

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA



RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BLIDA-01

INSTITUT D'AERONAUTIQUE ET DES ETUDES SPATIALES

Mémoire de MASTER

Spécialité : Aéronautique

Option : CNS/ATM

THEME



Etude des performances d'une antenne Patch
rectangulaire 2.4 et 5 GHz

Réalisé par :

Mr. BEDRA Ilyes

Mr. LATRECHE Abdelhak

diriger par :

Pr: H .Meliani

Soutenance le 20 septembre 2015 devant le jury composé de

Président : Kouider .A

Dr

université Blida 01

Examineur : Meguellati

Dr

université Blida 01

Examineur : Othmane.F

Dr

université Blida 01

Promotion : 2015

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

A mon père qui a souhaité vivre longtemps juste pour voir ce que nous sommes devenus.

A celle qui m'a transmise la vie, l'amour, le courage, à toi chère ma mère toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance

A mes frères et sœurs

A Khadija ma chère sœur

A Djazia

A mon binôme Ilyes qui m'a supportée durant ces trois dernières années et chez qui j'ai trouvée l'entente dont j'avais besoin.

Mes sincères dédicaces à mon promoteur Mr H. Meliani ;

A mes amis surtout : Samir, Merzoug, abdessamed, Mimoun. Ahmed

Enfin à tous les personnes ayant contribué à l'élaboration de ce travail, ou même par un sourire.

Abdelhak

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

A mon père qui a souhaité vivre longtemps juste pour voir ce que nous sommes devenus.

A celle qui m'a transmise la vie, l'amour, le courage, à toi chère ma mère toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

A mes frères et sœurs.

A ANFEL ma chère sœur.

A mon binôme Abdelhak qui m'a supportée durant ces trois dernières années et chez qui j'ai trouvée l'entente dont j'avais besoin.

Mes sincères dédicaces à mon promoteur Mr H. Meliani ;

A mes amis.

Enfin à tous les personnes ayant contribué à l'élaboration de ce travail, ou même par un sourire.

Ilyes

REMERCIEMENTS

C'est avec un très grand honneur que nous réservons cette page en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Nous exprimons notre gratitude à notre encadreur le Professeur MELIANI HAMZA d'avoir accepté de diriger ce travail, nous sommes touchés par ses compétences et sa rigueur et pour l'aide précieux qu'il nous a apporté pour mener à bien notre projet.

Nos remerciements s'adressent également à Kouider.A le Président du Jury ainsi que les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail.

Mr. Bedra Ibyes.

Mr. Latreche Abdelhak,

Sommaire

Dédicaces.....	i
Remerciements.....	iii
Liste des figures.....	vii
Liste des Tableaux.....	x
Notation.....	xi
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les antennes Patch Microruban (Microstrip Antenna).....	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Principe de base et fonctionnement.....	3
I.3. Les avantages et les inconvénient.....	4
I.3.1. Les avantages.....	4
I.3.2. Les inconvénients.....	5
I.4. Les types des antennes patch.....	5
I.5. Techniques d'alimentation.....	5
I.5.1. Ligne Microruban (Microstrip Line Feed)	6
I.5.2. Sonde coaxiale où (Ligne de coaxiale).....	6
I.5.3. Couplage par fente (Aperture Coupled Feed)	7
I.5.4. Ligne microbande en sandwich (Proximity-coupled feed).....	8
I.6. Méthode d'analyse : Modèle de ligne de transmission.....	8
I.6.1. Effets de bord.....	9
I.6.2. Longueur effective.....	10
I.6.3. Fréquence de résonance.....	11
I.6.4. La conception.....	11
I.6.5. La Conductance.....	11
I.6.6. L'impédance caractéristique.....	13
I.7. Diagramme de rayonnement :	14
I.8. La directivité et le gain.....	15
I.8.1. La directivité.....	15
I.8.2. Le gain.....	16
I.9. Efficacité de rayonnement.....	16
I.9.1. L'efficacité de rayonnement.....	16
I.10. Largeur De Bande.....	17
I.11. Impédance d'adaptation.....	18
I.12. Le coefficient de réflexion S_{11} « return Loss »	18
I.13. La Polarisation.....	18

I.14.	Mise en réseau.....	19
I.14.1.	Réseaux linéaires à alimentation parallèle.....	20
I.15.	Conclusion.....	21
Chapitre II. Etude des performances d'une antenne microruban rectangulaire.....		22
II.1.	Introduction.....	22
II.2.	Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 2.4$ GHz.....	22
II.3.	Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 0-3GHz.....	25
II.3.1.	Structure simulée (3D).....	26
II.3.2.	Coefficient de réflexion (paramètre S_{11}) en fonction de la fréquence.....	26
II.3.3.	Bande passante.....	28
II.3.4.	Taux d'onde stationnaire TOS.....	28
II.3.5.	Diagramme de rayonnement.....	29
II.3.6.	Le Gain de l'antenne.....	29
II.3.7.	Directivité de l'antenne.....	31
II.3.8.	Rendement de l'antenne.....	31
II.3.9.	Répartition du champ électrique E de l'antenne.....	32
II.3.10.	Répartition du champ magnétique H de l'antenne.....	33
II.4.	Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 5$ GHz.....	33
II.5.	Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 0-6 GHz.....	36
II.5.1.	Structure simulée (3D).....	36
II.5.2.	Coefficient de réflexion (paramètre S_{11}) en fonction de la fréquence.....	37
II.5.3.	Bande passante.....	38
II.5.4.	Taux d'onde stationnaire TOS.....	38
II.5.5.	Diagramme de rayonnement.....	39
II.5.6.	Le Gain de l'antenne.....	40
II.5.7.	Directivité de l'antenne.....	41
II.5.8.	Rendement de l'antenne.....	42
II.5.9.	Distribution du champ électrique E.....	42
II.5.10.	Distribution du champ magnétique H.....	43
II.6.	Conclusion.....	44
Chapitre III. Etude des performances d'un réseau linéaire d'antenne microruban rectangulaires.....		45
III.1.	Introduction.....	45
III.2.	Dimensions optimales d'un réseau (2*1) d'antennes patch de fréquence de travail $f_0 = 2.4$ GHz.....	45

III.3. Paramètres caractéristiques du réseau (2*1) d'antennes sur la bande de fréquence 0-3Ghz	48
III.3.1. Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.....	48
III.3.2. Bande passante.....	49
III.3.3. Taux d'onde stationnaire.....	49
III.3.4. Diagramme de rayonnement.....	50
III.3.5. Le Gain de l'antenne.....	50
III.3.6. Directivité de l'antenne.....	52
III.3.7. Répartition du champ électrique E.....	52
III.3.8. Répartition du champ magnétique H.....	53
III.4. Réseau d'antennes patch (4*1) de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$.....	54
III.4.1. Structure simulée du réseau linéaire de (4*1) éléments (3D)	54
III.4.2. Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.....	55
III.4.3. Bande passante.....	55
III.4.4. Taux d'onde stationnaire.....	56
III.4.5. Diagramme de rayonnement.....	57
III.4.6. Le Gain de l'antenne.....	57
III.4.7. Directivité de l'antenne.....	59
III.4.8. Répartition du champ électrique E.....	60
III.4.9. Répartition du champ magnétique H.....	60
III.5. Comparaison des résultats.....	61
III.6. Conclusion.....	61
Conclusion Générale.....	62
Référence Bibliographique	
Les Annexe	
Résumé	

Listes de Figures

Chapitre I. Généralité sur les antennes Patch Microruban (Microstrip Antenna).....	3
Figure I.1 : Forme générale d'une antenne microruban rectangulaire.....	3
Figure I.2 : les zones de créations les champs électromagnétique dans l'antenne Microruban.....	4
Figure I.3 : Formes représentatives pour les antennes patch microruban.....	5
Figure I.4 : Alimentation par ligne microruban.....	6
Figure I.5 : Alimentation par sonde coaxiale.....	7
Figure I.6 : Alimentation par ligne microruban et fente.....	7
Figure I.7 : Alimentation couplée par ligne enterrée (Ligne microbande en sandwich).....	8
Figure I.8 : Ligne microruban et ses lignes de champ électrique, et la géométrie de la constante de diélectrique effective.....	9
Figure I.9 : Longueurs physiques et effective de l'antenne microruban rectangulaire.....	10
Figure I.10 : Microruban Patch rectangulaire et leur modèle de ligne de la transmission de circuit équivalent.....	12
Figure I.11 : Variation de la conductance de la fente en fonction de sa largeur.....	13
Figure I.12 : Ligne d'alimentation micro ruban renforcée.....	14
Figure I.13 : Diagramme de rayonnement polaire d'une antenne patch rectangulaire $E(\varphi = 0, \varphi = 90)$.....	15
Figure I.14 : La Bande passante.....	16
Figure I.15 : La distribution du courant dans la surface de patch.....	18
Figure I.16 : Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement.....	19
Figure I.17 : Types de réseau d'antenne Microruban.....	20
Figure I.18 : Transformateurs $\lambda/4$ pour adaptation dans la distribution du signal avec réseaux d'antennes microruban.....	20
Chapitre II. Etude des performances d'une antenne microruban rectangulaire.....	22
Figure II.1 : l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne microruban.....	22
Figure II.2 : Variation des dimensions de l'antenne en fonction de h.....	24
Figure II.3 : changement des performances de l'antenne en fonction de h.....	24
Figure II.4 : Structure 3D de l'antenne patch de fréquence de travaille $f_0=2.4\text{GHz}$.....	26
Figure II.5 : S_{11} en fonction de f pour un balayage de bande 0-3GHz.....	27

Figure II.6 : TOS en fonction de f_r pour un balayage de la fréquence de 0Ghz-3Ghz.....	28
Figure II.7 : Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi=90^\circ$.....	29
Figure II.8 : le gain de l'antenne ($\varphi = 0^\circ$ et $\varphi=90^\circ$) en 2D.....	30
Figure II.9 : Gain en 3D de l'antenne patch rectangulaire.....	30
Figure II.10 : Directivité en 3D de l'antenne patch rectangulaire.....	31
Figure II.11 : Champ électrique E en 2D de l'antenne.....	32
Figure II.12 : Champ magnétique H en 2D de l'antenne.....	33
Figure II.13 : Variation des dimensions de l'antenne en fonction de h.....	34
Figure II.14 : Changement des performances de l'antenne en fonction de h.....	35
Figure II.15 : Structure 3D de l'antenne patch de fréquence de travail $f_0 = 5\text{GHz}$.....	36
Figure II.16 : Variation du coefficient S_{11} de l'antenne patch en fonction de f_r.....	38
Figure II.17 : TOS de l'antenne patch en fonction de la fréquence f_r.....	39
Figure II.18 : Diagramme de rayonnement pour $\varphi= 0^\circ$ et $\varphi= 90^\circ$.....	40
Figure II.19 : Gain en 2D de l'antenne patch de fréquence $f_0 = 5\text{Ghz}$ pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi=90$.....	40
Figure II.20 : Gain en 3D de l'antenne patch de fréquence $f_0 = 5\text{Ghz}$.....	41
Figure II.21 : Directivité en 3D d'antenne patch de fréquence $f_0=5\text{Ghz}$.....	41
Figure II.22 : Distribution du champ électrique E de l'antenne de fréquence $f_0=5\text{Ghz}$.....	42
Figure II.23 : Distribution du champ magnétique H de l'antenne de fréquence $f_0 = 5\text{Ghz}$.....	43
Chapitre III. Etude des performances d'un réseau linéaire d'antenne microruban rectangulaires.....	45
Figure III.1 : Structure d'un réseau linéaire d'antennes de (2*1).....	45
Figure III.2 : S_{11} en fonction de f_r pour un réseau d'antennes (2*1).....	46
Figure III.3 : Structure de réseau (2*1) en 3D modifiée.....	47
Figure III.4 : La variation de S_{11} du réseau (2*1) en fonction de f_r.....	48
Figure III.5 : TOS du réseau (2*1) en fonction de f_r.....	49

Figure III.6 : <i>Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$</i>	50
Figure III.7 : <i>Gain du réseau d'antennes (2*1) pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$ en 2D</i>	51
Figure III.8 : <i>Le gain du réseau d'antennes (2*1) en 3D</i>	51
Figure III.9 : <i>Directivité du réseau d'antennes patch (2*1) en 3D</i>	52
Figure III.10 : <i>Répartition de champ électrique d'un réseau linéaire (2*1) d'antennes en 2D</i>	52
Figure III.11 : <i>répartition en 2D du champ magnétique d'un réseau linéaire (2*1) d'antennes</i>	53
Figure III.12 : <i>la structure en 3D</i>	54
Figure III.13 : <i>La variation de S_{11} du réseau (4*1) en fonction de f_r</i>	55
Figure III.14 : <i>TOS du réseau (4*1) en fonction de f_r</i>	56
Figure III.15 : <i>le diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$</i>	57
Figure III.16 : <i>le gain de l'antenne ($\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$) en 2D</i>	58
Figure III.17 : <i>Le gain du réseau d'antennes (4*1) en 3D</i>	58
Figure III.18 : <i>Directivité du réseau d'antennes patch (4*1) en 3D</i>	59
Figure III.19 : <i>Répartition de champ électrique d'un réseau linéaire (4*1) d'antennes en 2D</i>	59
Figure III.20 : <i>Répartition en 2D du champ magnétique d'un réseau linéaire (4*1) d'antennes</i>	60

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne microruban rectangulaire.....	25
Tableau II.1 : Paramètres de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.	25
Tableau II.2 : Variation de f_r et S_{11} et Gain en fonction de G_{pf}.....	27
Tableau II.3 : Paramètres de l'antenne patch de fréquence de travail $f_0 = 5\text{GHZ}$ alimentée par une ligne microruban.	36
Tableau II.4 : la variation de f_r et S_{11} et Gain en fonction de G_{pf}.....	37
Tableau II.5.les caractéristiques des antennes patch rectangulair	44
Chapitre III. Etude des performances d'un réseau linéaire d'antenne microruban rectangulaire... ..	47
Tableau III.1 : Paramètres de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.....	47
Tableau III.2 : la comparaison entre les antennes.....	61

Notations

B : L'induction magnétique.

B_p : La Bande Passante.

c : Célérité de la lumière dans le vide ou l'air.

D : La directivité.

dB : décibel.

E_θ, E_ϕ : Les champs électriques de radiations.

E : Le champ électrique.

e_r : L'efficacité de rayonnement.

FEM : Finite Element Method.

f_r : La fréquence de résonance.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineer.

G : Le gain.

G_{pf} : La distance entre les bords d'encoche et la ligne de transmission.

G_1 : La Conductance.

HFSS: High Frequency Structure Simulator.

\vec{H} : Champ magnétique.

h : L'épaisseur de substrat.

k : Vecteur unitaire.

L : La longueur du Patch.

L_{eff} : La longueur effective.

ΔL : L'extension de la longueur.

P_f : Distance de l'encoche.

P_r : Puissance de rayonnement.

t : L'épaisseur de patch.

$\text{tang}(\delta)$: La tangente de pertes.

TOS : Taux d'onde stationnaire.
VSWR: Voltage Standing Wave Ratio
W: La largeur de patch.
W_f: La largeur de la ligne d'alimentation.
S₁₁: Le coefficient de réflexion.
 $\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$: Vecteurs unitaires.
Wi-Fi: Wireless fidelity.
Y: Admittance.
Y_{in}: Admittance interne.
Y_c : Admittance caractéristique
Z_c: Impédance caractéristique.
Z_{in}: Impédance interne.
Z₀: Impédance caractéristique à vide.
2D et 3D : Deux et trois dimensions.
 \times : Produit vectoriel.
 \cdot : Produit scalaire.
 μ : Perméabilité magnétique.
 μ_0 : Perméabilité magnétique du vide.
 β : Constant de propagation.
 ϵ : La permittivité.
 ϵ_0 : Permittivité diélectrique du vide.
 ϵ_r : La permittivité relative.
 ϵ_{reff} : Permittivité effective.
 ρ_v : Volume densité de charge.
 λ_0 : Longueur d'onde.
 λ_g : Longueur d'onde dans guide d'onde.
 Φ : Flux Magnétique.

φ : Phase par rapport l'axe (xy).

θ : Phase par rapport l'axe (yz).

θ_{-3dB} : L'ouverture mi- puissance.

ω : Pulsation.

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

Les premiers moyens de télécommunications utilisés par l'être humain furent les signaux de fumée, les tambours, les miroirs pour transmettre des informations. Avec le temps, l'être humain ne cessait de développer les moyens de communications. Par exemple au dix-huitième siècle le premier système de télégraphie fut réalisé. En 1876 Alexander Bell réalisa la première ligne téléphonique câblée. Avec le développement technologique et les besoins de l'être humain, les moyens de transmission n'ont cessé de se développer. En effet le vingtième et le début du vingt un énième siècles ont vu la naissance de l'internet, des réseaux informatiques câblés et sans fil, des téléphones portables etc.. Ces nouvelles technologies utilisent différents types d'antennes et parmi celles-ci on peut citer les antennes microruban qu'on retrouve par exemple dans les ordinateurs, les modems Wi-Fi , et les téléphones portables ainsi que dans différentes stations de transmission de l'information. Cette antenne est caractérisée par son faible poids, sa facilité miniaturisation, sa portabilité, sa souplesse d'installation, ses bonnes performances. Ces caractéristiques lui permettent d'être intégrée aisément dans les circuits imprimés. Cependant, la performance électrique de base d'une antenne microruban ou en réseau souffre d'un certain nombre d'inconvénients (bande passante étroite, faible directivité, faible puissance ...) qui ont été surmontés, ou du moins allégés dans une certaine mesure.

Pour maîtriser et mieux comprendre d'une certaine manière ce type d'antenne, nous avons dans notre projet de fin d'études conçu et étudié les performances de deux réseaux d'antennes linéaires dans la gamme 2.4/5GHz du standard IEEE802.11n en utilisant le simulateur HFSS. L'un des réseaux est constitué de deux antennes patch connectées en parallèle (2*1) et l'autre est constitué de quatre antennes connectées aussi en parallèle (4*1). Le diélectrique utilisé (FR4-Epoxy) est l'un des matériaux les plus utilisés dans la fabrication de ce type d'antennes et ce en raison de son poids léger et sa capacité à résister à la chaleur, l'eau, etc...et à son faible coût.

Le présent mémoire est constitué principalement de trois chapitres.

Le premier chapitre donne une esquisse sur les généralités ainsi que les paramètres caractéristiques d'une antenne microruban rectangulaire.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception et l'étude des performances de deux antennes microruban rectangulaires de fréquence de travail 2.4 GHz et 5 GHz utilisées dans le standard IEEE802.11n dans les communications sans fil Wi-Fi.

Le troisième chapitre présente la conception et l'étude des performances de deux réseaux d'antennes microruban rectangulaires de fréquence de travail 2.4 GHz utilisées aussi dans le standard IEEE802.11n.

En dernier lieu une conclusion est donnée sur le travail accompli dans ce projet de fin d'études.

Chapitre I

Chapitre I

I.1. Introduction

L'histoire de l'antenne microruban a commencée pour la première fois en 1953, date à laquelle Georges Deschamps a proposé le concept de radiateurs Microstrip. Ce n'est que deux décades plus tard que ce type d'antenne a été fabriqué. Les premières antennes pratiques ont été développées par Howel et Munson. [1]

Les antennes microruban peuvent être conçues sous différentes formes géométriques. Cependant l'antenne patch rectangulaire et circulaire sont les plus usitées. Dans ce qui suit nous allons passer en revue le principe de fonctionnement d'une antenne microruban ainsi que ses caractéristiques fondamentales telles que le gain, la directivité, le rendement, le coefficient de réflexion, le diagramme de rayonnement, la bande passante et la fréquence de résonance.

I.2. Principe de base et fonctionnement

Forme générale d'une antenne patch rectangulaire [2]. Les paramètres de base d'une antenne patch rectangulaire, **Figure 1.1** sont :

- la ligne microruban d'alimentation,
- le patch métallique ayant les dimensions suivantes :
 - ✓ Epaisseur très mince $t \ll \lambda_0$ (longueur d'onde dans l'espace vide)
 - ✓ Longueur L
 - ✓ Largeur W
- Substrat (diélectrique) d'épaisseur h est incluse entre $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$
- Plan de masse collé au substrat.

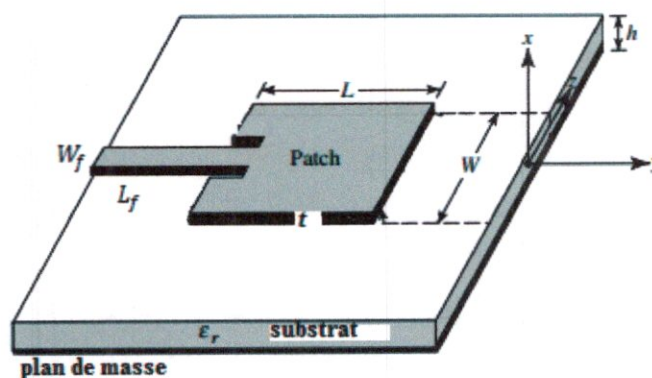


Figure 1.1 : Forme générale d'une antenne microruban rectangulaire. [2]

I.2.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une antenne patch rectangulaire, **Figure I.2**, est basé sur la création des champs électrique et magnétique dans le substrat (entre patch et le plan de masse). Ce phénomène permet le rayonnement des ondes qui se propagent dans l'air avec une vitesse de propagation dans le vide v_0 égale à la vitesse de la lumière dans l'espace $c = v_0 = 3.10^8 m/s$

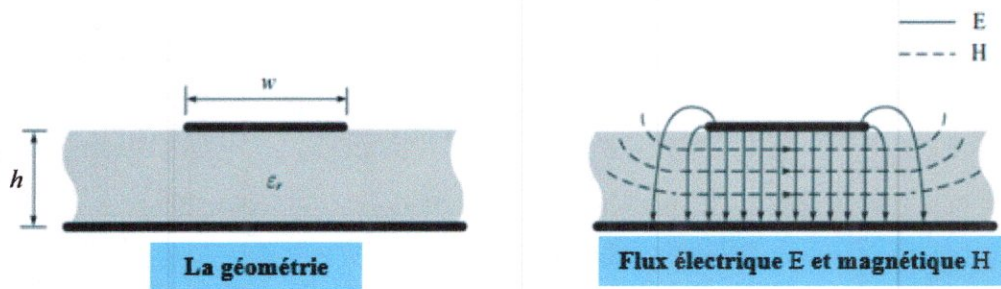


Figure I.2 : les zones de créations les champs électromagnétique dans l'antenne Microruban. [3]

I.3. Les avantages et les inconvénients

I.3.1. Les avantages

- Faible masse, faible volume,
- faible épaisseur.
- Possibilité d'être imprimée sur des substrats souples.
- Possibilité d'être intégrée dans des appareils électroniques transportables (Téléphones mobiles, ordinateurs personnels (PC), assistants personnels (PDA), récepteurs portables GPS, transpondeurs RFID, appareils photos numériques). [4]
- Facilités de fabrication : [4]
 - ✓ mise en réseau
 - ✓ intégration aisée de composants ou de circuits actifs hybrides (Réseaux linéaires ou planaires Technologie MIC « composants rapportés »).
- Faible coût de fabrication (Production automatisée de masse).

I.3.2. Les inconvénients

- Bande passante souvent étroite, de l'ordre de 2 à 5 %. [2]
- Directivité faible pour un élément seul, c'est-à-dire (Le gain peut être augmenté lors de la mise d'éléments en réseau).
- Faible tenue en puissance (Quelques watts à quelques dizaines de watts).
- Rendement limité de surface : [4]
 - ✓ par les pertes diélectriques
 - ✓ par l'excitation d'ondes de surface dans le diélectrique.
 - ✓ par les pertes dans les lignes d'alimentation
- Risque de rayonnement parasite dû aux jonctions avec l'alimentation ou à la limitation du plan de masse.
- Difficulté d'élaborer des antennes à haute pureté de polarisation.
- Problème de tolérances de fabrication si les motifs imprimés sont petits.

I.4. Les types des antennes patch

Il y a plusieurs formes géométriques des patches qui peuvent être employées pour la conception des antennes microruban, **Figure I.3.** Les constantes diélectriques des substrats utilisés sont habituellement dans la gamme $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. [2]

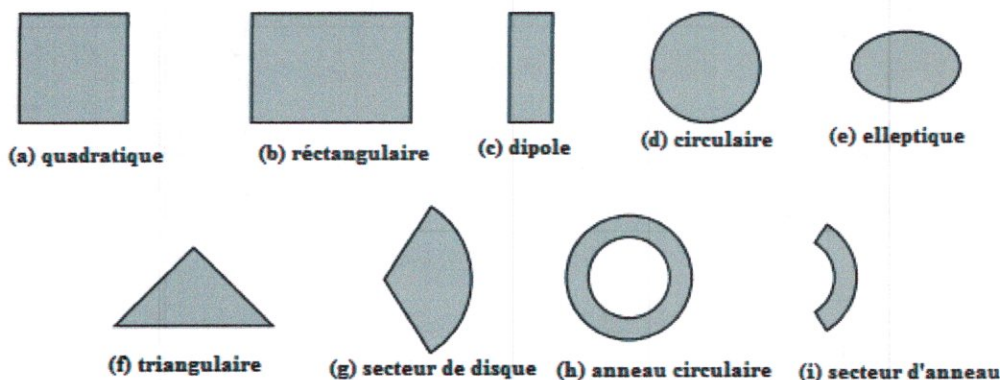


Figure I.3 : Formes représentatives pour les antennes patch microruban. [2]

I.5. Techniques d'alimentation

Il y a plusieurs configurations qui peuvent être utilisées pour l'alimentation de l'antenne microruban. Les quatre types les plus utilisés sont :

- Ligne Microruban (Microstrip Line Feed).
- Sonde coaxiale (Coaxial Feed ou Coplanar Feed).

- Couplage par fente (Aperture Coupled Feed)
- Ligne microbande en sandwich (Proximity Coupled Feed).

I.5.1. Ligne Microruban (Microstrip Line Feed)

Cette technique que nous avons utilisée dans notre travail est la moins coûteuse et la plus aisée à réaliser. Elle est simple à adapter au patch. L'antenne, **Figure I.4**, est connectée à une ligne d'impédance caractéristique qui est fonction de sa largeur, épaisseur et le matériau du diélectrique utilisé. Le choix de la ligne d'alimentation peut s'effectuer de la façon suivante : une fois la dimension de l'élément rayonnant choisie, l'impédance en bord est soit mesurée à l'aide d'une ligne d'alimentation d'impédance caractéristique 50Ω , soit calculée. [4]

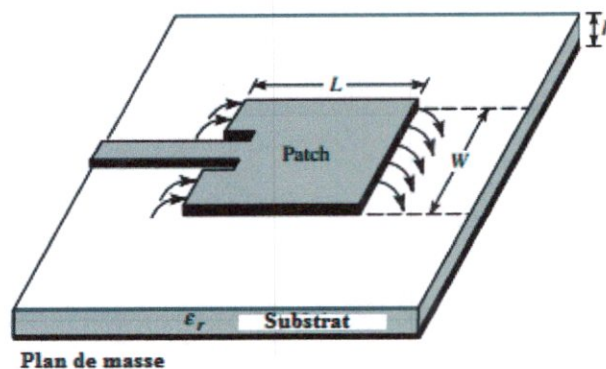


Figure I.4 : Alimentation par ligne microruban. [2]

I.5.2. Sonde coaxiale où (Ligne de coaxiale)

La **Figure I.5**, représente la forme générale de cette alimentation. Dans cette technique, le conducteur intérieur du coaxial est attaché à la radiation du patch tandis que le conducteur externe est relié au plan de masse. Cette alimentation est aussi simple à réaliser mais difficile pour des substrats d'épaisseur $h > 0.02\lambda_0$. Dans le cas des substrats de faibles épaisseurs, un point d'impédance réelle et quasiment égale à 50Ω est obtenu pour le mode fondamental, pour une sonde située à environ à $1/3$ de la longueur résonante du patch. Cette valeur permet l'adaptation à la plupart des coaxiaux HF d'impédance caractéristique 50Ω . La sonde coaxiale a aussi une faible largeur de bande. [2]

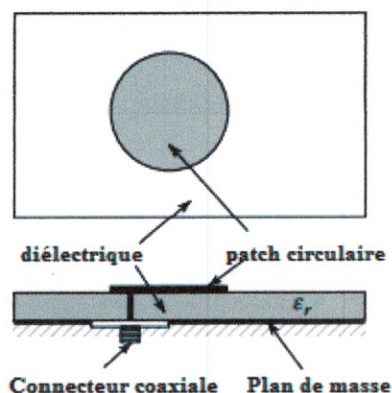


Figure I.5 : Alimentation par sonde coaxiale. [2]

I.5.3. Couplage par fente (Aperture Coupled Feed)

La Figure I.6 illustre la forme générale de cette technique d'alimentation. Dans cette méthode, le transfert de puissance de la ligne à l'élément se fait par couplage depuis la ligne à travers une fente, électriquement petite. Cette méthode nécessite un positionnement très précis qui n'est pas toujours facile à obtenir dans le cas de structures conformées ou de petites dimensions.

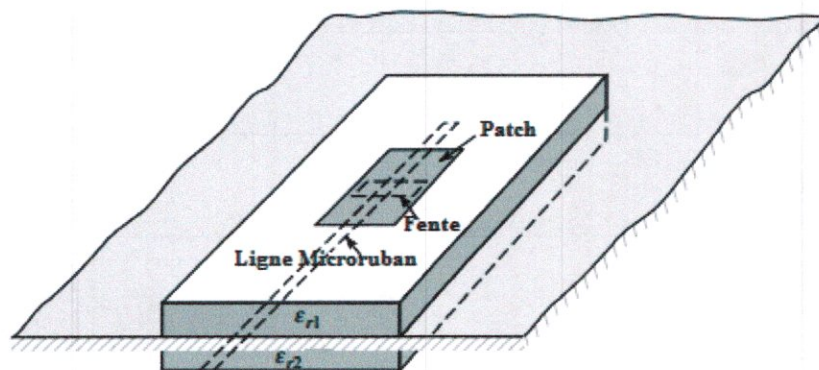


Figure I.6 : Alimentation par ligne microruban et fente. [2]

Un accroissement de bande passante peut même être obtenu par couplage entre la résonance du patch et celle de la fente lorsque sa longueur approche celle du patch de couplage. [4]

I.5.4. Ligne microbande en sandwich (Proximity-coupled feed)

Une antenne patch peut être aussi alimentée par couplage électromagnétique de la ligne microruban à l'élément rayonnant. Dans ce cas, le résonateur et la ligne d'alimentation sont situés du même côté du plan de masse **Figure I.7**. L'antenne est formée de deux substrats, avec une ligne Microruban sur le substrat inférieur qui se termine en circuit ouvert sous le patch imprimé sur le substrat supérieur.[5]

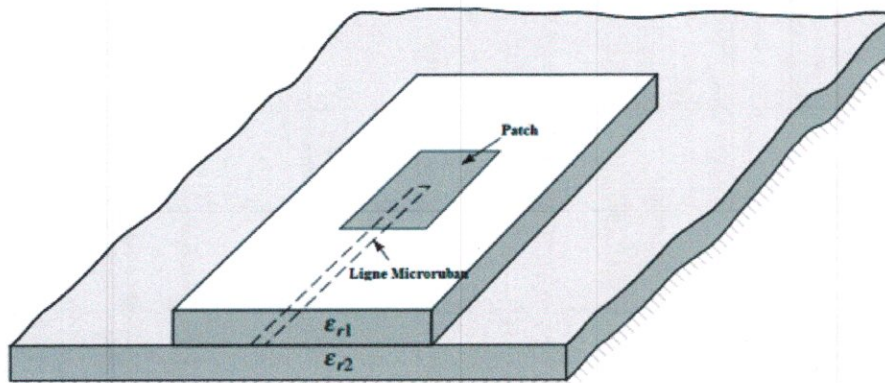


Figure I.7 : Alimentation couplée par ligne enterrée (Ligne microbande en sandwich). [2]

I.6. Méthode d'analyse : Modèle de ligne de transmission

Il y a plusieurs méthodes d'analyse des antennes microruban, les plus utilisées d'entre elles sont : [2]

- Modèle des lignes de transmission.
- Mode de cavité.
- La Méthode des moments.

Les deux premières méthodes sont bien décrites dans. [2]

Comme nous avons utilisé au chapitre II le modèle des lignes de transmission pour l'étude des antennes microruban, nous allons donner dans ce qui suit un aperçu uniquement sur cette technique.

Le modèle de ligne de transmission est la première technique employée pour analyser l'antenne patch rectangulaire par **Munson** en 1978. Ce modèle est simple et donne de bons résultats. Cependant des difficultés peuvent être rencontrées lorsqu'on fait le couplage entre plusieurs éléments d'antenne. [1]

Un modèle de ligne de transmission est basé sur quelques caractéristiques suivantes :

I.6.1. Effets de bord

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique se produit à travers l'antenne patch, une partie du flux électrique se retrouve dans le substrat et une autre partie dans l'air, Figure I.8. Il faut donc considérer non-pas la constante diélectrique du substrat seule mais plutôt la constante diélectrique effective ϵ_{reff} . [4]. Une bonne approximation de celle-ci, donnée par l'équation I.12, est valide lorsqu'on a $W/h > 1$: [2]

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (I.1)$$

A cause des effets de bord importants, le patch donne l'impression d'être plus grand électriquement. Il importe donc d'en tenir compte dans les calculs en considérant les dimensions effectives plutôt que de prendre les dimensions physiques. [2]

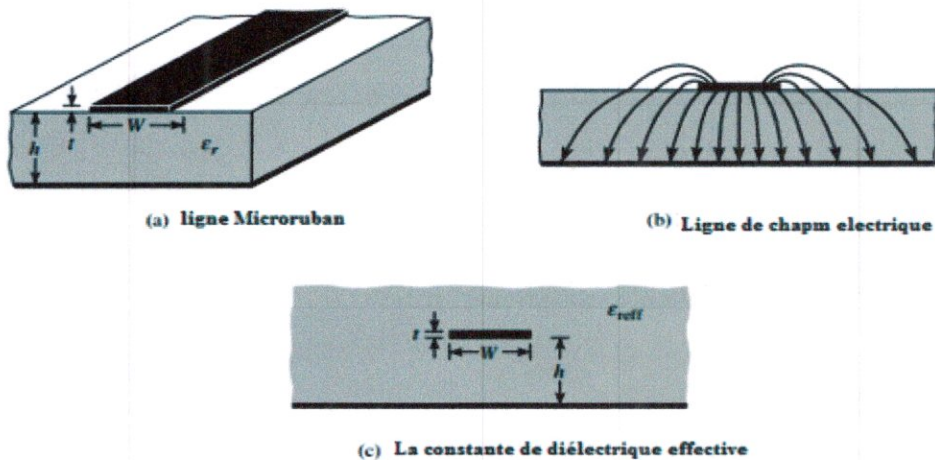


Figure I.8 : Ligne microruban et ses lignes de champ électrique, et la géométrie de la constante de diélectrique effective. [2]

I.6.2. Longueur effective

A cause des effets de bord, le patch de l'antenne microruban apparaît électriquement de dimensions plus grandes qu'il ne l'est physiquement, **Figure I.9.** [2]. La longueur du patch est prolongée sur chaque extrémité par une distance ΔL donnée par l'équation (I.2)

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (I.2)$$

Electriquement la longueur effective du patch est donnée par :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (I.3)$$

Avec :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (I.4)$$

Donc la longueur physique du patch est déterminée à partir des équations (I.3) et (I.4) données ci-dessus.

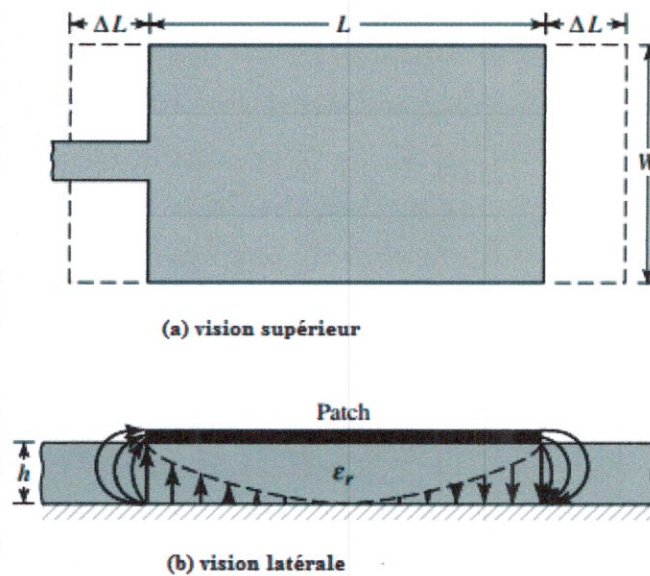


Figure I.9 : Longueurs physiques et effective de l'antenne microruban rectangulaire. [2]

I.6.3. Fréquence de résonance

Pour le mode TM_{010} , la fréquence de résonance d'une antenne patch rectangulaire est donnée par l'équation (I.5) : [2]

$$f_{r010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (I.5)$$

Avec μ_0 : Permittivité diélectrique dans le vide = $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$.

I.6.4. La conception

Pour faire la conception d'une antenne patch microruban, Il faut suivre les étapes de la conception qui suppose lesquelles :

- Il faut spécifiée les informations de la constante diélectrique à le substrat (ϵ_r).
- La fréquence de résonance (f_r)
- L'épaisseur h du substrat

Donc les étapes se sont :

- ✓ Spécifier ϵ_r, f_r et h
- ✓ Détermine W, L tel que :

W : La largeur de l'antenne patch Microruban et L sa longueur.

Pour une radiation efficace, la Largeur W et la longueur L pour diriger une bonne radiation dans la pratique est donnée comme la suivante : [2]

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (I.6)$$

Où v_0 la vitesse de la lumière dans l'espace.

$$L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (I.7)$$

I.6.5. La Conductance

Une antenne patch rectangulaire peut être modélisée par deux fentes rayonnantes de longueur W et de largeur h comme épaisseur du substrat. Ces deux fentes sont représentées par deux admittances parallèles l'une pour le patch et l'autre pour la ligne de transmission **Figure I.10**. La théorie des lignes donne les équations suivantes des admittances Y_1 et Y_2 des deux fentes et l'admittance caractéristique Y_c du patch. [6]

$$Y_1 = Y_2 = G_1 + jB_1 = G_2 + jB_2 \quad (I.8)$$

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (I.9)$$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (I.10)$$

Avec : $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

$$Y_c = \frac{w\sqrt{\epsilon_r}}{hZ_0} \quad (I.11)$$

Si on a une admittance entrée réelle, on va trouver aussi une impédance d'entrée réelle.
[2]

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_{in}(y = 0) = \frac{1}{2G_1} \quad (I.12)$$

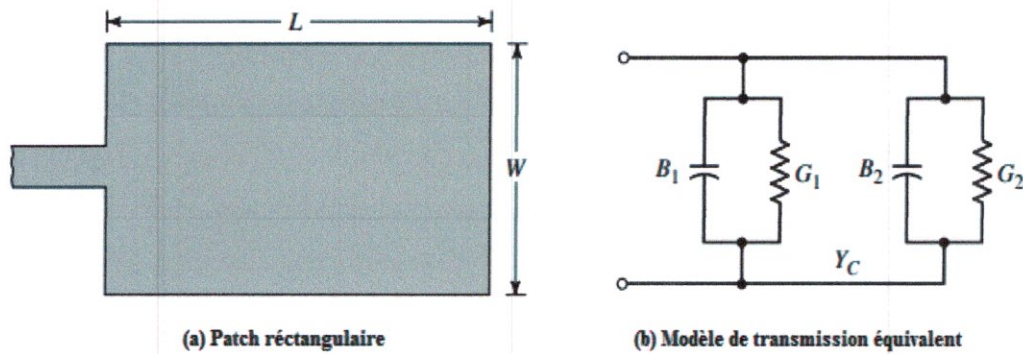


Figure I.10 : Microruban Patch rectangulaire et leur modèle de ligne de la transmission de circuit équivalent. [2]

La variation de G_1 en fonction de W/h est présentée dans la **Figure I.11**.

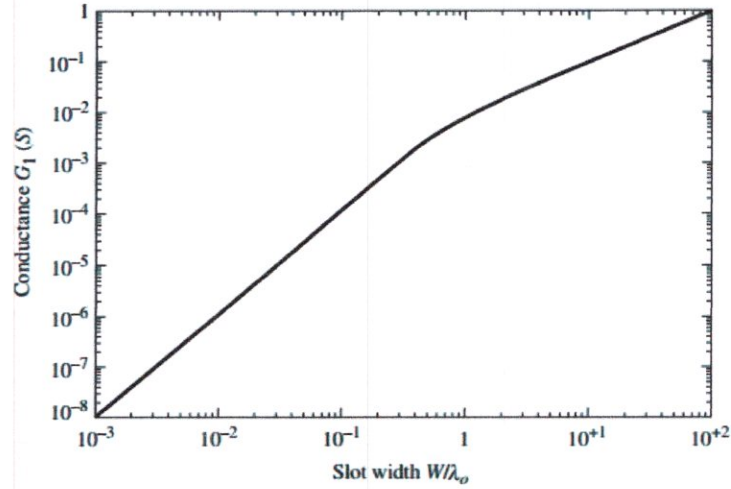


Figure I.11 : Variation de la conductance de la fente en fonction de sa largeur. [2]

I.6.6. L'impédance caractéristique

L'impédance caractéristique d'une ligne Microruban est donnée par la formule suivante : [2]

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_f} + \frac{W_f}{4h} \right] & \frac{W_f}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]}} & \frac{W_f}{h} > 1 \end{cases} \quad (I.13)$$

Où W_f : est la largeur de la ligne microruban d'alimentation (Feed width).

A partir l'équation I.13 pour $\frac{W_f}{h} > 1$, on peut obtenir la relation qui détermine la largeur de la ligne d'alimentation W_f : [7]

$$\frac{W_f}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad (I.14)$$

Avec :

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (I.15)$$

Pour une ligne micro ruban d'impédance d'entrée de 50Ω on a : [2]

$$R_{in}(y = P_f) = 50\Omega \quad (I.16)$$

$$R_{in}(y = P_f) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} \right) P_f \quad (I.17)$$

A partir des équations ((I.16), (I.17)) on l'expression (I.18) qui donne la distance P_f de l'encoche au niveau du patch pour diminuer les rayonnements de la ligne d'alimentation, **Figure I.12.** [2]

$$P_f = \left[\frac{L}{\pi} \cos^{-1} \frac{R_{in}(y=P_f)}{R_{in}(y=0)} \right]^{1/2} \quad (I.18)$$

Avec : $R_{in} = \frac{1}{2G_1}$

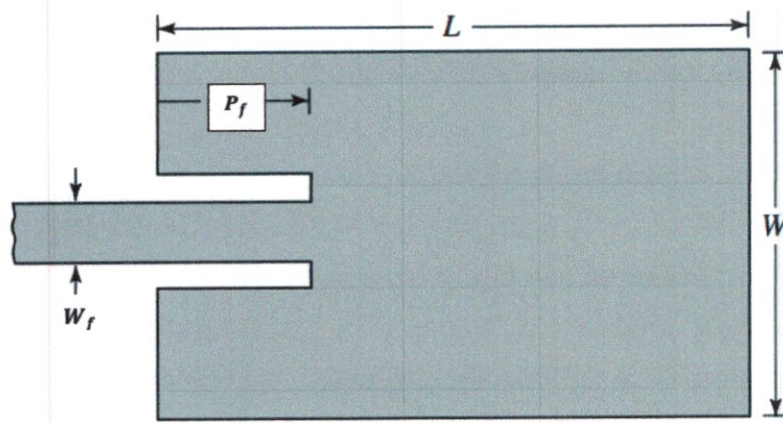


Figure I.12 : Ligne d'alimentation micro ruban renforcée. [2]

I.7. Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne généralement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Le rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est similaire à celui d'un dipôle orienté dans l'axe x .

Le rayonnement est dépendant de θ et φ . Il est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch $\theta = 0^\circ$. En raison du plan de masse, le rayonnement ne se fait que dans le demi-plan au-dessus du plan de masse. La **Figure I.13** donne le diagramme de rayonnement polaire de l'antenne patch pour $\theta = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$ qui représente le module des champs électrique E . [8]

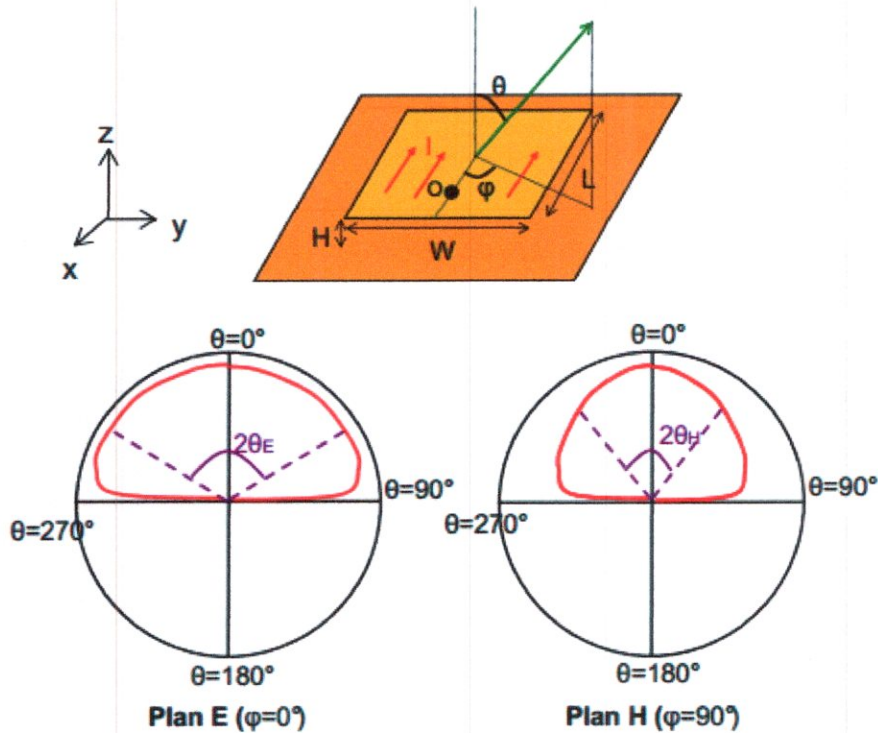


Figure 1.13 : Diagramme de rayonnement polaire d'une antenne patch rectangulaire $E(\varphi = 0, \varphi = 90)$. [8]

Les angles d'ouverture sont donnés par les relations suivantes : [8]

$$2\theta_{E3dB} = 2\arccos\left(\frac{1}{7}\left(3\beta_0^2 L^2 + \beta_0^2 h^2\right)\right)^{-0.5} \quad (I.19)$$

$$2\theta_{H3dB} = 2\arccos\left(2\left(1 + \frac{\pi W}{\lambda_0}\right)\right)^{-0.5} \quad (I.20)$$

Tel que β_0 constante de propagation d'onde dans le vide.

I.8. La directivité et le gain

I.8.1. La directivité

Généralement La directivité D d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P_r(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope. La directivité d'une antenne patch rectangulaire est définie comme le rapport de la densité de puissance maximale dans la direction du faisceau/lobe principal à la densité de puissance rayonnée moyenne. Donc l'expression de la directivité d'une antenne patch est la suivante : [1,8]

$$D = \frac{r^2}{2\eta_0} \frac{(|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2)|_{\theta=0}}{P_r/4\pi} \quad (I.21)$$

Avec :

P_r : La puissance rayonnée

Avec : $\eta_0 = 120\pi \Omega$ impédance de l'air

E_θ, E_ϕ Sont les champs électriques de radiation

Une simple expression approximative de la directivité D au l'antenne patch rectangulaire est donnée par l'équation suivante : [1]

$$D = \frac{4(k_0 W)^2}{\pi \eta_0 G_r} \quad (I.22)$$

Où

G_r : Le rayonnement de conductance du patch

W : La largeur de patch

k_0 : Le module du Vecteur d'onde dans l'air.

I.8.2. Le gain

Le gain G d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P_r(\theta, \varphi)$ sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes.[8]

Le gain directif G d'une antenne est définit comme : [1]

$$G = e_r D \quad (I.23)$$

Où e_r est l'efficacité de rayonnement

Le gain est toujours inférieur à la directivité, car e_r est dans l'intervalle $0 < e_r < 1$

I.9. Efficacité de rayonnement

I.9.1. L'efficacité de rayonnement

L'efficacité de rayonnement est définie comme le rapport de la puissance de rayonnement P_r sur la puissance interne P_i , comme le montre l'équation suivante :

$$e_r = \frac{P_r}{P_i} = \frac{G}{D} \quad (I.24)$$

L'efficacité de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire dépend principalement de l'épaisseur du substrat et de sa permittivité ϵ_r . Elle n'est pas affectée par les différentes formes du patch ou les types des lignes d'alimentation. [2]

I.10. Largeur de Bande

La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande.

Pour connaître la largeur de bande d'une antenne relativement au rayonnement, on trace le paramètre S_{11} de réflexion en fonction de la fréquence. On admet généralement que si ce paramètre est inférieur à (-10 dB), la puissance de rayonnement est suffisante. Il suffit alors de repérer sur la courbe les valeurs de la fréquence correspondant à cette valeur, **Figure I.14**. Pratiquement la formule qui nous permet de calculer la bande passante est donnée par (I.25).

$$Bp = f_2 - f_1 \quad (I.25)$$

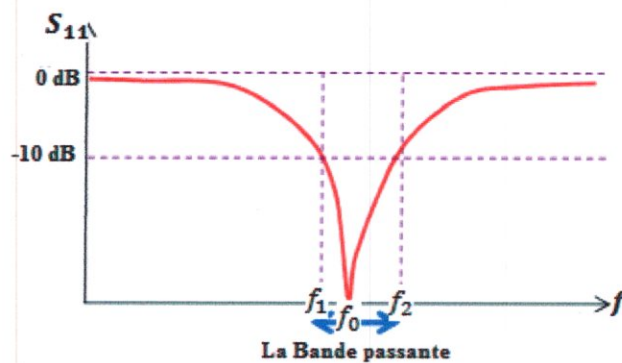


Figure I.14 : La Bande passante. [8]

I.11. Impédance d'adaptation

La position d'alimentation d'une antenne patch excitée dans son mode fondamental TM_{010} est typiquement localisée au centre de la direction de largeur du patch (l'axe y) et quelque part dans la direction de la longueur du patch (l'axe x) **Figure I.15.** [9]

La position exacte de la longueur est déterminée par la distribution du champ électromagnétique dans le patch.

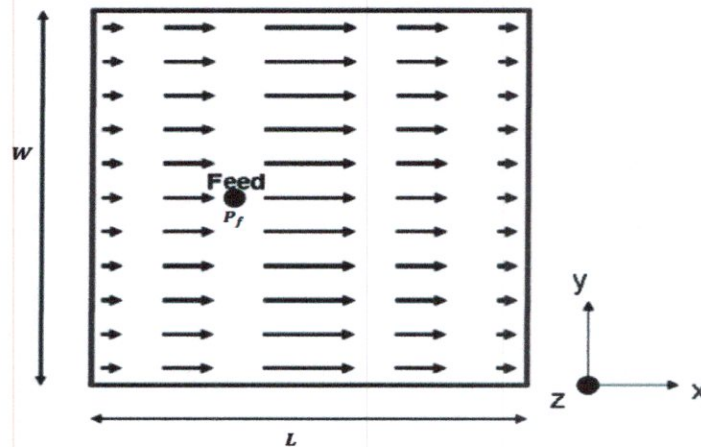


Figure I.15 : La distribution du courant dans la surface de patch. [9]

I.12. Le coefficient de réflexion (S_{11}) « return Loss »

Le coefficient de réflexion est un paramètre important lorsqu'on examine une antenne. Il est lié à l'impédance d'adaptation et le maximum de la puissance théorique de transfert. Il est défini par le rapport de la puissance incidente de l'antenne P_{in} par rapport à la puissance réfléchie retournée à la source de l'antenne P_{ref} . [1]

Son expression mathématique est la suivante :

$$\rho = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{ref}} \quad (I.26)$$

I.13. La Polarisation

La polarisation d'une antenne patch rectangulaire est linéaire et dirigée vers la dimension de résonance lorsqu'on travaille dans le mode T_{010} . 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. [10]

La polarisation rectiligne est la plus simple à étudier. C'est celle d'un champ électromagnétique dont l'orientation reste la même au cours de la propagation **Figure I.16.** Le champ électrique est parallèle au vecteur unitaire \vec{u}_x et le champ magnétique est parallèle au vecteur unitaire \vec{u}_y . Le vecteur de propagation \vec{k} est alors parallèle au vecteur unitaire \vec{u}_z . [11]

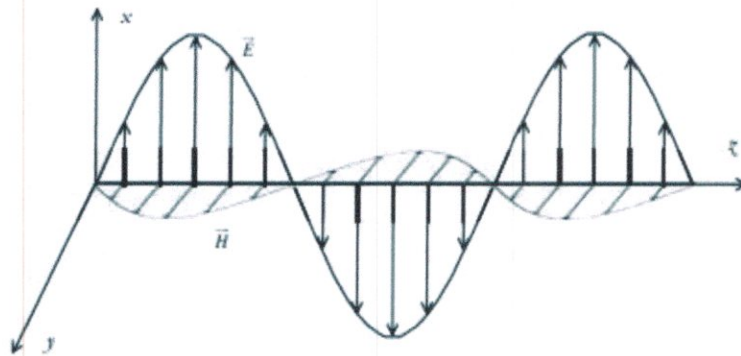


Figure I.16 : Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement. [11]

I.14. Mise en réseau

Les antennes microruban ne sont pas utilisées comme un élément seul mais généralement en réseaux. La mise en réseau d'antennes microruban implique :

- l'adaptation à chaque embranchement de la distribution du signal.
- des effets mutuels de couplage entre les différents patches.

Il y a deux types de réseau d'antennes, linéaires et bidimensionnels à alimentation en série ou en parallèle ou la combinaison des deux comme le montre dans le **Figure I.7.** [12]

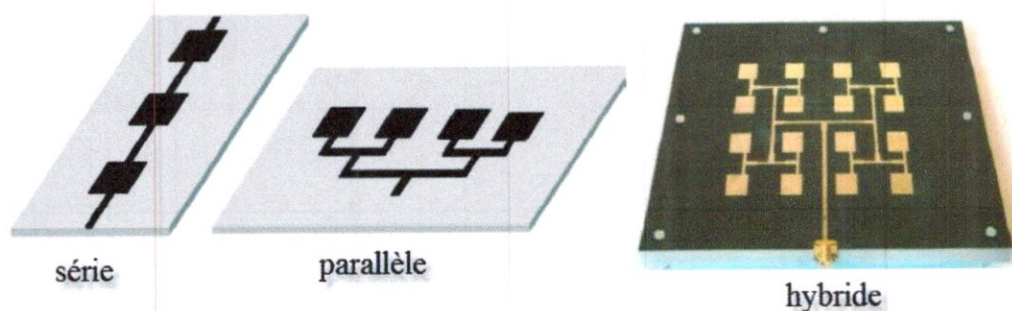


Figure I.17 : Types de réseau d'antenne Microruban. [12]

I.14.1. Réseaux linéaires à alimentation parallèle

La Figure I.18 donne un exemple d'un réseau d'alimentation linéaire qui nous intéresse dans notre travail.

L'impédance d'entrée de l'antenne microruban est de 100Ω tandis que la ligne de transmission à une impédance caractéristique de 50Ω . Ce type de géométrie fonctionne bien si le nombre d'éléments est une puissance de 2, (c'est à dire 2^n soit 2 4 8 16...). [10]

Avec $\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_{eff}}{4}$: sont des transformateurs aux embranchements afin d'assurer la distribution du signal à chacune des patches.

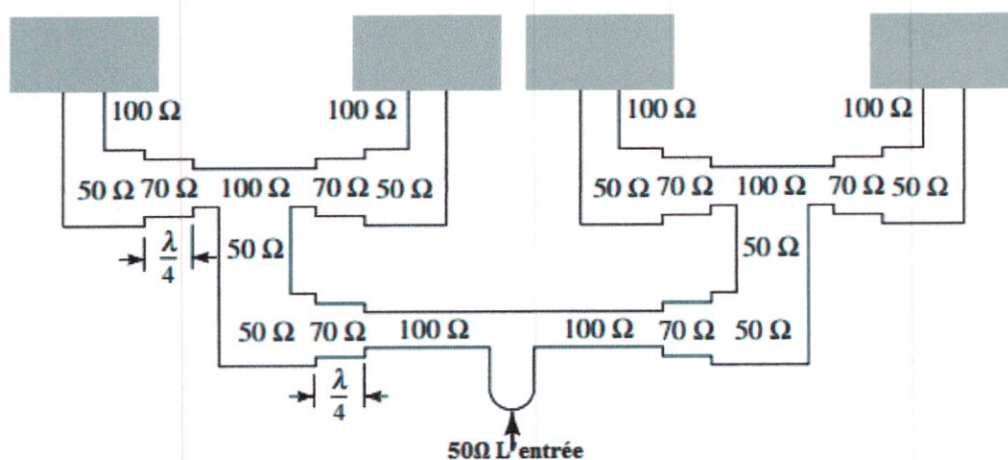


Figure I.8 : Transformateurs $\lambda/4$ pour adaptation dans la distribution du signal avec réseaux d'antennes microruban. [2]

I.15. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la forme générale d'une antenne microruban. Nous avons présenté les types d'alimentation de l'antenne ainsi qu'un des types d'analyse de celle-ci, à savoir la technique de la ligne de transmission. Nous avons passé en revue le calcul des dimensions de l'antenne. Ensuite on a présenté les paramètres essentiels de l'antenne tels que le gain, la directivité, le coefficient de réflexion..., En dernier lieu nous avons donné un aperçu sur les réseaux d'antennes.

Dans les chapitres qui suivent nous allons nous intéresser à la conception et l'étude des performances de ce type d'antennes.

Chapitre II

Republic

II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de concevoir et d'étudier les performances des antennes patch rectangulaires alimentées par des lignes microruban de fréquences de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$ et $f_0 = 5\text{GHz}$ dans la norme IEEE 802.11/n des réseaux Wi-Fi (Voir Annexe-D).

Pour mener à bien cette étude le Simulateur HFSS décrit en Annexe -A a été utilisé pour calculer :

- Les dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire
- Les paramètres caractéristiques (Gain, S_{11} , TOS, rendement, etc.)

II.2. Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{ GHz}$

Pour une meilleure pratique, on a envisagé d'illustrer la procédure de caractérisation des antennes à l'aide du simulateur numérique HFSS. La Figure II.1 montre un exemple d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne microruban.

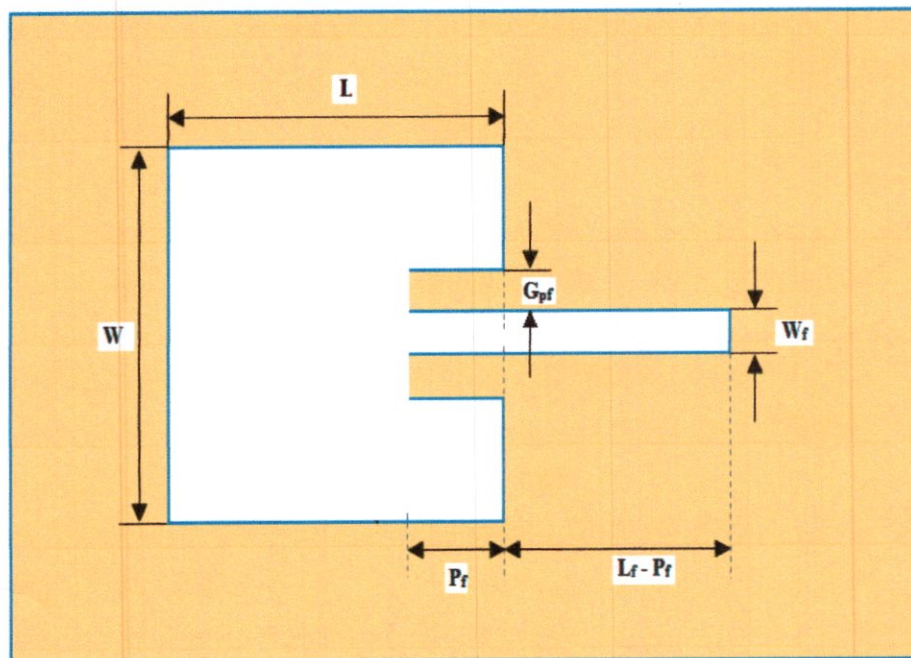


Figure II.1 : l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne microruban.

Pour trouver les dimensions optimales de l'antenne on fixe en premier lieu la fréquence de travail $f_0 = 2.4$ GHz, ensuite on choisit suivant le besoin le substrat FR4- époxy (Voir Annexe-C-) ayant pour constante diélectrique $\epsilon_r = 4.4$. Enfin on calcule la largeur du patch W qu'on trouve égal à 38.04mm en utilisant l'équation(1.6) donnée au chapitre I et qui est pour rappel :

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

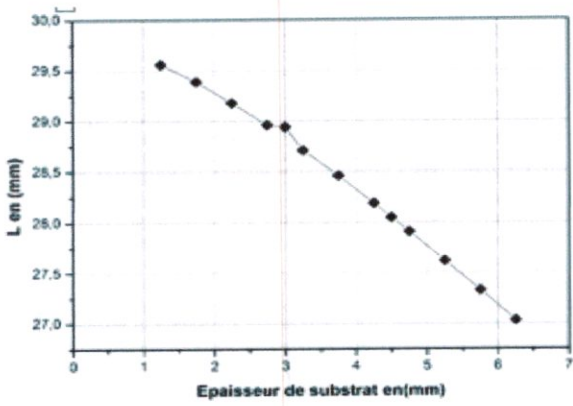
Maintenant pour les autres dimensions de l'antenne on propose ici de faire varier l'épaisseur h du substrat dans l'intervalle de $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ c.à.d. $0.375 \text{ mm} \leq h \leq 6.25 \text{ mm}$ [2] afin de trouver une valeur optimum de h et des dimensions en question ainsi que les paramètres S_{11} et le gain G en utilisant le simulateur HFSS.

Les **Figures II.2** montrent les valeurs des différentes dimensions de l'antenne en fonction de l'épaisseur h du substrat.

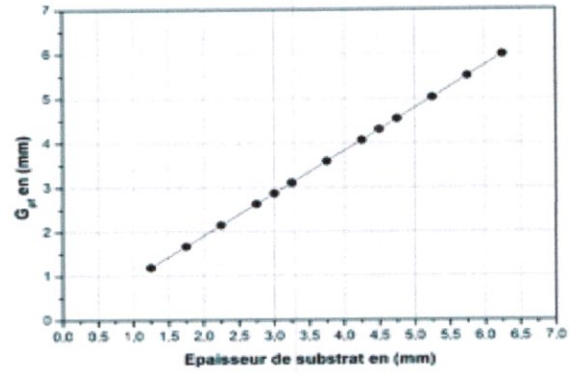
Chaque groupe de valeurs $(h, L, G_{pr}, P_r, W_r)_i$ est ensuite utilisé pour trouver les couples $(h, f_r)_i$, $(h, G)_i$ et $(h, S_{11})_i$ qui sont représentés sur les **Figures II.3**.

D'après ces différents résultats on constate que la valeur de $h = 3 \text{ mm}$ donne les résultats optimum suivants :

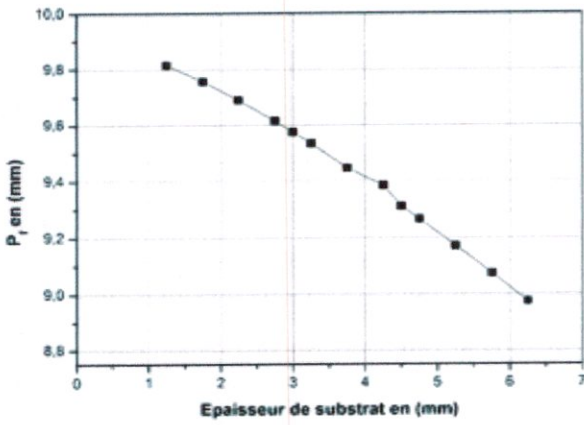
- fréquence de résonance $f_r = 2.4$ GHz.
- $S_{11} = -15.03 \text{ dB}$.
- $G = 2.71 \text{ dB}$.



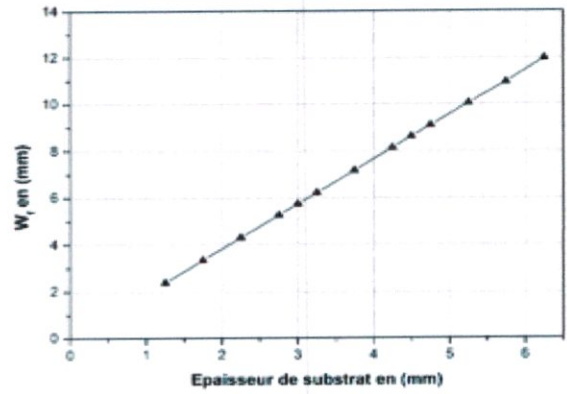
a) la longueur L en fonction de h.



b) le G_{pf} en fonction de h.

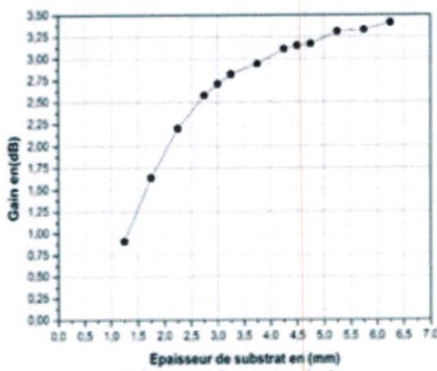


c) Le P_f en fonction de h.

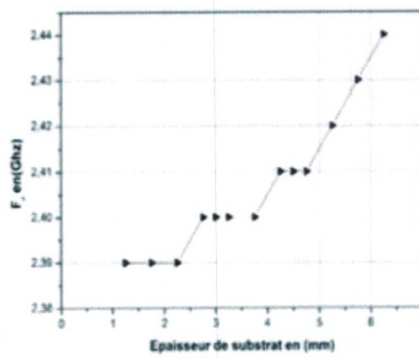


d) Le W_f en fonction de h.

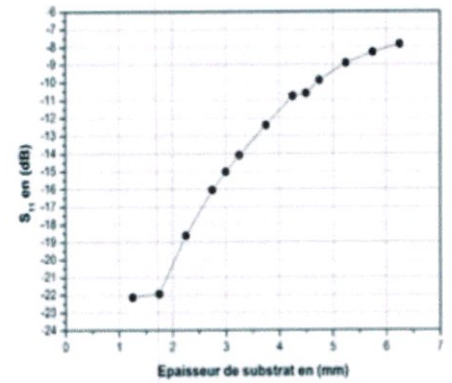
Figure II.2 : Variation des dimensions de l'antenne en fonction de h.



c) Gain en fonction de h



a) Fréquence f_r en fonction de h



b) S_{11} en fonction de h

Figure II.3 : changement des performances de l'antenne en fonction de h.

Le **Tableau II.1** donne les dimensions de l'antenne calculées à partir des équations ((I.1), (I.2), (I.6), (I.7), (I.14)) et trouvées par simulation en utilisant la valeur de $h=3$ mm. Le calcul de la valeur de P_f en utilisant l'équation (I.18) s'est fait aussi dans le but de réaliser l'adaptation entre la ligne d'alimentation et le patch rayonnant (**voir le Chapitre I**).

	Largeur (mm)	Longueur (mm)	ΔL (mm)	P_f (mm)	ϵ_{reff}	W_f (mm)	L_f (mm)	G_{pf} (mm)
Valeurs théoriques $f_0=2.4\text{GHz}$	$W=38.04$	$L=28.84$	4.18	9.61	3.92	5.74	$P_f + (L/4) = 16.83$	----
Valeurs par simulation $f_0=2.4\text{GHz}$	$W=38.04$	$L=28.84$	4.18	9.61	3.92	5.74	$P_f + (L/4) = 16.83$	2.89

Tableau II.1 : Paramètres de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.

On constate que les valeurs théoriques correspondent aux valeurs trouvées par simulation.

II.3. Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 0-3GHz

Une fois les dimensions de l'antenne fixées, on utilise encore une fois le simulateur HFSS pour déterminer et visualiser tous les paramètres suivants caractérisant l'antenne :

- L'évolution des paramètres « S » en fonction de la fréquence. La valeur minimale de « S_{11} » correspond à la fréquence de résonance, en effet, à cette fréquence la quasi-totalité de la puissance est transmise à l'antenne (adaptation) et la réflexion sera donc minimale.
- Le diagramme de rayonnement dans les plans E et H.
- Le diagramme de Gain (3D) et sa valeur en dB.
- Le diagramme de la directivité (3D) et sa valeur en dB.
- La bande de fréquence de l'antenne.

- Le TOS donné par la relation :

$$TOS = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

Les résultats obtenus par simulation HFSS sur la bande de fréquence 0-3 GHz sont comme suit :

II.3.1. Structure simulée (3D)

La **Figure II.4** explicite de près la structure patch simulée. La structure 3D permet de bien visualiser les différents composants de l'antenne, à savoir, l'antenne patch, le ruban d'alimentation, la porte d'excitation et le substrat.

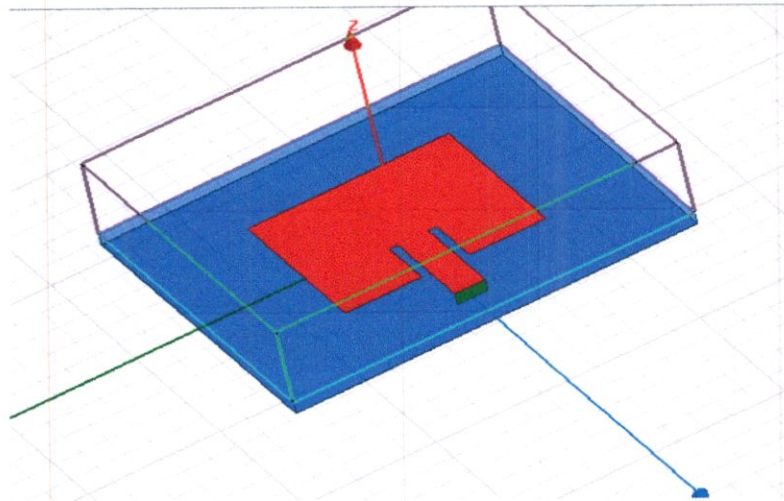


Figure II.4 : Structure 3D de l'antenne patch de fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$.

II.3.2. Coefficient de réflexion (paramètre S_{11}) en fonction de la fréquence

Comme la dimension de G_{pf} n'est pas définie par une relation mathématique et pour étudier son influence sur le coefficient S_{11} et le gain G on a fait varier G_{pf} en gardant fixe les autres dimensions trouvées précédemment en utilisant une fois de plus le simulateur HFSS. Pour chaque valeur de G_{pf} on visualise les variations de S_{11} en fonction de la fréquence f_r ainsi que le gain de l'antenne.

Le **Tableau II.2** ci-dessous montre les résultats obtenus. On constate que la valeur de $G_{pf} = 1.5\text{mm}$ donne un gain de 2.79 dB et un coefficient de réflexion $S_{11} = -32.18\text{ dB}$; résultats meilleurs que ceux obtenus dans la section précédente.

A titre d'exemple, la **Figure II.5** présente les variations du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence f_r pour $G_{pf} = 1.5\text{ mm}$ et nous donne une valeur de $S_{11} = -32.18\text{ dB}$ comme mentionné ci-dessus.

G_{pf} (mm)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	G (dB)
2.868	2.4	-15.03	2.71
2.7	2.4	-16.13	2.69
2.1	2.4	-22.48	2.75
1.65	2.4	-49.01	2.71
1.5	2.4	-32.18	2.79
1.3	2.4	-24.61	2.76

Tableau II.2 : Variation de f_r et S_{11} et Gain en fonction de G_{pf}

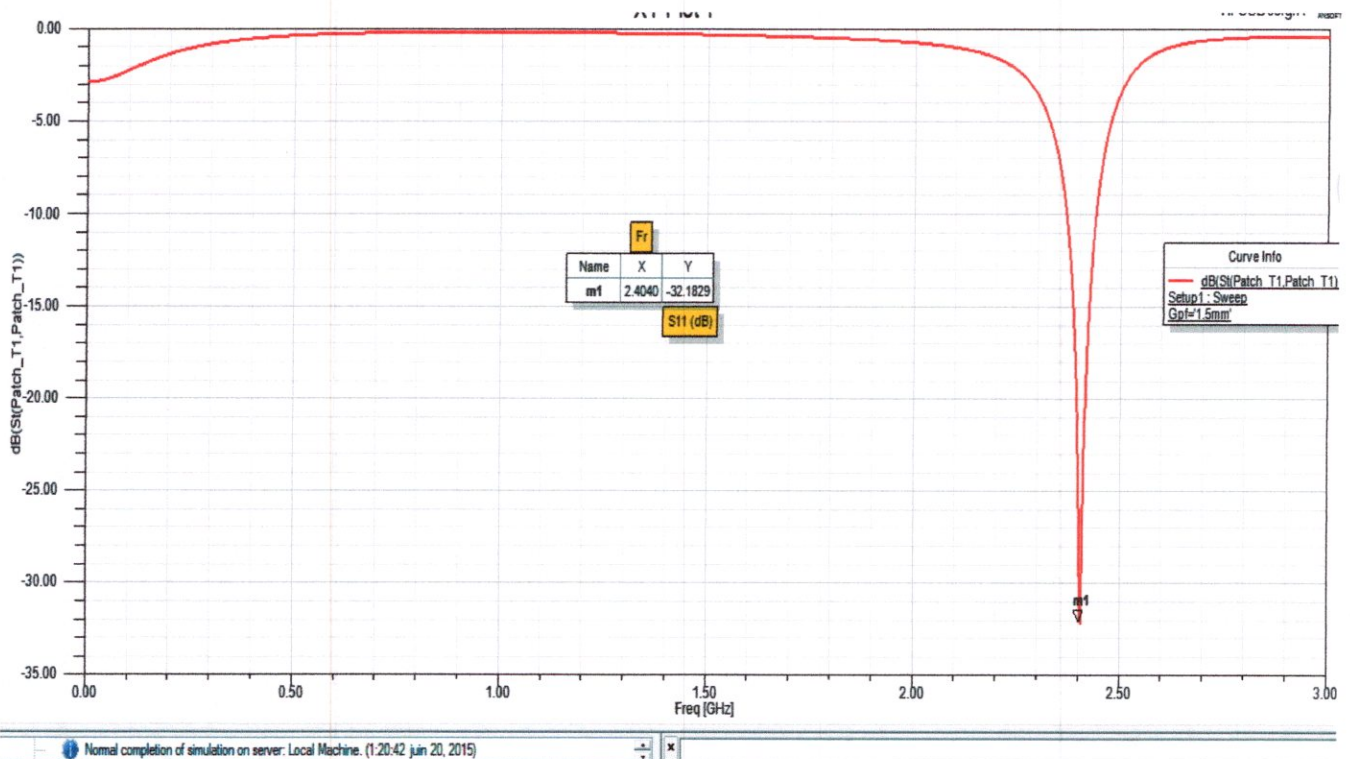


Figure II.5 : S_{11} en fonction de f pour un balayage de bande 0-3GHz

II.3.3. Bande passante

La bande passante peut être déduite à partir du graphe du paramètre S_{11} en considérant un certain seuil, généralement (-10dB) [2]. A partir de la **Figure II.5**, on trouve la valeur de la bande passante de l'antenne égale à :

$$B_p = \Delta f = f_2 - f_1 = 2.438 - 2.367 = 0.071 \text{ GHz} = 71 \text{ MHz.}$$

Cette valeur est dans l'intervalle de (2% à 5%) de f_0 . [2]

II.3.4. Taux d'onde stationnaire TOS

La **Figure II.6** montre une valeur minimum du TOS égale à 0.47 dB (=1.05) qui est dans l'intervalle de 1 à 2 [1].

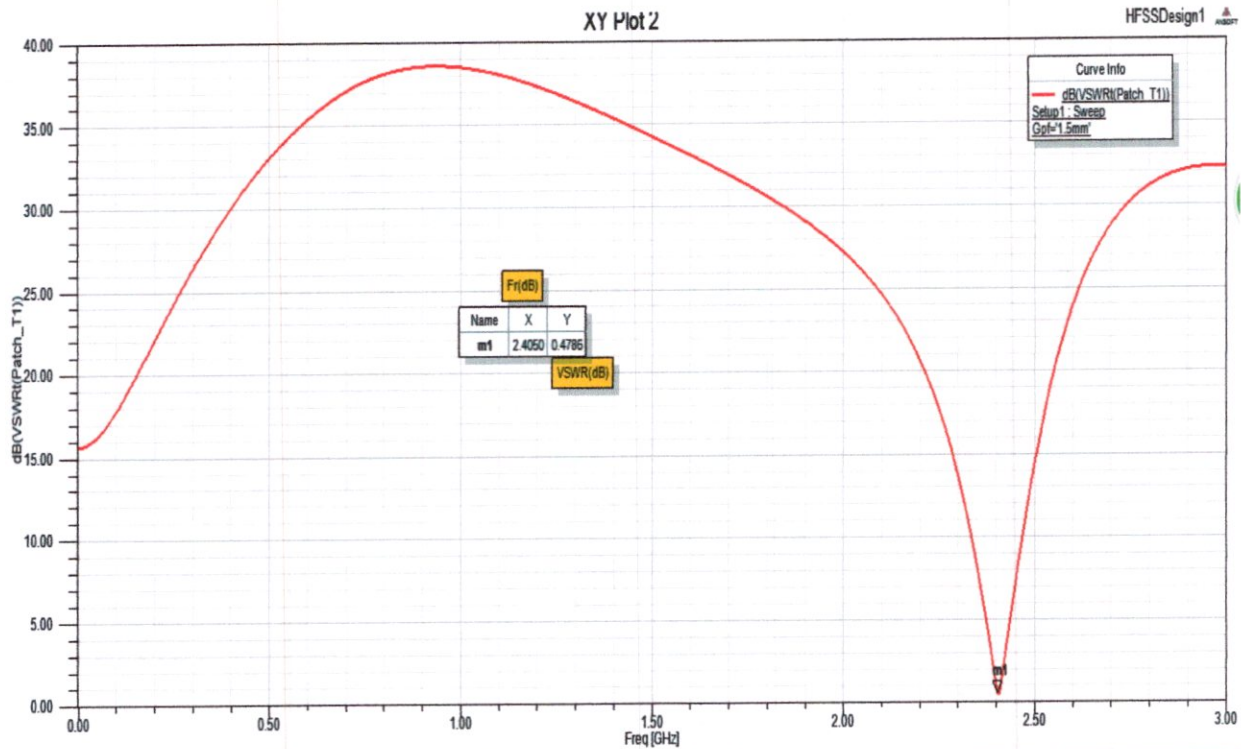


Figure II.6 : TOS en fonction de f_r pour un balayage de la fréquence de 0GHz-3GHz

D'après les résultats des **Figures** (II.5, II.6), qui donnent respectivement la valeur minimum de $S_{11}=-32.18\text{dB}$ et la valeur minimum de $\text{TOS}=1.05$, l'antenne simulée est bien adaptée avec la ligne d'alimentation avec une transmission optimum de sa puissance d'alimentation P_t d'entrée.

II.3.5. Diagramme de rayonnement

La **Figure II.7** présente le diagramme de rayonnement en 2D de l'antenne dans le plan E ($\varphi = 0^\circ$) et le plan H ($\varphi = 90^\circ$) pour son module de champ électrique E. A partir de cette figure on constate que l'ouverture à mi-puissance Θ_{-3dB} de cette antenne est égale à 90° et une déformation du diagramme induit par la ligne d'alimentation [6].

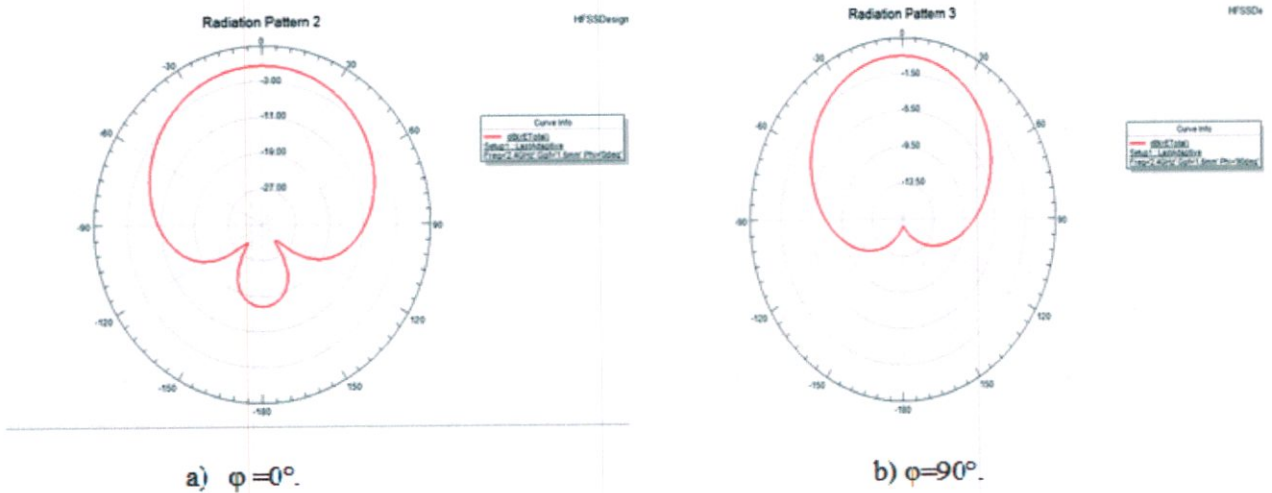


Figure II.7 : Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$.

II.3.6. Le Gain de l'antenne

La **Figure II.8** est une représentation du gain de l'antenne patch dans les plans E ($\varphi = 0^\circ$) et le plan H ($\varphi = 90^\circ$). À partir de cette figure, on constate que pour l'ouverture à mi-puissance Θ_{-3dB} le gain est égale à $G_{\Theta_{-3dB}} = -8dB$ pour $\varphi = 0^\circ$ et $G_{\Theta_{-3dB}} = -6dB$ pour $\varphi = 90^\circ$. ces résultats en raison des pertes désadaptation [6]

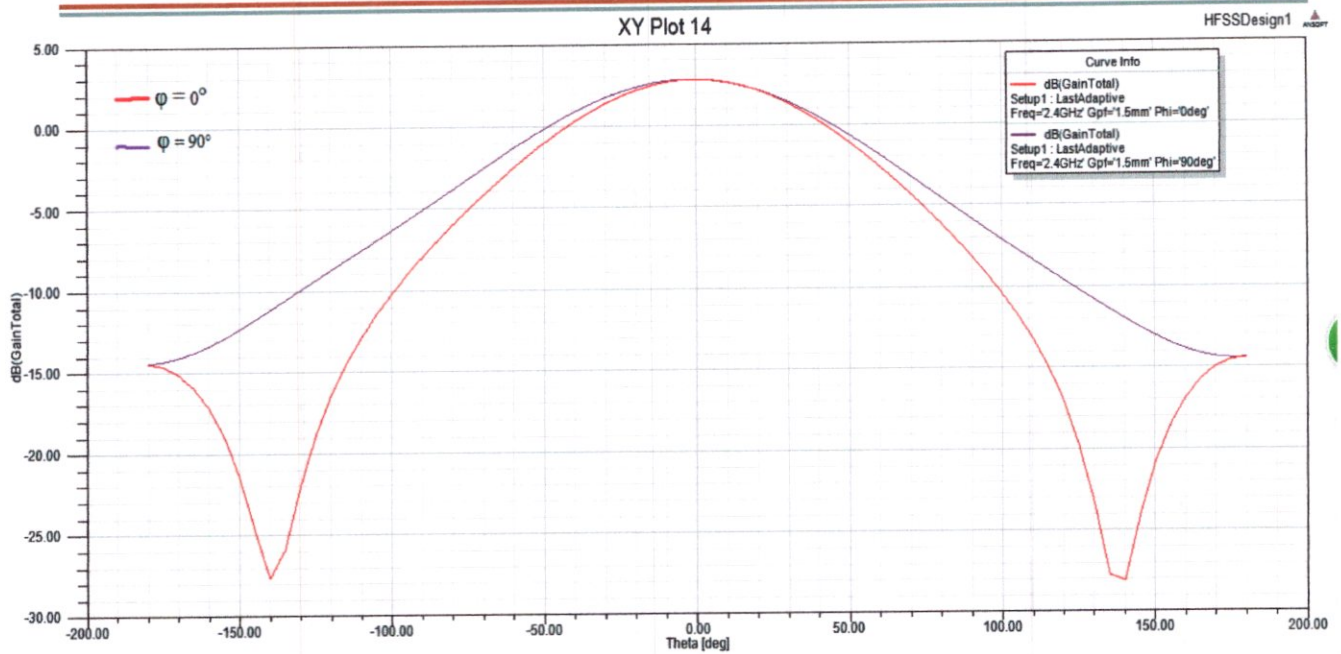


Figure II.8 : le gain de l'antenne ($\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$) en 2D.

La Figure II.9 représente le gain de l'antenne patch rectangulaire en 3D. Ce gain est égal à $G = 2.79$ dB et il est plus concentré dans l'axe de l'antenne (l'axe Z) et on observe une chute rapidement à cause des pertes par désadaptation [6].

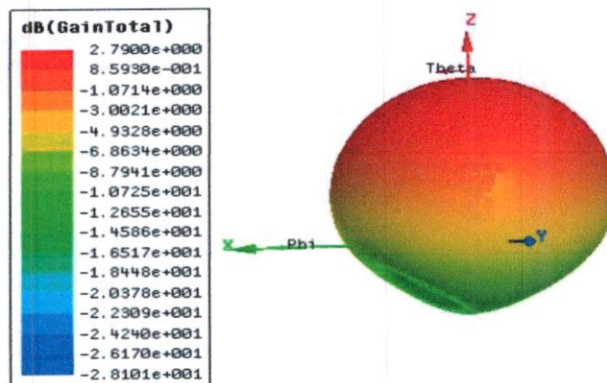


Figure II.9 : Gain en 3D de l'antenne patch rectangulaire.

II.3.7. Directivité de l'antenne

La **Figure II.10** représente la directivité de l'antenne patch rectangulaire en 3D. Cette directivité est égale à $D= 4.9830$ dB. On constate que cette antenne rayonne dans toutes les directions mais avec une directivité privilégiée sur l'axe Z ($\Theta=0^\circ$) de l'antenne.

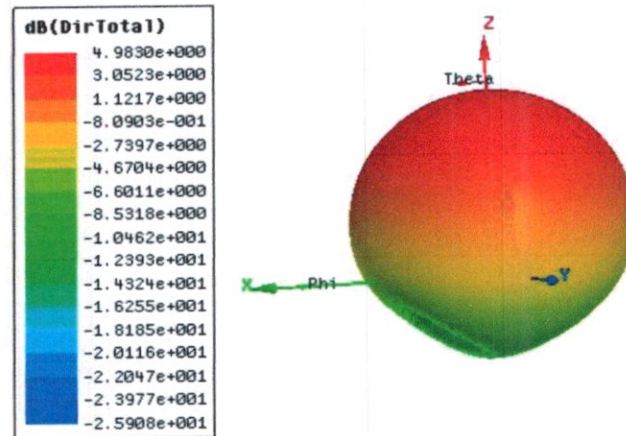


Figure II.10 : Directivité en 3D de l'antenne patch rectangulaire.

II.3.8. Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne déterminé à partir de l'équation (I.23) est égal à 56.02%.

II.3.9. Répartition du champ électrique E de l'antenne

La **Figure II.11** donne la répartition du champ électrique E en surface de l'antenne.

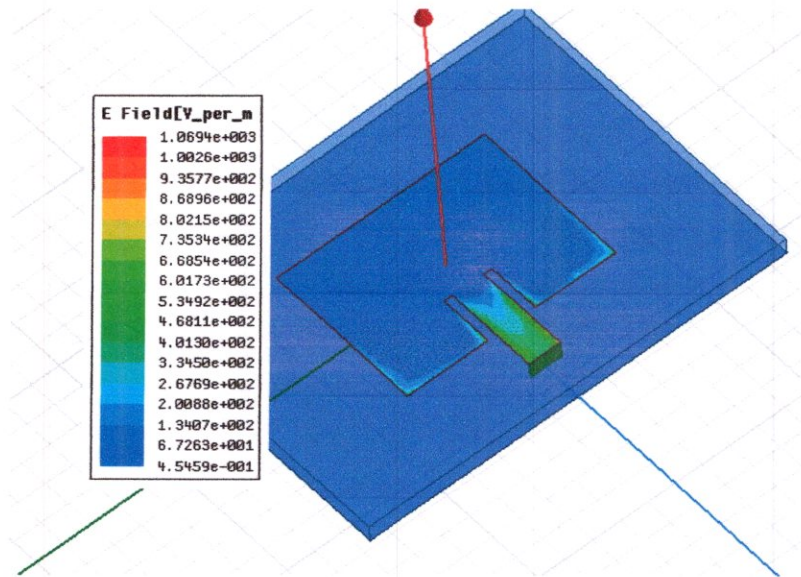


Figure II.11 : *Champ électrique E en 2D de l'antenne.*

Cette **Figure** montre d'une part que le champ électrique E est concentré au niveau des bords d'encoche d'adaptation (les arêtes de la ligne d'alimentation) et du patch et d'autre part on remarque une absence de ce champ au centre du patch.

II.3.10. Répartition du champ magnétique H de l'antenne

La **Figure II.12** donne une représentation de la répartition du champ magnétique H en surface de l'antenne. Les courants sont concentrés sur le plan de masse. [6]

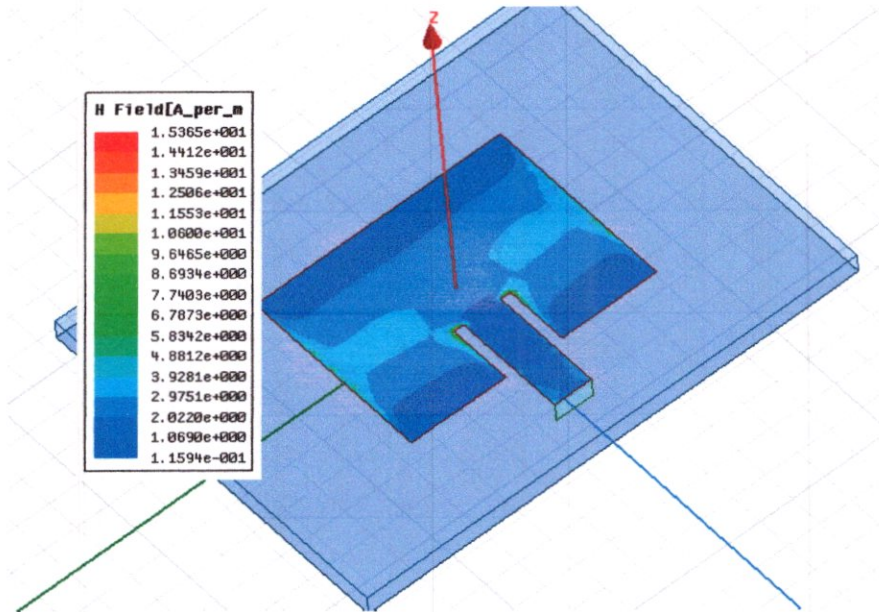


Figure II.12 : Champ magnétique H en 2D de l'antenne.

II.4. Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 5$ GHz

La conception de cette antenne a été menée avec les mêmes étapes utilisées pour l'antenne précédente de fréquence de travail f_0 de 2.4GHz

Pour cette antenne on a :

- fréquence de travail $f_0 = 5$ GHz.
- La largeur $W = 18.26$ mm
- Substrat utilisé : FR4- époxy : $\epsilon_r = 4.4$.

Les différentes dimensions optimales de l'antenne ainsi que ses différents paramètres sont évalués en faisant varier l'épaisseur h du substrat cette fois-ci sur l'intervalle $0.003\lambda_r \leq h \leq 0.05\lambda_r$ c.à.d. $0.18 \text{ mm} \leq h \leq 3 \text{ mm}$. [2]

Les différents résultats sont indiqués par les graphes des **Figures** (II.13, II.15) ci-dessous.

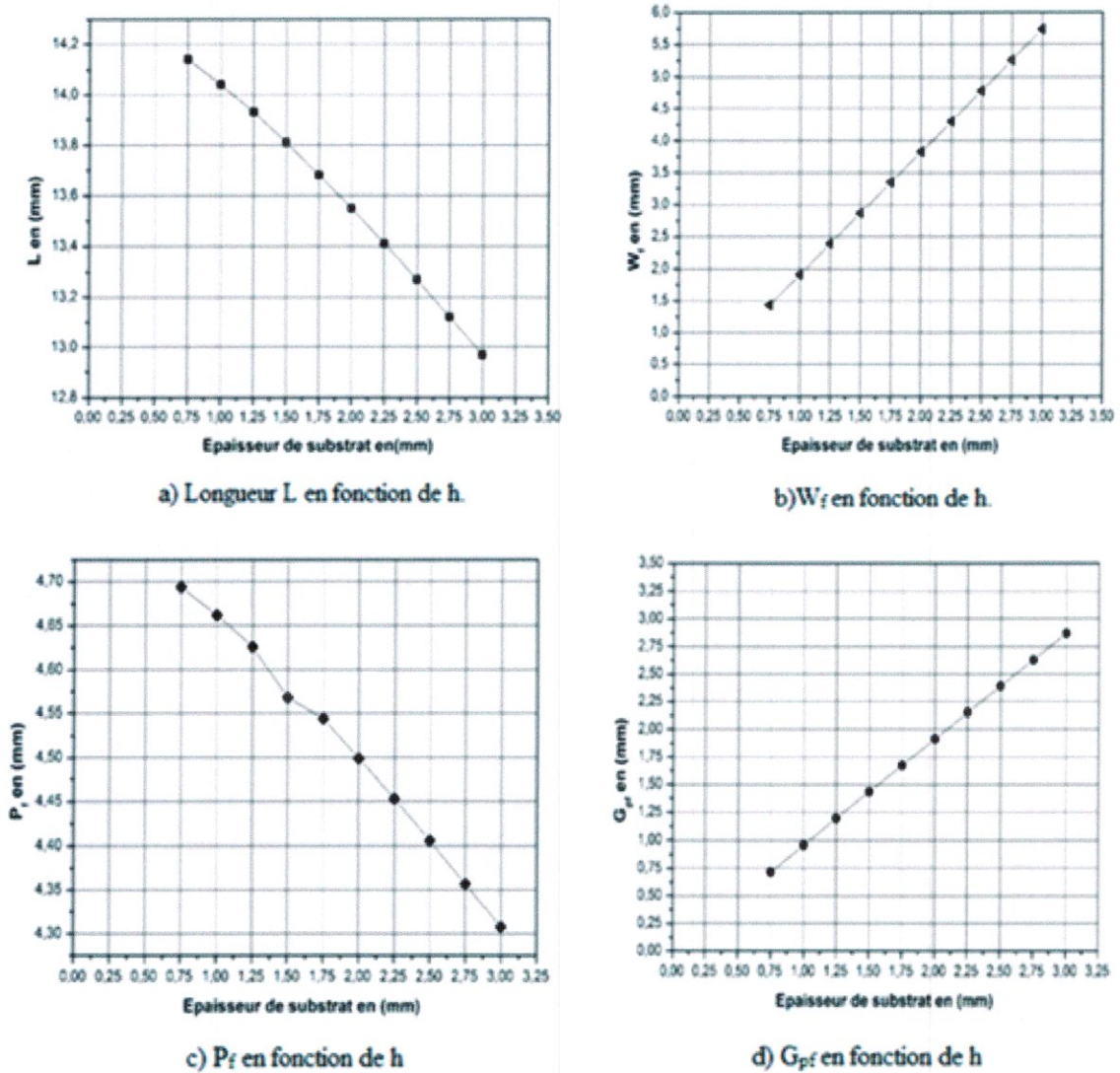


Figure II.13 : Variation des dimensions de l'antenne en fonction de h .

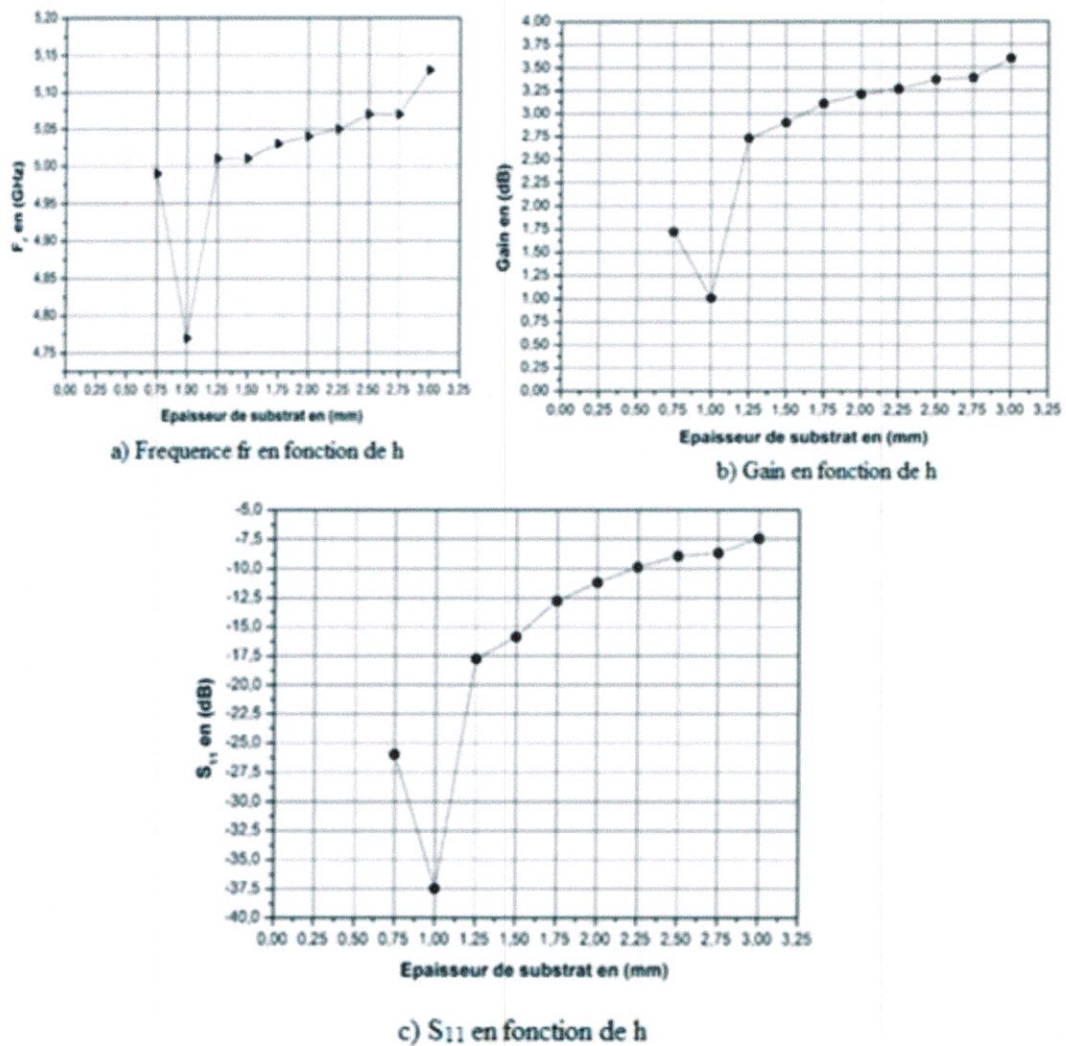


Figure II.14 : Changement des performances de l'antenne en fonction de h .

D'après les **Figures** ci-dessus et pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$ [2], la valeur indiquée de l'épaisseur h du diélectrique est de $h=1.25$ mm.

	Largeur (mm)	Longueur (mm)	ΔL (mm)	P_f (mm)	ϵ_{reff}	W_f (mm)	L_f (mm)	G_{pf} (mm)
Valeurs théoriques $f_0=5\text{GHz}$	W=18.26	L=13.93	4.18	4.67	3.94	2.39	$P_{f+} (L/4) = 8.10$	---
Valeurs par simulation $f_0=5\text{GHz}$	W=18.26	L=13.93	4.18	4.67	3.94	2.39	$P_{f+} (L/4) = 8.10$	1.2

Tableau II.3 : Paramètres de l'antenne patch de fréquence de travail $f_0 = 5\text{GHz}$ alimentée par une ligne microruban.

Les dimensions de l'antenne données dans le **Tableau II.3** sont calculées à partir des équations ((I.1), (I.2), (I.6), (I.7), (I.14)) en utilisant la valeur de $h = 1.25\text{mm}$. Comme mentionné précédemment, le calcul de la valeur de P_f en utilisant l'équation (I.18) s'est fait aussi dans le but de réaliser l'adaptation entre la ligne d'alimentation et le patch rayonnant (voir le Chapitre I).

Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 0-6 GHz

Les paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 0-6GHz sont comme suit :

II.4.1. Structure simulée (3D)

La **Figure II.15** explicite de près la structure patch simulée qui a la même forme que celle de l'antenne étudiée précédemment.

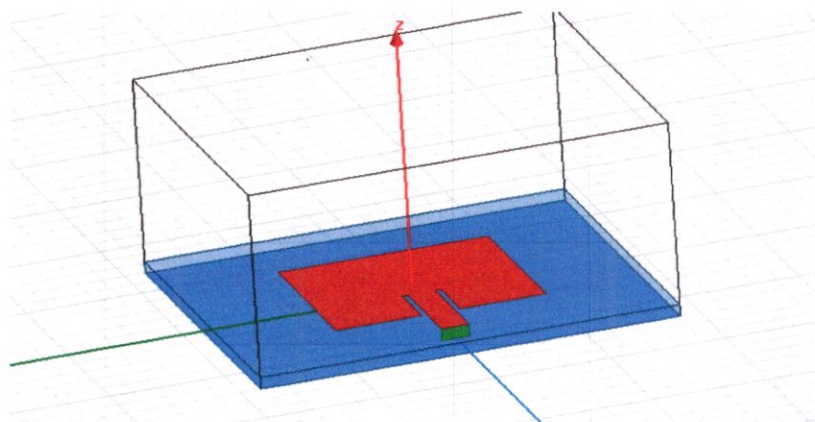


Figure II.15 : Structure 3D de l'antenne patch de fréquence de travail $f_0 = 5\text{GHz}$.

II.4.2. Coefficient de réflexion (paramètre S_{11}) en fonction de la fréquence

Comme la dimension de G_{pf} n'est pas définie par une relation mathématique et pour étudier son influence sur le coefficient S_{11} et le gain G on a fait varier G_{pf} en utilisant le simulateur HFSS. Le **Tableau II.4** ci-dessous montre les résultats obtenus. On constate que la valeur de $G_{pf} = 0.5\text{mm}$ donne un gain de 2.77 dB et un coefficient de réflexion $S_{11} = -19.09$ dB pour une fréquence de travail de 5GHz. Pour une fréquence de 5.01GHz, la valeur de $G_{pf} = 0.75$ mm donne une valeur optimum de $S_{11} = -38.02$ dB

G_{pf} (mm)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	G (dB)
1.195	5.01	-17.75	2.73
1	5.01	-21.78	2.77
0.75	5.01	-38.02	2.74
0.5	5.00	-19.09	2.77
0.25	5.03	-11.95	2.65

Tableau II.4 : la variation de f_r et S_{11} et Gain en fonction de G_{pf}

La **Figure II.16** représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de f_r avec une valeur de $G_{pf} = 0.5\text{mm}$. Cette figure montre bien la valeur optimum de $S_{11} = -19.09\text{dB}$ pour la valeur de fréquence de résonance $f_r = 5$ GHz.

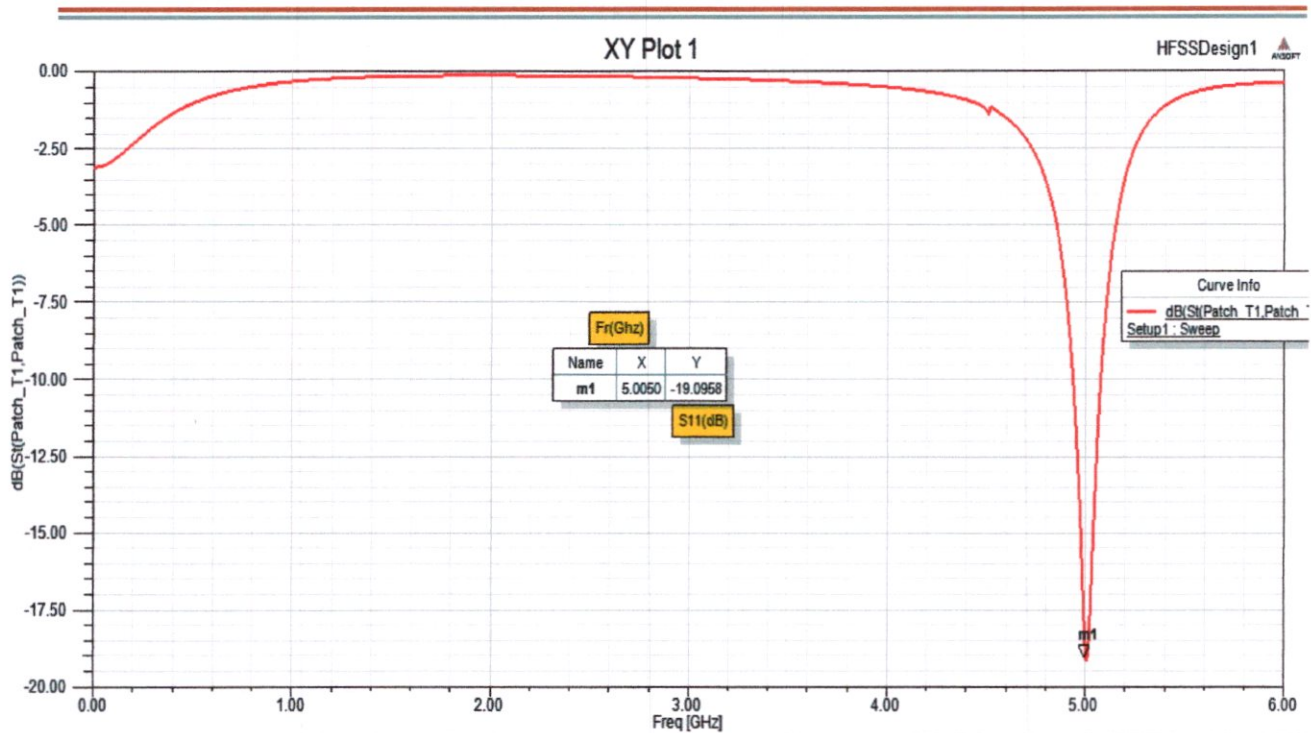


Figure II.16 : Variation du coefficient S_{11} de l'antenne patch en fonction de f_r .

II.4.3. Bande passante

La bande passante de l'antenne est calculée comme précédemment et elle est égale à :

$$B_p = \Delta F = f_2 - f_1 = 5.07 - 4.93 = 0.14 \text{ GHz} = 140 \text{ MHz.}$$

Cette valeur est dans l'intervalle de (2% à 5%) de f_0 . [2]

II.4.4. Taux d'onde stationnaire TOS

La **Figure II.17** représente la variation de TOS en fonction de f_r .

La valeur du TOS est égale à = 1.94dB.

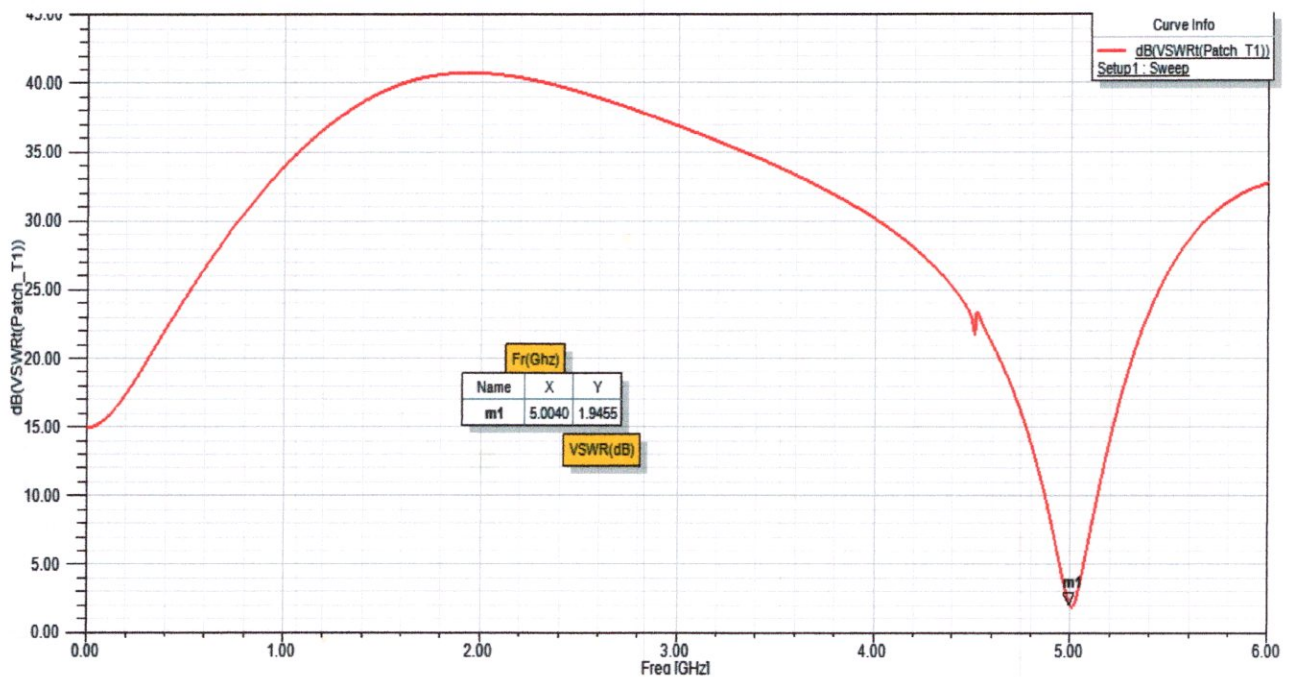
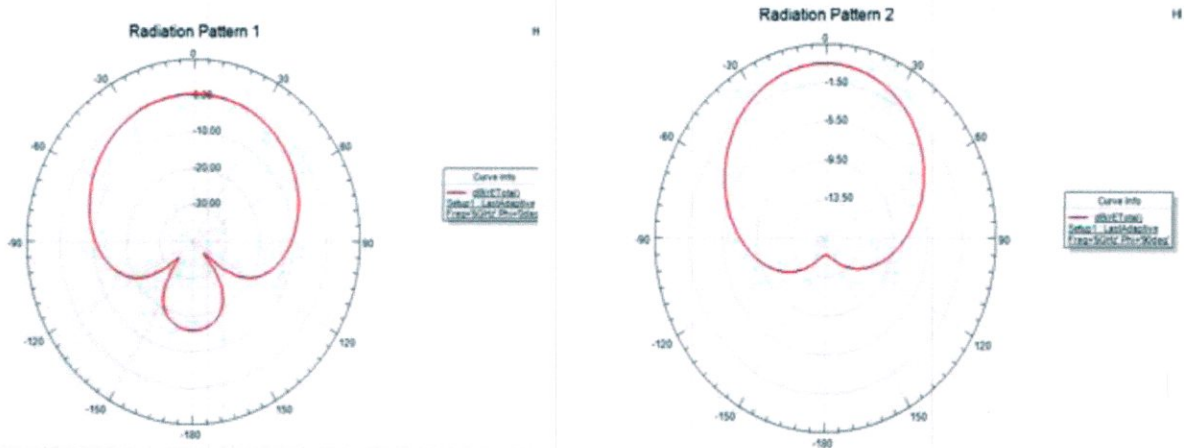


Figure II.17 : TOS de l'antenne patch en fonction de la fréquence f_r .

D'après les résultats des **Figures** (II.16 ; II.17) qui donnent respectivement la valeur minimum de $S_{11} = -19.09$ dB et la valeur minimum de TOS = 1.25, l'antenne simulée est bien adaptée avec la ligne d'alimentation avec une transmission optimum de sa puissance d'alimentation P_t d'entrée.

II.4.5. Diagramme de rayonnement

La **Figure** II.18 présente le diagramme de rayonnement en 2D dans les plan E ($\varphi = 0^\circ$) et le plan H ($\varphi = 90^\circ$) de l'antenne. A partir de cette figure on constate que l'ouverture à mi-puissance Θ_{-3dB} de cette antenne est égale à 110° et une déformation du diagramme induit par la ligne d'alimentation. [6]



a) $\varphi = 0^\circ$

b) $\varphi = 90^\circ$

Figure II.18 : Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$.

II.4.6. Le Gain de l'antenne

La Figure II.19 est une représentation du gain de l'antenne patch dans les plans E et H pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$. À partir de cette figure, on constate que pour l'ouverture à mi-puissance, Θ_{-3dB} le gain est égale à $G_{\Theta-3dB} = -14dB$ pour $\varphi = 0^\circ$ et $G_{\Theta-3dB} = -9dB$ pour $\varphi = 90^\circ$. Ces résultats en raison des pertes désadaptation. [6]

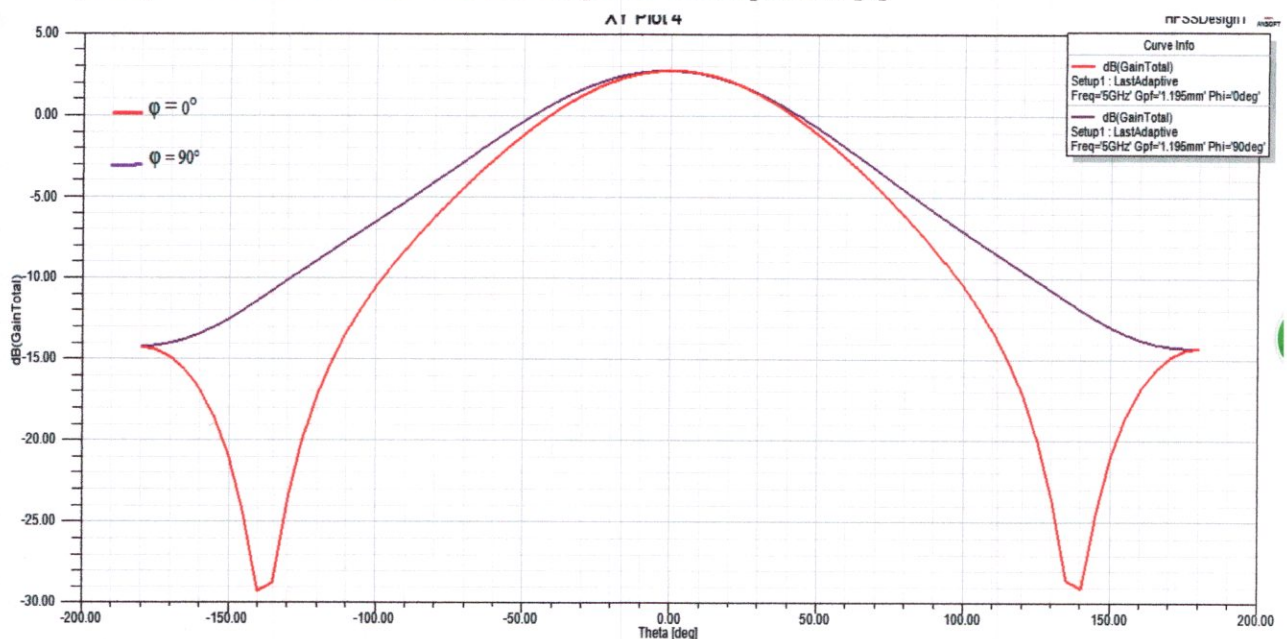


Figure II.19 : Gain en 2D de l'antenne patch de fréquence $f_0 = 5GHz$ pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$.

La **Figure II.20** représente le gain de l'antenne patch rectangulaire en 3D. Ce gain est égale à $G= 2.77\text{dB}$. L'antenne est plus directive sur l'axe Z on observe une chute rapidement à cause des pertes par désadaptation [6].

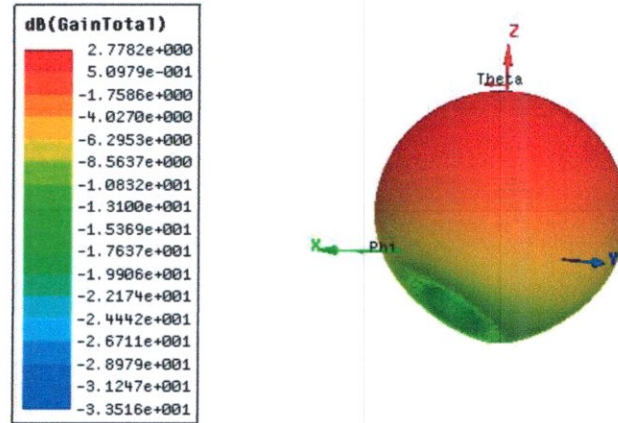


Figure II.20 : Gain en 3D de l'antenne patch de fréquence $f_0 = 5\text{Ghz}$.

II.4.7. Directivité de l'antenne

La **Figure II.21** représente la directivité en 3D de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 5\text{ GHz}$. Cette antenne rayonne dans toutes les directions mais avec une directivité maximale est égale : $D=5.1635\text{dB}$ sur l'axe Z de l'antenne ($\Theta=0^\circ$).

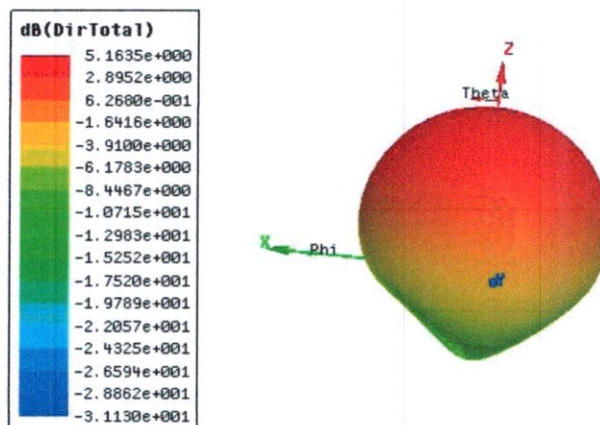


Figure II.21 : Directivité en 3D d'antenne patch de fréquence $f_0=5\text{Ghz}$.

II.4.8. Rendement de l'antenne

En utilisant l'équation (I.23), On trouve que le rendement de cette antenne est égal à 54.96%.

II.4.9. Distribution du champ électrique E

La **Figure II.22** représente une Distribution en surface du champ électrique E.

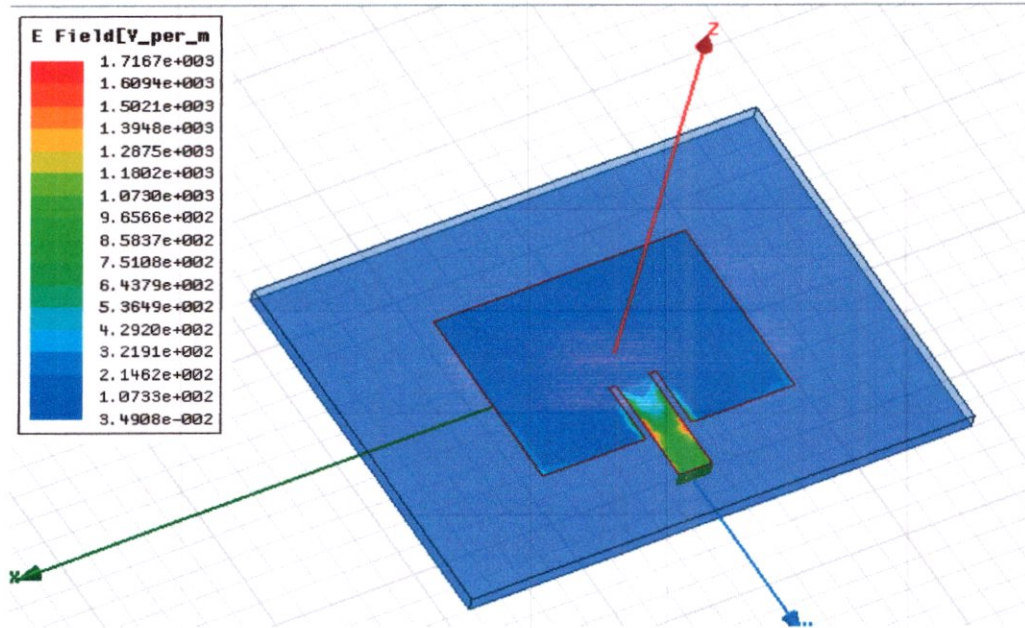


Figure II.22 : Distribution du champ électrique E de l'antenne de fréquence $f_0=5\text{Ghz}$.

La distribution du champ électrique E de cette antenne est le même que celle de l'antenne étudiée précédemment, c'est-à-dire que E est concentré au niveau des bords d'encoche d'adaptation (les arêtes de la ligne d'alimentation) et de patch.

II.4.10. Distribution du champ magnétique H

La **Figure II.23** ci-dessous représente une distribution en surface du champ magnétique H.

Cette distribution est la même que celle de l'antenne étudiée précédemment.

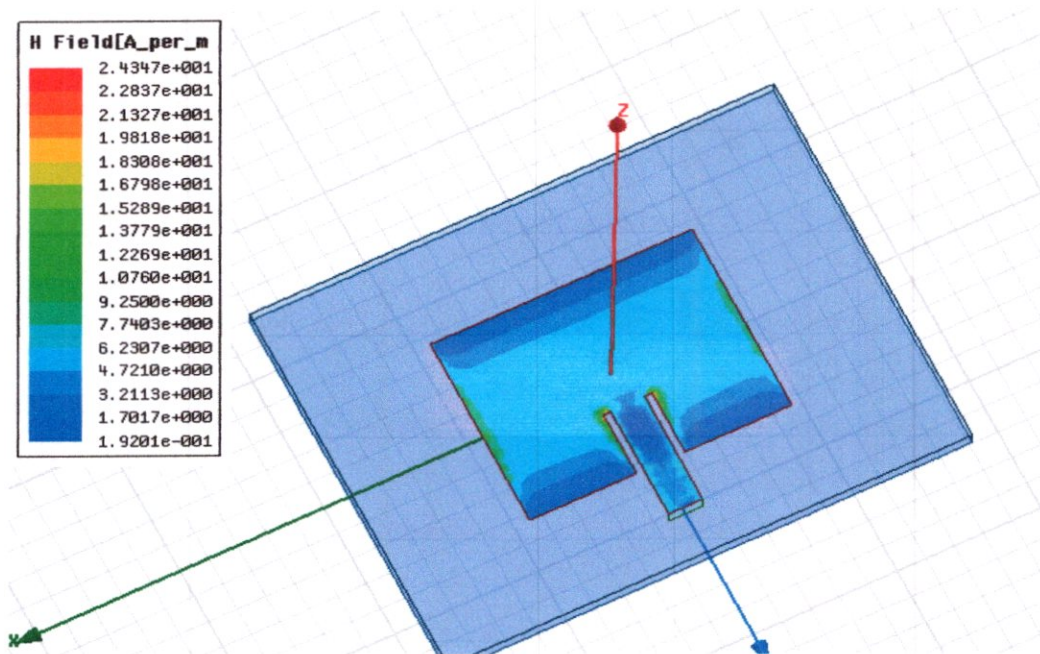


Figure II.23 : Distribution du champ magnétique H de l'antenne de fréquence $f_0 = 5\text{Ghz}$.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé deux antennes patch rectangulaires l'une de fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$ et l'autre de fréquence $f_0=5\text{GHz}$ en utilisant le simulateur HFSS .Ensuite nous avons étudié les performances de chacune d'elles à savoir le paramètre S_{11} et la Bande passante, TOS, L'ouverture à mi- puissance, le Gain, Directivité et Le Rendement. Les caractéristiques de chaque antenne sont données par le **Tableau** ci-dessous :

Les performances d'antenne							
Les antennes	S_{11}	Bp	TOS	$\Theta_{-3\text{dB}}$	G	D	e_r
$f_0=2.4\text{Ghz}$	-32.18dB	71Mhz	1.11	90°	2.79dB	4.98dB	56.02%
$f_0=5\text{Ghz}$	-19.09dB	140Mhz	1.56	110°	2.77dB	5.16dB	54.96%

Tableau II.5.les caractéristiques des antennes patch rectangulaire.

On constate que les deux antennes ont approximativement les mêmes caractéristiques.

Ce type d'antennes n'est pas utilisé dans la technologie Wi-Fi à cause de leurs faibles performances. Pour améliorer ces performances, on utilise un réseau d'antennes patch. Les types de réseaux utilisés sont : séries, parallèles et hybrides. Dans les chapitres suivants nous étudierons les performances de deux types de réseaux d'antennes linéaires parallèle $(2*1)$ et $(4*1)$.

Chapitre III

Chapitre III

III.1. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons conçu et étudié les performances des antennes patch rectangulaires alimentées par des lignes microruban de fréquences de travail $f_0=2.4\text{GHz}$ et $f_0=5\text{GHz}$ dans la norme IEEE 802.11/n des réseaux Wi-Fi (Voir Annexe –D).

Dans la suite de ce chapitre nous allons nous intéresser au réseau linéaire de deux (2x1) antennes patch et au réseau de quatre (4x1) antennes.

Comme dans le chapitre précédent l'étude de ce type d'antennes a été faite en utilisant le Simulateur HFSS (Voir Annexe-B) pour calculer :

- Les dimensions optimales du réseau d'antennes patch rectangulaires
- Les paramètres caractéristiques (Gain, S_{11} , TOS, rendement, etc.)

III.2. Dimensions optimales d'un réseau (2*1) d'antennes patch de fréquence de travail $f_0 = 2.4 \text{ GHz}$

La Figure III.1 représente la structure d'un réseau linéaire d'antennes de (2* 1).

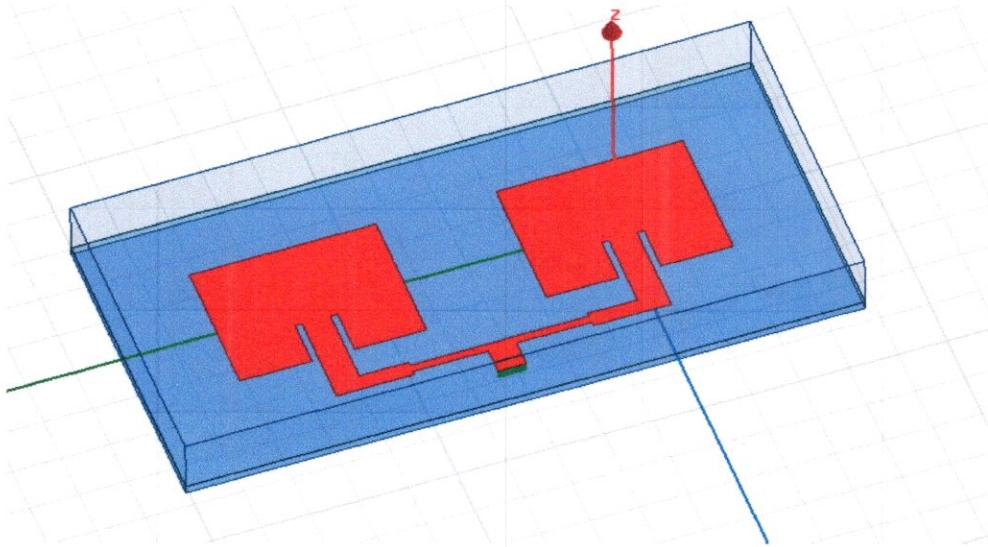


Figure III.1 : Structure d'un réseau linéaire d'antennes de (2*1).

Les dimensions optimales des patches à 2.4 GHz du réseau de la Figure III.1 sont calculées en utilisant les équations ((I.1), (I.2), (I.6), (I.7), (I.14), (I.18)) et en gardant les valeurs trouvées au chapitre II des dimensions suivantes :

- $h = 3\text{mm}$.
- $W = 38.04\text{mm}$.
- $L = 28.84\text{mm}$.

Les antennes sont alimentés par un diviseur de puissance en T composé par des lignes d'alimentation de longueurs ($l_g = \lambda_0/n$, avec n un entier naturel) et d'impédances de $Z_0 = 50\Omega$ ($W_f = 5.736\text{ mm}$) puis de $Z_1 = 100\Omega$ ($W_f = 1.62\text{ mm}$). Deux lignes de quart d'onde $\lambda_{\text{eff}}/4$ et d'impédance $Z_2 = 70.71\Omega$ [$Z_2 = \sqrt{Z_0 * Z_1}$] et ($W_f = 3.27\text{mm}$) a été utilisée entre les lignes 50Ω et 100Ω , pour adapter le réseau d'alimentation. La distance séparant les patches doit être choisie de façon à minimiser les couplages entre sources, nous l'avons choisi égale à $\lambda_0/2$. [2,6]

Cette structure de réseau d'antenne nous donne un coefficient de réflexion $S_{11} = -14.76\text{ dB}$ comme le montre la **Figure III.2** mais avec une fréquence de résonance $f_r = 2.31\text{GHz}$ très loin de la fréquence de résonance estimée $f_r = 2.4\text{GHz}$. Cet écart de fréquence est dû aux coins rectangulaires du diviseur en T qui produit des pertes de puissance. [11] Pour résoudre ce problème on a modifié les coins du diviseur en T comme le montre la **Figure III.3**.

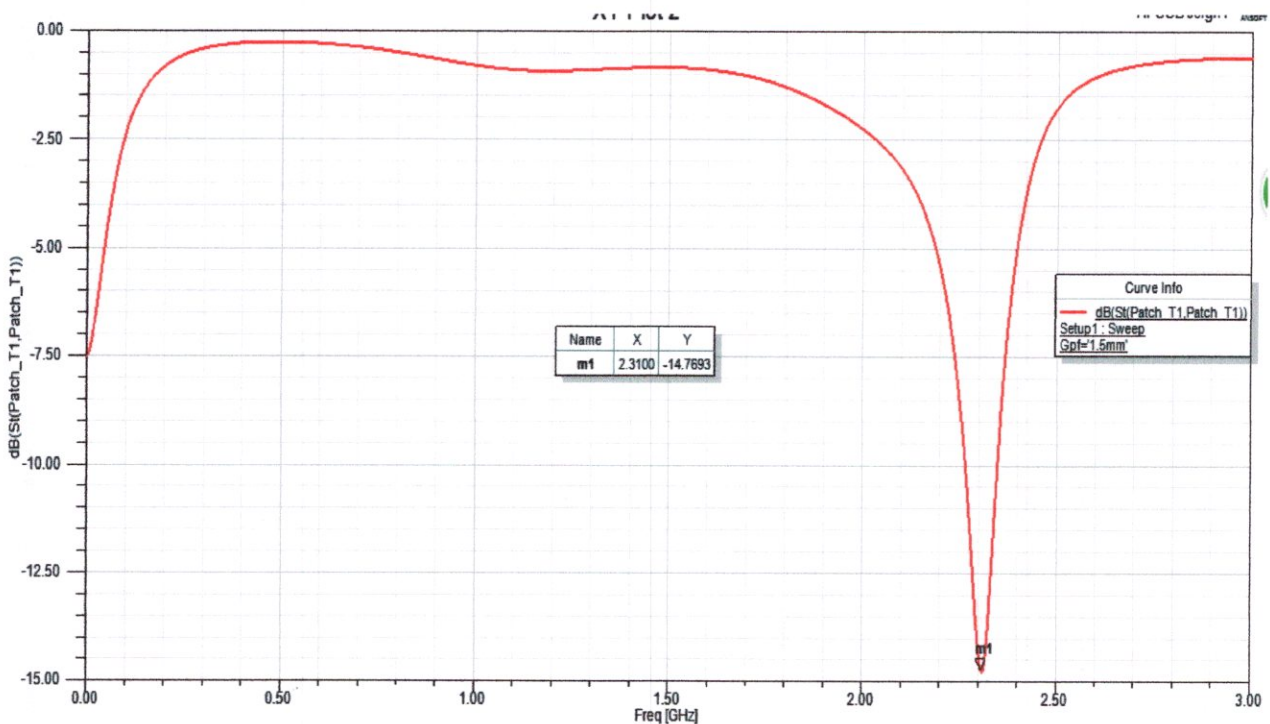


Figure III.2 : S_{11} en fonction de f_r pour un réseau d'antennes (2*1).

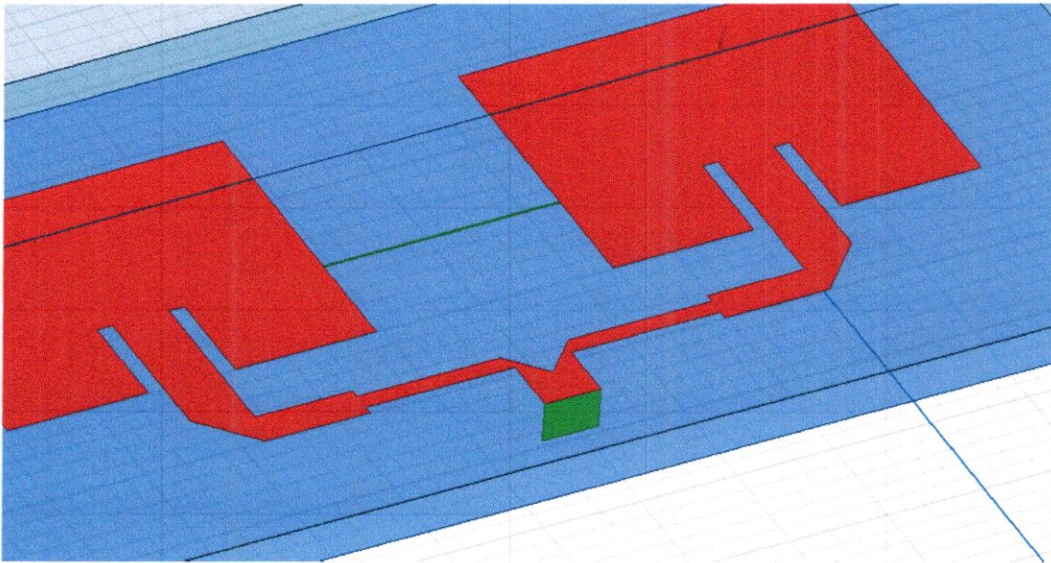


Figure III.3 : Structure de réseau (2*1) en 3D modifiée.

Tableau III.1 donne les dimensions du patch utilisées pour le réseau d'antennes qui sont les mêmes que celles utilisées au chapitre II.

On constate que les valeurs théoriques correspondent aux valeurs trouvées par simulation.

	Largeur (mm)	Longueur (mm)	ΔL (mm)	P_f (mm)	ϵ_{reff}	W_f (mm)	L_f (mm)	G_{pf} (mm)
Valeurs théoriques $f_0=2.4\text{GHz}$	W=38.04	L=28.84	4.18	9.62	3.92	5.74	$P_f + (L/4) = 16.83$	---
Valeurs par simulation $f_0=2.4\text{GHz}$	W=38.04	L=28.84	4.18	9.62	3.92	5.74	$P_f + (L/4) = 16.83$	2.87

Tableau III.1 : Paramètres de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.

III.3. Paramètres caractéristiques du réseau (2*1) d'antennes sur la bande de fréquence 0-3Ghz

Une fois les dimensions des antennes du réseau fixées, on utilise encore une fois le simulateur HFSS pour déterminer et visualiser tous les paramètres suivants caractérisant l'antenne :

- Le paramètre S_{11}
- Le diagramme de rayonnement dans les plans E et H.
- Le diagramme de Gain (3D) et sa valeur en dB.
- Le diagramme de la directivité (3D) et sa valeur en dB.
- La bande de fréquence de l'antenne.
- Le TOS

Les résultats obtenus par simulation HFSS sur la bande de fréquence 0-3 GHz sont comme suit :

III.3.1. Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence

La **Figure III.4** représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} à l'entrée de réseau d'antenne en fonction de la fréquence f_r . On note la valeur minimale du paramètre S_{11} qui est égale à -31.42dB. Cette valeur est inférieure à celle trouvée dans le cas d'une seule antenne (-32.18dB), ceci est dû aux pertes occasionnées par le lobe secondaire dans le diagramme de rayonnement. [11].

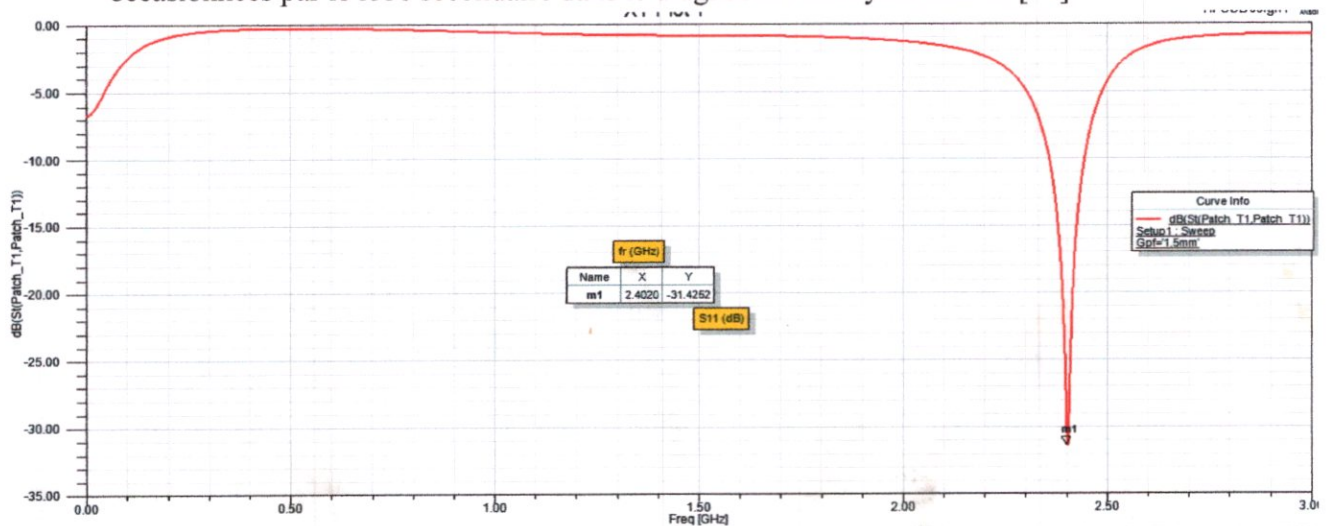


Figure III.4 : La variation de S_{11} du réseau (2*1) en fonction de f_r .

III.3.2. Bande passante

A partir de la **Figure III.4**, on déduit la valeur suivante de la bande passante du réseau d'antennes (2*1) :

$$B_p = \Delta f = f_2 - f_1 = 2.444 - 2.357 = 0.087 \text{ GHz} = 87 \text{ MHz}$$

Cette valeur est dans l'intervalle de (2% à 5%) de f_0 . [2]

III.3.3. Taux d'onde stationnaire

La **Figure III.5** montre une valeur minimum du TOS égale à 0.49 dB (=1.05) qui est dans l'intervalle de 1 à 2. [1]

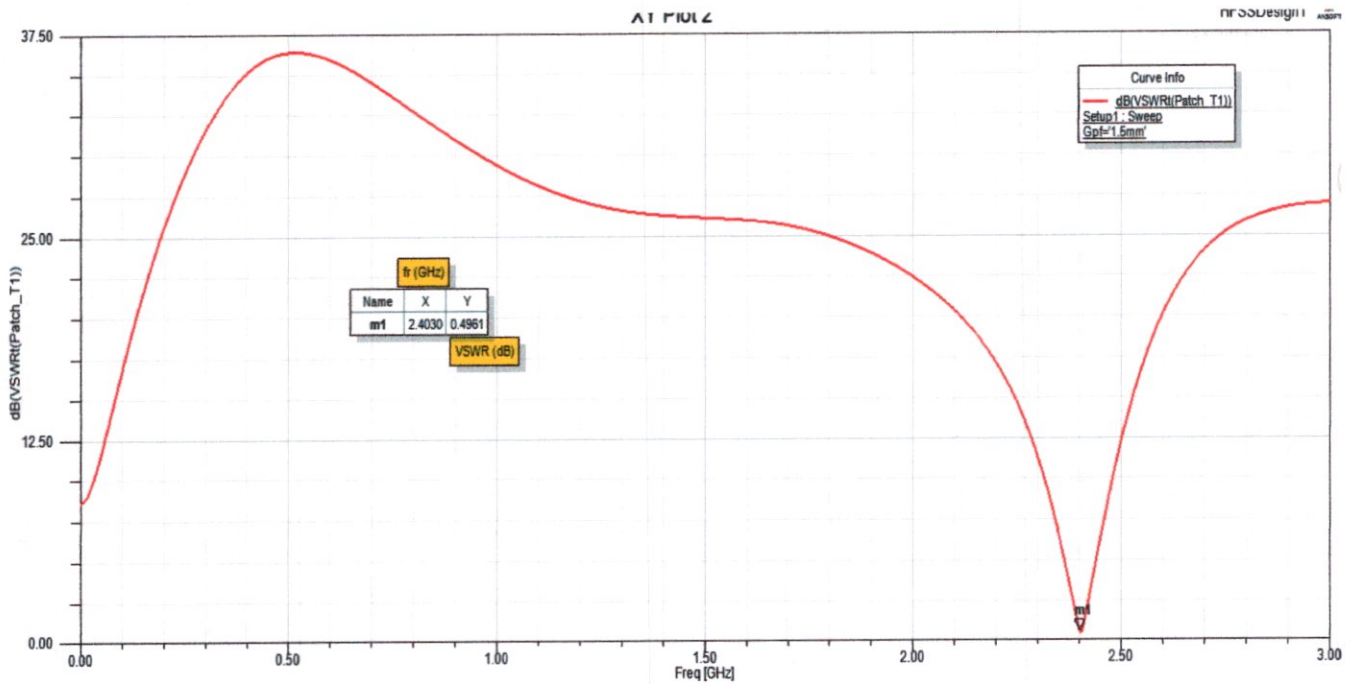


Figure III.5 : TOS du réseau (2*1) en fonction de f_r .

A partir des **Figures (III.4 ; III.5)** on peut conclure que le réseau d'antennes (2*1) est bien adapté avec les lignes d'alimentation.

III.3.4. Diagramme de rayonnement

La **Figure III.6** représente le diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E ($\varphi = 0^\circ$) et dans le plan H ($\varphi = 90^\circ$).

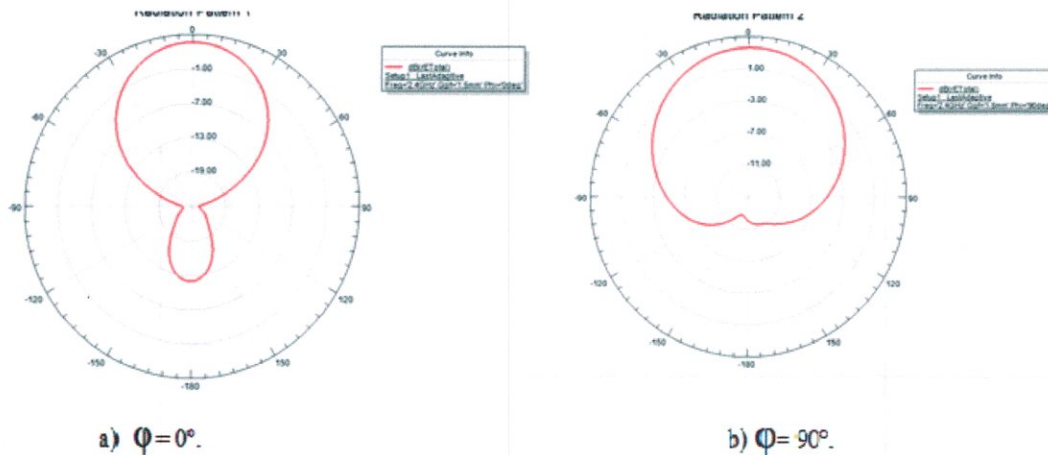


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$.

A partir la **Figure III.6** ci-dessus on constate que l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau d'antennes est égale 100° . On remarque aussi la présence d'un lobe secondaire dans le diagramme de $\varphi = 0^\circ$.

III.3.5. Le Gain de l'antenne

La **Figure III.7** est une représentation du gain du réseau d'antennes (2×1) dans les plans E ($\varphi = 0^\circ$) et le plan H ($\varphi = 90^\circ$). À partir de cette **Figure**, on constate que pour l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$ le gain est égale $G_{\Theta_{-3dB}} = -17dB$ et $G_{\Theta_{-3dB}} = -5 dB$ respectivement. Ces résultats en raison des pertes désadaptation [6].

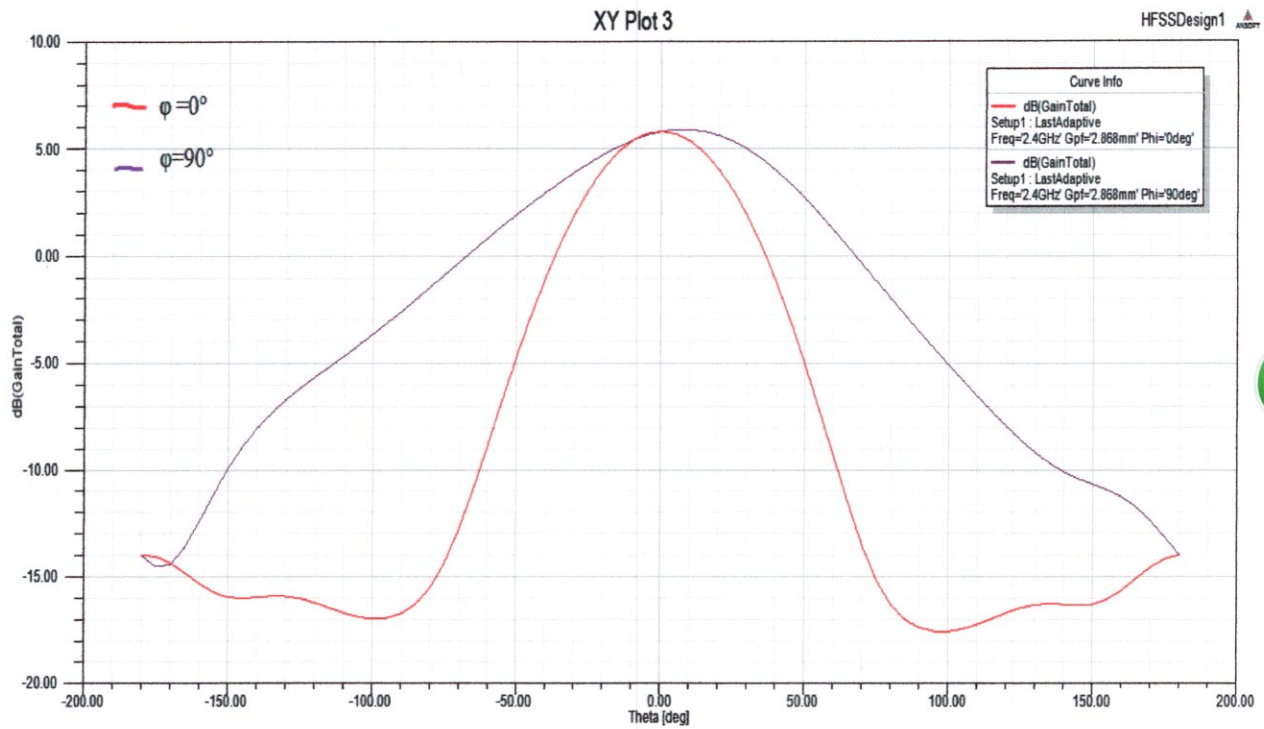


Figure III.7 : Gain du réseau d'antennes (2*1) pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$ en 2D.

La Figure III.8 représente le gain du réseau d'antennes (2*1) en 3D. On remarque que la valeur du gain est maximale suivant l'axe Z pour un ($\theta = 0^\circ$) est égal à 5.8439 dB.

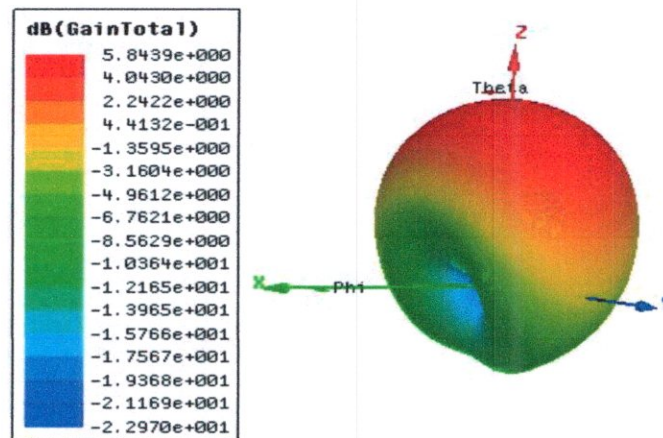


Figure III.8 : Le gain du réseau d'antennes (2*1) en 3D.

III.3.6. Directivité de l'antenne

La **Figure III.9** représente la directivité du réseau d'antennes patch (2*1) rectangulaire de $f_0=2.4$ GHz en 3D. Cette directivité est égale : $D=7.9320$ dB.

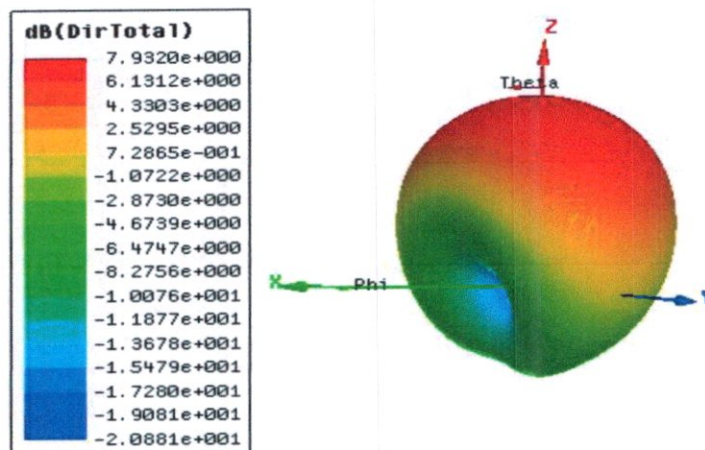


Figure III.9 : Directivité du réseau d'antennes patch (2*1) en 3D.

A partir des **Figures (III.8 ; III.9)** et par l'utilisation de l'équation (I.23) On trouve que le rendement de l'antenne est égale 73.67%.

III.3.7. Répartition du champ électrique E

La **Figure III.10** est une répartition en surface du champ électrique E.

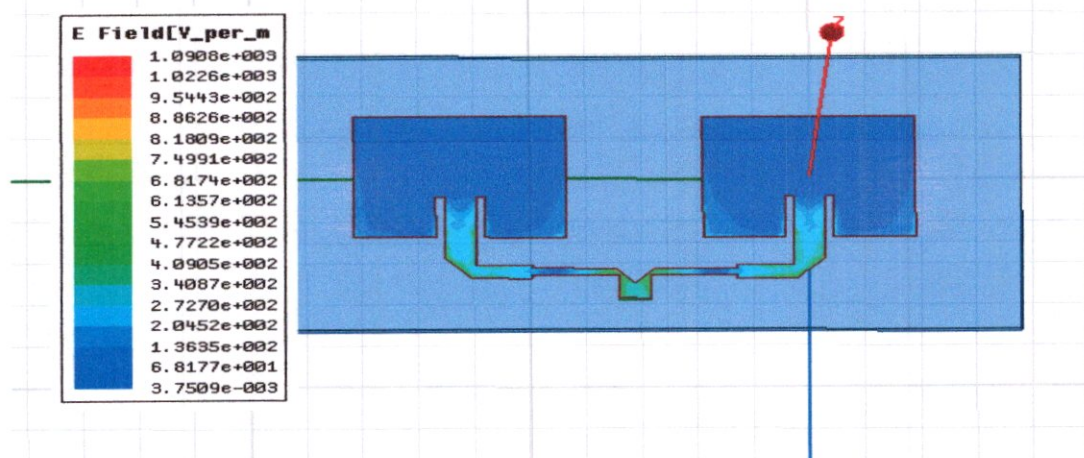


Figure III.10 : Répartition de champ électrique d'un réseau linéaire (2*1) d'antennes en 2D.

A partir de cette **Figure** on constate comme précédemment que l'intensité du champ électrique est maximale au niveau des bords du patch et des lignes d'alimentation.

III.3.8. Répartition du champ magnétique H

La **Figure** III.11 représente la répartition en surface du champ magnétique H.

le champ magnétique est plus intense au niveau de plan de masse.[6]

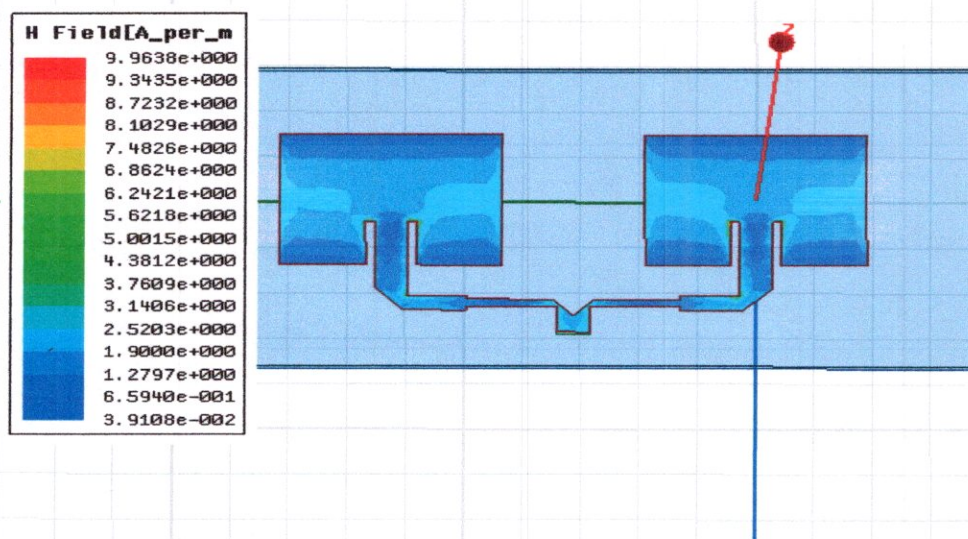


Figure III.11 : répartition en 2D du champ magnétique d'un réseau linéaire (2*1) d'antennes.

III.4. Réseau d'antennes patch (4*1) de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$

Pour concevoir le réseau d'antenne (4*1) de $f_0 = 2.4\text{GHz}$ on connecte en parallèle deux réseaux d'antennes patch (2*1) avec une séparation de $\lambda_0/2$ entre les antennes.

Les résultats obtenus par simulation HFSS sur la bande de fréquence 0-3 GHz sont comme suit :

III.4.1. Structure simulée du réseau linéaire de (4*1) éléments (3D)

La **Figure III.12** représente la structure du réseau linéaire de (4*1) d'antennes.

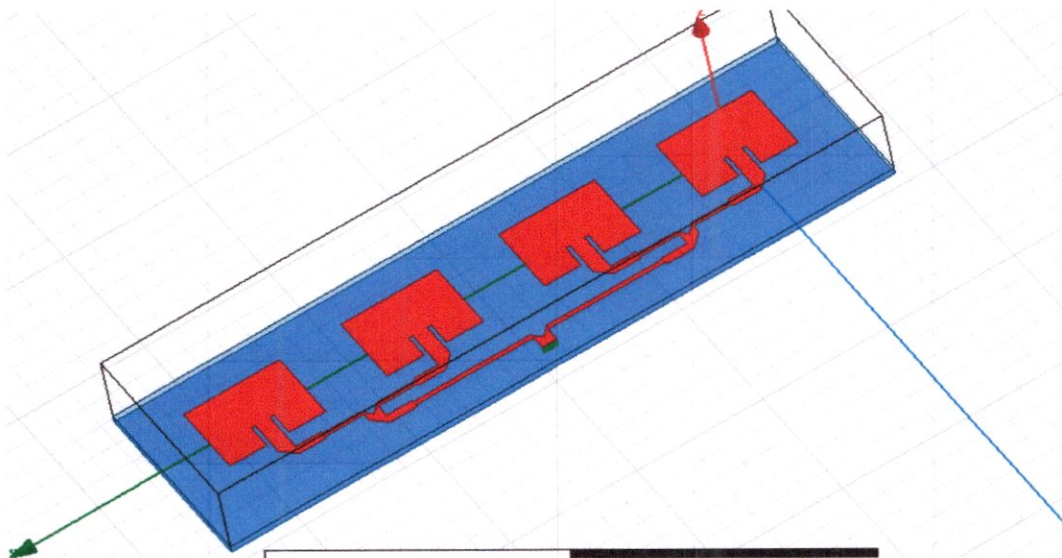


Figure III.12 : la structure en 3D.

III.4.2. Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence

La **Figure III.13** est une représentation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence sur l'intervalle de 3% de la fréquence de travail [14]. On remarque que la valeur de $S_{11} = -38.23\text{dB}$ dans le réseau d'antennes de (4*1) éléments est supérieure en valeur absolue à celle du réseau (2*1).

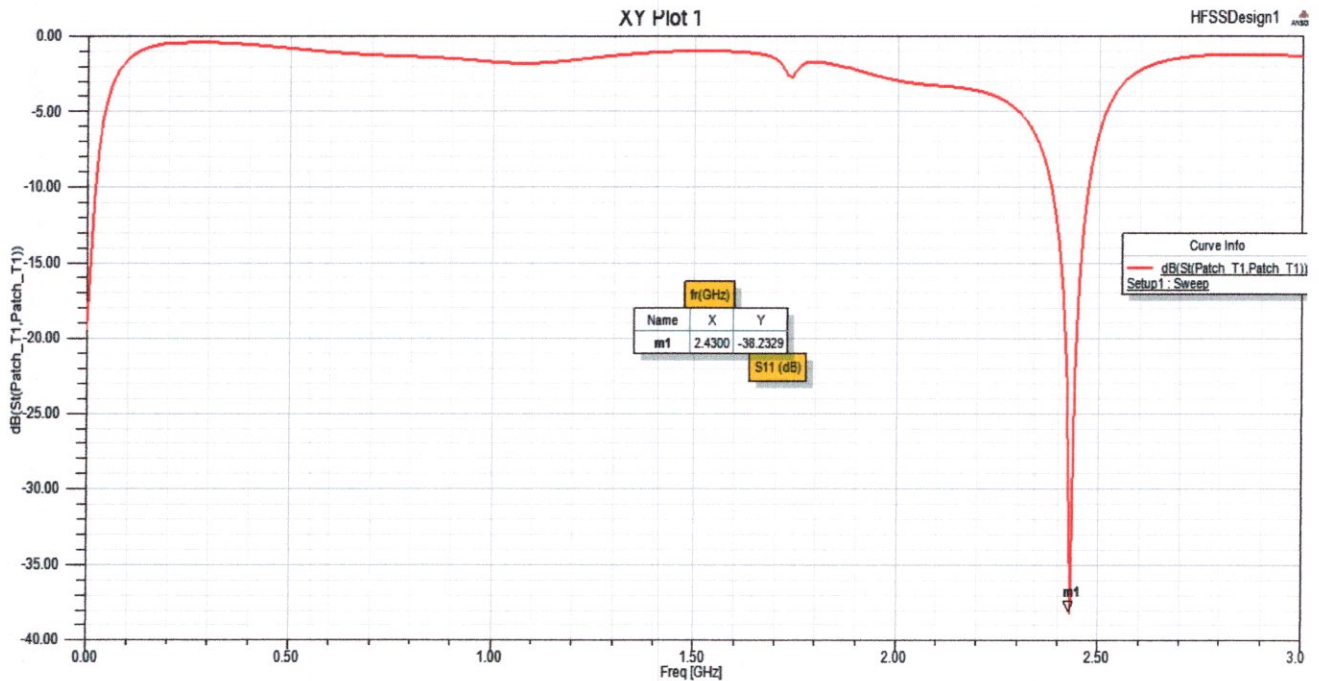


Figure III.13 : La variation de S_{11} du réseau (4*1) en fonction de f_r .

III.4.3. Bande passante

A partir de la **Figure III.13**, on déduit la valeur suivante de la bande passante du réseau d'antennes (4*1) :

$$B_p = \Delta f = f_2 - f_1 = 2.47 - 2.38 = 0.009\text{GHz} = 90\text{MHz}.$$

Cette valeur est dans l'intervalle de (2% à 5%) de f_0 . [2]

III.4.4. Taux d'onde stationnaire

D'après la **Figure III.14** la valeur minimum du TOS est égale
0.21 dB (=1.02) qui est dans l'intervalle de 1 à 2 [1].

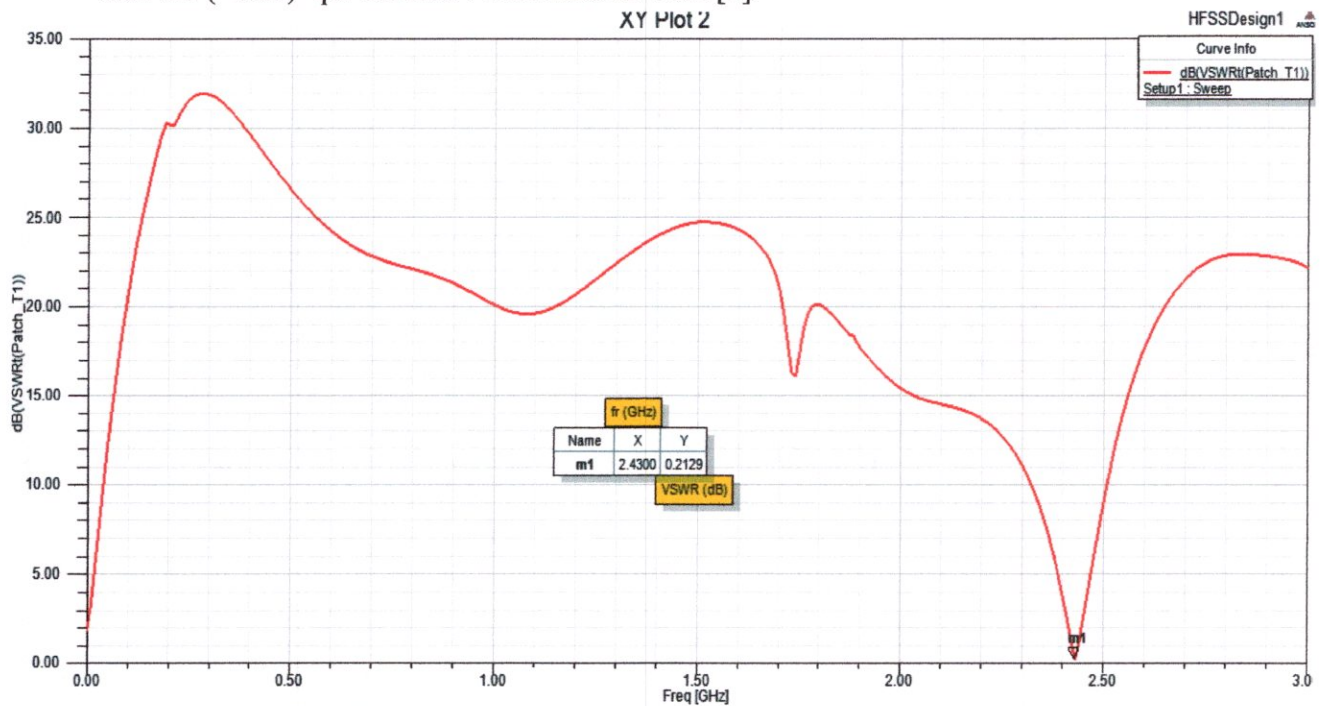


Figure III.14 : TOS du réseau (4*1) en fonction de f_r .

III.4.5. Diagramme de rayonnement

La **Figure III.15** représente le diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E ($\varphi = 0^\circ$) et dans le plan H ($\varphi = 90^\circ$).

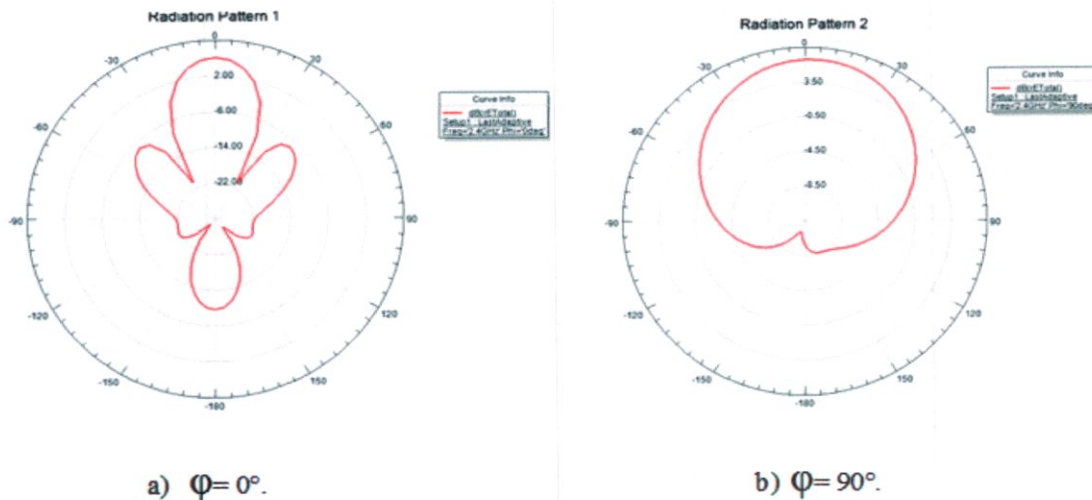


Figure III.15 : le diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$.

A partir la **Figure III.15** on constate que l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau d'antennes est égale 50° qui représente la moitié de l'ouverture de l'antenne (2×1) ce qui veut dire que le réseau (4×1) est plus directif que le réseau (2×1). On remarque l'apparition de nouveaux lobes secondaires dans le diagramme de $\varphi = 0^\circ$ ceci est dû à l'effet des lignes d'alimentations [11].

III.4.6. Le Gain de l'antenne

La **Figure III.16** est une représentation du gain du réseau d'antennes (4×1) dans les plans E et H pour $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$. À partir de cette figure, on constate que pour l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$, le gain est égal à $G_{\Theta_{-3dB}} = -5$ dB et $G_{\Theta_{-3dB}} = 5.1$ dB respectivement. Ces résultats en raison des pertes désadaptation [6]

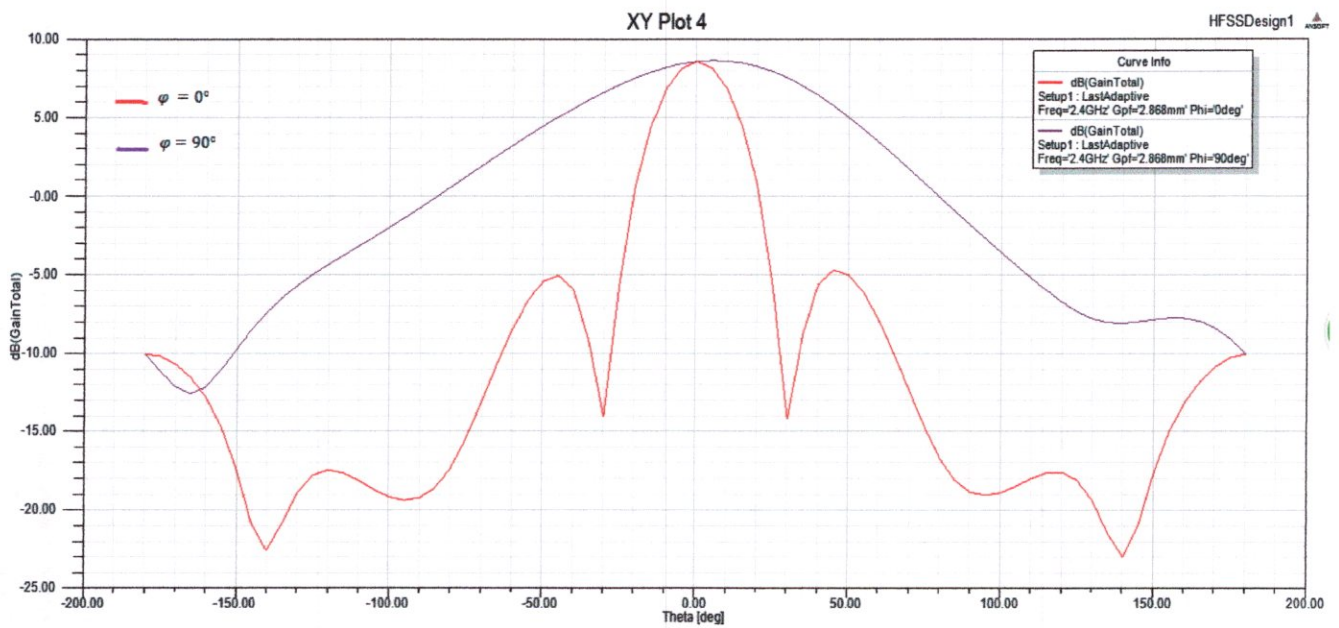


Figure III.16 : le gain de l'antenne ($\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$) en 2D.

La Figure III.17 représente le gain du réseau (4*1) d'antennes patch rectangulaire en 3D.

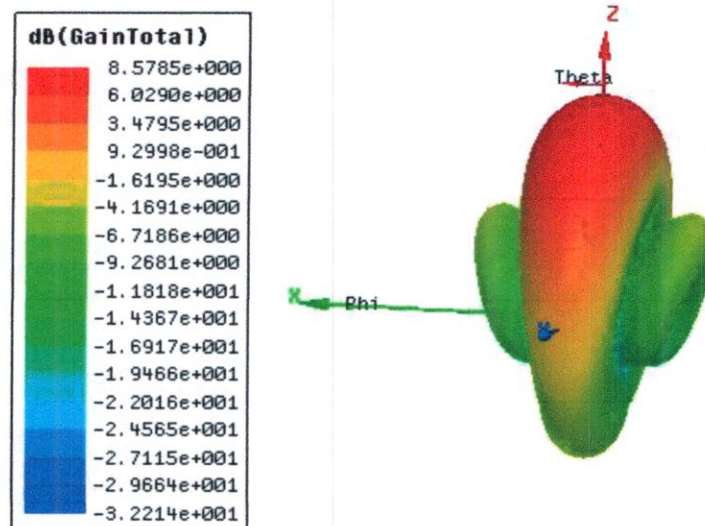


Figure III.17 : Le gain du réseau d'antennes (4*1) en 3D.

On remarque que la valeur de gain est maximale sur l'axe z pour un ($\theta = 0^\circ$) et est égale à 8.5785 dB. Dans ce cas on constate l'apparition des lobes secondaires mais avec des valeurs de gain très petites.

III.4.7. Directivité de l'antenne

La **Figure III.18** représente la directivité du réseau linéaire d'antennes (4*1) $f_0=2.4$ GHz en 3D. Cette directivité est égale : $D = 10.959$ dB.

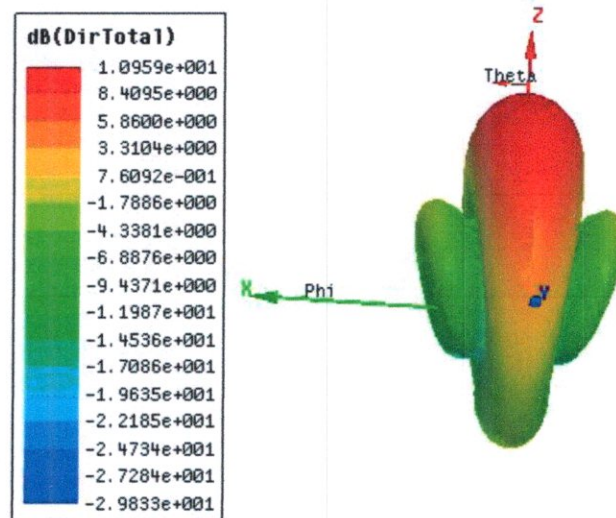


Figure III.18 : Directivité du réseau d'antennes patch (4*1) en 3D.

A partir des **Figures** (III.17 ; III.18) et par l'utilisation de l'équation (I.23), on trouve le rendement de l'antenne égal à 78.27% qui est supérieur à celui du réseau (2*1).

III.4.8. Répartition du champ électrique E

La **Figure III.19** est une répartition en surface du champ électrique E.

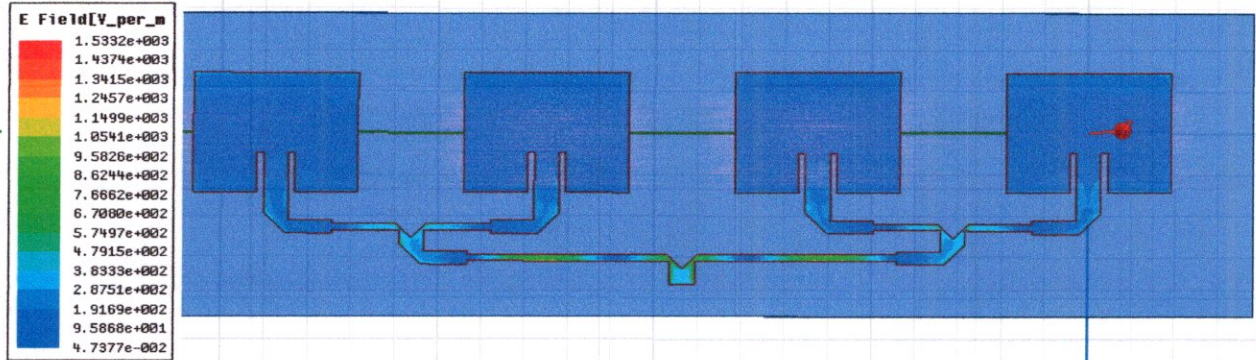


Figure III.19 : Répartition de champ électrique d'un réseau linéaire (4*1) d'antennes en 2D.

Dans cette figure on constate comme précédemment que l'intensité du champ électrique est maximale au niveau des bords du patch et les lignes d'alimentation.

III.4.9. Répartition du champ magnétique H

La **Figure III.20** est une répartition en surface du champ magnétique H.

Cette distribution est la même que celle de l'antenne étudiée précédemment.

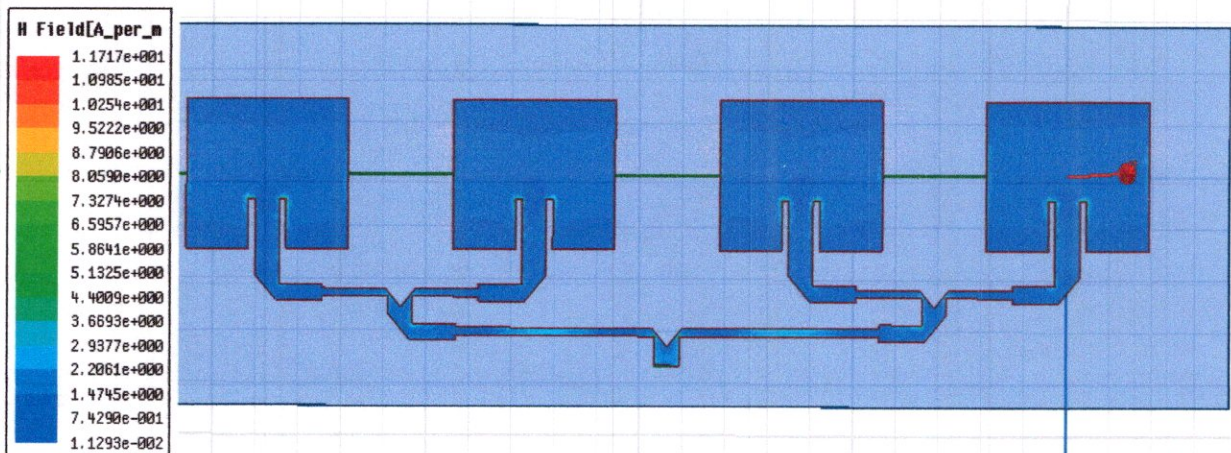


Figure III.20 : Répartition en 2D du champ magnétique d'un réseau linéaire (4*1) d'antennes.

III.5. Comparaison des résultats

Dans le **Tableau III.2** sont représentés les résultats de simulation de ce chapitre et ceux du chapitre II. On constate qu'en passant d'une antenne patch simple à un réseau d'antennes les performances du réseau d'antennes sont nettement meilleures. Les performances sont d'autant plus meilleures que le réseau est constitué d'un nombre élevé d'antennes patch.

Le problème rencontré lors de la simulation du réseau d'antennes contrairement à une antenne simple, est que les lignes d'alimentations rayonnent aussi, ce qui occasionne l'apparition des lobes secondaires et provoque une perte d'énergie. [11]

Antenne	S ₁₁ (dB)	G (dB)	D (dB)	e _r (%)
Simple	-32.18	2.79	4.98	56.02
Réseau (2*1)	-31.42	5.84	7.93	73.67
Réseau (4*1)	-38.23	8.57	10.96	78.27

Tableau III.2 : la comparaison entre les antennes

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances de deux réseaux d'antennes (2*1) et (4*1) de fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$. Les performances du réseau (4*1) sont supérieures à celles du réseau (2*1). La difficulté rencontrée lors de la conception du réseau d'antennes réside dans le raccordement des lignes de diviseur de puissance (50 Ohms, 70 Ohms, 100 Ohms) et leur positionnement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la conception et aux performances d'un réseau d'antennes microruban travaillant dans la norme IEEE802.11n utilisée dans la technologie Wi-Fi de fréquence de travail 2.4/5GHz. Cette norme permet des transmissions allant jusqu'à 72.2 Mb/s. Pour accomplir ce travail nous avons utilisé le simulateur HFSS.

Notre choix est porté sur l'antenne patch de forme rectangulaire alimenté par ligne de transmission microruban. Nous avons commencé notre étude par la simulation et l'étude des performances d'un élément rayonnant. Les résultats des performances de l'antenne de fréquence de travail 2.4GHz sont : Gain (G) = 2.79dB, Directivité (D) = 4.98 dB, Rendement (ϵ_r) = 56.02%. Les résultats des performances de cette antenne et ceux de l'antenne de fréquence de travail 5GHz sont similaires. Afin d'améliorer les performances de l'antenne nous avons conçu deux réseaux linéaires, l'un d'eux constitué de deux patches (2*1) reliés en parallèle et l'autre constitué de quatre patches (4*1) aussi reliés en parallèle. Les résultats de la simulation montrent que le réseau (4*1) possède des performances meilleurs avec un gain de 8.57 dB, une directivité de 10.96 dB et un rendement de 78.27%.

Avant de procéder à la simulation nous avons donné un aperçu théorique sur les caractéristiques de l'antenne (S_{11} , TOS, La bande passante, Le Gain, La Directivité et l'efficacité de rayonnement), ainsi que la manière de procéder pour la concevoir.

Il aurait été intéressant si nous avions eu les moyens dans notre université de réaliser ce type d'antenne afin premièrement de comparer les résultats des différentes simulations avec ceux de la réalisation pratique et deuxièmement de nous initier à la technologie de ce type d'antenne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] P.Bhartia, Inder Bahl, R.Garg, A.Ittipiboom. (2001).”*Microstrip Antenna Design Handbook*.
- [2] Constantine A.Balanis, *Antenna Theory” Analysis and Design”* John Wiley & Sons, INC Publication, Third Edition. Hoboken, New Jersey 2005.
- [3] D.G.Fang.”*Antenna theory and Microstrip Antennas”* 2010 by Taylor and Francis Group, LLC.
- [4] Cyril LUXEY, Robert STARAJ, Georges KOSSIAVAS, Albert PAPIERNIK. “*Antennes imprimées - Bases et principes*”, Techniques De l’Ingénieur, Date de publication : 10/05/2007.
- [5] TEBACHE Soufiane. “*Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées*”, Mémoire présenté en vue de l’obtention du titre de MAGISTER En Génie électrique (Juin 2013).
- [6] Youssef Rhazi (System and Telecommunications Engineering Decision Laboratory, IbnTofail University Sciences Faculty of Kenitra, B.P. 133 – Morocco). SeddikBri, MIN (Electrical Engineering Department, High School of Technology: ESTM MoulayIsamil University, B. P 3103, Meknès – Morocco). Rajaa Touahani (System and Telecommunications Engineering Decision Laboratory, IbnTofail University Sciences Faculty of Kenitra, B.P. 133 – Morocco). “*Effet d’excitation l’antenne patch dans la bande [7,5-28] GHz*.”
- [7] David M.Pozar, “*Microwave Engineering*”, Third Edition, 2005 John Wiley & Sons, INC.
- [8] Alexandre Boyer. *Antennes, support de cours, énoncé de travaux dirigés*. Institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, Alexandre.boyer@insa-toulouse.fr, www.alexandre-boyer.fr (octobre 2011).
- [9] By D. Orban and G.J.K. Moernaut. “*The Basics of Patch Antennas, Updated*”, Orban Microwave Products (September 2009).
- [10] Dominic Grenier, “*Antennes et Propagation radio* Département de génie électrique et de génie informatique Université Laval. Hiver 2013.

[11] Odile Picon et coll. *“Les Antennes « théorie, Conception et Application”*, Dunod, Paris, 2009.

[12] IRANKUNDA Germain.UFITEYEZU Emmanuel. *“Etude et Conception d’une antenne patch Rectangulaire pour les Réseaux Personnels Sans fils _WPAN à 60 GHz”*, Mémoire de MASTER 2011.

[13] George Casu. Catalin Moraru. Andrei Kovacs. *“Design and Implementation of Microstrip Patch Antenna Array”*. *Military technical Academy, Faculty of Electronics and information, Bucharest, Romania*”(2014).

[14] www.antenna-theory.com/Microstrip (Patch) Antenna

[15] User’s guide – *High Frequency Structure Simulator* (HFSS), 2005 Ansoft Corporation.

Annexes

Annexes

A.1. Description du simulateur HFSS :

HFSS (High Frequency Simulator Structure) est un simulateur en hyperfréquences de très hautes performances qui modélise et simule en 3D les champs globaux rayonnés par les structures hyperfréquences (antennes, filtres, guides, connecteurs....) et fournit des caractéristiques pour les antennes comme (gain, TOS, Sij...). Il se base sur le modèle des éléments finis **FEM** qui consiste à résoudre les équations du champ (équations de Maxwell sous leur forme différentielle).

La Figure A.1 montre l'interface de simulateur HFSS.

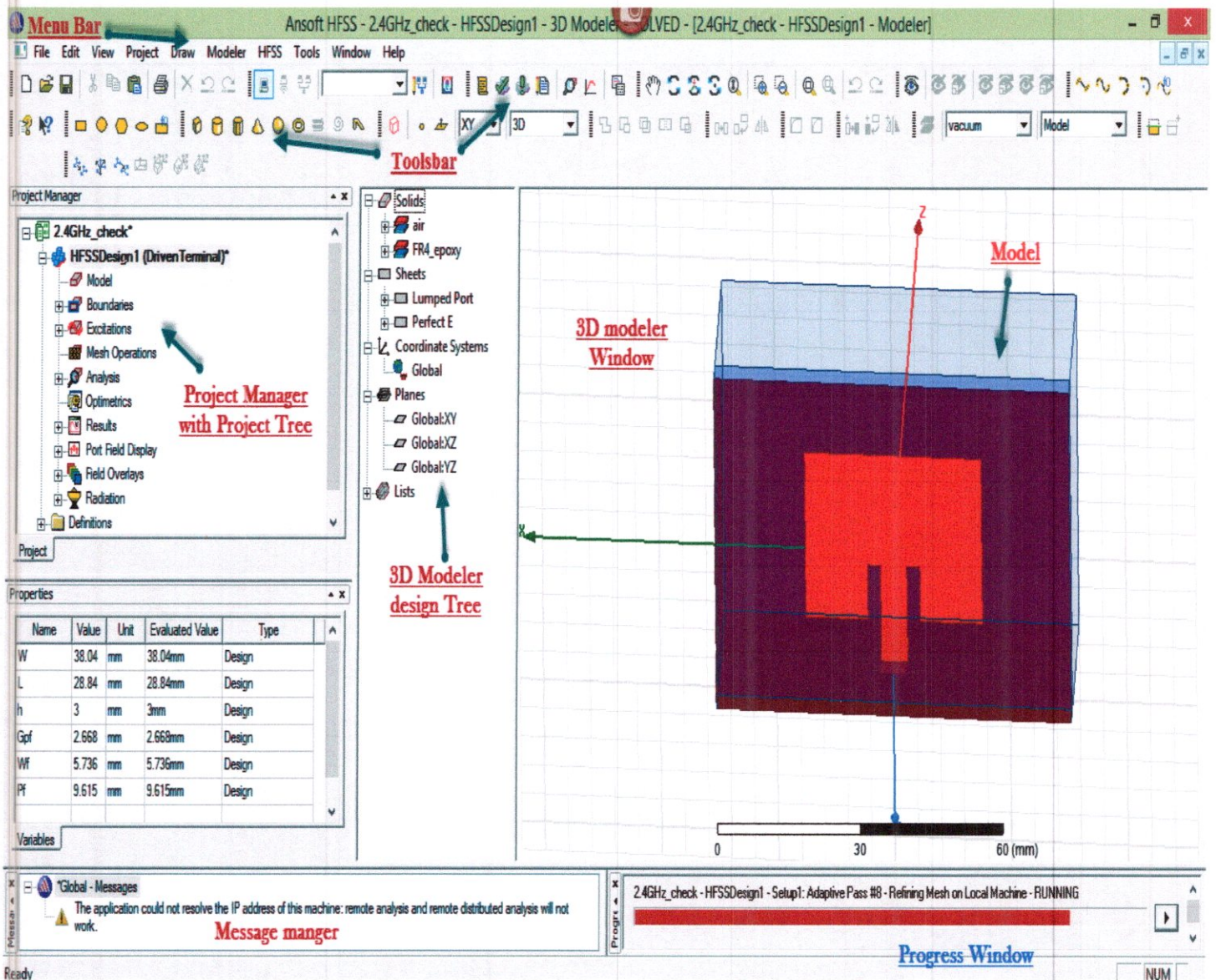


Figure A.1 : l'interface de simulateur HFSS v.14

Cette interface qui consiste par :

- **Menu Bar** (Project, Draw, Modler, HFSS, Tools.....).
- **Toolbar** (Draw Box, Rectangle, Symbole of check, Symbol of Analyse All...).
- **Project Manager with Project Tree** (Model, Boundreis, Analysis, Results....).
- **3D Modeler Design Tree** (Solids, Sheets, Coordinate Systems, Plans...)
- **3D Modler Window** (Repère).
- **Message Manager.**
- **Progress Window.**

La **Figure A.2** représente un organigramme qui définit les opérations dans le simulateur HFSS.



Figure A.2 : Organigramme de HFSS. [15]

A.2. les étapes de concevoir une antenne patch rectangulaire de $f_0 = 2.4\text{Ghz}$.

A.2.1 Conception d'un substrat :

A partir de l'interface montre dans la **Figure** ci-dessus, on va sélectionner un cube (le substrat) (**DRAW BOX**) depuis la (**Toolbar**) et on le désigne dans (**3D Modler Window**) comme apparait dans la **Figure** ci-dessous.

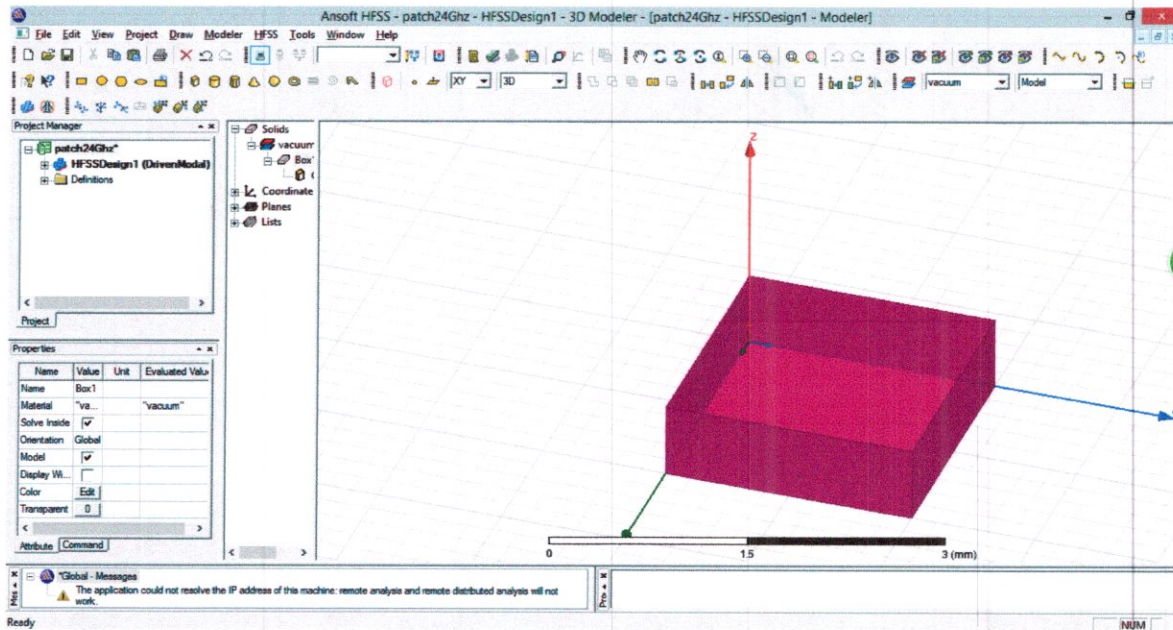


Figure A.3

Dans l'arbre de conception du modeler 3D (**3D MODELER DESIGN TREE**) :

- ❖ On clique par la droite de souris sur le cube (**BOX**) et choisie les propriétés de cette cube. La fenêtre comme le montre la **Figure** A.4 apparaît.

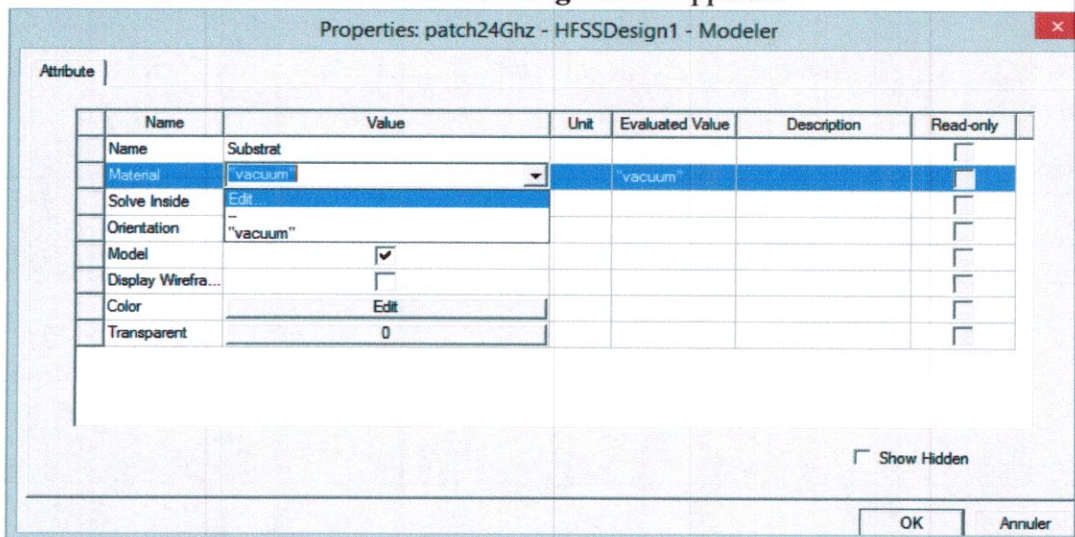


Figure A.4

A partir de cette fenêtre on peut changer :

- Le nom de cube (Substrat).
 - Le materiae utilisé (FR4-epoxy).
 - La couleur de Substrat.
 - Transparence.
- ❖ Double cliquer sur (**Create modele**), la fenêtre dans la **Figure A.5** apparait pour nous donne la possibilité d'entrée les dimensions de substrat et son position.

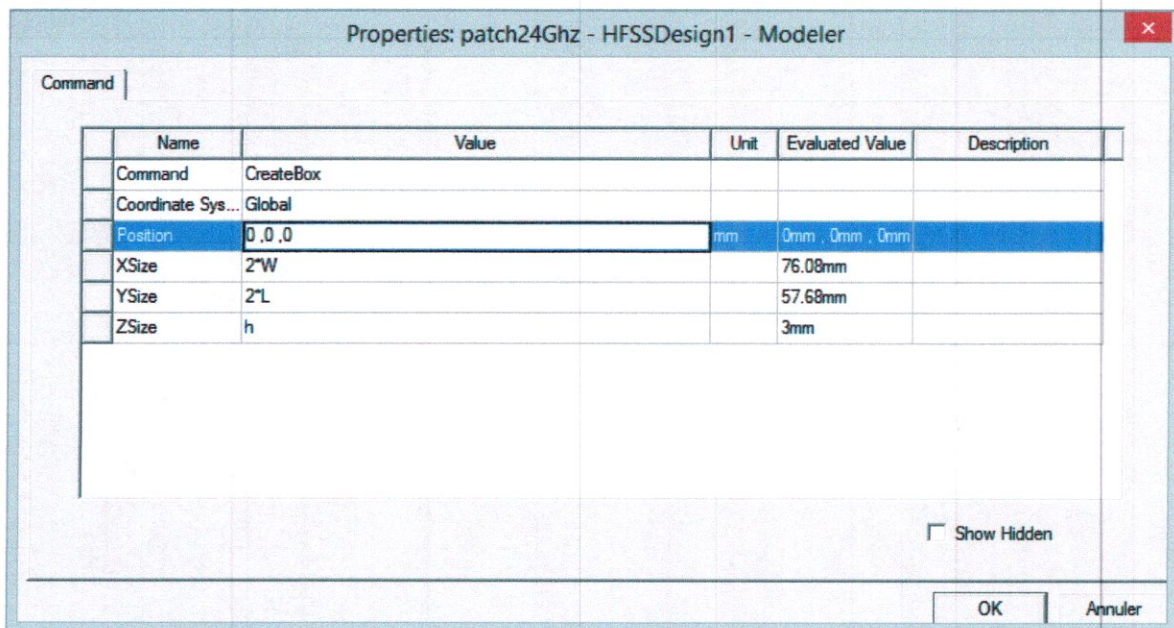


Figure A.5.

A.2.2 Conception d'un patch :

Pour faire la conception de patch, on fait les mêmes étapes précédemment juste changer le cube par un rectangle parce que notre patch est une lame très mince d'épaisseur t négligeable $t \ll \lambda_0$ [2].

A.2.3 Conception d'encoche :

La conception d'encoche est très facile puisque on utilise une rectangle et passée par les mêmes étapes qui fait dans la concevoir d'un patch mais une étape plus montre dans les Figures ((A.6), (A.7), (A.8)).

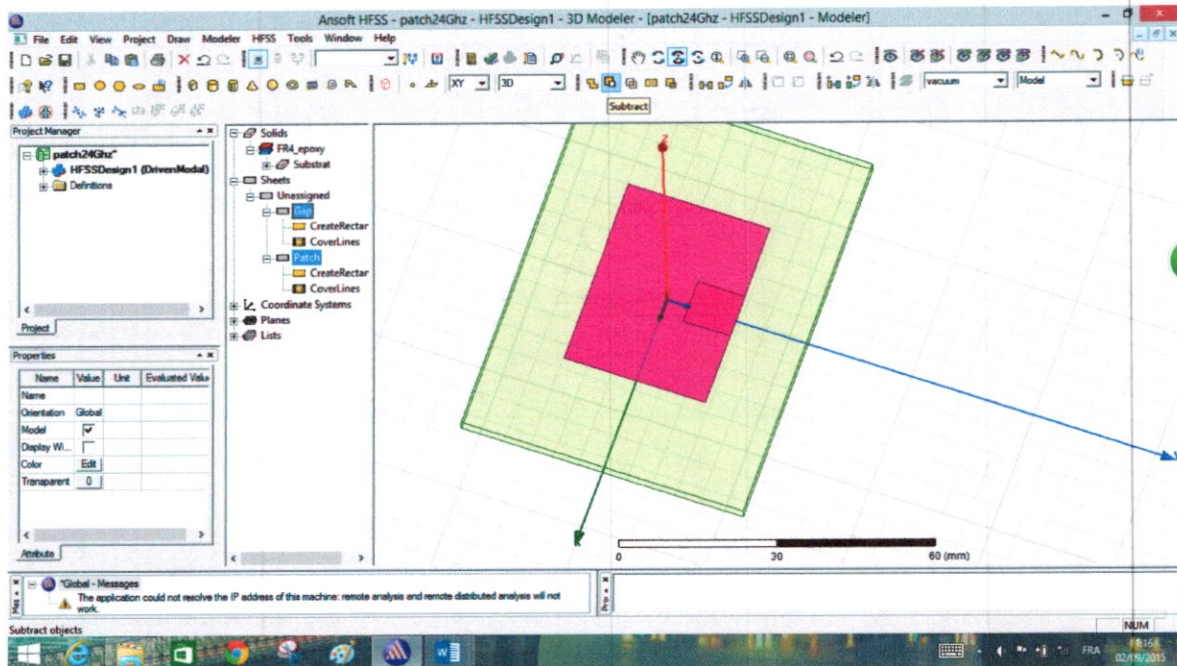


Figure A.6.

On sélectionné le patch et l'encoche (**Gap**) et dans la(**Toolbar**) on clique sur (**Subtract**), une fenêtre apparait comme la **Figure A.6** et on clique sur **OK** pour couper la forme de l'encoche dans le patch (**Figure A.7**)

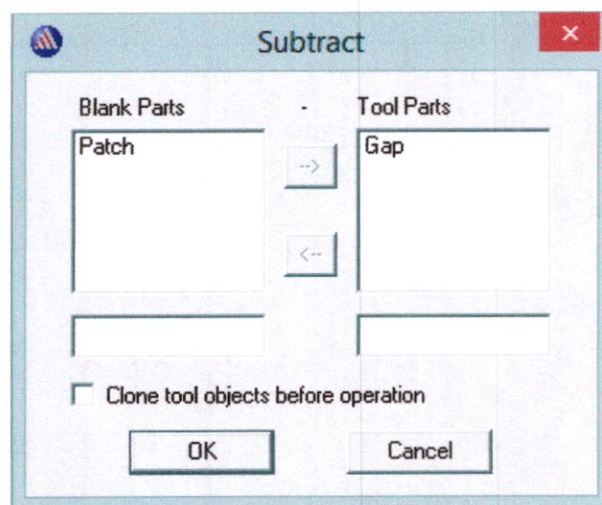


Figure A.7.

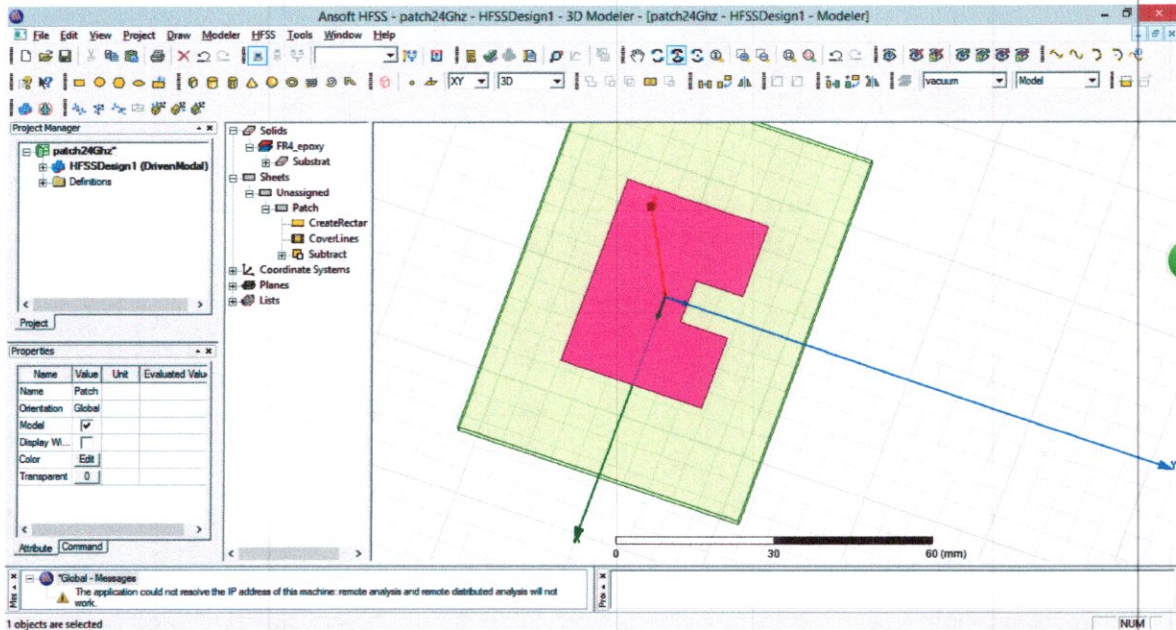


Figure A.8.

A.2.4 Conception de la ligne Microruban d'alimentation :

On utilise les mêmes étapes d'une conception du patch mais :

- Entrer les dimensions et la position de la ligne (**Figure A.9**).
- Sélectionner le patch avec la ligne d'alimentation (**Feed line**) et clique sur (**Unite**) dans la (**Toolbar**) pour les combinée (**Figure A.10**).

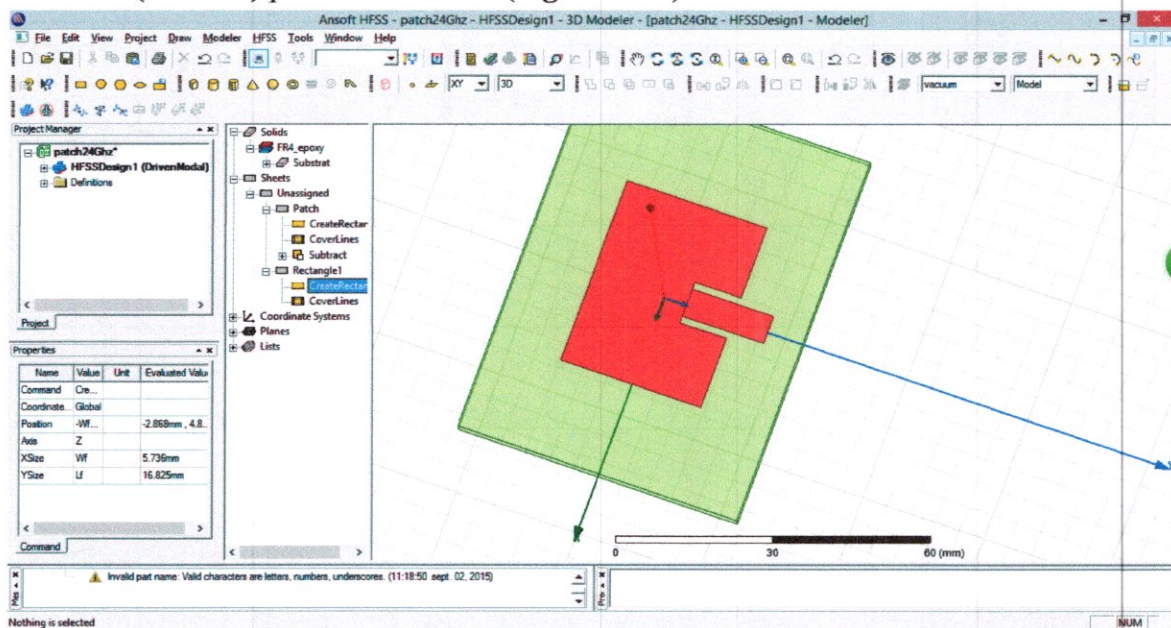


Figure A.9

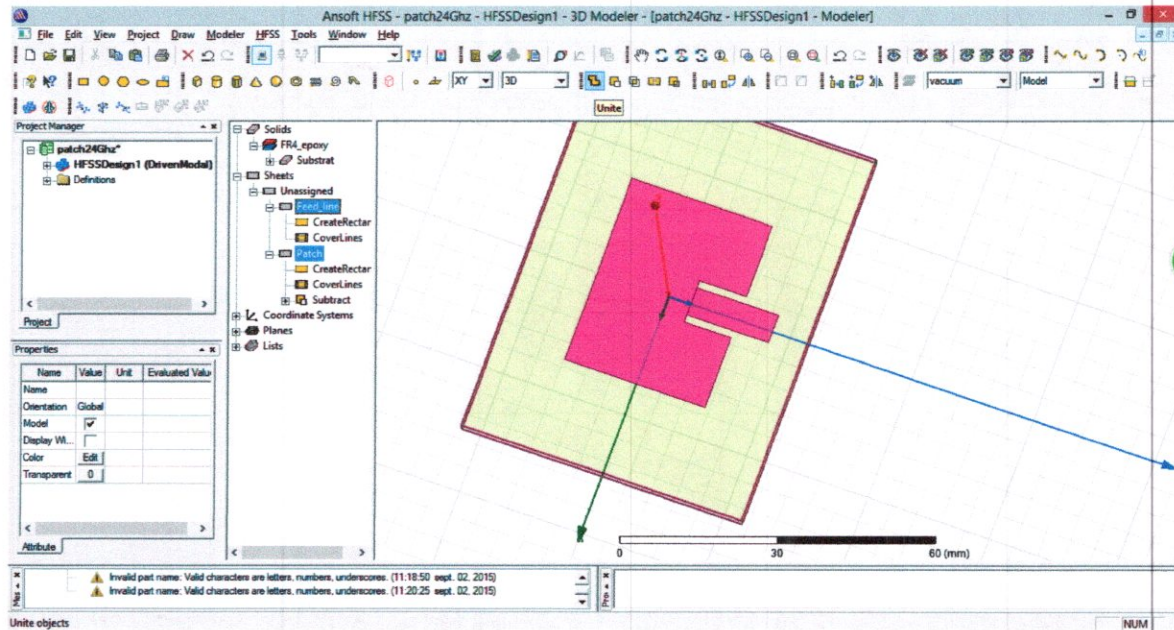


Figure A.10

A.2.5 : Conception du plan de masse :

On retourne l'antenne et sur son pile désigne une rectangle de même dimension et position avec le substrat.

Après fait la conception de patch et le plan de masse, on fait des étapes pour définir ou s'assurer que les deux ont la possibilité de transférer le champ électrique .les étapes sont les suivantes :

- Dans (3D MODELER DESIGN TREE), on clique droite sur le patch ou le plan de masse.
- Dans la liste apparaît on choisit Assigne Boundary → Perfecte E (Figure A.11).
- A la fenêtre apparaît ont Renommé → OK (Figure A.12).

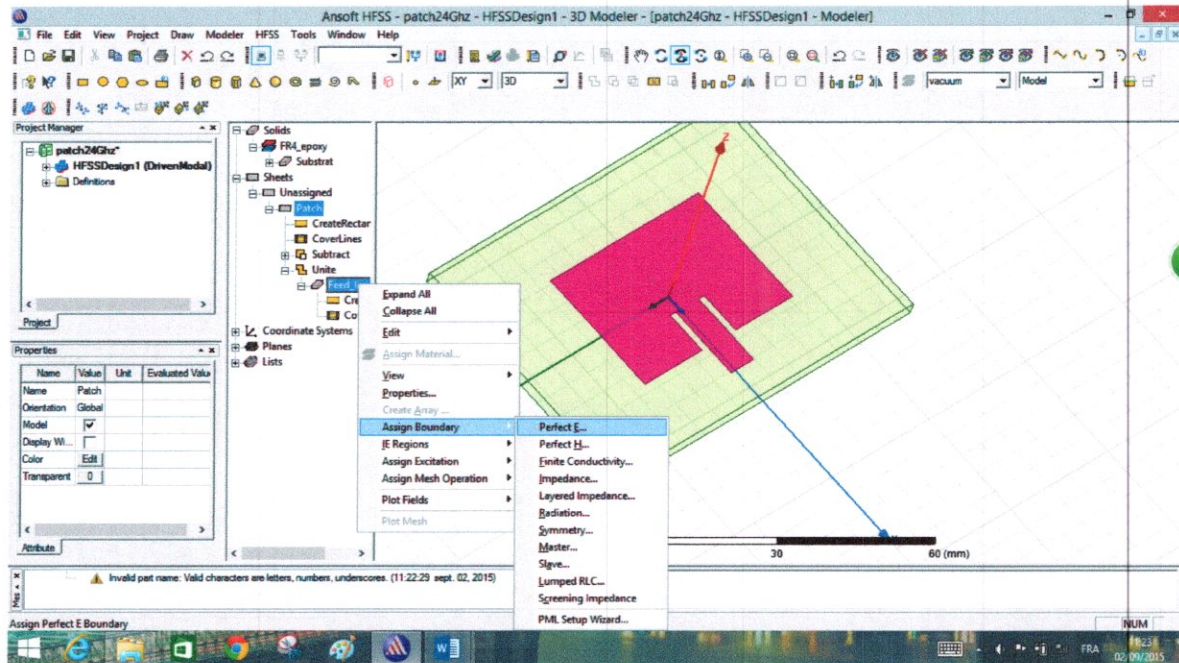


Figure A.11.

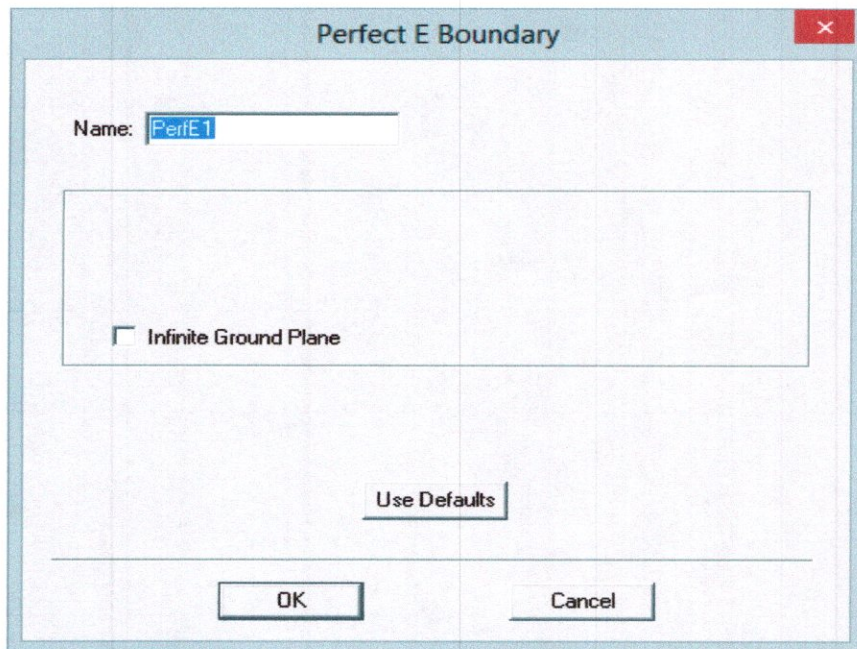


Figure A.12.

A.2.6 : Conception de la porte d'excitation :

La porte d'excitation est un mécanisme plus important dans la concevoir d'un antenne patch rectangulaire puisque elle consiste à injecter la puissance dans le patch sous forme d'onde électromagnétique et cette conception passe par les étapes suivantes :

- Changement le type de solution de HFSS vers **Driven terminal** (les Figures (A.13), (A.14)).

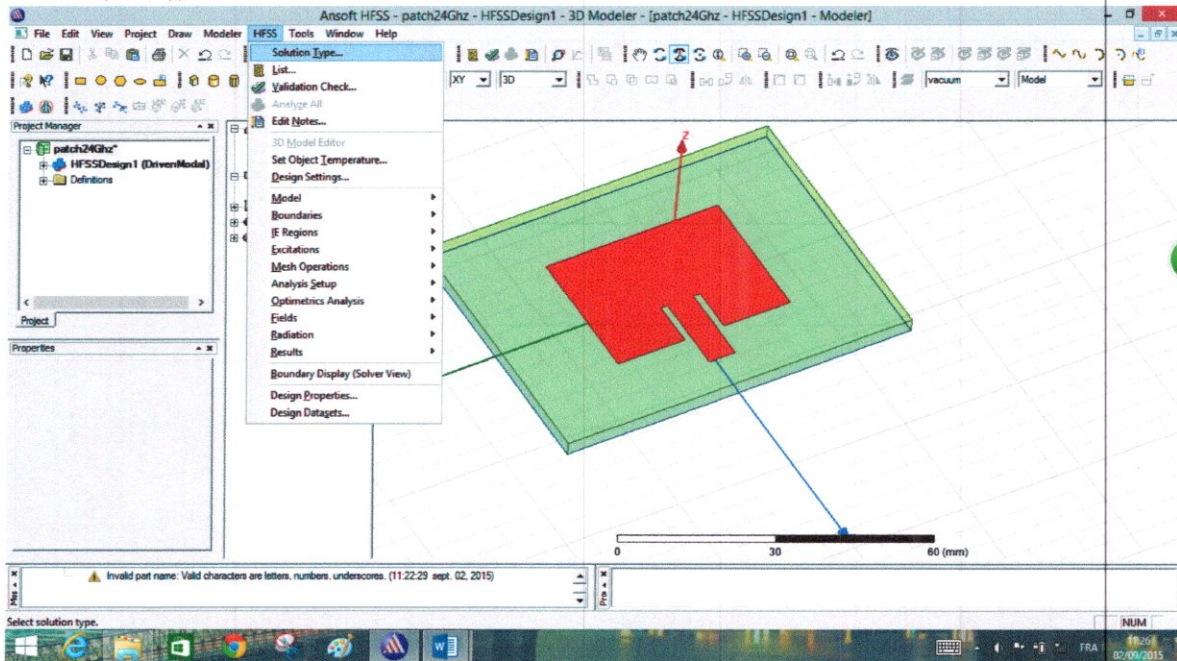


Figure A.13

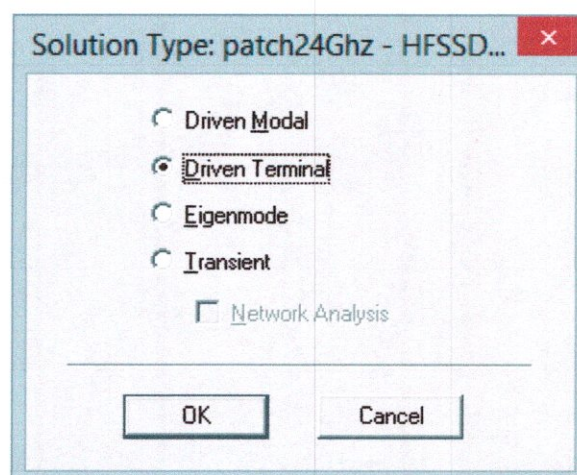


Figure A.14

- Cliquez sur la lettre E dans le clavier pour nous donne la possibilité de sélectionnée les bords de patch, on choisit le premier bord de la ligne d'alimentation (Figure A.15).

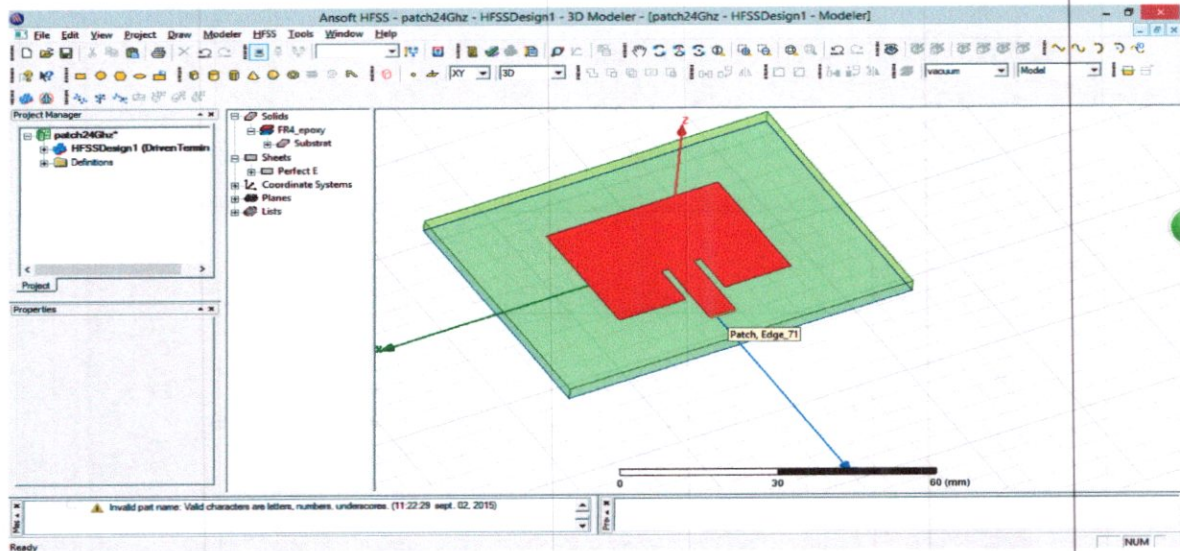


Figure A.15.

- Dans la (MENU BAR) cliquer sur Modeler → Edge → Create Object From Edge (Figure A.16).

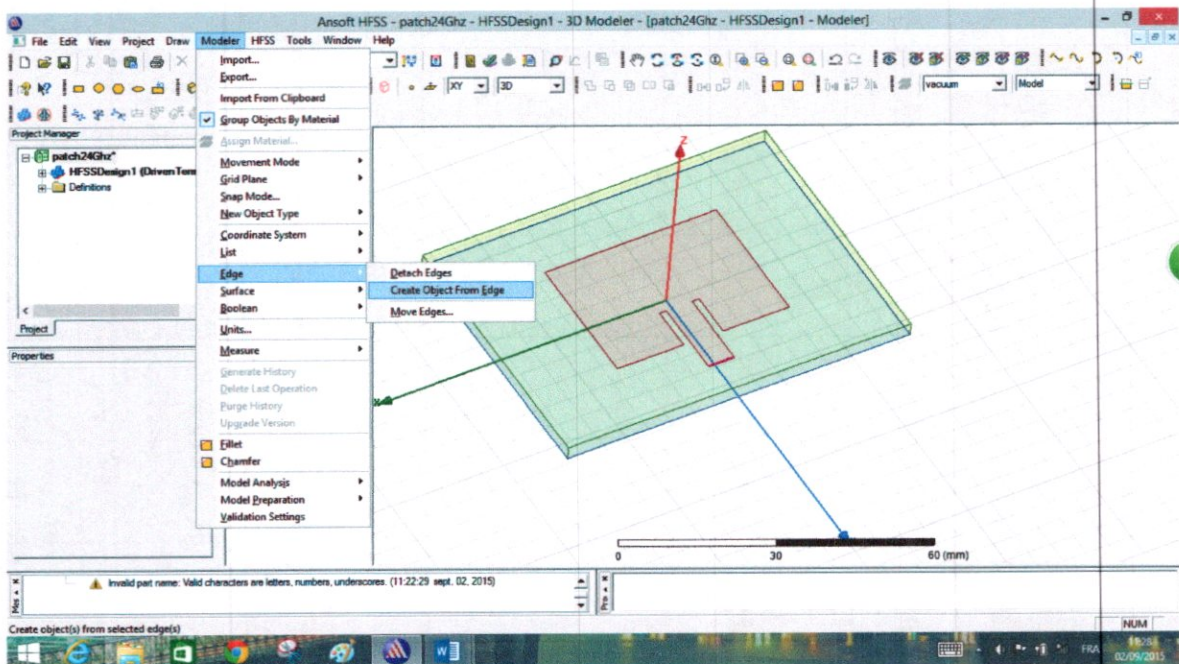


Figure A.16.

- Dans la (MENU BAR) cliquer sur **Draw** → **Sweep** → **Along Vector** et désigné un vecteur dans un place vide (Figure A.17) et après s'apparaitre une rectangle accordé avec la ligne d'alimentation (Figure A.18).

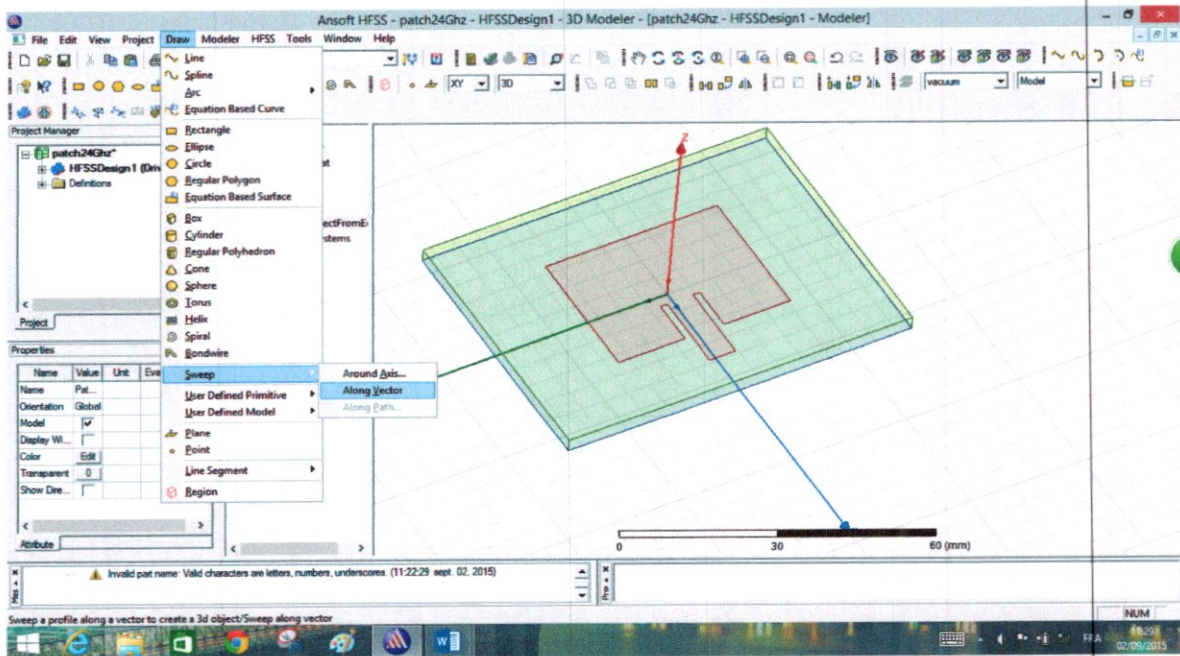


Figure A.17.

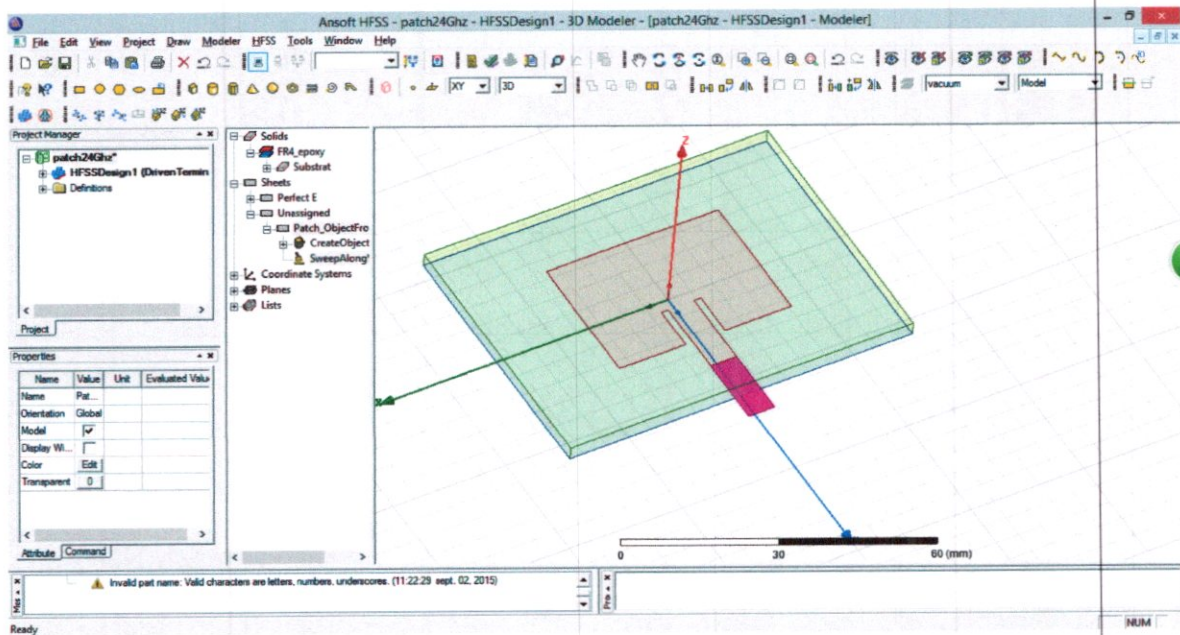


Figure A.18.

- A partir (3D MODELER DESIGN TREE), on change la position de ce vecteur vers le plan de masse (Figure A.19). et toujours dans cet arbre clique par la droite sur cette porte \rightarrow Assigne Excitation \rightarrow Lumped port (Figure A.20)

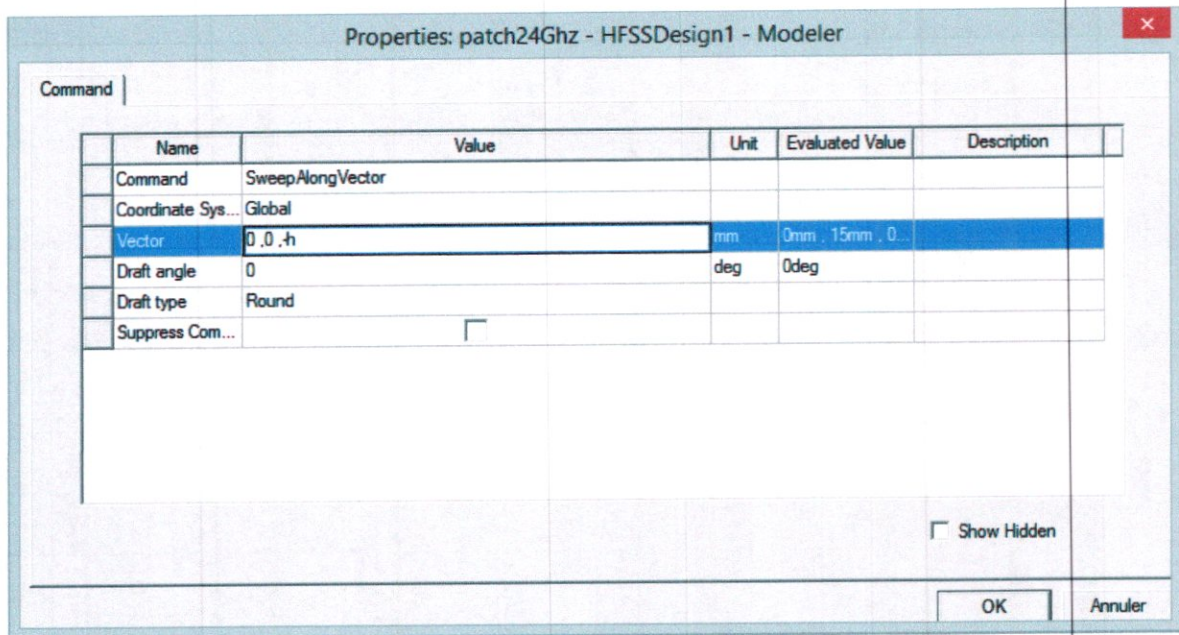


Figure A.19

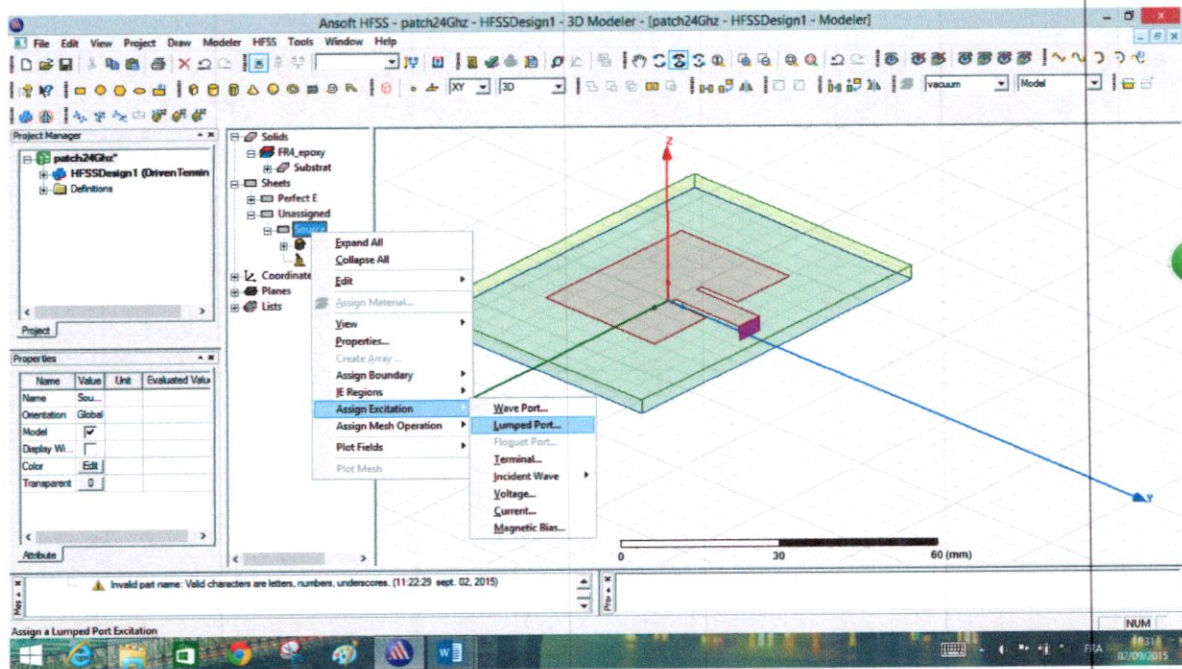


Figure A.20.

- Dans la fenêtre apparaît on choisit comme un référence le plan de masse → Ok (Figure A.21).

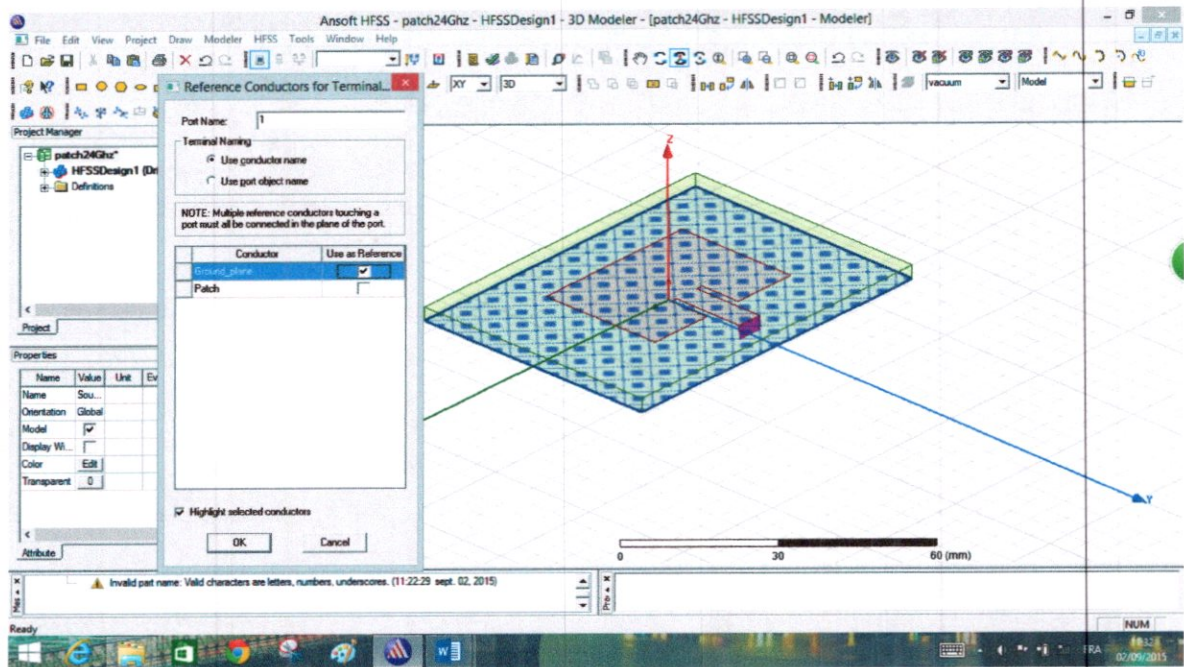


Figure A.21.

- Dans la fin l'antenne patch s'apparaître comme le montre la Figure A.22 :

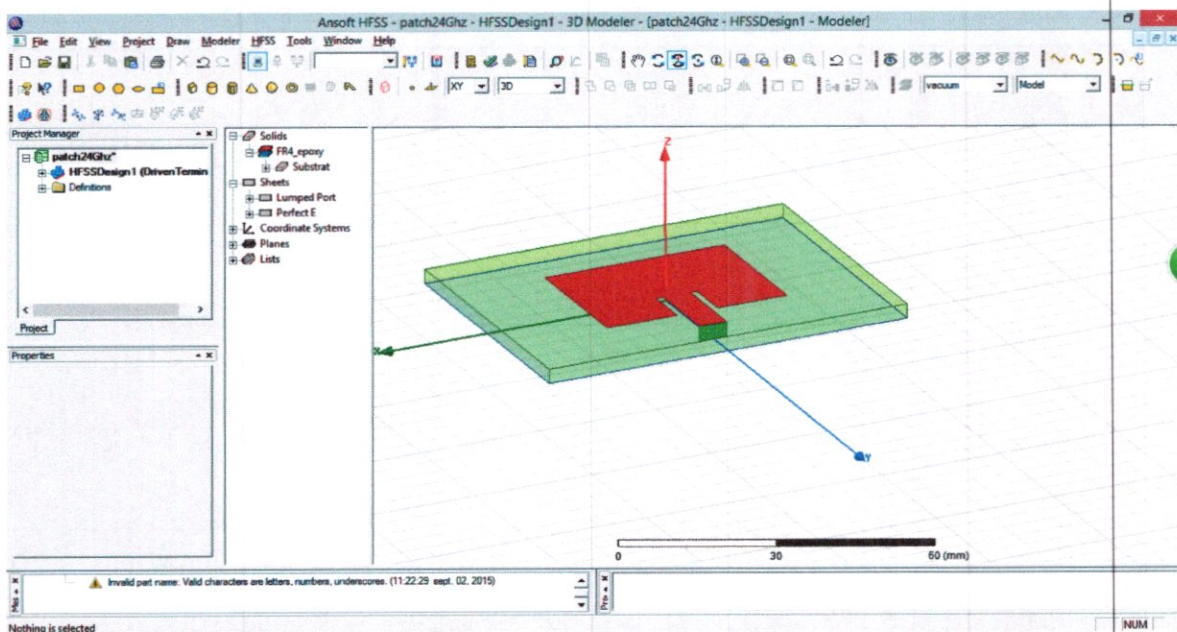


Figure A.22.

A.2.7 : Conception du milieu de rayonnement :

Le milieu de rayonnement est une zone d'air nous donne la possibilité d'analyse et de calcule les grandeurs électriques et magnétiques et connaitre l'émission de l'antenne, les étapes de création cette milieu sont les suivantes :

- Fait les mêmes étapes de conception d'un substrat mais avec une grande épaisseur et une position égale h sur l'axe Z et l'air comme son matérielle (**Figure A.23**).

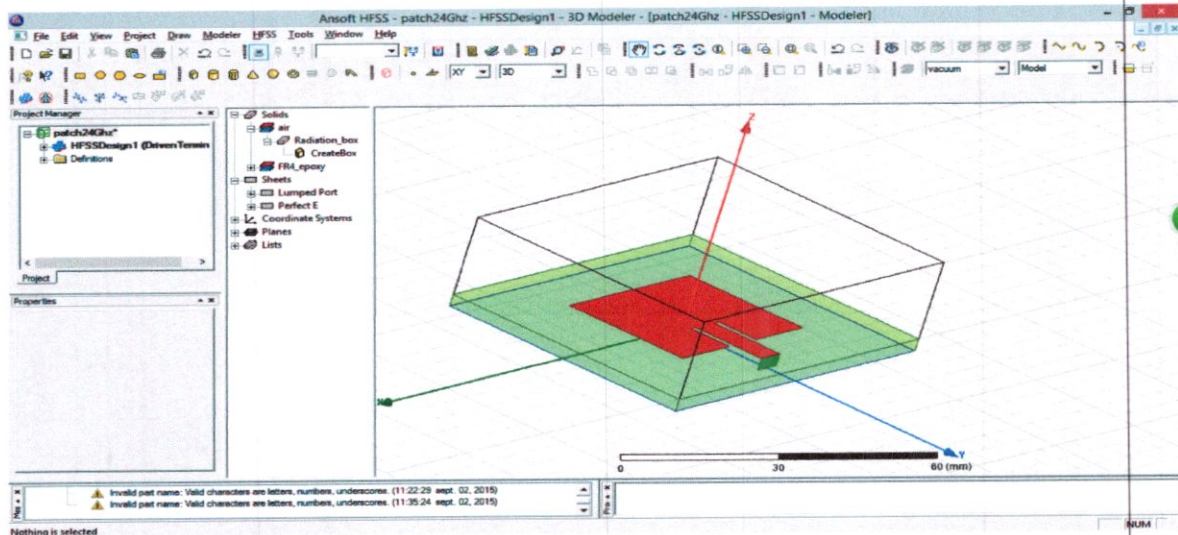


Figure A.23.

- Pour les conditions de frontières de ce milieu il faut choisie sur la (MENU BAR) → **Edit** → **Select** → **By Name** (**Figure A.24**), on choisit à partir la fenêtre qui apparait le milieu de radiation et les faces qui seront sélectionnées (**Figure A.25**).

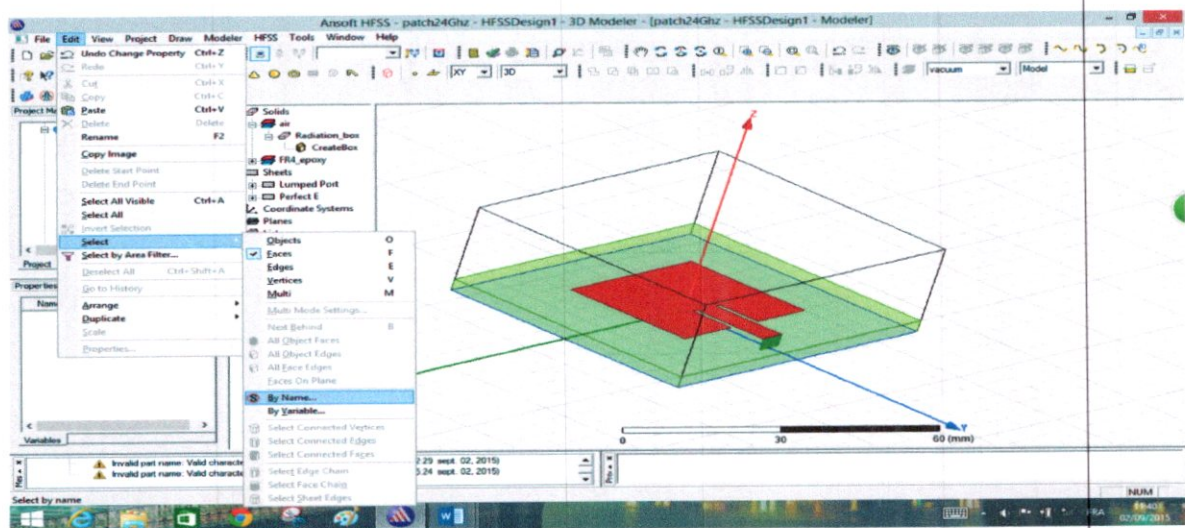


Figure A.24.

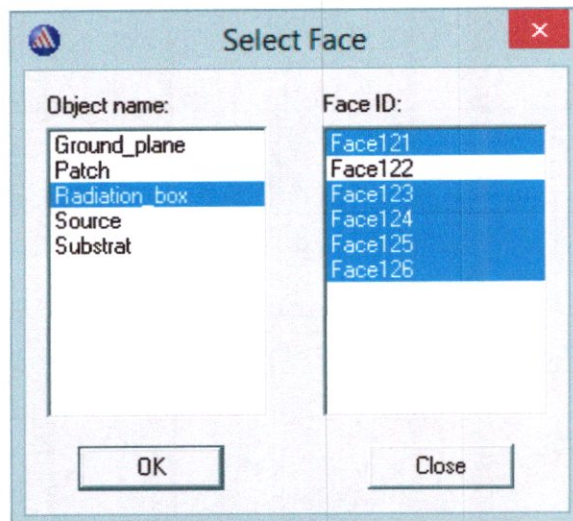


Figure A.25

- A la fin on clique par droite sur les faces sélectionnées et s'apparaître une fenêtre et choisit **Assigne Boundary** → **Radiation** → **Renommer** → ok (les Figure (A.26), (A.27)).

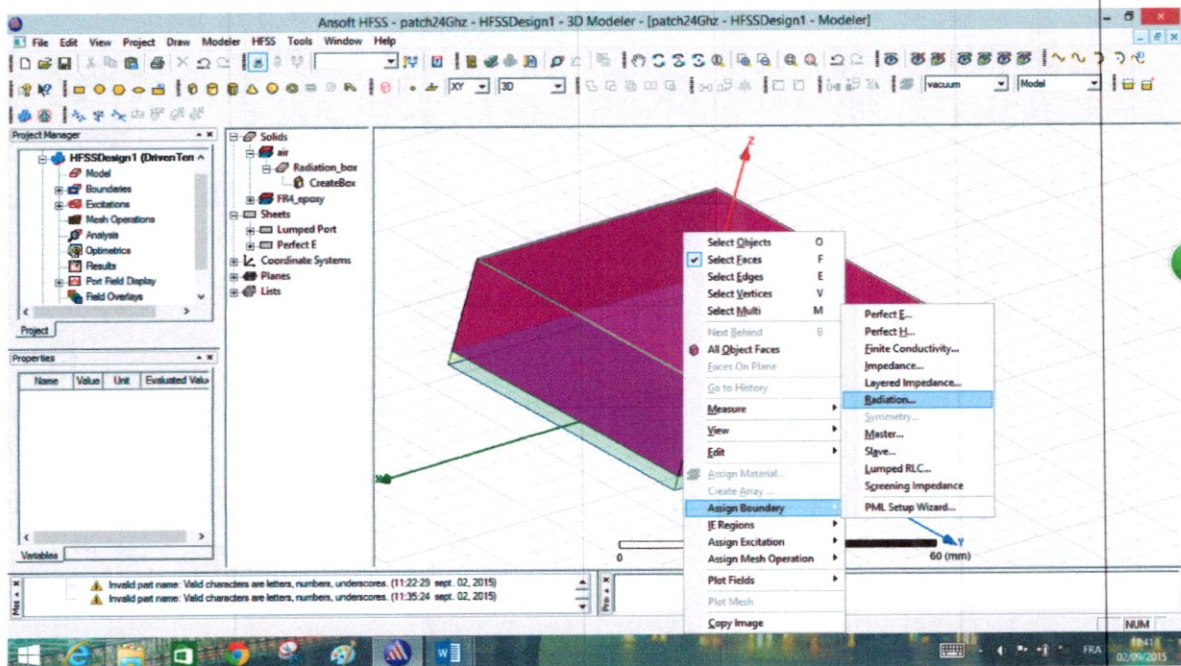


Figure A.26.

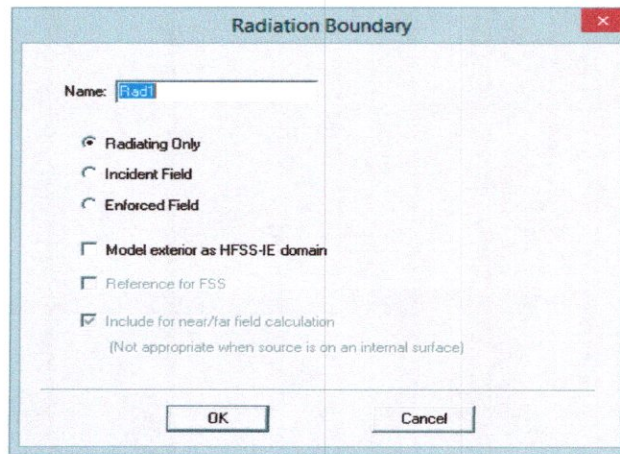


Figure A.27.

Après cette dernière étape la réalisation de l'antenne patch est terminée donc on va commencer la simulation.

A.3. les étapes de simulation d'une antenne patch rectangulaire de $f_0 = 2.4\text{Ghz}$.

Les étapes de simulation de l'antenne patch sont les suivantes :

A.3.1 Création d'une installation d'analyse :

Pour créer une analyse installée comme montre les Figures ((A.28), (A.29)), il faut :

- Choisir **Project Manager Window** → **Analysis** → **Add Solution Setup**, depuis une fenêtre s'apparaitre on peut entrer :
 - La fréquence de travaille $f_0 = 2.4\text{Ghz}$
 - Nombre maximum des passages= 60.
 - Cliquer le bouton **OK**.

ANNEXE -A- La conception d'une antenne patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

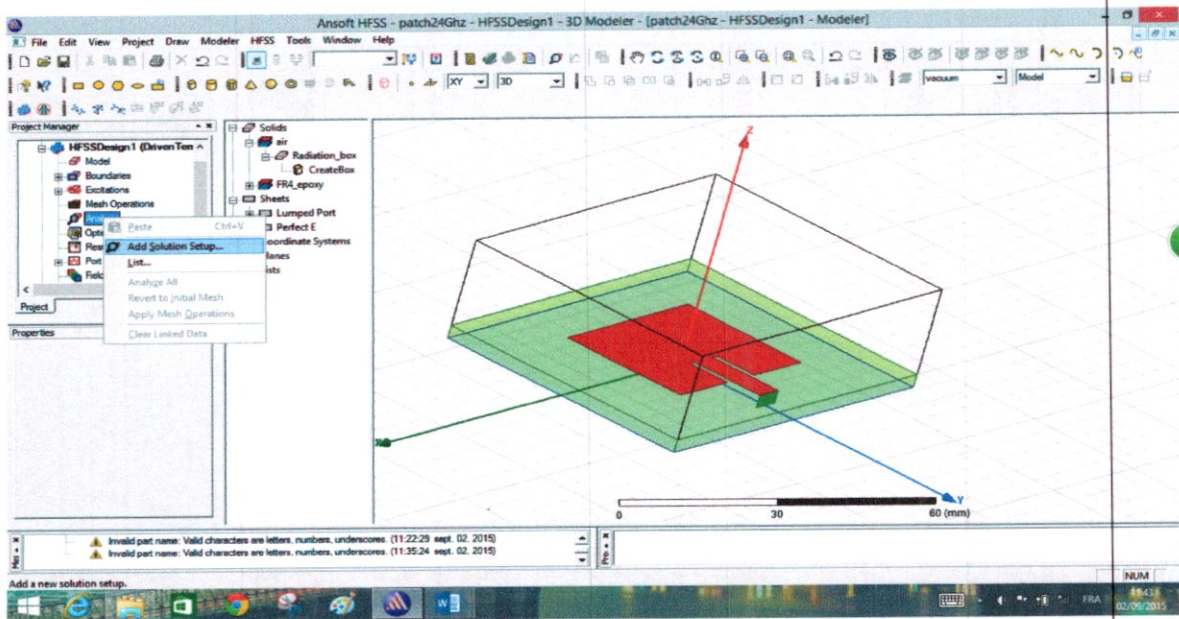


Figure A.28

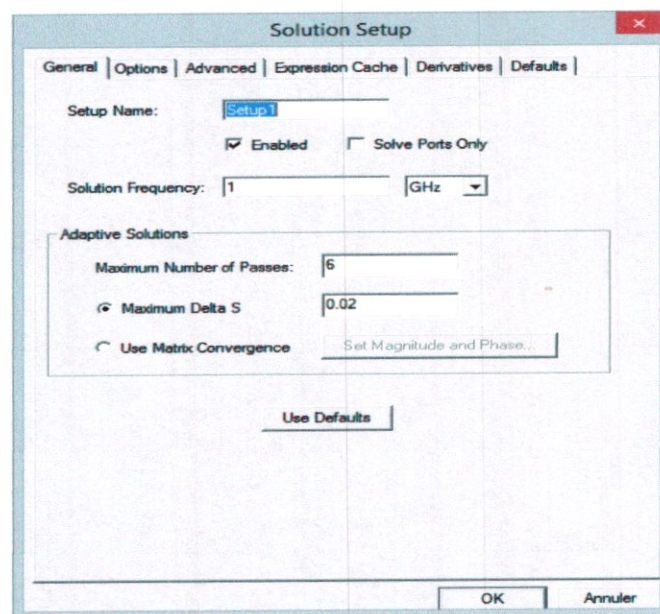


Figure A.29

A.3.2 Ajouter un champ de fréquence :

Pour ajouter un champ de fréquence (balayage de fréquence) comme montre les Figures ((A.30), (A.31)), il faut :

- Choisir **Project Manager Window** → **Analysis** → **Setup 1** → **Add Frequency Sweep**, depuis une fenêtre s'apparaitre on peut choisie :
 - Le type de champ (**Sweep Type**) : rapide (**Fast**).

ANNEXE -A- La conception d'une antenne patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{GHz}$ par HFSS

- Le début et la fin du balayage de fréquence, (**Start : 0GHz**) et (**Stop : 3GHz**).
- Cliquer sur le bouton **OK**

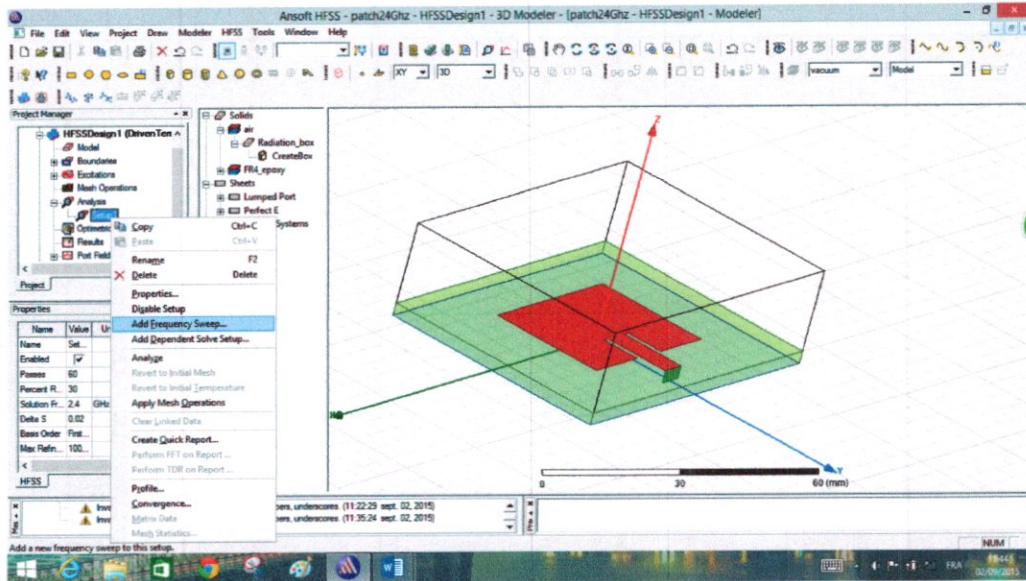


Figure A.30

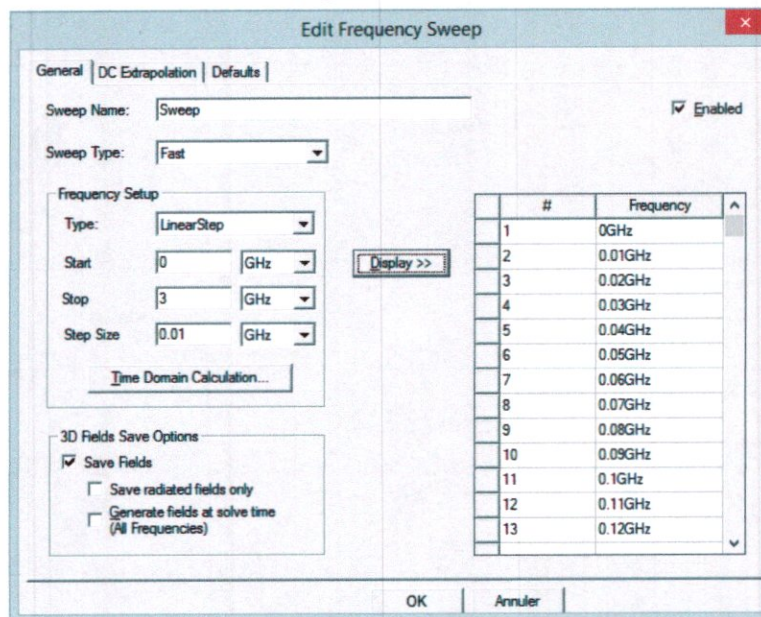


Figure A.31

A.3.3 Exécution de travail :

A la fin pour exécuter le travail il faut passe par les étapes suivantes :

- Enregistrer le travail dans l'ordinateur.
- Valider le travail par l'utilise de symbole check dans la (Toolbars) et une fenêtre sera apparaitra pour confirmer la validation (Figure A.32).

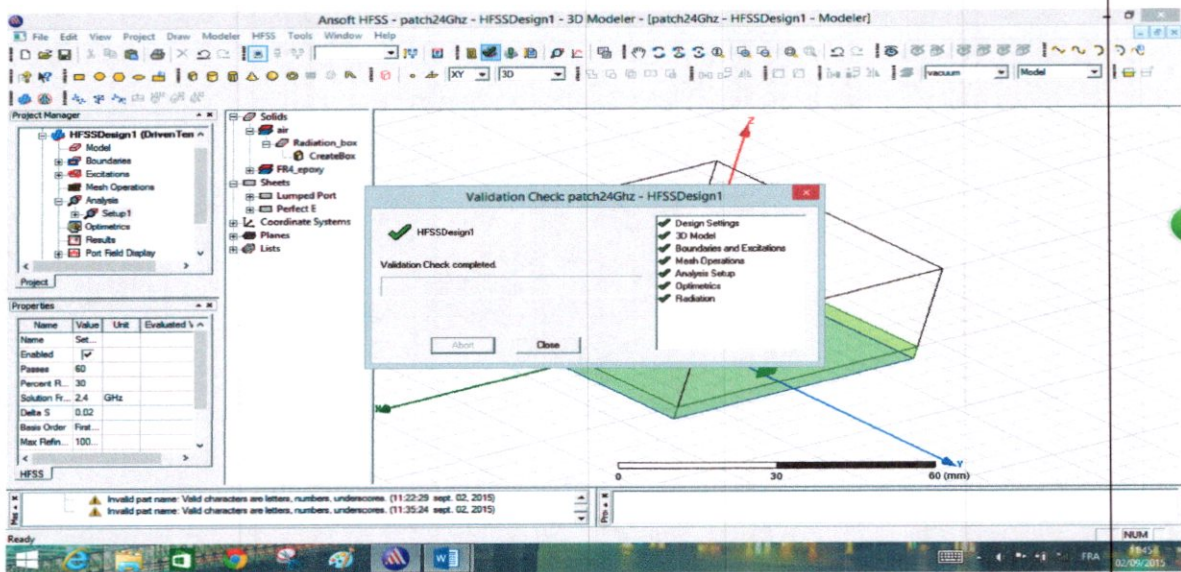


Figure A.32

- Pour exécuter le travail dans la (Toolbar) → Analyse All, et le simulateur va commencer l'exécution (Figure A.33).

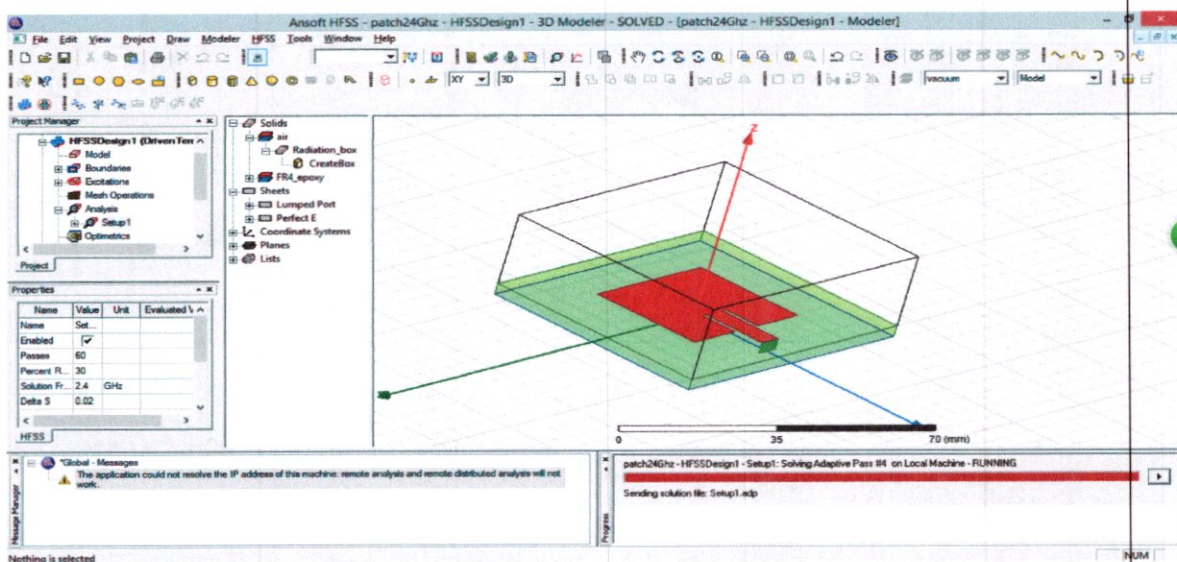


Figure A.33

Quand l'exécution de travail termine une lettre s'affiche dans le (**Message Manager**) dite que l'exécution a été terminée avec succès.

A.4. les étapes d'extrait les résultats :

Pour extrait les résultats de travaille, il faut passer par les étapes suivantes :

- Le coefficient de réflexion S_{11} : **Project Manager Window** → **Results** → **Create Terminal Solution Data** → **Rectangular Plot** → **Category (Terminal S Parameter)** → **Function (dB)**.
- Le TOS : les mêmes étapes juste un changement dans **Category (Terminal VSWR)**.
- Le gain G : **Project Manager Window** → **Results** → **Create Far Fields Report** → **3D Polar Plot** → **Category (Gain)** → **Function (dB)**.
- La Directivité D : les mêmes étapes de gain mais avec un changement dans **Category (Directivity)**.

Pour la réalisation et simulation de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travaille $f_0 = 5\text{Ghz}$, les mêmes étapes sont fait mais avec des petits changements dans la fréquence de travaille et les dimensions de patch.

B.1 les étapes de concevoir un réseau (2*1) d'antennes patch rectangulaire de $f_0 = 2.4\text{Ghz}$.

Pour la réalisation d'un réseau (2*1) d'antennes patch de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{Ghz}$, on prend l'antenne simulé dans le chapitre IV et on fait des modifications par les étapes suivantes :

B.1.1 Conception d'un substrat :

Dans cette étape on ne fait pas de concept un substrat mais on ajoute un distance de $\lambda_0 / 2$ a son largeur et un distance de $\lambda_0 / 4$ a son longueur avec $\lambda_0 = 125\text{mm}$ comme montre la **Figure B.1**.

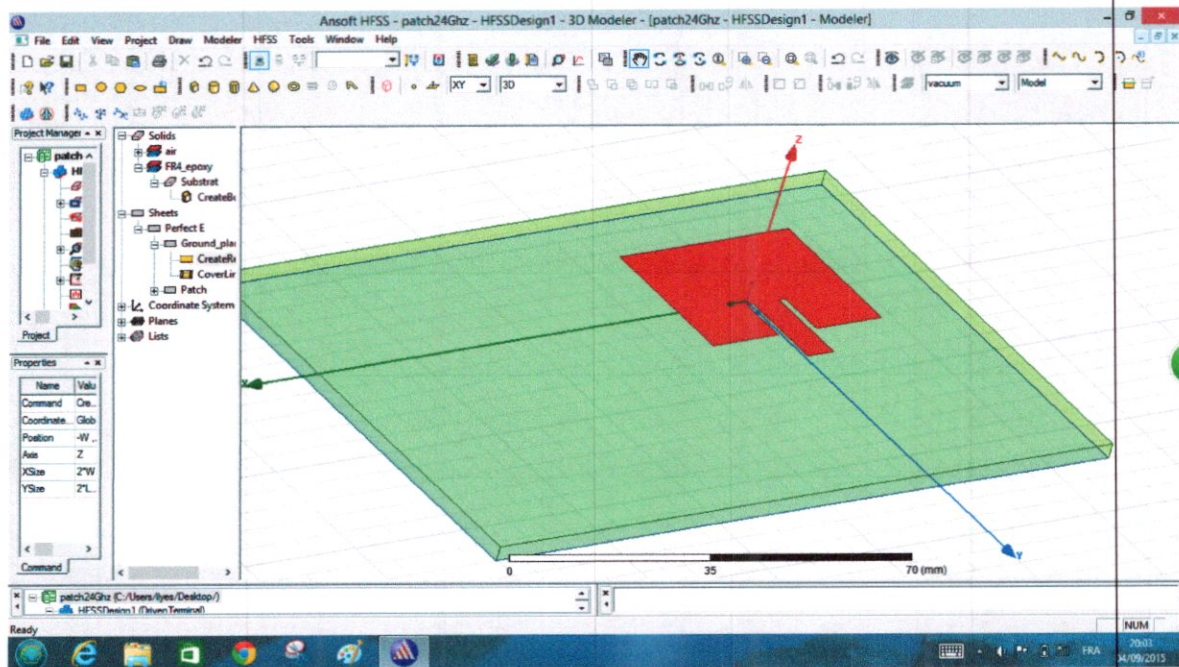


Figure B.1

B.1.2 Conception d'un patch :

Pour faire la conception de patch nous avons suivi les étapes suivantes :

- Cliquez droit sur le patch et une liste apparaît → **Edit** → **Duplicate** → **Along Line**. (**Figure B.2**) cette étape nous donne la possibilité de créer un nouveau patch à partir du premier.

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

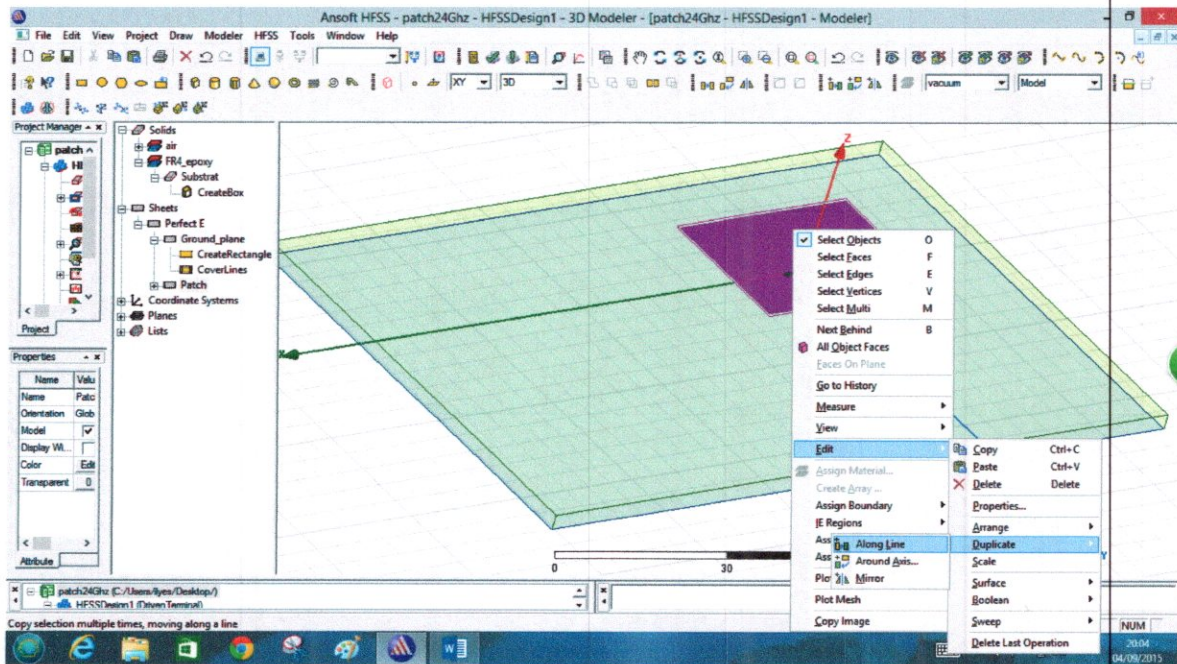


Figure B.2

- Après on clique sur le centre de repère et nous avons atterri vers l'axe X par une distance de $\lambda_0 / 2$ (Figures (B.3), (B.4)).

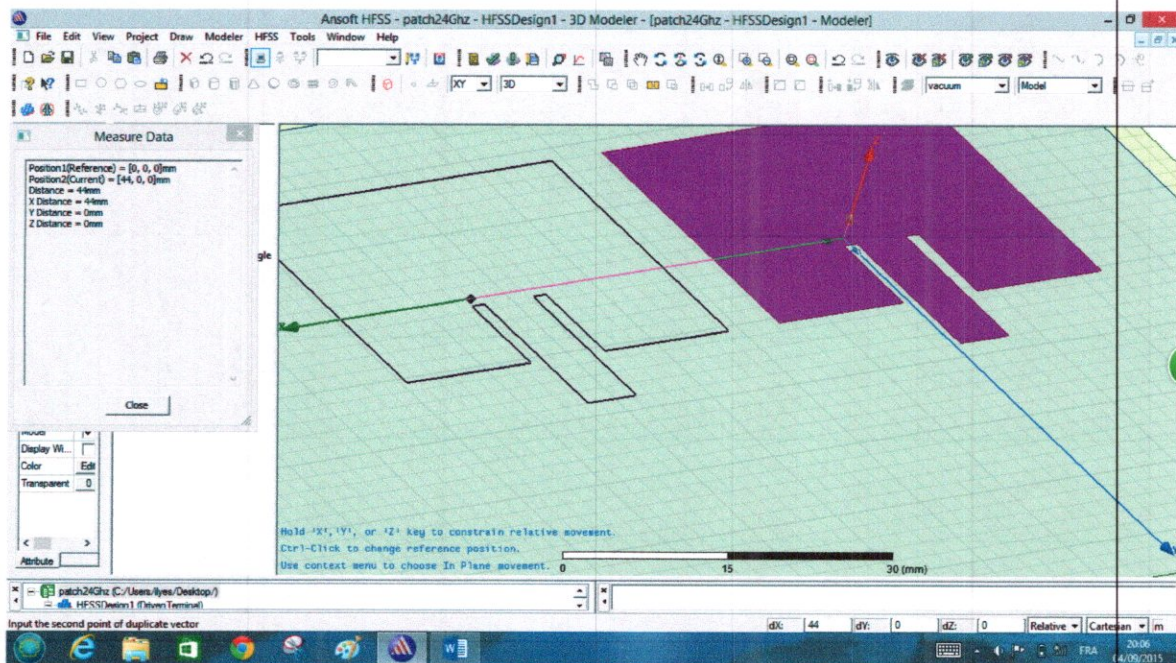


Figure B.3

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

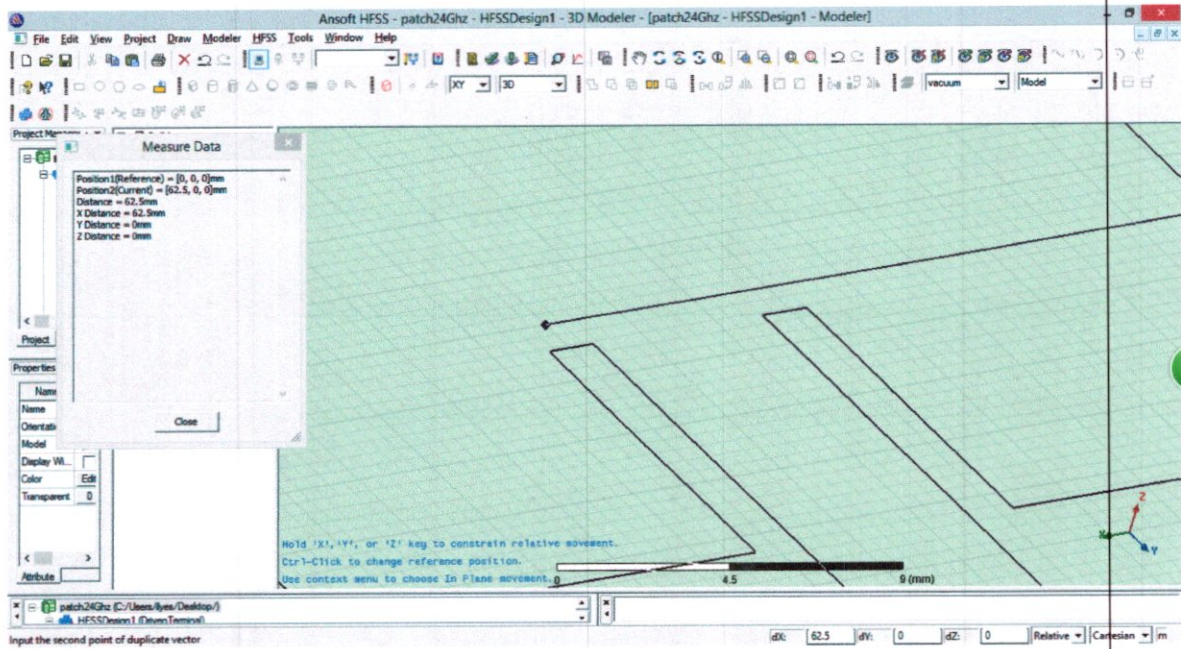


Figure B.4.

- On clique par droite sur le nouveau patch → Assigne Boundary → Perfect E → Ok. (Figure B.5)

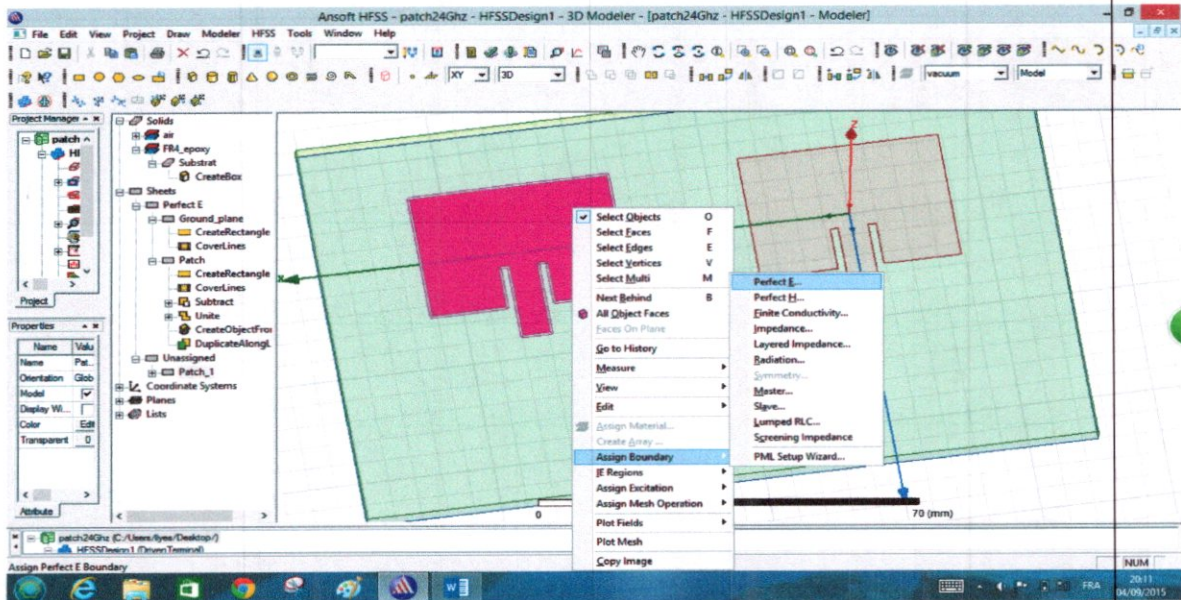


Figure B.5.

B.1.3 Conception de la ligne d'alimentation de $Z_c = 50\Omega$

La conception de la ligne d'alimentation de 50Ω est une étape très facile puisque on utilise les mêmes étapes de conception la ligne microruban (Annexe A) mais une petite différence dans la position car la position de cette ligne sur l'axe X est égale à $\lambda_0/4$ (Figure B.6)

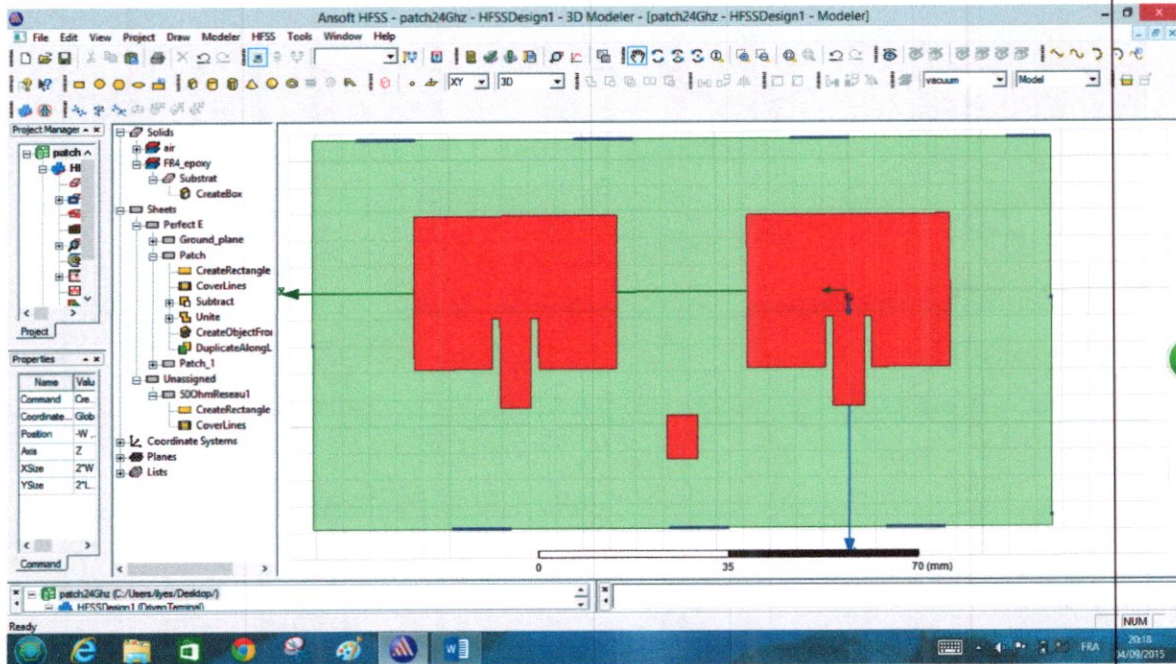


Figure B.6.

B.1.4 Conception de les lignes de diviseur de puissance T de $Z_c = 70.71\Omega$

Les étapes de conception de les lignes de diviseur de puissance T sont les mêmes étapes avec les étapes précédentes juste pour la largeur $W_f = 3.27\text{mm}$ et la longueur $\lambda_{eff}/4$.(Figure B.7)

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{GHz}$ par HFSS

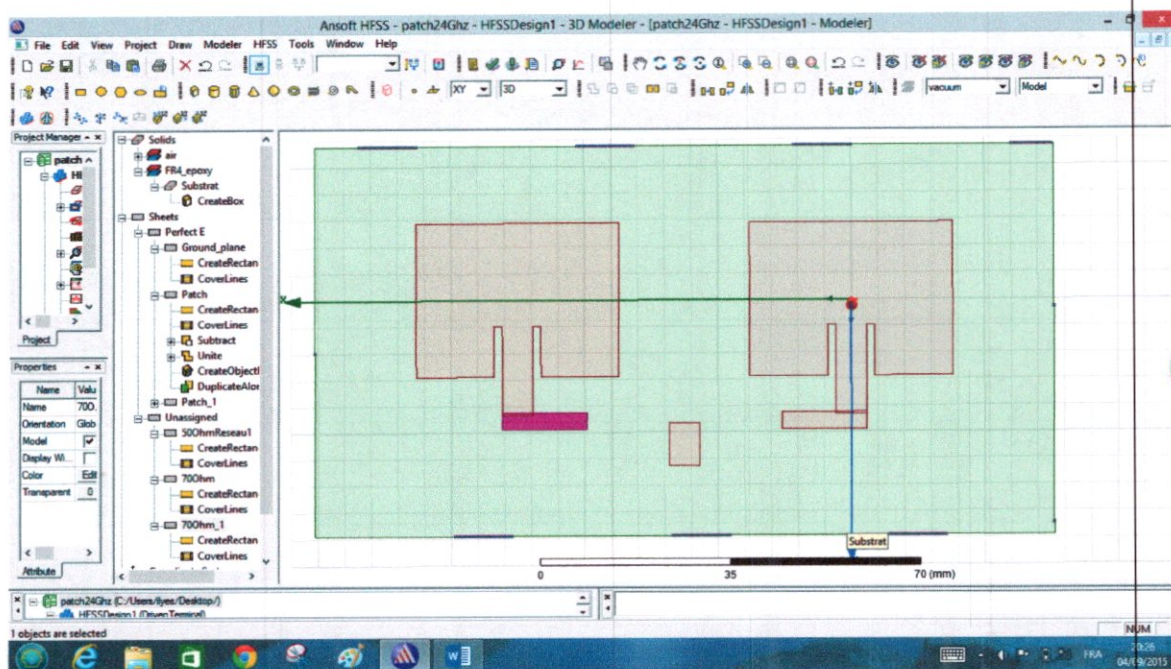


Figure B.7

B.1.5 Conception de la ligne de $Z_c = 100 \Omega$

- On fait les mêmes étapes de conception d'une ligne d'alimentation microruban mais nous avons changé les dimensions et la position de la ligne pour raccorder les lignes de 70.71Ω et 50Ω (Figure B.8).

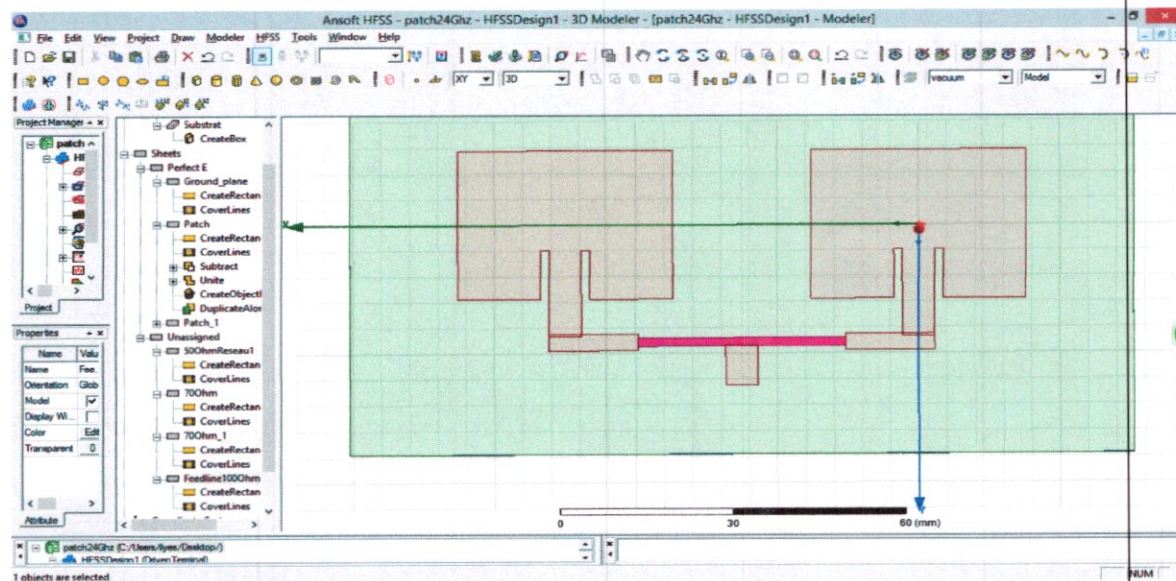


Figure B.8

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

- ❖ Après la conception de la ligne de $100\ \Omega$, on sélectionne les trois lignes et fait une clique par droite \longrightarrow Assigne Boundary \longrightarrow Perfect E \longrightarrow Ok (Figure B.9).

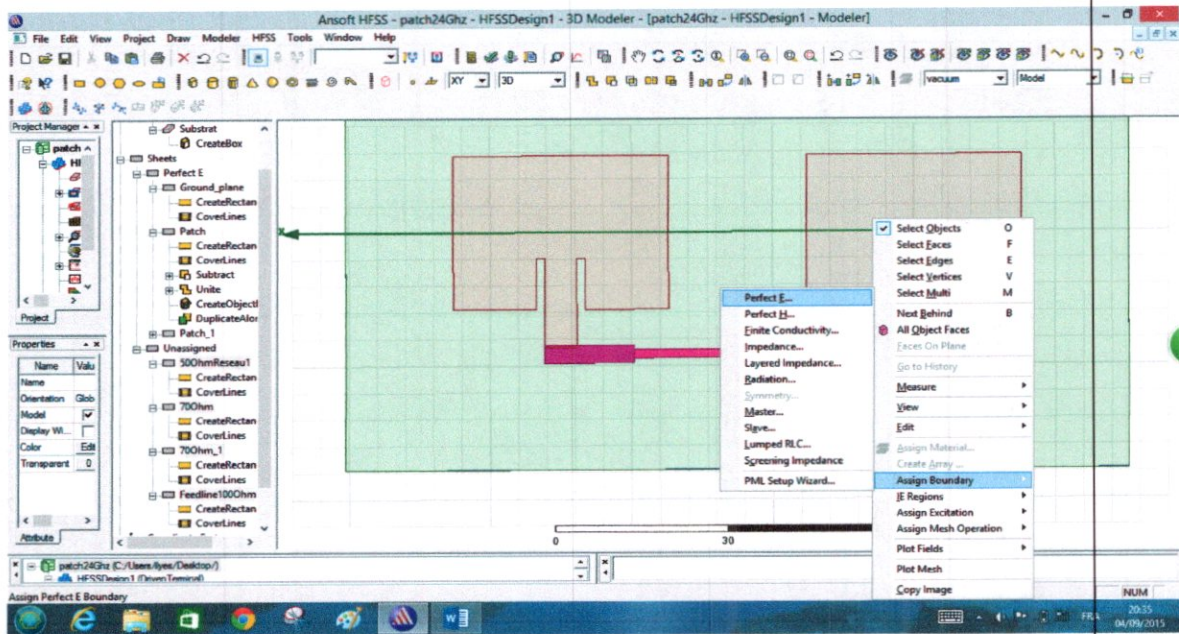


Figure B.9

- ❖ Cette fois on sélectionnée les lignes avec les deux patches et on clique sur (Unit) dans la barre d'outils pour les combinées. (Figure B.10).

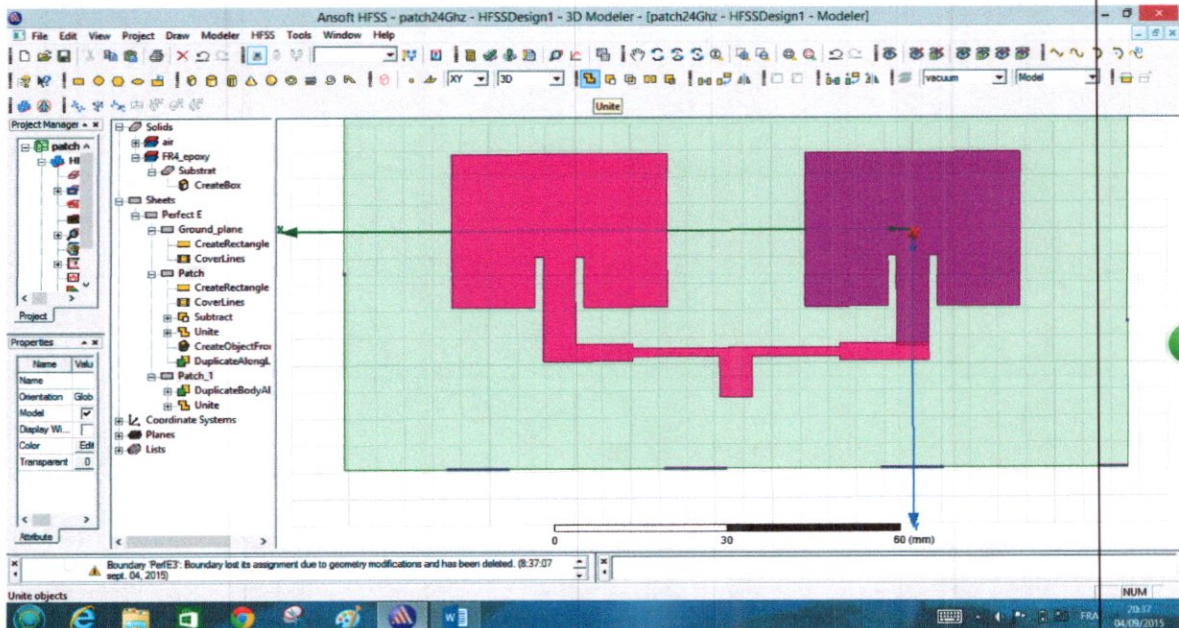


Figure B.10

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

B.1.6 La modification de coins du diviseur de tension T

Après la conception de la porte d'excitation comme il fait dans le (Annexe A) et représenté dans la Figure B.11.

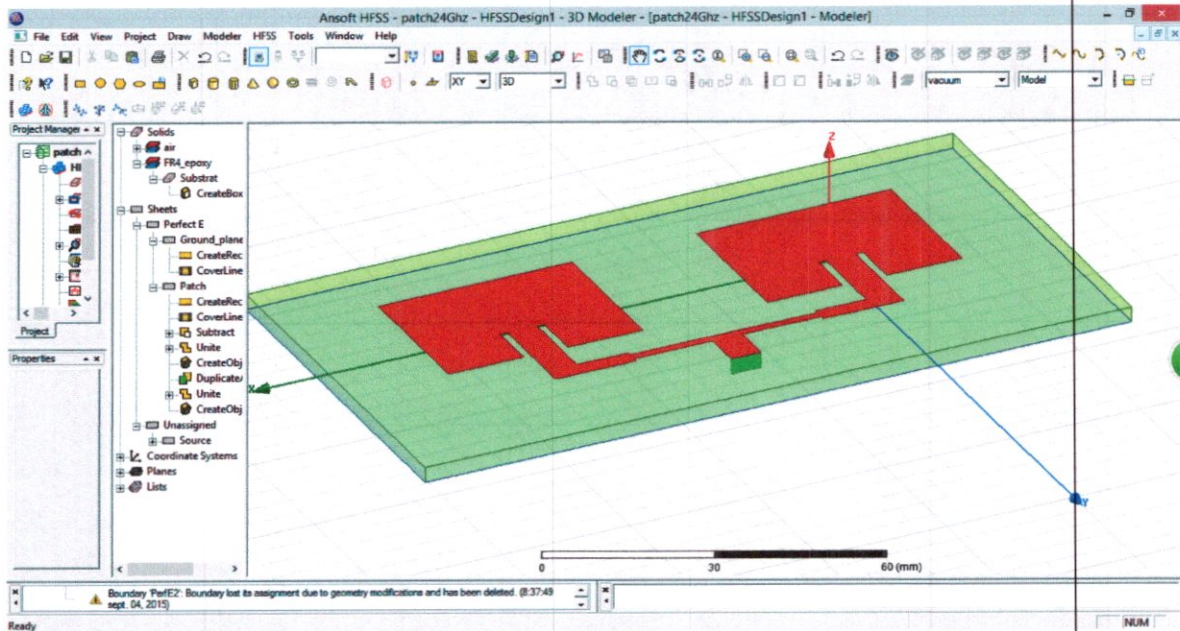


Figure B.11.

On exécute le travail et extrait les résultats mais on trouve qu'il y a des pertes dans les coins de diviseur de puissance T donc on a modifié ces coins par les étapes suivantes :

- Création d'un triangle à partir des trois lignes trouvent dans la (Toolbars) et on le donne une position sur le centre de repère (Figure B.12).

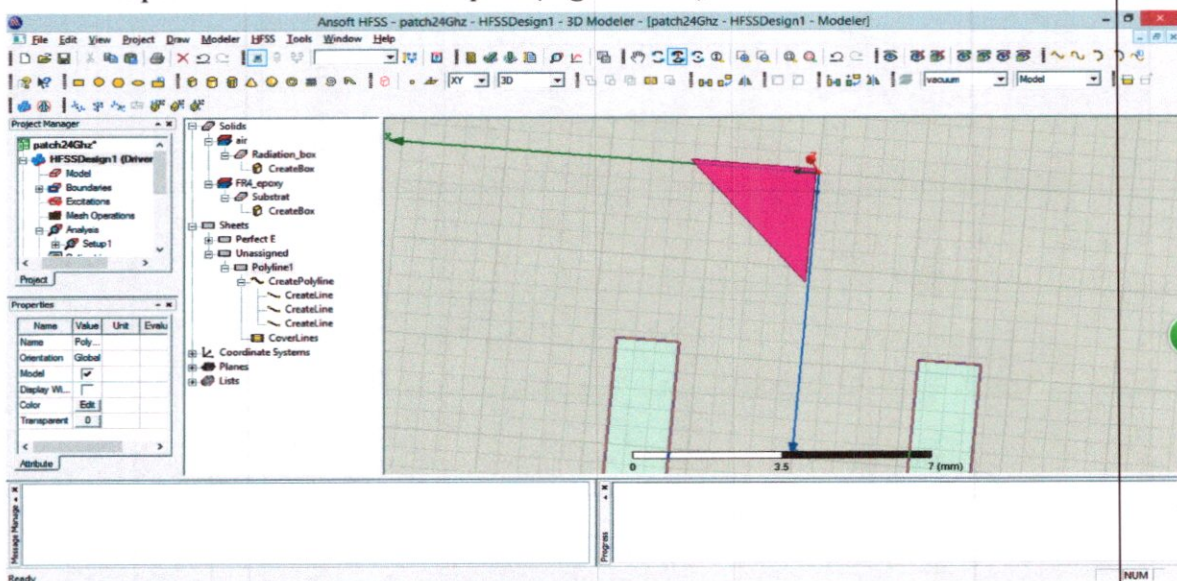


Figure B.12.

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

- Pour le tourne sur un angle on clique droite sur le triangle → **Edit** → **Arrange** → **Rotate** → entrée l'angle choisie → **Ok** (Figure B.13).

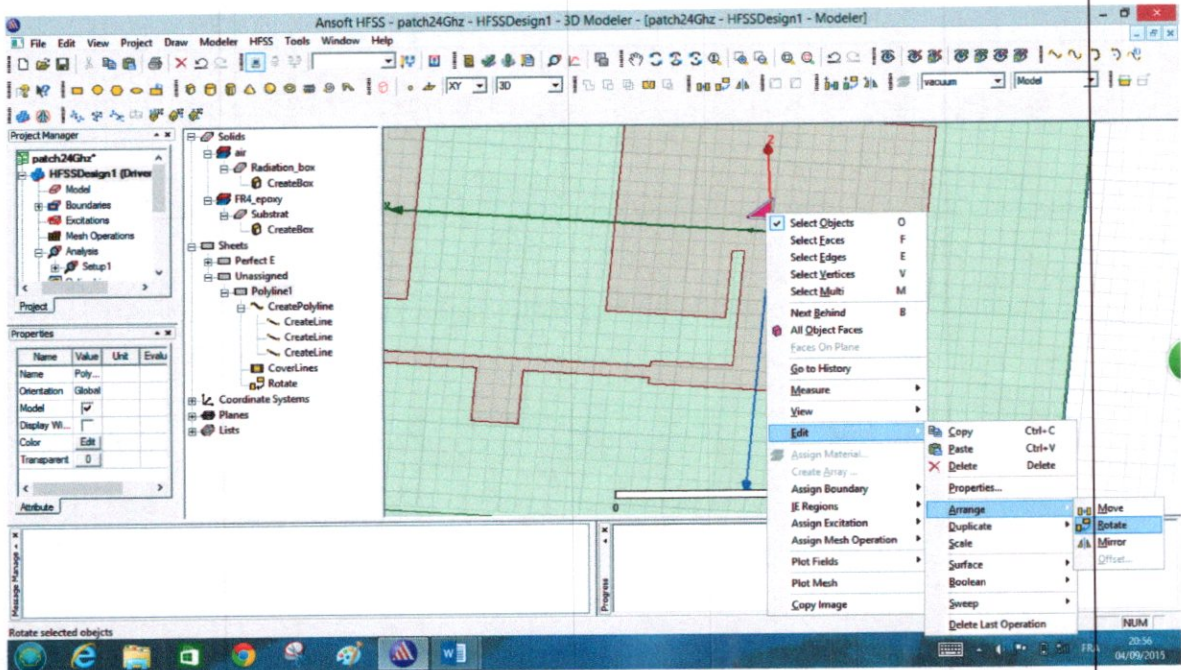


Figure B.13

- On fait les mêmes étapes pour le déplacement de triangle juste on change à la place de l'étape(Rotate) l'étape (Move).

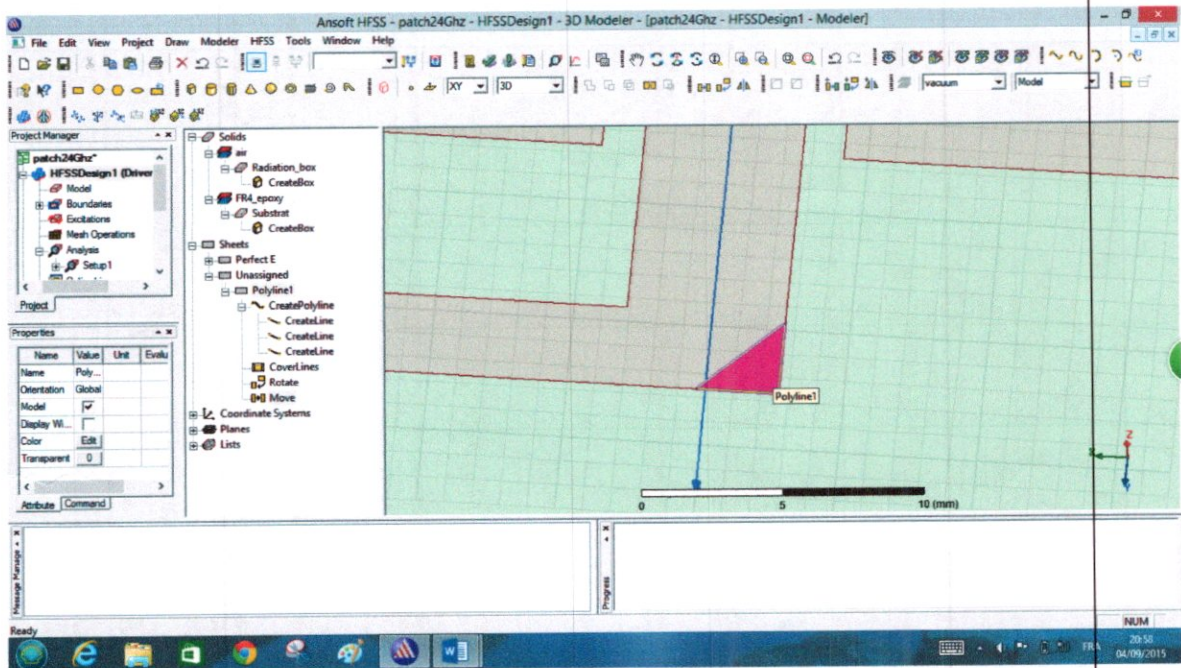


Figure B.14

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

- On sélectionnée le réseau d'antennes avec le triangle → **Toolbar** → **Subtract** → une fenêtre apparait → **Ok** (Figures (B.15), (B.16)).

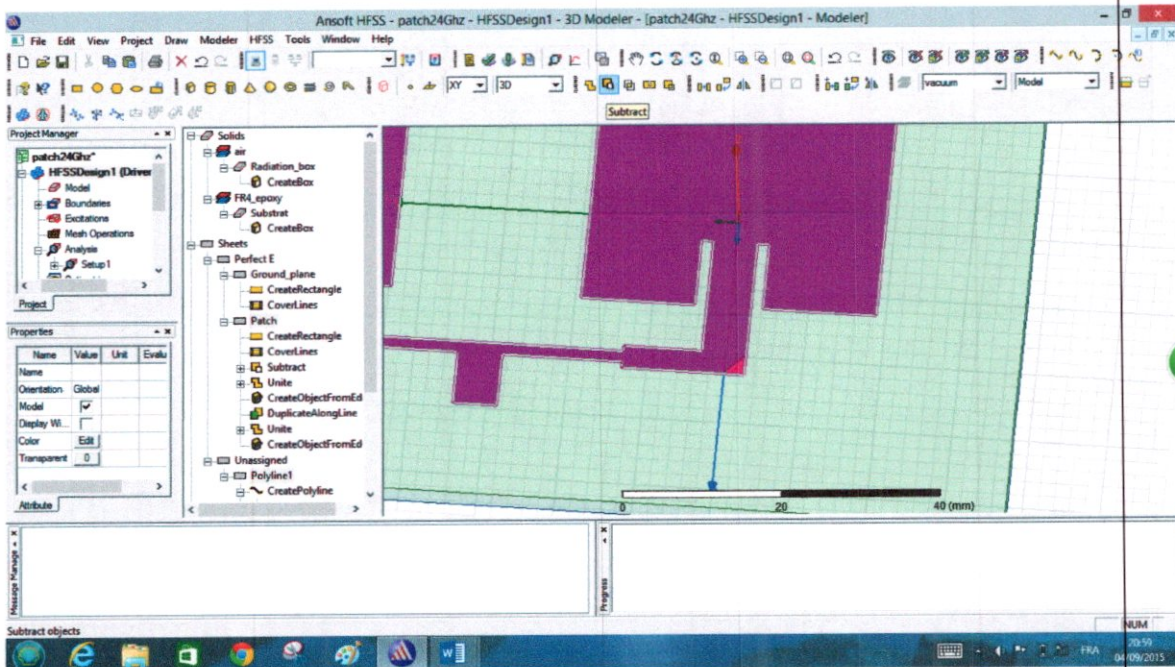


Figure B.15

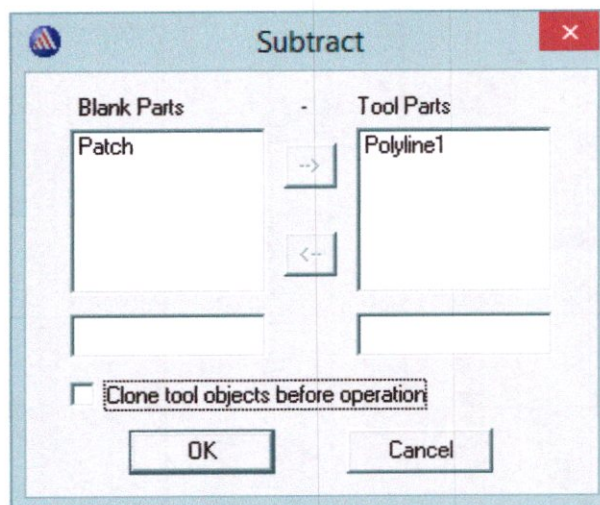


Figure B.16

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

- Les mêmes étapes de modification sont faites sur les autres coins pour retrouver à la fin (Figure B.17).

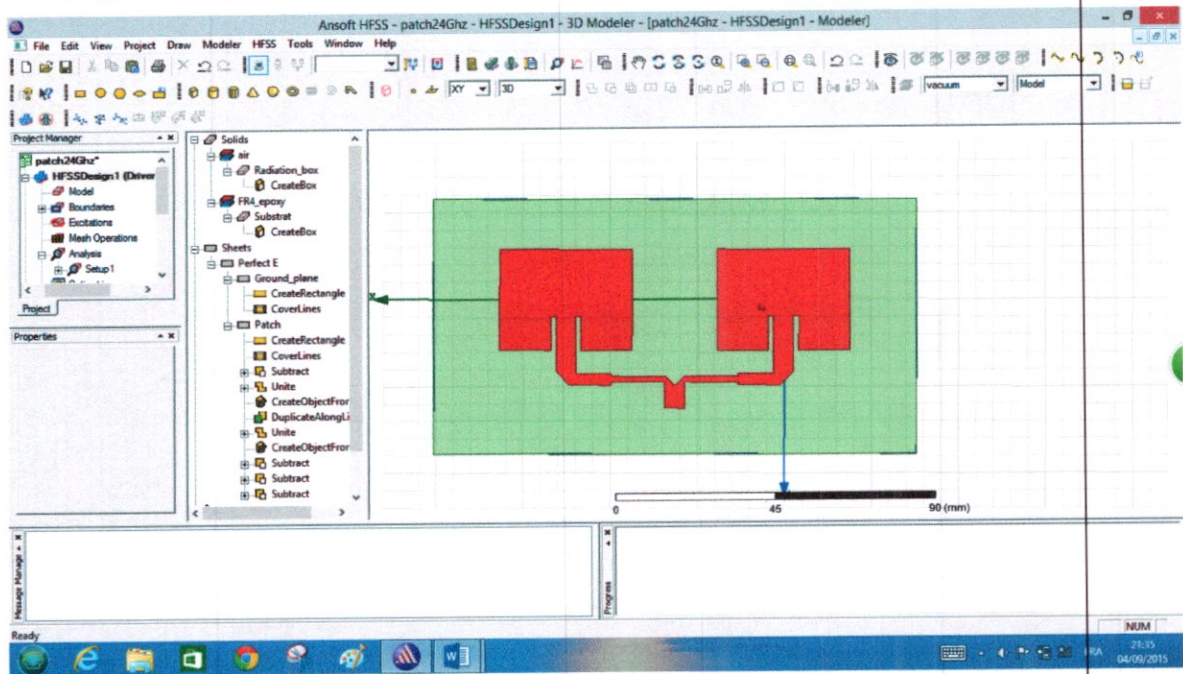


Figure B.17.

Après cette étape nous avons fait les mêmes étapes de la conception de la porte d'excitation et le milieu de rayonnement que celle de (Annexe A) et on trouve dans la fin le réseau (2*1) d'antennes comme montre la Figure B.18

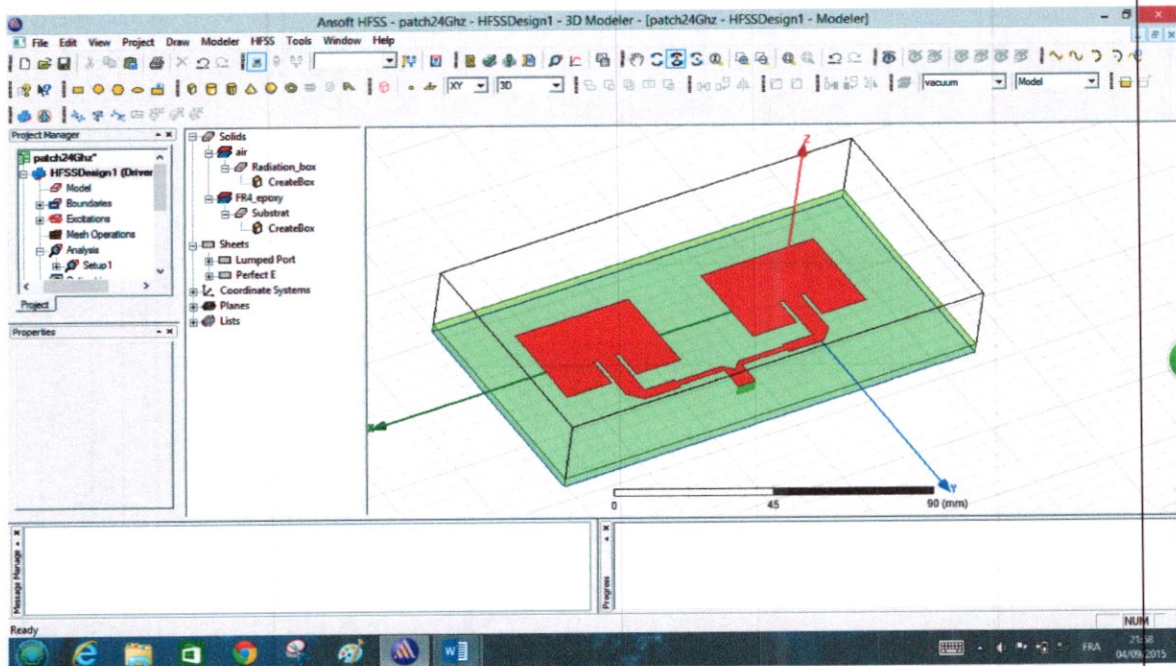


Figure B.18.B.2 les étapes de simulation d'un réseau (2*1) d'antenne patch rectangulaire de $f_0= 2.4\text{Ghz}$.

B.2.1 Exécution de travail :

A la fin pour exécuter le travail il faut passer par les étapes suivantes :

- Enregistrer le travail dans l'ordinateur.
- Valider le travail par l'utilise de symbole check dans la (**Toolbars**) et une fenêtre sera apparaitra pour confirmer la validation.
- Pour exécuter le travail dans la (**Toolbars**) → **Analyse All**, et le simulateur va commencer l'exécution (**Figure B.19**).

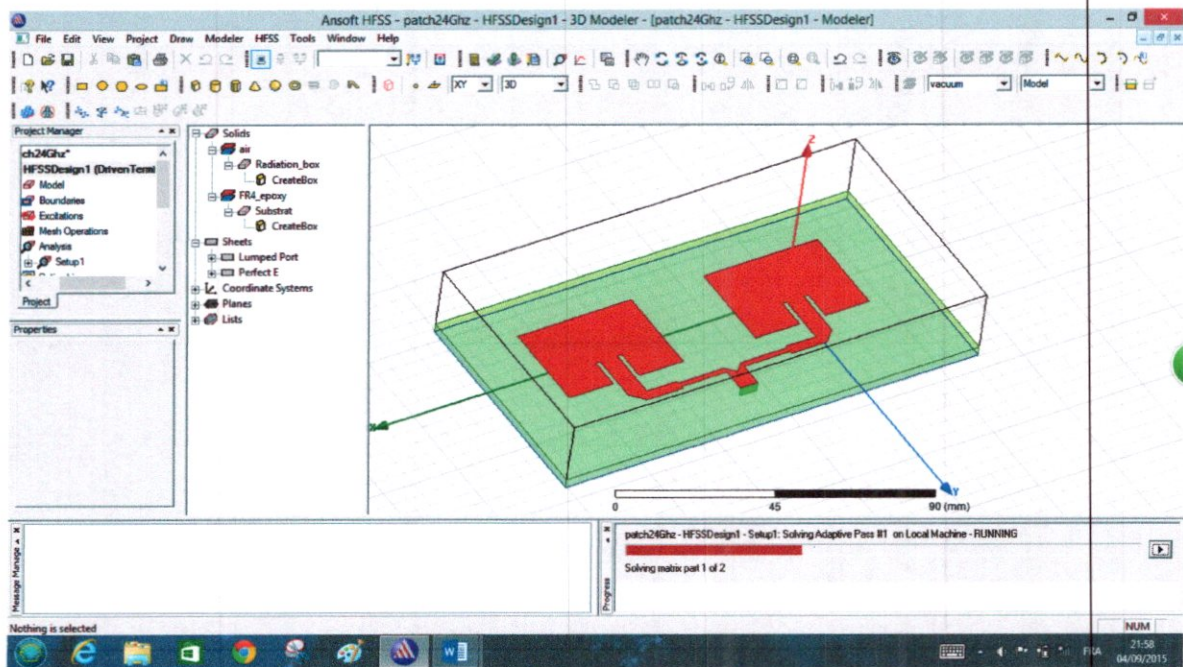


Figure B.19

Quand l'exécution de travail termine une lettre s'affiche dans le (**Message Manager**) dite que l'exécution a été terminée avec succès.

B.3 les étapes d'extrait les résultats :

Pour extrait les résultats de travaille, il faut passer par les étapes suivantes :

ANNEXE -B- La conception d'un réseau d'antennes patch rectangulaire de $f_0=2.4\text{Ghz}$ par HFSS

- Le coefficient de réflexion S_{11} : **Project Manager Window** → **Results** → **Create Terminal Solution Data** → **Rectangular Plot** → **Category (Terminal S Parameter)** → **Function (dB)**.
- Le TOS : les mêmes étapes juste un changement dans **Category (Terminal VSWR)**.
- Le gain : **Project Manager Window** → **Results** → **Create Far Fields Report** → **3D Polar Plot** → **Category (Gain)** → **Function (dB)**.
- La Directivité D : les mêmes étapes de gain mais avec un changement dans **Category (Directivity)**.

Pour la réalisation et simulation de réseau (4*1) d'antennes patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{Ghz}$, les mêmes étapes sont fait.

FR4

STRATIFIE AUTO-EXTINGUIBLE, TISSU DE VERRE EPOXY, CLASSE H (180° C), SANS HALOGENE

Conforme aux normes :

CEI 893	:	EP GC 202
DIN 7735	:	Hgw 2372.1
NEMA LI 1	:	FR4
BS 3953	:	EP-4

COMPOSITION

Le FR4 est un tissu de verre epoxy avec une limite de température de 180°C.
Très bonnes caractéristiques mécaniques et électriques.

TOXICITE

Le FR4-ne contient aucun :

- ⇒ halogène
- ⇒ oxyde d'antimoine
- ⇒ oxyde d'azote
- ⇒ soufre
- ⇒ phosphore

CORROSIVITE DES GAZ DE COMBUSTION

Conformément à la norme VDE 0472/partie 813, la combustion de le FR4 ne dégage pas de produits corrosifs.

PRESENTATION

Couleur : Vert
Épaisseurs : 0.2 - 80 mm
Tolérances sur ép. : selon CEI 893
Format standard : 1300 x 1060 mm

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

PROPRIÉTÉS	NORME	UNITÉ	VALEUR
Densité	ISO 1183 / A	g/cm ³	1,8 - 1,9
Résistance à la flexion à 23° C	ISO 178	MPa	350
Résistance à la compression ⊥ aux couches (23°C)	ISO 604	MPa	500
Module d'élasticité en flexion (23° C)	ISO 178	MPa	-22000
Résistance à l'impact parallèle aux couches (Charpy)	ISO 179 / 3 C	kJ/m ²	33
Résistance d'isolement après immersion dans l'eau	CEI 167	Ohm	10 ¹¹
Résistance diélectrique à 90°C dans l'huile ⊥ aux couches (ép. 3 mm)	CEI 893/CEI 243	kV/mm	13
Tension de claquage à 90° C dans l'huile parallèle aux couches	CEI 893/CEI 243	kV	40
Résistance au courant de cheminement	CEI 112	-	200
Combustibilité au test vertical, selon la norme UL			
ép. ≥ 2 mm	UL 94	-	V0
ép. 0.5 - 1,9 mm		-	V1
Indice d'oxygène (LOI)	ASTM-D 2863/91	-	> 88
Opacité des fumées :échantillon ép. 1.5 mm Dsa 90"	ASTM-E 662	-	1
Opacité des fumées :échantillon ép. 1.5 mm Dsa 4 "	ASTM-E 662	-	3

Les normes IEEE 802.11n

IEEE 802.11n est un amendement au groupe de normes IEEE 802.11 (Wi-Fi) permettant une transmission de données par liaison sans fil.

Présentation

La norme IEEE 802.11n, ratifiée en septembre 2009¹, permet d'atteindre un débit théorique allant jusqu'à 450 Mbits/s (en MIMO 3x3 : 3 antennes) sur chacune des bandes de fréquences utilisables (2,4 GHz et 5 GHz). Elle améliore les standards précédents : IEEE 802.11a pour la bande de fréquences des 5 GHz, IEEE 802.11b et IEEE 802.11g pour la bande de fréquences des 2,4 GHz.

Cette norme supportant 2 bandes de fréquences différentes, il existe des équipements simple-bande à 2,4 GHz (les plus anciens), des adaptateurs double-bande (2,4 GHz ou 5 GHz) ou double-radio : 2,4 GHz et 5 GHz simultanément.

Améliorations par rapport aux normes IEEE 802.11a/b/g

La norme apporte des améliorations par rapport aux normes IEEE 802.11a/b/g grâce aux technologies suivantes :

- Le MIMO qui permet d'utiliser, simultanément, plusieurs émissions spatiales et plusieurs antennes pour les récepteurs et émetteurs.
- Le regroupement de 2 canaux radio permet de doubler la bande passante crête.

Comparaison avec les autres normes IEEE 802.11

Réseaux locaux 802.11, standards physiques								
Protocole 802.11	date	Fréquence	largeur de bande	Débit binaire par flux	Nombre maximum de flux MIMO	Modulation	Portée	
							Intérieur	Extérieur
							(m)	(m)
802.11-1997 (d'origine)	Juin 1997	2,4	79 ou 22	1, 2 Mbit/s	NC	FHSS, DSSS	20 m	100 m

ANNEXE -D- Les normes IEEE 802.11n

802.11a	Sept 1999	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s	NC	OFDM	35 m	120 m
		3,7					—	5000 m
802.11b	Sept 1999	2,4	22	1, 2, 5,5, 11 Mbit/s	1	DSSS	35 m	140 m
802.11g	Juin 2003	2,4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s	1	DSSS, OFDM	38 m	140 m
802.11n	Oct 2009	2,4 / 5	20	7,2 à 72,2 Mbit/s (6,5 à 65)	4	OFDM	70 m (2,4 GHz) 35 m (5 GHz)	250 m
			40	15 à 150 Mbit/s (13,5 à 135)				250 m
802.11ac	Déc 2013	5	20	7,2 à 96 Mbit/s (6,5 à 86,7)	8	OFDM	35 m	
			40	15 à 200 Mbit/s (13,5 à 80)			35 m	
			80	32,5 à 433 Mbit/s (29,2 à 390)			35 m	

Abstract

In this study, we take a type of antennas that the most widely used of any rectangular Microstrip patch antenna in the wireless communication at the norm IEEE.802.11nb field fed by transmission line Microstrip with a deferent frequency each time 2.4/5 GHz by highly developed simulation software that HFSS based on finite element. In the first part, we studied its performance: The gain, directivity, the resonant frequency, the return Loss, TOS...etc.

In the second part, we have created a linear antenna array parallel to each shape (2*1) (4*1) to increase their performance since the Microstrip antennas were very efficient when networking.

Key words: Patch Antenna, HFSS.

Résumé

Dans cet étude nous avons prenez un type des antennes qui le plus utilisée laquelle l'antenne patch microruban rectangulaire dans le domaine de communication sans fil dans le norme IEEE802.11n alimenté par ligne de transmission microruban par une fréquence déférent 2.4 et 5 GHz par logiciel de simulation très développé HFSS qui basé sur les éléments de finies. Dans la première partie nous avons étudié sa performance de : Le Gain, La directivité, la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion, Le TOS....

Dans la deuxième partie nous avons créé d'un réseau d'antenne linéaire parallèle entre eux de forme (2.* 1) (4* 1) pour augmenter leur performance puisque les antennes microruban ont été très performants lorsque en réseau.

Mots clé : Antenne patch, HFSS.

ملخص

في هذه الدراسة اخذنا أحد أنواع الهوائيات الأكثر استعمالا في مجال الاتصالات اللاسلكية وهو الهوائي اللاصق مستطيل الشكل المغذى بواسطة شريط خطي بتردد مختلف 2.4 و 5 جيجا هيرتز وقمنا بدراسة الاداء الخاص به بواسطة برمجة المحاكاة المتطورة جدا HFSS التي تعتمد على العناصر المحدودة.

في الجزء الأول قمنا بتحديد: الكسب، الاتجاهية، معامل الانعكاس تردد التجاوب، نسبة الموجة دائمة.....

في الجزء الثاني قمنا بخلق شبكة خطية للهوائيات بالتوازي فيما بينها على الشكل (1*2)، (1*4) من اجل تحسين الاداء وزيادة الكسب الذي يكون أكبر في الشبكة مقارنة لهوائي وحيد

كلمات مفتاحية: هوائي لاصق، HFSS