MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme Master
Filière : Télécommunication
Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Thème

'' Conception et réalisation d'une antenne patch rectangulaire 2.4GHz à base du Logiciel HFSS''

Préparé et présenté par :

- M[r]. **Anes AROUDJ**

M[r]. **Abdelkhalek HERIHIRI**

Proposé et dirigé par :

M[r] B. MIMENE

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents, vous êtes l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et ma formation. Et a mes grands parents Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

A mes frères et mes sœurs et mes familles.

Une dédicace spéciale à tous les gens qui m'ont aidé pour la réalisation de ce travail, merci beaucoup.

A mes amis Abderrahim, Zineddine,

Abdallah, Lokman,

et tous mes amis

A mon binôme «Abdelkhalek » qui je souhaite tout le bonheur et la belle vie.

Anes

Dédicace

A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi ; ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi, en témoignage de mon éternelle reconnaissance je dédie essentiellement cette mémoire à ***mes parents****.*

A ***mes très chères sœurs*** *ainsi qu'à* ***mes très chers frères*** *et toute la famille qui m'ont énormément aidé et à qui je témoigne toute mon affection et ma profonde admiration.*

A mon binôme « ***Anes*** *» qui je souhaite tout le bonheur et la belle vie.*

A tous mes très chers amis et toute la promotion de télécommunication.

A tous ceux que j'aime et qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce modeste travail…

Abdelkhalek

Remerciements

Tout d'abord, une louange, remerciement et gratitude à Dieu le tout puissant qui nous' a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et nous' a inspiré les bons pas et les Justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas Pu être abouti.

Nous tenons à remercier sincèrement à notre Encadreur. Mr MIMENE qui a mis toute sa compétence à notre disposition, pour ces directives conseils judicieux et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce modeste travail.

Nous voudrons aussi exprimer toute notre gratitude et nos remerciements à tous les enseignants de département de génie électrique de l'Université de Médéa Nous tenons à exprimer nos remerciements également aux Membres de jury,

Nous adressons ensuite nos plus vifs remerciements à tous les membres du département de génie électrique de l'Université de Médéa qui nous 'ont chaleureusement accueilli.

الملخص

كعنصر مشع ، يعد التصحيح عبارة عن هوائي مطبوع يصنف عمومًا على أنه هوائي بكسب منخفض يتراوح من 5 إلى 8 ديسيبل وعرض نطاق بترتيب بضع عشرات من MHZ. تتضمن معظم الأنظمة اللاسلكية الأرضية هذه الهوائيات المطبوعة باتباع نطاقات تردد محددة. في عملنا هدا، درسنا وحاكينا هوائي رقعة مستطيل دو تردد 2.4 جيجا هرتز باستخدام برنامج HFSS ، ودرسنا الخصائص المختلفة مثل : الكسب والاتجاهية ونمط الإشعاع. و في النهاية ، صنعنا هوائي المطبوع باستعمال طريقة الدوائر المطبوعة. ومن خلال الدراسة العملية لإشعاع الهوائيين الدين تم صنعهما من أجل تحديد أنماط الإشعاع الخاصة بهم وخصائص أخرى.

الكلمات المفتاحية: هوائي المطبوع، HFSS ، محاكاة ، انجاز، عرض النطاق الترددي ، الدائرة المطبوعة.

Résumé

En tant qu'élément rayonnant, le Patch est une antenne imprimée qui est généralement classé comme une antenne à faible gain de l'ordre de 5 à 8 dBi et des bandes passantes de l'ordre de quelques dizaines de MHZ. La plupart des systèmes sans fil terrestres incorporent ces antennes imprimées suivants des gammes de fréquences spécifiées. Dans notre travail, nous avons étudié et simulé une antenne patch rectangulaire 2.4GHz en utilisant le Logiciel HFSS, en étudiant les diverses caractéristiques : le gain, la directivité et le diagramme de rayonnement. A la fin nous avons réalisé cette antenne patch par la procédure des circuits imprimés, et en étudiant pratiquement le rayonnement de deux antennes patchs réalisées afin de déterminer leurs diagrammes de rayonnement et d'autres caractéristiques.

Mots clés : Antenne Patch, HFSS, simulation, Réalisation, bandes passante, circuit imprimé.

Abstract

As a radiating element, the Patch is a printed antenna, which is generally classified as an antenna with low gain about 5 to 8 dBi and bandwidths on the order of a few tens of MHZ. Most terrestrial wireless systems incorporate these printed antennas following specified frequency ranges. In our work, we studied and simulated a 2.4GHz rectangular patch antenna using HFSS software, studying the various characteristics: gain, directivity and radiation pattern. In the end, we made this patch antenna by the circuit board procedure, and by practically studying the radiation of two patch antennas made in order to determine their radiation patterns and other characteristics.

Keywords: Patch antenna, HFSS, simulation, Realization, bandwidth, printed circuit.

Table des matières

Introduction Générale 1

Chapitre I: Généralité sur les antennes patch

I.1 Introduction 4

I.2 Description de l'antenne microbande 4

I.3 Principe de fonctionnement 5

I.4 Les Réseaux d'antennes 6

I.5 Structure d'une antenne microbande 7

I.5.1 Les paramètres géométrique du l'antenne imprimée 8

I.6 Critères de Choix du substrat 9

I.7 Caractéristiques des antennes 10

I.7.1 Représentation en quadripôles 10

I.7.2 Coefficient de réflexion S11 11

I.7.3 Directivité 11

I.7.4 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio) 12

I.7.5 Rendement de l'antenne 12

I.7.6 Gain 12

I.7.7 Ouverture 12

I.7.8 Impédance d'entrée 12

I.7.9 Diagramme de rayonnement 13

I.7.10 Polarisation de l'antenne 14

I.8 Techniques d'alimentation 14

I.8.1 Alimentation par ligne micro ruban 14

I.8.2 Alimentation par câble coaxiale 15

I.8.3 Alimentation couplée par fente (ouverture) 15

I.8.4 Alimentation couplée par proximité 15

II.9 Méthode d'analyse 17

I.9.1 Méthode approximatives (analytiques) 17

I.9.1.1 Le modèle de la ligne de transmission 18

I.9.1.2 Le Modèle de la cavité 20

I.9.2 Méthodes rigoureuses (Numériques) 20
I.9.2.1 Méthodes des éléments finis(FEM) 21
I.9.2.2 Méthode des différences finies (FDTD) 21
I.9.2.3 La Méthode des moments 21
I.9.2.4 Méthode d'analyse spectrale 22
I.10 Applications des antennes microbandes 22
I.11 Les avantages et les inconvénients 22
I.12 Conclusion 23

Chapitre II : Simulation d'antenne patch rectangulaire

II.1 Introduction 25
II.2 La conception d'une antenne micro-rubans 25
II.2.1 Présentation du logiciel HFSS 25
II.2.2 L'environnement de conception d'Ansoft HFSS 26
II.2.3 Choix du type de solution 27
II.2.4 La présentation du travail 27
II.2.4.1 Les paramètres spécifiques pour la conception d'une antenne micro-ruban 27
II.2.4.2 Calculs des paramètres géométriques de l'antenne micro-rubans rectangulaire 28
II.2.5 La conception d'une antenne micro-rubans 32
II.2.5.1 les conditions aux limites (boundaries) 33
II.2.5.2 les types d'excitations 33
II.2.5.3 Le modèle de la conception d'une antenne micro-rubans rectangulaire 33
II.2.6 Simulation d'une antenne micro-rubans 34
II.2.6.1 Résultat 35
II.2.6.2 Discussion des résultats 39

CHAPITRE III:Réalisation D'antenne Patch Rectangulaire

III.1 Introduction 42
III.2 Les étapes de création d'un circuit imprimée d'un patch 42
III.3 Réalisation d'un patch 44
III.3.1 les matériaux 44
III.4.1 Cas où les deux antennes sont positionnées à l'angle θ=0° 46
III.4.1.1 Résultats pour la distance 40 cm entre les deux antennes 46
III.4.1.2 Résultats pour la distance de 50 cm entre les deux antennes 47
III.4.1.3 Résultats pour la distance de 70 cm entre les deux antennes 48

III.4.1.4 Résultats pour la distance de 100 Cm entre les deux antennes 49
III.4.2 Cas où l'antenne de réception est positionnée à l'angle θ=90°.....50
III.4.2.1 Résultats pour la distance de 40 Cm entre les deux antennes.....50
III.4.2.2 Résultats pour la distance de 50 Cm entre les deux antennes 51
III.4.3 discuter les résultats.....52
III.6 conclusion 54
Conclusion générale 56
Références bibliographique 57

Liste des Figures

Figure I.1 : présentation d'une antenne patch 5
Figure I.2 : Différentes formes d'antennes microbande 5
Figure I.3 : distribution de champ dans une antenne patch 6
Figure I.4 : Réseaux d'antennes patch. [11] 7
Figure I.5 : la structure de base d'une antenne patch. 8
Figure I.6: Représentation en quadripôle. [21] 11
Figure I.7: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire. 13
Figure I.8: Techniques d'alimentation. 16
Figure I.9: ligne micro-ruban. 18
Figure I.10: antenne patch rectangulaire. 19
Figure I.11: Modèle de la cavité [18] 20
Figure II.1 : L'environnement de conception d'Ansoft HFSS. 26
Figure II.2 : Calculatrice pour calculer les dimensions de patch rectangulaire d'une antenne. 29
Figure II.3 : Calculatrice pour calculer le largueur de la ligne d'alimentation. 31
Figure II.4 : Les fenêtres du commande de : a) plan de masse b) substrat c) patch d) encoche e) ligne d'alimentation f) port d'alimentation g) la boite de rayonnement. 32
Figure II.5 : Antenne micro-ruban rectangulaire 34
Figure II.6 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 35
Figure II.7 : Le VSWR en fonction de la fréquence 35
Figure II.8 : Diagramme de rayonnement du gain (3D) 36
Figure II.9 : Diagramme de rayonnement du champ électrique (3D). 36
Figure II.10 : Diagramme de rayonnement du gain (2D) 37
Figure II.11 : Diagramme de rayonnement du champ électrique (2D). 37
Figure II.12 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 38
Figure III.1 : antenne patch rectangulaire 44
Figure III.2 : Système de formation d'antenne 45
Figure III.3 : réalisation entre deux antenne à 0° 45
Figure III.4 : réalisation entre deux antennes à 90° 46
Figure III.5 : diagramme de rayonnement à position 0° et de distance 40cm 47
Figure III.6 : diagramme de rayonnement a 0° de 50cm 48

Figure III.7 : diagramme de rayonnement a 0° de 70cm 49
Figure III.8 : diagramme de rayonnement a 0° de 100cm 50
Figure III.9 : diagramme de rayonnement pour la réception à 90° pour une distance de 40cm 51
Figure III.10 : diagramme de rayonnement pour θ= 90° pour la distance de 50cm 52
Figure III.11 : Gain de simulation et réalisation 53

Liste des tableaux

Tableau I.1: Comparaison des différentes techniques d'alimentation [9] 17
Tableau II.1 : Dimensions de l'antenne micro-rubans rctangulaire 32
Tableau II.2 : Les caractéristiques d'une antenne micro-rubans rectangulaire.....39

Liste des acronymes

OEM : onde électromagnétique

ROS : Rapport d'Onde Stationnaire.

DBI : Décibel Isotrope.

BP : Bande Passante.

2G et3G : Deuxième Génération et Troisième Génération.

RADAR : Radio détection And Ranging.

VHF : Very High Frequency.

RF : Radio Frequency.

GPS : Global Positioning System.

WIMAX : Worldwide Interoperability For Microwave Access.

FDTD : Finite Difference Time Domain.

FEM : Finite Element Method.

MOM : Method Of Moments.

SDA : Spectral Domain Analysis.

HFSS : High Frequency Structure Simulation.

2D et 3D : Deux Dimensions et Trois Dimensions.

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio.

ISM : Industriel Scientifique et Médicale.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les préoccupations de ce domaine, on trouve les antennes. Ce sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Afin de répondre aux besoins actuels du domaine de télécommunication les concepteurs ont développé un point important : celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile d'où l'apparition d'un nouveau réseau sans fils pour la communication à distance (le réseau de téléphonie mobile). Et cela en élaborant des dispositifs à base des antennes planaires (imprimées). Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le cout, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique.

Cependant, ce type d'antenne présente des limites notamment en bande passante étroite, le faible gain, et la possibilité de résonner à une seule fréquence.

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses applications. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes microbandes sont : les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil et la téléphonie mobile.

Pour une antenne, de nombreuses bandes opérationnelles sont à couvrir suite à l'évolution des standards de communication. Elle est présente dans tous les systèmes de communication sans fil.

Notre objectif dans ce mémoire est d'effectuer la conception et la simulation et la réalisation d'une antenne rectangulaire simple.

Notre mémoire est subdivisé comme suite :

Chapitre I : Dans ce chapitre on présente on premier lieu la description des antennes imprimés et leurs paramètres caractéristiques. On cite aussi les types des substrats, leurs avantages et limitations, ensuite on se penche sur les différentes dimensions et autres paramètres de calcul de ces antennes, après cela on détermine les modes de fonctionnement et les types d'alimentations ainsi que les avantages et les inconvénients des antennes imprimés.

Chapitre II : Dans ce chapitre on va développer la phase de la conception en présentent un bref récapitulatif sur logiciel de simulation « HFSS », après cela on cherche une antenne micro-ruban rectangulaire optimale d'un seul patch en changeant les différentes paramètres tels que la fréquence, l'épaisseur et la permittivité de substrat diélectrique. Ainsi que la largeur et la longueur du patch, la largeur de la ligne d'alimentation microbande et le point d'excitation. On finira par exposer les résultats des simulations de ces réseaux.

Chapitre III : Dans ce chapitre on va parler comment crée un circuit imprimés après on va réaliser notre antenne patch rectangulaire et discuter leurs résultats après on fait une comparaison des résultats de réalisation et les résultats de simulation.

Finalement, on termine avec une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur les antennes patch

I.1 Introduction

Les antennes microbandes, souvent appelées antennes micro rubans, les antennes imprimée ou patchs, sont largement utilisées dans la bande de fréquences micro-ondes, à cause de leur simplicité et compatibilité avec la technologie des circuits imprimés faisant d'elles une structure faciles à produire. [18]

Le concept des antennes micro rubans fut initialement proposé en 1953 par Deschamps aux Etats Unis d'Amérique et en France par Guttan et Baissimot en 1955, mais ce n'est qu'aux années soixante-dix que les premières applications de ce type d'antennes ont vu le jour . [19]

Dans ce chapitre, nous présentons :

- La description et le principe de fonctionnement de l'antenne microbande,

- la structure, les caractéristiques et les technique d'alimentation les réseaux d'antennes,

- les avantages, les inconvénients et les applications des antennes imprimées.

I.2 Description de l'antenne microbande

Une antenne microbande, comme il est représentée dans la Figure (1) est constituée d'un mince conducteur métallique de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse. [17], [8]

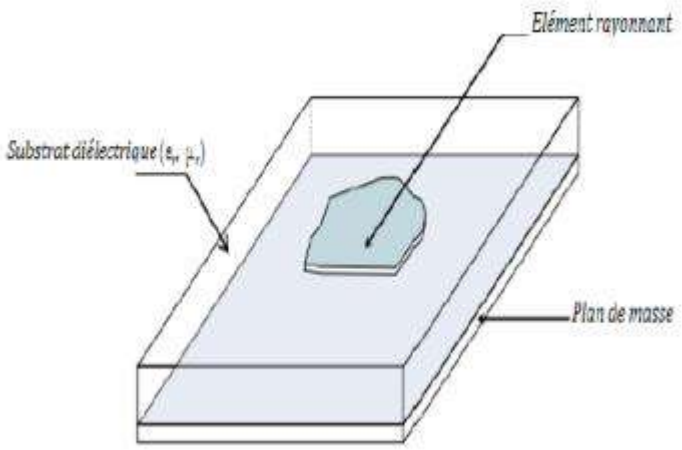


Figure I.1 : présentation d'une antenne patch

L'éléments rayonnants peut prendre plusieurs formes, Comme le montre la Figure (I.2)

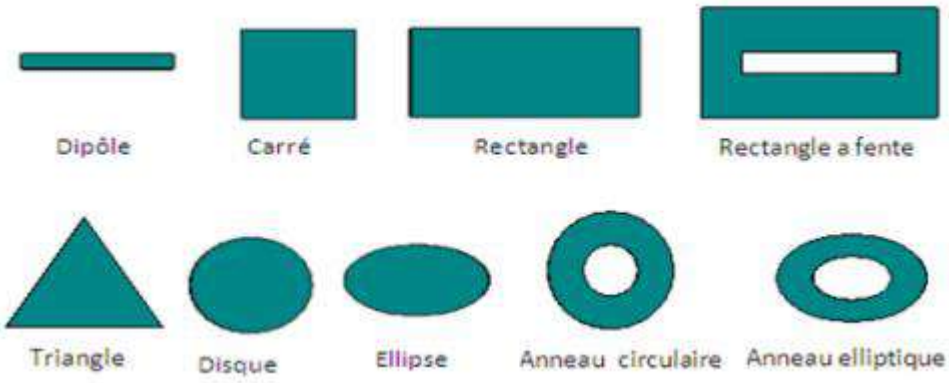


Figure I.2 : Différentes formes d'antennes microbande

Pour obtenir une antenne d'efficacité importante, il est souhaitable de choisir un substrat diélectrique suffisamment épais et dont la constante diélectrique est de faible valeur ce qui contribue à augmenter les effets de bords et donc à favoriser le champ rayonné. [4]

I.3 Principe de fonctionnement

Pour expliquer le fonctionnement d'une antenne imprimée ou planaire résonnante, une approche similaire consiste à considérer que ce sont à la fois les courants surfaciques sur le patch et le plan de masse qui rayonnent.

Une deuxième méthode consiste à voir le patch comme une ligne micro ruban tronquée à ses extrémités. Le générateur est équivalent à une source de courant qui va générer un champ électrique dans la cavité. Le patch agit comme une capacité qui va stocker le champ : c'est le modèle de la cavité (Quatre murs latéraux magnétiques et deux murs horizontaux électriques).

Le rayonnement existe à cause de la fuite du champ électrique qui existe entre les bords du patch et le plan de masse. Si la longueur du patch *L* est approximativement égale à la moitié de la longueur d'onde dans le diélectrique ($\lambda g/2$), cette longueur est résonante et l'on obtient un transfert de puissance maximal à l'antenne. C'est le mode d'ordre 1 ou à fréquence de résonance fondamentale du patch (si L > W avec W largeur du patch), le rayonnement à l'infini est effectif car le champ électrique sous la ligne et à ses deux extrémités se trouve en opposition de phase (Figure I.3). Une valeur approchée qui permet un dimensionnement rapide est $L = 0{,}49\ \lambda g$. [20]

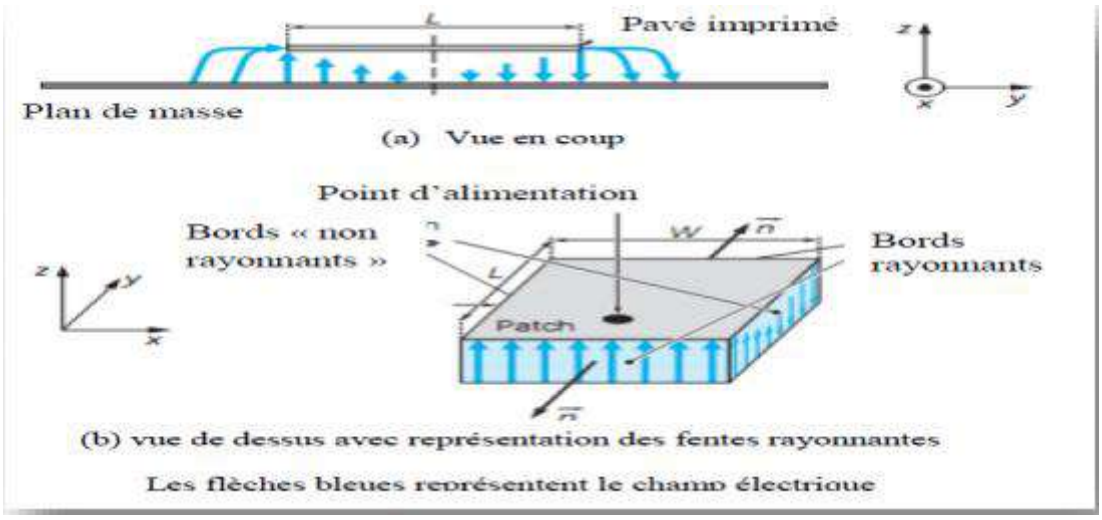


Figure I.3 : distribution de champ dans une antenne patch

I.4 Les Réseaux d'antennes

Les performances des antennes plaquées, notamment le gain et la directivité, peuvent être améliorées en intégrant plusieurs patchs résonateurs sur un même substrat pour former une antenne réseau. (Figure I.4)

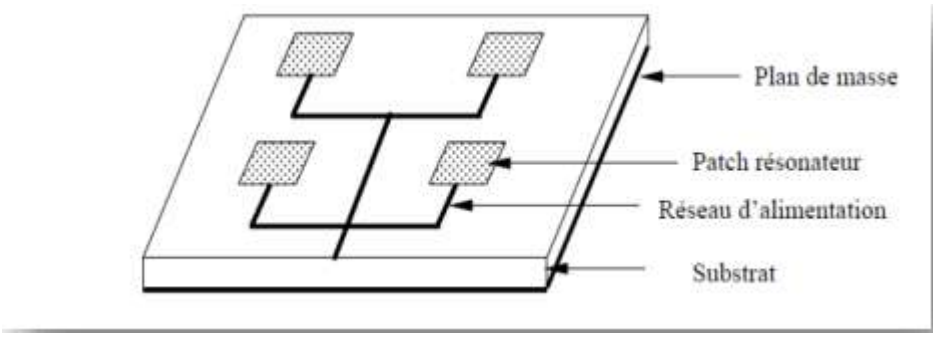


Figure I.4 : Réseaux d'antennes patch. [11]

Les réseaux d'antennes ont suscités beaucoup d'intérêt depuis une vingtaine d'années pour diverses raisons :

- la possibilité d'obtenir des gains très importants (30 à 40 dB) et des polarisations rectilignes ou circulaires.

- les faibles dimensions des éléments rayonnants et leur simplicité de réalisation.

- la possibilité d'imprimer les éléments rayonnants sur des surfaces planes ou conformes facilement intégrable par exemple au fuselage d'un avion ou d'une fusée.

- la possibilité de disposer les éléments rayonnants et le dispositif d'alimentation de part et d'autre d'un plan de masse commun, en une structure compacte, légère et peu coûteuse.

Cependant, les réseaux d'antennes présentent quelques imperfections dues essentiellement aux raisons suivantes :

- les pertes de l'énergie électromagnétique dans les lignes de transmission reliant les différents résonateurs influents sur l'efficacité de l'antenne

. - la bande passante de l'antenne, tout comme celle d'un résonateur isolé, est faible.

- le couplage mutuel entre les résonateurs est atténué en maintenant une distance suffisamment grande entre les résonateurs ce qui entraîne une surface d'antenne importante.

I.5 Stru*cture d'une antenne microbande*

La structure de base est rappelée sur la (Figure I.5): [12]

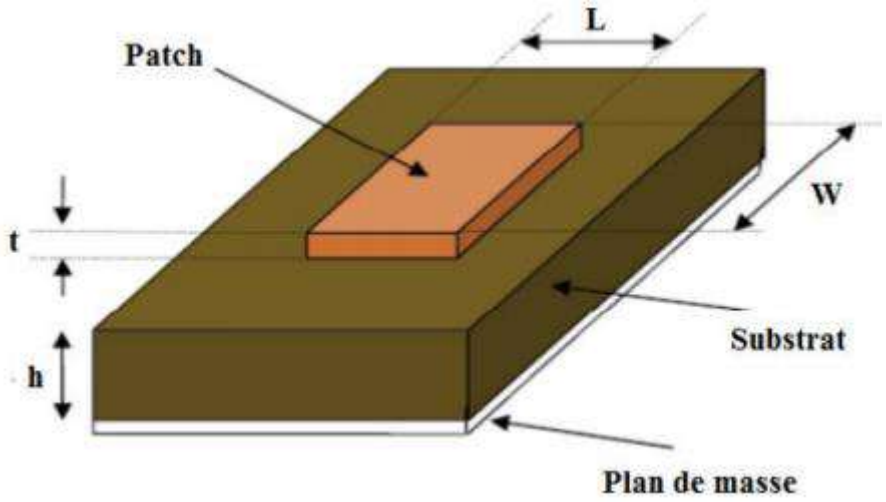


Figure I.5 : la structure de base d'une antenne patch.

L: Longueur du patch. , ***t :*** épaisseur du patch.

W: Largeur du patch. , ***h :*** épaisseur du substrat.

I.5.1 Les paramètres géométrique du l'antenne imprimée

- *Largeur de l'élément rayonnant (patch) :*

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de l'antenne. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée (sur le bord) de l'antenne (équation I.1) et la bande passante à ses résonances.

$$R_{IN}=90\frac{\varepsilon^2 r}{\varepsilon_r-1}\left(\frac{L}{W}\right)^2 \qquad \textbf{(I.1)}$$

Pour permettre un bon rendement de l'antenne, une largeur W pratique est : (équation I.2)

$$W = \frac{c}{2f_{01}}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r+1}} \qquad \textbf{(I.2)}$$

Où le terme f01 représente la fréquence de résonance fondamentale de l'antenne. En contrepartie, le diagramme de rayonnement est légèrement dégradé car il apparaît plusieurs lobes secondaires.

Avec : C la vitesse de la lumière ($C = 3 \times 10^8$m/s).

- ***Longueur du patch***

La longueur du patch détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher deux fois la longueur ΔL qui correspond au débordement des champs (équation I.3).

$$l = \frac{\lambda_g dielectric}{2} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\varepsilon_r eff}} - 2\Delta L \qquad (I.3)$$

La longueur L doit être légèrement inférieure que la longueur d'ondes dans le diélectrique. A cette fréquence d'opération, λ dépend du constant diélectrique efficace (εeff). L'effet de débordement du champ fait électriquement, le patch semble plus grand que sa dimension physique. Il ya donc une augmentation de $\Delta \boldsymbol{L}$ (équation I.4) de chaque côté de patch.

$$\Delta L = 0.421h \frac{(\varepsilon eff + 0.3)(\frac{L}{h} + 0.264)}{(\varepsilon eff + 0.258)(\frac{L}{h} + 0.8)} \qquad \boldsymbol{(I.4)}$$

Donc la dimension effective du patch sera :(équation I.5)

$$Leff = L + 2\Delta L \qquad \boldsymbol{(I.5)}$$

I.6 Critères de Choix du substrat

La conception des antennes imprimées dans le domaine des ondes millimétriques est guidée par les critères suivants, pour le choix du substrat :

- ♣ Possibilité d'excitation par onde de surface.
- ♣ Effets de la constante et de la tangente de perte diélectrique sur la dispersion.

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

En hyperfréquences, les caractéristiques principales d'un substrat sont :

- ♣ L'épaisseur h.
- ♣ La constante diélectriqueεr
- ♣ . Le coefficient de dilatation thermique (en ppm/°C).
- ♣ Le facteur de dissipation (tangente delta).
- ♣ La conductivité thermique (en W/m. °K). [12]

I.7 Caractéristiques des antennes

Dans les communications sans fil, chaque application met en relief certaines caractéristiques des antennes. D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres. Une antenne peut être caractérisée par :

I.7.1 Représentation en quadripôles

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure I.6) défini par les paramètres S :

A1, A2, B1et B2

Sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$B1 = S11 \times A1 + S12 \times A2$

$B2 = S21 \times A1 + S22 \times A2$ (I.6)

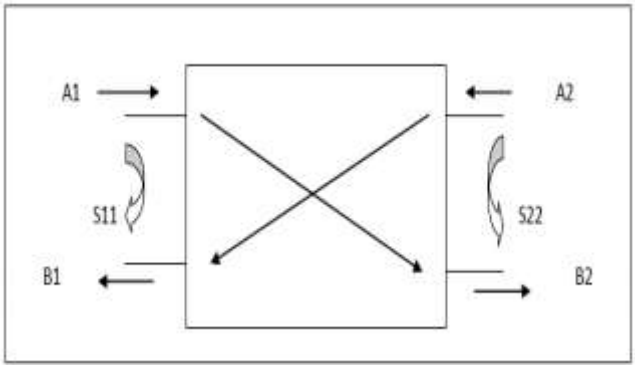


Figure I.6: Représentation en quadripôle. [21]

Le coefficient S11 correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque A2= 0.

Le coefficient S12 représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque A1= 0.

Le coefficient S21est le gain du quadripôle lorsque A2= 0.

Le coefficient S22 est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque A1=0.

I.7.2 Coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion S11 met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.

I.7.3 Directivité

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

$D(\theta,\varphi) = P(\theta,\varphi)/Pr\ 4\pi = 4\pi P(\theta, \varphi)/\mathrm{Pr}$ ***(I.6)***

I.7.4 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio)

Le SWR est l'expression mathématique de la non-uniformité d'un champ électromagnétique dans une ligne de transmission. Le SWR est donc le ratio entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission. À partir du SWR, on peut définir le VSWR et ISWR qui font respectivement référence au voltage et au courant. Idéalement, on va rechercher un SWR de 1. Ce ratio est donc une autre manière de caractériser la quantité du signal qui est réfléchie aux bornes d'une composante micro-onde.

I.7.5 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\left.\begin{array}{l} \eta = Pr/Pf \\ G = \eta * D \rightarrow \eta = G/D \end{array}\right\} \qquad (I.7)$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

I.7.6 Gain

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

$$G(\theta, \varphi) = \eta * D(\theta, \varphi) \qquad (I.8)$$

I.7.7 Ouverture

Si le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la moitié du gain maximal (gain a –3 dB), soit Gm 2

I.7.8 Impédance d'entrée

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

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \qquad \textbf{(I.9)}$$

$Z0$= impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

N.B. Comme S11 est fonction de la fréquence, alors Z in varie aussi avec la fréquence.

I.7.9 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace. Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement $(\theta, \emptyset)$ de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définit comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée $(\theta, \emptyset)$ à la puissance $Pmax$ de la direction où le rayonnement est maximal. [21]

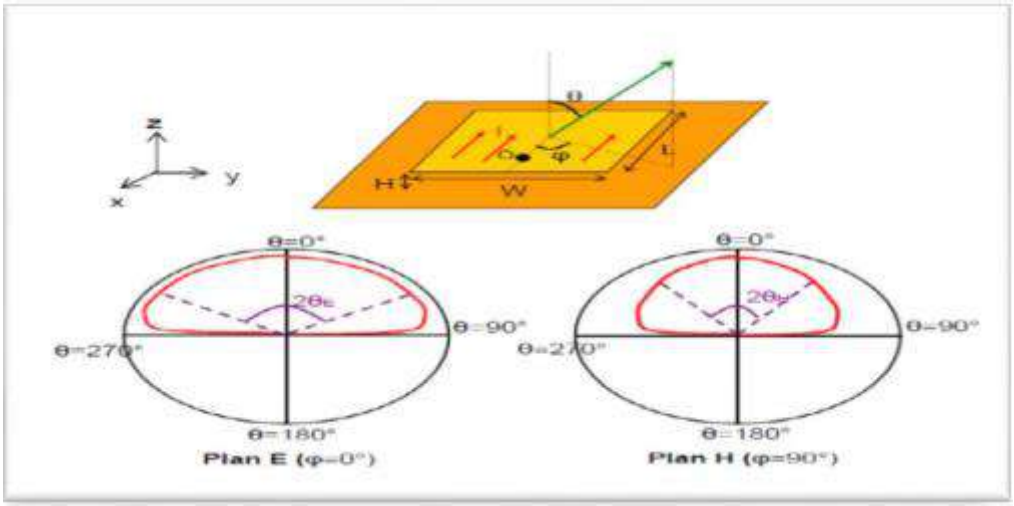


Figure I.7: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

I.7.10 Polarisation de l'antenne

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique, c'est à dire à celle des brins rayonnants de l'antenne. Le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise. On parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol, on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure. On réfère à ce phénomène simplement la polarisation du champ électrique. La figure est généralement une ellipse qui présente des cas particuliers.

- Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée.

- Si le vecteur champ électrique tourne selon un cercle, elle est dite à polarisation circulaire. [12]

I.8 Techniques d'alimentation

Il existe plusieurs techniques pour l'alimentation des antennes micro rubans, ces techniques peuvent être soit par contact direct soit par couplage, les plus communément utilisées sont l'alimentation par ligne micro ruban, par sonde coaxiale, par couplage de proximité ou par ouverture.

I.8.1 Alimentation par ligne micro ruban

Dans le premier cas, une ligne micro ruban est directement connectée à l'élément rayonnant comme le montre la Figure (I.8.a), le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance.

Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais peut engendrer un rayonnement parasite qui peut devenir considérable et une bande passante typiquement entre 2 et 5%.

I.8.2 Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation par câble coaxiale est réalisée par un contact direct de l'élément rayonnant au conducteur central d'une ligne coaxiale, tandis que son conducteur externe est relié au plan de masse (Figure I.8.b). L'adaptation d'impédance est réalisable en déplaçant le point d'alimentation sur le patch. L'inconvénient de ce type d'alimentation réside dans la bande passante étroite et la difficulté de modélisation surtout pour des substrats électriquement épais. [22]

I.8.3 Alimentation couplée par fente (ouverture)

L'alimentation par ligne micro ruban ou par ligne coaxiale présentent une asymétrie qui génère des modes d'ordres supérieurs produisant un rayonnement de polarisation croisée, pour y remédier à cet état de fait l'alimentation par fente a été introduite. Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne micro ruban comme le montre la figure (II.8.c). Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite modéré. Cependant, elle est la plus difficile à mettre en œuvre et présente une bande passante étroite

I.8.4 Alimentation couplée par proximité

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la figure (II.8.d). L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. [22]

Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre

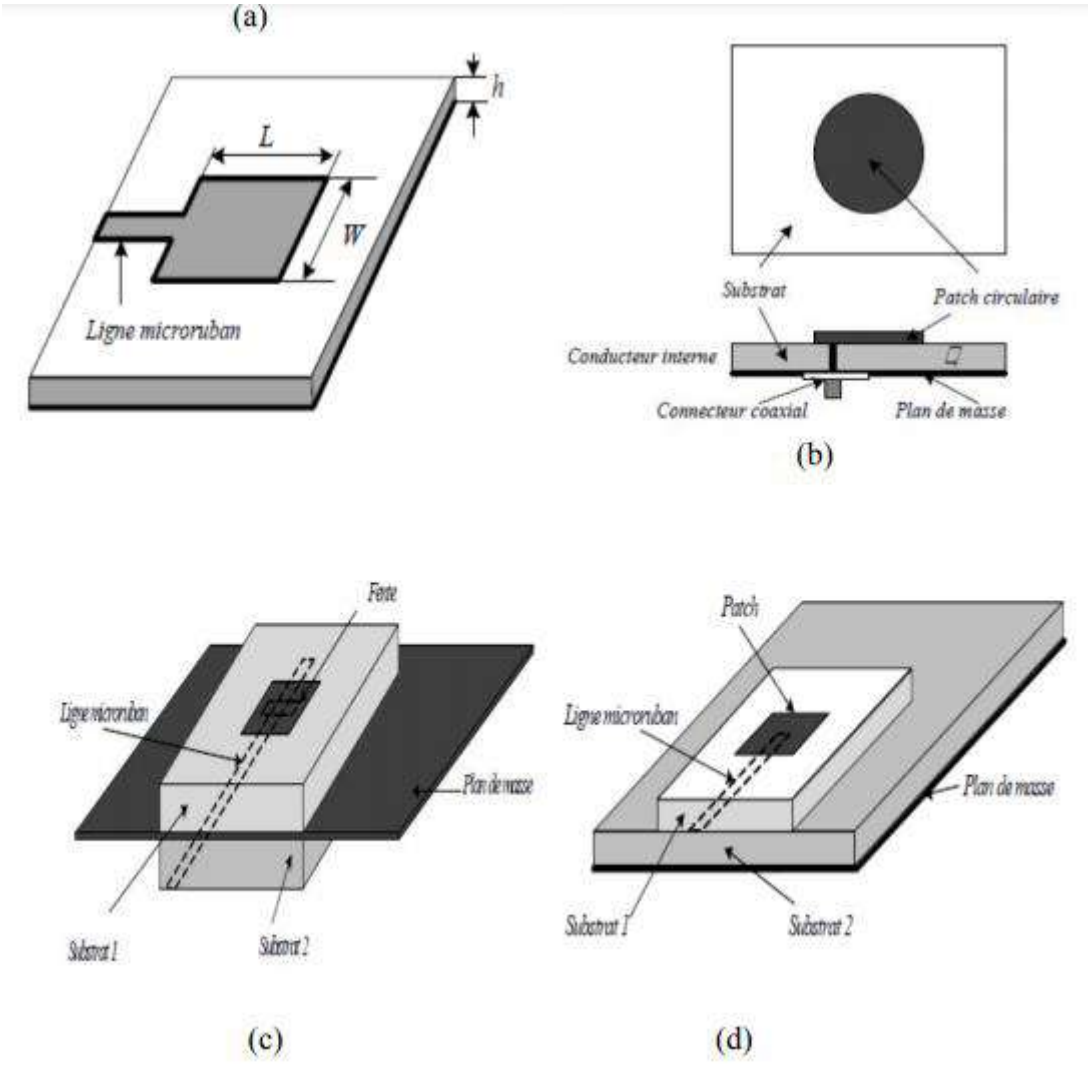


Figure I.8: Techniques d'alimentation.

(a) Alimentation par ligne micro ruban, (b) Alimentation par câble coaxiale,

(c) Alimentation couplée par fente (ouverture), (d) Alimentation couplée par proximité.

Le tableau (I.1): résume les caractéristiques des différentes techniques d'alimentation.

Caractéristiques	Alimentation par ligne micro ruban	Alimentation par câble coaxiale	Alimentation couplée par proximité
Rayonnement parasite d'alimentation	plus	plus	Minimum
Fiabilité	Meilleure	Bonne	Fiable à cause de la soudure
Facilité de fabrication	Facile	Nécessite une soudure et un perçage	Nécessité d'alignement
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	13%

Tableau I.1: Comparaison des différentes techniques d'alimentation [9]

II.9 Méthode d'analyse

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'analyse des antennes imprimées. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans deux catégories :

- Méthodes approximatives (analytiques).
- Méthodes rigoureuses (Numériques). [2]

I.9.1 Méthode approximatives (analytiques)

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

- Le modèle de la ligne de transmission
- Le modèle de la cavité [18]

I.9.1.1 Le modèle de la ligne de transmission

Le modèle de la ligne de transmission est considéré comme le plus simple. Ce modèle exploite l'analogie qui existe entre un patch d'une antenne imprimée et un tronçon d'une ligne de transmission ayant deux bords rayonnants. Ce modèle prend en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle. Dans le modèle de la ligne de transmission, l'inconnu à déterminer est la constante de propagation. Les pertes par rayonnement sont incluses dans le coefficient d'atténuation de la constante de propagation. Cependant, cette technique ne rend pas compte des effets des modes d'ordre supérieur. [13]

La Figure (I.9) représente l'antenne patch rectangulaire par deux fentes de largeur « W » et de hauteur « h » séparée par une ligne de transmission de longueur « L ». Le micro-ruban est essentiellement une ligne non homogène de deux diélectriques, généralement le substrat et L'air.

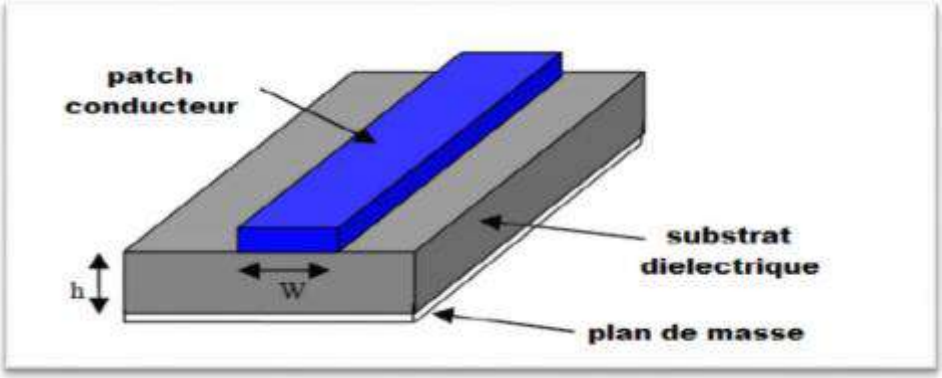


Figure I.9: ligne micro-ruban.

La Figure (I.10) qui montre une antenne patch rectangulaire de longueur« L » et de largeur « W » reposant sur un substrat de hauteur « h ».

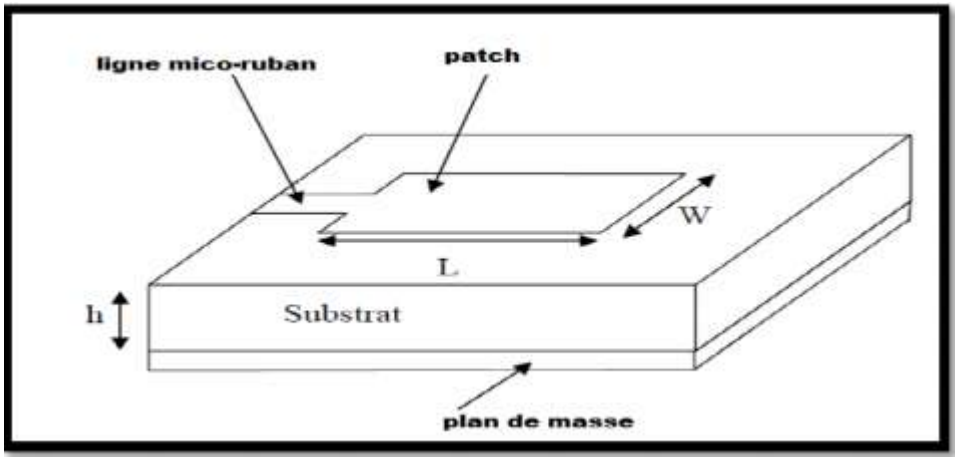


Figure I.10: antenne patch rectangulaire.

Les dimensions du patch sur toute sa longueur sont étendues à chaque extrémité par une distance ΔL qui est donnée empiriquement par :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_r eff + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_r ff + 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} \qquad \textbf{(I.10)}$$

Et la longueur effective Leff du patch devient :

$$Leff = L + 2\Delta L \qquad \textbf{(I.11)}$$

Pour une fréquence de résonance fr , la longueur effective est donnée par :

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\varepsilon_{eff}}} \qquad \textbf{(I.12)}$$

Et pour un rayonnement efficace la largeur est :

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\varepsilon_{eff}}} \qquad \textbf{(I.13)}$$

I.9.1.2 Le Modèle de la cavité

Un autre modèle qui est le modèle de la cavité utilisant le courant d'alimentation uniforme donne de bons résultats seulement pour les épaisseurs du substrat inférieur à 0.001 λ . [5]

La structure imprimée peut être assimilée à une cavité limitée en haut par une plaque conductrice, en bas par un plan de masse et entourée par une surface latérale. Les deux plans conducteurs représentent des murs électriques et la surface latérale constitue le mûr magnétique.

Dans ce modèle l'inconnu est le système des modes préparatifs et leurs fréquences de résonance [6]

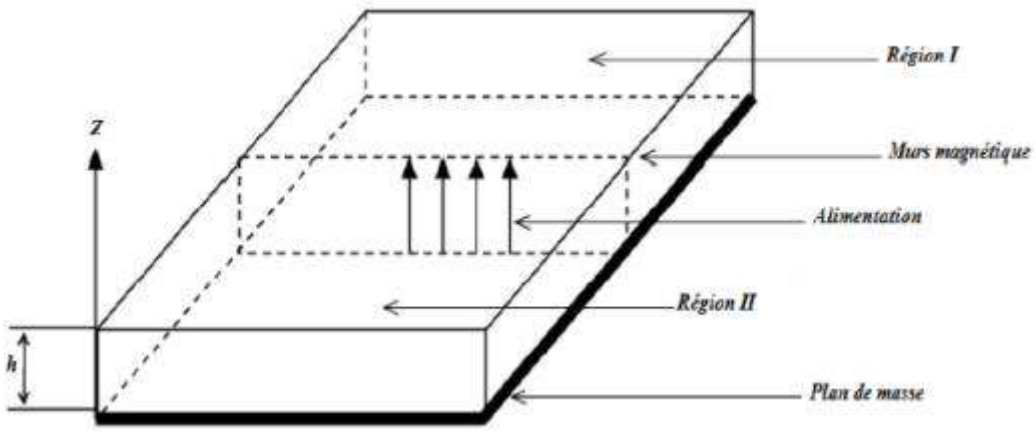


figure I.11: Modèle de la cavité [18]

I.9.2 Méthodes rigoureuses (Numériques)

Ces méthodes sont les plus utilisées récemment. Elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur. Parmi ces méthodes, on peut citer [14] :

- Méthode des éléments finis.
- Méthode des différences finies.
- Méthode des moments.
- Méthode d'analyse spectrale.

I.9.2.1 Méthodes des éléments finis(FEM)

La méthode des éléments finis basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode. Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électriques qui minimisent la fonction d'énergie. La méthode des éléments finis est implémentée dans quelques codes commerciaux tels que le fameux logiciel HFSS d'Ansoft. [18]

I.9.2.2 Méthode des différences finies (FDTD)

La méthode des différences finies dans le domaine temporel la FDTD (Finité Différence Time Domain) est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel dans une structure uniformément maillée. La méthode consiste à approcher les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles qui apparaissent dans les équations de Maxwell par des différences finies centrées. Les composantes électrique et magnétique sont décalées d'une demi-cellule spatiale et calculées d'une manière alternative et itérative, à des multiples pairs et impairs du demi-bas temporel.

Cette technique a l'avantage de permettre une caractérisation dans une large bande de fréquence d'une structure en une seule simulation. [15]

I.9.2.3 La Méthode des moments

Dans les antennes microbandes, la technique de résolution la plus efficace est l'application de la méthode des moments. Cette méthode opère dans le domaine spectral, et elle est qualifiée comme étant rigoureuse. Cette procédure de résolution consiste à trouver le zéro du déterminent de la matrice impédance. La caractéristique de cette méthode est son indépendance de la source d'excitation. Mais malgré ses avantages cette méthode soufre de quelque inconvénient [24]:

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

I.9.2.4 Méthode d'analyse spectrale

Ce modèle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique, dans le domaine spectral. Cette méthode permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales dans le domaine spatial. Elle est basée sur la connaissance des champs électromagnétiques dans chaque région, le système d'équations à résoudre peut s'écrire sous la forme matricielle, le choix de la condition de continuité surfacique et le vecteur de courant sur le patch permet de réduire une relation entre les composantes tangentielles des champs électromagnétiques et les courants surfaciques. L'approche de l'équation intégrale dans le domaine spectral est largement utilisée dans l'analyse et la conception de structures imprimées. [15]

I.10 Applications des antennes microbandes

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

- télécommunication satellitaires.
- commande et contrôle.
- télémétrie (télémesure) par missile.
- équipements portatifs.
- éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- antenne d'émission utilisée en médecine.
- récepteur satellite de navigation. [25]

I.11 Les avantages et les inconvénients

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

- Faible poids, encombrement réduit, faible profile et structure plane.
- S'adapte facilement aux surfaces planes et non planes.

- Facile à fabriquer en masse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible coût.
- Facile à intégrer avec les circuits MMICs sur un même substrat.
- Polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- Antennes multi-bandes multi-polarisations possibles.

Toutefois, elle présente certains inconvénients limitant son efficacité à savoir: Bande passante étroite. Faible gain.

- Supporte uniquement des faibles puissances.
- Faible efficacité de rayonnement.
- Faible pureté de polarisation.

Pour y remédier à ces inconvénients plusieurs travaux de recherches ont été menés et ont abouti à des progrès considérables améliorant les performances de ces antennes. [21]

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref historique sur les antennes imprimées et montré le rôle et l'évolution technologique des patches, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Nous avons montré également quelques différentes techniques d'alimentation, ainsi que les méthodes d'analyses les plus utilisées à des structures microbandes de forme quelconque. Aucune de ces méthodes numériques citées n'est parfaite. Elles présentent toutes des avantages et des inconvénients.

Chapitre II

Simulation d'antenne patch rectangulaire

II.1 Introduction

Les antennes micro-rubans deviennent primordiales dans beaucoup d'application à cause de leurs caractéristiques inhérentes telles que faible cout, légèreté, facilité de fabrication et facilité d'intégration avec des autres dispositifs RF.

Dans ce chapitre, on propose d'abord une conception d'une antenne micro-rubans qui fonctionne principalement dans la bande ISM (2.4GHz), une simulation par l'Ansoft HFSS 13.0 basée sur la méthode des éléments finis est faite afin d'optimiser les paramètres physiques de l'antenne patch pour adapter à la fréquence de résonance désirée. Où on prend un patch rectangulaire pour faire une étude analytique. Le choix des dimensions de l'antenne considérée à partir d'une étude théorique est nécessaire avant de commencer la phase de simulation par le HFSS. Afin d'obtenir des résultats des caractéristiques d'antenne et les discuter, une influence des paramètres constitutifs d'antenne sur les caractéristiques s'est fait.

II.2 La conception d'une antenne micro-rubans

II.2.1 Présentation du logiciel HFSS

HFSS (High Frequency Structure Simulator) c'est le simulateur des structures à champ électromagnétique à haute fréquence. Pour analyser ce comportement en détails le logiciel met à notre disposition des différents outils d'interprétation telle que les paramètres S, les fréquences de résonances et les champs .Ce genre de simulation fait intervenir des équations aux dérivées partielles , Le logiciel présenté ici utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations de maxwell.

Un projet HFSS est un dossier qui contient un (ou plusieurs) modèles appelés design, chaque modèle contient une structure géométrique, ses conditions aux limites et le choix des matériaux utilisés, ainsi que les solutions de champs électromagnétiques et les interprétations post traitement. Tous ces composants peuvent être atteints par la fenêtre Project Manager dans l'environnement HFSS. Pour créer une structure en 3D il suffit de la dessiner avec les outils mis à disposition par le logiciel, il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS

est sa capacité de donner directement les paramètres S, VSWR (ROS), Z en fonction de la fréquence. [3]

II.2.2 L'environnement de conception d'Ansoft HFSS

La fenêtre d'Ansoft HFSS a plusieurs panneaux facultatifs comme montré sur la figure ci-dessous :

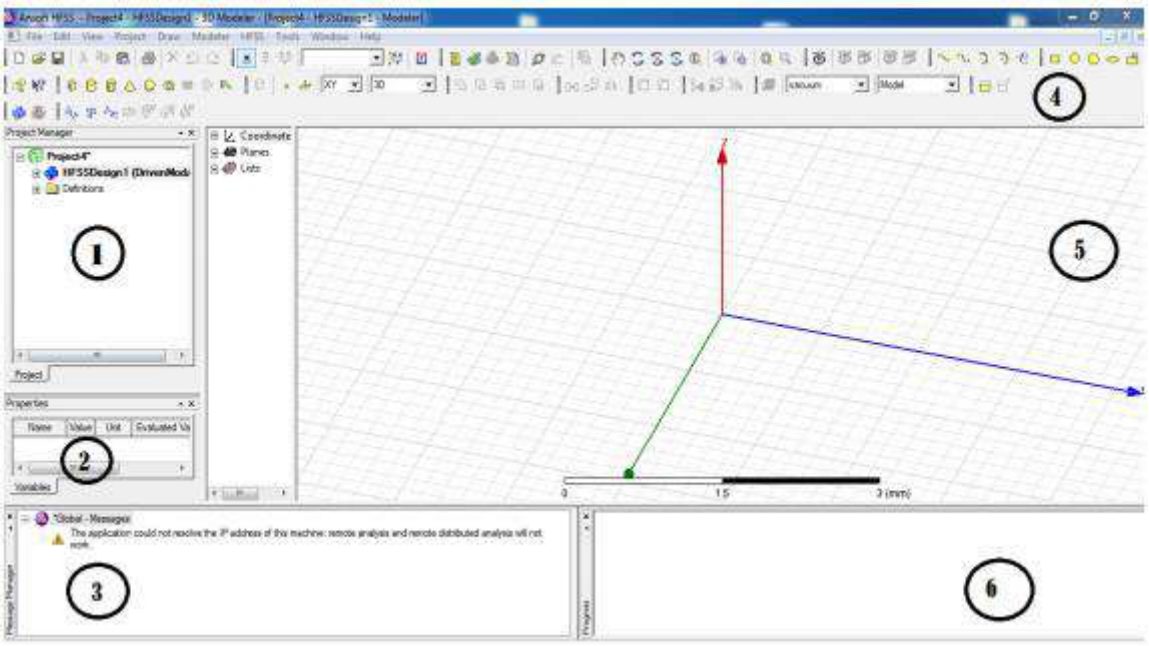


Figure II.1 : L'environnement de conception d'Ansoft HFSS.

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

2-La fenêtre de Propretés : pour les affichages et permet éventuellement de changer les paramètres des attributs du modèle.

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

4- la barre d'outils : contient tous les outils dont on a besoin pour faire la conception.

5-La fenêtre de 3D Modeler : contient le modèle et son arbre pour la conception active.

6-La fenêtre de Progress : affiche les progressions de la solution.

II.2.3 Choix du type de solution

Nous sélectionnons le type de solution à partir du menu HFSS, il existe plusieurs types de solutions :

- **Driven Modal :** permet de calculer S11 d'une structure en haute fréquence en fonction des ondes incidentes et réfléchies.
- **Driven Terminal :** nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les micro-rubans, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source.
- **Eigenmode :** permet de calculer la fréquence de résonance de la structure et les champs à ces fréquences. [7]

Pour notre conception on a utilisé le (Driven Modal) comme type de solution.

II.2.4 La présentation du travail

Nous allons présenter les paramètres spécifique choisi et les calculs des paramètres géométriques pour les utilisés dans la conception d'une antenne micro-ruban rectangulaire afin de réussir une simulation en utilisant l'environnement de conception d'Ansoft HFSS et pour cela nous devons suivre les étapes suivantes :

- ❖ Déterminer les unités en mm.
- ❖ Présenter la gamme de fréquence utilisée.
- ❖ Présenter et justifier le choix de matériau et épaisseur du substrat.
- ❖ Présenter le calcule de la largeur et la longueur du patch.
- ❖ Présenter le calcul de la largeur du la ligne d'alimentation et la position d'alimentation.

II.2.4.1 Les paramètres spécifiques pour la conception d'une antenne micro-ruban

Les trois paramètres essentiels pour la conception d'une antenne micro-ruban rectangulaire sont :

A. Fréquence de fonctionnement ou de résonance (fr) :

La fréquence de résonance d'une antenne doit être sélectionnée de manière appropriée, pour notre projet on a utilisé la fréquence 2.4 GHz c'est la bande ISM. Dans

l'union européenne, la bande ISM principale utilisée est la bande de fréquence de la gamme des UHF allant de 2 400 à 2 483 MHz. Les réseaux WLAN et les dispositifs Bluetooth émettent dans la bande des 2,4 GHz ont des bandes de fréquences qui peuvent être utilisées dans un espace réduit pour des applications industrielles, scientifiques, médicales, domestiques. [22]

B. La constante diélectrique du substrat (εr) :

Le choix du matériau diélectrique du substrat dépend de la constante diélectrique, plus elle est élevée plus les dimensions de l'antenne sont réduites, pour notre projet le matériau diélectrique utilisé est de type FR4 _ époxy de permittivité relative εr = 4.4 car il présente un bon rapport Prix/Qualité ainsi qu'il est utilisé pour les petites épaisseurs.

C. L'épaisseur du substrat diélectrique (h) :

Il est essentiel que l'antenne soit peu encombrante par conséquent la hauteur du substrat est toujours prise petite (quelque millimètres), on prend 3 mm pour notre projet car l'antenne micro-ruban est utilisée dans le téléphone cellulaire (mobile) est une bonne épaisseur de 3mm favorisant l'extension des champs, alors la radiation vers l'extérieur.

II.2.4.2 Calculs des paramètres géométriques de l'antenne micro-rubans rectangulaire

On va se contenter dans ce qui suit sur une étude paramétrique d'une antenne alimentée par ligne micro-rubans axiale avec encoche. Les dimensions à déterminer sont la longueur L et la largeur W du patch, la position d'alimentation Y0 , la largeur Wf de la ligne d'alimentation.

A. Détermination de la longueur L et la largeur W du patch :

Donnés :

- fr = 2.4 GHz (Fréquence de résonance).
- h = 3 mm (Hauteur du substrat).
- εr = 4.4 (La constante diélectrique du substrat).
- C = 3 × 108 m /s (La célérité de la lumière).

Objectif :

- w : La largeur du patch en mm.
- L : La longueur du patch en mm.

Il faut utiliser une des deux méthodes pour calculer les dimensions W et L du patch :

❖ La 1er méthode est: l'utilisation de «Microstrip Patch Antenna calculator» on a entré dans la calculatrice la fréquence de résonnance, la permittivité relative et l'épaisseur du substrat, elle nous donne les résultats suivants : la longueur L = 28.82mm et la largeur W = 38.01 mm comme montrer sur la figure ci-dessous :

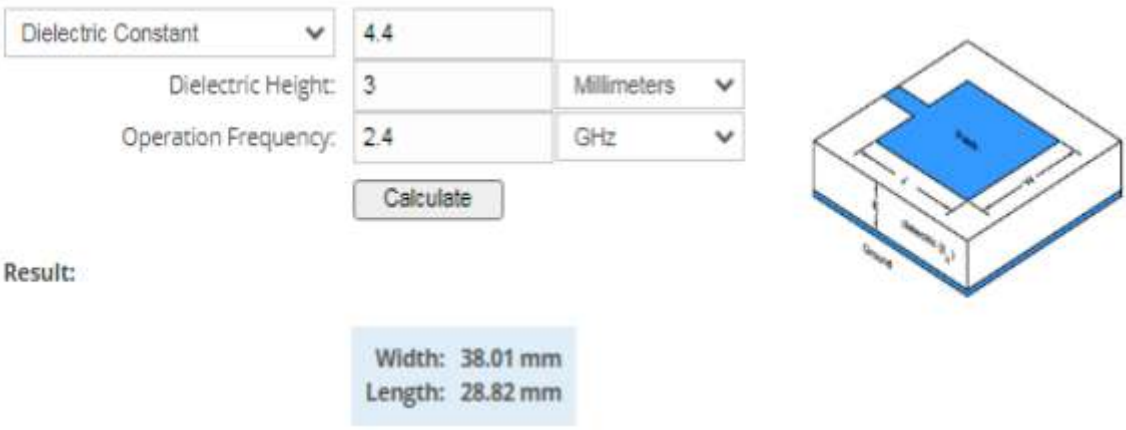


Figure II.2 : Calculatrice pour calculer les dimensions de patch rectangulaire d'une antenne.

❖La 2éme méthode est :

- Calculer la longueur (L) par la formule (II.1) :

$$L = \frac{c}{2\, f_r \sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 0.824\, h \left(\frac{(\varepsilon_r eff + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_r eff - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} \right) \qquad \textit{(II.1)}$$

Avec : $\varepsilon_r eff = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12(\frac{h}{W})}} \right]$

- Calculer la largeur (w) par la formule (II.2) :

$$W = \frac{c}{2\, f_r \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}}} \qquad \textit{(II.2)}$$

B. Détermination de la largeur Wf du la ligne d'alimentation

On peut calculer la largeur Wf de ligne d'alimentation par la formule (II.3) ou bien la calculatrice ci-dessous avec l'impédance caractéristique Z0 = 50 ohm , l'épaisseur de la ligne d' alimentation t = 2.1 , la permittivité relative εr = 4.4 , l'épaisseur de substrat h = 3mm.

$$Wf = \frac{7.48 \times h}{e^{(Z_0 \frac{\sqrt{\varepsilon_r + 1.41}}{87})}} - 1.25 \times t \qquad \textit{(II.3)}$$

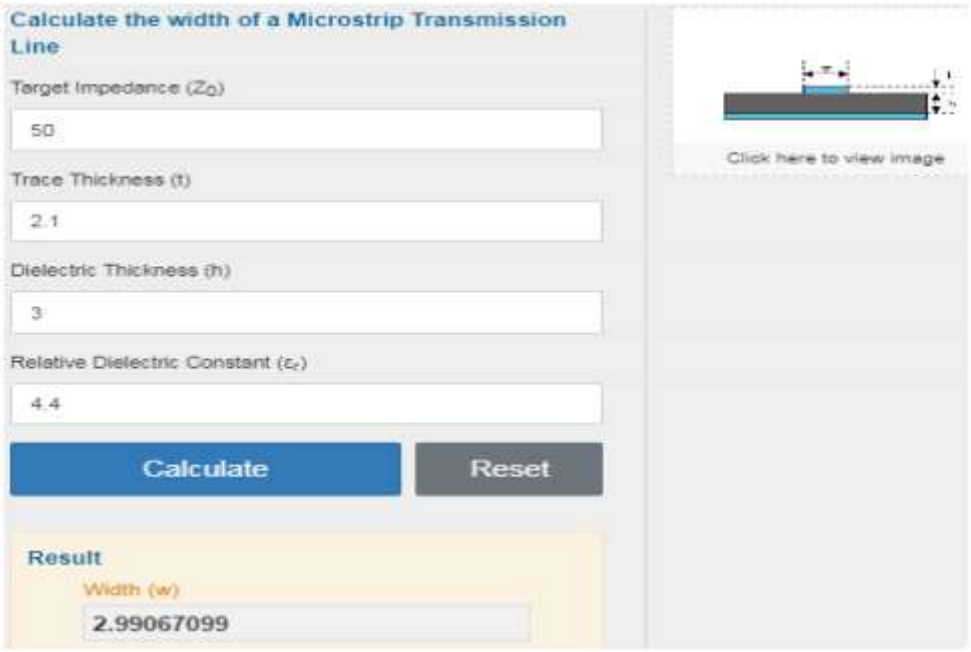


Figure II.3 : Calculatrice pour calculer le largueur de la ligne d'alimentation.

C. Détermination de la position d'alimentation Y0

On peut calculer la grandeur Y0 par l'expression (II.4) obtenue d'après Le travail présenté depuis [32] qui a utilisé le modèle des lignes de transmission pour élaborer cette expression simple. Avec la permittivité relative εr = 4.4, longueur du patch L = 28.82.

$$Y_0 = \frac{L}{2}[0.001699\,\varepsilon_r^7 + 0.13761\varepsilon_r^6 - 6.1783\,\varepsilon_r^5 + 93.187\,\varepsilon_r^4 - 682.69\varepsilon_r^3 + 2561.9\varepsilon_r^2 - 4043\varepsilon_r^1 + 6697]10^{-4} \quad \textbf{(II.4)}$$

Les calculs basés sur la théorie présentée ci-dessus ont conduit aux valeurs présentées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques de l'antenne	Valeur (en mm)
Longueur patch, L	28.82
Largeur patch, W	38.01
Largeur ligne alimentation, Wf	2.9
Position d'alimentation Y0	9

Tableau II.1 : Dimensions de l'antenne micro-rubans rectangulaire

II.2.5 La conception d'une antenne micro-rubans

Pour faire la conception de notre antenne micro-rubans rectangulaire nous avons suivi les étapes déposées dans l'annexe (p.84) afin d'obtenir une structure constituée d'un plan de masse, le substrat, le patch, l'encoche, la ligne d'alimentation et le port d'alimentation. On a travaillé avec les mesures montrées sur les fenêtres du commande ci-dessous :

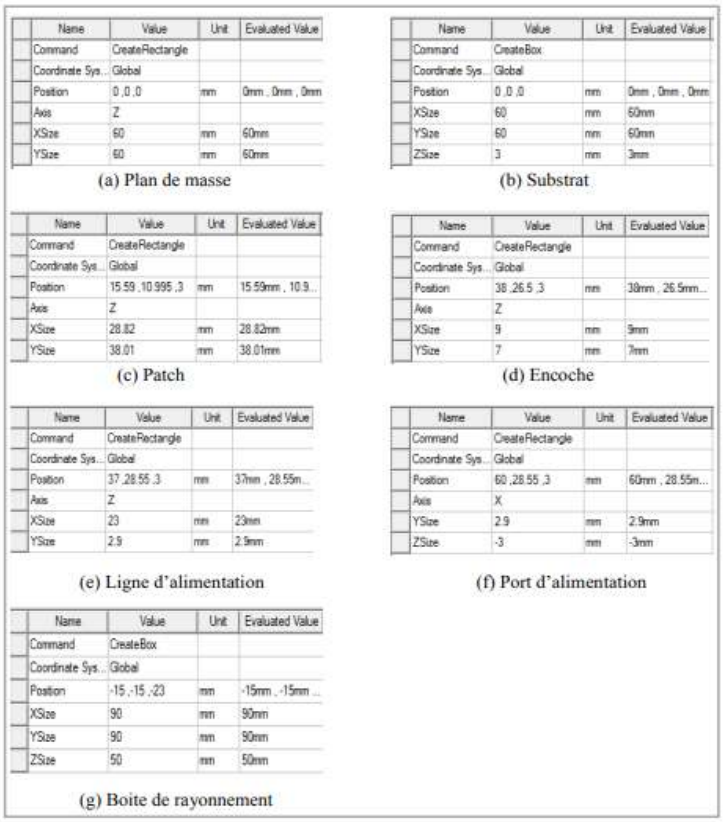


Figure II.4 : Les fenêtres du commande de : a) plan de masse b) substrat c) patch d) encoche e) ligne d'alimentation f) port d'alimentation g) la boite de rayonnement.

II.2.5.1 les conditions aux limites (boundaries)

Après avoir dessiné le modèle on doit définir les frontières (boundaries) :

- **Perfect E :** appelé aussi conducteur parfait, ce type de limite force le vecteur champ électrique à être perpendiculaire à la surface du conducteur.
- **Perfect H :** conducteur magnétique parfait, il est tangentiel à la surface du conducteur.
- **Finite conductivity :** on attribue une conductivité finie au matériau conducteur ainsi que sa tangente de pertes (imparfait).
- **Radiation :** limites de rayonnement, aussi appelée frontières absorbantes. Elle nous permet de modéliser une surface électriquement ouverte, les ondes peuvent alors sortir de la structure et s'arrêtées vers la limite de rayonnement où elles sont absorbées. Elle évite ainsi les réflexions qui pourraient perturber le fonctionnement du système.

Pour notre projet, on a utilisé (Finite conductivity) avec le matériau du cuivre pour le patch et le plan de masse ainsi (Radiation) pour la boite de rayonnement.

II.2.5.2 les types d'excitations

Pour que l'antenne rayonne, il faut exciter la structure. Il existe différentes types d'excitations mais le plus souvent on utilise les «Wave port» et les «Lumped port» qui ont pour rôle d'indiquer la zone où l'énergie entre et sort de la structure.

- **Lumped Port :** représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.
- **Wave Port :** représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.

Pour notre port d'alimentation du projet on a utilisé «lumped port» pour l'excitation.

II.2.5.3 Le modèle de la conception d'une antenne micro-rubans rectangulaire

Voila notre conception d'une antenne micro- rubans montrée ci-dessous sur la figure (II.5):

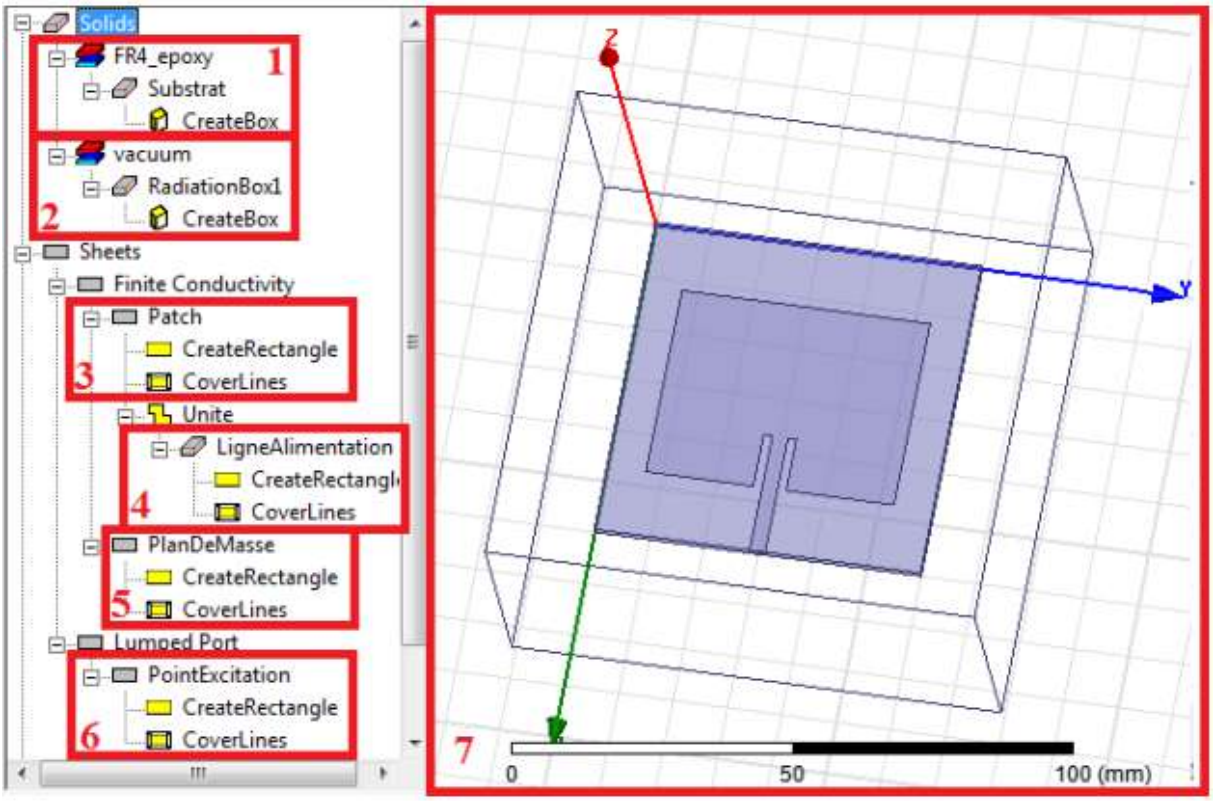


figure II.5 : Antenne micro-ruban rectangulaire

II.2.6 Simulation d'une antenne micro-rubans

Après avoir rempli toutes les étapes précédentes, il faut compiler en validant et analysant le projet. Une fois l'analyse terminée, il faut aller aux résultats, un clic droit sur résultat et choisir ce qu'on souhaite visualiser (Diagramme de rayonnement, paramètre S11, gain … etc).

II.2.6.1 Résultat

A. Coefficient de réflexion S11 :

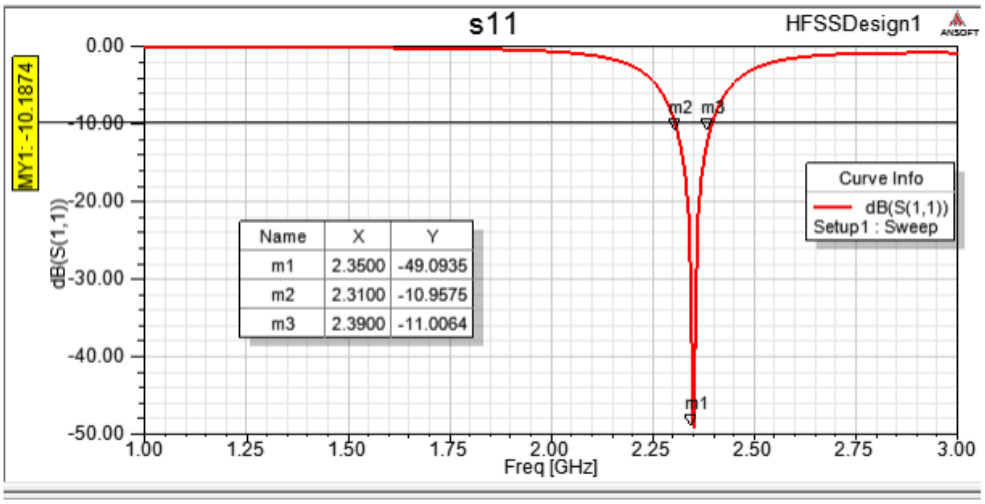


Figure II.6 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

La figure (II.6) présente la courbe du paramètre S11 en fonction de la fréquence de l'antenne micro-rubans rectangulaire dans la bande [1 - 3] GHz Nous remarquons un coefficient de réflexion de (49.09 dB) avec une bande passante a -10 dB de (80 MHz) autour de la fréquence de résonance souhaitée (2.4 GHz).

B. Le rapport d'onde stationnaire VSWR

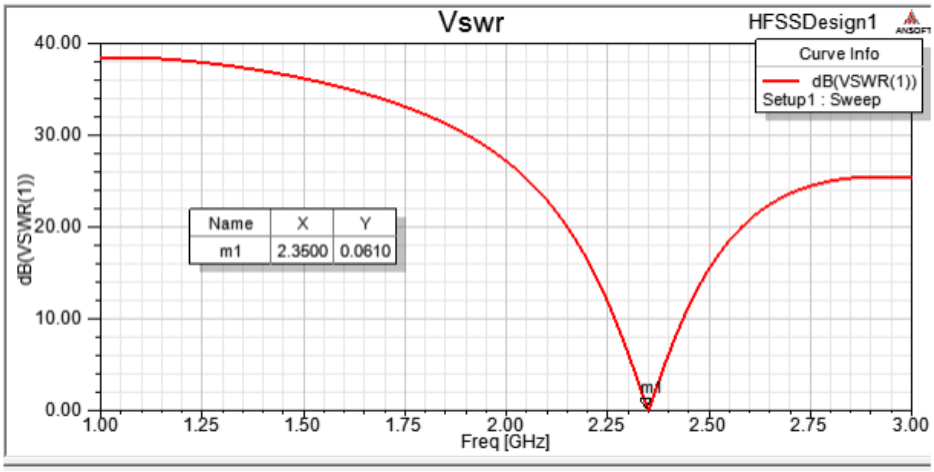


Figure II.7 : Le VSWR en fonction de la fréquence.

La figure (II.7) montre les valeurs du rapport d'ondes stationnaire calculées en fonction de la fréquence dans la bande [1 - 3] GHz. On remarque que le VSWR à la fréquence de résonnance presque 2.4 GHz est 0.06 dB.

C. Les diagrammes de rayonnement de Gain et champ électrique

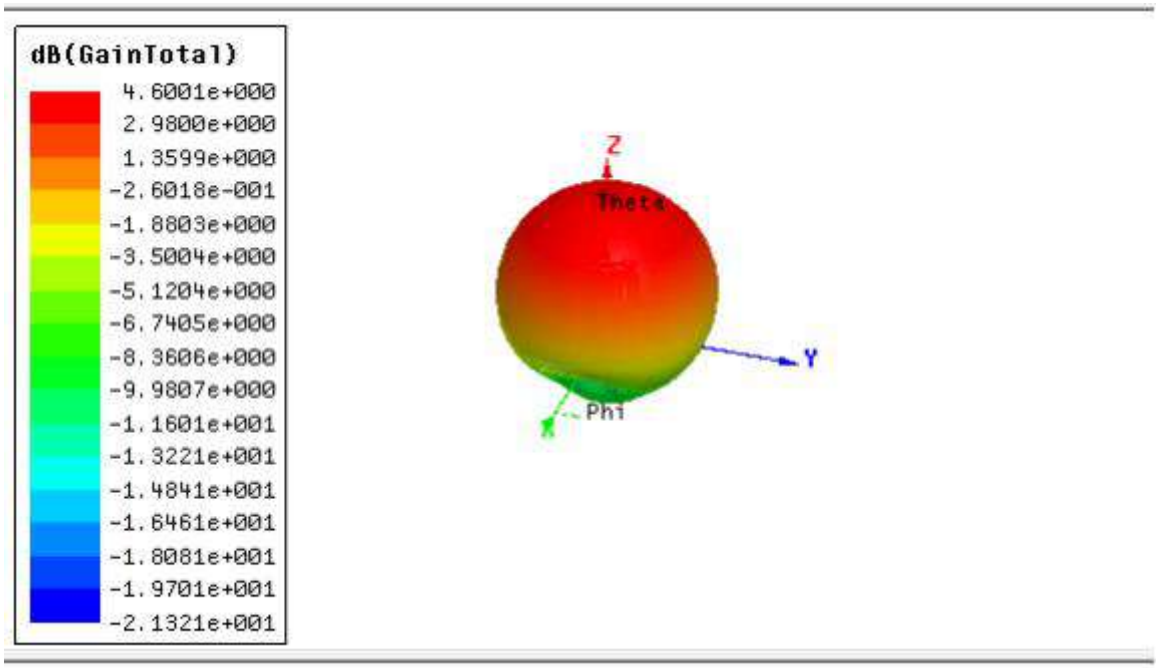


Figure II.8 : Diagramme de rayonnement du gain (3D)

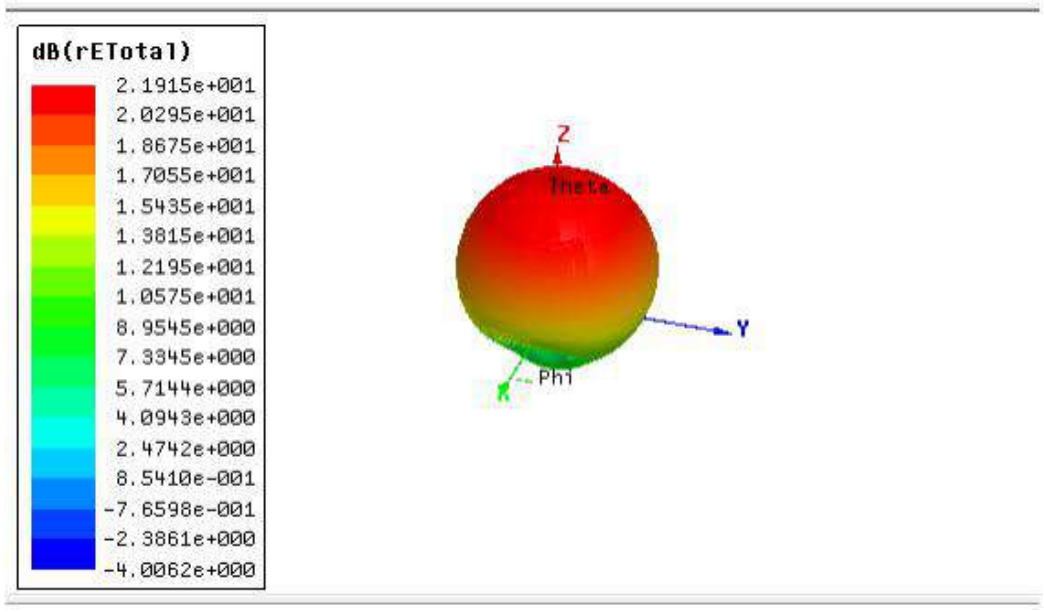


Figure II.9 : Diagramme de rayonnement du champ électrique (3D).

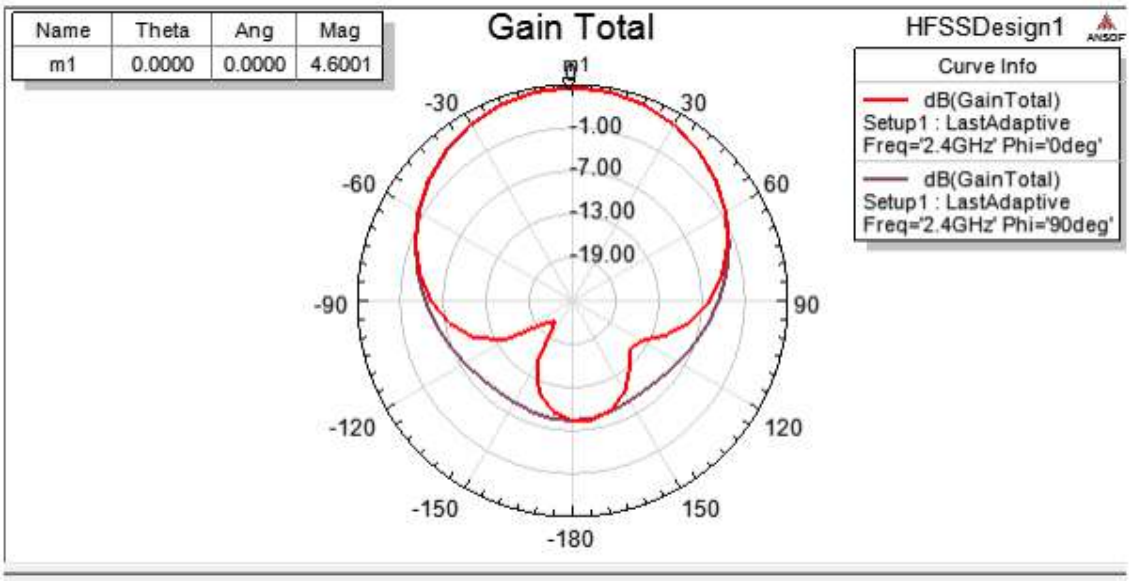


Figure II.10 : Diagramme de rayonnement du gain (2D)

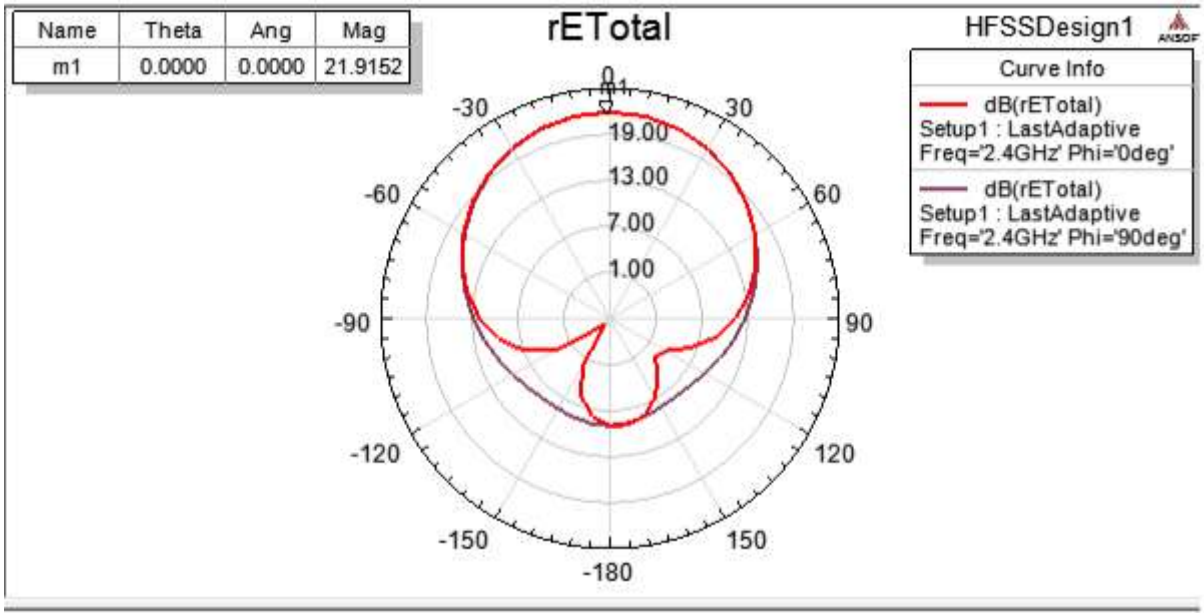


Figure II.11 : Diagramme de rayonnement du champ électrique (2D).

D'après les figures (II.8) et (II.9) en observant les diagrammes de rayonnement en 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement va dans la direction Z. La valeur maximale du rayonnement de gain est 4.6 dB et de champ électrique 21.91 dB.

Les diagrammes de rayonnements 2D (figure II.10 et II.11) montrent que l'énergie est rayonnée dans la direction normale au plan de masse de l'antenne.

D.Le diagramme de rayonnement de directivité 2D



Figure II.12 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

Cette présentation du diagramme de rayonnement nous permet de connaitre la directivité de l'antenne. La figure (II.12) montre les valeurs de la directivité totale en fonction de l'angle thêta dans le domaine [-100 - 100] degré. On remarque que la courbe culmine à 0 degré de thêta où la directivité est 6.51 dB et cette forme de courbe montre que l'antenne est bien directive selon l'angle phi (0 et 90 degré).

II.2.6.2 Discussion des résultats

caractéristique d'une antenne micro-rubans	Coefficient de réflexion S11 (dB)	VSWR (ROS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0° (dB)	Rendement (%)	Bande passante à -10 dB
Valeure de caractéristique	-49.0935	0.06	4.6001	21.9152	6.5128	70.63	0.08GHz =80MHz

Tableau II.2 : Les caractéristiques d'une antenne micro-rubans rectangulaire.

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (II.2), on constate que cette antenne micro-rubans rectangulaire a :

- Une bande passante étroite de l'ordre de 80 MHz a -10 dB et un champ électrique important de 21.91 dB.
- Vu qu'il y a un petit coefficient de réflexion de - 49.09 dB donc une bonne adaptation à la fréquence 2.4 GHz.
- Gain et directivité acceptable dans les normes avec un rendement de 70.63 %.
- VSWR de 0.06 dB alors chance d'onde stationnaire faible, égale à 1 réel donc correspond à un cas parfait (système idéal) sans perte de puissance.

II.2. Conclusion

Nous avons commencé dans la première partie par un acquis des informations sur un nouveau logiciel de simulation qu'il s'agit du HFSS. Ensuite nous avons présenté une phase de conception d'une antenne micro-rubans rectangulaire travaillée à la fréquence (2.4 GHz) destinée pour la téléphonie mobile , on a étudié aussi l'influence de ses paramètres constitutifs sur les caractéristiques de cette antenne . Nous avons également présenté les résultats des simulations de ces antennes obtenus par HFSS, qu'il s'agit des différents paramètres des antennes notamment le paramètre S11, Le rapport d'onde stationnaire VSWR, le gain, la directivité ainsi que le champ E.

On a conclut que la géométrie de l'antenne (patch), la bande de fréquence et les matériaux diélectrique utilisés sont des paramètres très sensibles l'hors de la conception des antennes.

CHAPITRE III

Réalisation D'antenne Patch Rectangulaire

III.1 Introduction

De nos jours l'électronique est présente dans la moindre de nos activités quotidiennes, les voitures, les cafetières, les téléphones portables, les appareils photo et bien sur particulièrement dans les ordinateurs. Toutes ces applications nécessitent la réalisation de carte électronique ne serait-ce que pour gérer l'alimentation des différents composants.

Une carte électronique est un ensemble de composants tel que des résistances, condensateurs ou circuits intégrés réunis sur une plaque de manière à former un circuit destiné à un usage précis. Cela nous amène donc à nous demander : Quels sont les différentes étapes, de la conception à la fabrication, dans la réalisation d'une carte électronique et quelles les déférentes résultats avec la partie simulation ?

Nous étudierons tout d'abord la conception par ordinateur du circuit électronique, puis la préparation du circuit imprimé et pour terminer la mise en place et la soudure des composants.

III.2 Les étapes de création d'un circuit imprimée d'un patch

- **le matériel utilisé :**

Pour réaliser l'antenne patch rectangulaire on utiliser les matériels suivants :

- Typon (papier film)
- La plaque fr4
- Crystal UV
- 02 produits chimiques (révélateur et graveur)
- Machine de gravure PCB chimique
- Photoplotteur (la machine de l'impression de typon)
- Massicot (la machine découpe de la plaque)
- Brossage (machine de nettoyage)
- Connecteur SMA codé

- **Les étapes de création circuit imprimé d'un patch :**

Pour fabriquer l'antenne réseau patch il faut suivre les prochaines étapes :

- Antenne réseau patch est optimisée dans une EM software
- Le dessin de patch est peint en noir en utilisant n'importe quel logiciel de dessin
- L'empreinte noire de l'antenne est imprimée sur un film transparent (typon) et les dimensions sont contrôlées.
- Les marques sont dessinées sur le matériau revêtu de cuivre double face (dans ce cas une double face fr-4), puis le fr-4 est coupé aux dimensions marquées.
- Lorsque le fr-4 est coupé, nous retirons l'autocollant d'une couche et puis attachons soigneusement le film sur le fr-4 (la partie noire du film agira comme un masque de protection pendant le processus d'exposition photo).
- Le fr-4 est inséré dans l'exposition à la lumière UV (la surface appropriée doit faire face à la lumière, l'exposition aux UV devrait durer environ 2 min).
- Nous utiliserons deux produits chimiques un (révélateur) pour le développement et un (graveur) pour la gravure du cuivre, le processus chimique commence par l'insertion des planches dans le révélateur (la carte reste dans le réservoir du développeur pendant 1 min) et après la carte est insérée dans le graveur où le cuivre sera gravé par toutes les zones exposées aux UV il doit rester dans le graveur pendant assez de temps pour graver le cuivre (au moins 9min dans notre cas).
- Le cuivre a été gravé selon la conception.
- La résine photosensible est retirée du cuivre.
- Enfin, nettoyage de l'antenne
- On va souder le connecteur SMA a la ligne d'alimentation

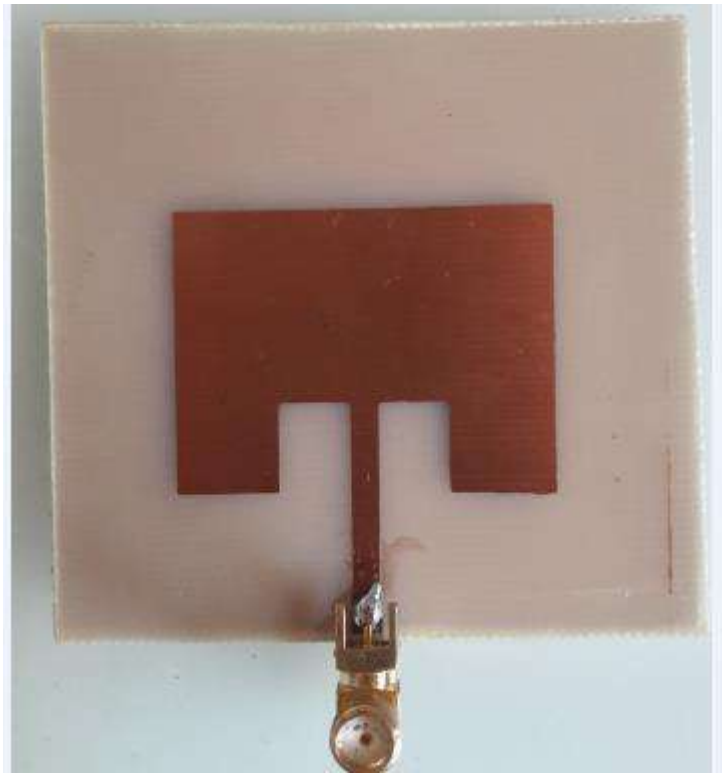


Figure III.1 : antenne patch rectangulaire

III.3 Réalisation d'un patch

III.3.1 les matériaux

- Système de formation d'antenne.
- Deux antennes patch.
- Les câbles coaxiaux.
- Un émetteur et un récepteur.
- Un pc (logiciel data acquisition).



Figure III.2 : Système de formation d'antenne



Figure III.3 : réalisation entre deux antenne à 0°



Figure III.4 : réalisation entre deux antennes à 90°

III.4 Etude pratique des caractéristiques du patch et Discussions des résultats

III.4.1 Cas où les deux antennes sont positionnées à l'angle θ=0°

III.4.1.1 Résultats pour la distance 40 cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes à différence de distance de 40 cm et angle de 0° et fais le Système de formation d'antenne à fréquence de 2.4 GHz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

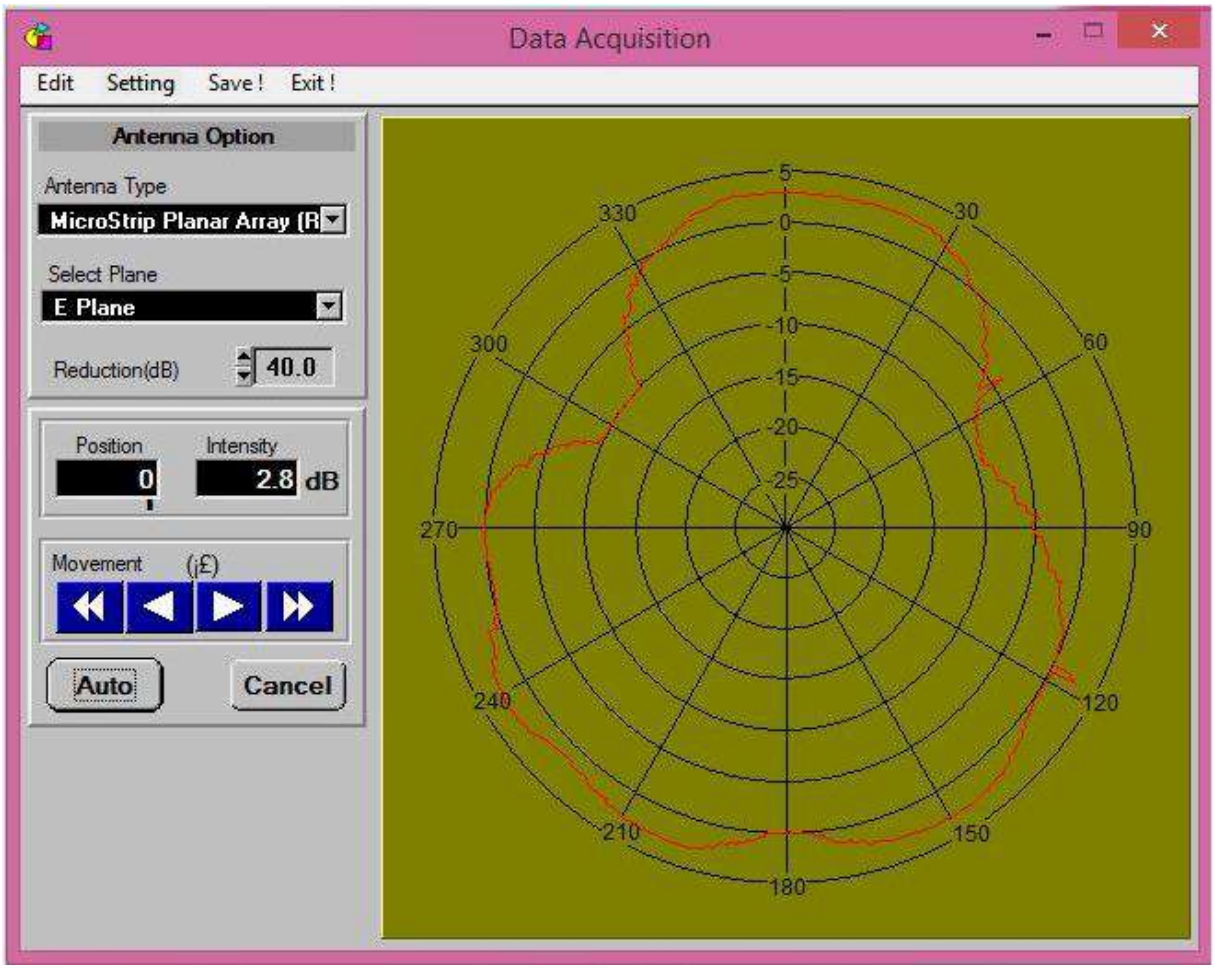


Figure III.5 : diagramme de rayonnement à position 0° et de distance 40cm

- *l'angle d'ouverture :*

$$30°+25°= 55°$$

- *Le gain :*

$$G=4.5\ dB$$

III.4.1.2 Résultats pour la distance de 50 cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes à déférence de distance de 50 cm et angle de 0° et fais le Système de formation d'antenne à fréquence de 2.4 gHz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

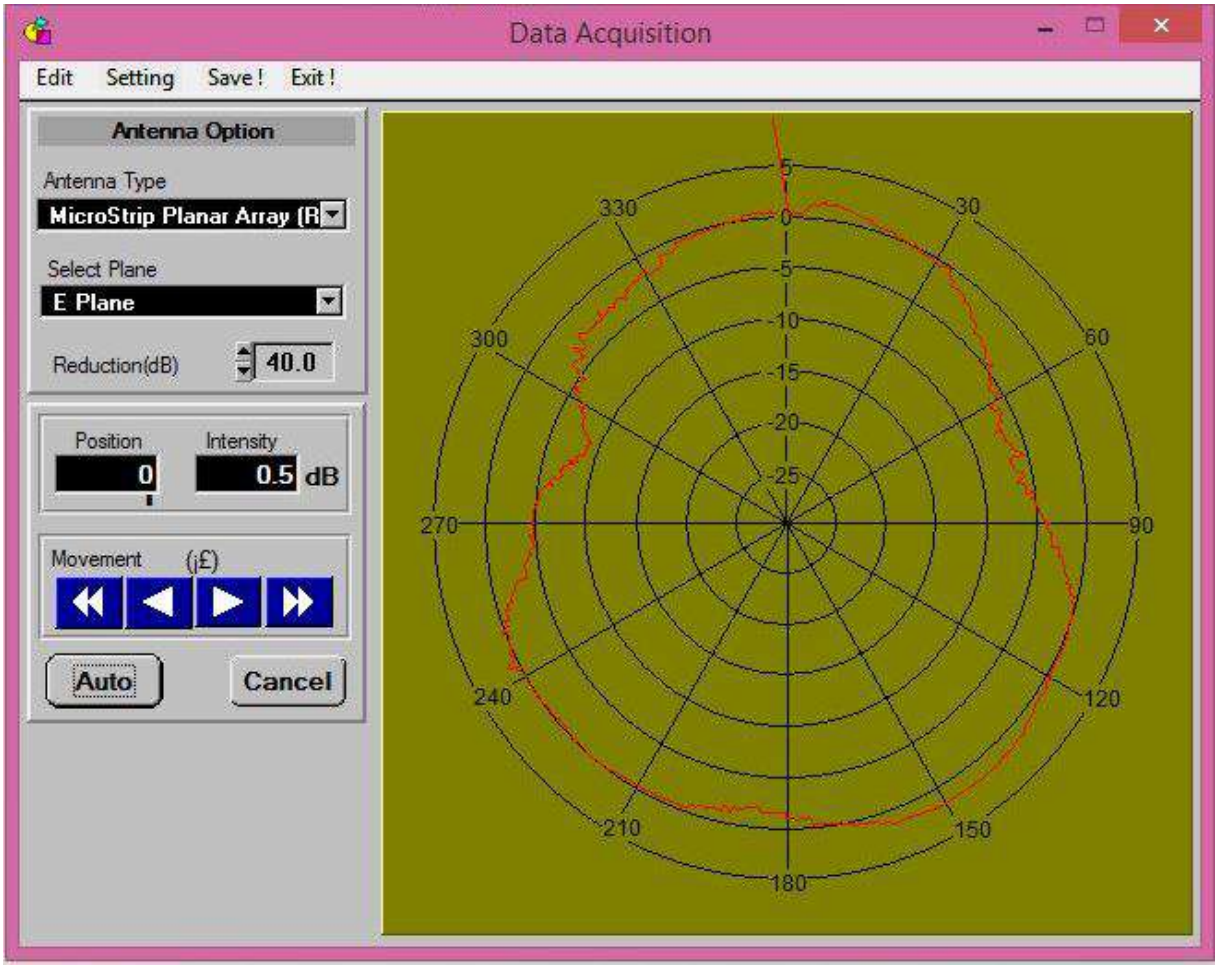


Figure III.6 : diagramme de rayonnement a 0° de 50cm

- L'angle d'ouverture :

33°+25°=58°

- Gain :

G =1 dB

III.4.1.3 Résultats pour la distance de 70 cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes a déférence de distance de 70 cm et angle de 0° et fais le Système de formation d'antenne a fréquence de 2.4 GHz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

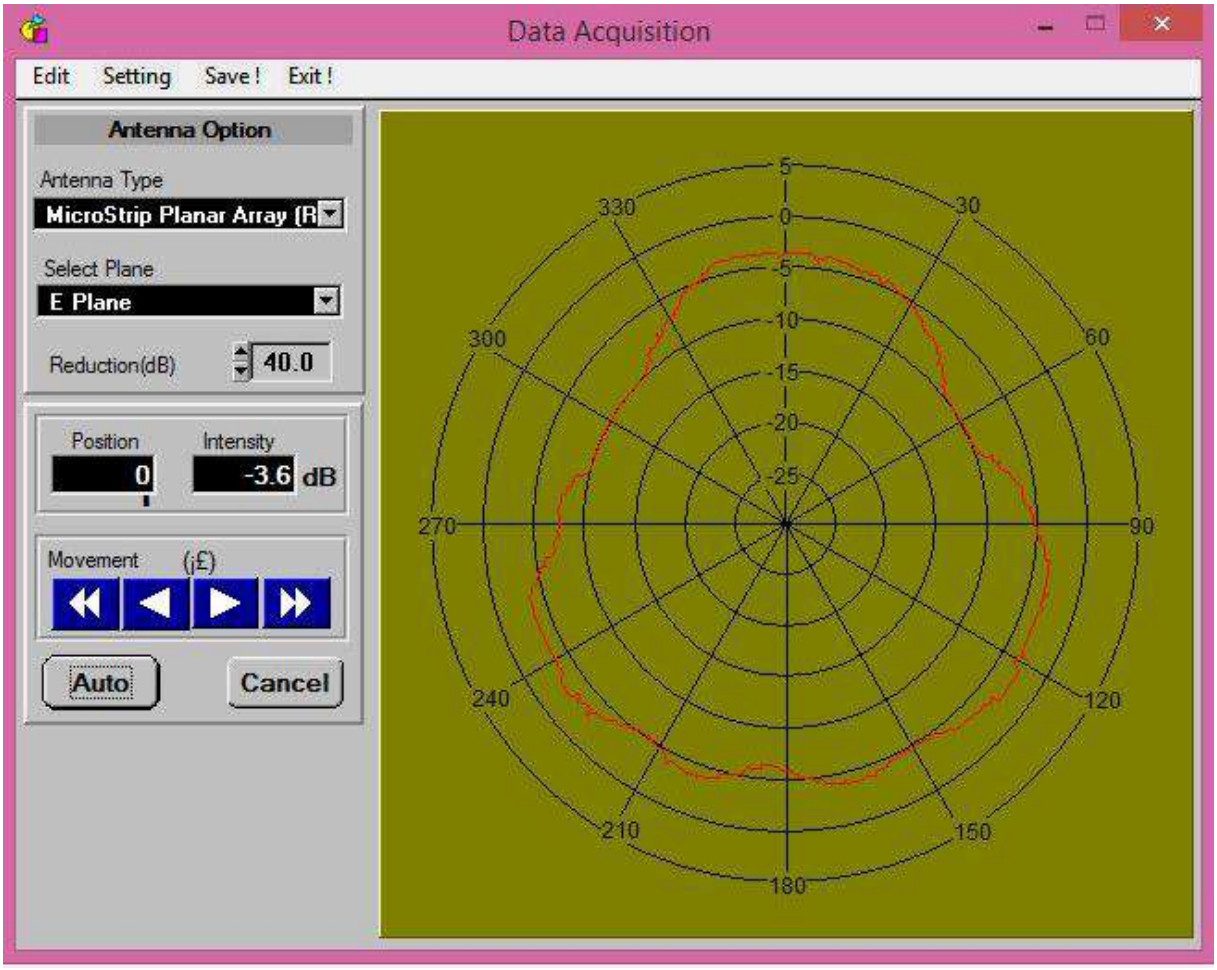


Figure III.7 : diagramme de rayonnement a 0° de 70cm

- L'angle d'ouverture :

30°+25°=55°

- Gain :

G=-4db

III.4.1.4 Résultats pour la distance de 100 Cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes a déférence de distance de 100 cm et angle de 0° et fais le Système de formation d'antenne a fréquence de 2.4 GHz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

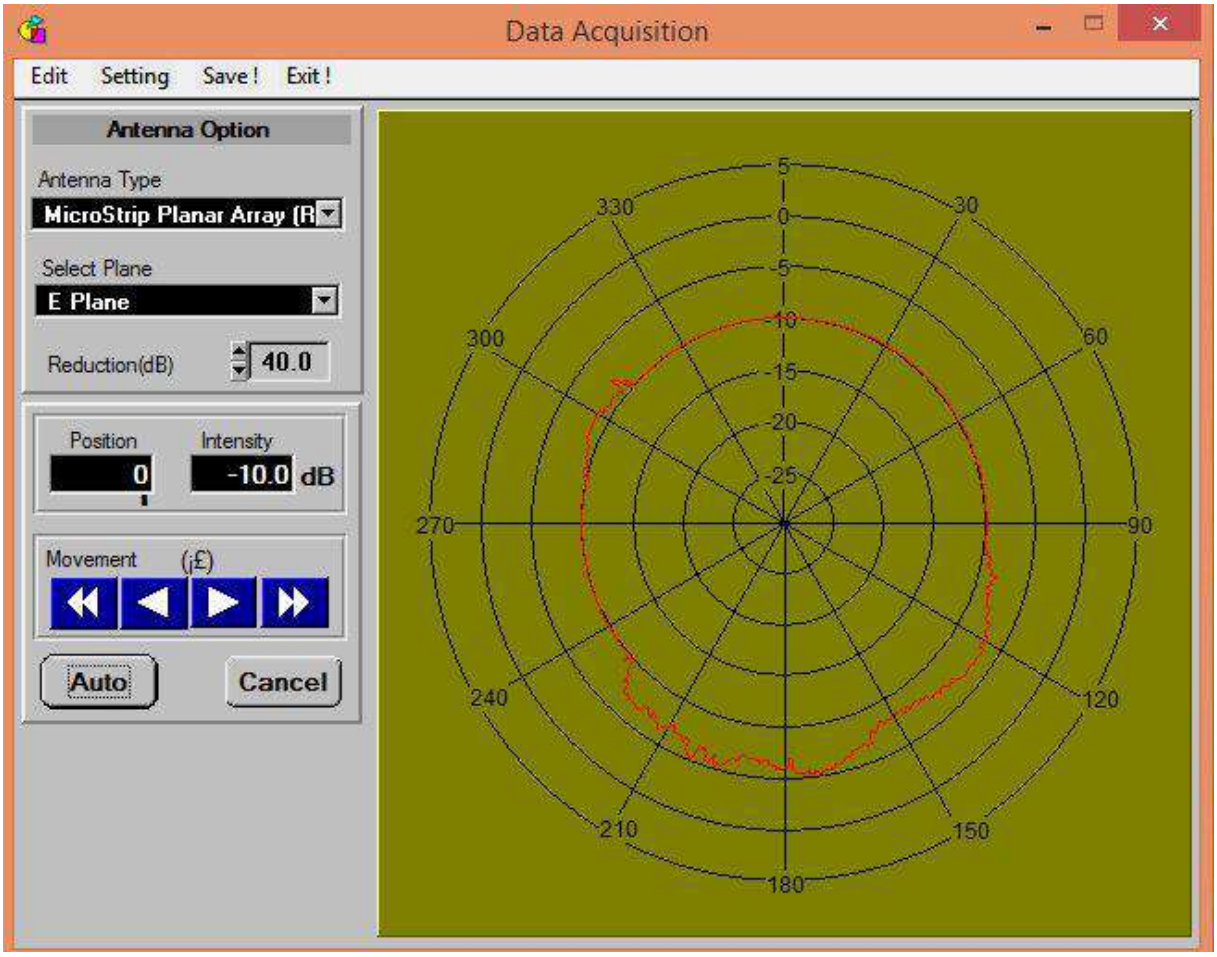


Figure III.8 : diagramme de rayonnement a 0° de 100cm

L'angle d'ouverture :

Angle d'ouverture = 180°

Gain :

G= -13 dB

III.4.2 Cas où l'antenne de réception est positionnée à l'angle θ=90°

III.4.2.1 Résultats pour la distance de 40 Cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes a déférence de distance de 40 cm et angle de 90° et fais le Système de formation d'antenne a fréquence de 2.4 **G**Hz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

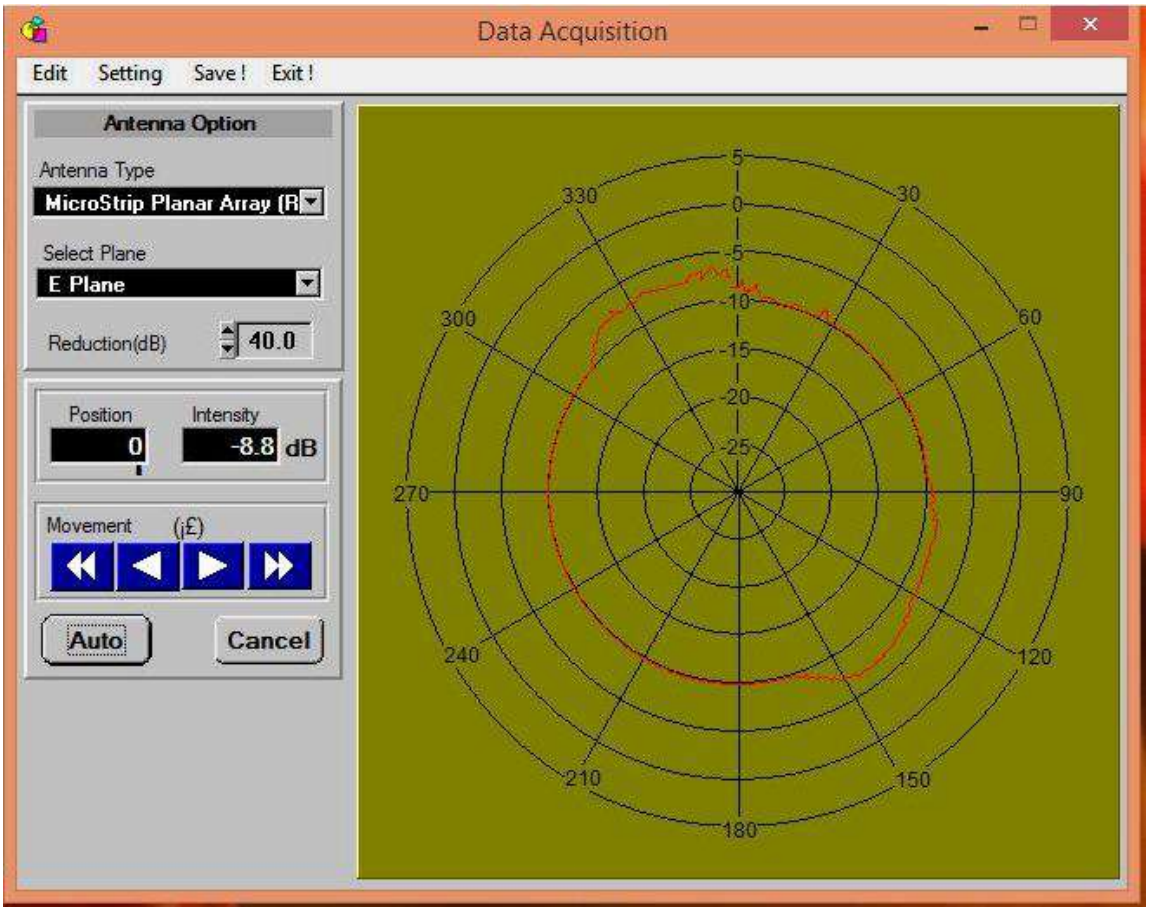


Figure III.9 : diagramme de rayonnement pour la réception à 90° pour une distance de 40cm

- l'angle d'ouverture est :

2°+42°=44°

- Gain est :

G=-4.5 dB

III.4.2.2 Résultats pour la distance de 50 Cm entre les deux antennes

Dans ce cas en pose les deux antennes à déférence de distance de 50 cm et angle de 90° et fais le Système de formation d'antenne à fréquence de 2.4 GHz après le résultat de diagramme de rayonnement en calcul l'angle d'ouverture et le gain :

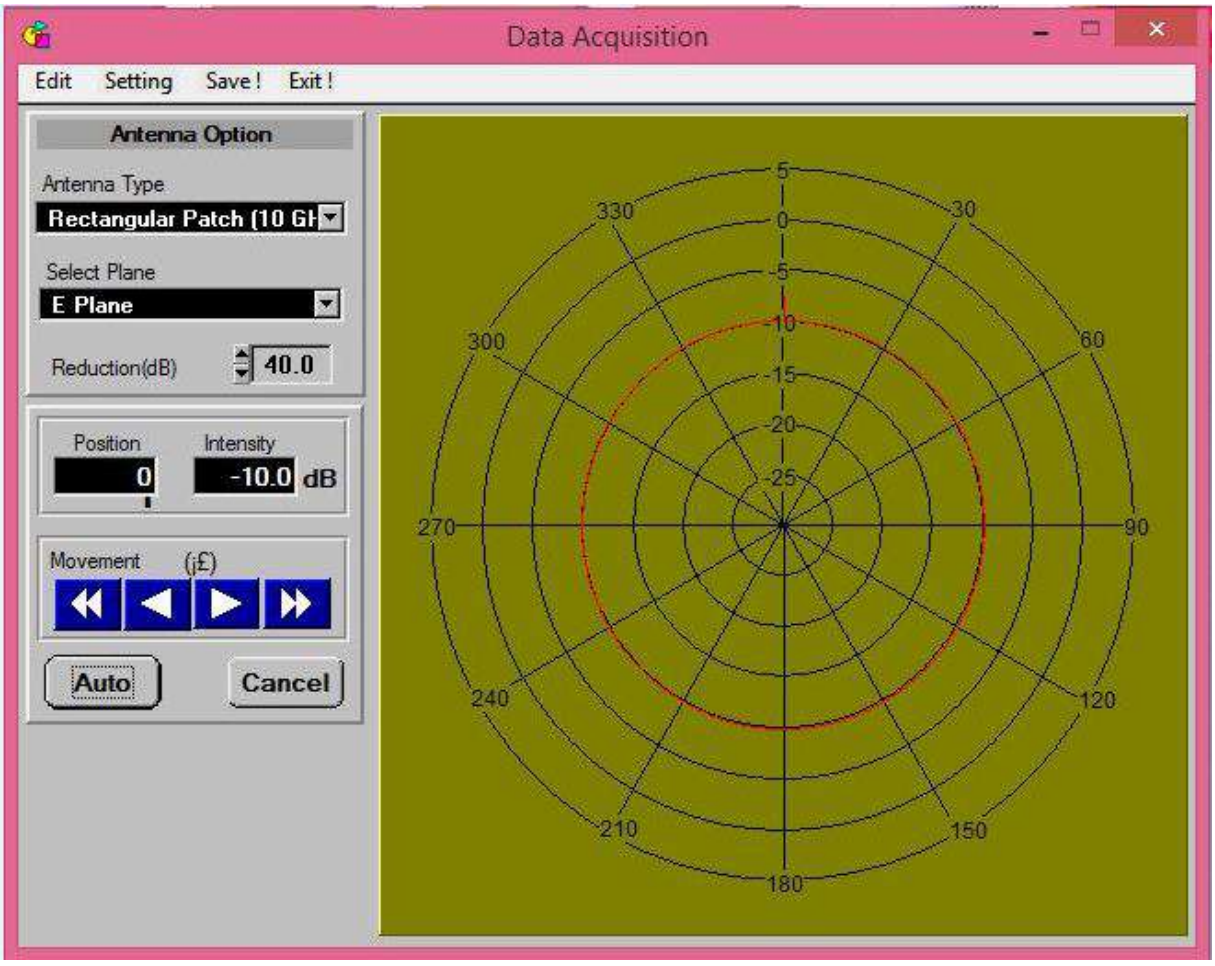


Figure III.10 : diagramme de rayonnement pour θ= 90° pour la distance de 50cm

➢ L'angle d'ouverture :

Φ=360°

➢ Gain :

G=-13 dB

III.4.3 discuter les résultats

- A l'augmentation de la distance entre deux antennes, conduit à la diminution de la puissance de rayonnement.
- Quand la distance entre les deux antennes augmente a 0° le Gain varie (4.5 dB jusqu'à -13 dB) et l'angle d'ouverture varie de 58° jusqu'à 360°.

- Pour la position de l'antenne réceptrice à la position θ=90°, Quand la distance entre deux antennes augmente a 90° le Gain varie (-4.5 dB jusqu'à -13 dB) et l'angle d'ouverture varie de 44° jusqu'à Φ
- Le rayonnement entre les deux antennes à 0° est absent à distance de 100 cm
- Le rayonnement entre les deux antennes à 90° est absent à distance de 50 cm
- Quand le gain est de valeur petit l'angle d'ouverture absent

III.5 Etude comparative avec la partie simulation

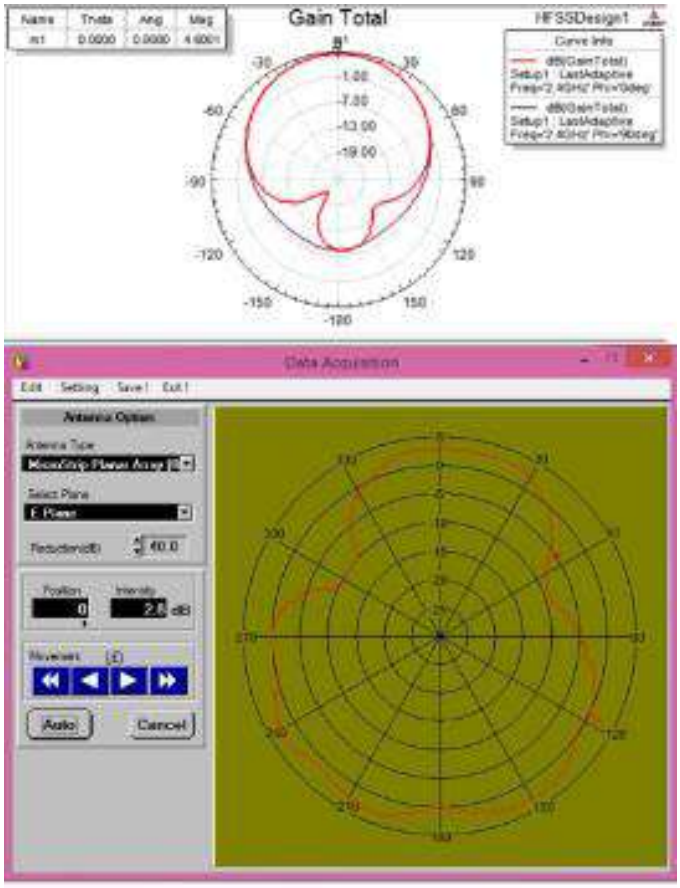


Figure III.11 : Gain de simulation et réalisation

Par la comparaison entre les deux diagrammes du Gain (simulation et réalisation) nous constatons :

1. Pour la Position θ = 0° :

- Le maximal du Gain pour le diagramme de la simulation correspond à 4.6 dB et 4.5 dB pour le diagramme de la réalisation.
- Le même angle d'ouverture pour les deux diagrammes qui correspond à 55°.

2. Pour la position θ= 90° :

Nous avons les mêmes résultats pour le maximal du Gain et l'angle d'ouverture avec la position 0°.

III.6 conclusion

Dans ce chapitre on fait la réalisation de l'antenne de la forme rectangulaire qui nous donne des bons résultats

Après la réalisation en comparer les résultats de ce dernier avec les résultats de la simulation qui dont :

- La même valeur maximale du Gain
- La même valeur de l'angle d'ouverture

A la fin nous concluons que les résultats de simulation et de réalisation sont presque identiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Bien que les antennes patch présentent un grand intérêt grâce à leur commodité et leur compatibilité avec les systèmes de télécommunication les plus récents, ce type d'antenne rencontre toujours des problèmes, et notamment le Gain faible et la bande passante limitée. Le présent travail nous a permis d'aboutir aux résultats de réalisation suivants :

- A l'augmentation de la distance entre deux antennes, le rayonnement diminue
- Quand la distance entre deux antennes augmente a 0° le Gain varie (4.5 dB jusqu'à -13 dB) et l'angle d'ouverture varie de 58° jusqu'à Φ
- Quand la distance entre deux antennes augmente a 90° le Gain varie (-4.5 dB jusqu'à -13 dB) et l'angle d'ouverture varie de 44° jusqu'à Φ
- Le rayonnement entre les deux antennes à 0° est absent à distance de 100 cm
- Le rayonnement entre les deux antennes à 90° est absent à distance de 50 cm
- Quand le gain est de valeur petit l'angle d'ouverture absent
- Le maximal du Gain pour le diagramme de la simulation correspond à 4.6 dB et 4.5 dB pour le diagramme de la réalisation.

Après la comparaison en conclue :

- Le même angle d'ouverture pour les deux diagrammes qui correspond à 55°.
- Nous avons les mêmes résultats pour le maximal du Gain et l'angle d'ouverture avec la position 0°.

Et à la fin on a atteint notre objectif de simulation et réalisation. Et on met en perspectif la possibilité d'améliorer cette antenne patch par d'autre étudiants en faisant des amélioration en alimentation et l'adaptation.

Références bibliographique

[1] Odile Picon et coll ; "Les antennes Théorie, conception et applications"; DUNOD, Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1, préface de Maurice Bellanger.

[2] Alexandre Boyer ; « ANTENNES, support de cours Enonce de travaux diriges » ; (INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE). www.alexandre-boyer.fr, alexandre.boyer@insa-toulouse.fr.

[3] F. Tinhinane. S. Melihi, "Antenne De Téléphonie Mobile, Caractérisation Et Optimization, " Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Béjia, 2016.

[4] James, J. R., and P. S. Hall (Eds), Handbook of Micro strips Antennas, Peter Pereginus, London, UK, 1989.

[5] J. P. Damino, A. Papiernik; "Survey of analytical numerical models for probfed microstrip antenna "; IEEE prose microwave antenna propagation. Vol 141, N°1, 15-22, 02/1994.

[6] Y. T. Lo, D. Soloman, W. F. Richards; "Theory and experiment on microstrip antennas ", IEEE trans. antennas Propagut., Vol.AP-27, pp.137-145, 03/1979.

[7] R. M. W. Deghfel, "Etude Et Conception D'une Antenne Patch Ultra Large Bande ULB A Bande Rejetée, " Master Académique , Universite Mohamed Boudiaf - M'sila, 2017.

[8] Méjri Fathi ; « Modélisation électromagnétique des structure active planaires par une méthode itérative avec une source auxiliaire localisée » ; Thèse de doctorat ENIT ; Soutenue le 4 février 2006.

[9] M. Diblang ; « Développement du concept de l'antenne a résonateur BIE pour la génération de la polarisation circulaire » ; Université de Limoges ; Thèse de doctorat ; 20 mars 2006.

[10] Mr. REFICE MOHAMED LAMINE ; « Modélisation et simulation des antennes en onde millimétrique à base de méta matériaux » ; magister en micro-ondes ; option communication ; spécialité électronique ; soutenu le : 24/05/2014.

[11] ROUIBAH Ammar ; «Etude d'une Antenne Micro ruban de forme Arbitraire par la méthode FDTD » ; Mémoire de magister ; Université Farhat abbas setif ; 2009.

[12] Soltane Samia ; « Etude et Caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra-large bande » ; Mémoire de MAGISTER ; université Mohamed khider- Biskra ; 17/11/2015.

[13] M. BELHEDRI.A ; « Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique » ; mémoire de Magister ; Université de Ouargla ; 2013.

[14] A. BEHLOUL ; " Contribution à l'étude des antennes microstrip Supraconducteur de forme triangulaire " ; Mémoire de Magister ; Institut d'électronique ; Université de Constantine ; 2010.

[15] Melihi souhila, Fengal Tine-hinane ; « Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation » ; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en télécommunication ; université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia ; 2016.

[16] Benabadji Selma, Lallam Chafika; " Conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en Télécommunications ; Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ; 2012.

[17] MEDDOUR Meriem ; « caractérisation des antennes micro rubans par l'approche d'onde unique » ; mémoire de Master ; Université d'Elhadj Lakhder, Batna ; 2015.

[18] BENKEDDA Siham, MEDDOUR Meriem ; « Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz » ; mémoire Master Académique ; université Kasdi Merbah Ouargla ; 2017.

[19] Baalouj Oualid ; « Etude de l'éffet du matériau du substrat sur les caractéristiques d'une antenne patch micro ruban » ; Mémoire de Master ; Université Larbi Tebessi-Tébessa ; 2016.

[20] Gasmi naamat allah ; «contribution à l'étude d'un réseaux d'antennes imprimées pour les télécommunications son fil » ; Mémoire de Master ; université Mohamed khider Biskra ; 2013.

[21] Deghfel walid et Marzougui rami ; « Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB a bande rejetée » ; Mémoire de Master ; Université mohamed Boudiaf M'sila ; 2016-2017.

[22] S. M. M. et F. T. B. L. Merad, "Application des Réseaux Neuronaux pour la Modélisation et l'Optimisation de Réseaux d'Antennes Imprimées, " Laboratoire de Télécommunications, Département d'Electronique Faculté des Sciences de l'Ingénieur, 2007.

[23] Haoued Mouissa Nawel, Madoui souad ; « L'effet d'une cellule AMC sur la bande passante d'une antenne patch » ; Mémoire MASTER ACADEMIQUE ; université Kasdi Merbah Ouargla ; 2017.

[24] Daouia BELGUELLAOUI ; « Analyse et conception des antennes microrubans alimentées par guide d'onde coplanaire » ; Mémoire de Master ; universite mohamed boudiafM'SILA ; 2016.

[25] Zaoui Bachir ; «Modélisation d'une antenne micro ruban compacte » ; Master Académique ; Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED ; 2014-2015.

Annexe

Les étapes suivies pour la conception d'une antenne patch rectangulaire dans HFSS :

Démarrer le logiciel HFSS 13.0 puis cliquer sur INSERT HFSS DESING qui se trouve dans PROJECT MANAGER.

Dessiner un rectangle dans La fenêtre 3D MODELER nommer GROUND et¬ modifier leurs paramètres dans CREATE RECTANGULAR [POSITION: 0,0,0 , XSIZE : 60 ,YSIZE : 60] puis régler la transparence a 0.58.

Cliquer sur DRAW BOX du barre d'outils pour dessiner un cube et modifier Z SIZE selon le h 3 mm et changer le nom BOX a SUBSTRATE puis régler la transparence a 1, changer le matériau a FR4-EXPOXY.

Dessiner un nouveau rectangle nommer PATCH et régler la transparence a 0.8 et leurs paramètres [POSITION : 15.59 ,10.995 ,3, XSIZE :28.82 , YSIZE :38.01].

Dessiner un troisième rectangle nommer SUBSTRACT et modifier leurs paramètres [POSITION : 38 ,26.5 ,3, XSIZE :9, YSIZE :7].

Sélectionner les deux rectangles PATCH et SUBSTRACT au même temp puis cliquer sur SUBSTRACT qui se trouve dans la barre d'outils.

Dessiner un quatrième rectangle nommer FEEDLINE et modifier leurs paramètres [POSITION : 37 ,28.55 ,3, XSIZE :23, YSIZE :2.9].

Sélectionner les deux rectangles PATCH et FEEDLINE au même temps puis cliquer sur UNITE qui se trouve dans la barre d'outils. Changer le plan de XY a YZ dans la barre d'outils.

Dessiner un cinquième rectangle nommer FED et modifier leurs paramètres [POSITION : 60 ,28.55, 3, YSIZE : 2.9, ZSIZE :-3].

Reprenons notre plan a XY.

Annexe

.

Dessiner un deuxième cube nommer BOX1 et régler la transparence a 1, modifier leurs paramètres [POSITION : -15 ,-15 ,-23,XSIZE :90,YSIZE:90, ZSIZE :50].

Cliquer a gauche sur GROUND => ASSIGN BOUNDARY => FINITE CONDUCTIVITY => USE MATERIAL et choisir COPPER.

Cliquer a gauche sur PATCH => ASSIGN BOUNDARY => FINITE CONDUCTIVITY => USE MATERIAL et choisir COPPER.

Cliquer a gauche sur RADIATIONBOX1=> ASSIGN BOUNDARY =>RADIATION.

Cliquer sur HFSS => SOLUTION TYPE => MODAL.

Cliquer a gauche sur FED => ASSIGN EXCITATION => LUMPED PORT => choisir l'impédance 50 ohm => NEW LIGNE et dessiner la ligne.

Cliquer sur HFSS =>ANALYSIS SETUP => ADD SOLUTION SETUP et régler la fréquence a 2.4 GHz , MAXIMUM NUMBER OF PASSES : 20.

Cliquer sur HFSS =>ANALYSIS SETUP => ADD FREQUENCY SETUP et régler leurs paramètres [SWEEP TYPE :FAST , STAR :1 GHz ,STOP : 3 GHz , STEP SIZE :0.01 GHz].

Cliquer sur VALIDATE, ANNALYSE ALL puis enregistrer le fichier.

Après que le logiciel fait la simulation on doit cliquer sur HFSS => RESULT =>CREATE TERMINAL SOLUTION DATA REPORT =>RECTANGULAR PLOT => choisir TERMINAL S PARAMETRE et régler FUNCTION en dB => NEW REPORT pour créer le diagramme de s11.

Cliquer sur HFSS =<> RESULT => CREATE TERMINAL SOLUTION DATA REPORT =>RECTANGULAR PLOT => choisir TERMINAL VSWR et régler FUNCTION en dB => NEW REPORT pour créer le diagramme de VSWR .

Cliquer sur HFSS=> RADIATION=> INSERT FAR FIELD SETUP=> INFINTE SPHERE => régler les paramètres START : -180 deg et STOP : 180 deg .

Cliquer sur HFSS => RESULT => CREATE FAR FIELDS REPORT => RADIATION PATTERN => choisir Gain dans CATEGORY et régler FUNCTION en dB, PHI dans

Annexe

.

FAMILIES de 0 a 90 deg => NEW REPORT pour créer le diagramme de rayonnement du gain.

Cliquer sur HFSS => RESULT => CREATE FAR FIELDS REPORT => RADIATION PATTERN => choisir rETOTAL dans CATEGORY et régler FUNCTION en dB , PHI dans FAMILIES de 0 a 90 deg => NEW REPORT pour créer le diagramme de rayonnement du champ électrique.

Cliquer sur HFSS => RESULT => CREATE FAR FIELDS REPORT => 3D POLAR PLOT => choisir rETOTAL dans CATEGORY et régler FUNCTION en dB => NEW REPORT pour créer le champ électrique total 3D.

Cliquer sur HFSS => RESULT=> CREATE FAR FIELDS REPORT => 3D POLAR PLOT => choisir GAIN dans CATEGORY et régler FUNCTION en dB => NEW REPORT pour créer le gain 3D.

Cliquer sur HFSS => RESULT => CREATE FAR FIELDS REPORT=>RECTANGULAR PLOT et choisir DIRECTIVITY dans CATEGORY, régler FUNCTION en dB et THETHA de -100 a 100 deg => NEW REPORT pour créer le diagramme de directivité.