Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche
Scientifique Université Docteur Yahia Farès

FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE



MÉMOIRE FIN CYCLE

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Télécommunications

Thème :

Simulation et conception d'une antenne micro ruban 2.4 Ghz

Proposé par :
- **Mr.SOUMALI Chaabane**

Réalisé par :
- **Melle. KHALFI Feriel**
- **Melle. AZZI Rania**

16 septembre 2020

Remerciement

Ce travail n'aurait pu voir le jour sans les connaissances acquises tout au long de nos cursus universitaire à l'université de MEDEA et sans l'assistance de tous mes professeurs durant ces cinq ans.

Que tous trouvent ici le témoignage de notre profonde gratitude .

nous tenons à remercie particulièrement pour leur soutien constant et leur aide efficace notre encadreur Mr SOUMALI Chaabane .

Dédicace

Après le remerciement d'ALLAH à sa bénédiction qui m'accompagne tout ma vie scolaire ,je remercie mon mec Ahmed qui ma vraiment aider ma chére mère, mon père, mon oncle M'BARAK ma sœur FATIHA qui ma soutenu et encouragé beaucoup et aussi ma belle mère ,mes frères et mes sœurs , sans oublier mon bébé LINA qu'été toujours avec moi et ma binom AZZI RANIA.

Avec l'aide de Dieu le tout puissant qui m'a éclairé les chemins du savoir, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie à :
- Ma raison de vivre et raison de tout succès dans ma vie, à ma très chère mère FATIHA , Dieu la bénisse.
- Mon cher Papa HALIM, qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude pour son amour, son encouragement et son soutien tout au long de mes études, Dieu la protège.
- Mes sentiments d'amour qui m'ont toujours encouragée mes chers soeurs et frères .
-Ma binome KHELFI FERIEL.
-Mes Symboles du courage, mes chères copines : OUARDA et HADJER .
- Mon mari kamel que dieu te garde et te protège .

Liste des abréviation

- HFSS :High Frequency Structure Simulator.
- 3D : trois Dimension.
- FEM :méthode des éléments finis.
- FR4 :Flame resistant4.

Table des matières

Liste des tableaux **I**

Remerciment **II**

Dédicace **III**

Liste des abréviation **IV**

Table des matiéres **VI**

Table des figures **IX**

Introduction generale **1**

1 Introduction aux antennes **2**
1.1 Introduction 2
1.2 Définition 2
1.3 Types d'antennes 2
1.3.1 Antenne dipolaire 2
1.3.2 Antenne cornet 3
1.3.3 Antenne à réflecteur parabolique 4
1.3.4 Antennes plaquées 4
1.3.5 Antennes actives 6
1.4 Caractéristiques des antennes 6
1.4.1 Diagramme de rayonnement 6
1.4.2 Directivité 9
1.4.3 Gain d'une antenne 9
1.4.4 Facteur d'antenne 10
1.4.5 Polarisation d'une onde 10
1.4.6 Impédance d'une antenne 12
1.4.7 Alimentation 13
1.4.8 Largeur de bande 16

1.4.9 Température de bruit d'une antenne 17

2 Généralité sur les antennes imprimée 18
2.1 Introduction 18
2.2 Définition de l'antenne imprimée 18
2.3 Les avantages et les inconvénients de l'antenne patch 19
2.3.1 Les avantages 19
2.3.2 Les inconvénients 19
2.4 Structure d'une antenne imprimée 19
2.4.1 Éléments rayonnants : 20
2.4.2 Alimentation des éléments rayonnants 21

3 Modélisation et simulation (par HFSS) d'une antenne patch 28
3.1 Introduction 28
3.2 Description du logiciel HFSS 28
3.2.1 Un projet en HFSS 29
3.2.2 Comment commencer HFSS 30
3.2.3 Comment ouvrir un nouveau projet 31
3.2.4 Sauvegarder le projet 31
3.2.5 Insérer une conception de HFSS 31
3.2.6 Les Etapes pour crée un antenne patch microstrube 31

4 Méthodes de modélisation des antenne imprimées 43
4.1 Introduction 43
4.2 Modèle de ligne de transmission 43
4.3 Le modèle de la cavité 49
4.3.1 Le champ rayonné 52
4.3.2 Rayonnement des courants électriques (ε= 1) : 52
4.4 Comparaisons entre les deux modèles de modélisation : 57
4.5 Étude théorique :calcul des dimensions de l'antenne 58
4.6 Simulation et résultats 60

Bibliographie 64

Résumé 65

Table des figures

1.1 Antenne dipolaire 3
1.2 Antenne cornet 4
1.3 Antenne à réflecteur parabolique 5
1.4 Antenne plaquée 5
1.5 Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique. . 6
1.6 Exemple de diagramme de rayonnement 3D en valeurs logarithmiques 7
1.7 Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB. 8
1.8 Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB. . . . 8
1.9 a) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaires, en fonction de u, en dB. b) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H en coordonnées polaires, en fonction de u, en dB. 8
1.10 Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement. 11
1.11 Référentiel du champ électrique 11
1.12 Schéma électrique d'une antenne en présence du générateur. 13
1.13 Alimentation d'une antenne plaquée rectangulaire par coaxial . . . 14
1.14 Alimentation par ligne micro ruban. 14
1.15 Encoches d'adaptation. 15
1.16 Alimentation pour un rayonnement à polarisation circulaire. 15
1.17 Alimentation par fente. 16

2.1 Structure d'une antenne rectangulaire 19
2.2 Divers types d'éléments rayonnants. 21
2.3 Présentation d'une antenne patch a élément rectangulaire 21
2.4 Alimentation par ligne Micro ruban 22
2.5 Alimentation par une ligne microbande : a. axiale, b. décalée, c. axiale avec encoche. 22
2.6 Le patch alimenté par ligne micro ruban à travers un bord rayonnant 23
2.7 Le patch alimenté par ligne micro ruban à travers un bord non rayonnant 23
2.8 Le patch couplé capacitivement à ligne micro ruban 24

2.9 Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale 24
2.10 Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande à travers une fente dans le plan de masse. 25
2.11 Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande 26
2.12 Alimentation par guide d'ondes coplanaires 26
2.13 Alimentation par fibre optique 27

3.1 La fenêtre principale du logiciel HFSS 30
3.2 Logiciel hfss 30
3.3 Fenêtre de HFSS 31
3.4 Les positions et des dimensions de substrat 32
3.5 Comment choisir le nom et la matière de substrat 32
3.6 Substrat diélectrique 32
3.7 Dimension de plan de masse 33
3.8 Plan de masse 33
3.9 34
3.10 Dimension de patch 34
3.11 la ligne micro ruban d'alimentation (feed line) 34
3.12 L'intersection entre le patch et ligne d'alimentation 35
3.13 Le port (lumed port) 35
3.14 Le port dans de plan 36
3.15 Le port dans le ligne d'alimentation 36
3.16 36
3.17 Le boiter d'air 37
3.18 Assignement de radiation pour le patch et la ligne d'alimentation . 37
3.19 Assignement de radiation pour l'air 38
3.20 38
3.21 38
3.22 39
3.23 39
3.24 39
3.25 Création des rapports 40
3.26 40
3.27 Parametre S(11) 40
3.28 41
3.29 Le gain en 3D 41
3.30 41
3.31 La directivité 42

4.1 Ligne micro ruban et ses lignes de champ électrique, et géométrie constante diélectrique efficace. 44

4.2 Constante diélectrique efficace en fonction de la fréquence pour des substrats typiques 44
4.3 Longueurs physiques et efficaces du patch micro ruban rectangulaire. 45
4.4 Patch microruban rectangulaire et son modèle de ligne de transmission de circuit équivalent 47
4.5 Conductance des fentes en fonction de la largeur des fentes 48
4.6 Patch rectangulaire assimilé à une cavité de murs électrique et magnétique 49
4.7 Représentation de la cavité dans un repère (O , x, y, z) 50
4.8 Représentation du champ électrique dans la cavité sur le mode $TM_{1,0,0.}$ 51
4.9 Représentation du champ magnétique dans la cavité sur le mode $TM_{1,0,0.}$ 51
4.10 Représentation des courants sur le patch sur le mode $TM_{1,0,}$ 52
4.11 Représentation du référentiel et des coordonnées pour le calcul du champ lointain rayonné par les courants. 53
4.12 Représentation linéaire du diagramme de rayonnement du plan E en Champ 54
4.13 Diagramme de rayonnement du plan E en puissance. 54
4.14 Diagramme de rayonnement du plan H en puissance : b/a = 1 ; b/a = 2 ; b/a = 4 55
4.15 Diagramme de rayonnement 3D 55
4.16 S11 56
4.17 Diagramme de rayonnement dans plan E 56
4.18 Diagramme de rayonnement dans plan H 57
4.19 Schémas typiques des plans E et H (patterns) de chaque emplacement de patch microruban et des deux ensemble. 57
4.20 Calcul de la largeur du motif et de la permittivité effective. 59
4.21 Paramètre $\Delta L/h$ en fonction du rapport W/h pour différentes valeurs de permittivité relative. 60
4.22 Les dimension du patch 61
4.23 Résultat de simulation matlab 61
4.24 Diagramme de rayonnement 62
4.25 Plan E et H de diagramme de rayonnement 62

Liste des tableaux

4.1 Comparaisons entre les deux modèles de modélisation 58

Introduction générale

Les antennes sont devenues les éléments de base pour une liaison radioélectrique. Les technologies modernes s'orientent vers la miniaturisation de ces antennes tout en essayant de garder les meilleures performances.

Les antennes imprimées ou micro-ruban, ou « patch » en anglais sont des éléments rayonnants planaires. Le concept de ces derniers est apparu dans les années 50 par "Deschamps", mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 70 par" Howel et Muson". Dans ces dernières années, divers types d'antennes imprimées ont été développés, et différentes techniques d'alimentation sont mises en œuvre pour améliorer les performances de ce type d'antennes dans plusieurs cas d'applications. La technique des circuits imprimés a révolutionné les domaines de l'électronique, et plus récemment celui des hyperfréquences, où elle se prête particulièrement bien à la réalisation de circuits et d'antennes.[1]

Le but de notre travail est d'étudier et concevoir les antennes micro-ruban par utilisation le logiciel HFSS d'Ansoft. Aussi modéliser ces antennes en utilisant des modèles théoriques.

En premier lieu, nous débutons ce manuscrit par une introduction aux différents types d'antennes et leurs principales caractéristiques tel que : gain, directivité, diagramme de rayonnement etc.. . .

Dans le deuxième chapitre on s'intéresse davantage aux antennes micro-ruban (dites antennes patch) en introduisant les différents types d'antennes micro –ruban et leurs principales caractéristiques tel que : forme du patch, type de diélectrique, type d'alimentation etc. . . .

Dans le troisième chapitre, nous introduisons le logiciel HFSS et nous donnons un aperçu sur les différentes étapes de conception des antennes micro-ruban en particulier l'antenne à étudier ''antenne wifi 2.4 GHz ''

Le dernier chapitre est dédié à la modélisation des antennes micro-ruban par deux méthodes célèbres dans ce domaine, la première celle des lignes de transmission et la deuxième celle des cavités résonantes, le Logiciel Matlab est utilisé pour mettre on œuvre ces modèles.

Chapitre 1

Introduction aux antennes

1.1 Introduction

Les antenne joue une très grande rôle dans ce domaine de télécommunication.pour cela dans ce chapitre on va définir quelque notion de base de ce dernier ,et cité quelques types d'antenne avec ces caractéristiques .

1.2 Définition

Généralement une antenne est un moyen qui convertit l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur [2]

1.3 Types d'antennes

1.3.1 Antenne dipolaire

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire (figure 1.1). En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont dans le même sens. L'influence de ces deux courants s'annule

dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. Étant donnée la symétrie du dipôle, le rayonnement s'effectue autour de l'axe, matérialisé par le fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler d'un rayonnement isotrope. À l'extrémité de chaque fil apparaissent des charges de signes opposées dont l'existence s'explique par la conservation de la charge. En effet, la relation de conservation suivante lie les charges au courant : [3]

$$I = \frac{dq}{dt} \tag{1.1}$$

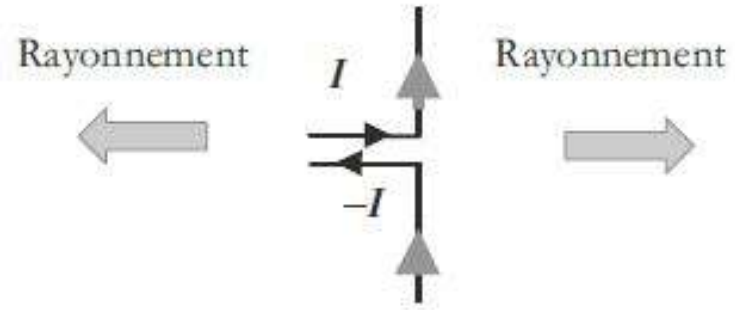


FIGURE 1.1: Antenne dipolaire

1.3.2 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, il est utilisé en haute fréquence. Son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (figure 1.2). Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique. Les transitions présentent des formes variées : linéaires, exponentielles... Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance du cornet et celle du vide. De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que les précédentes, dans la mesure où la puissance n'est émise que dans une région de l'espace limitée.

Le guide d'onde est un dispositif hyperfréquence très utilisé du fait des pertes très faibles engendrées par la propagation dans celui-ci, même à hautes fréquences

et de sa capacité à supporter de la puissance. Les antennes cornets qui lui sont associées sont donc aussi très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites...[2]

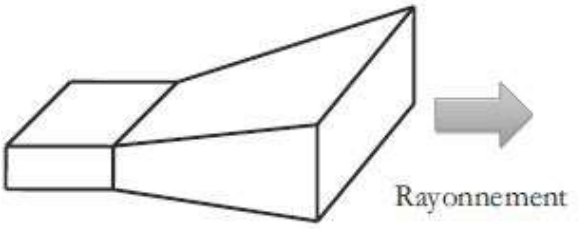


FIGURE 1.2: Antenne cornet

1.3.3 Antenne à réflecteur parabolique

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réflectrice, souvent de forme parabolique (figure 1.3) La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement. Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles. Par décalage de la source dans le plan focal, les rayons parallèles à la sortie du réflecteur, peuvent présenter une inclinaison par rapport à l'axe de la parabole. Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision. Leur orientation est choisie de façon à viser un satellite particulier.

Afin d'éviter les perturbations par la pluie ou la neige, ces antennes sont souvent recouvertes d'un radôme. C'est le cas des antennes très exposées aux conditions climatiques, utilisées pour les transmissions hertziennes. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer.[3]

1.3.4 Antennes plaquées

L'antenne plaquée, 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

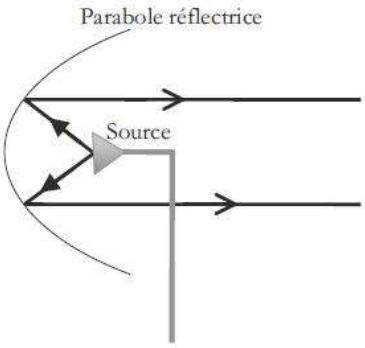


FIGURE 1.3: Antenne à réflecteur parabolique

qui créent le rayonnement électromagnétique (figure 1.4). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban.[3]

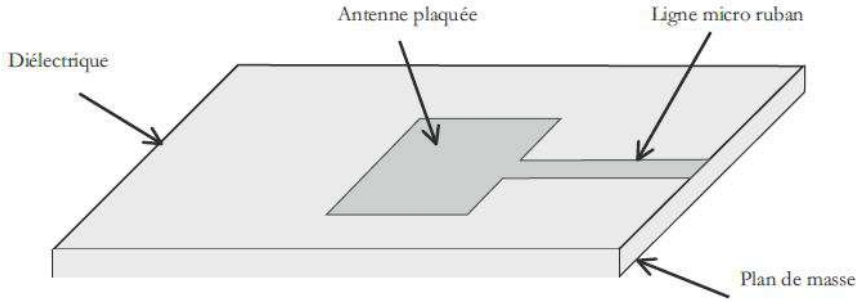


FIGURE 1.4: Antenne plaquée

Elle présente l'avantage du poids sur certaines antennes décrites précédemment. Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception. La géométrie des antennes plaquées peut être multipliée à l'infini. Pour terminer avec l'introduction à ce genre d'antenne, mentionnons les antennes à alimentation par couplage (figure 1.5). L'alimentation se trouve prise en sandwich entre deux diélectriques. Un couplage électromagnétique entre l'extrémité de la ligne micro ruban et le patch, qui se trouve au-dessus du dispositif, permet d'exciter l'antenne. Le diélectrique supérieur joue alors un rôle d'écran pour la ligne d'alimentation, qui sinon pourrait éventuellement perturber le rayonnement. Il est alors intéressant de placer l'électronique au niveau de ce second diélectrique pour les antennes actives.[3]

1.3.5 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.

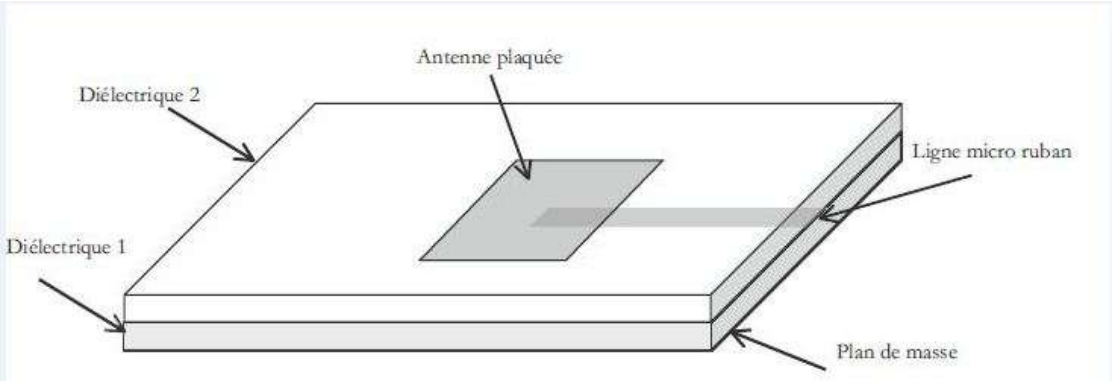


FIGURE 1.5: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique.

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. [3]

1.4 Caractéristiques des antennes

1.4.1 Diagramme de rayonnement

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de diagramme de rayonnement. La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe de rayonnement de l'antenne. La représentation de cette fonction donne les caractéristiques du rayonnement dans l'espace. Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan

contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique...
Le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique. Certaines représentations en trois dimensions ont l'avantage de montrer toutes les directions de rayonnement dans l'espace (figure 1.6) mais permettent difficilement une appréciation quantitative. La figure est en coordonnées logarithmiques. Ceci permet de mieux voir les détails pour les faibles valeurs, dans les lobes latéraux.

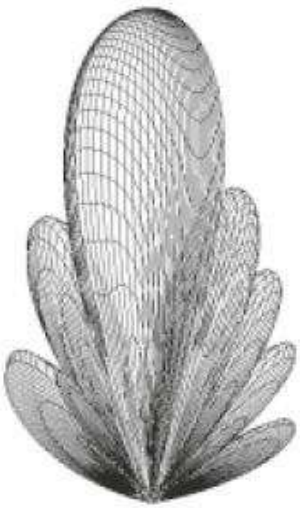


FIGURE 1.6: Exemple de diagramme de rayonnement 3D en valeurs logarithmiques

Le diagramme de rayonnement, généralement en coordonnées logarithmiques, est présenté soit en coordonnées rectangulaires, soit en coordonnées polaires, dans les deux plans perpendiculaires (E et H). Le diagramme de rayonnement de la(figure 1.6), est présenté ci-dessous sous ces différentes formes. Les coordonnées rectangulaires sont utilisées sur la (figure 1.7), pour présenter le diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E et, sur la (figure1.8), dans le plan H. Sur la (figure 1.9), la représentation en coordonnées polaires est utilisée pour représenter ces diagrammes.

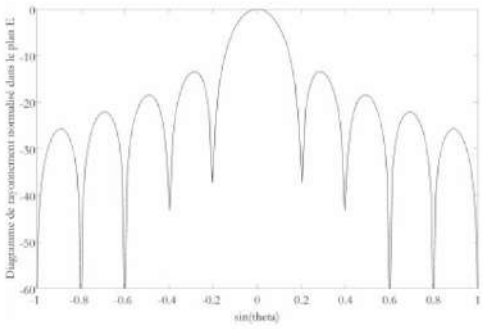


FIGURE 1.7: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB.

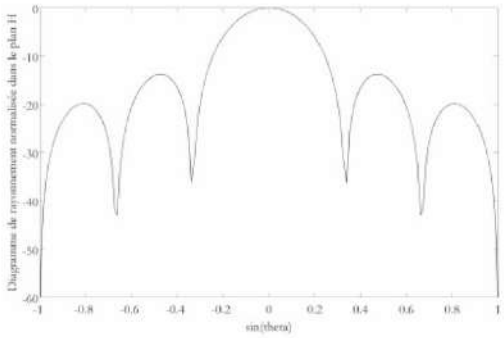


FIGURE 1.8: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.

Dans les plans E et H , respectivement . La valeur du maximum est de 0 dB, obtenu dans la direction du maximum qui correspond à l'axe de l'antenne .

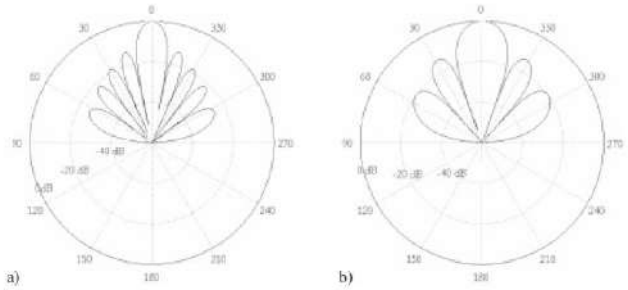


FIGURE 1.9: a) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaires, en fonction de u, en dB. b) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H en coordonnées polaires, en fonction de u, en dB.

Le lobe principal est défini entre les deux minima de chaque côté du maximum. Des maxima secondaires apparaissent de chaque côté. Ils constituent les lobes secondaires.[3]

1.4.2 Directivité

La directivité dans une direction est le rapport entre la valeur de la fonction caractéristique de rayonnement dans cette direction à sa valeur moyenne dans tout l'espace :

$$D(\theta, \phi) = \frac{F_n(\theta, \phi)}{\frac{1}{4\pi} \int \int F_n(\theta, \phi) d\Omega} \tag{1.2}$$

Une valeur faible pour la moyenne de la fonction caractéristique de rayonnement, correspond à une antenne directive : la puissance n'est envoyée que dans un cône d'angle solide petit. Dans ce cas, la valeur moyenne étant au dénominateur entraîne une valeur élevée de la directivité. La directivité dans une direction permet de comparer la densité de puissance rayonnée dans cette direction à la puissance moyenne rayonnée dans l'espace. La directivité étant égale à un rapport de puissances, peut être exprimée soit sur une échelle linéaire, soit sur une échelle logarithmique. Dans ce dernier cas, elle s'exprime en décibel (dB), comme dix fois son logarithme en base dix. Remarquons que la directivité peut être inférieure ou supérieure à 1 sur une échelle linéaire, ou bien positive ou négative sur une échelle logarithmique. Le maximum de directivité est obtenu dans la direction de l'axe de l'antenne, lorsque la fonction caractéristique normalisée est égale à 1. Soit : [3]

$$D_0 = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int \int F_n(\theta, \phi) d\Omega} \tag{1.3}$$

1.4.3 Gain d'une antenne

Le gain dans une direction est défini par le rapport de la densité de puissance rayonnée dans une direction à la densité de puissance S_{ri} qui serait rayonnée par une antenne isotrope sans pertes, les deux antennes étant alimentées par la même puissance et placées à la même position.

$$G(\theta, \phi) = \frac{S_r(\theta, \phi)}{S_{ri}} \tag{1.4}$$

Après plusieurs équations on trouve finalement :

$$G(\theta, \phi) = 4\pi\eta_1 \frac{S_r(\theta, \phi)}{\int \int S_r(\theta, \phi) d\Omega} \tag{1.5}$$

Le gain est proportionnel à la directivité. Il porte la même information sur les directions de rayonnement. Le gain tient compte du rendement de transformation entre la puissance d'alimentation et la puissance rayonnée. Au maximum de directivité, on a simplement :[3]

$$G_0 = \eta_1 D_0 \tag{1.6}$$

1.4.4 Facteur d'antenne

Le facteur d'antenne F_A est utilisé en mesure. Il donne le rapport entre le champ électrique efficace rayonné et la tension mesurée juste derrière l'antenne. Les calculs de rayonnement utilisent l'amplitude du champ électrique (champ crête). Dans ce paragraphe, nous utilisons le champ efficace :

$$E_{Eff} = \frac{E}{\sqrt{2}} \tag{1.7}$$

Considérons le rayonnement provenant sur une antenne de réception. Il est caractérisé par la densité surfacique de puissance S_r . D'après les définitions précédentes :

$$S_r = \frac{E_{Eff}^2}{Z} \tag{1.8}$$

En introduisant le facteur d'antenneF_A, comme le rapport entre le champ électrique efficace reçu et la tension induite aux bornes de l'antenne :

$$F_A = \frac{E_{Eff}}{V} \tag{1.9}$$

On obtient :

$$F_A = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{Z4\pi}{Z_0 G_R}} \tag{1.10}$$

Ce facteur, qui indique le taux de transformation entre le champ reçu et la tension transformée, fait intervenir le rapport de l'impédance de l'air à l'impédance de la ligne, le gain de l'antenne et la longueur d'onde. Il sert à comparer des antennes à une antenne étalon, en mesurant le facteur d'antenne en champ constant.[3]

1.4.5 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.[3]

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 1.10). Le champ électrique est parallèle au vecteur unitaire U_x et le champ magnétique est parallèle au vecteur unitaire U_y. Le vecteur de propagation K est alors parallèle au vecteur unitaire U_Z.[3]

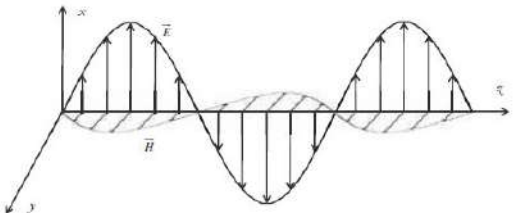


FIGURE 1.10: Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement.

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 1.11).[3]

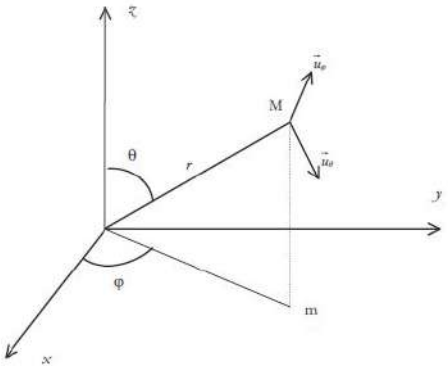


FIGURE 1.11: Référentiel du champ électrique

1.4.6 Impédance d'une antenne

Les éléments essentiels d'un émetteur sont un générateur d'ondes connecté à une ligne de propagation, elle-même reliée à l'antenne. Chacune de ces trois parties présente une impédance propre complexe. Pour des antennes réciproques, l'impédance de l'antenne est la même en émission ou en réception.

Impédance d'entrée

On appelle impédance d'entrée de l'antenne l'impédance vue à l'entrée de ce composant. Elle est représentée par :

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{1.11}$$

L'impédance de l'antenne est influencée par les objets environnants, en particulier par des objets ou des plans métalliques proches ou par d'autres antennes. Dans ce dernier cas, on parle d'impédances mutuelles entre éléments rayonnants. Nous ne traiterons dans ce paragraphe que de l'impédance propre de l'antenne, c'est-à-dire celle de l'antenne placée seule et rayonnant dans l'espace vide infini. La résistance d'entrée$R_A$représente un terme de dissipation. Il est lié, d'une part à la puissance rayonnée et d'autre part, à la puissance perdue par effet Joule. Cette dernière est en général petite par rapport à la puissance rayonnée pour assurer le fonctionnement optimal de l'antenne. Cependant les pertes par effet Joule peuvent représenter des valeurs non négligeables en fonction de la géométrie de l'antenne. Les pertes dans le plan de masse sont aussi à prendre en compte. La réactance $X_A$est liée à la puissance réactive stockée au voisinage de l'antenne.

Adaptation

L'impédance d'entrée de l'antenne est utilisée pour insérer cet élément de façon optimale dans la chaîne de l'émetteur (ou du récepteur). Si l'impédance caractéristique de la ligne de propagation estZ_0et l'impédance d'entrée de l'antenneZ_A, le signal se réfléchit à l'entrée de l'antenne avec un coefficient Γ dont l'expression est :

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \tag{1.12}$$

Dans le cas où le coefficient de réflexion est non nul, un système d'ondes stationnaires apparaît et la puissance émise par le générateur n'est pas transmise de façon optimale à l'antenne. C'est donc ce cas de réflexion minimale à l'entrée de l'antenne qu'on visera. Il correspond à un paramètre de transmission de la matrice de répartition (S21) proche de 1 et à un coefficient de réflexion (S11) proche de 0 (en valeurs linéaires). On admet qu'une bonne adaptation est obtenue lorsque

le coefficient de réflexion est inférieur à –10 dB. Cela correspond à un rapport d'ondes stationnaires (VSWR, Voltage Standing Wave Ratio), compris entre 1 et 1,2. Le rapport d'ondes stationnaires est défini comme le rapport de la tension maximale à la tension minimale sur une ligne. Pour améliorer l'adaptation d'une antenne, tous les moyens associés aux techniques hyperfréquences sont utilisables. En particulier, pour des antennes planaires, la gravure de lignes laisse une grande marge pour la conception, et les tronçons de lignes d'adaptation sont couramment introduits pour permettre l'adaptation entre la ligne et l'antenne. Des tronçons de lignes en parallèle peuvent aussi être ajoutés pour modifier la réactance. Dans le cas des antennes filaires, des composants localisés sont ajoutés à l'entrée de l'antenne. L'impédance interne du générateur intervient dans le fonctionnement d'un émetteur. Le schéma électrique simplifié de ce système peut se résumer, d'une part, à la partie génératrice ayant une impédanceZ_G et d'autre part à l'antenne associée à sa ligne d'accès ayant une impédance Z. La puissance maximale transmise à l'antenne est obtenue lorsque l'impédance du générateur est égale à l'impédance conjuguée de l'antenne : $Z_G = Z^*$

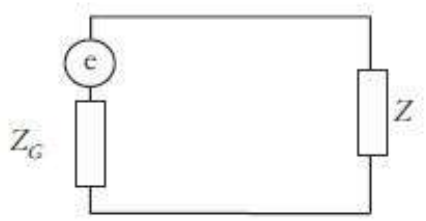


FIGURE 1.12: Schéma électrique d'une antenne en présence du générateur.

Dans la majorité des cas, l'impédance du générateur vaut50Ω. C'est une impédance standard en hyperfréquences.[3]

1.4.7 Alimentation

Lorsque la taille de l'antenne est très petite par rapport à la longueur d'onde, l'impédance d'entrée est fixée,Lorsque la taille de l'antenne est plus grande, l'impédance d'entrée dépend du point d'excitation. Les antennes planaires qui ont une dimension de l'ordre de la demi-longueur d'onde, afin de permettre au phénomène de résonance de s'établir, présentent des exemples variés d'alimentations. Il est possible de choisir différentes formes d'alimentation et différents points d'excitation.[3]

Excitation par une ligne coaxiale

Un patch rectangulaire (figure 1.13) est formé d'un rectangle de métal très fin déposé sur un diélectrique de faible permittivité. De l'autre côté du diélectrique,

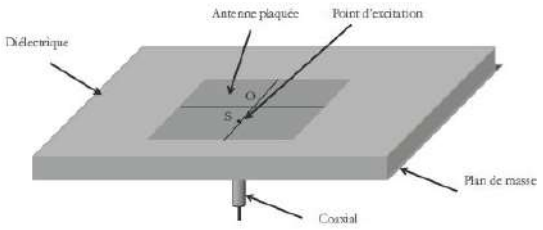


FIGURE 1.13: Alimentation d'une antenne plaquée rectangulaire par coaxial

une couche métallique très fine tient lieu de plan de masse. L'alimentation, pour le cas présenté sur cette figure, est assurée par un coaxial. Pour cela une cavité est usinée dans le diélectrique et le plan de masse, de façon à faire passer l'âme du coaxial qui est soudée sur le plan métallique rayonnant (patch). Le dispositif permettant la traversée s'appelle un via hole.

Alimentation par ligne micro ruban

L'alimentation la plus simple consiste à utiliser une ligne micro ruban sur le même plan que le patch rayonnant (figure 1.14).



FIGURE 1.14: Alimentation par ligne micro ruban.

Cette disposition présente un inconvénient si la ligne rayonne. C'est le cas en très haute fréquence. Le rayonnement de la ligne perturbe alors celui de l'antenne qui ne présente pas la même pureté de polarisation. Cependant pour les cas usuels, cette technique très utilisée, présente le grand avantage de la simplicité de réalisation. Pour améliorer l'adaptation entre la ligne micro ruban et l'antenne, il est courant de réaliser des encoches (figure 1.15) dont la taille est à calculer afin d'obtenir une meilleure adaptation.

La polarisation circulaire est obtenue avec ce type d'alimentation en excitant un patch presque carré selon sa diagonale (figure 1.16)

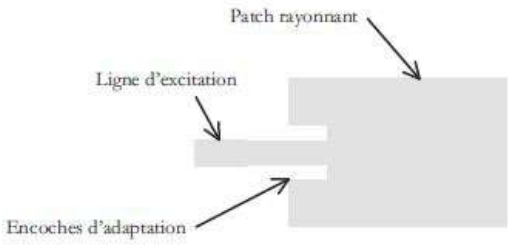


FIGURE 1.15: Encoches d'adaptation.

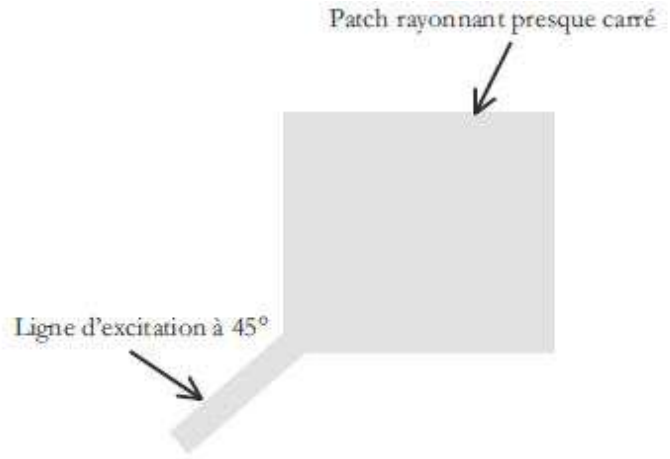


FIGURE 1.16: Alimentation pour un rayonnement à polarisation circulaire.

Alimentation par fente

L'alimentation par une ligne micro ruban sur le même plan que l'élément rayonnant est, dans certains cas, un désavantage par rapport à la qualité du rayonnement. La solution à ce problème consiste à placer la ligne d'excitation sur un plan inférieur (figure 1.17). La ligne écrantée par le plan de masse ne rayonne pratiquement pas. La ligne est gravée sur la face arrière d'un diélectrique possédant un plan de masse sur la face avant, dans lequel une ouverture est pratiquée. Le plan de masse est recouvert par un deuxième diélectrique au-dessus duquel est gravé l'élément rayonnant métallique. Le diélectrique se trouvant au-dessus est généralement de faible permittivité afin de favoriser le rayonnement. Le diélectrique supportant la ligne est de permittivité plus élevée afin de jouer le rôle d'écran de la ligne d'excitation et de concentrer le champ électrique. Le couplage existant est un couplage magnétique à travers l'ouverture. Cette ouverture introduit un élément inductif qui est compensé par l'effet capacitif plus ou moins prononcé de la ligne micro ruban. Relativement à ce dernier paramètre, il suffit d'ajuster la lon-

gueur de la ligne afin d'obtenir l'adaptation adéquate. Ces différentes descriptions des formes d'adaptation entre l'élément rayonnant et la ligne d'accès montrent la grande variété des solutions qui s'offrent lors de la conception. Cette description pourrait être encore longue, car les dispositifs d'adaptation dépendent à la fois des lignes d'accès et de l'élément rayonnant. Il existe par exemple des techniques différentes pour les accès coplanaires. La conception d'une antenne ne peut être faite indépendamment de sa ligne d'adaptation. Dans les simulations numériques sur lesquelles s'appuie la conception, la partie de la ligne d'excitation est modélisée en même temps que le dispositif rayonnant.[3]

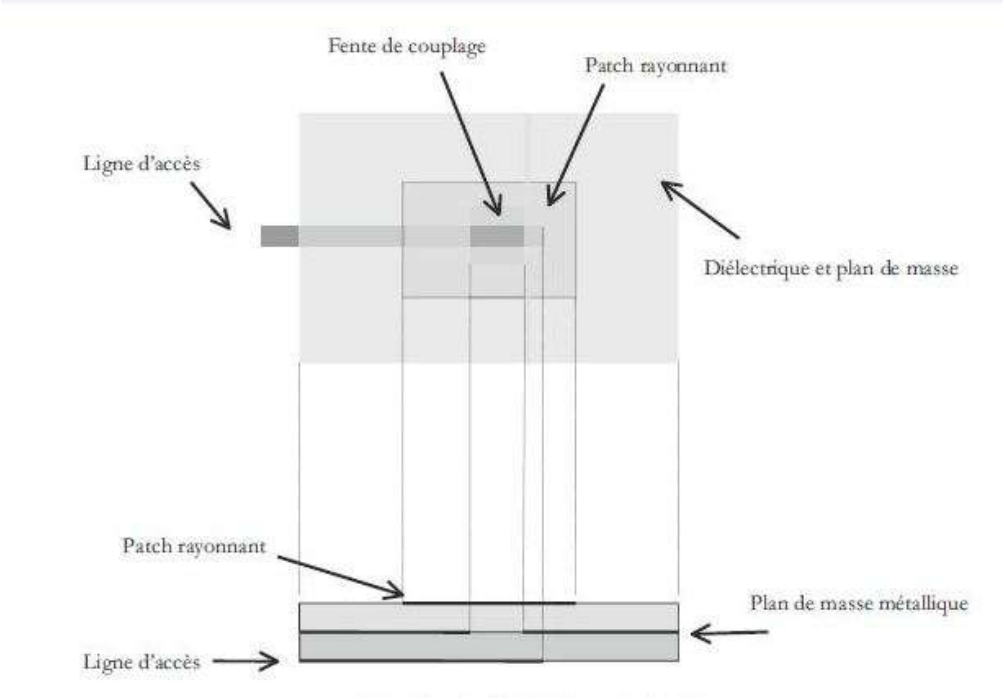


FIGURE 1.17: Alimentation par fente.

1.4.8 Largeur de bande

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

puissance de rayonnement. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situé entre une valeur minimale f_1 et une valeur maximale f_2. La bande de fréquence Δf est définie par la différence entre ces deux fréquences :[3]

$$\Delta f = f_2 - f_1 \tag{1.13}$$

La largeur relative de bande Br est un pourcentage exprimant le rapport de la bande à la fréquence centrale f_0.

$$B_r = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \tag{1.14}$$

La largeur de bande est aussi définie par le rapport entre les deux fréquences extrêmes :

$$B_f = \frac{f_1}{f_2} \tag{1.15}$$

1.4.9 Température de bruit d'une antenne

Une antenne reçoit tous les rayonnements provenant d'objets émetteurs qui l'entourent. Elle est plus sensible au rayonnement provenant dans un angle solide proche de son axe et égal à l'angle solide de l'antenne. En dehors de l'angle solide de l'antenne, le rayonnement peut être reçu, dans une moindre mesure, dans la direction des lobes secondaires. En général, les antennes fonctionnent deux à deux : l'une émet, l'autre reçoit. Un signal utile est transmis entre les deux antennes. Lorsqu'une antenne reçoit de la puissance en provenance d'autres sources qui viennent perturber le fonctionnement de la transmission, cette puissance constitue du bruit. L'ensemble du bruit pondéré par la fonction caractéristique de rayonnement constitue la puissance de bruit B captée par l'antenne. Elle s'exprime pour une bande de fréquence donnée Δf par :

$$B = kT_B\Delta f \tag{1.16}$$

$k = 1,3810^{-23}JK^{--1}$ la constante de Boltzmann.La température T_B est appelée température de bruit de l'antenne. Un satellite reçoit par exemple du bruit en provenance de la Terre, qui émet un rayonnement comme tout corps ayant une température non nulle, mais aussi en provenance de l'atmosphère et du ciel. Ce dernier correspond au rayonnement extragalactique de l'ordre de 3 K, bien connu des astrophysiciens.[3]

Chapitre 2

Généralité sur les antennes imprimée

2.1 Introduction

L'antenne patch est un de déférentes types d'antenne .Dans ce chapitre nous décrirons l'antenne imprimée comme définition la structure les avantages et les inconvénients de ce dernier ,et les notions de base nécessaires à la compréhension des antennes patch,et les différents techniques de ce domaine.

2.2 Définition de l'antenne imprimée

Une antenne à éléments rayonnants imprimés, communément appelée antenne patch est une ligne micro ruban de forme particulière.L'antenne est réalisée par gravure d'un circuit imprimé. De part leur technologie de fabrication, ceux-ci peuvent être intégrés au plus près des circuits électroniques en occupant un volume réduit et se conformant à différents types de surface. Leur principal avantage réside dans leur faible coût de fabrication. Les antennes patch sont utilisées dans de nombreuses applications à partir des bandes VHF Elle se compose d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique dont la surface porte un ou plusieurs éléments métalliques. [2]

2.3 Les avantages et les inconvénients de l'antenne patch

2.3.1 Les avantages

-Faible poids, encombrement réduit, configurations conformes possibles ;
-Faible coût de fabrication, production en masse possible ;
-Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications ;
- Antennes multibandes, multipolarisations possibles ;
- Compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave monolithic integrated circuit) ;
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.[4]

2.3.2 Les inconvénients

-Bande passante étroite ;
- Généralement faible gain ;
- Supportent uniquement des faibles puissances ;
- Pertes de rayonnement par ondes de surfaces.
[4]

2.4 Structure d'une antenne imprimée

Une antenne patch consiste en un élément métallique de forme quelconque (rectangulaire, circulaire, à fente, ou formes plus élaborées) déposé sur la surface d'un substrat diélectrique qui présente sur l'autre face un plan conducteur (plan de masse). Une antenne patch rectangulaire est l'antenne patch la plus courante, sa structure est détaillée ci-dessous :

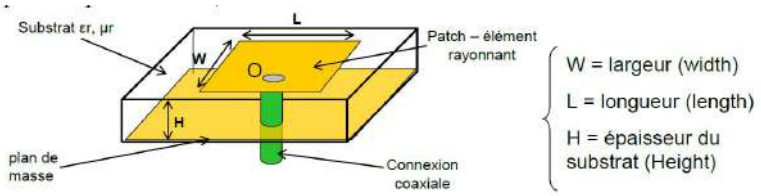


FIGURE 2.1: Structure d'une antenne rectangulaire

L'antenne patch fonctionne comme une antenne demi-onde. On trouvera donc une des dimensions du patch (longueur par convention) de l'ordre de la demi-longueur d'onde. Le choix de la longueur du patch est donc guidé par la fréquence

de résonance à donner à l'antenne. Le plan de masse doit être théoriquement de dimension infinie mais en pratique celui-ci est plutôt, pour des raisons d'encombrement, de l'ordre de 3 ou 4 longueur d'onde pour ressembler à un plan de masse infini.Il arrive cependant que celui-ci soit très réduit, ce qui bien évidement modifie les caractéristiques de l'antenne initiale, parfois de maniéré très prononcée. Un plan de masse plus petit conduira à une modification des propriétés de l'antenne, avec notamment la présence d'un rayonnement en face arrière. Cependant, cela représente parfois un encombrement trop important pour une intégration pratique et faible coût d'une antenne, d'où une optimisation de sa taille.

Les caractéristiques du substrat influent sur celles de l'antenne. On choisit en général un diélectrique de faible hauteur vis-à-vis de la longueur d'onde d'utilisation (quelques $\lambda/10$), et présenter de faible pertes (on caractérise les pertes d'un diélectrique par la tangente des pertes notée $tan\delta$) Une valeur typique se situe aux alentours de 10^{-3} idéalement la permittivité relative du substrat doit être faible de façon à permettre le rayonnement, en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse. [1-2]

Ces éléments rayonnants sont de différentes formes rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique ou autre forme connue comme indiqué dans la figure (2.2) Les métallisations sont en très bons conducteurs tels que le cuivre, l'argent ou l'or et leur alimentation peut être effectuée par divers procédés permettant d'obtenir un diagramme en polarisation linéaire ou circulaire .

principales caractéristiques des antennes imprimées sont : - Le facteur de qualité Q allant d'environ 50 jusqu'à 75 ; - Le taux d'onde stationnaire (TOS) est égal à une valeur entre 2 jusqu'a 1. Ces caractéristiques peuvent être changée par un bon choix de paramètres physiques de l'antenne imprimée qui sont les suivants :

- La permittivité relative de diélectrique (εr).
- La tangente des pertes ($tan\delta$) dans ce même substrat, avec dominance des pertes par effet joule.
- L'épaisseur du diélectrique (elle doit rester faible par rapport à la longueur d'onde à transmettre).
- Les dimensions de l'élément rayonnant (L, W).[1-4]

2.4.1 Éléments rayonnants :

Le patch a généralement une forme rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique ou autre forme connue comme indiqué dans la figure (2.2)

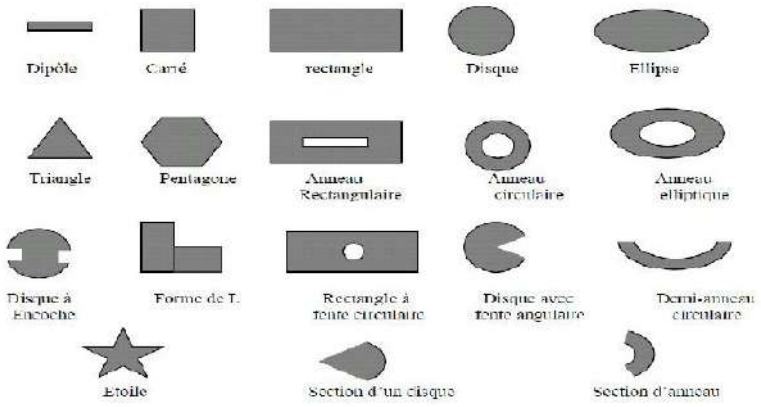


FIGURE 2.2: Divers types d'éléments rayonnants.

Il existe une grande variété de forme que peut prendre une antenne plaquée ou imprimée. Il y a tout d'abord le dipôle imprimé, qui attire par sa petitesse quelque application. Cependant son exploitation reste limitée à cause de sa bande passante très étroite. Les plus souvent rencontre, sons les antennes rectangulaires ou carres, circulaires et elliptiques. Elles sont simples a réaliser On trouve également d'autres formes plus complexes et plus difficiles à analyser. Elle résulte souvent de la combinaison de deux formes simples et sont utilisées dans certaines applications particulières. Le choix de la forme d'antenne dépendra du type d'application désiré et des paramètres qu'on cherche à optimiser (bande passante, gain et efficacité, impédance d'entrée, niveaux des lobs secondaires, ...etc.). Parmi toutes les formes l'élément rectangulaire est sans contexte le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnements des antennes patch. Mais tout d'abord se pose la question d'alimenter une telle structure.[1]

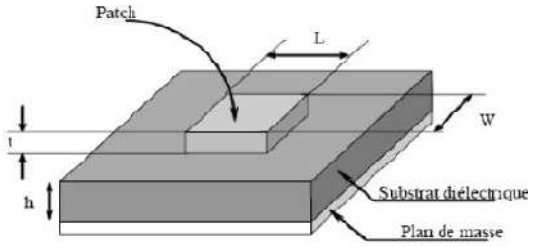


FIGURE 2.3: Présentation d'une antenne patch a élément rectangulaire

2.4.2 Alimentation des éléments rayonnants

L'alimentation joue un rôle très important lors de la conception des antennes imprimées. Elle peut modifier les caractéristiques de rayonnement de celles-ci. L'ali-

mentation pourra être soit centrée soit arbitraire par rapport à la géométrie de l'élément. Par sa position, elle détermine l'adaptation de l'antenne à la ligne d'alimentation. Il existe une large variété de techniques d'alimentation permettant ainsi de fournir à l'antenne, l'énergie qui lui est nécessaire pour rayonner.[1]

Alimentation par ligne micro ruban

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

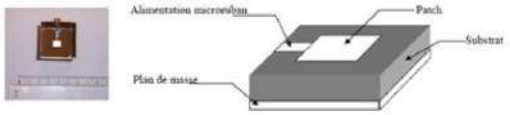


FIGURE 2.4: Alimentation par ligne Micro ruban

L'alimentation peut se faire par connexion directe à une ligne microbande dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément (figure 2.5a) ou décalé par rapport à cet axe de symétrie (figure 2.5b) si cela permet une meilleure adaptation d'impédance, dans ce but, l'alimentation axiale avec une encoche donne de bons résultats (figure 2.5c)

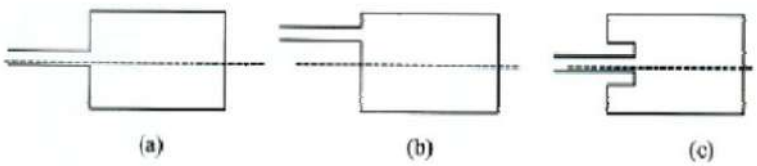


FIGURE 2.5: Alimentation par une ligne microbande : a. axiale, b. décalée, c. axiale avec encoche.

L'avantage de ce type d'alimentation est sûrement la moins coûteux et la plus aisée est qu'elle peut être gravée sur la même face de l'antenne, elle est facile à fabriquer, et simple à adapter à la résonance. C'est l'une des techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées, Les principaux inconvénients de cette structure simple sont :

- les couplages parasites dû la réalisation de la ligne de transmission et du résonateur sur le même substrat, et qui diminuent les performances de l'antenne au-delà de quelques GHz.
- la nécessité d'ajouter un transformateur d'impédance pour obtenir l'adaptation entre la ligne d'alimentation et le résonateur. On peut distinguer trois types d'alimentation .[1]

-Alimentation par ligne micro ruban à travers un bord rayonnant

Dans ce cas la ligne d'alimentation entre en connexion directement sur le côté rayonnant du patch (figure 2.6), cette technique est l'une des méthodes les plus utilisées. Il existe une variation de l'impédance d'entrée car le point d'alimentation est déplacé le long de ce côté.[1]

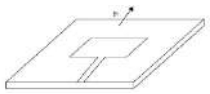


FIGURE 2.6: Le patch alimenté par ligne micro ruban à travers un bord rayonnant

-Alimentation par ligne micro ruban à travers un bord non rayonnant

La ligne d'alimentation entre en contact avec le patch sur le bord non rayonnant (figure 2.7), dans ce cas les calculs sont plus complexes, car les courants de la ligne d'alimentation, sont orthogonaux à ceux du patch.[1]

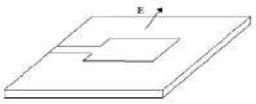


FIGURE 2.7: Le patch alimenté par ligne micro ruban à travers un bord non rayonnant

-Antenne patch rectangulaire couplée capacitivement à une ligne micro ruban :

Dans ce cas l'élément rayonnant est couplé capacitivement à la ligne micro ruban injectée dans le substrat figure 2.8 L'utilisation de substrats différents entre ligne d'excitation et antenne peut améliorer la largeur de la bande passante de l'antenne.[1]

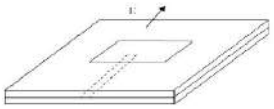


FIGURE 2.8: Le patch couplé capacitivement à ligne micro ruban

Alimentation par une sonde coaxiale

Cette méthode d'alimentation a beaucoup été étudiée dans la littérature. Elle à l'avantage de positionner l'alimentation sous l'élément rayonnant et à utiliser une ligne non rayonnant (coaxial), ce qui diminue fortement de rayonnement parasite, et qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication . Le conducteur central du câble coaxial est soudé sur l'élément rayonnant après avoir traversé le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur extérieur est quant à lui soudé au plan de masse . Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément plaqué.[1]

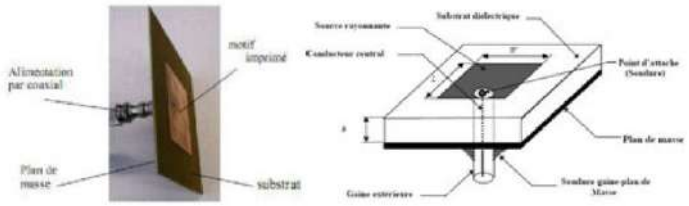


FIGURE 2.9: Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale

Alimentation couplée par fente (ouverture)

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique sur la (figure 2.10).La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse .Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch . Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne.

Cependant elle offre l'élargissement de bande passante . L'inconvénient de telle technique et sa complexité de fabrication. Cette complexité réside dans : l'ouverture dans le plans de masse, La réalisation de deux couche diélectriques . Elle reste tout de même utilisée pour certaines applications, car elle permet une amélioration de la bande passante qui peut aller jusqu'à 25%.[1]

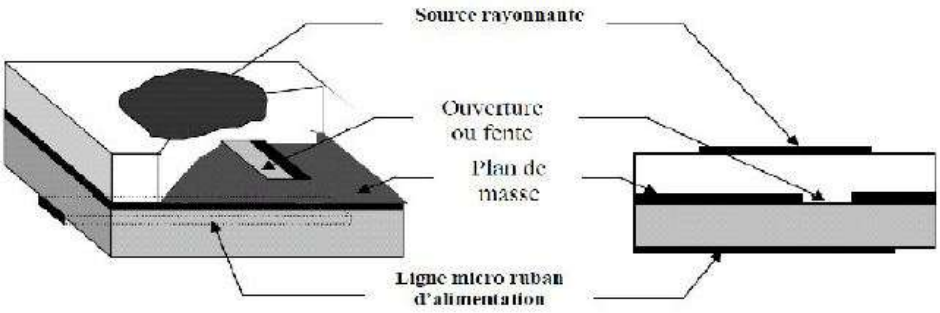


FIGURE 2.10: Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande à travers une fente dans le plan de masse.

Alimentation couplée par 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 2.11). L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le rayonnement parasite due à l'alimentation et fournit une largeur de bande très élevée (plus que 13%), 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. Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs.[1]

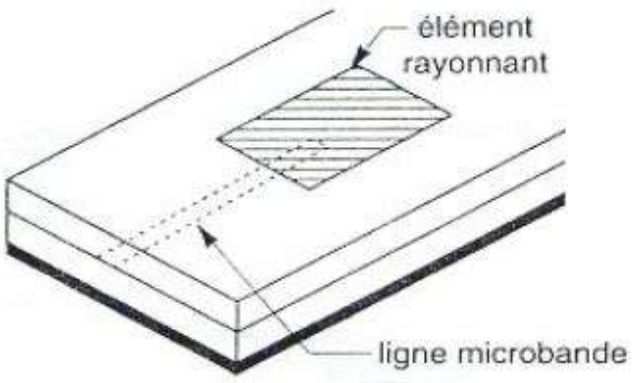


FIGURE 2.11: Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande

Alimentation par guide d'ondes coplanaires

Le plan de masse et la ligne d'alimentation se trouvent sur la même face du substrat. A cette partie est rajoutée un élément rayonnant imprimé sur un second substrat déposé au-dessus à hauteur des fentes rayonnantes. Le pavé rayonnant est alors excité par couplage électromagnétique.[1]

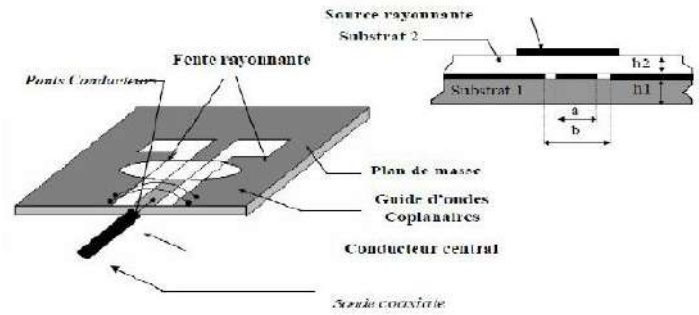


FIGURE 2.12: Alimentation par guide d'ondes coplanaires

Alimentation par fibres optiques

Ce type de liaison présente plusieurs avantages, comme une large bande passante, une forte liaison, une grande immunité au bruit, une taille et un poids réduits. Le concept est le suivant : une diode laser est modulée à l'aide d'une fibre optique. Sur le substrat de l'antenne une photodiode démodule le signal lumineux qui sera ensuite couplé à l'antenne imprimée par un circuit d'adaptation.[1]

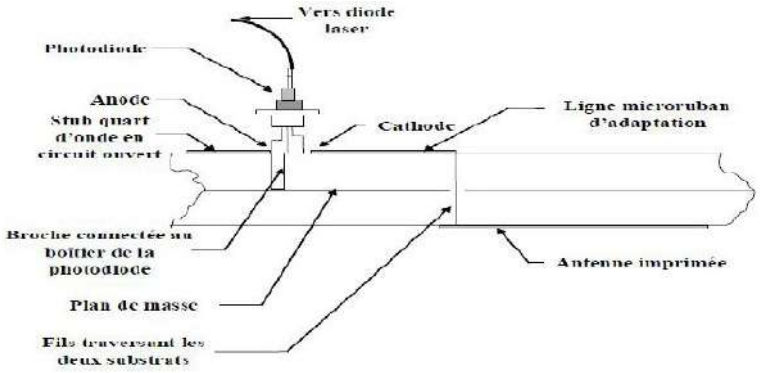


FIGURE 2.13: Alimentation par fibre optique

Chapitre 3

Modélisation et simulation (par HFSS) d'une antenne patch

3.1 Introduction

Dans ce chapitre on va réalisé une antenne patch par les diverses aspects de mise en œuvre d'un projet HFSS (High Fréquence structure simulation)de version 13.nous avons dessiner la structure avant de passer a la simulation pour trouver les paramètres caractéristiques internes (les paramètre S , les impédances ...)et les paramètres caractéristiques externes (le gain ,la directivité ...). on va explique comment utilisé ce projet avec les étapes pour crée le patch et obtenir des résultats fiable .

3.2 Description du logiciel HFSS

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un des outils d'analyse électromagnétique 3D basé sur la méthode des éléments finis (FEM) parmi les plus aboutis. C'est un logiciel développé par la société américaine Ansoft. Il présente une interface graphique avancée et de nombreuses fonctionnalités, il a bénéficié de nombreuses optimisations pour accélérer les calculs. Il se révèle relativement bien adapté pour décrire les cartes électroniques de manière précise mais nécessite des temps de calculs importants .

HFSS est un logiciel qui calcule le comportement électromagnétique d'une structure, pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des outils d'interprétation post-traitement. Il effectue une modélisation électromagnétique par résolution des équations de Maxwell à l'aide de la méthode des éléments finis . Le principe de la méthode utilisée consiste à diviser l'espace d'étude en un grand nombre des petites régions (tétraèdres), puis à calculer lo-

calement le champ électromagnétique dans chaque élément. En d'autre terme, les étapes de la FEM sont :
- Discrétisation en éléments finie de la région de résolution.
- Discrétisation des équations pour chaque élément.
- Assemblage de tous les éléments dans la région de résolution.
- Résolution du système d'équation.
HFSS utilise une méthode d'interpolation combinée avec un processus itératif dans lequel un maillage est créé et automatiquement redéfini dans les régions critiques. Le simulateur génère une solution basée sur le maillage initial prédéfini. Ensuite, il affine le maillage dans les régions ou il existe une haute densité d'erreurs, et génère une nouvelle solution . Le calcul des paramètres (S11 par exemple) de la structure hyperfréquence suit les étapes suivantes :
- Division de la structure en un nombre fini d'éléments.
- Excitation de chaque port de la structure avec une onde se propagent le long d'une structure guide d'onde uniforme ou d'une ligne de transmission qui possède la même section que le port.
- Calcul de la configuration total du champ électromagnétique à l'intérieur de la structure.[1]

3.2.1 Un projet en HFSS

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

1-Le Project Manager

Contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet. [5]

2-Le Message Manager

Permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.[5]

3-La fenêtre de Propretés

Pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle. [5]

4-La fenêtre de Progress

Affiche les progressions de la solution. [5]

5-La fenêtre de 3D Modeler

Contient le modèle et son arbre pour la conception active L'organigramme suivant résume la fenêtre principale du logiciel HFSS :[5]

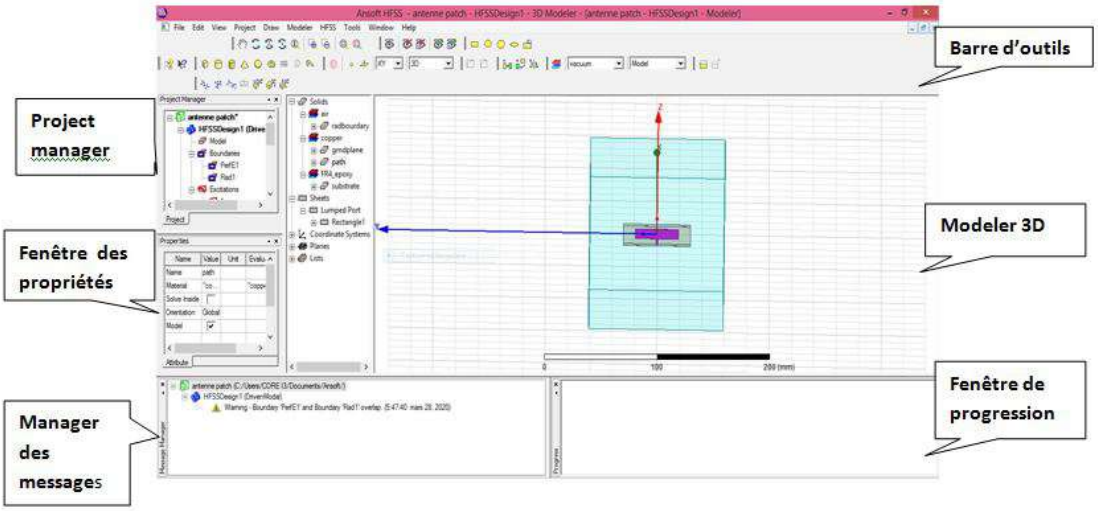


FIGURE 3.1: La fenêtre principale du logiciel HFSS

3.2.2 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.



FIGURE 3.2: Logiciel hfss

3.2.3 Comment ouvrir un nouveau projet

Quand vous commencez HFSS v 13, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé project1 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 Project.

3.2.4 Sauvegarder le projet

Sur le menu fichier, cliquer Save As, employer le navigateur de dossier pour localiser la dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme (C :\ Ansoft\HFSS 13\ Projects), et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer Save.

3.2.5 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.

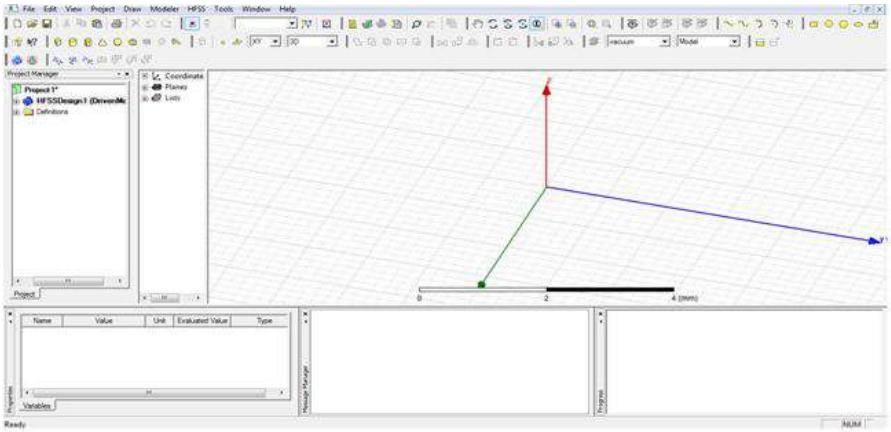


FIGURE 3.3: Fenêtre de HFSS

3.2.6 Les Etapes pour crée un antenne patch microstrube

-Crée le substrat :

Pour crée le substrat cliquer dans barre d'outils et dessiner de box . En utilisant les positions et des dimensions de cette dernier comme montré de cette figure suivante :

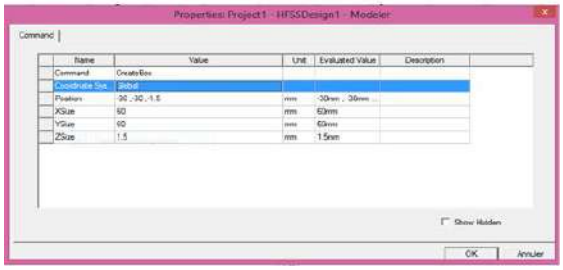


FIGURE 3.4: Les positions et des dimensions de substrat

On place le nom et choisir la matière de substrat : - Choisir la case attribut a de la fenêtre particulière
- Pour la valeur du type Name : substrate
- Pour la valeur du type material : $\ll FR4_epoxy \gg$
- Cliquer sur le bouton OK

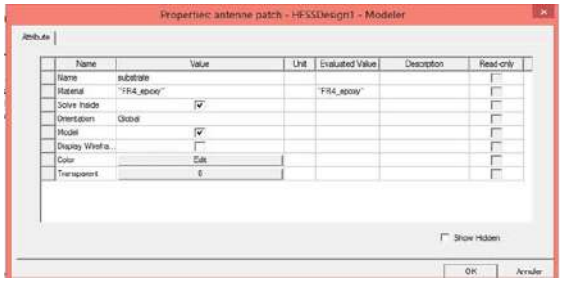


FIGURE 3.5: Comment choisir le nom et la matière de substrat

- On va obtenir de cette figure le substrat diélectrique :

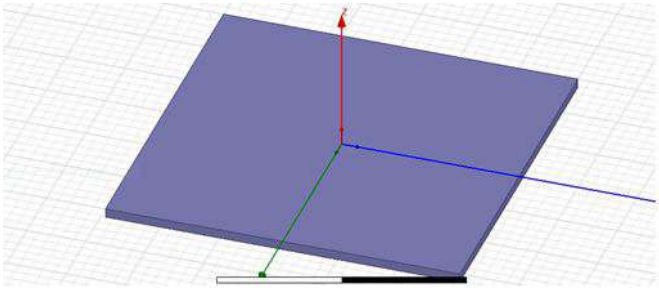


FIGURE 3.6: Substrat diélectrique

-Création de plan de masse (Grandplaine) :

On choisi les cases proprités :
- Pour la valeur du type Name : grandplaine
- Pour valeur Materiel : Vacuum \ Edit \ Copper
- Cliquer sur bouton OK
- Indiquer les dimension de plan de masse comme cette figure :

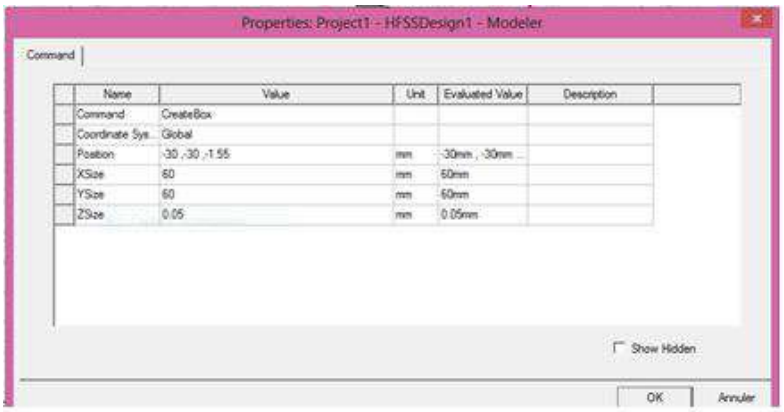


FIGURE 3.7: Dimension de plan de masse

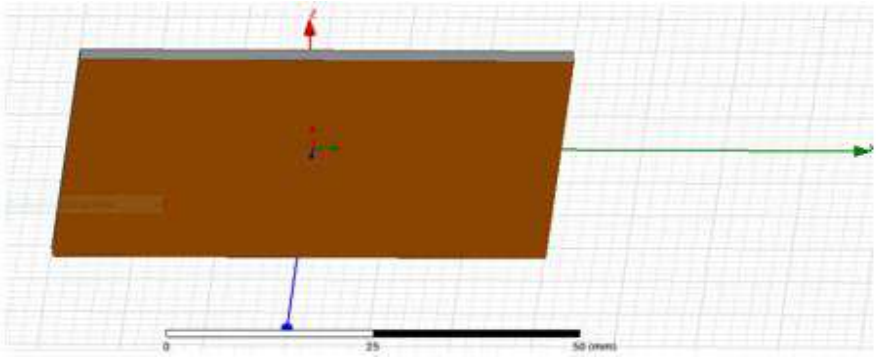


FIGURE 3.8: Plan de masse

-Création du patch (l'élément rayonnant) et la ligne micro ruban d'alimentation (feed line) :

D'abord on clique sur la barre d'outils pour créer le patch . Ensuite ,on retrait le box de même espace et entrée les positions et les dimensions de cette dernier comme apparait dans la Figure ci-dessous :

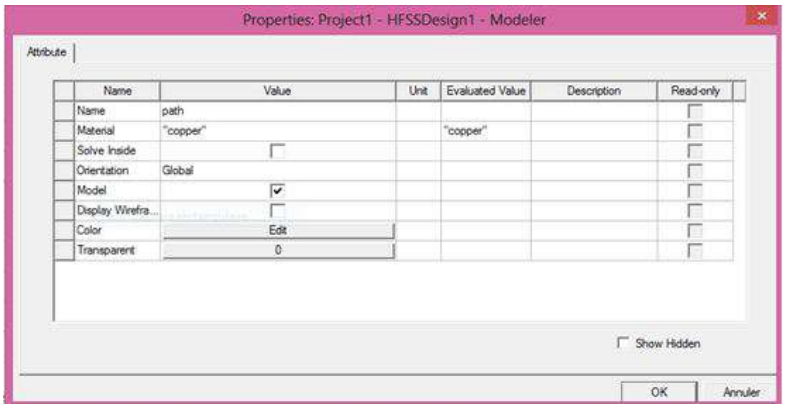


FIGURE 3.9:

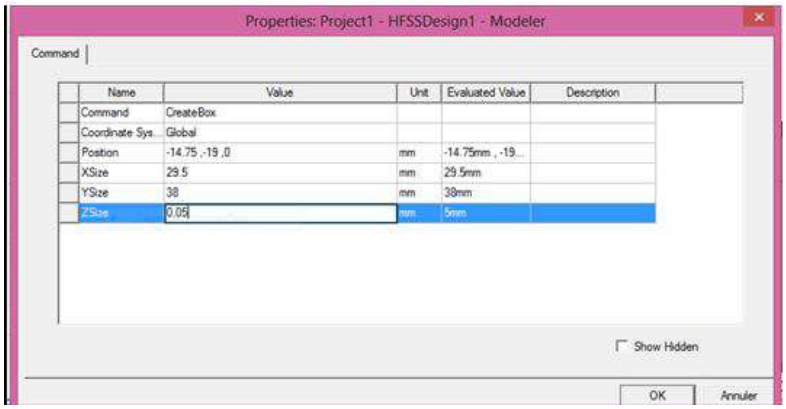


FIGURE 3.10: Dimension de patch

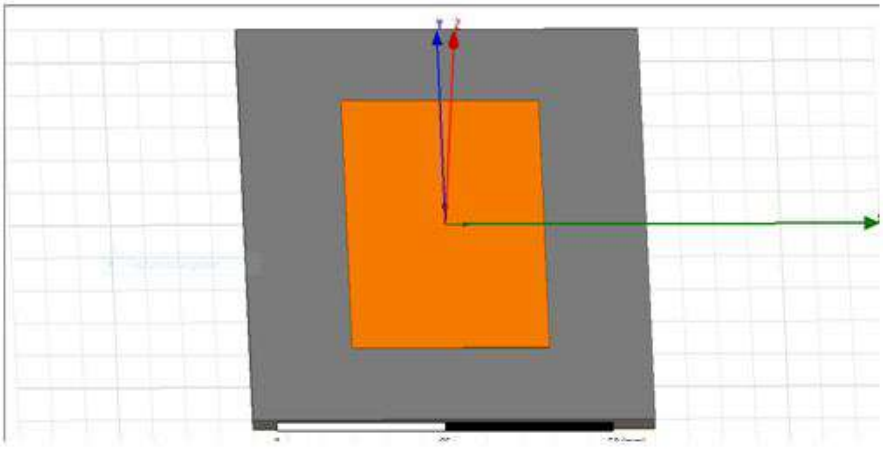


FIGURE 3.11: la ligne micro ruban d'alimentation (feed line)

Après dessiner la ligne micro ruban d'alimentation (feed line) en crée le box et choisir :
- Pour La valeur de type Name :(feed)
- pour la valeur matrial : vaccum
- cliquer sur le bouton OK

La longueur de ligne d'alimentation de plan(X=19mm),et plan (y= 2mm) et la hauteur (z=0.05). La ligne d'alimentation et patch doivent représentés un seul objet donc cliquer sur les deux objet (patch et feed ligne) et cliquer sur modèle \ Boolean\ Unite comme suit :

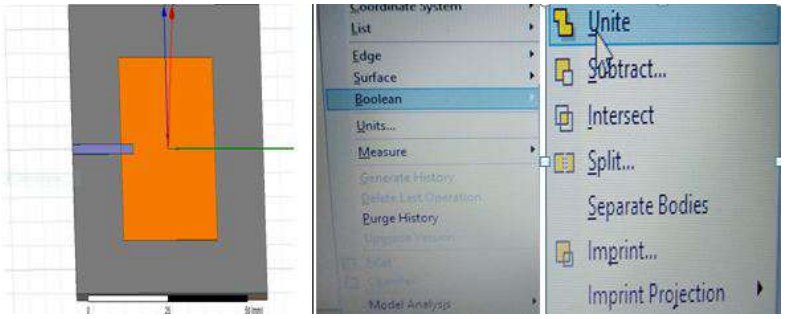


FIGURE 3.12: L'intersection entre le patch et ligne d'alimentation

-Création du port (Lumped port) :

On doit crée le port de guide d'onde particulier au début de la ligne d'alimentation. pour dessiner le port clique sur rectangle dans la barre d'outils. Comme apparue de figure ci -dessous :

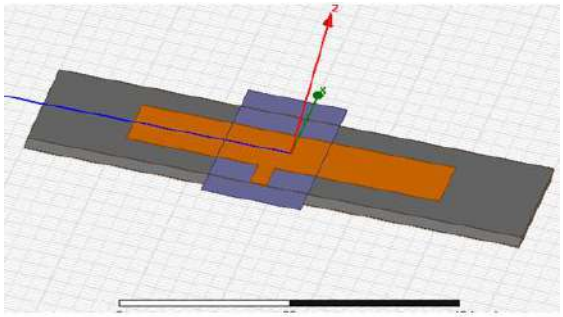


FIGURE 3.13: Le port (lumed port)

- pour dessiner le port on cliquer a droite et choisir Assing Exitation \ port

Lumped .D'après le dossier le rectangle on indiquer les données suivantes comme montré de cette figure :

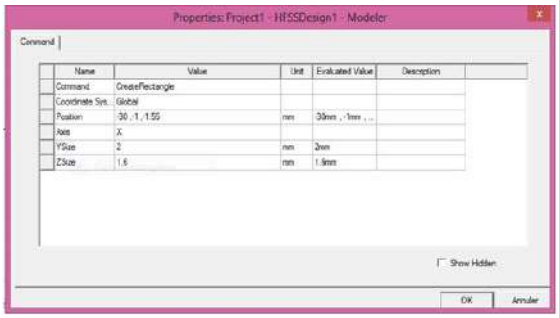


FIGURE 3.14: Le port dans de plan

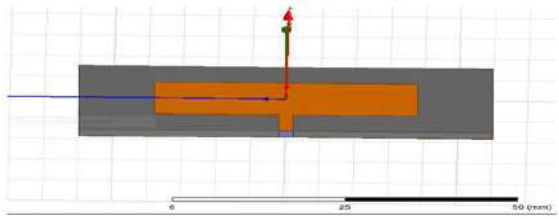


FIGURE 3.15: Le port dans le ligne d'alimentation

Qui donne :

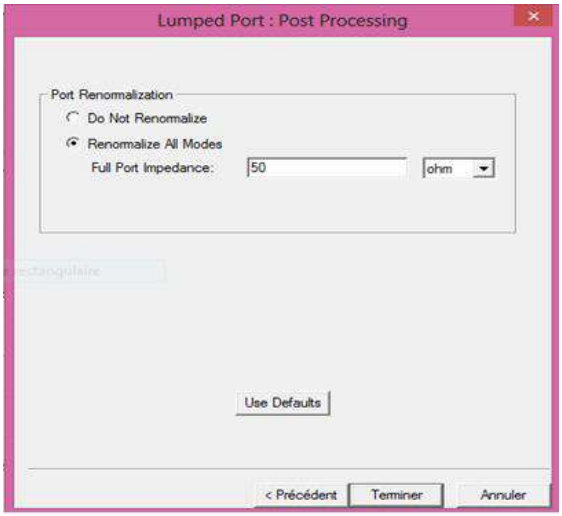


FIGURE 3.16:

-Création la boite d'air :

Pour dessiner la boite d'air on faire les mêmes étapes precedament avec position (-60,-60,-60) Et pour plan (X=120),plan (y=120),plan(z=120) .on trouve cette figure ci-dessous :

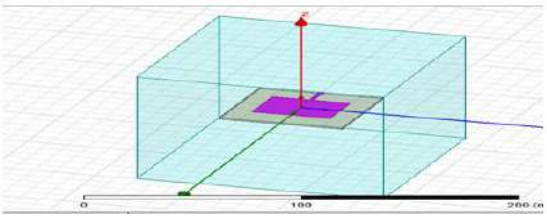


FIGURE 3.17: Le boiter d'air

- Assignement le type de condition de Radiation :

il consiste deux type (bounderies) : - pour le patch et la ligne d'alimentation pour transformateur le champ adaptée , on choisir dans le menu HFSS \ assign boundary \ perfect E

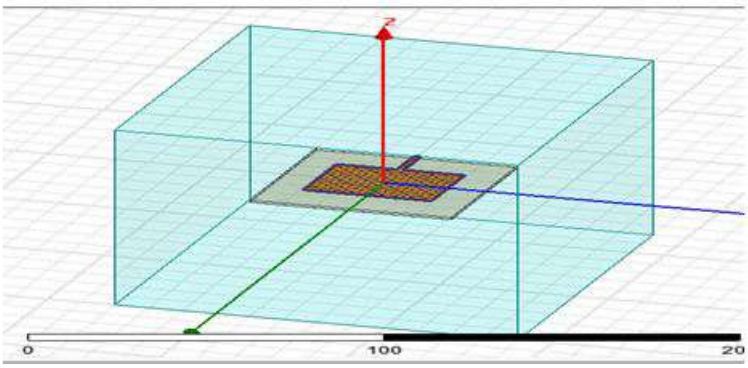


FIGURE 3.18: Assignement de radiation pour le patch et la ligne d'alimentation

- Pour air choisir dans le menu HFSS bouderies Assigne \radiation

-Installation d'analyse (analysis setup) :

- Choisir « Add solution setup »dans le menu : HFSS Analysis Setup Add solution setup - La fenêtre de solution setup - Cliquer sur la case Générale - Cliquer sur bouton OK

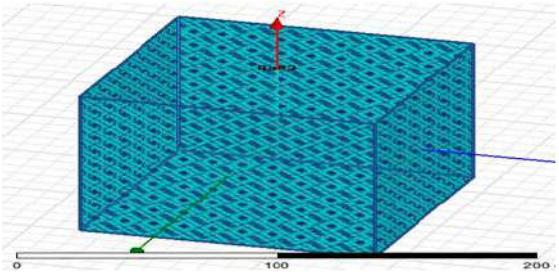


FIGURE 3.19: Assignement de radiation pour l'air

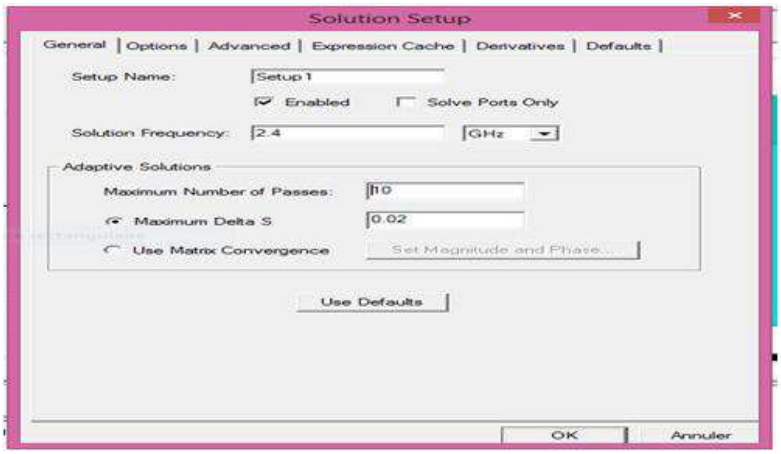


FIGURE 3.20:

-Ajouter le champ de fréquence (add frequency sweep) :

Pour ajouter un champ de fréquence cliquer sur HFSS \ Analysis setup \ Add frequency sweep puis choisi la solution : setup1. Cliquer le bouton OK . Voila

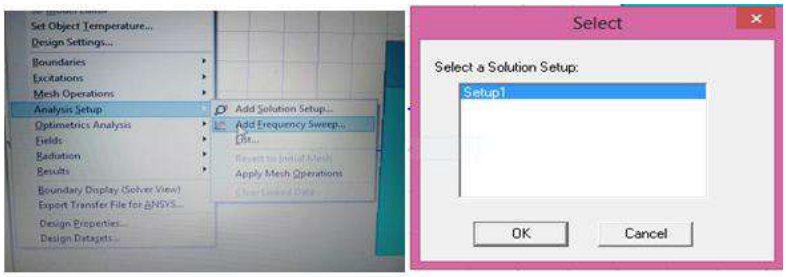


FIGURE 3.21:

cette fenêtre du type de champ de frequence :

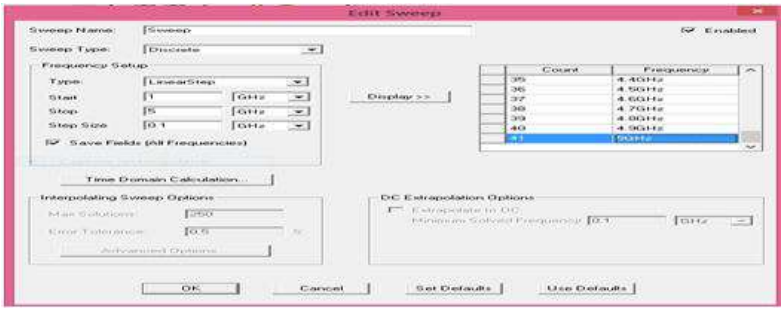


FIGURE 3.22:

-Analyse et validation :

- Pour valide le modèle : 1 - Cliquée sur HFSS\ Validation\Check 2 - Cliquer sur le bouton close

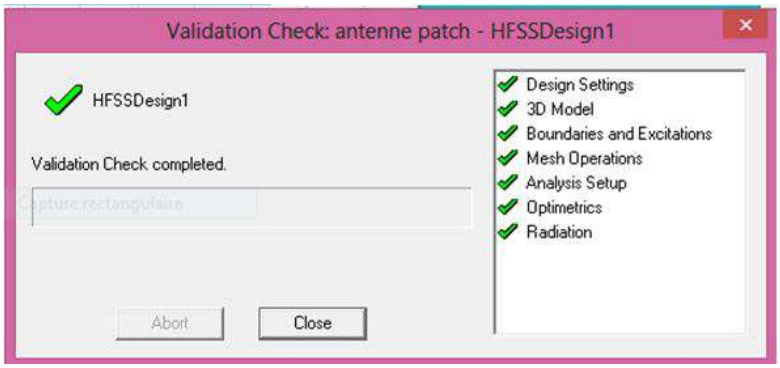


FIGURE 3.23:

Après cette conformation on vas exécuter par cliquer sur HFSS \ Analyse All

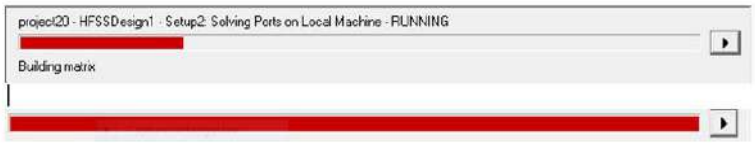


FIGURE 3.24:

-Créations des rapports :

D'après la simulation on va crée le rapport de données de solution par : HFSS \ Results \create modal solution

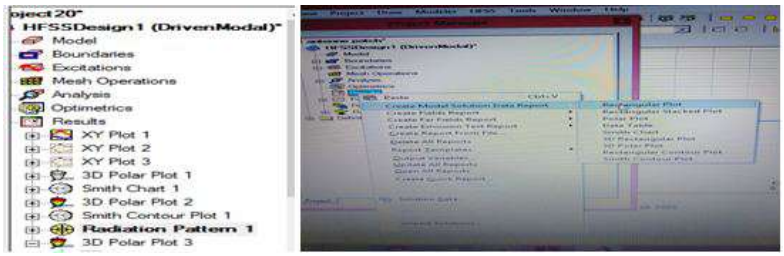


FIGURE 3.25: Création des rapports

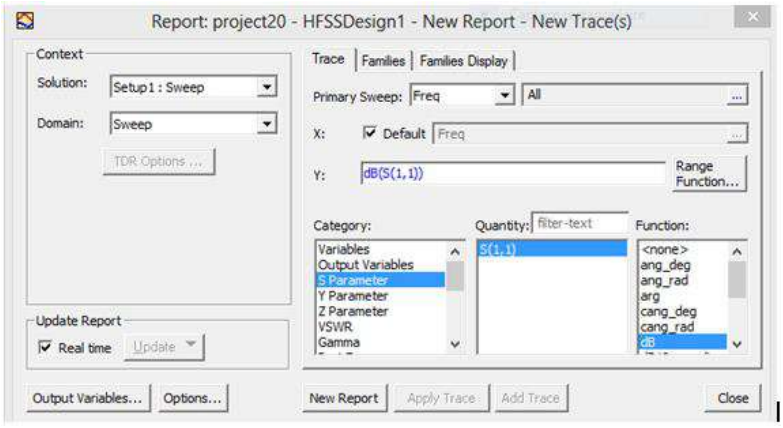


FIGURE 3.26:

-le paramètre S(1,1) :

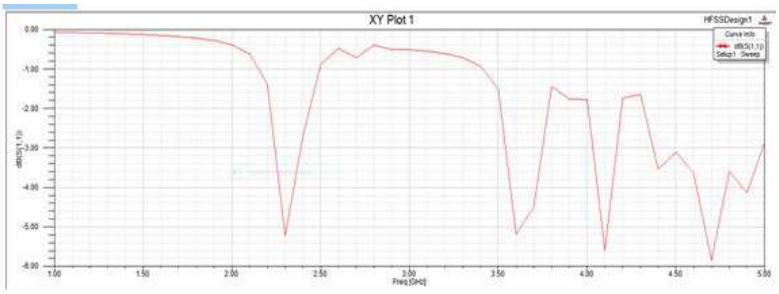


FIGURE 3.27: Parametre S(11)

- Le gain : Pour obtenir le gain en 3D Cliqué sur résulte\ create far fields report \ 3D polar plot :

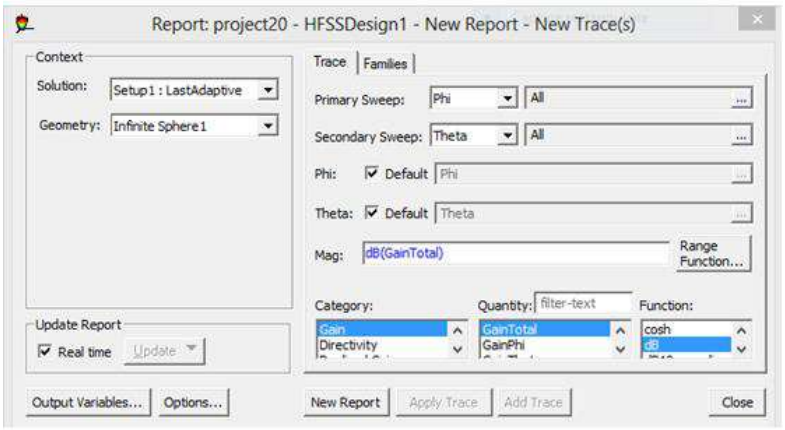


FIGURE 3.28:

La résultat est la suivantes :

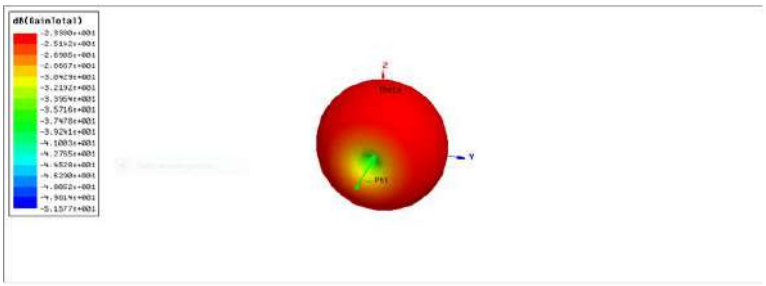


FIGURE 3.29: Le gain en 3D

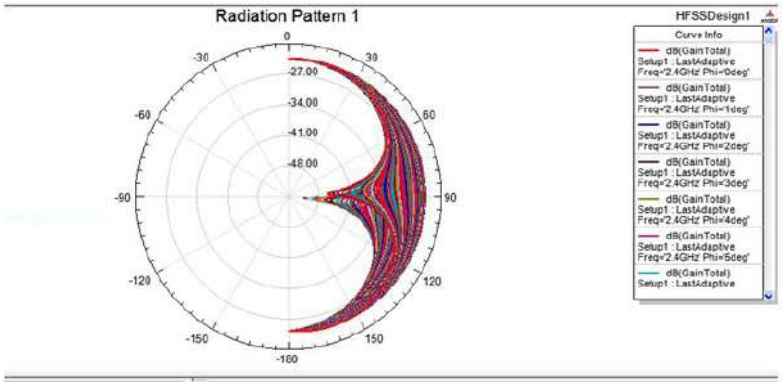


FIGURE 3.30:

- Directivité : On suivre le mêmes étapes précédent et on obtient :

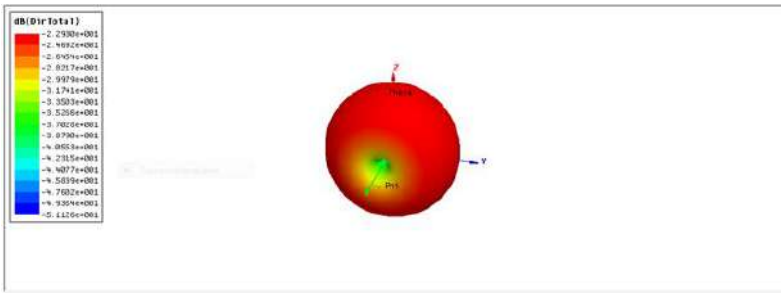


FIGURE 3.31: La directivité

.

Chapitre 4

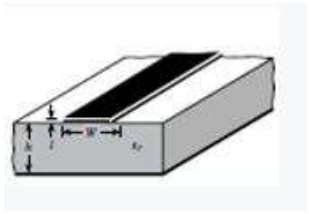
Méthodes de modélisation des antenne imprimées

4.1 Introduction

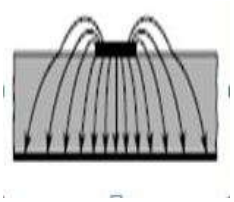
Le patch rectangulaire est de loin la configuration la plus utilisée. Il est très facile d'analyser en utilisant à la fois les modèles de ligne de transmission et de cavité, qui sont les plus précis pour les substrats minces on va les discuter dans ce chapitre et on va déterminer les dimension de l'antenne.

4.2 Modèle de ligne de transmission

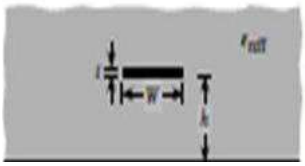
Il a été indiqué plus tôt que le modèle de ligne de transmission est le plus simple de tous mais il donne le moins des résultats précis et il manque la polyvalence. Cependant, cela apporte un aperçu physique. une antenne rectangulaire à micro ruban peut être représenté comme un réseau de deux ouvertures étroites rayonnantes (fentes), chacune de largeur W et de hauteur h, séparés par une distance L. Fondamentalement, le modèle de ligne de transmission représente l'antenne micro ruban par deux fentes, séparées par une ligne de transmission à faible impédance Zc de longueur L. [6]



Ligne micro ruban



Lignes de champ électrique



Constante diélectrique efficace

FIGURE 4.1: Ligne micro ruban et ses lignes de champ électrique, et géométrie constante diélectrique efficace.

Pour les basses fréquences, le constant diélectrique effectif est essentiellement constante. Aux fréquences intermédiaires ses valeurs commencent à augmenter de façon monotone et finissent par se rapprocher des valeurs du diélectrique constante du substrat. Les valeurs initiales (à basses fréquences) de la constante diélectrique effective sont appelés les valeurs statiques, et ils sont donnés par :

$W/h > 1$

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}[1 + 12\frac{h}{W}]^{-\frac{1}{2}} \tag{4.1}$$

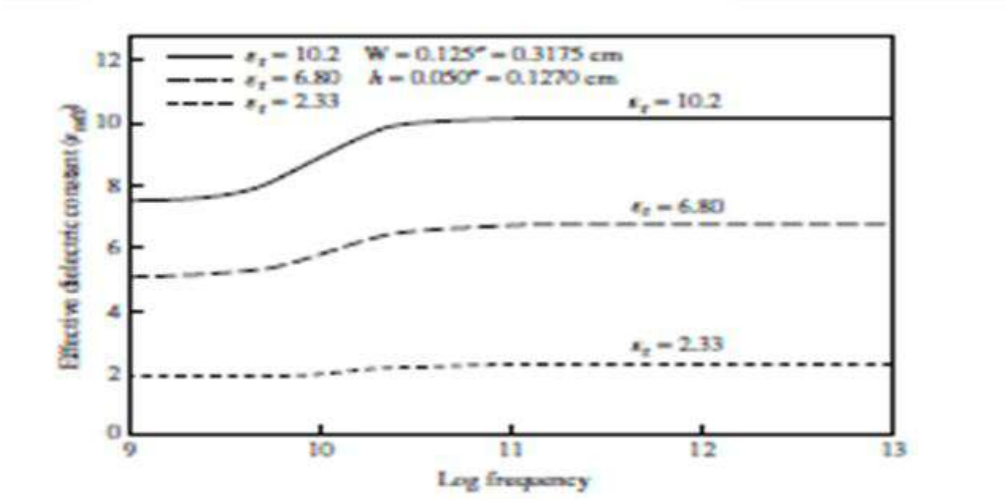
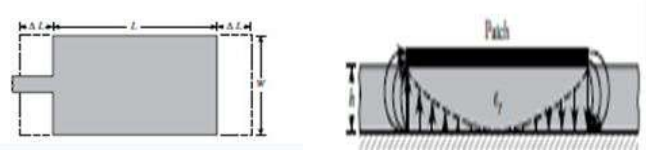


FIGURE 4.2: Constante diélectrique efficace en fonction de la fréquence pour des substrats typiques



Vue de dessus Vue latérale

FIGURE 4.3: Longueurs physiques et efficaces du patch micro ruban rectangulaire.

- Longueur effective, fréquence de résonance et largeur effective

En raison des effets de franges, le patch de l'antenne micro ruban semble électriquement supérieur à ses dimensions physiques. Pour le plan E principal (plan xy), cela est illustré à la (figure 4.3) où les dimensions du patch sur sa longueur ont été étendues à chaque extrémité d'une distance ΔL, qui est fonction de la constante diélectrique effective ε_{reff} et du rapport largeur / hauteur (W / h). Une relation approximative très populaire et pratique pour l'extension normalisée de la longueur est :[6]

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412\frac{(\varepsilon_{reff}+0.3)(\frac{W}{h}+0.264)}{(\varepsilon_{reff}-0.258)(\frac{W}{h}+0.8)} \tag{4.2}$$

Comme la longueur du patch a été allongée deΔL de chaque côté, la longueur effective du patch est maintenant ($L = \frac{\lambda}{2}$ pour le mode $TM010$ dominant sans franges) .

$$L_{eff} = 2 + 2\Delta L \tag{4.3}$$

Pour le mode TM010 dominant, la fréquence de résonance de l'antenne microruban est fonction de sa longueur. Il est généralement donné par :

$$f_{(re)010} = q\frac{V_0}{2L\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{4.4}$$

ou :$q = \frac{f_{(re)010}}{f_{(r)010}}$
avec V_0 :vitesse de la lumiere.

Le facteur q est appelé facteur de frange (facteur de réduction de longueur). Comme la hauteur du substrat augmente, la frange augmente également et conduit à de plus grandes séparations entre les bords rayonnants et fréquences de résonance inférieures. La fréquence de résonance conçue, basée sur la frange, est plus faible car patch semble plus long, comme indiqué dans la figure 2. La diminution de la fréquence de résonance due à la frange est généralement 2 à 6% C. Conception

Sur la base de la formulation simplifiée qui a été décrite, une procédure de conception est décrite qui conduit à des conceptions pratiques d'antennes microruban rectangulaires. La procédure suppose que la valeur spécifiée les informations comprennent la constante diélectrique du substrat (ε_r), la fréquence de résonance (fr), et la hauteur du substrat h. La procédure est la suivante : Spécifier :[6]

- Détermination de "W" et "L" :

Procédure de conception :

1. Pour un radiateur efficace, une largeur pratique qui conduit à de bonnes efficacités de rayonnement est :

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\eta_0\varepsilon_e}}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r+1}} \tag{4.5}$$

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\varepsilon}_{reff}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} - 2\Delta L \tag{4.6}$$

$$L \simeq (0.47-0.49)\frac{Y_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} = (0.47-0.49)\lambda d \tag{4.7}$$

ε_r :permittivité relative.
ε_e : permittivité effective.
h :la hauteur du substrat.
W :la largeur du substrat.
Où λd est la longueur d'onde dans le diélectrique. Plus la constante diélectrique du substrat est petite, plus la frange est grande ; ainsi, la longueur du patch microruban est plus petite. En revanche, plus la constante diélectrique, plus les champs sont étroitement maintenus à l'intérieur du substrat ; ainsi, la frange est plus petit et la longueur est plus longue et plus proche de la demi-longueur d'onde dans le diélectrique.
-Conductance :
Chaque fente rayonnante est représentée par une admittance équivalente parallèle Y (avec conductance G et susceptance B).

$$y_1 = G_1 + jB_1 \tag{4.8}$$

où pour une fente de largeur finie W :

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0}[1 - \frac{1}{24}(K_0h)^2] \tag{4.9}$$



Patch rectangulaire Équivalent du modèle de transmission

FIGURE 4.4: Patch microruban rectangulaire et son modèle de ligne de transmission de circuit équivalent

avec : $\frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0}[1 - 0.636\ln(K_0 h)] \tag{4.10}$$

avec : $\frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$

son admission équivalente est :

$Y2 = Y1, G2 = G1, B2 = B1$

La conductance d'un seul slot peut également être obtenue en utilisant l'expression de champ dérivée par le modèle de cavité. En général, la conductance est définie comme :

$$G_1 = \frac{2P_{rad}}{|V_0^2|} \tag{4.11}$$

le champ électrique de la puissance rayonnée s'écrit comme :

$$P_{rad} = \frac{|V_0^2|}{2\pi} \tag{4.12}$$

Par conséquent, la conductance peut être exprimée comme :

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \tag{4.13}$$

le champ électrique de la puissance rayonnée s'écrit comme :

$$P_{rad} = \frac{|v_0^2|}{2\pi\eta_0}\int_0^x [\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2}\cos\theta)}{\cos\theta}]^2 \sin^3\theta d\theta \tag{4.14}$$

Résistance d'entrée résonante :

L'admittance totale à l'emplacement 1 (admission d'entrée) est obtenue en transférant l'admittance de l'emplacement 2 des bornes de sortie aux bornes d'entrée en utilisant l'équation de transformation d'admittance de lignes de transmission .

Idéalement, les deux créneaux devraient être séparés par $\frac{\lambda}{2}$ où λ est le longueur d'onde dans le diélectrique (substrat). Cependant, en raison des franges, la longueur du patch est électriquement plus longue que la longueur réelle. Par conséquent, la séparation réelle des deux fentes est légèrement inférieur à $\frac{\lambda}{2}$, $0,47\lambda < L < 0,49\lambda$), l'admittance transformée de l'emplacement 2 devient :
$\bar{Y}2 = \bar{G}2 + \mathrm{j}\bar{B}\ 2 =$ G1 - jB1
$\bar{G}2 =$ G1
$\bar{B}2$=-B1
Par conséquent, l'admittance d'entrée résonnante totale est réelle et est donnée par :
Yin=Y1+$\bar{Y}$2=2G1
Puisque l'admittance d'entrée totale est réelle, l'impédance d'entrée résonante est également réelle, ou :

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_{in} = \frac{1}{2G_1} \tag{4.15}$$

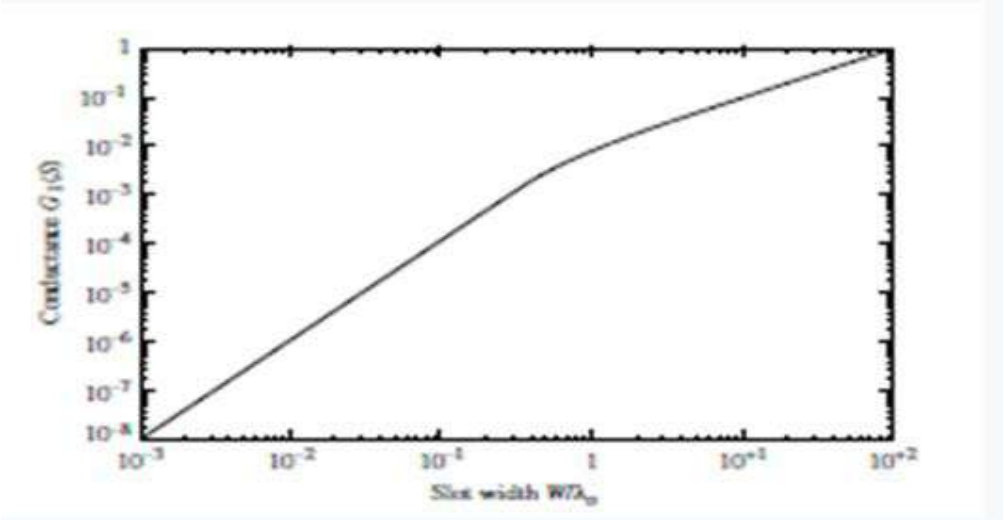


FIGURE 4.5: Conductance des fentes en fonction de la largeur des fentes

La résistance d'entrée résonnante, donnée par :

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \tag{4.16}$$

$$G_{12} = \frac{1}{|V_0^2|} Rc \int\int E_1 H_2' ds \tag{4.17}$$

Où E1 est le champ électrique rayonné par la fente 1, H2 est le champ magnétique rayonné par la fente 2, V0 est la tension aux bornes de la fente, et l'intégration

est effectuée sur une sphère de grand rayon. Ça peut être a montré que G12 peut être calculé en utilisant :

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^x [\frac{\sin \frac{K_0 W}{2} cos\theta}{\cos\theta}]^2 j_0(K_0 L \sin\theta) \sin^3\theta d\theta \tag{4.18}$$

Une autre expression approximative de l'impédance d'entrée, R_{in}, pour un patch résonnant est :

$$R_{in} = 90 \frac{(\varepsilon_r)^2}{\varepsilon_r - 1} (\frac{L}{W}) \tag{4.19}$$

4.3 Le modèle de la cavité

Il existe une analogie de fonctionnement entre les antennes imprimées et les antennes filaires : les distributions de courants qui génèrent le champ rayonné sont imposées par des modes résonnants. Dans le cas des antennes filaires, il s'agit de modes stationnaires à une dimension, dans le cas des antennes imprimées, il s'agit de modes stationnaires à trois dimensions.Dans le modèle de la cavité, on identifie l'antenne imprimée à une cavité résonnante dans laquelle on est capable de mettre en évidence les modes qui peuvent s'installer. Chaque mode conduit à une distribution de courant sur le patch, et le diagramme de rayonnement peut être calculé en faisant rayonner ces courants. La nature des modes dépend de la forme du patch. Nous allons développer un modèle pour un patch rectangulaire, mais l'étude analytique peut être menée pour des patchs ayant la forme d'un disque ou d'un anneau, voire des formes plus exotiques Un patch rectangulaire sera assimilé à une cavité ayant deux murs électrique parfaits (qui correspondent aux surfaces parfaitement conductrices), et quatre murs magnétiques parfaits (Figure) :[1]

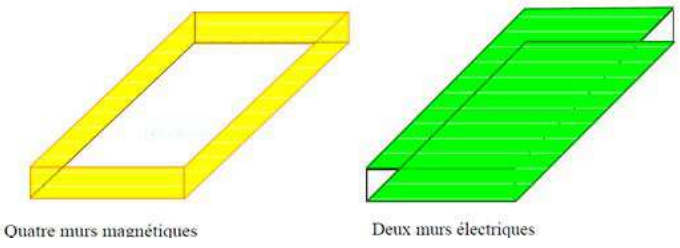


FIGURE 4.6: Patch rectangulaire assimilé à une cavité de murs électrique et magnétique

Afin de permettre une mise en équation des modes stationnaires, la cavité

est placée dans un repère (O,x,y,z) et présente les dimensions suivantes : a suivant l'axe des x, b suivant l'axe des y, h suivant l'axe des z .

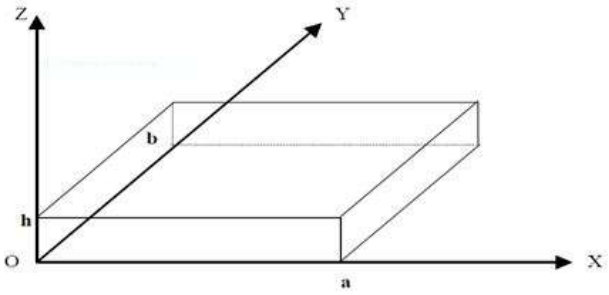


FIGURE 4.7: Représentation de la cavité dans un repère (O , x, y, z)

De plus, la condition $h << \lambda$ indique que le champ électromagnétique ne varie quasiment pas sur la hauteur h. En rassemblant ces conclusions, le champ électrique interne à la cavité ne peut être orienté que suivant Oz, et doit être constant sur une ligne de champ entre les deux plans parfaitement conducteur (car les lignes de champ sont parallèles). Nous désignerons donc le champ électrique interne à la cavité, porté par la direction Oz par :[1]

$$E_Z(X,Y) = A\cos(\frac{m\pi}{a}X)\cos(\frac{n\pi}{b}Y) \tag{4.20}$$

Les composantes de champ magnétiques s'obtiennent à partir de la relation :

$$B_x(X,Y) = A\frac{n\pi}{jwb}\cos(\frac{m\pi}{a}X)\sin(\frac{n\pi}{b}Y) \tag{4.21}$$

$$B_Y(X,Y) = -A\frac{m\pi}{jwa}\sin(\frac{m\pi}{a}X)\cos(\frac{n\pi}{b}Y) \tag{4.22}$$

la fréquence de fonctionnement de l'antenne :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\varepsilon\mu}}\sqrt{(\frac{m\pi}{a})^2 + (\frac{m\pi}{a})^2} \tag{4.23}$$

Quel que soit le mode utilisé, il est utile de représenter l'allure des champs électriques et magnétiques, ainsi que l'allure du courant sur le patch. Nous proposons de donner une représentation de ces éléments dans le cas du mode fondamental (1, 0, 0). En remplaçant les valeurs de m = 1 et n = 0 dans l'expression des champs et en choisissant arbitrairement la constante A = 1, on obtient :

$$E_Z(X,Y) = \cos(\frac{\pi}{a}x) \tag{4.24}$$

$$B_X(X,Y) = 0 \tag{4.25}$$

$$B_Y(X,Y) = j\frac{\pi}{wa}\sin(\frac{\pi}{a}X) \tag{4.26}$$

Les figures suivantes donnent une représentation des champs et courants sur le mode fondamental.

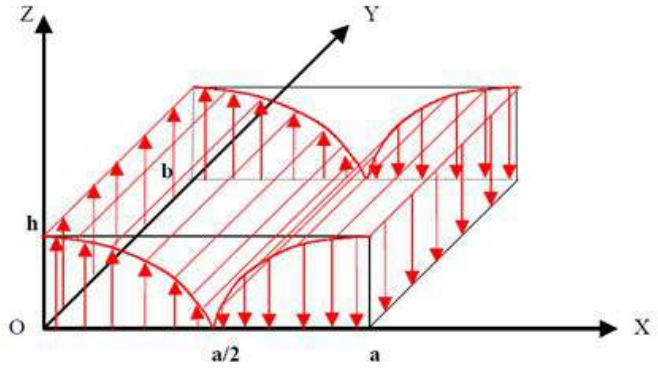


FIGURE 4.8: Représentation du champ électrique dans la cavité sur le mode $TM_{1,0,0.}$

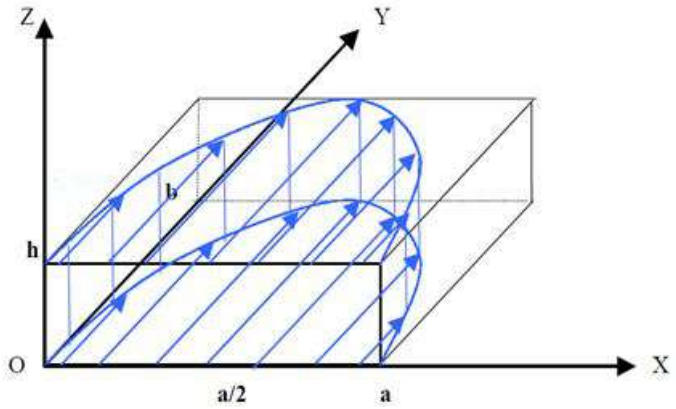


FIGURE 4.9: Représentation du champ magnétique dans la cavité sur le mode $TM_{1,0,0.}$

Les courants à la surface du patch sont donnés par la relation :

$$\bar{j} = \vec{n} \wedge \vec{H} = \vec{U}_Z \wedge \frac{\vec{B}}{\mu} \tag{4.27}$$

soit donc :

$$\vec{j}(x,y) = j\frac{\pi}{w\mu a}\sin(\frac{\pi}{a}X)\vec{U}_X \tag{4.28}$$

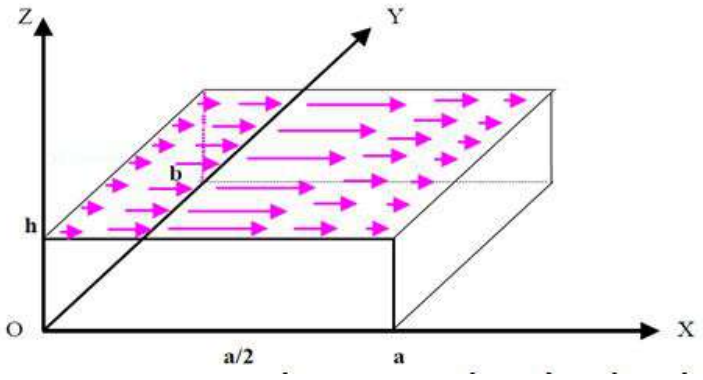


FIGURE 4.10: Représentation des courants sur le patch sur le mode $TM_{1,0,}$

4.3.1 Le champ rayonné

De cette répartition de courant, on peut déduire le champ lointain rayonné par l'antenne. Il existe plusieurs manières de faire un calcul analytique du champ rayonné. Nous allons en présenter deux, une très simple, mais valide uniquement lorsque la permittivité relative du diélectrique est égale à 1 (le diélectrique est assimilé à l'air), une autre un peu plus complexe, mais applicable avec n'importe quelle permittivité relative.

4.3.2 Rayonnement des courants électriques (ε= 1) :

Si ces courants rayonnent dans l'espace libre, on peut obtenir le champ rayonné par application de l'intégrale de rayonnement. Le plan de masse sera pris en compte en appliquant le théorème des images. Dans un premier temps, nous calculons le champ lointain rayonné en espace libre au point P repéré par ses coordonnées polaire .[1]

$$\vec{E}(p) = \frac{jk}{4\pi}\eta\psi(r)\int\int_S (\vec{j}(x,y)) \wedge \vec{E}\exp^{jk\vec{OM}}\,dS \tag{4.29}$$

- S représente la surface du patch sur laquelle on trouve les courants.
- $\eta\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi$est l'impédance d'onde du vide.
- $K^2 = W^2\varepsilon_0\mu_0 = \frac{W^2}{c^2}$

- $\vec{U}$ un vecteur unitaire dans la direction de propagation.
- $\vec{k} = k\vec{U}$ est le vecteur d'onde.

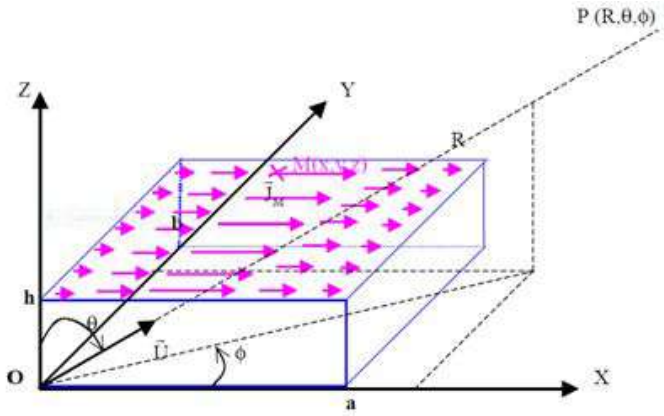


FIGURE 4.11: Représentation du référentiel et des coordonnées pour le calcul du champ lointain rayonné par les courants.

On représente souvent le diagramme de rayonnement dans deux plans principaux pour Les quels la polarisation de l'onde est parfaitement déterminée.

a) Diagramme de rayonnement dans le plan E :

Il s'agit du plan d'angle égale a 0. Dans ce plan, la polarisation est portée par le vecteur u (vecteur champ électrique est contenu dans le plan E). et on a V =0 et$W = k\sin\theta$, d'où l'expression simplifiée du champ rayonné dans le plan E, dans laquelle la constante C a été modifiée pour prendre en compte tous les termes constants qui sont apparus :

$$\vec{E}(p)_{planE} = C\sin(kh\cos\theta)(\frac{\exp^{jka\sin\theta}+1}{(\cos\theta)^2})(\cos\theta\vec{U}_\theta) \tag{4.30}$$

La condition qui exprime le fait que la hauteur du patch est très inférieure à la longueur d'onde permet d'introduire une ultime simplification :

h $<<$ λ implique

$$\sin(kh\cos\theta) \simeq kh\cos\theta \tag{4.31}$$

soit, en faisant absorber à la constante C tous les termes qui ne dépendent pas de θet en rappelant que : $k = \frac{\pi}{a}$:

$$\vec{E}(P)_{planE} = C(\exp^{jka\sin\theta}+1)\vec{U}_\theta = C'\exp^{\frac{j\pi\sin\theta}{2}}\cos(\frac{\pi\sin\theta}{2})\vec{U}_\theta \tag{4.32}$$

Le diagramme de rayonnement prend donc une expression particulièrement simple dans ce cas particulier :

$$E(\theta) = \left|\cos(\frac{\pi \sin\theta}{2})\right| \tag{4.33}$$

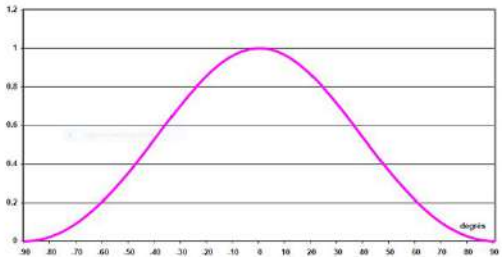


FIGURE 4.12: Représentation linéaire du diagramme de rayonnement du plan E en Champ

$$E_{dB}(\theta) = 10\log\left|\cos(\frac{\pi \sin\theta}{2})\right|^2 \tag{4.34}$$

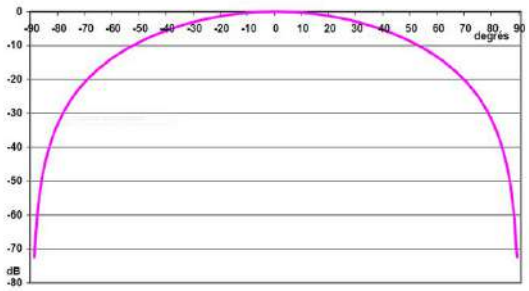


FIGURE 4.13: Diagramme de rayonnement du plan E en puissance.

b) Diagramme de rayonnement dans le plan H :

On $V = k\sin\theta$ et W = 0 d'où l'expression simplifiée du champ rayonné dans le plan H, dans laquelle la constante C a été modifiée une nouvelle fois pour prendre en compte tous les termes constants qui sont apparus :

$$\vec{E}(p)_{planH} = C\sin(kh\cos\theta)\frac{\exp^{jkbsin\theta} - 1}{\sin\theta}\vec{U}_{\phi} \tag{4.35}$$

On en déduit l'expression du diagramme de rayonnement en champ :

$$E(\theta) = \left| \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sin(\pi \frac{b}{2a} \sin\theta) \right| \tag{4.36}$$

qui peut se normaliser sous la forme :

$$E(\theta) = \left| \cos\theta \frac{\sin(\frac{\pi \sin(\theta) b}{2a})}{\frac{\pi \sin(\theta) b}{2a}} \right| \tag{4.37}$$

D'où l'expression du diagramme de rayonnement en puissance :

$$E_{dB}(\theta) = 10 \log \left| \cos\theta \frac{\sin(\frac{\pi \sin(\theta) b}{2a})}{\frac{\pi \sin(\theta) b}{2a}} \right|^2 \tag{4.38}$$

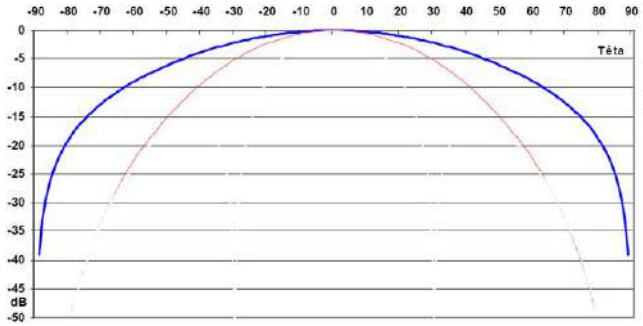


FIGURE 4.14: Diagramme de rayonnement du plan H en puissance : b/a = 1 ; b/a = 2 ; b/a = 4

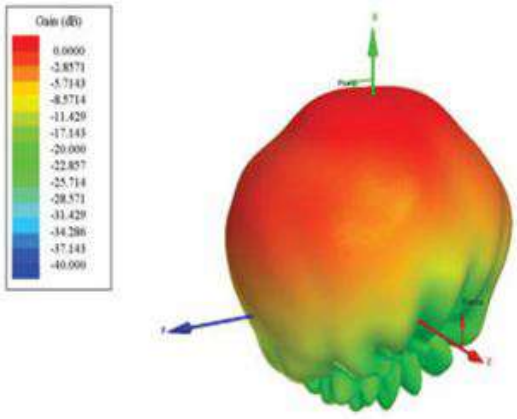


FIGURE 4.15: Diagramme de rayonnement 3D

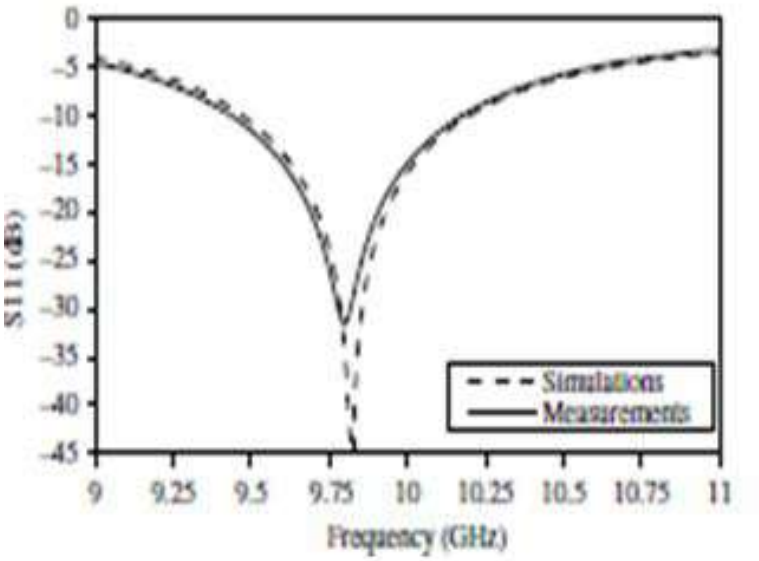


FIGURE 4.16: S11

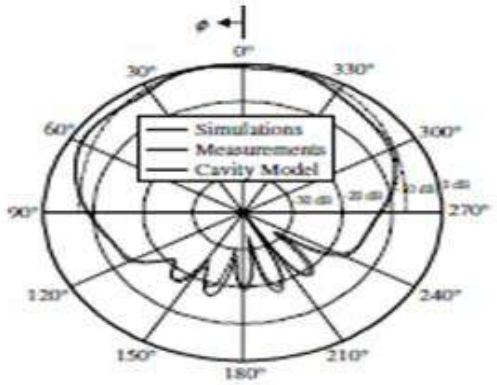


FIGURE 4.17: Diagramme de rayonnement dans plan E

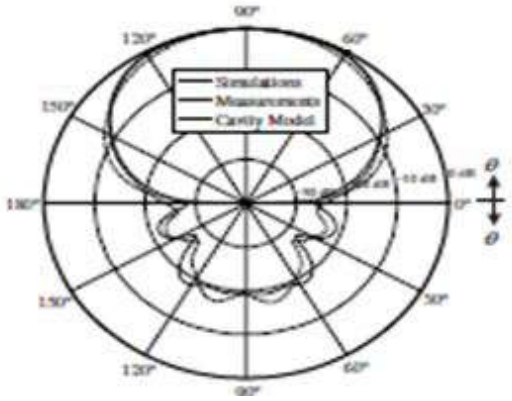
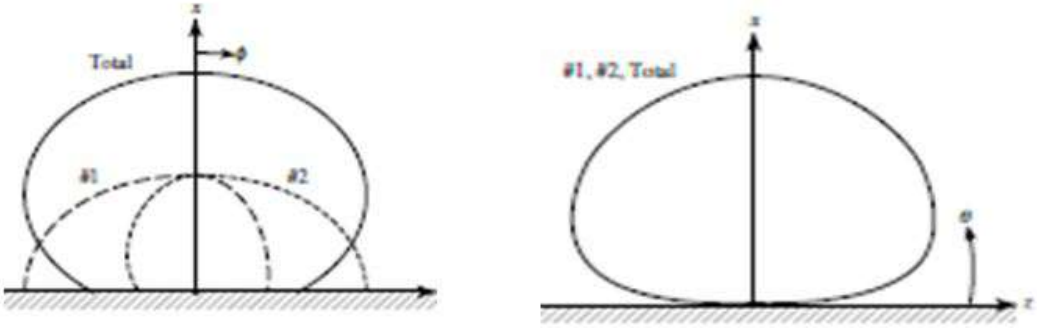


FIGURE 4.18: Diagramme de rayonnement dans plan H



Plan E Plan H

FIGURE 4.19: Schémas typiques des plans E et H (patterns) de chaque emplacement de patch microruban et des deux ensemble.

4.4 Comparaisons entre les deux modèles de modélisation :

Nous avons abordé les deux principaux modèles analytiques des antennes microruban, à savoir le modèle de ligne de transmission et le modèle de cavité. La comparaison des deux modèles est donnée au tableau suivant :[1]

TABLE 4.1: Comparaisons entre les deux modèles de modélisation

Application	Model de ligne de transmission	Modèle de cavité
Formes des plaques analysées	Rectangulaire seulement	Formes régulière
Épaisseur de substrat	mince	épais
Application au réseau	oui	non

4.5 Étude théorique :calcul des dimensions de l'antenne

La démarche adoptée pour déterminer les paramètres géométriques du motif imprimé s'articule autour des deux étapes suivantes : - Calcul de la permittivité effective (εr).en fonction de la largeur du motif W .
- Calcul de la longueur L du motif imprimé en fonction de la permittivité effective.
- calcul de la permittivité effective d'une ligne microstrip repose sur la largeur de la ligne et sur la hauteur du substrat :

$$\varepsilon e = (\frac{\varepsilon r + 1}{2}) + (\frac{\varepsilon r - 1}{2})(\frac{1}{\sqrt{1 + 10\frac{h}{W}}}) \tag{4.39}$$

Dans le cas d'un motif carré, la largeur de la ligne est demi-onde :

$$W = \frac{\lambda e}{2} = \frac{c}{2fr\sqrt{\varepsilon r}} \tag{4.40}$$

Les équations 1 et 2 sont liées. Ainsi W dépend de εe et εe de W . Dés lors il devient nécessaire de réaliser des récurrences jusqu'à convergence du résultat. Dans cette optique, après avoir fixé la fréquence de résonance.on peut la exprimer par le figure de tableau suivant :

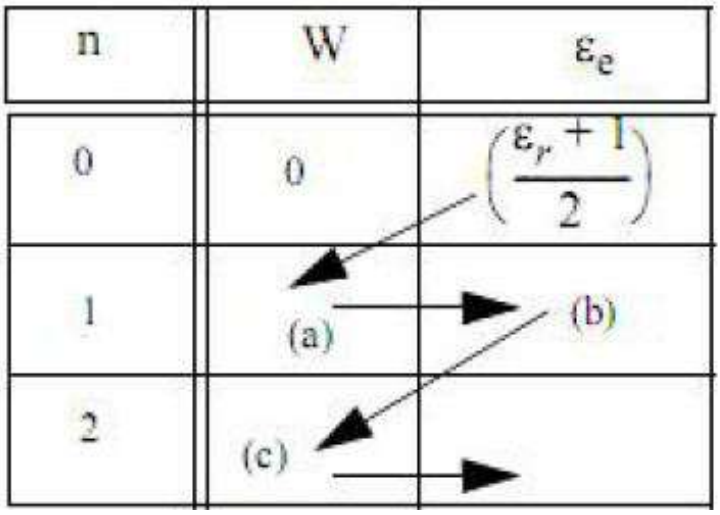


FIGURE 4.20: Calcul de la largeur du motif et de la permittivité effective.

n est l'ordre de récurrence. La première itération (case (a) du tableau) est complétée à partir de l'équation 1 dans laquelle W = 0 , soit$\varepsilon e = (\varepsilon r + 1)/2$. L'itération est stoppée quand l'écart entre deux longueurs est inférieur à la résolution que l'on peut obtenir vis à vis de nos possibilités de gravure. Cette étape est finalisée par l'écriture d'un programme en langage MATLAB calculant la largeur de l'antenne imprimée en fonction de la permittivité relative du substrat et de la fréquence de résonance comme exprimer dans l'annex. La longueur de l'antenne est légèrement inférieure à $\lambda e/2$:[7]

$$L = W - 2\Delta(L) = \frac{c}{2fr\sqrt{\varepsilon e}} \tag{4.41}$$

Avec ΔL obtenue à partir de l'abaque de la figure 1.3

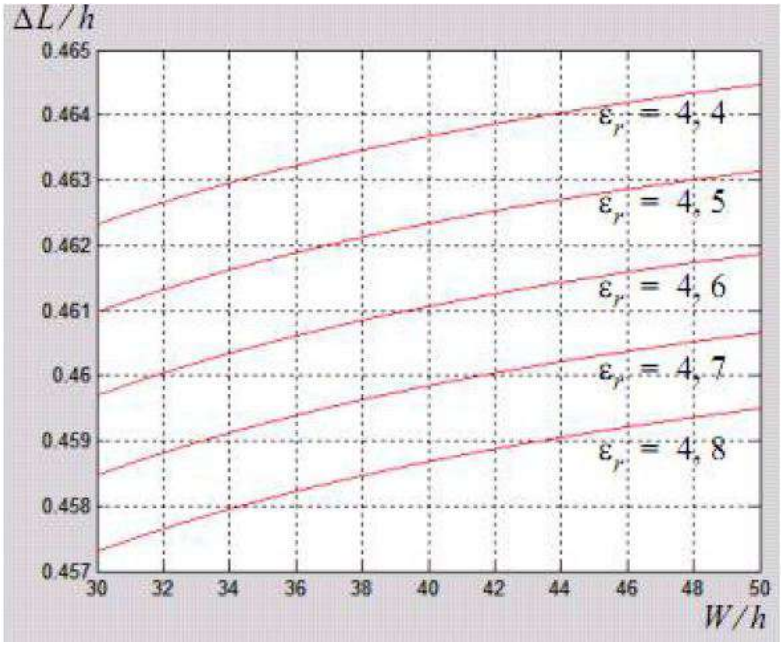


FIGURE 4.21: Paramètre $\Delta L/h$ en fonction du rapport W/h pour différentes valeurs de permittivité relative.

4.6 Simulation et résultats

En se basant sur le développement des formules mathématiques vues précédemment, un programme sous Matlab a été mis en évidence pour calculer les différents caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire.

Le programme nécessite les données suivantes :

- Fréquence
- Constante diélectrique du substrat
- Hauteur du substrat
- Position de l'alimentation

En sortie le programme nous délivre les principales caractéristiques de l'antenne tel que :

- Les dimensions physiques de l'antenne
- La longueur effective etc. ...

Une simulation est réalisée pour l'antenne patch rectangulaire réalisé sur le substrat FR4 et dont la fréquence est de 2.4GHz ; les résultats sont données sur le listing et les figures suivantes.

Name	Value	Min	Max
c	3.0000e+10	3.0000...	3.0000...
dl	0.0706	0.0706	0.0706
epr	4.4000	4.4000	4.4000
epreff	4.4000	4.4000	4.4000
fr	261.6000	261.60...	261.60...
h	0.1500	0.1500	0.1500
l	2.7336e+07	2.7336...	2.7336...
lambda	5.4671e+07	5.4671...	5.4671...
w	3.4896e+07	3.4896...	3.4896...
ze	243	243	243

FIGURE 4.22: Les dimension du patch

```
RESULTATS DE SIMULATION :
02-Jul-2020
PARAMETRES D ENTREE
===================

FREQUENCE DE RESONNANCE (en GHz) = 2.4000
CONSTANTE DIELECTRIQUE DU SUBSTRAT = 4.4000
HAUTEUR DU SUBSTRAT (en cm) = 0.1600
 IMPEDANCE DESIREE D ENTREE  (en ohms) = 50.0000
PARAMETRES DE SORTIE
====================

LARGEUR DU PATCH (en cm) = 3.8036
LONGUEUR EFFECTIVE DU  PATCH (in cm) = 3.0920
LONGUEUR PHYSIQUE PATCH (en cm) = 2.9442
CONSTANTE DIELECTRIQUE EFFECTIVE DU SUBSTRAT = 4.0858
E-PLANE HPBW (in degrees) = 180.0000
H-PLANE HPBW (in degrees) = 80.0000
DIRECTIVITE DU  PATCH RECTANGULAIRE  (sans dimension) = 4.0123
DIRECTIVITE DU  PATCH RECTANGULAIRE (en dB) = 6.0339

G1 (Using (14-12)) = 0.00096929
G12 (Using (14-18a)) = 0.00058591

RESONANT INPUT RESISTANCE AT LEADING RADIATING EDGE (y=0) Rin0P (Using +
RESONANT INPUT RESISTANCE AT LEADING RADIATING EDGE (y=0) Rin0M (Using -

FOR DESIRED IMPENDANCE 50.0000 ohms, THE FEED POINT POSITION YoP (Using +
FOR DESIRED IMPENDANCE 50.0000 ohms, THE FEED POINT POSITION YoM (Using -
```

```
+ sign in (14-17)) = 321.5026 ohm
- sign in (14-17)) = 1304.2100 ohm

 + sign in (14-17)) = 1.0922 cm
 - sign in (14-17)) = 1.2874 cm
```

FIGURE 4.23: Résultat de simulation matlab

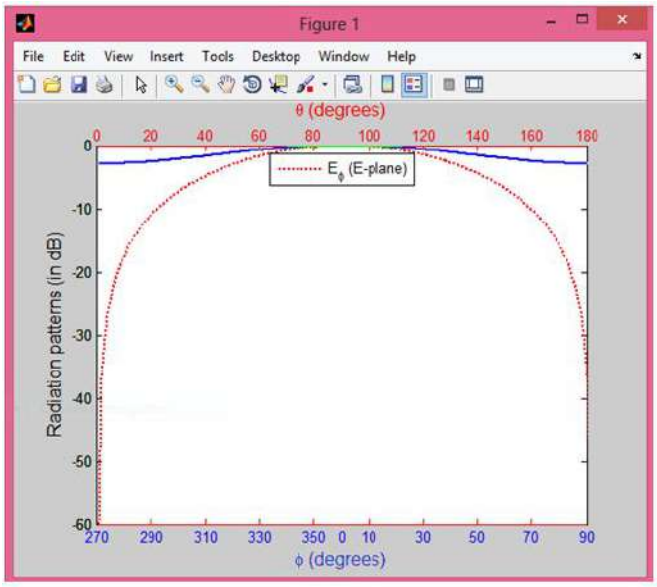


FIGURE 4.24: Diagramme de rayonnement

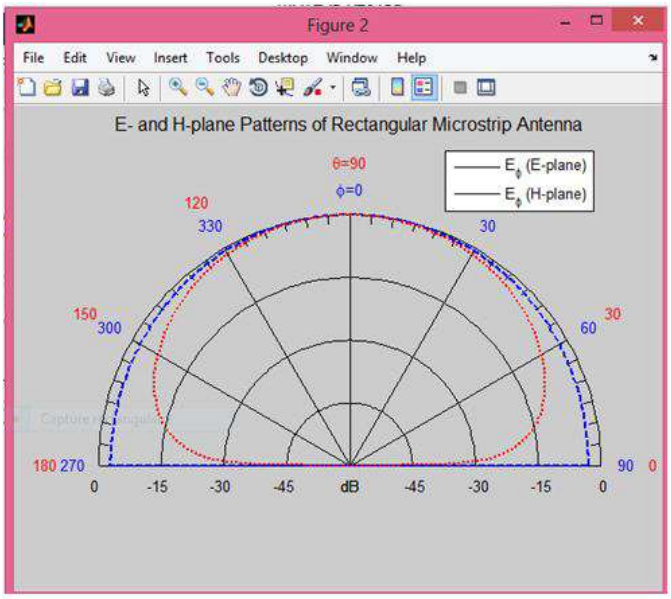


FIGURE 4.25: Plan E et H de diagramme de rayonnement

Conclusion générale

Ce travail de mémoire a porté sur la compréhension, l'étude et la simulation des antennes micro-ruban , en particulier l'antenne patch rectangulaire.

Dans un premier temps nous avons donné un aperçu sur les antennes d'une manière générale en décrivant les importantes caractéristiques.

En deuxième partie nous développons davantage les caractéristiques des antennes micro-ruban. En commence par les différents formes de ce type d'antennes, on passe au principales caractéristiques tel que le gain , la directivité , le diagramme de rayonnement et autres ; en enchaine par l'impédance d'entrée de l'antenne et son importance dans l'adaptation de cette antenne au différents étages ou elle sera montée et on finalise par les différent type d'alimentation de ces antennes.

En troisième partie on a utilisé le logiciel HFSS pour créer la structure de l'antenne patch rectangulaire, en particulier l'antenne Wifi 2.4 GHz. des résultats sont obtenus tel que le coefficient de réflexion, le diagramme de rayonnement les dimensions de l'antenne et autres.

En dernière partie, on a donnée un aperçu sur deux méthodes de modélisation célèbres pour ce genre d'antennes, ces modèles sont model de ligne de transmission et model de cavité. On finalise cette dernière partie par l'élaboration d'un programme soue MATLAB qui simule le modèle cavité.

Une comparaison est faite entre les deux résultats obtenus par le simulateur HFSS et le model de cavité simulé par MATLAB , une bonne concordance entre ces résultats est remarquée, reste à valider ces résultats par une réalisation de ce type d'antenne et obtention des résultats par mesure sur un banc d'essai d'antennes.

Bibliographie

[1] S. BOUSSAHA, "Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires applications aux systèmes de communication," Ph.D. dissertation, 2012.

[2] A. Boyer, "Support de cours enonce de travaux diriges," 2011.

[3] O. Picon, L. Cirio, C. Ripoll, G. Baudoin, J.-F. Bercher, and M. Villegas, *Les antennes : Théorie, conception et applications.* Dunod, 2009.

[4] B. Ouarda, "Etude et synthèse des caractéristiques de réseaux d'antennes imprimées supraconductrices dans la bande millémétrique," 2017.

[5] D. Walid, "Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ulb à bande rejetée," Ph.D. dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2017.

[6] C. A. Balanis, *Antenna theory : analysis and design.* John wiley & sons, 2016.

[7] F. Daout, S. Jacquet, X. Durocher, and G. Holtzmer, "Conception, simulation, réalisation et mesure d'une antenne imprimée rectangulaire 2.4 ghz," *J3eA*, vol. 8, p. 0001, 2009.

Résumé

A notre époque Le mode sans fil devient de plus en plus important dans la télécommunication pour transmettre des informations ou pour en recevoir.Pour cela nous présentons à travers ce mémoire un type d'antenne qui est le patch ,on a commencé par une introduction aux antennes puis des généralités sur l'antenne patch ,on fait une modélisation et simulation par HFSS et finalement les méthodes de modélisation.

Mots clés :Antenne imprimé,Patch,HFSS

Abstract

In our time the wireless mode is becoming more and more important in telecommunication to transmit information or to receive it for that we present through this memory a type of antenna which is the patch ,we started with an introduction to antennas then generalities on the patch antenna we do a modiling and simulation by HFSS and finally the modiling methods.

Keywordes :Printed antenna,Patch,HFSS