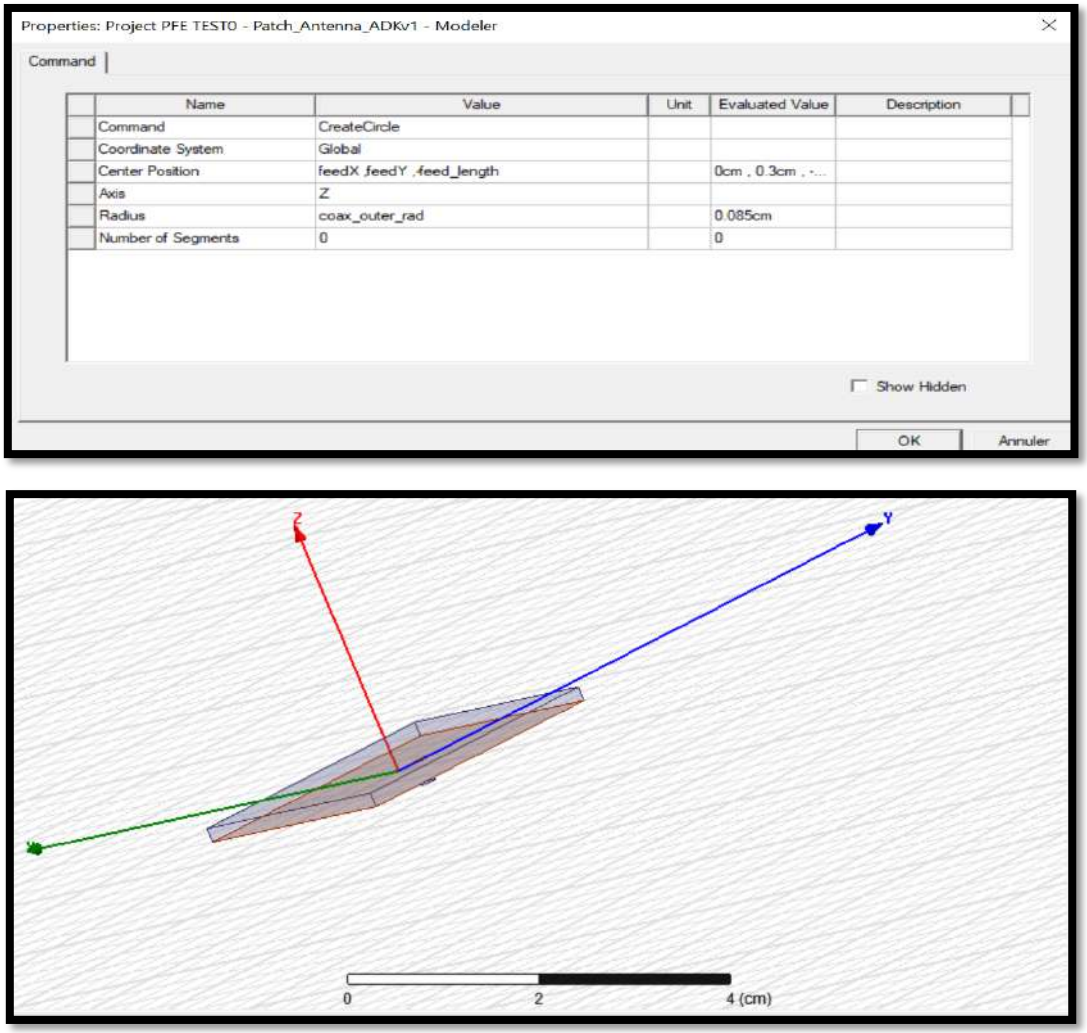


Figure II.27 : Le port.

II.19 Assigner les conditions aux frontières

Une fois le modèle a été créé, on doit assigner les conditions aux limites de la structure.

Dans le HFSS, des frontières rayonnantes sont utilisées pour simuler les problèmes à structure ouverte qui permettent une propagation infiniment lointaine dans l'espace. HFSS absorbe ondes aux frontières rayonnant, en considérant essentiellement une sphère de rayon infini autour de la structure. Dans notre cas, notre frontière absorbante est un boitier d'air.

Pour dessiner la boîte d'air, cliquer sur dessus la barre d'outils. Dessiner alors une boîte en remplissant les mêmes étapes que précédemment.(La figure II.28) représente l'air dans le 3D Modeler

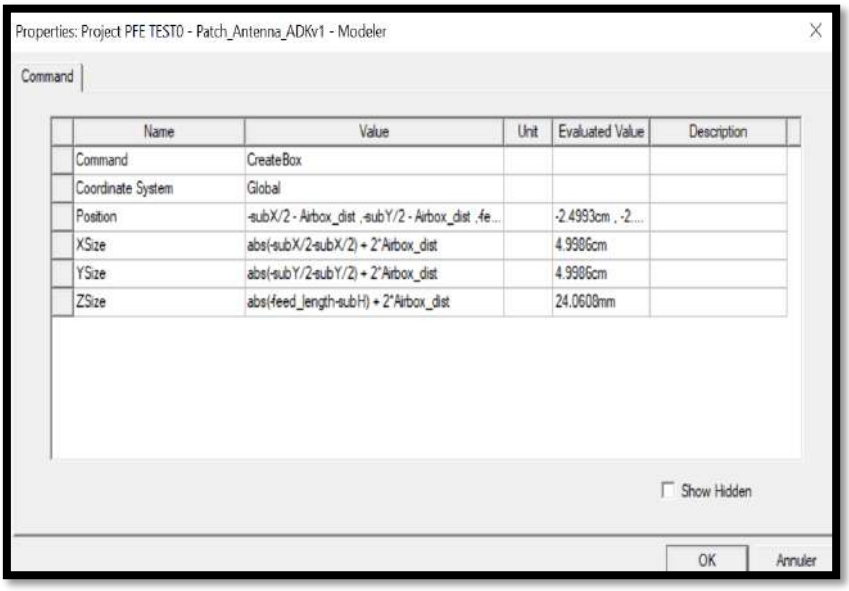


Figure II.28 : les dimensions de boitier d'air

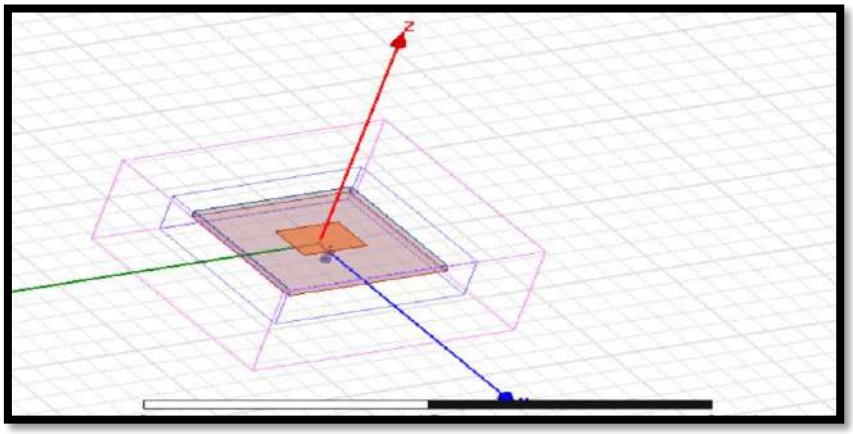


Figure II.29: Le boitier d'air

II.19.1 Assigner une excitation au port d'alimentation

Les excitations sont utilisées pour spécifier la source des champs électromagnétiques, des charges, des courants ou des tensions pour les objets ou leurs éléments (un élément ou plus).

Pour le type de solution "Driven Model" nous avons les types d'excitations suivantes.

Wave Port : Représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.

Onde Incidente : Représente la propagation d'une onde incidente sur la géométrie.

Lumped Port : Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.

Incident Wave: Représente un champ électrique constant à travers les points d'une alimentation.

Voltage Source : Représente un courant électrique constant à travers les points d'une

alimentation.

Magnetic Bias : Utilisé pour définir le champ intérieur net qui influe sur un objet de matériau ferromagnétique en 3D.

Choisir le port d'objet de l'arbre d'historique, cliquer par la droite et assigner l'excitation. Dans notre cas, c'est **Lumped Port**. Cliquer le **Lumped Port**, l'appeler comme votre préférence, puis cliquer après, définir maintenant votre ligne d'intégration. Normalement, la ligne d'intégration est définie du point moyen inférieur au point moyen supérieur. Garder les autres valeurs en tant que par défaut. Cliquer terminer.

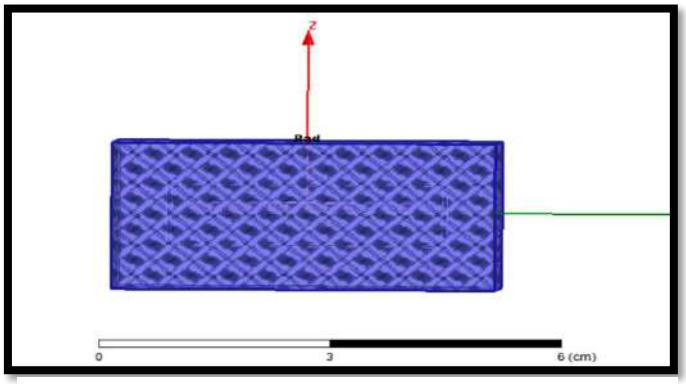


Figure II.30 : Lumped port.

II.20 Créer une installation d'analyse (analysis setup)

1) Choisir " Add Solution Setup" dans le menu HFSS >Analysis Setup >Add Solution Setup.

2) Dans la Fenêtre de Solution Setup

- Cliquer sur la case General.
- Cliquer sur le Bouton OK.

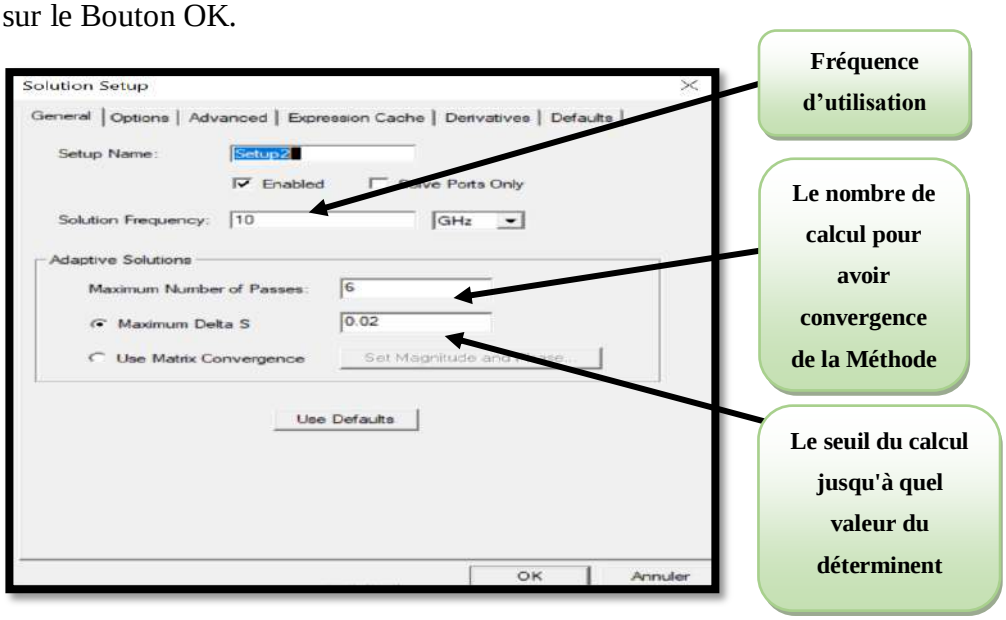
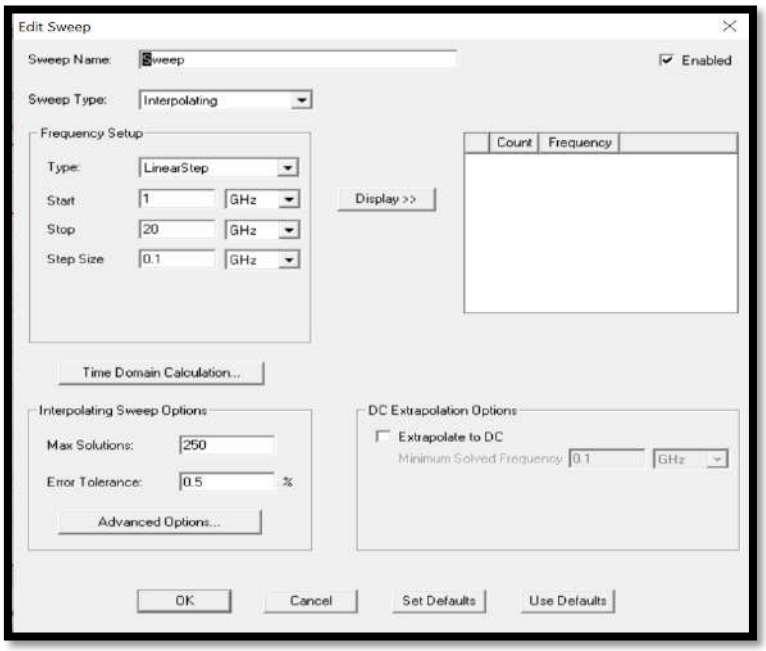


Figure II.31 : Représentation de la fréquence d'utilisation.

II.20.1 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep)

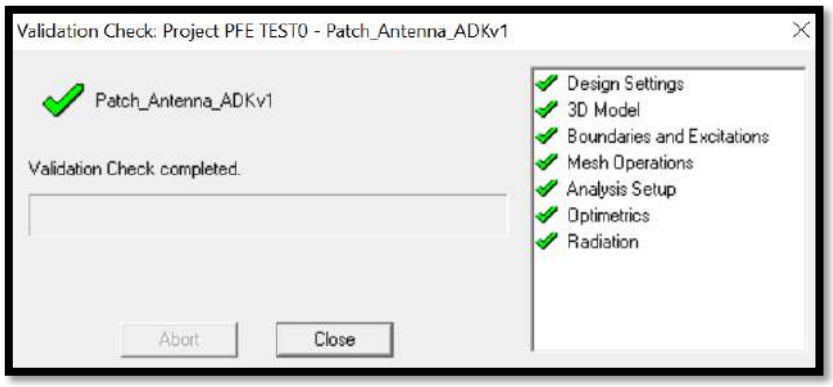
Pour ajouter un champ de fréquence, choisir (Add Sweep) dans le menu HFSS >Analysis Setup >Add Sweep. Choisir la solution pour installer : **Setup2**. Cliquer le bouton OK. La fenêtre du type de champ de fréquence s'active alors : Interpolating, Frequency Linear Step, **Start :** 1 GHz, **Stop :** 20 GHz, **Count :** 0.1. Clique **OK**.



II.21 analyse

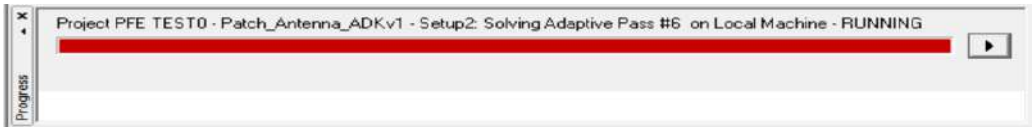
Pour valider le modèle :

- Choisir check dans le menu HFSS > validation> check
- Clique sur le bouton close.



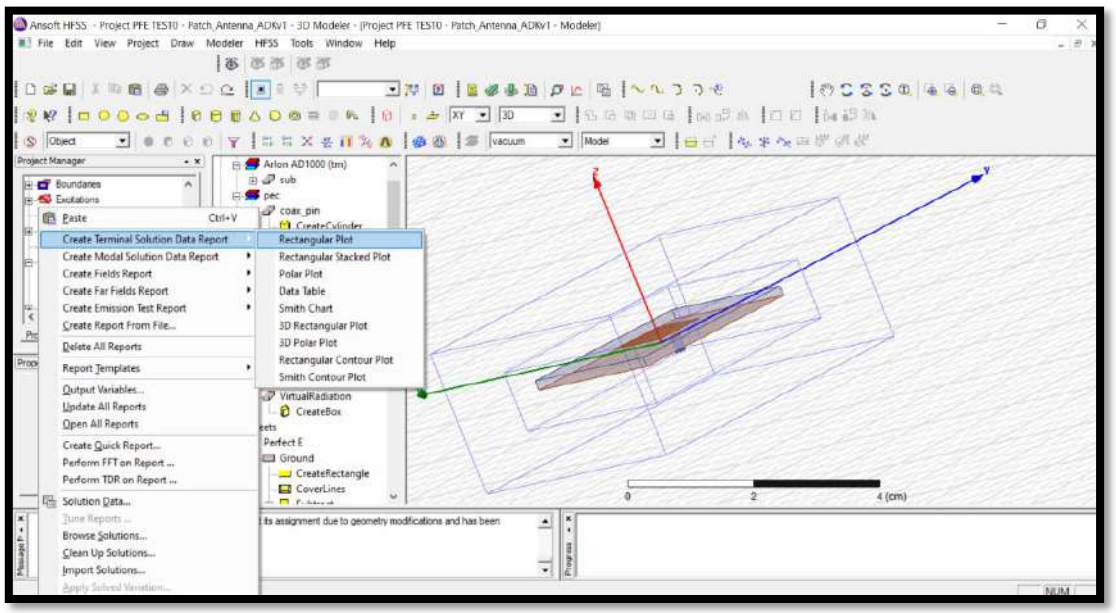
- Pour commencer le processeur de solution :

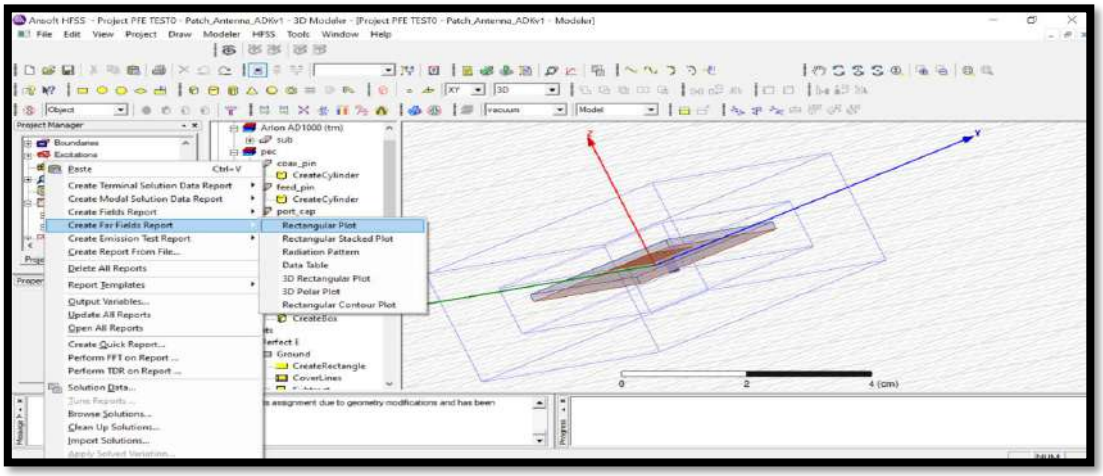
Choisir dans le menu HFSS > Analyse All

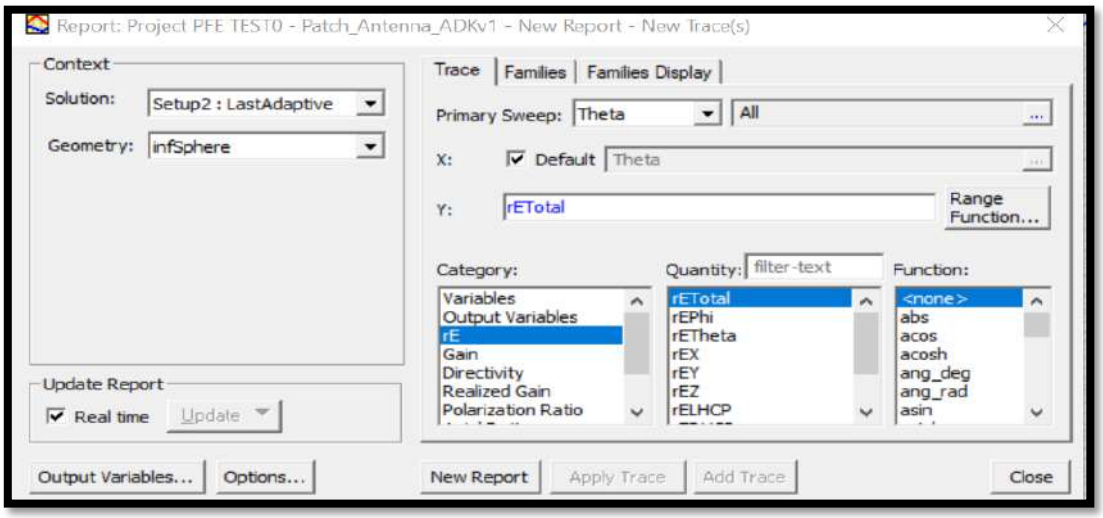


II.22 Créer les rapports

Après la simulation, pour créer le rapport de données de solution, il faut suivre les étapes Suivantes : HFSS > Résulte > Créâtes Rapport.







II.23 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions de bases sur les antennes patch. Nous avons définie l'antenne patch et nous avons parlé de leurs techniques d'alimentation, leurs avantages et inconvénients et ces domaines d'applications, ensuite nous avons présenté les caractéristiques de l'antenne telles que, la directivité, le gain, les coefficients de réflexion et le diagramme de rayonnement etc... , en suite nous avons présenté logiciel HFSS qui va nous utiliser dans le chapitre III qui est l'étude comparatif entre deux antennes patch rectangulaire (normale et inversé).

CHAPITRE III

Simulation et Comparaison des Caractéristiques Entre Deux D'antennes Patch Rectangulaires Normale et Inversée

III.I Introduction

La phase de conception d'une antenne, à l'aide d'un logiciel adapté est une étape incontournable dans un souci de gain de temps et d'optimisation de structure aux paramètres désirés. La conception permet également de prendre en compte les paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux bas coût choisis, qui ne sont pas parfaits, et de nous permet d'approcher des futures antennes réalisées. Pour cela, nous avons choisi l'outil de simulation électromagnétique HFSS.

Dans ce chapitre on va faire une comparaison entre deux antennes patch rectangulaire, la première est une antenne patch rectangulaire normale et l'autre est inversée. L'antenne proposée se compose d'un patch rectangulaire et un milieu diélectrique avec un plan de masse, ce patch est alimenté par un câble coaxial pour une fréquence de 10GHz. Afin de faire cette comparaison entre ces deux antennes, pour voir si on peut améliorer quelques caractéristiques qui présentent des inconvénients pour les antennes patch tell que la bande passante, sans perdre l'aspect faible poids et volume, on va proposer plusieurs valeurs pour le diélectrique (à savoir 4 valeurs de $\boldsymbol{\varepsilon_r}$) et voir pour laquelle l'amélioration est plus significatif.

III.2 Les paramètres spécifiques pour la conception d'une antenne patch

Les quatre paramètres essentiels pour la conception d'une antenne patch sont :

- Le gain.
- Le coefficient de réflexion ($\boldsymbol{S_{11}}$).
- Le diagramme de rayonnement et sa directivité.
- La bande passante.

III.3 Description de la conception à réaliser :

La conception à réaliser par le logiciel HFSS consiste à faire une antenne patch rectangulaire à la fréquence de résonance 10 GHz et une autre inverser, et après la simulation, on fait une comparaison entre les différentes caractéristiques déjà mentionnées pour voir s'il y a eu une amélioration ou non, ce travail est répète pour quatre valeurs deε_r. Les dimensions de cette antenne est donnée à la (Figure III.1).

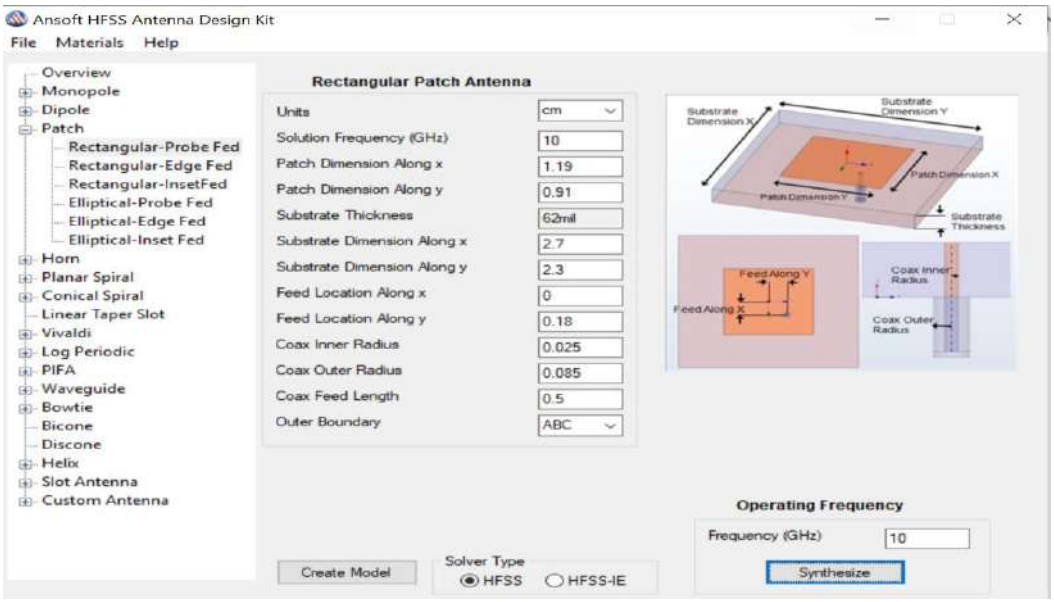


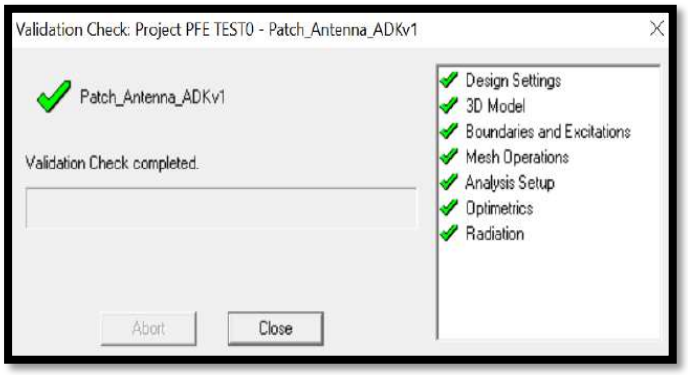
Figure III.1 : les dimensions d'antenne patch rectangulaire

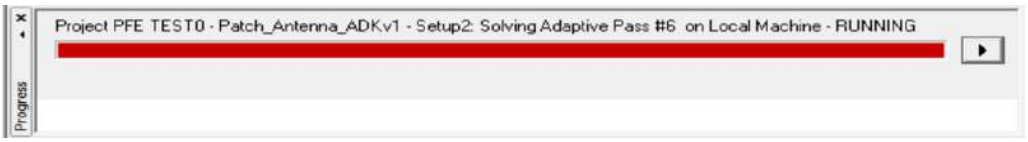
	x (cm)	y (cm)	
Patch	1.19	0.91	
	x (cm)	y (cm)	h (mil)
Substrat	2.7	2.3	62
	rayon intérieur (cm)	rayon extérieur (cm)	Longueur d'alimentation (cm)
Coaxiale	0.025	0.085	0.5

Tableau III.1 : dimensions d'antenne patch rectangulaire

III.4 La géométrie des deux antennes patch rectangulaire normale et inversé :

La géométrie de ces antennes est donnée sur la (**Figure III.2** et **III.3**).L'antenne normale (**Figure III.2**) est constituée d'un plan de masse avec un milieu diélectrique et un patch au-dessus de ce milieu alimenté par une sonde coaxiale. L'antenne patch inversé (**Figure III.3**) est constituée d'un plan de masse, une partie remplie d'air, un patch et à la fin un milieu diélectrique au-dessus de ce patch, alimenté toujours par une sonde coaxial.





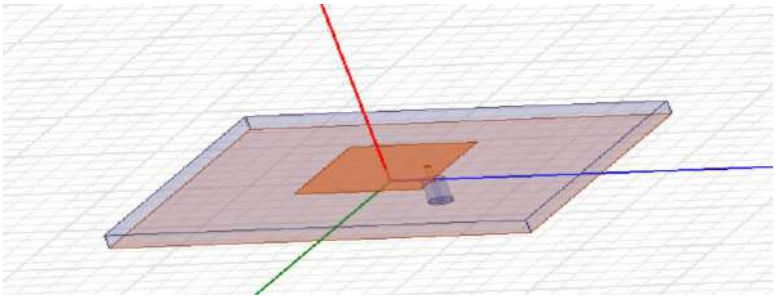


Figure III.2 : La géométrie d'antenne patch normale

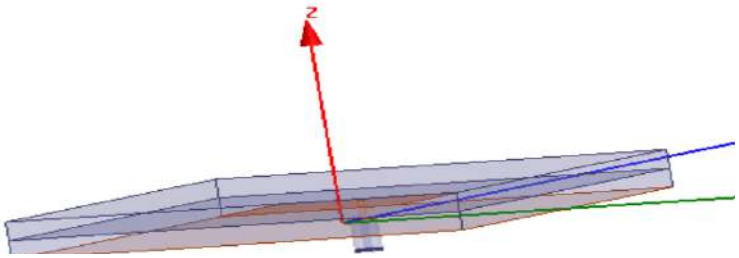


Figure III.3 : La géométrie de l'antenne patch rectangulaire

III.4.1 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : ε_r= 2.5

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : ε_r= 2.5

	air	substrat
Permittivité relative (ε_r)	**1.0006**	**2.5**

Tableau : les valeurs de permittivité relative de l'air et le substrat (**Arlon AD250A**)

- **Calcul du Gain** :

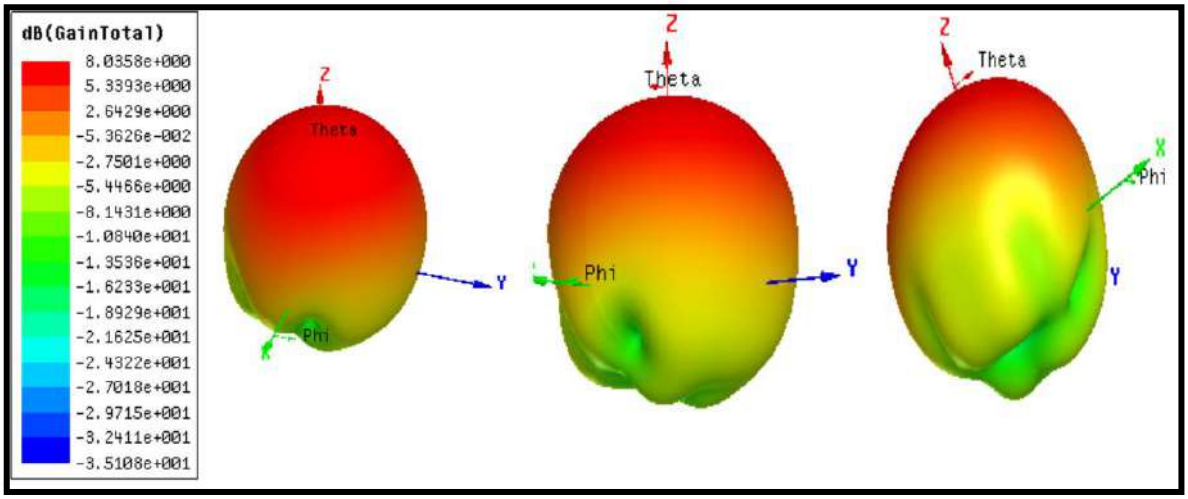


Figure III.4 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch normale en 3D pour ε_r= 2.5

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : ε_r= 2.5

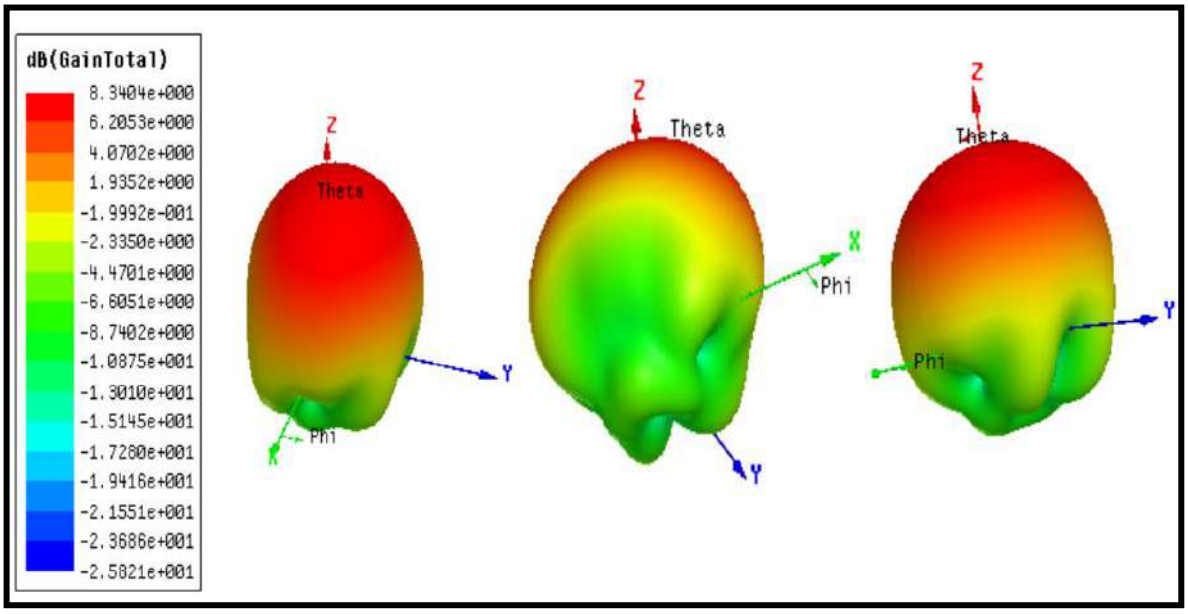


Figure III.5 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch inversé en 3D pour ε_r= 2.5

- **Calcul du coefficient de réflexion (S_{11})**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 2.5**

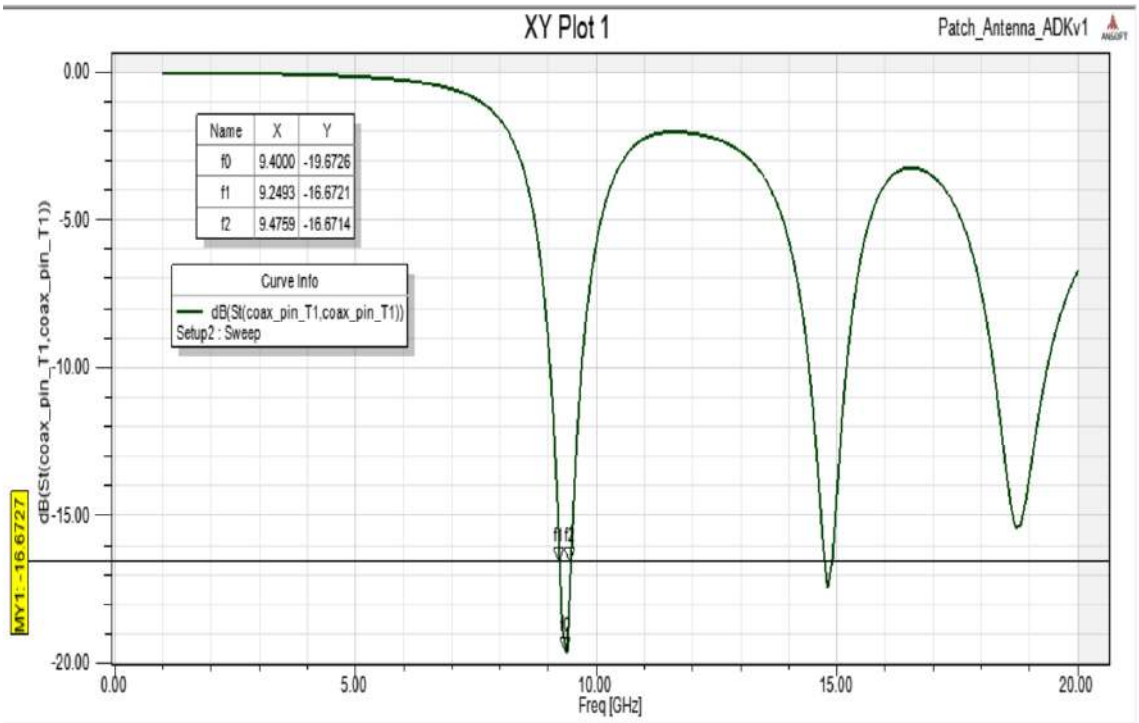


Figure III.6 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch normale pour ε_r= 2.5

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 2.5**

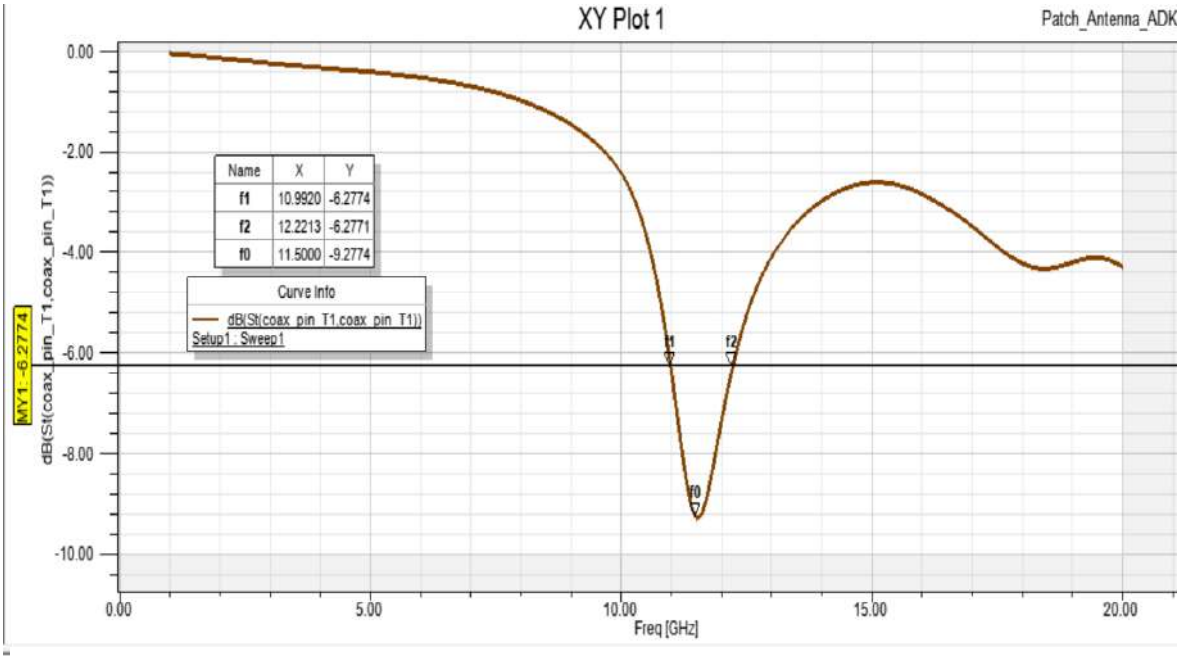


Figure III.7 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch inversé pour ε_r= 2.5

- **diagramme de rayonnement et sa directivité**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 2.5**

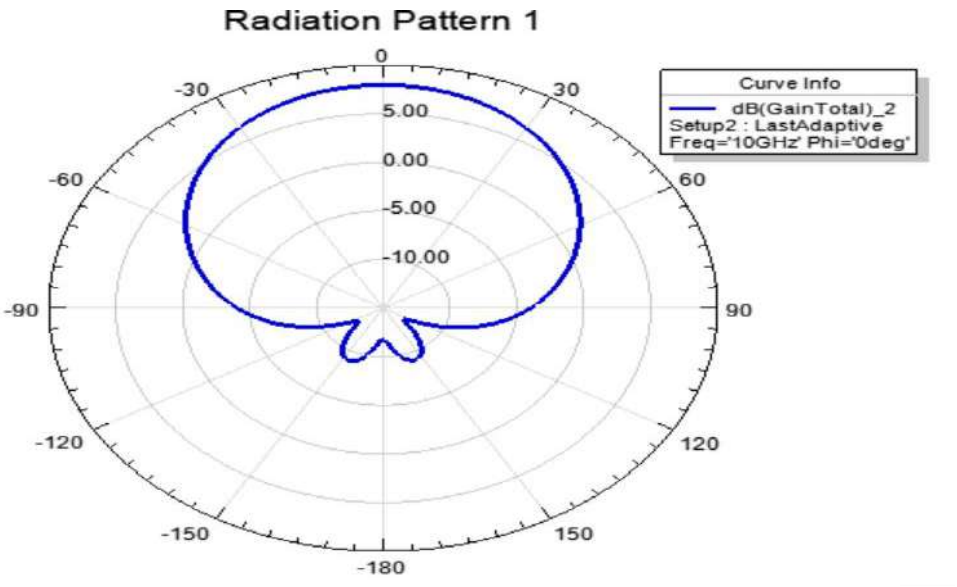


Figure III.8 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch normal pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 2.5

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 2.5**

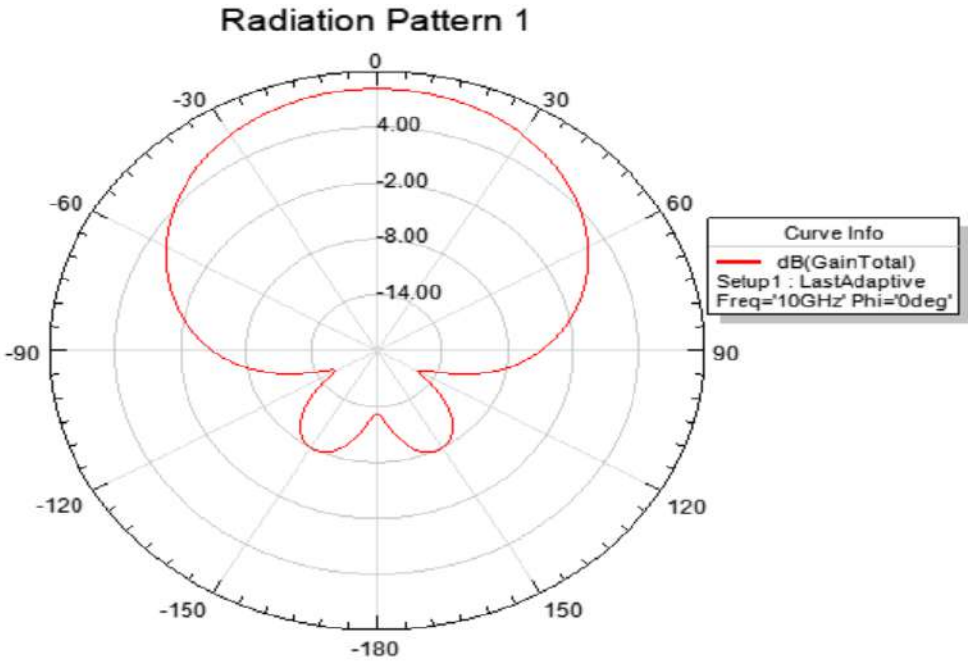


Figure III.9 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch inversé pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 2.5

- **Calcul de la bande passante**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 2.5**

La bande passante d'antenne patch normale :

$\boldsymbol{Bd}$ = (f2-f1) => 9.4759 – 9.2493 = 0.2266 GHz =266.6 MHz

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : **ε_r= 2.5**

La bande passante d'antenne patch inversé :

$\boldsymbol{Bd}$ = (f2-f1) => 12.2213 -10.9920 = 1.2293 GHz =1229.3 MHz

Remarque : on remarque que la bande passante a augmenté pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 266.6MHz vers 1229.3 MHz. Ce qui nous donne un avantage pour cette caractéristique très importante dans ce domaine de télécommunications.

Comparaison du gain : on remarque sur la figure du gain en 3D qu'il ya eu une très petite amélioration du gain pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale.

Comparaison de la directivité : la même chose, on remarque qu'il n ya pas une grande différence de coté directivité entre les deux antennes.

III.4.2 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : ε_r=3.75

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **isola Gigaver 210tm** » : ε_r=3.75

	air	substrat
Permittivité relative (ε_r)	**1.0006**	**3.75**

Tableau : les valeurs de permittivité relative de l'air et le substrat (**isola Gigaver 210 tm**)

- Calcul du Gain :

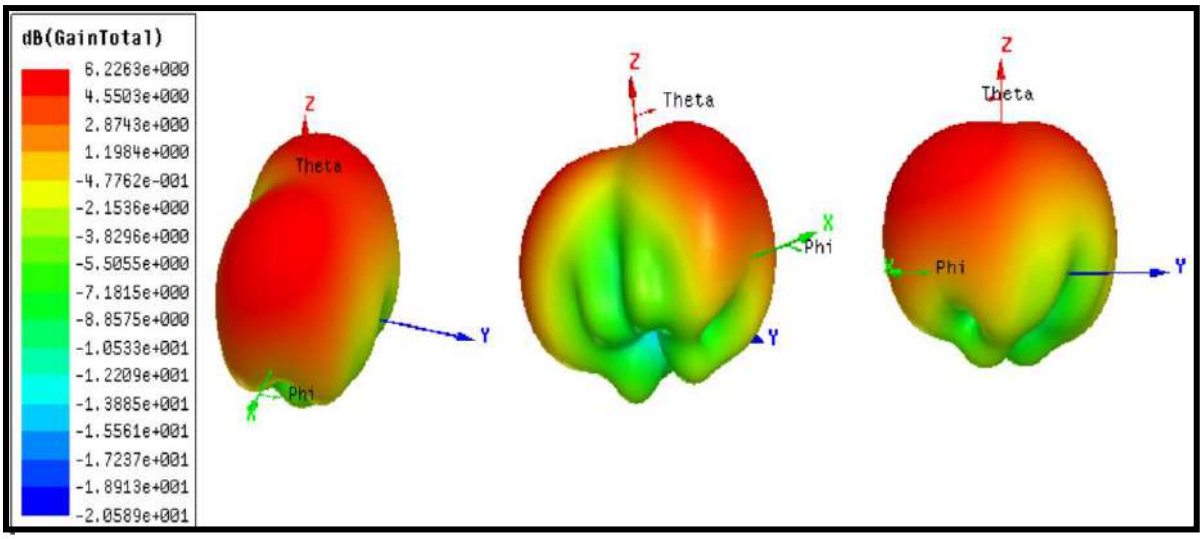


Figure III.10 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch normale en 3D pour ε_r= 3.75

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **isola Gigaver 210 tm** » : ε_r=3.75

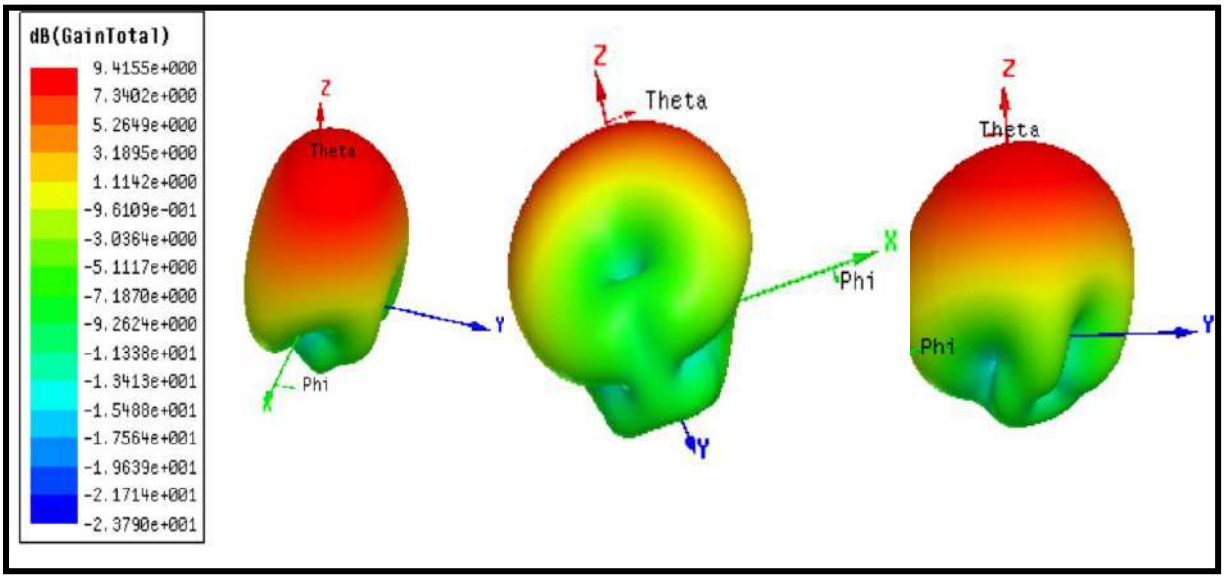


Figure III.11 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch inversé en 3D pour ε_r= 3.75

- **Calcul du coefficient de réflexion (S_{11})**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : **ε_r= 3.75**

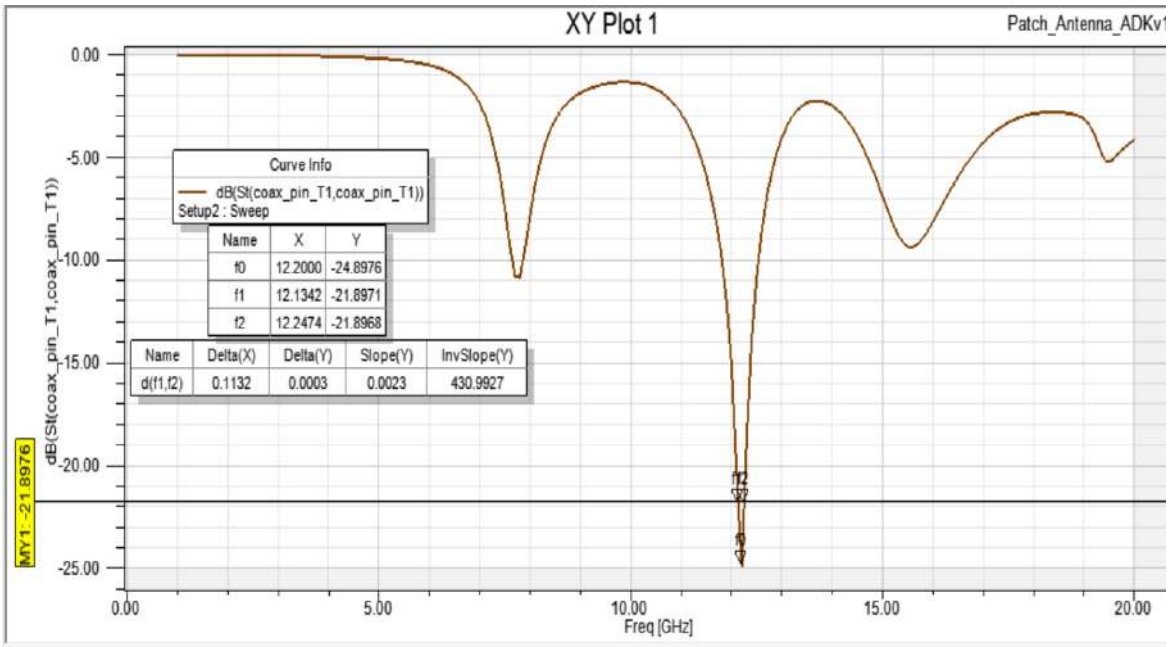


Figure III.12 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch normale pourε_r= 3.75

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » **: ε_r= 3.75**

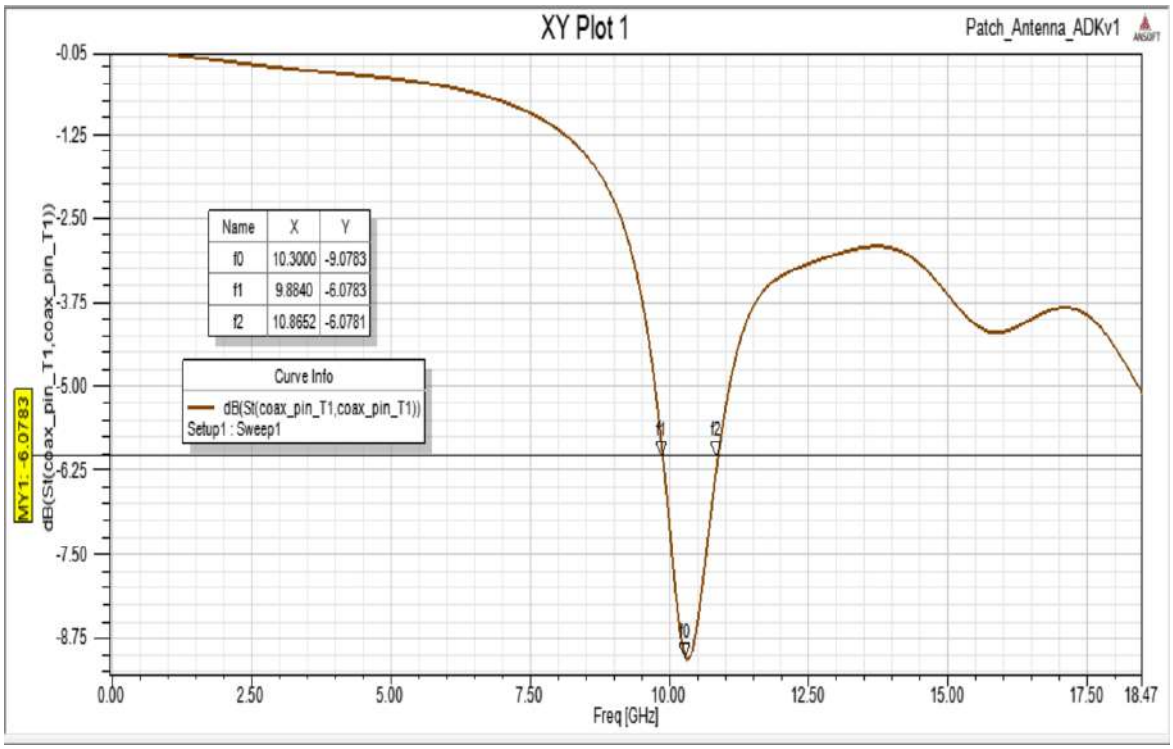


Figure III.13 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch inversé pour ε_r= 3.75

- **Le diagramme de rayonnement et sa directivité**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**= 3.75**

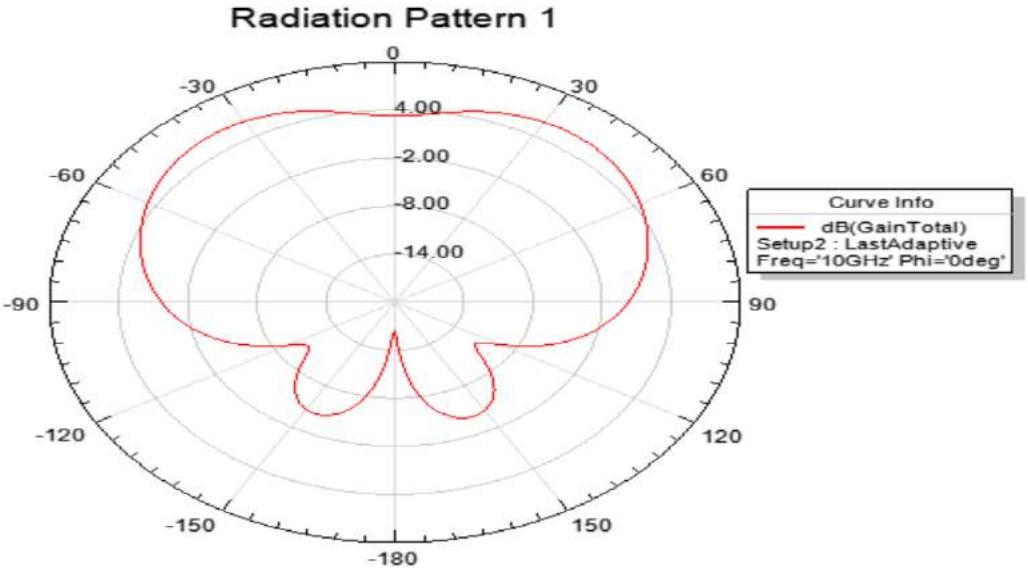


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch normal pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 3.75

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**= 3.75**

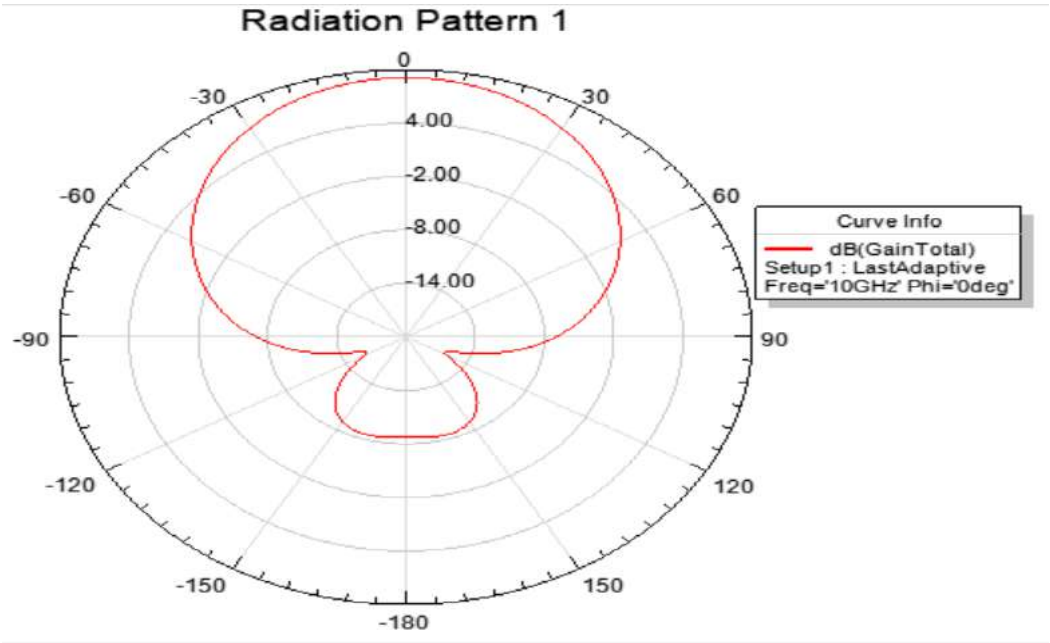


Figure III.15 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch inversé pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 3.75

- **Calcul de la bande passante**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique« **Arlon AD250A** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**= 3.75**

La bande passante d'antenne patch normal :

Bd= (f2-f1) => = 12.2474 – 12.1342 = 0.1132 GHz = 113.2 MHz

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Arlon AD250A** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**= 3.75**

La bande passante d'antenne patch inversé :

Bd = (f2-f1) =>= 10.8652 – 9.8840 = 0.9812 GHz = 981.2 MHz

Remarque : on remarque que la bande passante a augmenté pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 113.2MHz vers 981.2 MHz. Ce qui nous donne un avantage pour cette caractéristique très importante dans ce domaine de télécommunications

Comparaison du gain : on remarque sur la figure du gain en 3D qu'il ya eu une très importante amélioration du gain pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 6.22 vers 9.41.

Comparaison de la directivité : la même chose, on remarque que le faite d'inversée l'antenne, on va gagner de coté directivité et l'antenne sera plus directif.

III.4.3 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : ε_r=4.4

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : ε_r=4.4

	air	substrat
Permittivité relative (ε_r)	**1.0006**	**4.4**

Tableau : les valeurs de permittivité relative de l'air et le substrat (**FR4_epoxy**)

- **Calcul de Gain :**

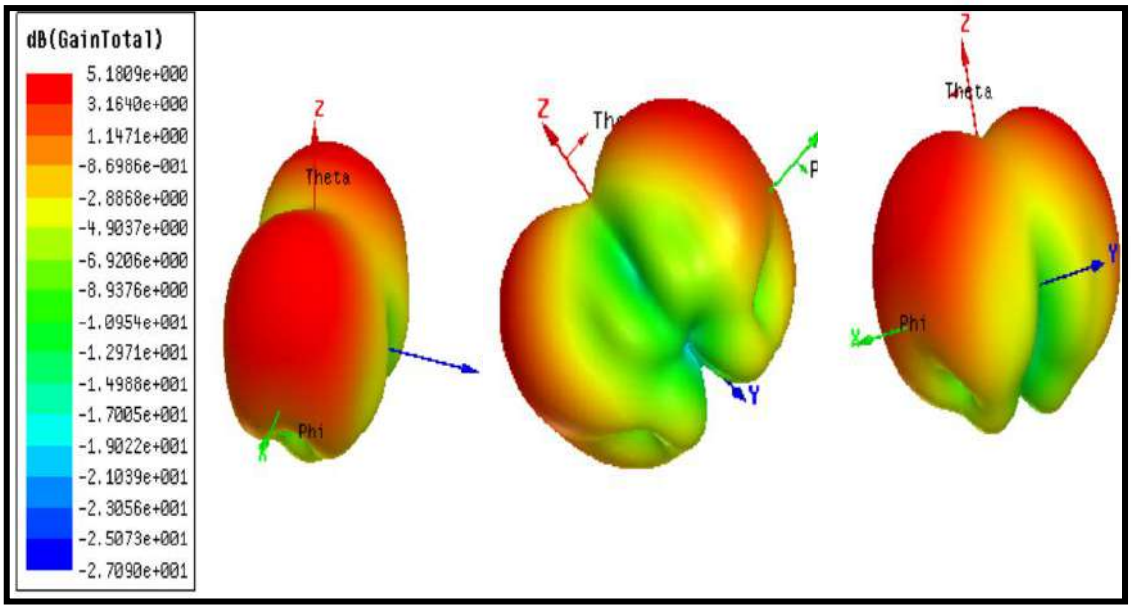


Figure III.16 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch normale en 3D pour ε_r= 4.4

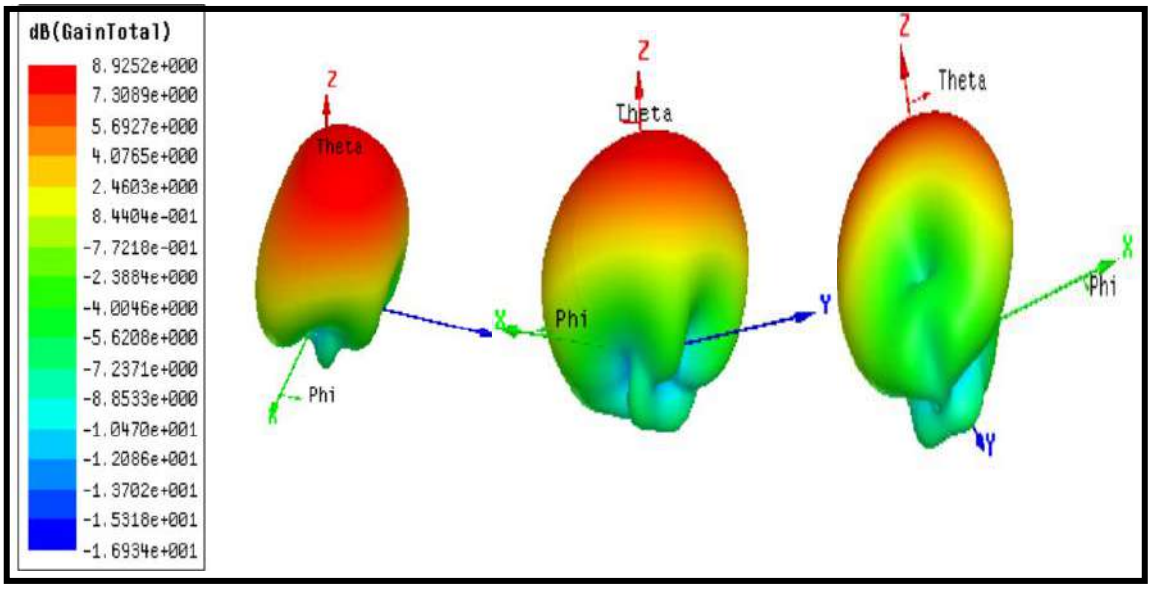


Figure III.17 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch inversé en 3D pour ε_r= 4.4

- **Calcul du coefficient de réflexion (S_{11})**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : ε_r=**4.4**

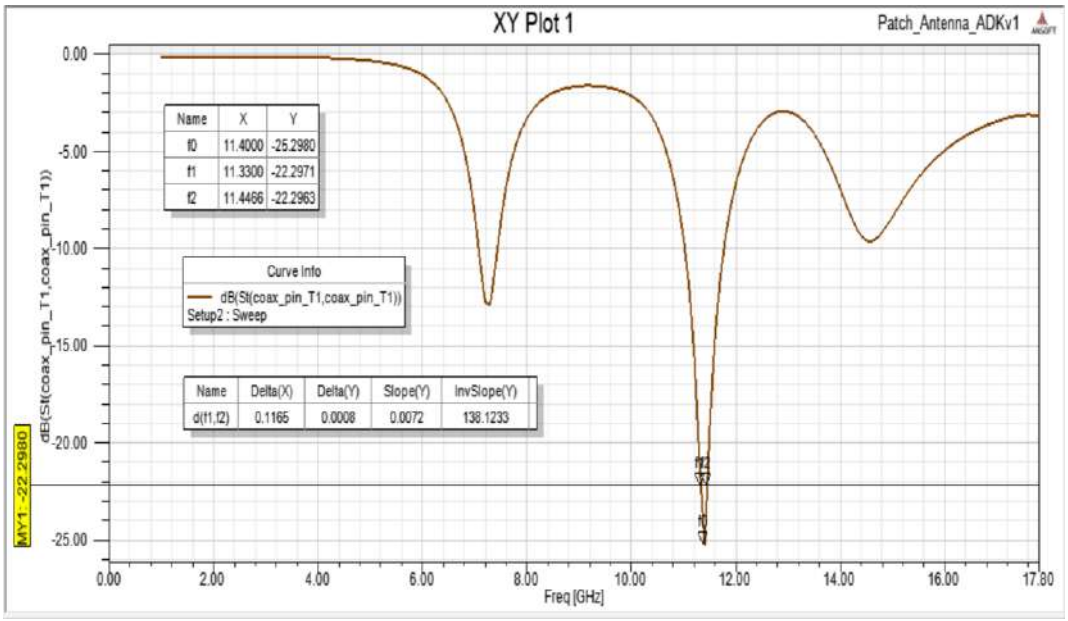


Figure III.18 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch normale pour ε_r= 4.4

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : ε_r=**4.4**

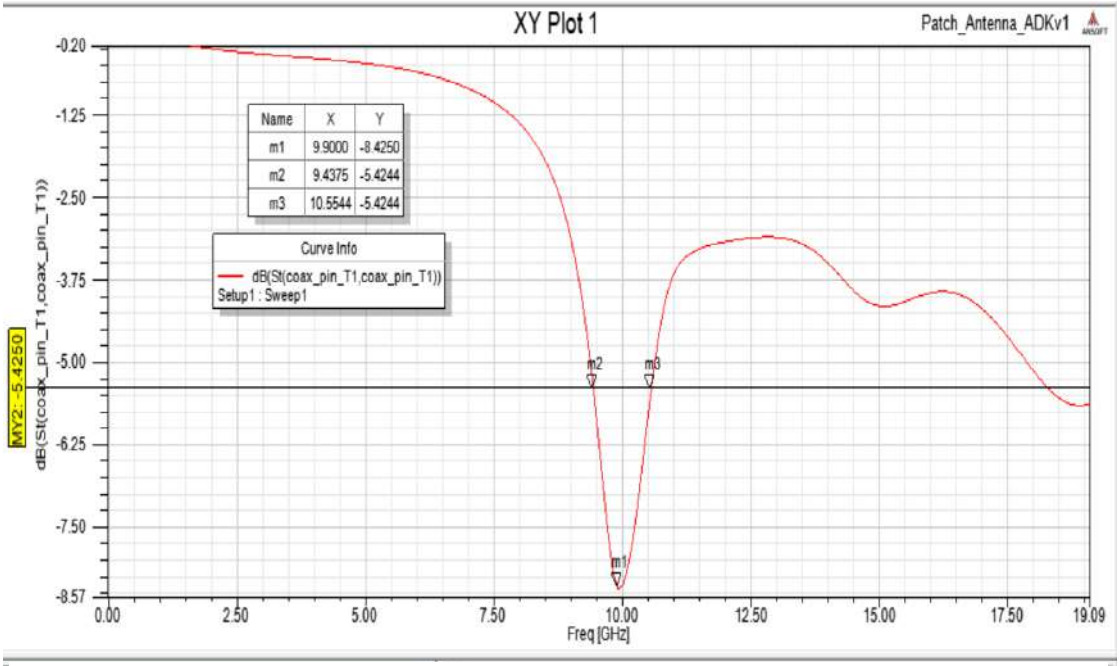


Figure III.19 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch inversé pour ε_r= 4.4

- **Le diagramme de rayonnement et sa directivité**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : ε_r**=4.4**

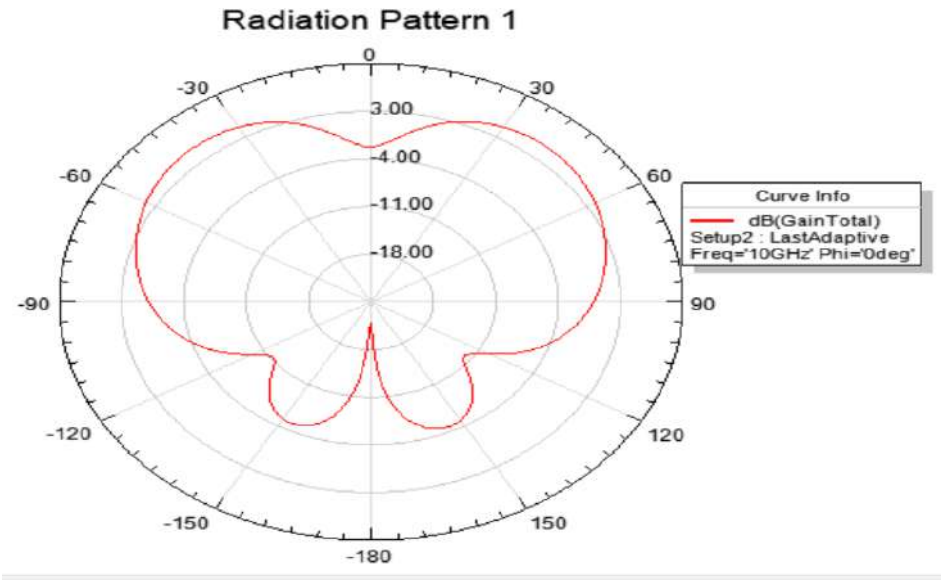


Figure III.20 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch normale pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 4.4

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : ε_r**=4.4**

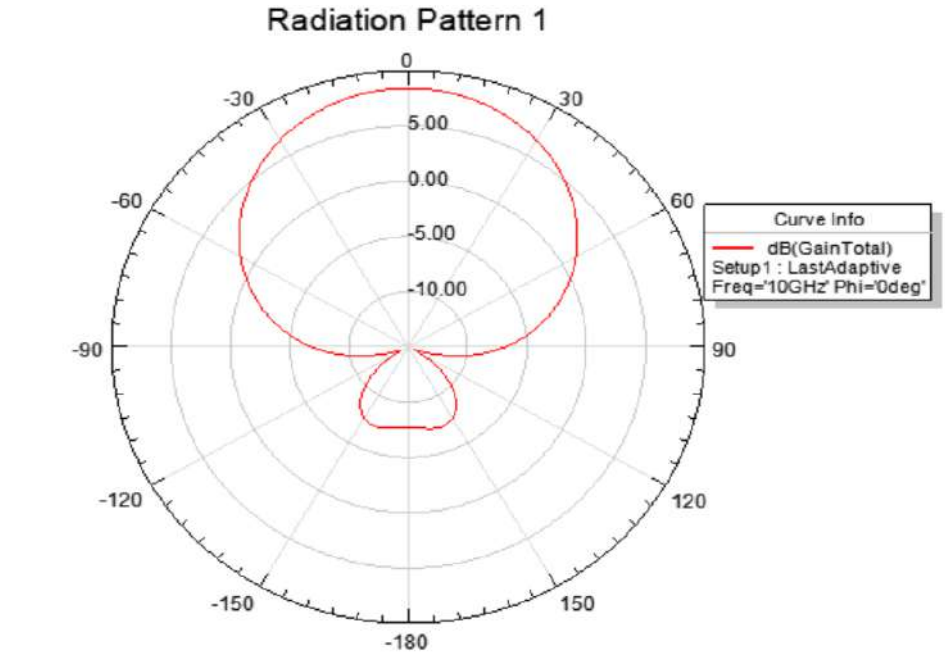


Figure III.21 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch inversé pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 4.4

- **Calcul de La bande passante**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=4.4**

- **La bande passante d'antenne patch normal :**

Bd = (f2-f1) => 11.4466 – 11.3300 = 0.1166 GHz = 116.6 MHz

- **La bande passante d'antenne patch inversé :**

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **FR4_epoxy** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=4.4**

Bd = (f2-f1) => 10.5544 – 9.4375 = 1.1169 GHz = 1116.9 MHz

Remarque : on remarque que la bande passante a augmenté pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 116.6MHz vers 1116.9 MHz. Ce qui nous donne un avantage pour cette caractéristique très importante dans ce domaine de télécommunications

Comparaison du gain : on remarque sur la figure du gain en 3D qu'il ya eu une très importante amélioration du gain pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 5.18 vers 8.92.

Comparaison de la directivité : la même chose, on remarque que le faite d'inversée l'antenne, on va gagner de coté directivité et l'antenne sera plus directif.

III.4.4 Résultats de simulation pour les deux antennes avec : ε_r=6.8

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Be_O** » : ε_r=6.8

	air	substrat
Permittivité relative (ε_r)	**1.0006**	**6.8**

Tableau : les valeurs de permittivité relative de l'air et le substrat (**Be_O**)

- **Calcul du Gain :**

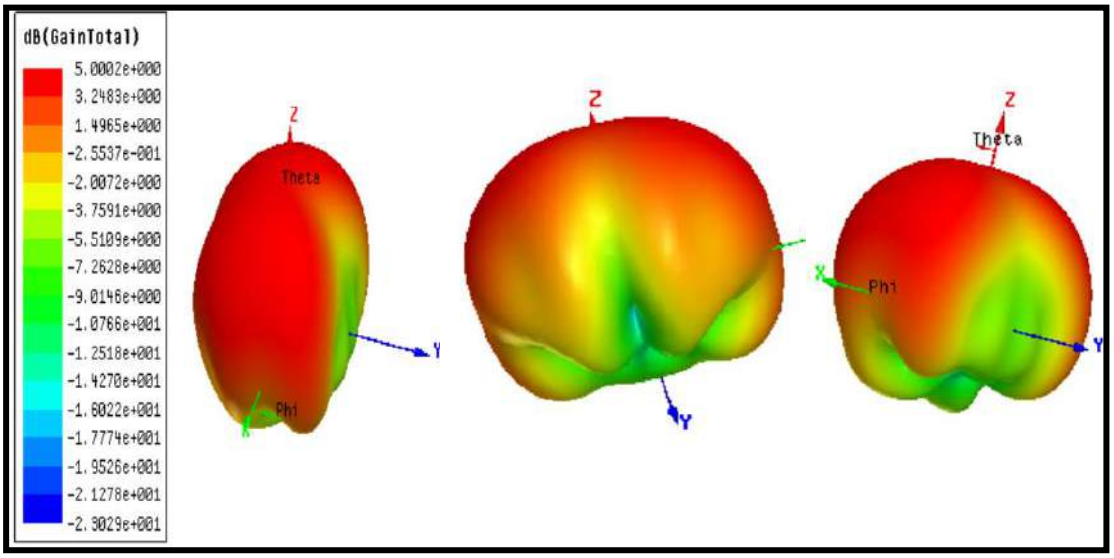


Figure III.22 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch normale en 3D pour ε_r= 6.8

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Be_O** » :ε_r=6.8

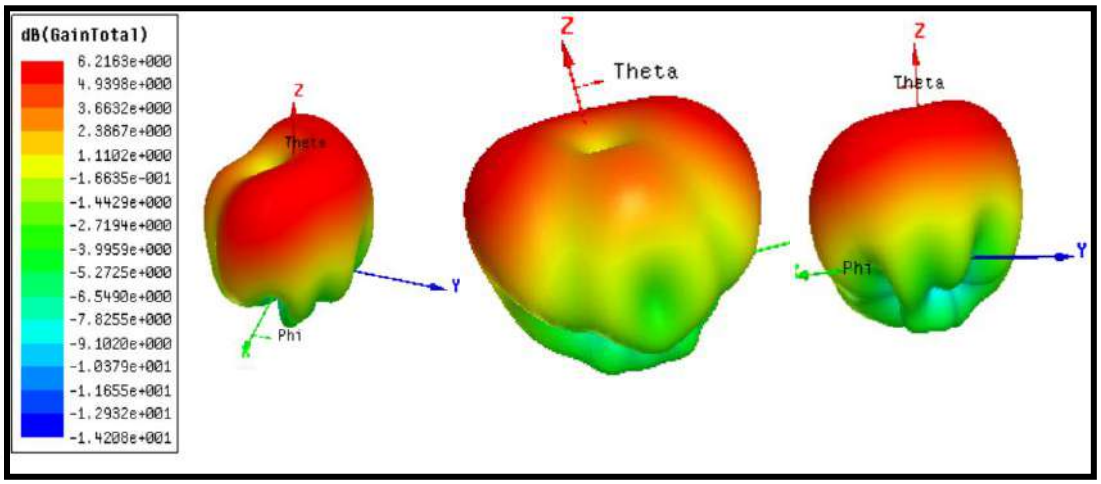


Figure III.23 : Le Diagramme De Gain cas d'antenne patch inversé en 3D pour ε_r= 6.8

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Be_O** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=6.8**

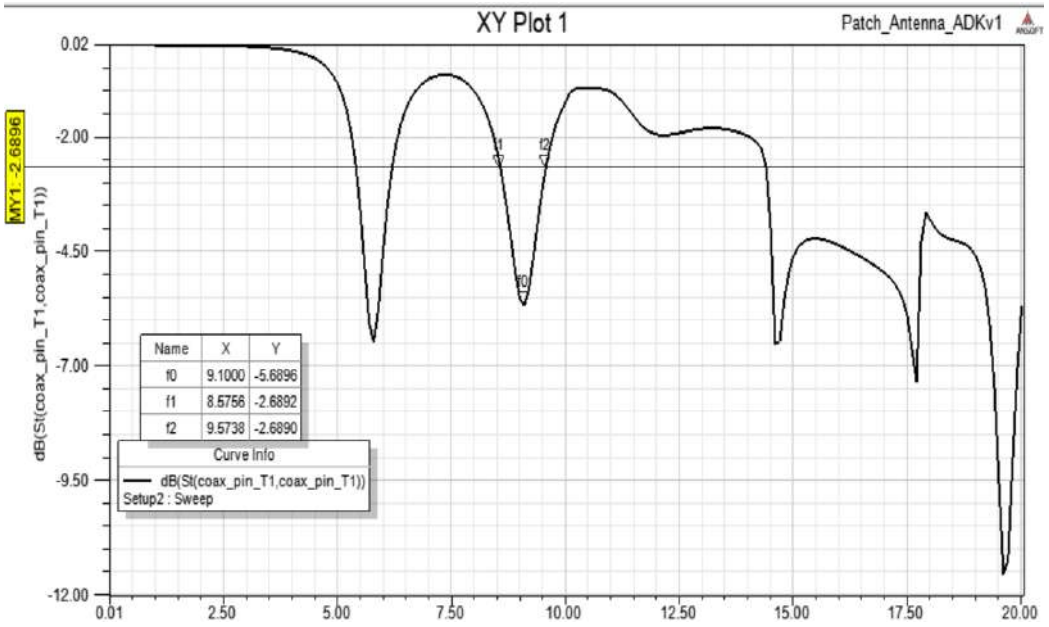


Figure III.24 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch normale pour ε_r= 6.8

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Be_O** » :$\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=6.8**

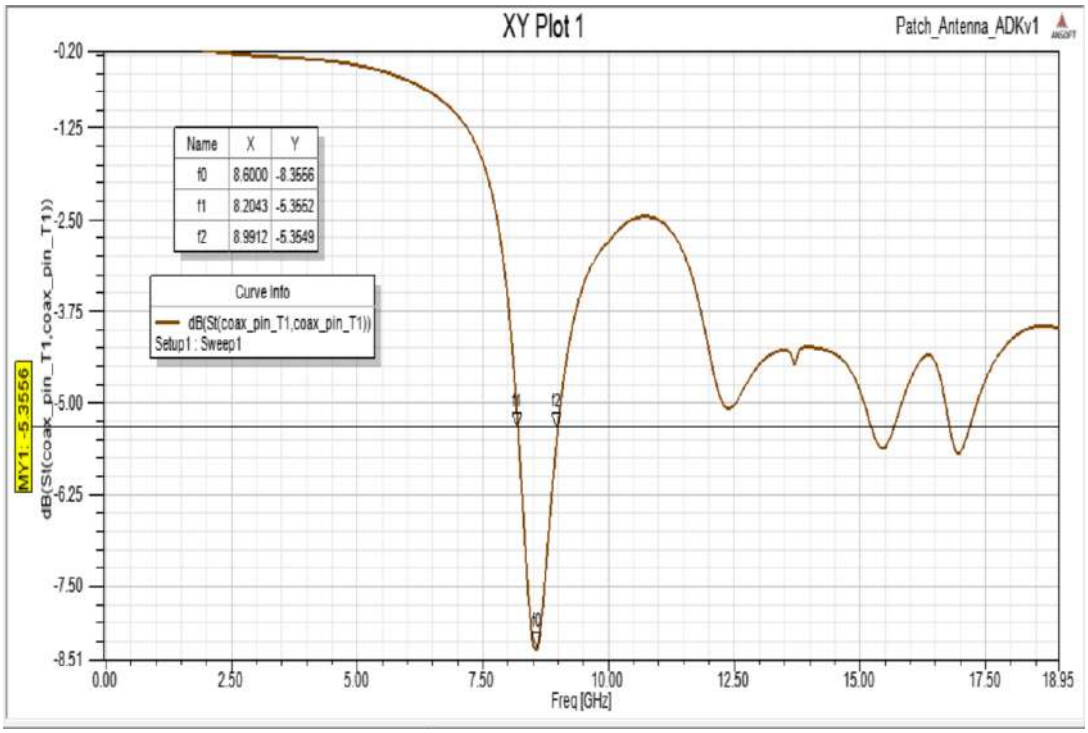


Figure III.25 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne patch inversé pour ε_r= 6.8

- **Le diagramme de rayonnement et sa directivité**

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Be_O** » **: ε_r=6.8**

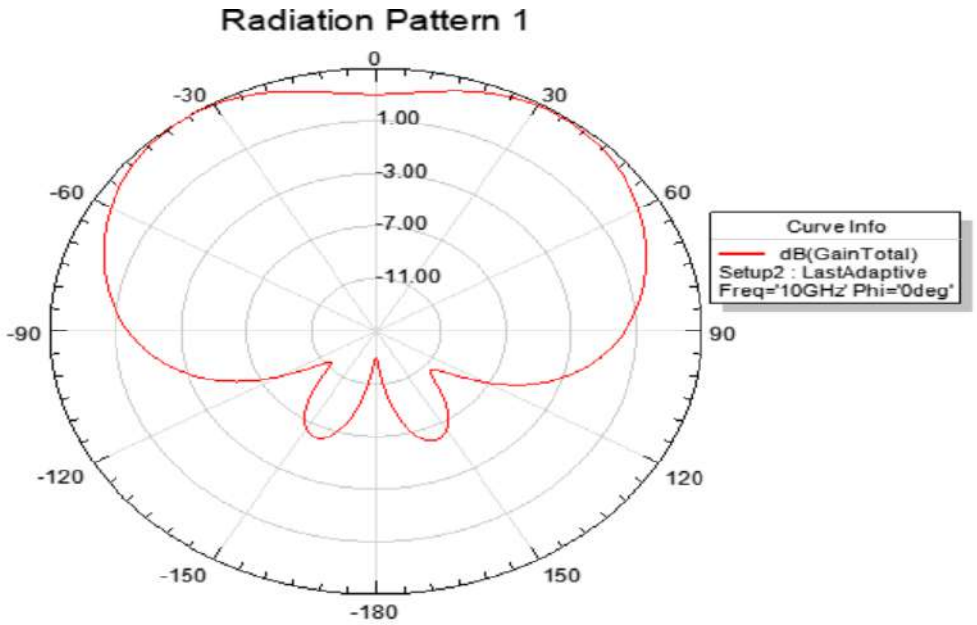


Figure III.26 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch normale pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 6.8

❖ Cas d'antenne inversé d'un milieu diélectrique « **Be_O** » :**ε_r=6.8**

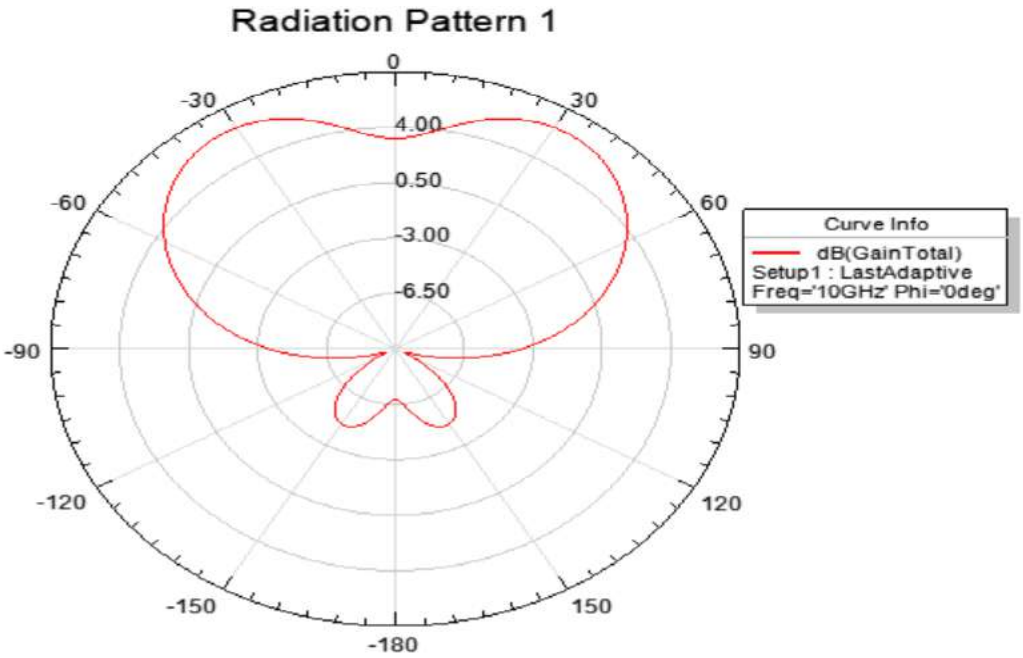


Figure III.27 : Diagramme de rayonnement pour antenne patch inversé pour phi = '' 0deg'' avec ε_r= 6.8

- **Calcul de La bande passante**

La bande passante d'antenne patch normale :

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Be_O** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=6.8**

Bd= (f2-f1) => =9.5738-8.5756= 0.9982 GHz= 998.2 MHz

La bande passante d'antenne patch inversé :

❖ Cas d'antenne normale d'un milieu diélectrique « **Be_O** » : $\boldsymbol{\varepsilon_r}$**=6.8**

Bd= (f2-f1) => = 8.9912 – 8.2043 = 0.7869 GHz = 786.9 MHz

Remarque : Dans ce cas, et pour une même gamme de fréquence, on remarque que la bande passante a légèrement diminué pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 998.2MHz vers 786.9 MHz. Ce qui nous indique que pour la permittivité un peut élevée on ne va pas améliorer la bande passante si on fait inverser notre antenne patch rectangulaire.

Comparaison du gain : on remarque sur la figure du gain en 3D qu'il ya eu une petite amélioration du gain pour l'antenne inversée par rapport à l'antenne normale, à savoir de 5 vers 6.2.

Comparaison de la directivité : la même chose, on remarque qu'il n ya pas une grande différence de coté directivité entre les deux antennes.

III.4.2 Récapitulation des résultats et conclusion générale du chapitre 3

- **Gain :**

	Antenne patch rectangulaire normale	Antenne patch rectangulaire inversé
Gain pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=2.5	8,0358 dB	8.3401 dB
Gain pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=3.75	6.2263 dB	9.4155 dB
Gain pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=4.4	5.1809 dB	8.9252 dB
Gain pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=6.8	5.0002 dB	6.2163 dB

Tableau III.1 : Comparaison de gain pour les deux antennes pour ε_r=2.5,ε_r=3.75, ε_r=4.4,ε_r=6.8

- **La bande passante Bd :**

	Antenne patch rectangulaire normale	Antenne patch rectangulaire inversé
La bande passante pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=2.5	226.6 MHz	1229.3 MHz
La bande passante $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=3.75	113.2MHz	981.2 MHz
La bande passante pour $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=4.4	116.6 MHz	1116.9 MHz
La bande passante pour$\boldsymbol{\varepsilon_r}$=6.8	998.2 MHz	786.9MHz

Tableau III.2 : Comparaison de la bande passante pour les deux antennes pour$\boldsymbol{\varepsilon_r}$=2.5,$\boldsymbol{\varepsilon_r}$=3.75, $\boldsymbol{\varepsilon_r}$=4.4,$\boldsymbol{\varepsilon_r}$=6.8

III.5 conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une simulation des deux antennes patch rectangulaire « normale » et « inversé » on utilisant le simulateur électromagnétique HFSS et on a fait une comparaison entre leur caractéristique pour les différents valeurs de la permittivité relative $\boldsymbol{\varepsilon_r}$, après, nous avons présenté les résultats de simulation suivis par des commentaires et des discussions. On peut conclure :

- Pour une même gamme de fréquence, l'antenne patch inversé a une bande de fréquence plus large par rapport a l'antenne patch normale.
- Le gain de l'antenne patch inversé est plus élevé par rapport à l'antenne patch normale.
- De point de vu directivité, l'antenne patch rectangulaire inversé est en générale plus directif par rapport à l'antenne patch rectangulaire normale.



Conclusion Générale



Conclusion Générale

L'organisation de notre travail nous a permis de bien assimiler l'ensemble des connaissances collectées dans le domaine des antennes. Nous avons dans un premier chapitre présenté l'essentiel de la théorie des antennes, en étudiant quelques éléments fondamentaux caractérisant l'antenne en générale. Ainsi que leurs types.

Et pour le deuxième chapitre nous avons eu une vue d'ensemble des différents types d'antennes rencontrés dans les applications actuelles telle que l'antenne patch qui est au cœur du développement actuel. On a consacré tout un chapitre pour définir sa structure et ses caractéristiques, les méthodes d'alimentations, ses avantages…etc. Elle s'intègre facilement à toutes les surfaces par rapport à sa taille réduite et plane, elle présente un faible coût de fabrication.

Dans n'importe quel domaine d'étude où on est amené à la conception il y'a des paramètres qui interviennent, et qui peuvent êtres des handicapes tel que les contraintes financières, alors on fait appel à la simulation.

Le rôle des outils de simulation numérique et leurs utilité dans la conception vu, qu'ils facilitent la procédure .Nous avons opté pour un logiciel de simulation des antennes qui est le HFSS (High Frequency Structure Simulation) que nous avons présenté dans ce chapitre où on a décrit ses outils, ses différentes fonctionnalités, et les procédures à suivre pour obtenir des résultats.

Enfin dans une troisième partie, nous avons effectué une étude comparatif entre deux antennes patch rectangulaire l'une de ces antennes est normale et la deuxièmes est inversé. La conception des deux formes d'antennes vise à comparer leurs caractéristiques à une fréquence de résonnance de l'ordre de **10 GHz** en variant dans la permittivité relative de milieu diélectrique.

Les résultats obtenus par la simulation, montrent bien que l'antenne patch rectangulaire inversé présente une grande amélioration pour la bande passante et Gain, ainsi que pour la directivité, et c'est pour les permittivités moyennes (inferieure à 6), pour une permittivité plus grande ,à savoir 6.8, on a remarqué que la bande passante a légèrement diminué pour la même gamme de fréquence, et qu'il ya une petite amélioration pour le gain et la directivité. à une bande de fréquence très large, plus directive, meilleure gain par rapport l'antenne patch normale.

On peut dire qu'on peut largement bénéficier de cette étude pour amélioré les caractéristiques des antennes, sans perdre leurs essentielle avantages comme le poids, le

Volume, et sans ajout de matériaux, rien avec une inversion de l'existant.

Comme perspective, on peut faire une étude de cette antenne(vu que le substrat dans ce cas d'antenne inversée est dans le plan supérieure) pour faire l'utiliser dans les analyses des produit laitier, alimentaire, ou autre produit, en introduisant le produit comme substrat diélectrique du plan supérieur, et les comparant avec des résultats de produits références déjà testé auparavant sur cette antenne.

On peut aussi, comme perspective et travail de future; faire une étude sur les réseaux d'antennes MIMO et leurs applications sur la 5G du réseau mobile, en profitant de l'amélioration qu'on a constaté pour les antennes inversés.

Bibliographie

[1] Mlle ATTI Bakouche et Mlle MEKAOUCHE Magdouda<< L'effet des caractéristiques de l'antenne patch sur sa directivité>>, Mémoire de Fin d'étude, Université A. Mira de Bejaia promo 2013.

[2] livre les antennes (Odile Picon et coll).

[3]Mr. NOUMARI Ali et Mr. ALLOTI Hocine <<Etude des caractéristiques d'une antenne patch avec une couche supplémentaire>> Mémoire, Université yahia fares de Médéa.

[4] BOYER Alexandre « Antennes »Support de cours de 5eme année réseau et Télécom, promo octobre 2011

[5]Mlle OUALLI Lamia<<Simulations des antennes sous HFSS (High Frequency Structure Simulator)>>Mémoire, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU promo 2012.

[6]ENABADJI Selma & LALLAM Chafika « Conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour l'utilisation dans les terminaux mobiles», mémoire de fin d'études pour l'obtention de Master en télécommunication, Université aboubekrbelkaid Tlemcen, promo 2012.

[7]Mlle.Melihi Souhila et Mlle. Fengal Tine-hinane<< Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation>> Mémoire defin d'études, Université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia, promo2016.

[8] MAALOUL Elhadi et HAMADOU Akram<< Etude et Simulation d'une Antenne Micro-ruban Ultra Large Bande>>Mémoire MASTER ACADEMIQUE, Université Kasdi Merbah Ouargla, promo2017.

[9]Mr. DEGHFEL Walid et Mr. MERZOUGUI Rami<< Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée>>, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA, promo 2016.

[10]Mr. Mohamed mansouri et Mr. El haithem ezzeroug<<Conception et simulation d'une antenne patch ultra large bande [1-8GHz] >> Mémoire, l'institut d'aéronautique et des études spatiales, promo 2018.

[11]Daouia BELGUELLAOUI<<Analyse et conception des antennes micro rubans alimentées par guide d'onde coplanaire>>Mémoire, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, promo 2016.