



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH  
جامعة الشهيد الشيوخ العربي التبسي - تبسة  
Echahid Cheikh Larbi Tebessi University-Tebessa



علمة العلوم و التكنولوجيا

## Département de Génie Electrique

### MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

**En : Télécommunications**

**Spécialité : Réseaux et Télécommunication**

**Par :**

**ABDELMALEK Zohra**

**KHEMICI Dalal**

**Sujet :**

**Effet de l'insertion des patches parasites dans  
les antennes planaires**

Présenté et soutenu publiquement, le 06 /05 /2023,

Devant le jury composé de :

- |                       |           |                  |
|-----------------------|-----------|------------------|
| - Mr. Gatal Azzeddine | Grade MCB | <b>Président</b> |
| - Mr. Ferroudji Karim | Grade MCB | <b>Encadreur</b> |
| - Mme. Cheriet Leyla  | Grade MCB | <b>Examineur</b> |

Promotion : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَاءَ  
فَتَنْبُتُ بِشَيْءٍ مِنْهُ  
حَبَابٌ كَثِيرٌ وَالَّذِي  
يُخْرِجُ الْحَبَّ وَالنَّوَى  
وَالَّذِي يُصَوِّرُ الْإِنْسَانَ  
فَسَوْفَ يَرْجِعُهُمْ إِلَىٰ رَبِّهِمْ  
فَعَلِمَ أَنَّ مَا لَهُمْ  
لَا شَيْءَ يَشْكُرُونَ

## *Dédicace*

# *A*

**Mes chères parents:** ATHMAN, TOUNES, que dieu les accueille dans son vaste paradis ;

**Ma chère mère:** HANIA ;

**Mes frères:** ALI, NADJI, SAID, MOHAMMED, SALAH, HICHAM;

**Mes très chères sœurs:** AMEL, AICHA, CHAIMA, HIZIA;

**Les femmes de mes frères :** DALILA, ZINA, AWTEF, SALWA, KHAIRA ;

**Mes neveux:** YASSER, IHAB, ZIAD, IYAD, TAHA, DJWAD, TAKI, GASSAN, ANES;

**Mes nièces:** RABIAA, ALA, GHOUFRA, WIJDAN, JANA, ASIL, TASNIM,

CHOROUK, HIBA, ISRA, TOUKA;

**Celui qui a participé avec moi à ce mémoire:** DALAL,

*Je dédie ce modeste travail.*

*A. ZOHRA*

## *Dédicace*

# *A*

**A mon cher père,**

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as sa consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années, Je te souhaite une bonne santé et une longue vie « Merci beaucoup papa »

**A ma tendre Mère,**

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé et longue vie.

**A mes chers frères :** « Mahmoud, Hatem »

**A mes sœurs adorées :** « Houda, Salima, Ikram »

**Celui qui a participé avec moi à ce mémoire :**

**Mon amie :** ABDELMALEK Zohra.

**A tous ceux qui m'ont supporté et encouragé.**

**A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.**

**Tous ceux qui m'aiment et tous ceux que j'aime.**

*Je dédie ce modeste travail.*

*K. Dalal*

## *Remerciement*

*On tient premièrement à prosterner remerciant Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour terminer ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements au professeur superviseur, Karim. FERROUDJI, pour son encadrement bienveillant de cette étude et le grand intérêt et le suivi continu à toutes les étapes. Grâce à ses précieux conseils et orientations, nous avons pu réaliser le meilleur dans cette étude de travail.*

*On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, ainsi que le personnel et les enseignants de l'université qui ont contribué à notre formation.*

*Nous adressons nos remerciements et notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, à accomplir ce travail à surmonter les difficultés que nous avons rencontrées.*

# Résumé

Le but de ce travail est d'étudier et d'explorer les performances des antennes patch avec éléments parasites. L'objectif est d'améliorer les caractéristiques des antennes patch conventionnelles en introduisant ces éléments supplémentaires. Les éléments parasites permettent d'obtenir des antennes avec des propriétés multi-bandes, une meilleure adaptation d'impédance, une augmentation du gain et une réduction du coefficient de réflexion. Cette recherche vise à développer des antennes plus performantes et polyvalentes pour répondre aux besoins de communication sans fil dans différentes gammes de fréquences.

## Abstract

The purpose of this work is to study and explore the performance of patch antennas with parasitic elements. The objective is to improve the characteristics of conventional patch antennas by introducing these additional elements. The parasitic elements enable the creation of antennas with multi-band properties, improved impedance matching, increased gain, and reduced reflection coefficient. This research aims to develop more efficient and versatile antennas to meet the demands of wireless communication in different frequency ranges.

## ملخص

هدف هذا العمل هو دراسة واستكشاف أداء هوائيات الباتش بوجود عناصر طفيلية. الهدف هو تحسين خصائص هوائيات الباتش التقليدية من خلال إدخال هذه العناصر الإضافية. تمكّن العناصر الطفيلية من إنشاء هوائيات ذات خصائص متعددة النطاقات وتحسين توافق الانطباعات وزيادة الكسب وتقليل معامل الانعكاس. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير هوائيات أكثر كفاءة ومرونة لتلبية متطلبات الاتصال اللاسلكي في نطاقات ترددية مختلفة.

## Liste des Figures

Figures I.1 : Types d'antennes .....	2
Figure I.2 : Ouverture d'une antenne.....	6
Figure I .3 : Diagramme de rayonnement d'une antenne .....	7
Figure I .4 : Bande passante.....	8
Figure I .5 : Description d'une antenne patch.....	8
Figure I .6 : différentes formes d'une antenne patch .....	9
Figure I .7 : Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale.....	10
Figure I .8 : Alimentation du patch rectangulaire par une ligne microruban.....	11
Figure I .9 : Alimentation par couplage électromagnétique.....	11
Figure I .10 : Alimentation par guide d'ondes coplanaire.....	12
Figure I .11 : Techniques d'alimentation Par couplage par fente.....	12
Figure I .12 : antenne à élément parasite.....	14
Figure I .13: Illustration d'une antenne à éléments parasites (YAGI_UDA)...	15
Figure I .14: antenne patch.....	16
Figure I .15 : Structure de l'antenne double YAGI et sont diagramme de rayonnement dans l'azimut .....	17
Figure II.1:Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS.....	20
Figure II.2: La fenêtre principale du logiciel HFSS.....	21
Figure II.3: Fenêtre de HFSS.....	22
Figure II.4 : Boîte de dialogue du Type de Solution.....	22
Figure II.5: Boîte de dialogue des Unités de Modèle.....	23
Figure II.6 : Créer le substrat.....	23
Figure II.7 : Créer le substrat.....	24
Figure II.8 : Le Substrat diélectrique.....	24

## Liste des Figures

---

Figure II.9 : Création du Patch .....	25
Figure II.10 : Création du Patch .....	25
Figure II.11: représente le patch et la ligne d'alimentation représentant un seul objet.....	26
Figure II.12:ci-dessous représente le port dans le plan.....	27
Figure II.13: Le port.....	27
Figure II-14: Le boîtier d'air.....	28
Figure II-15: Lumped port.....	28
Figure II.16 : Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le patch, la ligne microstrip d'excitation et le transformateur d'adaptation.....	29
Figure II.17: Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse .....	29
Figure II.18: Assignement des frontières.....	30
Figure II.19: analysis setup .....	30
Figure II.20: Add Frequency Sweep .....	31
Figure II.21: validation .....	31
Figure II.22: Analyze All .....	32
Figure II.23: Terminal S .....	32
Figure II.24: S11.....	33
Figure II.25: Le Gain .....	33
Figure II.26: Le Gain .....	34
Figure III.1: Antenne Patch de base.....	38
Figure III.2: Coefficient de réflexion et bande passante (Antenne de base).....	39
Figure III.3: VSWR de l'antenne de base.....	39
Figure III.4: Gain en 2D de l'antenne de base.....	40
Figure III.5: Gain en 3D de l'antenne de base.....	40
Figure III.6: Géométrie de l'antenne avec un élément parasite.....	41
Figure III.7: Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de Rx et Ry. ....	42
Figure III.8: Bande passante pour différentes valeurs de Rx et Ry.....	43



## Liste des Figures

---

Figure III.9: VSWR pour différentes valeurs de Rx et Ry.....	43
Figure III.10: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.08 GHz.....	44
Figure III.11 : Géométrie de l'antenne II_1.....	45
Figure III.12: S11 pour différentes valeurs de Rx1, Ry1, Rx2 et Ry2.....	45
Figure III.13: S11 triple bande pour les éléments (1) et (2).....	46
Figure III.14: VSWR triple bande pour les éléments (1) et (2).....	47
Figure III.15: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.10 GHz.....	48
Figure III.16: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.39 GHz.....	48
Figure III.17: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.72 GHz.....	49
Figure III.18: S11 double bande pour les éléments (1) et (2).....	50
Figure III.19: VSWR double bande pour les éléments (1) et (2).....	51
Figure III.20: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.31 GHz.....	51
Figure III.21: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.64 GHz.....	52
Figure III.22: Antenne patch avec deux éléments parasites (2) et (3).....	52
Figure III.23: S11 pour différentes valeurs de Rx2, Ry2, Rx3 et Ry3.....	53
Figure III.24: S11 triple bande pour les éléments (2) et (3).....	54
Figure III.25: VSWR triple bande pour les éléments (2) et (3).....	55
Figure III.26: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 8.47 GHz.....	55
Figure III.27: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.43 GHz.....	56
Figure III.28: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.64 GHz.....	56
Figure III.29: S11 Double bande pour les éléments (2) et (3).....	57
Figure III.30: VSWR double bande pour les éléments (2) et (3).....	57
Figure III.31: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.51 GHz.....	58
Figure III.32: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.56 GHz.....	58
Figure III.33: Antenne patch avec trois éléments parasites.....	59
Figure III.34: S11 pour différentes valeurs de Rx1, Ry1, Rx2, Ry2, Rx3 et Ry3.....	60

## Liste des Figures

---

<b>Figure III.35: S11 double bande avec trois éléments parasites.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure III.36: VSWR double bande avec trois éléments parasites.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.37: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.23 GHz.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.38: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.60 GHz.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure III.39: S11 Triple bande avec trois éléments parasites.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure III.40: VSWR Triple bande avec trois éléments parasites.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure III.41: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.10 GHz.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.42: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.35 GHz.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.43: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.72 GHz.....</b>	<b>65</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1: Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation.....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau III.1: Dimensions de l'antenne. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau III.2: dimensions de l'élément parasite.....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau III.3: dimensions des éléments parasites.....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau III.4: dimensions des éléments parasites .....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau III.5: dimensions des éléments parasites .....</b>	<b>59</b>
<b>Tableau III.6: Résultats de simulation des quatre antennes .....</b>	<b>67</b>
<b>Tableau III.7 : Comportement double bande des antennes .....</b>	<b>68</b>
<b>Tableau III.8 : Comportement triple bande des antennes .....</b>	<b>69</b>

*Liste des symboles et abréviations*

**GPS** : Global positioning system

**$\Gamma$** : Coefficient de réflexion

**VSWR** : Voltage standing wave ratio

**S11**: Coefficient de réflexion.

**ROS** : Rapport d'ondes stationnaires.

**HFSS**: High Frequency Structure Simulator

**D**: Directivité

**Pr** : Puissance rayonnée.

**Pf** : Puissance fournie.

**$\eta$**  : Rendement de l'antenne

**G** : Le gain de l'antenne.

**Pr**: La densité de puissance rayonnée.

**P<sub>e</sub>**: Puissance d'entrée.

**$\theta$**  : Angle d'azimut.

**$\Phi$**  : Angle d'élévation

**Z<sub>a</sub>**: Impédance d'entrée

**Fr**: Fréquence de résonance

**BP**: Bande passante

**AEP**: Antenne élément parasite

**2D et 3D**: Deux et trois dimensions

## Table des matières

**Dédicaces**

*Remerciement*

Résumé

Liste des Figures .....	I
Liste des tableaux .....	V
<i>Liste des symboles et abréviations</i> .....	VI
<b>INTRODUCTION GENERAL</b> .....	VII
Introduction générale :.....	XI
<b>Chapitre I :Généralités sur les antennes</b> .....	1
<b>I.1 Introduction:</b> .....	2
<b>I.2 Définition de l'antenne :</b> .....	2
<b>I.3. Caractéristiques principales d'une antenne:</b> .....	3
<b>I.3.1 Coefficient de réflexion <math>\Gamma</math>:</b> .....	3
<b>I.3.2 Taux d'ondes stationnaire VSWR (Voltage standing wave ratio) :</b> .....	4
<b>I.3.3 Directivité :</b> .....	4
<b>I.3.4 Rendement de l'antenne :</b> .....	4
<b>I.3.5 Gain :</b> .....	5
<b>I.3.6 Ouverture :</b> .....	6
<b>I.3.7 Impédance d'entrée :</b> .....	6
<b>I.3.8 Diagramme de rayonnement :</b> .....	6
<b>I.3.9. Fréquence de résonance <math>f_r</math> :</b> .....	7
<b>I.3.10. Bande passante</b> .....	7
<b>I.4 Antenne patch :</b> .....	8
<b>I.4.1 Description d'une antenne patch :</b> .....	8
<b>I.4.2 Différentes formes d'une antenne patch :</b> .....	9
<b>I.4.3 Techniques d'alimentations :</b> .....	9
<b>I.4.4 Avantage et inconvénient des antennes patches</b> .....	13
<b>I.5 Antennes à éléments parasites :</b> .....	13
<b>I.5.1 Etat de l'art sur les antennes à éléments parasites :</b> .....	14
<b>I.5.2 Principe de fonctionnement :</b> .....	14
<b>I.5.3 Architectures d'antennes à éléments parasites :</b> .....	15

I.6 conclusion :	17
<b>Chapitre II :Présentation du logiciel HFSS</b>	<b>18</b>
II-1 Introduction :	19
II-2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS :	19
II-3 Un projet en HFSS :	20
II-4 Comment commencer HFSS :	20
II-5 Comment ouvrir un nouveau projet :	21
II-6 Sauvegarder le projet :	21
II-7 Insérer une conception de HFSS :	21
II-8 Choix du type de solution :	21
II-9 Arrangement des Unités du Modèle de Mesure	22
II-10 Créer le substrat	22
II-11 Création du Patch :	24
II-12 Création du port (waveport) :	26
II-13 Assigner les conditions aux frontières :	27
II-14 Assigner une excitation au port d'alimentation :	27
II-15 Assigner les conditions aux limites:	28
II-16 Créer une installation d'analyse (analysis setup) :	30
II-17 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep) :	31
II-18 Analyse:	31
II-19 Créer les rapports :	32
II-20 Conclusion :	34
<b>CHAPITRE III :</b>	<b>35</b>
<b>OPTIMISATION, RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>35</b>
III- 1 Introduction :	37
III-2 Conception d'une antenne patch 6 GHz	38
III-2.1 Géométrie de l'antenne :	38
III-2.2 Dimensions de l'antenne :	38
III-3 Paramètres de l'antenne:	39
III-3.1 Coefficient de réflexion (S11 en dB) et Bande passante:	39
III-3.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR) :	39
III-3.3 Diagramme de rayonnement (Gain en 2D et en 3D) :	40
III-4 Antenne patch avec un élément parasite (Antenne I) :	41
III-4.1 Géométrie de l'antenne I :	41

III-4.2 Dimensions de l'élément parasite:.....	41
III-5 Paramètres de l'Antenne I:.....	42
III-5.1 Coefficient de réflexion : .....	42
III-5.2 Bande passante : .....	43
III-5.3 Taux d'onde stationnaire (VSWR) : .....	43
III-5.4 Gain 2D et 3D :.....	44
III-6 Antenne patch avec deux éléments parasites Antenne II: .....	44
III-6.1 Méthode 1 (Antenne II_1):.....	45
III-6.2 Méthode 2 (Antenne II_2):.....	52
III-7 Antenne patch avec trois éléments parasites (Antenne III) :.....	59
III-7.1 Géométrie de l'antenne III : .....	59
III-7.2 Dimensions des éléments parasites: .....	59
III-7.3 Paramètres de l'antenne: .....	60
III.8 Etude comparative :.....	66
III-9 Conclusion :.....	70
Conclusion Générale .....	71
Conclusion Générale : .....	72
Références : .....	73

# **INTRODUCTION GENERALE**



# Introduction Générale

---

## Introduction générale

L'avancement rapide des technologies de communication et des systèmes sans fil a considérablement accru la demande d'antennes performantes et polyvalentes. Les antennes patch sont largement utilisées en raison de leurs caractéristiques telles que leur faible profil et leur facilité de fabrication. Cependant, les antennes patch conventionnelles présentent certaines limitations, notamment en termes de bande passante et de performances multi-bandes. Pour surmonter ces limitations, de nouvelles approches de conception d'antennes ont été développées, parmi lesquelles les antennes patch avec éléments parasites.

Les antennes patch avec éléments parasites, également appelées antennes patch parasitaires, ont suscité un intérêt croissant en raison de leur capacité à améliorer les performances des antennes patch conventionnelles. Les éléments parasites, qui sont des structures métalliques ajoutées à proximité de l'antenne principale, permettent de modifier le comportement électromagnétique de l'antenne

Le but de ce travail est d'étudier et d'analyser les performances des antennes patch avec éléments parasites dans le but d'améliorer leur réponse en fréquence et leur adaptabilité à des bandes multiples. Nous explorerons les différentes méthodes de conception, les paramètres influents et les résultats obtenus. Grâce à cette étude, nous pourrions mieux comprendre les avantages et les limites de ces antennes modifiées et explorer les possibilités offertes par ces structures pour répondre aux besoins croissants des communications sans fil..

Ce travail se compose de trois chapitres : Le premier chapitre, est consacré à une description générale des antennes, leurs propriétés et leurs caractéristiques, un rappel sur l'antenne patch et les antennes à éléments parasites.

Le deuxième chapitre présente le logiciel de simulation hyperfréquence HFSS (High Frequency Structure Simulator). Nous développons différents aspects de la mise en œuvre du projet HFSS, de la conception de la structure à étudier à l'exécution (analyse).

Le troisième chapitre de cette étude se concentre sur l'analyse des performances des antennes patch avec éléments parasites. Nous allons examiner en détail les différentes étapes de conception, de simulation et de caractérisation des antennes modifiées en utilisant le simulateur électromagnétique HFSS.

En fin, ce mémoire se clôture par une conclusion générale ainsi qu'une bibliographie, incluant toutes les références et les sources documentaires qui ont été consultées et utilisées tout au long de notre étude.

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur les antennes**

# Chapitre 1: généralités sur les antennes

## I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la forme générale d'une antenne, les différents types d'antennes et leurs caractéristiques. Nous allons également aborder les paramètres essentiels de l'antenne, tels que le gain, la directivité, le coefficient de réflexion et l'impédance. De plus, nous allons examiner les différentes méthodes d'alimentation des antennes patch, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Enfin, nous allons discuter les antennes à éléments parasites de manière approfondie.

## I.2 Définition de l'antenne

Une antenne d'émission est un dispositif qui transforme l'énergie électrique d'un signal guidé, provenant d'un générateur, en énergie électromagnétique rayonnée. À l'inverse, une antenne de réception assure la transformation de l'énergie électromagnétique provenant de l'environnement en signal électrique vers un appareil récepteur. Ainsi, l'antenne joue le rôle d'un transducteur réciproque [1]. Il existe plusieurs types d'antennes :



(a)



(b)



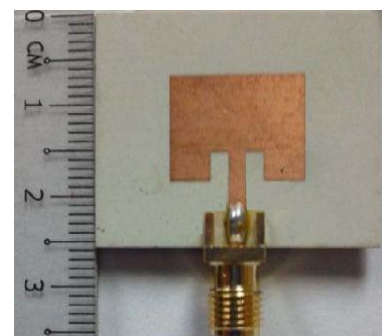
(c)



(d)



(e)



(f)

Figures I.1: Types d'antennes

# Chapitre1: généralités sur les antennes

- (a) Antenne dipolaire : elle est constituée de deux fils alignés alimentés par une ligne bifilaire, elle est souvent utilisée aux basses fréquences.
- (b) Boucle magnétique: elle est constituée d'un conducteur circulaire alimenté par un générateur à travers une ligne bifilaire.
- (c) Antenne cornet: c'est un guide d'onde rectangulaire dont la section est variable ce qui permet de passer graduellement l'onde guidée vers l'espace libre. Elle est très utilisée en haute fréquence.
- (d) Antenne fente: c'est un guide d'onde rectangulaire qui contient des fentes sur sa paroi métallique, le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan troué du guide.
- (e) Antenne à réflecteur parabolique: elle est constituée d'une source d'émission associée à une partie métallique réfléchissante, souvent de forme parabolique.
- (f) Antenne patch: c'est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face, et l'élément rayonnant sur l'autre face.

## I.3. Caractéristiques principales d'une antenne

### I.3.1 Coefficient de réflexion $\Gamma$

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

L'impédance d'entrée de l'antenne est utilisée pour insérer cet élément de façon optimale dans la chaîne de l'émetteur ou du récepteur [2]. Si l'impédance caractéristique de la ligne de propagation est  $Z_c$  et l'impédance d'entrée de l'antenne  $Z_e$ , le signal se réfléchit à l'entrée de l'antenne avec un coefficient  $\Gamma$  dont l'expression est :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} = \frac{\text{ondereflechie}}{\text{ondeincidente}} \quad (\text{I.1})$$

Couramment exprimé en dB

$$S_{11} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (\text{I.2})$$

$Z_e$ : Impédance d'entrée de l'antenne ( $Z_e = R + jX$ )

$Z_c$ : Impédance caractéristique de la ligne

Dans le cas où le coefficient de réflexion est non nul, un système d'ondes stationnaires apparaît et la puissance émise par le générateur n'est pas transmise de façon optimale à l'antenne.

# Chapitre1: généralités sur les antennes

Dans ce cas, on visera la réflexion minimale à l'entrée de l'antenne. Il correspond à un coefficient de réflexion  $\Gamma$  proche de 0 en valeurs linéaires.

On dit que l'antenne est adaptée si  $\Gamma = 0$  : donc  $z_e = z_c$

On constate qu'une bonne adaptation est obtenue lorsque le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB cela correspond à un rapport d'ondes stationnaires (VSWR), compris entre 1 et 2. Le rapport d'ondes stationnaires est défini comme le rapport de la tension maximale à la tension minimale sur une ligne [2].

## I.3.2 Taux d'ondes stationnaire VSWR (Voltage standing wave ratio)

L'adaptation de l'antenne est souvent caractérisée par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), exprimé comme suit :

$$ROS = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (I.3)$$

Ce rapport prend des valeurs entre 1 et l'infini. En pratique, une bonne adaptation est réalisée lorsque le taux d'onde stationnaire est inférieur à 2.

Une antenne résonne si la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle (Pratiquement on prend le minimum de la partie imaginaire), Pour  $\Gamma \rightarrow 0 \Rightarrow \text{Re } Z_e \approx Z_c$

Et dans laquelle la directivité de l'antenne est maximal, et le gain est plus élevé, c'est à dire le rayonnement est plus directif, et c'est la définition pour déterminer la fréquence de résonance [2].

## I.3.3 Directivité

La directivité  $(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $(\theta, \varphi)$  et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope[3]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{u(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi}} = \frac{4\pi \cdot u(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (I.4)$$

Avec :

- $u(\theta, \varphi)$  = intensité de rayonnement (W / unité d'angle solide)
- $P_r$  = puissance rayonnée de la source isotrope (W)

## I.3.4 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée ( $P_r$ ) et la puissance fournie à l'antenne  $P_f$ , soit :

$$\eta = P_r / P_f \quad (I.5)$$

# Chapitre1: généralités sur les antennes

D'après les équations, l'efficacité peut être exprimée par le rapport entre le gain et la directivité : [4]

$$\eta = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)} \quad (I.6)$$

## I.3.5 Gain

Le gain d'une antenne est défini comme le rapport de la densité de puissance de l'antenne  $P_r$  dans une direction donnée à la densité de puissance  $P_{ri}$  rayonnée par une antenne isotrope (sans pertes).

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P_r(\theta, \varphi)}{P_{ri}} \quad (I.7)$$

La densité de puissance rayonnée d'une antenne isotrope sans perte est égale à la puissance de l'antenne divisée par l'angle solide  $4\pi$ , donnée par:

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P_r(\theta, \varphi)}{P_e} \quad (I.8)$$

Avec

G : Le gain de l'antenne.

$P_r$ : La densité de puissance rayonnée.

$P_e$ : Puissance d'entrée.

$\theta$  : Angle d'azimut.

$\Phi$  : Angle d'élévation.

Les antennes à faible gain émettent la même puissance dans toutes les directions, tandis que les antennes à gain élevé émettent de la puissance dans certaines directions. Le gain peut être donné en fonction de la directivité, exprimée en dB (décibels par rapport à une antenne isotrope)[5] :

$$\mathbf{G} = \eta \mathbf{D} \quad (I.9)$$

Où  $\eta$  est le rendement de l'antenne. Si le rendement de l'antenne est égal à 100% ( $\eta = 1$ ), la directivité sera égale au gain de l'antenne.

Le gain maximum de l'antenne exprimée en dB est donné par :

$$G_{max} = 10 \log_{10} G \quad (I.10)$$

# Chapitre 1: généralités sur les antennes

## I.3.6 Ouverture

Si  $G_{max}$  est le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la moitié du gain maximal (gain à  $-3$  dB).

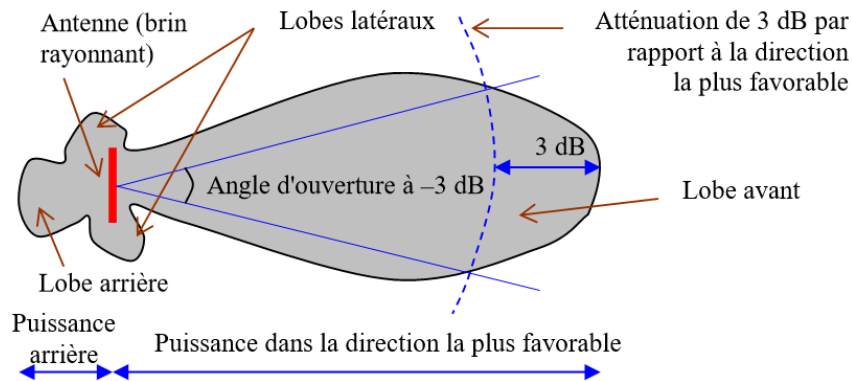


Figure I.2 : Ouverture d'une antenne

## I.3.7 Impédance d'entrée

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

$$Z_e = Z_0 \left( \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \right) \quad (I.11)$$

$Z_0$  = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

**N.B.** Comme  $\Gamma$  est fonction de la fréquence, alors  $Z_e$  varie aussi avec la fréquence.

L'impédance d'entrée d'une antenne est généralement en fonction de la fréquence.

Ainsi, l'antenne est adaptée à la ligne de transmission d'interconnexion et avec d'autres équipements associés uniquement à l'intérieur d'une bande passante.

En outre, l'impédance d'entrée de l'antenne dépend de nombreux facteurs,

Notamment de sa géométrie, son mode d'excitation, et sa proximité avec les objets environnants.

## I.3.8 Diagramme de rayonnement

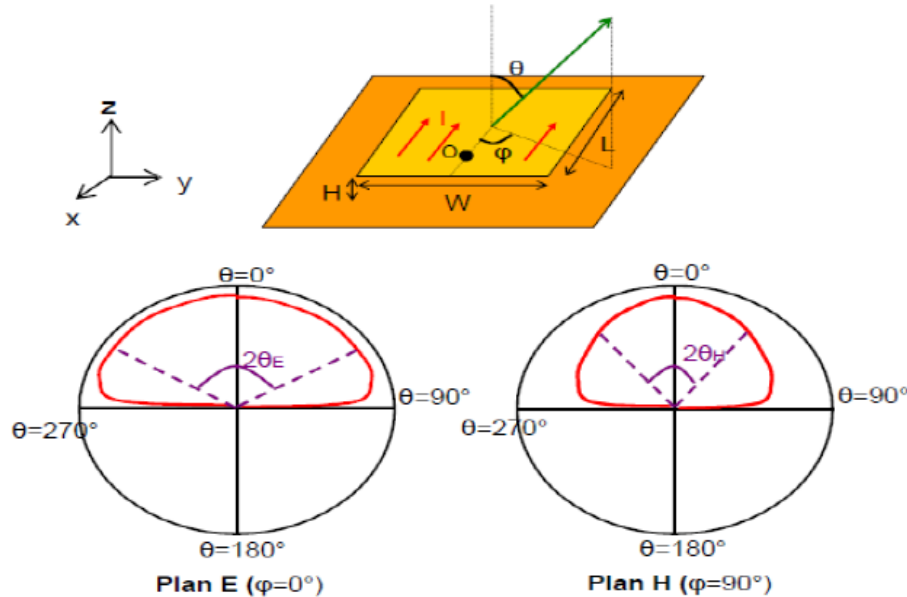
Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace. Il y a généralement une direction de rayonnement

# Chapitre 1: généralités sur les antennes

maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement  $(\theta, \phi)$  de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée  $(\theta, \phi)$  à la puissance  $P_{\max}$  de la direction où le rayonnement est maximal [6].

$$R(\theta, \phi) = \frac{Pa}{4\pi} \quad (I.12)$$



**Figure I. 3:** Diagramme de rayonnement d'une antenne

### I.3.9. Fréquence de résonance $f_r$

Une antenne s'utilise en général avec des signaux autour d'une fréquence donnée pour laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnant **Figure I. 3**. La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses dimensions propres, mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés [7].

### I.3.10. Bande passante

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas des critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB ou -15 dB sur la bande passant [8].

$$BP = f_{\max} - f_{\min} \quad (I.13)$$



# Chapitre1: généralités sur les antennes

$$BP(\%) = \left[ \frac{f_{min} - f_{max}}{f_c} \right] \cdot 100 \quad (I.14)$$

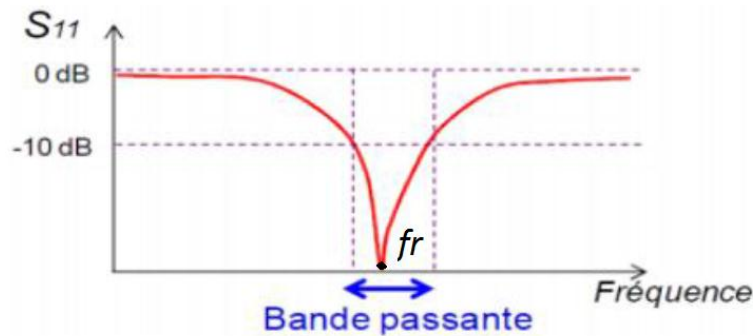


Figure I .4 : Bande passante

## I.4 Antenne patch

### I.4.1 Description d'une antenne patch

Dans sa structure de base, les antennes patch se compose ont trois éléments constitutifs, un patch se présente comme une surface métallique, supportée par un matériau non conducteur, appelé substrat diélectrique caractérisé par sa permittivité  $\epsilon_r$ , de faible épaisseur  $h$  et sa tangente de perte  $\text{tg}\delta$  recouvrant une surface métallique nommé plan de masse comme est bien indiqué.

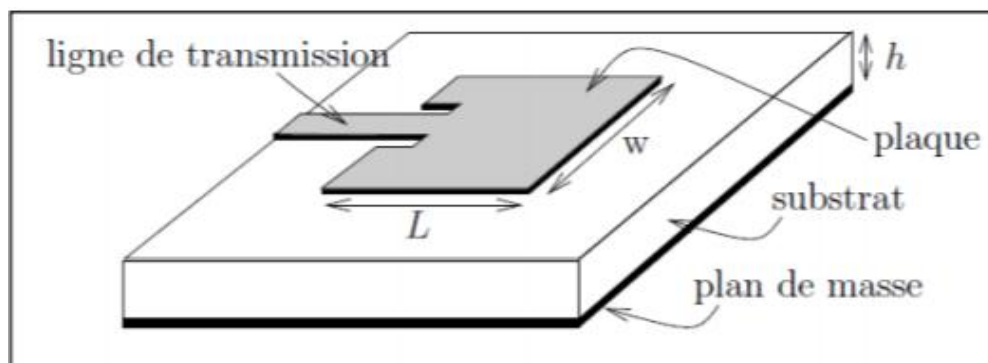


Figure I .5 : Description d'une antenne patch

Le patch généralement fabriqué à base d'un matériau conducteur tel que le cuivre ou l'or, afin d'assurer une conductivité élevée et il peut prendre n'importe quelle forme possible. Toutefois, les formes régulières (*carré, circulaire*) sont les plus optées afin de simplifier l'analyse des structures. Le patch rayonnant et les lignes d'alimentation sont habituellement photogravés sur le substrat diélectrique.

# Chapitre1: généralités sur les antennes

## I.4.2 Différentes formes d'une antenne patch

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant [9].

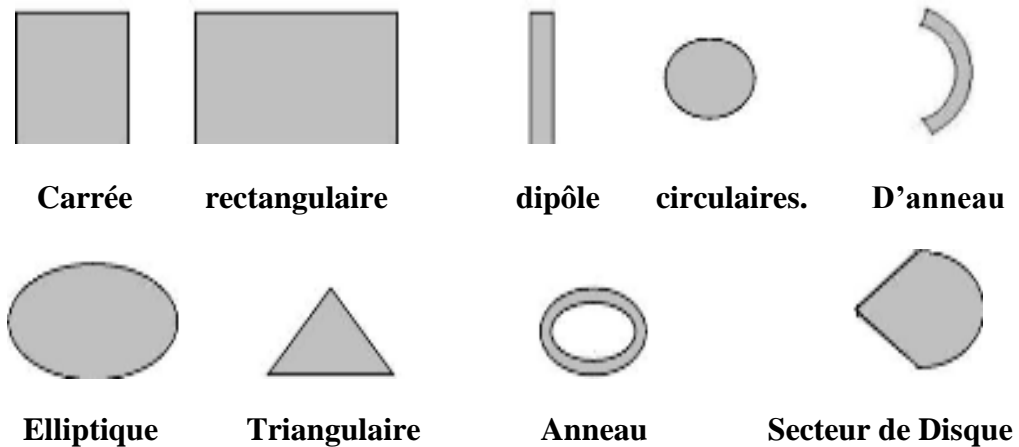


Figure I.6: Les différentes formes d'une antenne patch

**Remarque:** Parmi toutes ces formes, l'élément rectangulaire est sans contexte le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnements des antennes planaires

## I.4.3 Techniques d'alimentations

Un point important dans l'étude et la réalisation d'antennes imprimées est leur alimentation. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. En théorie, des circuits et des éléments rayonnants peuvent être combinés sur un même substrat. Par exemple, la présence de lignes d'alimentation sur le même niveau que les éléments rayonnants connectés directement peut produire un rayonnement additionnel, qui peut affecter le diagramme de l'antenne. Il est possible d'éviter cet effet en "enterrant" l'alimentation, que l'on dispose à un niveau inférieur, alimentation par couplage. Mais ceci complique la réalisation des antennes, suite à la présence de deux couches diélectriques. On peut aller plus loin, en superposant une antenne microruban et un circuit diélectrique isolé par les plans de masse. L'alimentation se fait dans ce cas à travers une ouverture. On peut encore séparer l'antenne du circuit en l'alimentant avec une ligne coaxiale. En effet, une sonde coaxiale est reliée à l'élément rayonnant à travers le plan de masse. Dans ce cas, on distingue dans la modélisation d'une alimentation coaxiale deux types de générateur, le générateur de courant ou le générateur de tension. Dans le cas d'un générateur de tension placé à la base du coaxial, l'impédance calculée est celle de l'antenne en série avec la partie de la sonde située au-dessus du générateur. Par contre, dans le calcul utilisant un générateur de courant, la tension utilisée est celle qui existe entre les deux extrémités de la sonde, et l'impédance est directement celle de l'antenne seule.

## Chapitre1: généralités sur les antennes

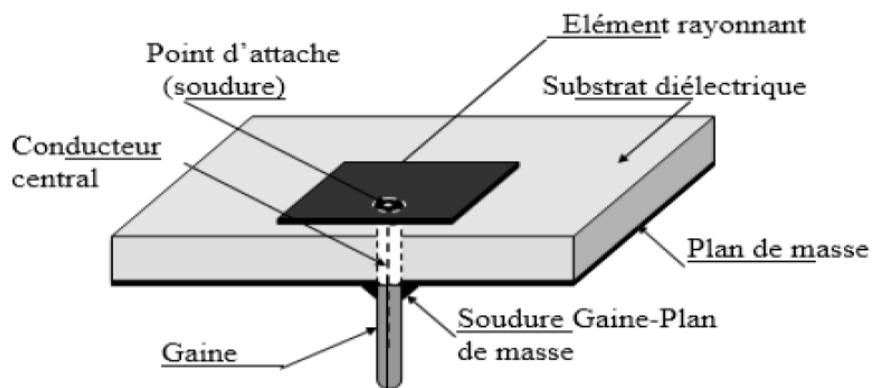
L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif.

### a)Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation coaxiale où le conducteur intérieur est attaché au patch et le Conducteur externe au plan de masse est également largement utilisée. Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à adapter. Mais il offre une bande passante étroite [10].

Parmi ces caractéristiques :

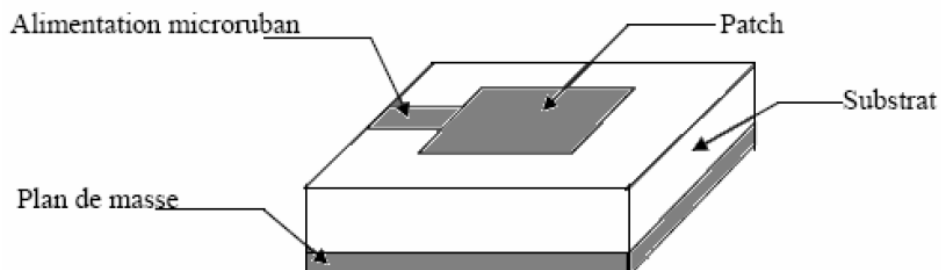
- Pas de pertes par rayonnement de ligne
- Obtention de l'impédance d'entrée par positionnement de la sonde
- ·Technique de perçage simple



**Figure I .7:** Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale.

### b) Alimentation par ligne microruban

Dans ce cas d'alimentation, on relie une ligne microstrip au patch. Cette ligne lui amène de l'énergie. Il existe cependant un inconvénient dans ce type d'alimentation vu qu'elle génère un rayonnement parasite [10].



**Figure I .8 :** Alimentation du patch rectangulaire par une ligne microruban

# Chapitre1: généralités sur les antennes

## c) Alimentation par couplage électromagnétique

Les antennes imprimées peuvent également être alimentées par couplage électromagnétique de lignes microruban à des éléments rayonnants. Dans ce cas, le résonateur et la ligne d'alimentation sont du même côté du plan de masse. L'antenne se compose de deux substrats, avec une ligne microruban sur le substrat inférieur qui se termine par un circuit ouvert sous le patch imprimé sur le substrat supérieur.

L'avantage du couplage électromagnétique est qu'il permet de mettre en œuvre des patches rayonnants sur des substrats plus épais pour augmenter la bande passante, tandis que les lignes électriques sont imprimées sur des substrats plus fins pour réduire le rayonnement et le couplage parasite [11].

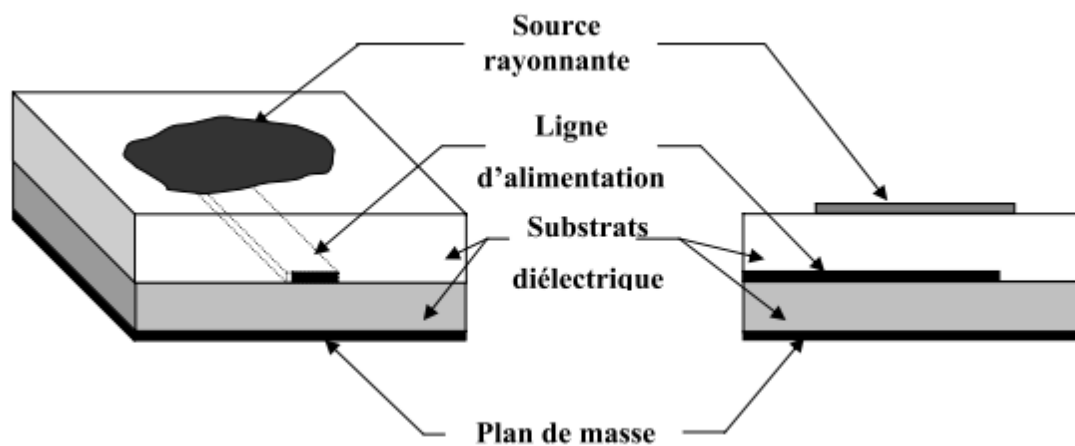


Figure I.9 : Alimentation par couplage électromagnétique

## d) Alimentation par guide d'ondes coplanaire

Les guides d'ondes coplanaires sont une ligne de transmission à haut rendement largement utilisée qui a l'avantage de placer la ligne d'alimentation au même niveau que le plan de masse. Il est constitué d'une bande métallique centrale placée entre deux plans de masse parallèles entre eux, déposés d'un même côté d'un substrat diélectrique. Du fait de sa géométrie, le mode de propagation est principalement TEM, en partie dans le substrat. Par conséquent, le signal se propage entre le conducteur central et le plan de masse équipotentiel [12].

# Chapitre1: généralités sur les antennes

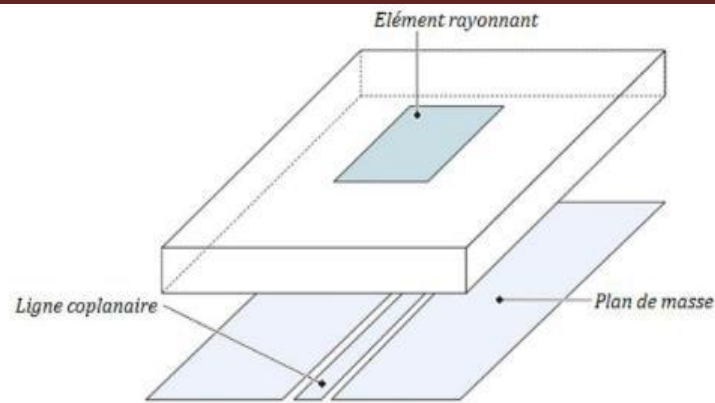


Figure I .10 Alimentation par guide d’ondes coplanaire.

## e)Couplage par fente (ouverture)

L'alimentation par ligne micro-ruban ou par ligne coaxiale présentent une asymétrie qui génère des modes d'ordres supérieurs produisant un rayonnement de polarisation croisée, pour y remédier à cet état de fait l'alimentation par fente a été introduite. Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne micro -ruban comme le montre la Figure I .11. Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite modéré. Cependant, elle est la plus difficile à mettre en œuvre et présente une bande passante étroite [13].

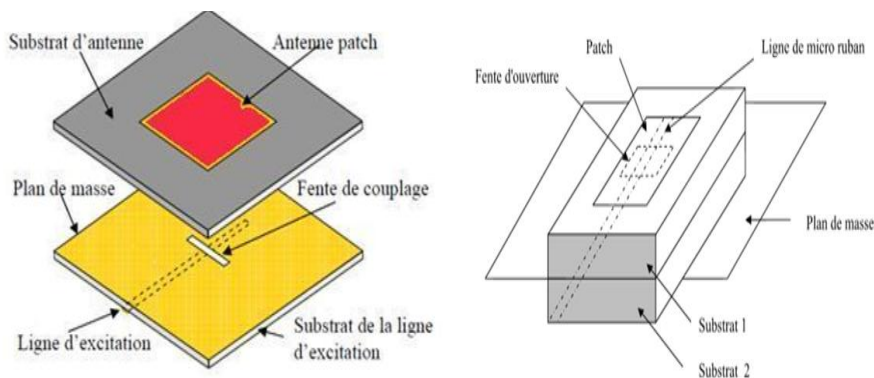


Figure I .11 : Techniques d’alimentation Par couplage par fente.

- **Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation**

Caractéristiques	Alimentation par micro ruban	Alimentation coaxial	Alimentation par ouverture	Alimentation par proximité
Rayonnement parasite	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et	Alignement	Alignement

## Chapitre1: généralités sur les antennes

		forage requis	requis	requis
Bande passante	2 à 5 %	2 à 5 %	2 à 5 %	15 %

**Tableau I.1:** Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation [14,15].

La technique d'alimentation par contact présente l'avantage d'être facile à réaliser et donne une meilleure adaptation cependant, elle diminue la bande passante de l'antenne. La techniques d'alimentation sans contact quant à elle, permet une largeur de bande très élevée et minimise les rayonnements parasites, néanmoins, elle est difficile à réaliser.

### I.4.4 Avantage et inconvénient des antennes patches

- Faible poids, masse, épaisseur, et volume
- Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable
- Faible cout et facilité de fabrication
- Capables d'émettre à deux ou trois fréquence
- Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non planes

Néanmoins ces antennes présentent des limitations à savoir :

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

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

Les antennes patch ont un facteur de qualité (Q) très élevé Q représente les pertes lié l'antenne et un grand facteur de qualité mené a une largeur de bande étroite et un faible rendement, le facteur de qualité peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat diélectrique [16]

### I.5 Antennes à éléments parasites

Une antenne à éléments parasites ressemble à une antenne réseau car elle est formée de plusieurs éléments rayonnants ou motifs élémentaires (patch, monopole,...). A la différence d'une antenne réseau qui nécessite d'exciter tous les éléments par un circuit de distribution ou par des circuits actifs associés tel que des amplificateurs, des déphaseurs et des circulateurs une antenne à éléments parasites ne présente qu'un seul élément alimenté et les autres sont excités par couplage. Les motifs non alimentés (éléments parasites) doivent permettre de perturber suffisamment le rayonnement de l'élément actif pour agir intelligemment sur le rayonnement global de la structure. Ces éléments

## Chapitre1: généralités sur les antennes

parasites sont considérés comme des degrés de liberté pour adresser un objectif de rayonnement spécifié.

Le principe de fonctionnement de ce type d'antenne est basé sur une bonne connaissance des couplages électromagnétiques.

### I.5.1 Etat de l'art sur les antennes à éléments parasites

Les antennes à éléments parasites sont des structures très intéressantes. Elles sont d'apparence très simple et peuvent être fabriquées à faible coût. L'antenne à éléments parasites la plus répandue est l'antenne Yagi-Uda [17, 18].qui équipe l'ensemble de nos foyers pour capter la télédiffusion. Cette antenne a été inventée par l'ingénieur japonais Shintaro UDA de l'université Tohoru de Sendai (Japon), qui allait immortaliser le nom de son professeur de l'époque Hidetsugu Yagi. Les radioamateurs commencèrent à l'expérimenter dès 1934. Cette antenne fut largement utilisée pendant la Seconde Guerre mondiale pour les radars. Ces antennes peuvent atteindre des gains élevés avec des faibles rayonnements arrière pour de très bons rendements. Leur simplicité de fabrication et leur faible cout ont largement contribué à leur succès.



**Figure I .12 :** antenne à élément parasite

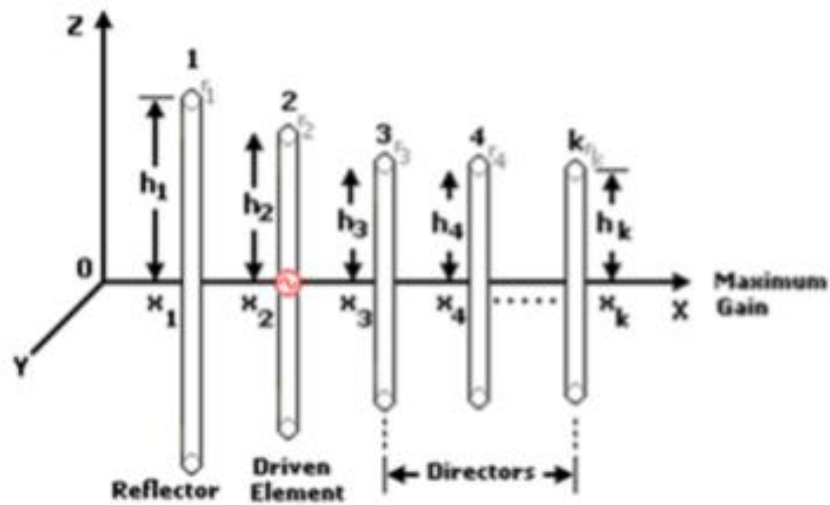
Depuis son invention par Yagi et Uda dans les années 20, cette antenne a suscité beaucoup d'intérêt dans le domaine de la télédiffusion et de la radiodiffusion terrestre. Elle a également été déclinée dans des versions imprimées [19,20] pour des gammes de fréquences millimétriques.

### I.5.2 Principe de fonctionnement

Une antenne à éléments parasites (AEP) est formée par un élément alimenté et un ou plusieurs éléments isolés non alimentés nommés « éléments parasites ». Ces derniers sont excités par couplage

# Chapitre1: généralités sur les antennes

électromagnétique et sont appelés réflecteurs et directeurs selon leur position. La Figure I.12 montre les principaux éléments constituant une antenne Yagi et leurs positions par rapport à l'élément excité.



**Figure I.13:** Illustration d'une antenne à éléments parasites (YAGI\_UDA)

Le principe de fonctionnement de cette antenne est le suivant : le courant électrique qui circule dans l'élément actif « driving élément » produit un champ électromagnétique qui induit des courants dans les autres éléments parasites « directeurs et réflecteurs ». Le courant induit dans ces éléments parasites produit à son tour d'autres champs re-rayonnés qui induisent du courant dans les autres éléments y compris l'élément actif. Finalement le courant qui circule dans chaque élément est le résultat de l'interaction entre tous les éléments. Le couplage des éléments non alimentés (réflecteurs et directeurs) est lié à la distance entre ces derniers et l'élément actif. Pour fonctionner efficacement, les éléments parasites doivent être fortement couplés. En effet, un déphasage est créé selon la position et les dimensions de ces éléments par rapport à l'élément excité.

Le champ électromagnétique rayonné par l'antenne sera la somme des champs rayonnés par chacun des éléments dans une direction donnée. Le diagramme résultant dépend des ondes couplées sur les différents brins (Équation I.17). Ces ondes de puissances (\$a\_i\$) sont réagies par les interactions entre les brins réactifs et le brin excité.

$$\Phi(\theta_{obj}, \phi_{obj}) = (a_1 \dots a_j \dots a_n) \cdot \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_g \\ \phi_n \end{pmatrix} \quad (I.17)$$

## I.5.3 Architectures d'antennes à éléments parasites

Le concept AEP est déclinable à une infinité de compositions et de technologies de fabrication. Elles peuvent associer des éléments de toutes natures dans la limite où les couplages inter éléments

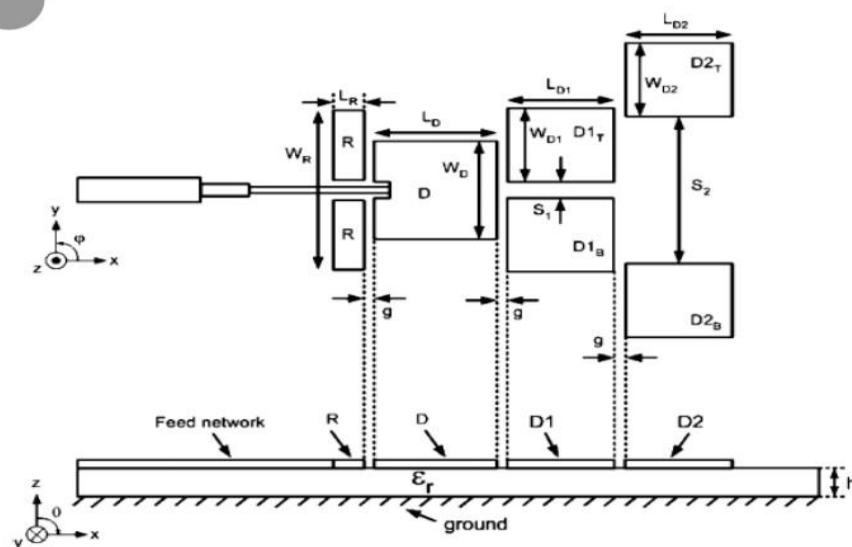


## Chapitre 1: généralités sur les antennes

sont significatif (motifs imprimés, brins rectilignes, boucles ...). Les architectures à base de motifs imprimés (dipôles, monopoles, patchs, spirales...) ont suscité beaucoup d'intérêt pour des raisons de simplicités de faible coût et de qualité de réalisation. Ce paragraphe réalise un inventaire issu de la littérature de quelques antennes à éléments parasites imprimés sur substrats diélectriques. Tous ces exemples sont à polarisation linéaires offrent une bande de travail étroite

### *AEP de type patch*

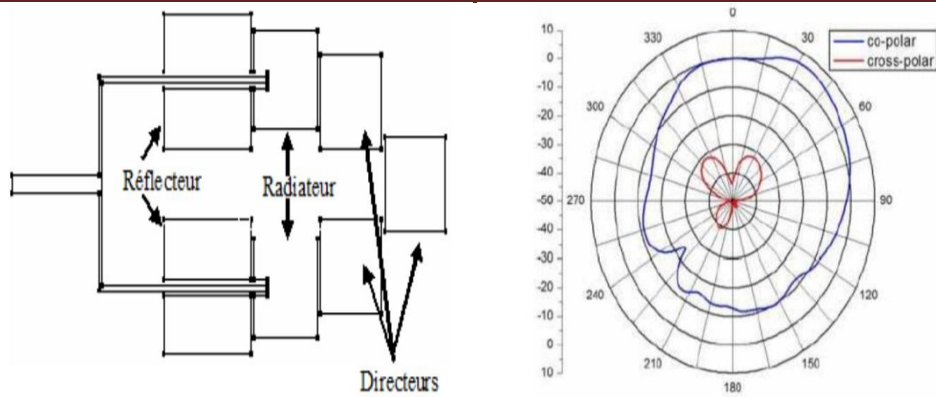
Dans la littérature on trouve des AEP à base d'antennes patchs. Une première structure à base d'antennes plaquées a été proposée par Huang [21,22] en 1989, elle se compose de quatre patchs (un réflecteur, un élément excité, et deux directeur). Cette antenne a été proposée pour rayonner entre les élévations  $\theta = 30^\circ$  et  $\phi = 40^\circ$ . En 2006 Gerlada a publié une nouvelle architecture [23], qui peut aussi atteindre un gain élevé et un faible rayonnement arrière. Une analyse paramétrique a été conduite sur cette structure afin d'évaluer l'importance des paramètres de conception qui affectent les performances de l'antenne. Cette antenne a été conçue pour atteindre un gain supérieur à 10 dB pour l'élévation  $\theta = 40^\circ$  à la fréquence 5.2 GHz.



**Figure I .14:** antenne patch

Un concept double YAGI imprimée pour des applications à ondes millimétriques multi-secteur autour de 30 GHz a été proposée par Dejean [24]. La conception est réalisée pour offrir un rayonnement directif (12dB) avec une ouverture angulaire de  $40^\circ$  et un rendement de l'ordre de 90%. Cette architecture qui reste faible coût intègre une topologie d'alimentation imprimée qui simplifie le processus de fabrication et une épaisseur réduite. La structure de l'antenne et le diagramme de rayonnement en azimut est présentée

# Chapitre1: généralités sur les antennes



**Figure I .15 :** Structure de l'antenne double YAGI et son diagramme de rayonnement dans l'azimut

## I.6 Conclusion

Ce chapitre a abordé les généralités des antennes patch et a approfondi le concept des antennes patch avec élément parasite. Nous avons exploré les caractéristiques principales des antennes patch, telles que leur faible profil, leur bande passante et leur directivité. Ces caractéristiques en font un choix attrayant pour de nombreuses applications, notamment dans les domaines des communications sans fil, des radars et des systèmes de navigation.

Nous avons également examiné les antennes patch avec élément parasite, qui sont une variation intéressante de l'antenne patch traditionnelle. L'ajout d'un élément parasite à l'antenne patch permet de modifier ses propriétés de rayonnement et d'améliorer ses performances dans certains aspects. Les antennes patch avec élément parasite offrent souvent une meilleure directivité, une plus grande efficacité et une meilleure adaptation d'impédance par rapport aux antennes patch conventionnelles.

Cependant, il convient de noter que la conception et l'optimisation des antennes patch avec élément parasite peuvent être plus complexes que celles des antennes patch classiques. Des paramètres tels que la géométrie de l'antenne, la taille et la position de l'élément parasite, ainsi que les propriétés diélectriques du substrat, doivent être soigneusement pris en compte pour obtenir des performances optimales. Dans le chapitre 3 nous examinons l'effet de l'insertion des patches parasites sur les performances d'antenne patch

# Chapitre II :

## Présentation du logiciel HFSS

# Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

## II-1 Introduction

Le présent chapitre développe les différents aspects de mise en œuvre d'un projet HFSS (High Fréquence Structure Simulation) depuis le dessin de la structure à étudier jusqu'à l'exécution "Analyse". Les menus et les projets présentés dans ce mémoire sont réalisés dans la version 19.2 de HFSS. HFSS est un logiciel de modélisation électromagnétique et d'analyse des circuits passifs et des structures tridimensionnelles. Il aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure tels que les caractéristiques de rayonnement et de la dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Dans ce qui suit, nous présentons la structure physique de l'antenne à étudier et le projet HFSS correspondant avec quelques illustrations graphiques.

## II-2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS

Le logiciel HFSS (High Fréquence Structure Simulation) v19.2 d'Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule des champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Pour cela, il faut construire des objets en trois dimensions et leur assigner des caractéristiques (type de matériau, taille, épaisseur, ...). Il est également nécessaire de spécifier les sources électromagnétiques.

Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S, Y, Z en fonction de la fréquence. Les principales étapes d'un "Design" HFSS sont illustrées par l'organigramme suivant :

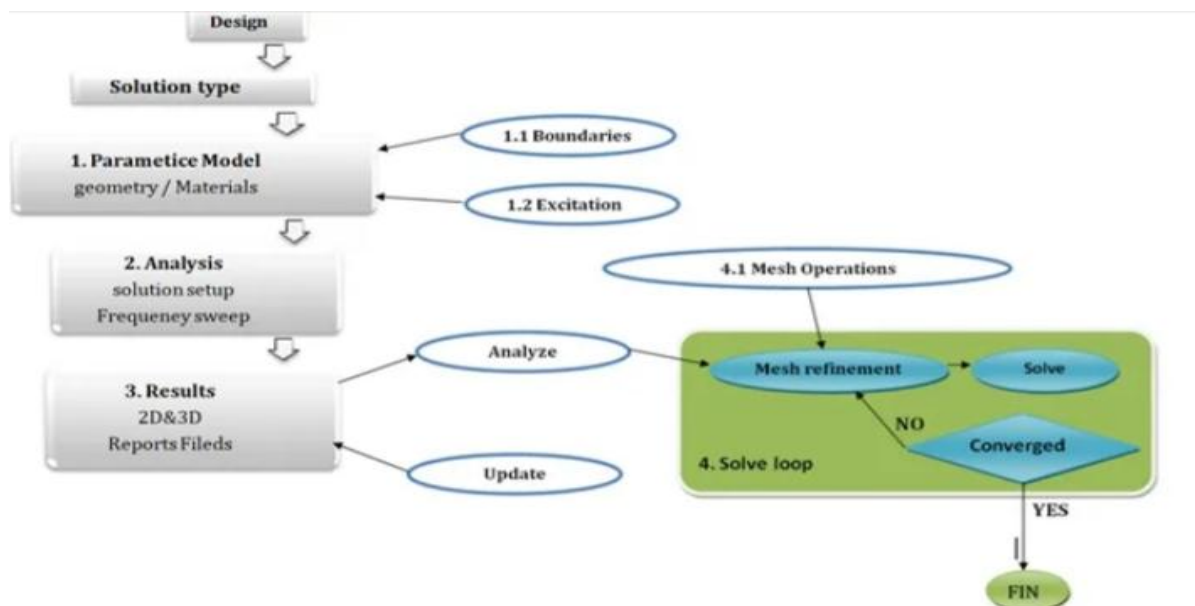


Figure II-1: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

### II-3 Un projet en HFSS

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

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

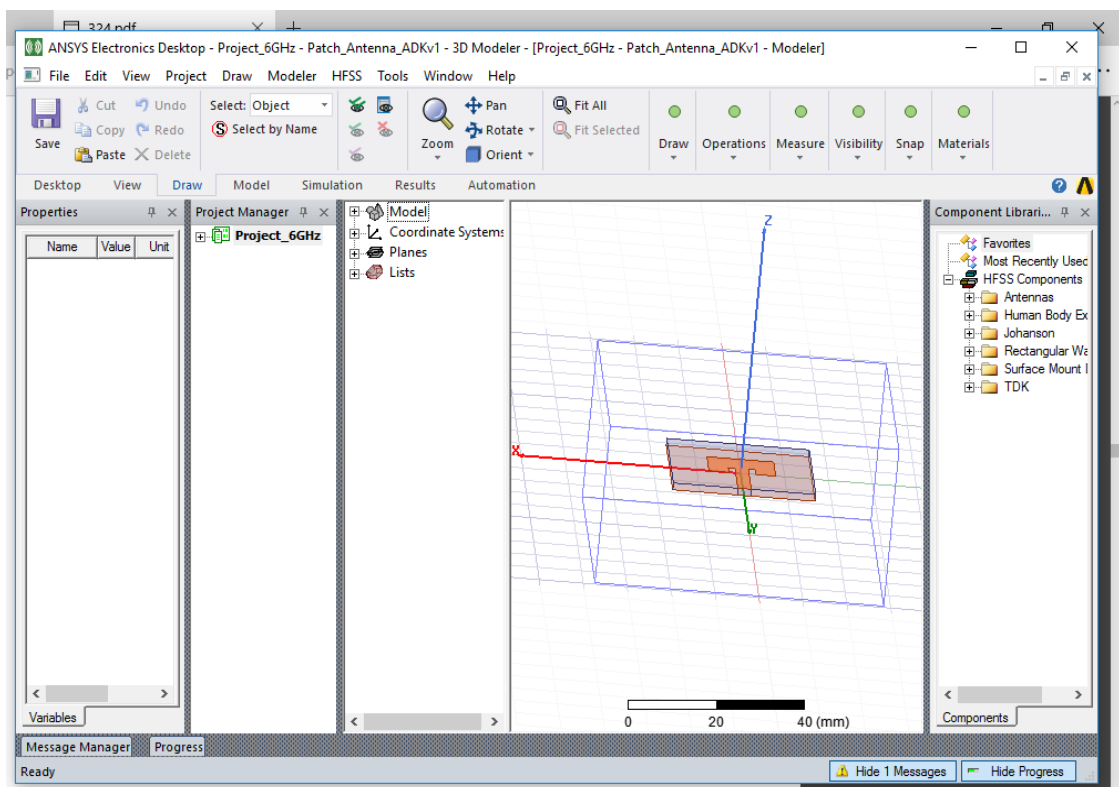
**2-Le Message Manager:** permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.

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

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

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

L'organigramme suivant résume les étapes à suivre :



**Figure II-2 :** La fenêtre principale du logiciel HFSS.

### II-4 Comment commencer HFSS

HFSS devrait être installé sur l'ordinateur que vous travaillez dessus. Il devrait y avoir une icône de HFSS (19.2) sur l'ordinateur de bureau que vous pouvez double-cliquer dessus pour lancer HFSS.

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

### II-5 Comment ouvrir un nouveau projet

Quand vous commencez HFSS v 19.2, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé project1 par défaut. Des définitions de projet, telles que la tâche matérielle, des états de frontière, et des ports d'excitation sont stockées sous le nom de projet.

### II-6 Sauvegarder le projet

Sur le menu fichier, cliquer **Save As**, employer le navigateur de dossier pour localiser le dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme **C:\Ansoft\HFSS13\Projects**, et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer **Save**.

### II-7 Insérer une conception de HFSS

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

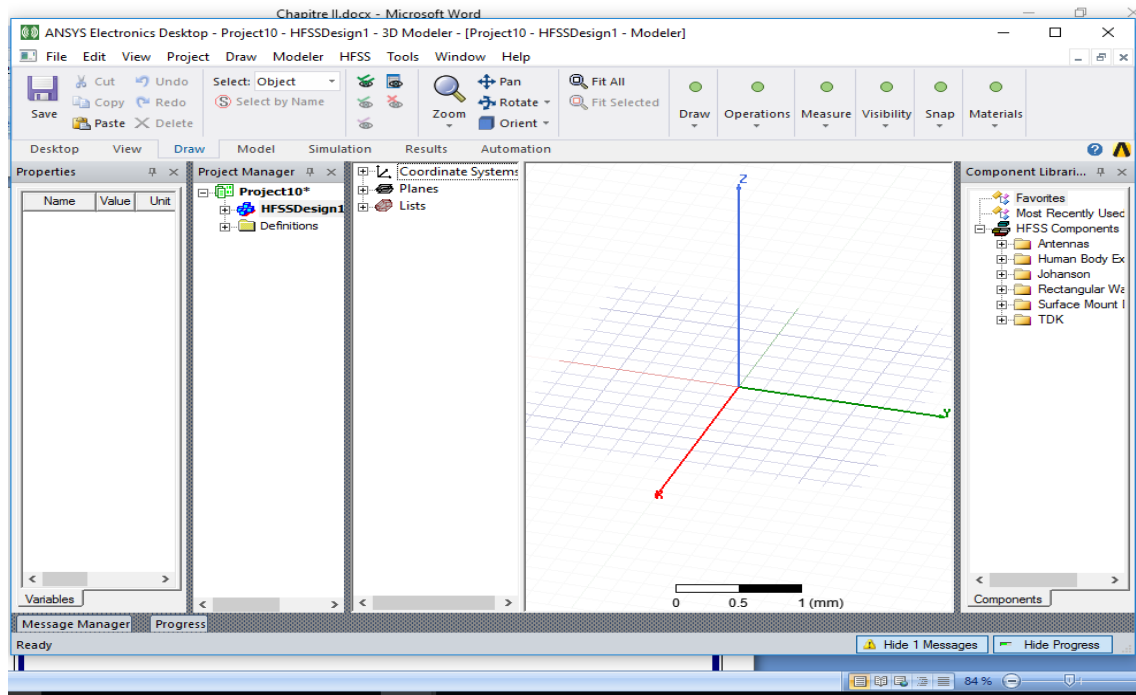
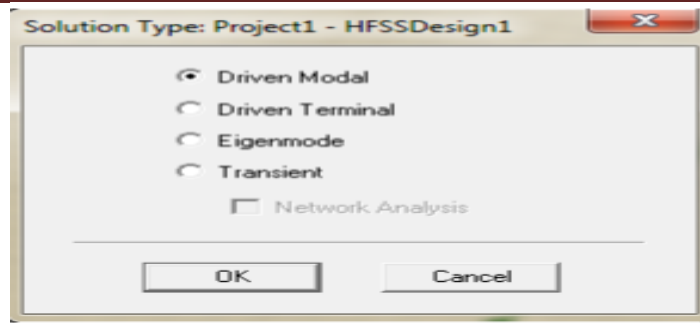


Figure II-3 : Fenêtre de HFSS.

### II-8 Choix du type de solution

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

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS



.Figure II-4: Boîte de dialogue du Type de Solution

- **Driven Modal** : Permet de calculer S11 d'une structure en haute fréquence en fonction des ondes incidentes et réfléchies [25].
- **Driven Terminal** : nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les microrubans, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source [25].
- **Eigen mode** : Permet de calculer la fréquence de résonance de la structure et les champs à ces fréquences [25].

### II-9 Arrangement des Unités du Modèle de Mesure

Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente. Sur le menu "Modeler", puis cliqué sur "Units", la boîte de dialogue "Set Model Units" apparaît figure II-5, Dans cette boîte de dialogue, on choisit l'unité à partir de la liste déroulante.

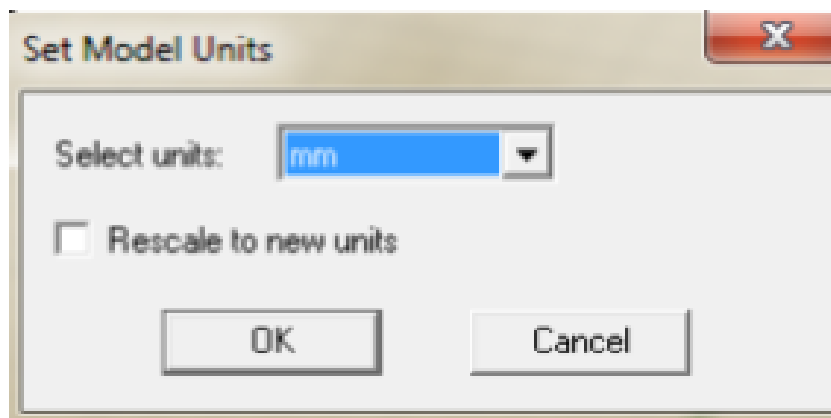
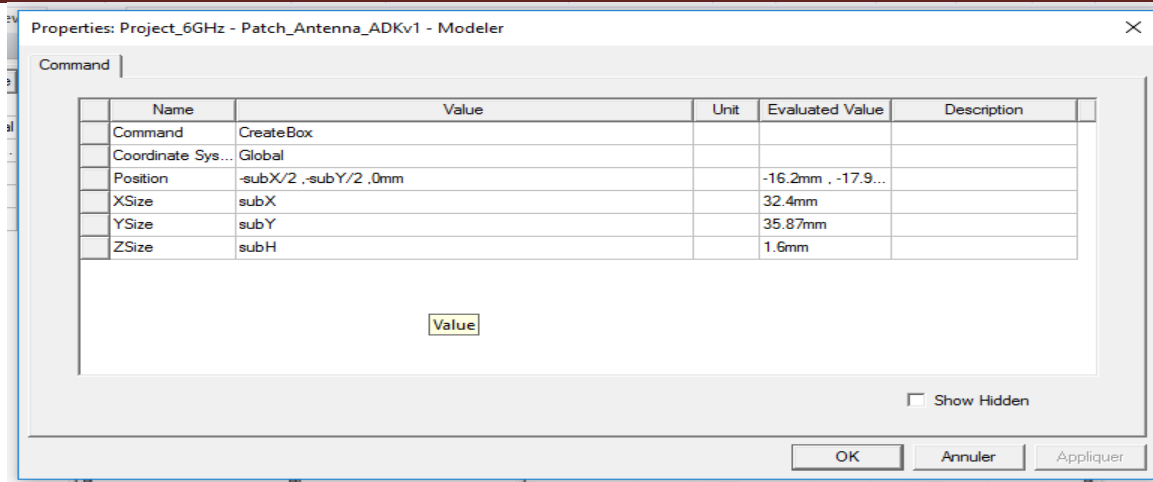


Figure II-5: Boîte de dialogue des Unités de Modèle.

### II-10 Créer le substrat

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

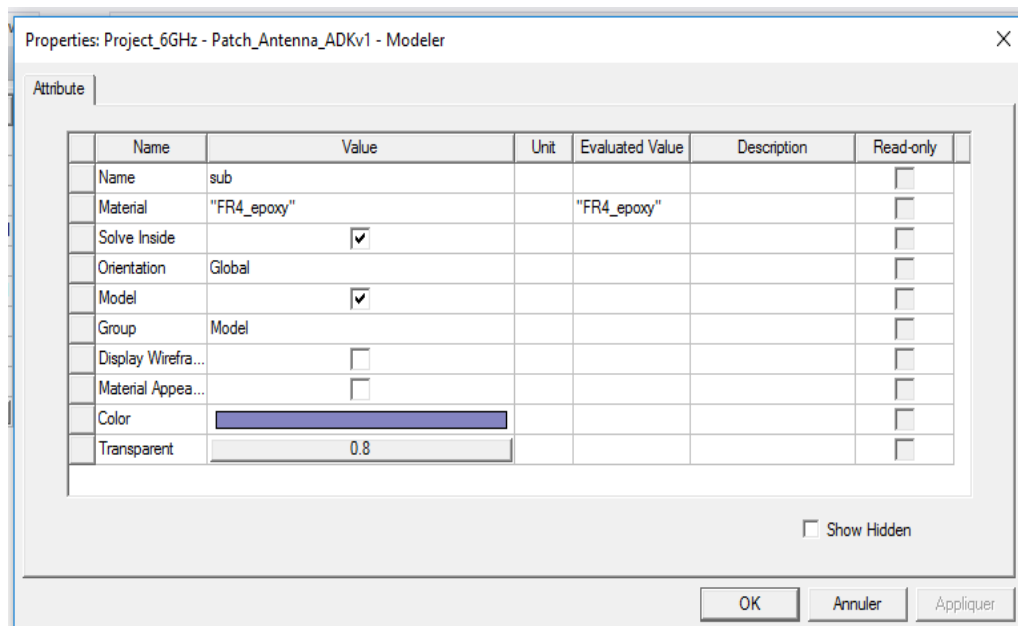
## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS



**Figure II.6:** Créer le substrat

Placer le nom et la choisir la matière de substrat :

- 1-Choisir la case Attribut à partir de la fenêtre de Prospérités.
- 2- Pour la Valeur du type Name: substrat.
- 3- Pour la Valeur du type Matériel: ("FR4\_epoxy")
- 4-Cliquer sur le Bouton OK



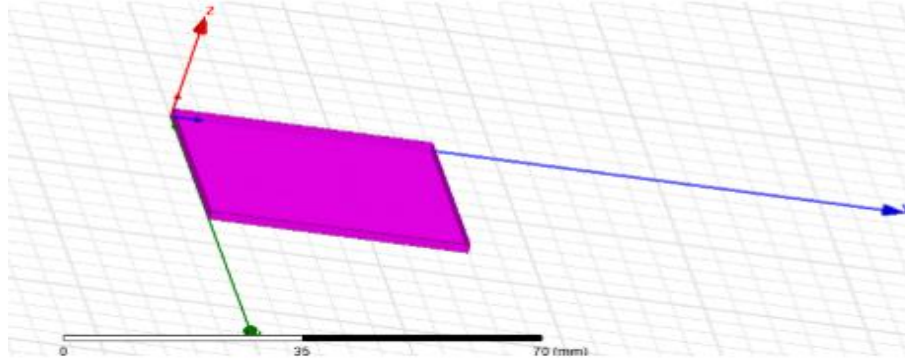
**Figure II.7 :** Créer le substrat

Adapter la vue:

Choisir dans le menu View> Fit All > Active View, ou appuyer sur les touches Ctrl + D (Raccourci). Le substrat est illustré dans la **Figure II.8**



## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

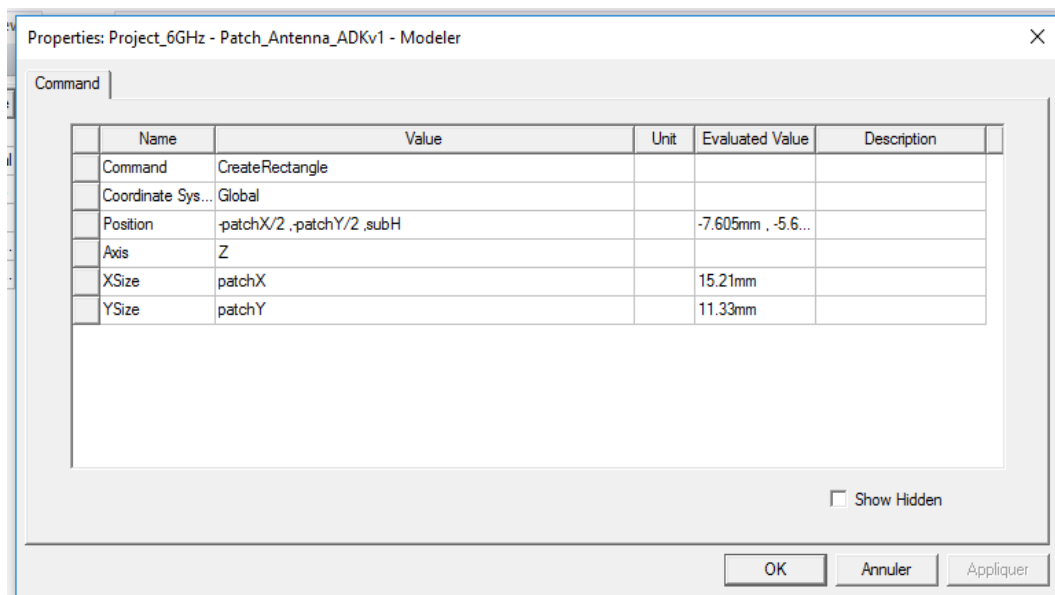


**Figure II.8 :** Le Substrat diélectrique.

On fait la même exécution pour le plan de masse (ground). Le plan de masse est spécifié par la condition aux limites d'un matériau parfaitement conducteur. Les coordonnées sont assignées comme suit : Le point de départ pour le plan de masse et le substrat est à (0,0,0). La longueur,  $L_s$ , du substrat et de la largeur,  $W_s$ , sont choisies en tant que 32.4 mm et 35.87mm et la hauteur  $h$  1.6 mm, et la longueur.

### II-11 Création du Patch

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



**Figure II.9:**Création du Patch

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

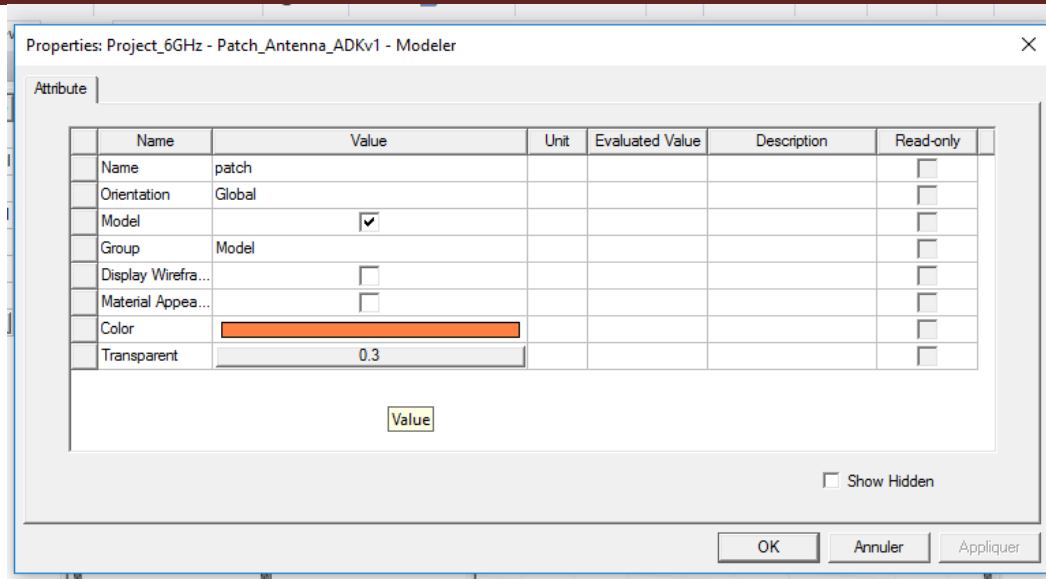


Figure II.10:Création du Patch

Après, dessiner la ligne microruban d'alimentation (Feed Line) en cliquant sur et suivre les mêmes étapes avec la position (Pf, 0, h). La longueur  $l_f$  est sur le plan  $y = 16.03$  mm, la largeur  $W_f$  est sur la plan  $X=3.059$  mm et la hauteur  $h$  (épaisseur).

La ligne d'alimentation et le patch ne doivent représentés qu'un seul objet. Ainsi, nous devons les unir. Noter que les deux objets sont du même matériau. Cliquer dessus les deux objets que vous devez unir, c.-à-d. patch et ligne d'alimentation dans l'arbre d'historique.

Cliquer dessus l'un des objets, en tenant la clef de CTRL enfoncée, et cliquer dessus sur l'autre objet. Cliquer par la droite Edit > Boolean > Unite. Les deux objets sont maintenant unis.

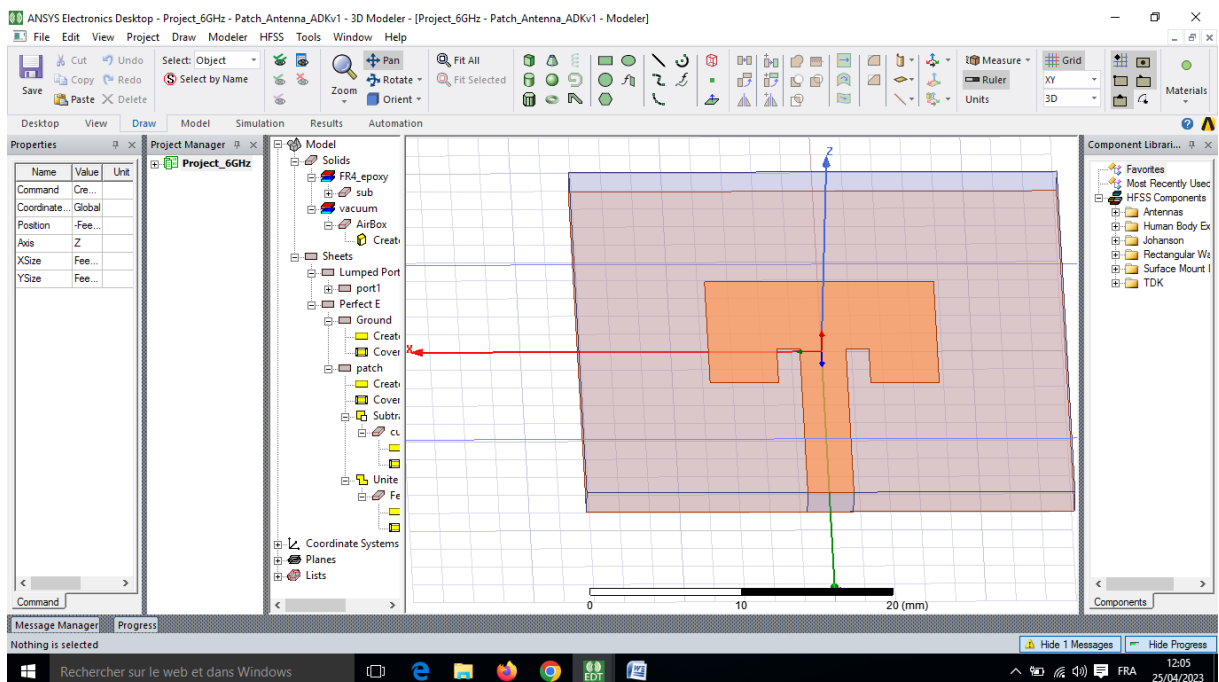

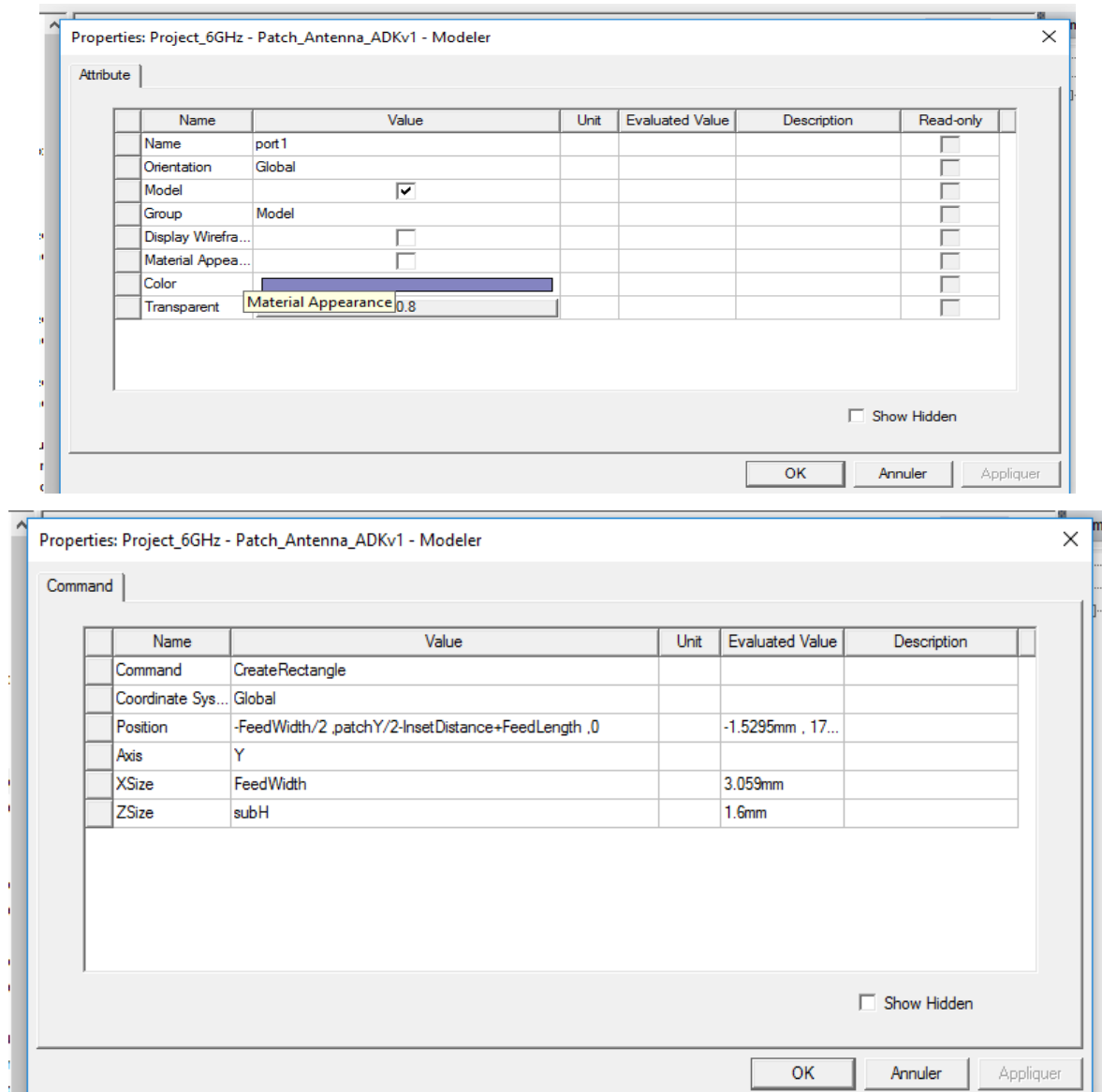


Figure II.11: représente le patch et la ligne d'alimentation représentant un seul objet.

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

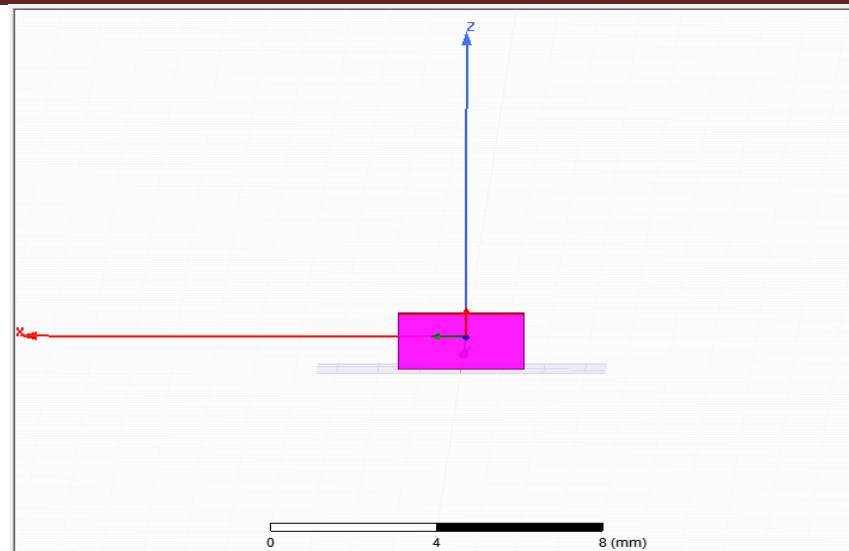
### II-12 Création du port (waveport)

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



**Figure II.12:** ci-dessous représente le port dans le plan

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS




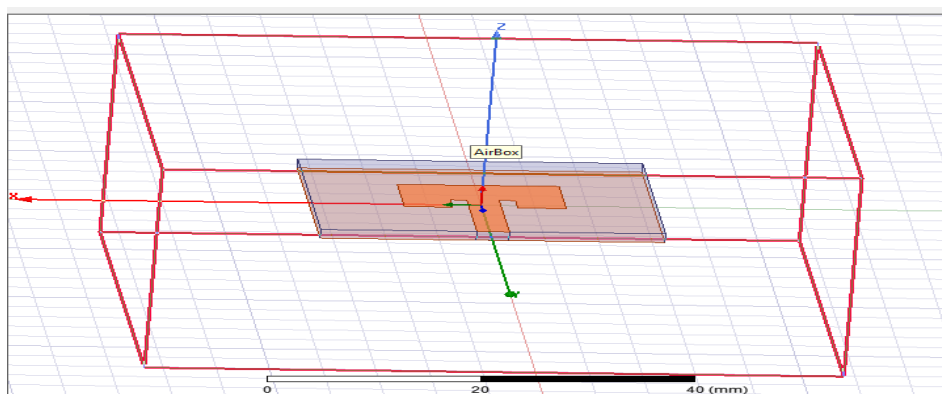
**Figure II.13:** Le port

### II-13 Assigner les conditions aux frontières

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

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

Pour dessiner la boîte d'air, cliquer sur  dessus la barre d'outils. Dessiner alors une boîte en remplissant les mêmes étapes que précédemment à la position  $(-K,-K,-K)$  et  $K=7.5$ . La longueur,  $L$  sur le plan  $y = 69.1802\text{mm}$ , la largeur  $W$  sur le plan  $x = 65.7102\text{mm}$  et la hauteur (épaisseur)  $h$  sur le plan  $z=36.5102\text{ mm}$ . la figure II-13 représente l'air dans le 3D Modeler.



**Figure II.14:** Le boîtier d'air

### II-14 Assigner une excitation au port d'alimentation

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

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

Pour le type de solution "Driven Model" nous avons les types d'excitations suivantes: **Wave Port** : Représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.

**Onde Incidente** : Représente la propagation d'une onde incidente sur la géométrie. **Lumped Port** : Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.

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

**Volotage Source** : Représente un courant électrique constant à travers les points d'une alimentation.

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

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

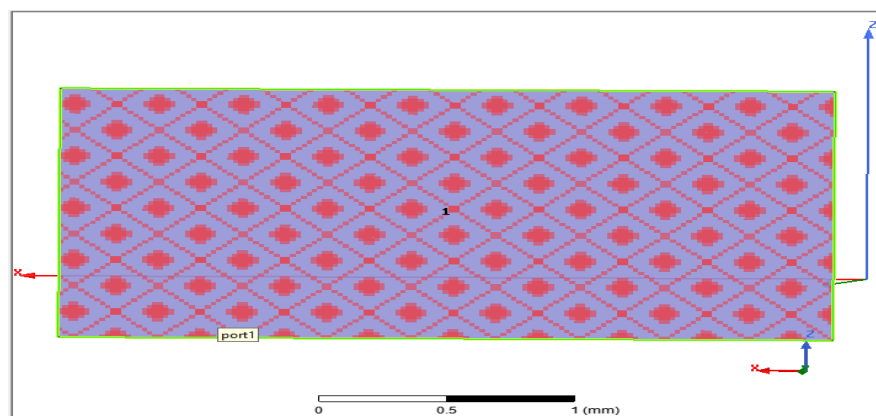


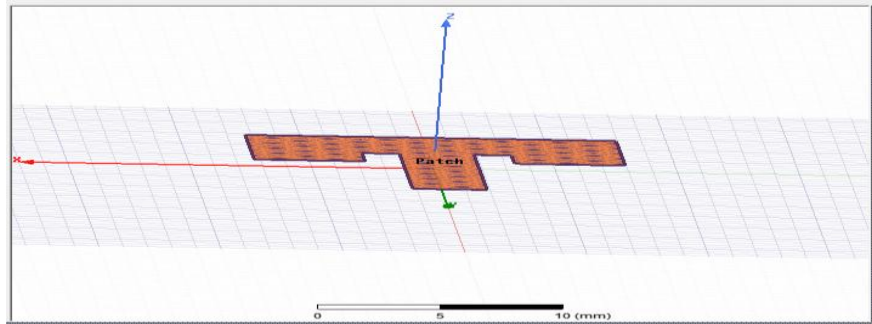
Figure II.15: Lumped port.

### II-15 Assigner les conditions aux limites

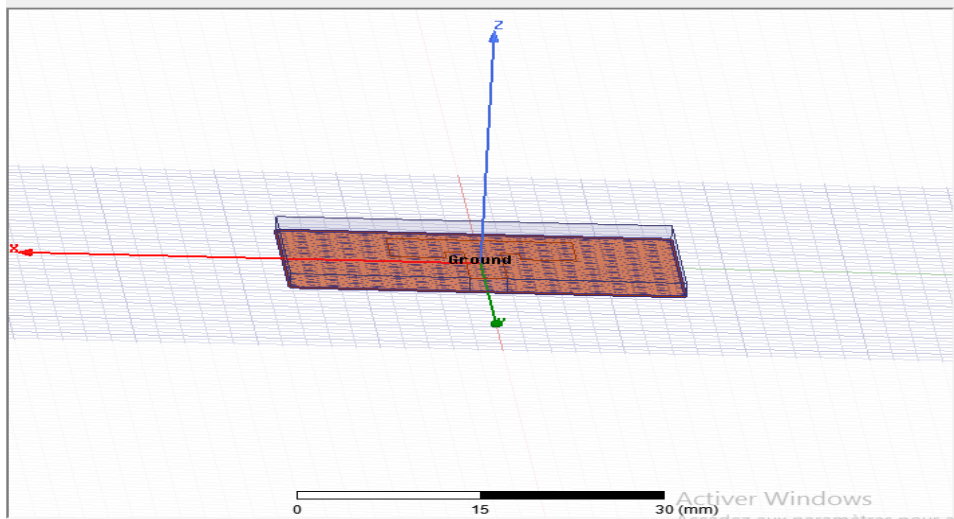
Dans HFSS, les frontières de rayonnement "Radiation Boundaries" sont utilisées pour simuler les problèmes à géométries ouvertes avec un rayonnement infini dans l'espace, comme dans le cas des antennes. Elles absorbent les ondes au niveau des 5 faces supérieures du box. Deux types de conditions aux limites seront utilisés pour cette antenne, il s'agit de "Perfect E" et "Radiation". Nous commençons par le dessin d'un objet virtuel (air box) rayonnant autour de la structure. Toutefois, au lieu de placer un périmètre de rayonnement sur les surfaces, on ajoute les frontières sur les 5 faces supérieures du box afin d'absorber le champ électromagnétique. Le box constitue le domaine de calcul (compilation domain) sur lequel deux types de "Boundaries" existent. En effet, sur les quatre faces latérales du box et sur la surface du sommet on assigne la condition aux frontière type

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

"Radiation" ou "Perfect H". Pour le patch (le plan de rayonnement) et le plan de masse (ground) choisir Perfect E. Choisir dans le menu HFSS >Boundaries>Assign>Perfect E. Les Figure II.16 et II.17 ci-dessous présentent la distribution d'amplitude du champ électrique au voisinage de l'antenne.



**Figure II.16:** Assignment de la condition "Conducteur parfait" pour le patch, la ligne microstrip d'excitation et le transformateur d'adaptation.



**Figure II.17 :** Assignment de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse  
Pour air choisir right click >Assign Boundary > radiation.

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

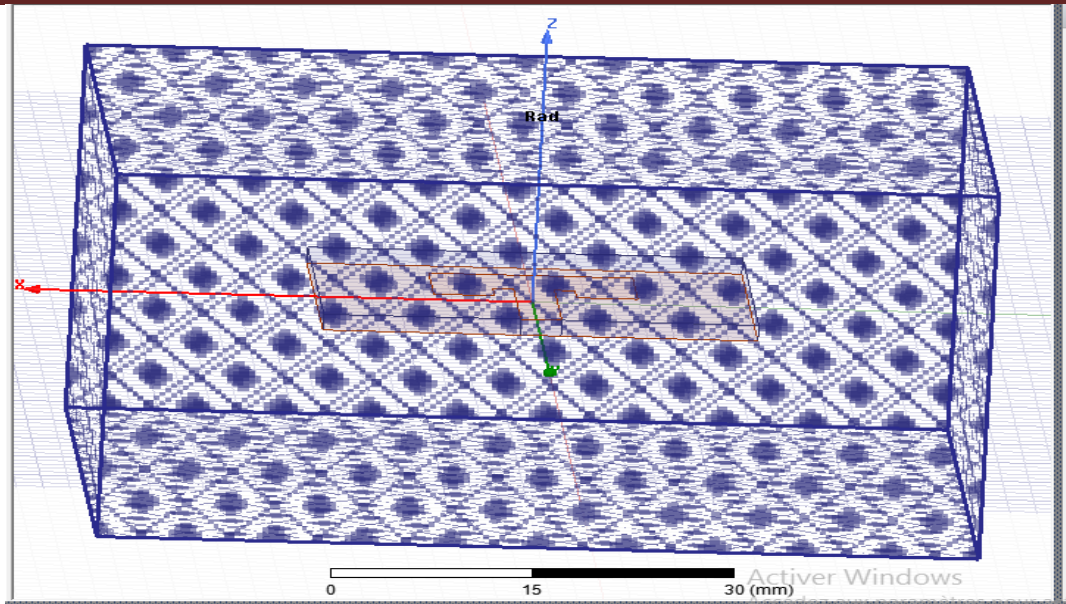


Figure II.18: Assignement des frontières

### II-16 Créer une installation d'analyse (analysis setup)

- 1) Choisir „Add Solution Setup“ dans le menu HFSS >Analysis Setup >Add Solution Setup.
- 2) Dans la Fenêtre de Solution Setup
  - Cliquer sur la case General.
  - Cliquer sur le Bouton OK.

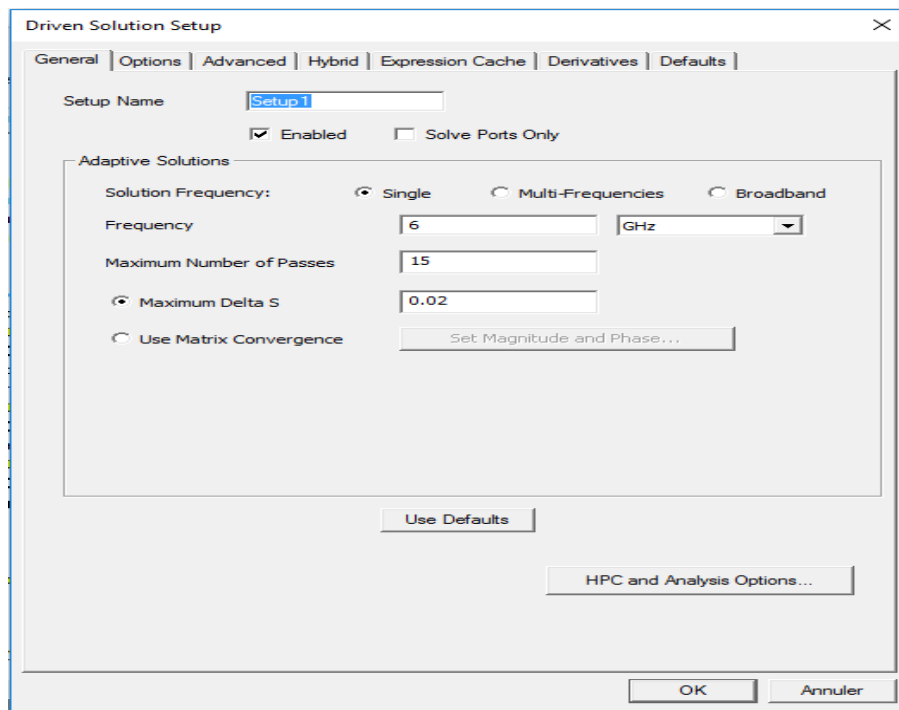


Figure II.19 : analysis setup

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

### II-17 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep)

Pour ajouter un champ de fréquence, choisir (Add Sweep) dans le menu HFSS >Analysis Setup >Add Sweep. Choisir la solution pour installer : Setup1. Cliquer le bouton OK. La fenêtre du type de champ de fréquence s'active alors : Fast Frequency Linear Count, Start: 3 GHz, Stop: 9 GHz, Count: 200. Cliquez OK

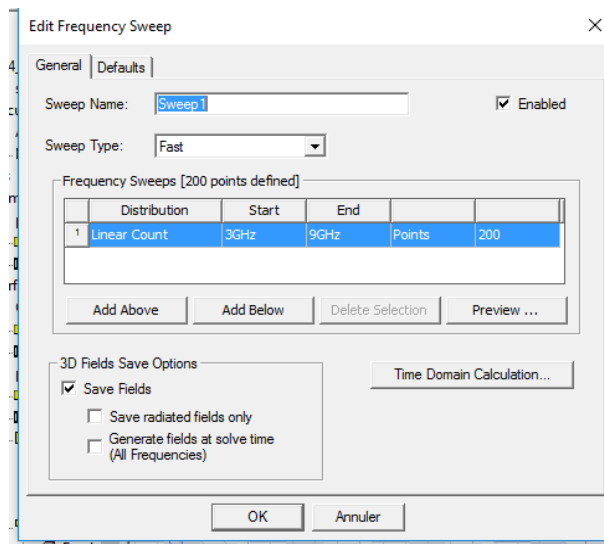


Figure II.20: Add Frequency Sweep

### II-18 Analyse

□ Pour valider le modèle:

- 1) Choisir Check dans le menu HFSS > Validation > Check.
- 2) Cliquer sur le Bouton Close.

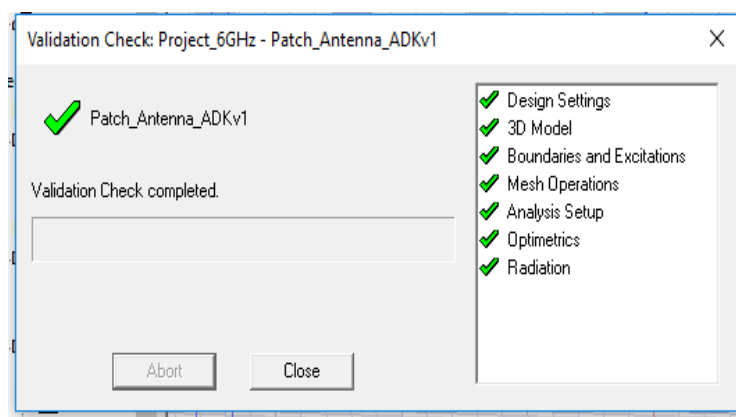


Figure II.21: Validation

□ Pour commencer le processus de solution:

- Choisir dans le menu HFSS >Analyze All.



## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

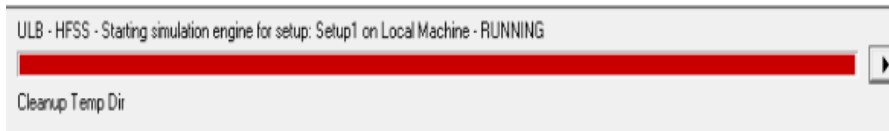


Figure II.22 : Analyze All

### II-19 Créer les rapports

Après la simulation, pour créer le rapport de données de solution, il faut suivre les étapes suivantes : HFSS > Result > CreateReport.

- **Terminal S Parameter**

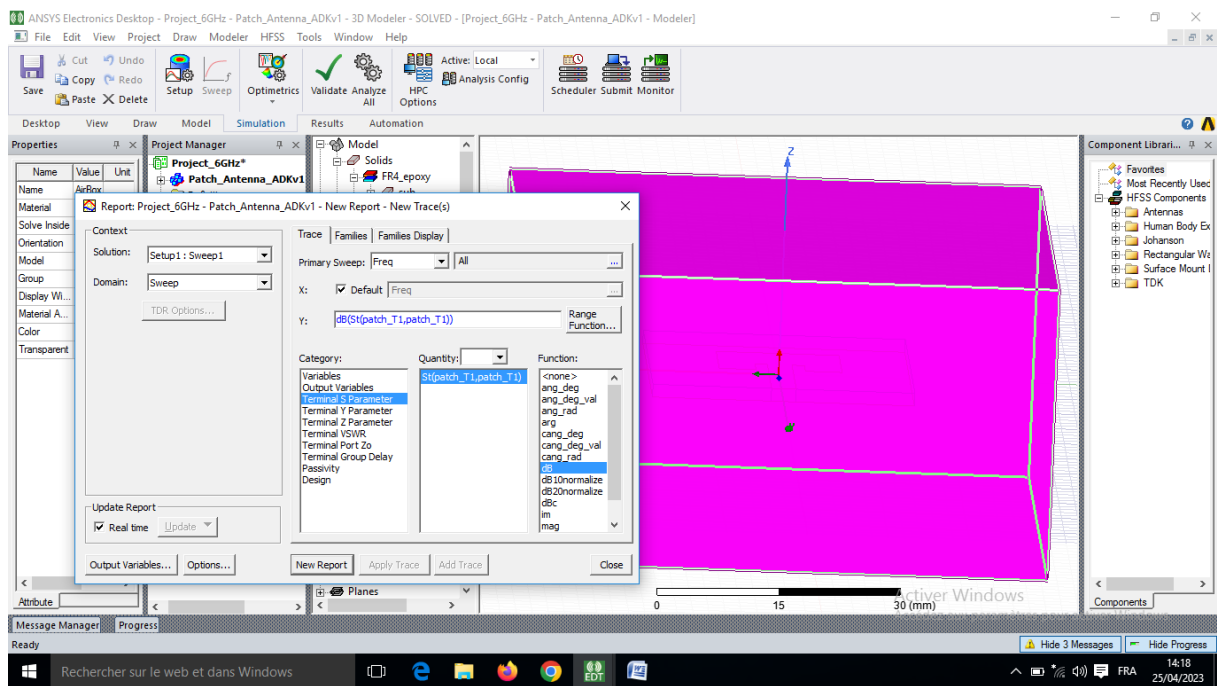


Figure II.23: Terminal S

# Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

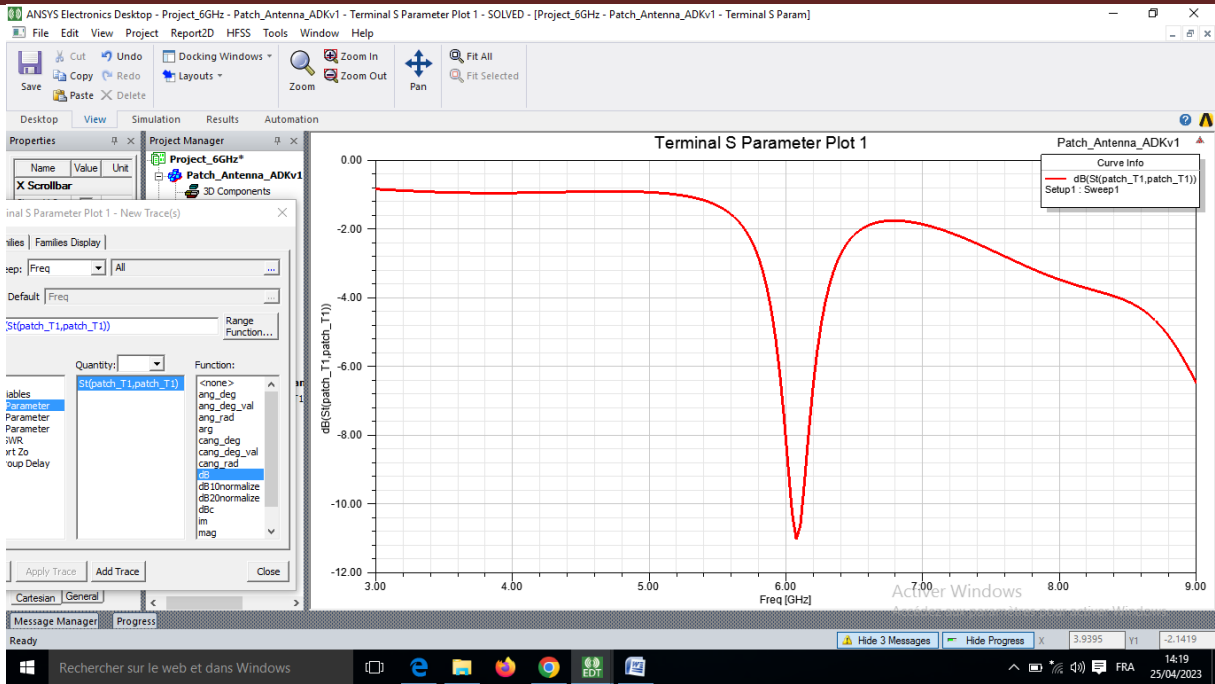


Figure II.24: S11

- **Le Gain**

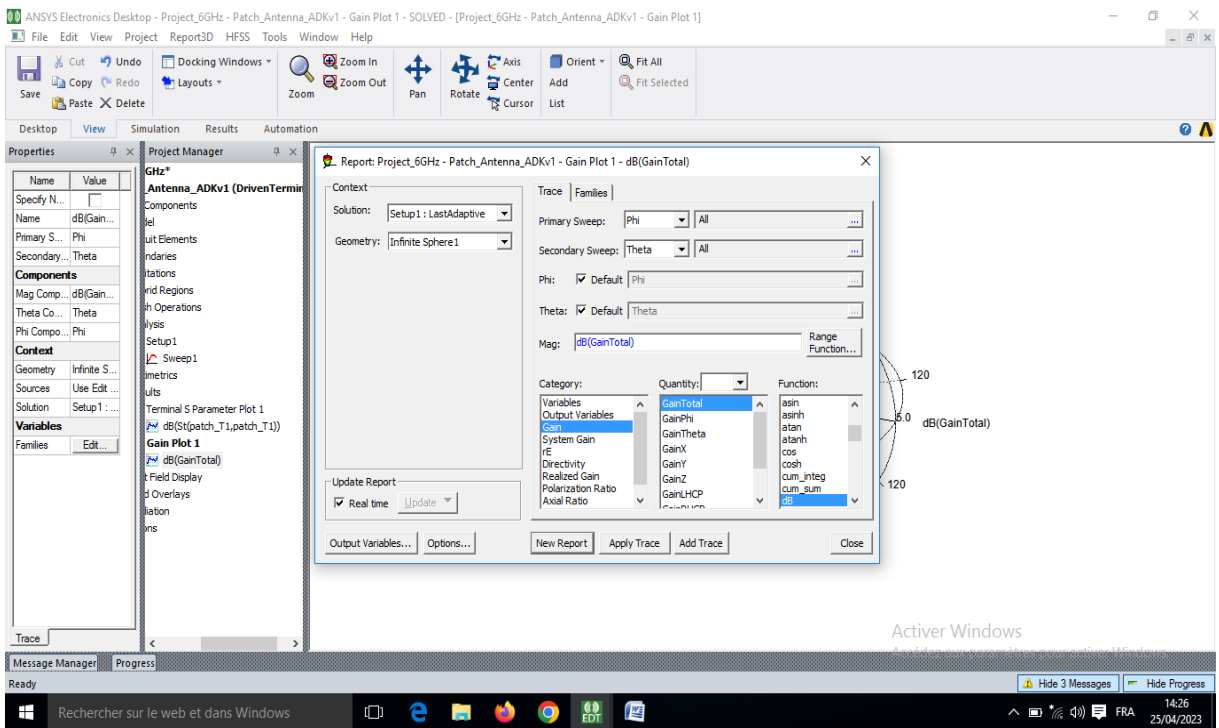


Figure II.25: Le Gain (a)

## Chapitre 2: Présentation du logiciel HFSS

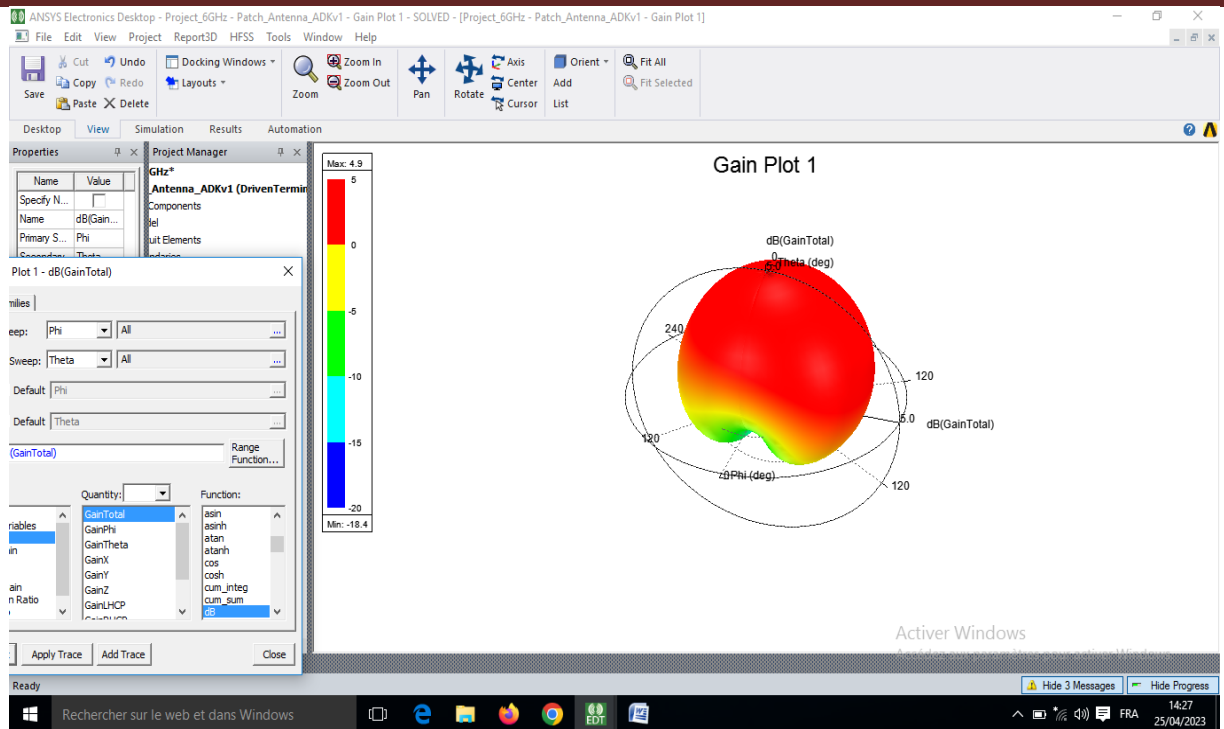


Figure II.26: Le Gain (b)

### II-20 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné et expliqué les différentes étapes de création d'un design HFSS; illustrations faites sur une antenne patch rectangulaire excitée par une ligne microstrip.

**CHAPITRE III :**  
**OPTIMISATION, RÉSULTATS**  
**ET DISCUSSION**

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

---

### III- 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons l'effet de l'insertion des patchs parasites sur les performances des antennes patch. Les antennes patch sont largement utilisées dans diverses applications de communication sans fil, de radars et de systèmes de navigation en raison de leurs caractéristiques intéressantes telles que leur faible profil, leur directivité élevée et leur large bande passante. Cependant, pour répondre aux exigences croissantes de ces applications, il est nécessaire de rechercher des techniques d'amélioration des performances des antennes patch.

L'insertion de patchs parasites représente l'une de ces techniques prometteuses pour améliorer les performances des antennes patch. Les patchs parasites sont des éléments ajoutés à l'antenne patch de base pour modifier son comportement de rayonnement et optimiser ses performances. Ces patchs parasites peuvent être des éléments métalliques adjacents à l'antenne principale.

Ce chapitre est consacré à la conception et à l'étude d'une antenne patch rectangulaire avec encoche à substrat FR-4 (lossy) alimentée par une ligne micro ruban.

Nous apporterons ensuite quelques modifications à une antenne patch rectangulaire en y insérant quelques éléments parasites.

Nous essayons ensuite de mener une étude paramétrique pour comprendre les effets des divers paramètres afin de les optimiser et d'aboutir à une structure finale efficace. Ceci est fait à l'aide de l'outil de simulation électromagnétique "HFSS".

Ce chapitre est divisé en Cinq parties :

- Conception d'une antenne patch avec une fréquence de résonance 6 GHz
- Conception d'une antenne patch avec un élément parasite
- Conception d'une antenne patch avec deux éléments parasites
- Conception d'une antenne patch avec trois éléments parasites
- Etude comparative

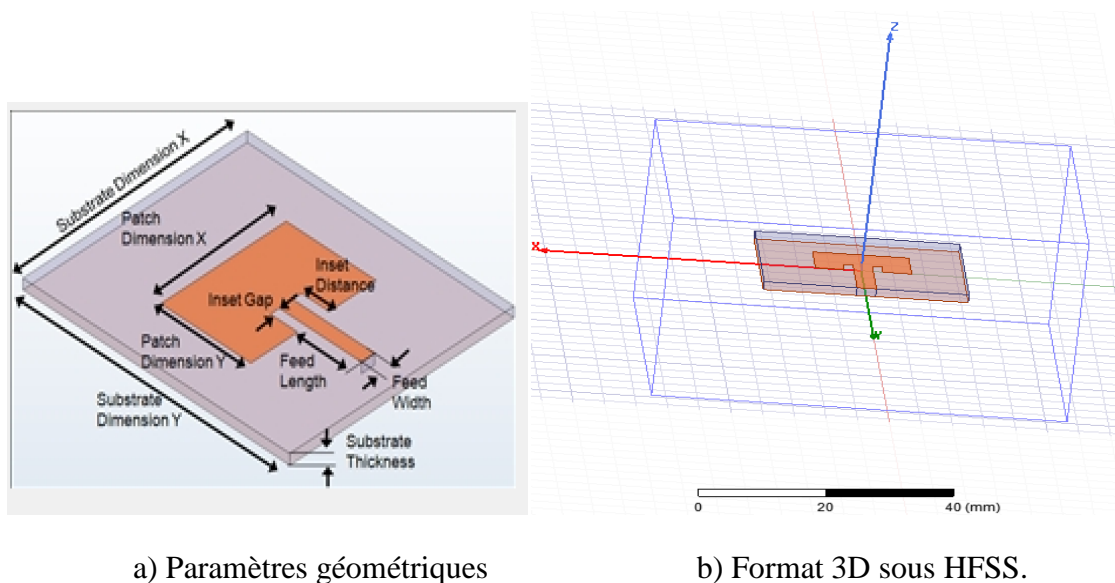
# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

## III-2 Conception d'une antenne patch 6 GHz

La structure d'antenne patch de base se compose d'un patch et d'un substrat de type FR4\_epoxy avec une fréquence de résonance 6GHz, et permittivité relative de 4,4, une épaisseur de 1,6 mm et tangente de perte 0.02.

### III-2.1 Géométrie de l'antenne

La figure ci-dessous illustre la structure de l'antenne patch a étudié. Il s'agit d'un patch rectangulaire imprimé sur un substrat diélectrique dont la face inférieure (plan de masse) est complètement métallisée.



a) Paramètres géométriques

b) Format 3D sous HFSS.

**Figure III.1:** Antenne Patch de base.

### III-2.2 Dimensions de l'antenne

Le tableau suivant indique les dimensions de l'antenne :

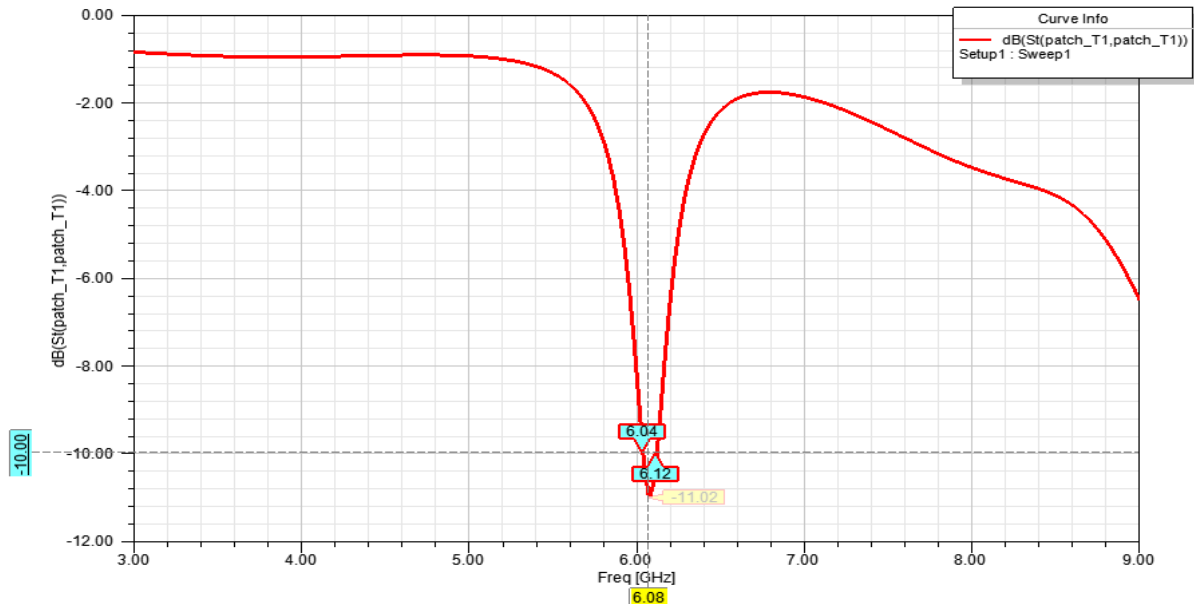
Units	Patch X	Patch Y	Sub H	Sub x	Sub y	Inset Distance	Inset Gap	Feed Width	Feed Length
Mm	15.21	11.33	1.6	32.4	35.87	3.761	1.529	3.059	16.03

**Tableau III.1:** Dimensions de l'antenne.

En utilisant HFSS et les étapes présentées dans le deuxième chapitre nous avons réalisé la géométrie de l'antenne fonctionnant à une fréquence de résonance  $F_r=6\text{GHz}$ .

## III-3 Paramètres de l'antenne

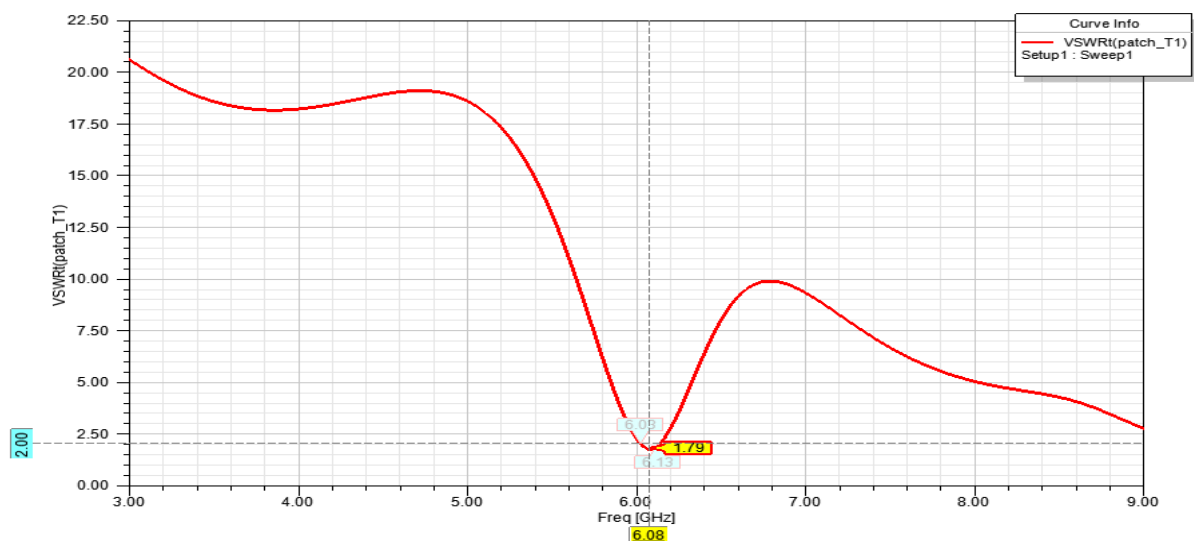
### III-3.1 Coefficient de réflexion (S11 en dB) et Bande passante



**Figure III.2:** Coefficient de réflexion et bande passante (Antenne de base)

La figure III.2 montre deux paramètres de base, le coefficient de réflexion S11 (en dB) de l'antenne patch de 6 GHz en fonction de la fréquence, simulé par le logiciel HFSS et la bande passante. Ces résultats montrent que l'antenne présente une bonne adaptation dans la bande [6.04, 6.12GHz], avec un coefficient de réflexion inférieur à -10dB. Un coefficient de réflexion minimal de -11.02dB est obtenu à la fréquence de 6.08GHz.  $BP = F_{max} - F_{min} = 6.12 - 6.04 = 0.08$  GHz. Cette antenne présente une bande passante de 0.08 GHz

### III-3.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR)



**Figure III.3:** VSWR de l'antenne de base.

# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

La courbe VSWR simulée de l'antenne patch conçue est représentée sur la Figure III.3. Le VSWR d'antenne de base est égale à 1.79 à fréquence 6.08 GHz, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission ( $VSWR \leq 2$ ,  $S_{11} \leq -10dB$ ).

### III-3.3 Diagramme de rayonnement (Gain en 2D et en 3D)

Les figures III.4 et III.5 présentent respectivement le diagramme de rayonnement en 2D et en 3D de l'antenne pour la fréquence 6.075GHz. D'après ces figures, l'antenne rayonne dans a direction de rayonnement max ( $\theta=0^\circ$  et  $90^\circ$ ,  $\varphi =0^\circ$  et  $90^\circ$ ) avec un gain max de 5.1dB.

#### III-3.3.1 Gain en 2D

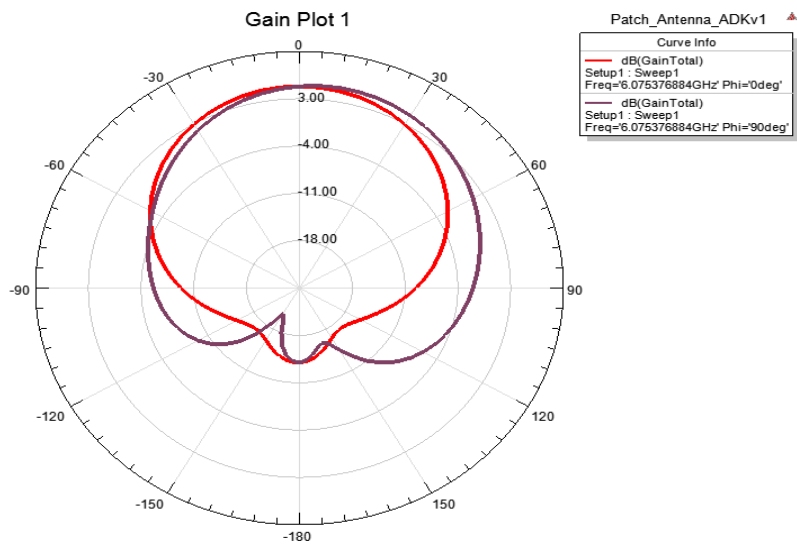


Figure III.4: Gain en 2D de l'antenne de base.

#### III-3.3.2 Gain en 3D

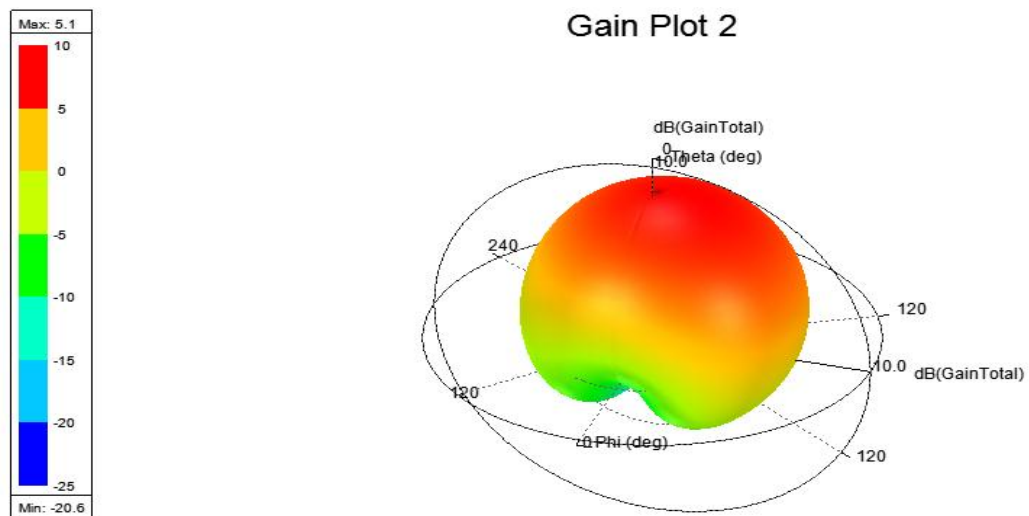


Figure III.5: Gain en 3D de l'antenne de base.



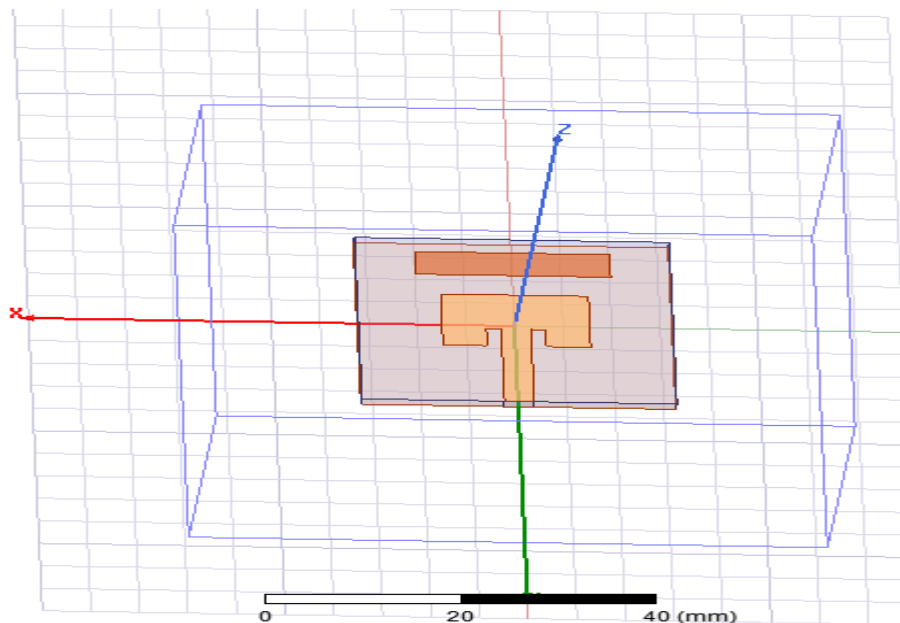
## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

### III-4 Antenne patch avec un élément parasite (Antenne I)

Les éléments parasites sont utilisés dans les antennes patch pour améliorer et optimiser leurs performances. Nous utilisons l'antenne de 6GHz réalisée dans la section précédente pour la conception d'une autre antenne avec un élément parasite. Le but est d'améliorer les paramètres de l'antenne de 6GHz à savoir ; coefficient de réflexion, bande passante, taux d'onde stationnaire, et diagramme de rayonnement.

Il est à noter que les paramètres (dimensions et permittivité  $\epsilon$ ) de l'antenne conventionnelle de 6GHz ne sont pas affectés, le seul changement est l'insertion d'un élément parasite rectangulaire au voisinage du patch. Cette antenne est nommée par la suite Antenne I.

#### III-4.1 Géométrie de l'antenne I

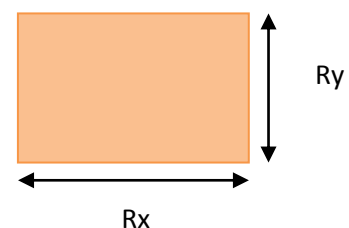


**Figure III.6:** Géométrie de l'antenne avec un élément parasite

La **Figure III.6** montre la conception d'antenne proposée à l'aide du logiciel HFSS. Il se compose d'un élément parasite rectangulaire.

#### III-4.2 Dimensions de l'élément parasite

Afin d'optimiser la géométrie de l'élément parasite rectangulaire incorporé dans le plan du patch de l'antenne de 6GHz, une étude paramétrique est effectuée. Pour cela les dimensions de l'élément parasite sont modifiées selon le tableau III.2.



# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

Les dimensions de l'élément parasite sont modifiées comme suit: Rx de 5 mm jusqu'à 20 mm avec un pas de 2 mm, et Ry de 2 mm jusqu'à 8.5 mm avec un pas de 2.5 mm, qui sont indiquées ci-dessous. Ces limite de dimensions sont choisi afin d'éviter le chevauchement de l'élément parasite avec le patch rayonnant.

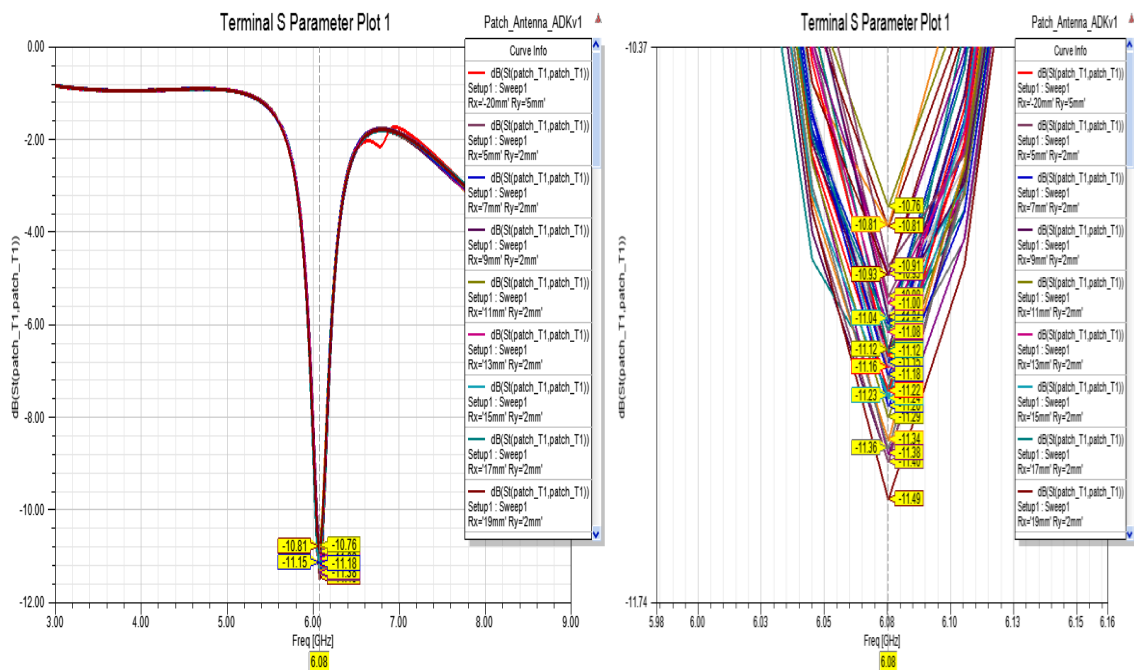
Rx	Ry
[5 :2 :20]	[2 :2.5 :8.5]

**Tableau III.2:** dimensions de l'élément parasite.

## III-5 Paramètres de l'Antenne I

### III-5.1 Coefficient de réflexion

L'effet de la variation de dimensions de l'élévnt parasite est illustré dans la **Figure III.7** On remarque que cette variation affecte le coefficient de réflexion. La valeur minimal du S11, qui correspond au meilleur coefficient de réflexion, est obtenue en utilisant les dimensions Rx=11mm et Ry=7mm. Un coefficient de réflexion de -11.49 dB est obtenu à la fréquence 6.08 GHz ce qui présente une meilleur adaptation par rapport à l'antenne conventionnelle (-11.42 dB).



**Figure III.7:** Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de Rx et Ry.

# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

## III-5.2 Bande passante

On constate que les bandes passantes des différentes dimensions de l'élément parasite sont approximativement égales et varient entre [6.03 ; 6.12] GHz et [6.04 ; 6.13] GHz.

On en déduit que l'élément parasite n'a pas affecté fortement la bande passante de l'antenne.

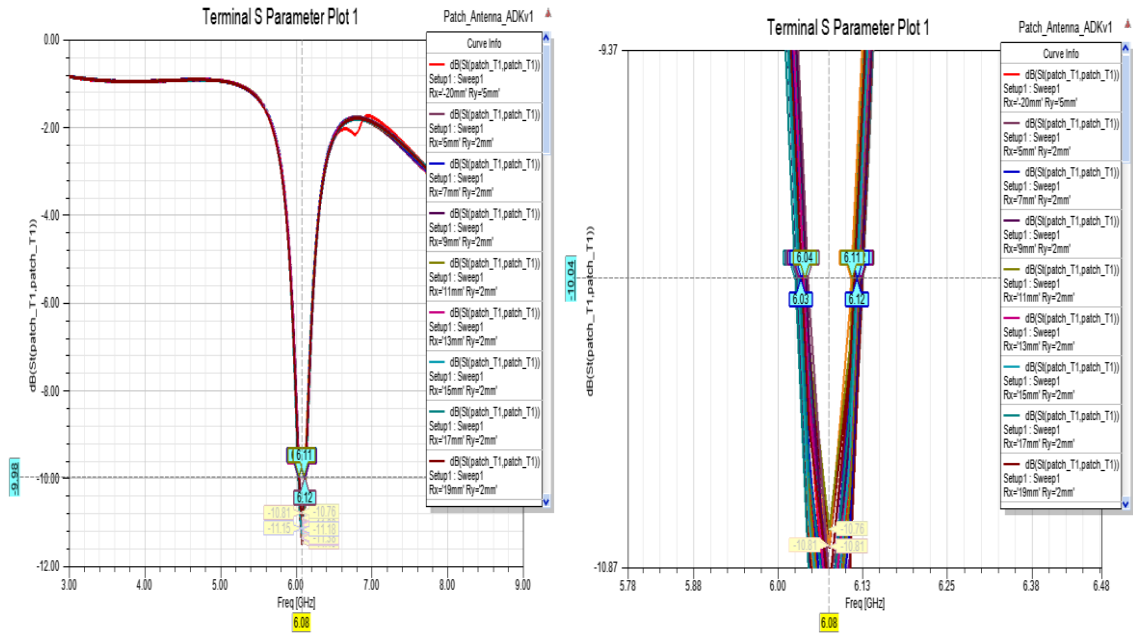


Figure III.8: Bande passante pour différentes valeurs de  $R_x$  et  $R_y$ .

## III-5.3 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

On remarque que VSWR évolue entre 1,73 et 1,80 pour différentes dimensions avec une fréquence de 6,08GHz.

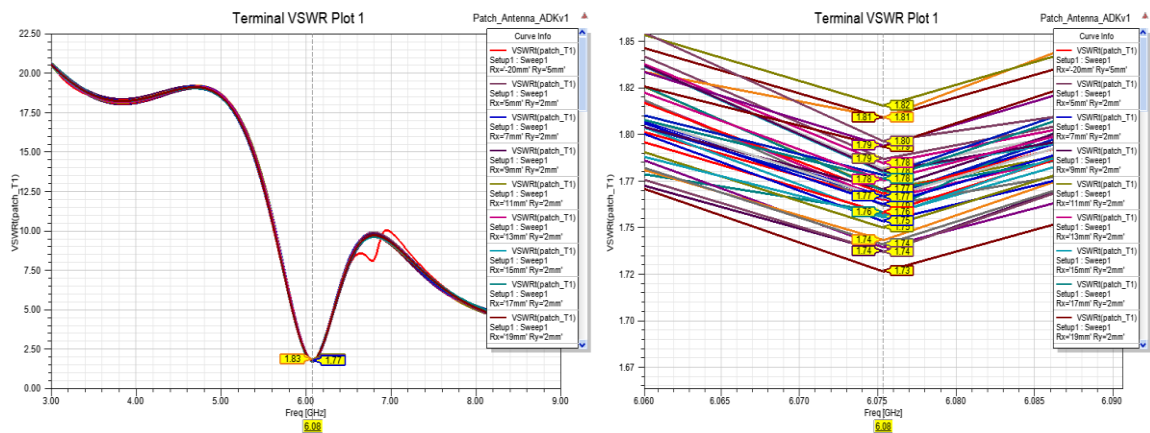
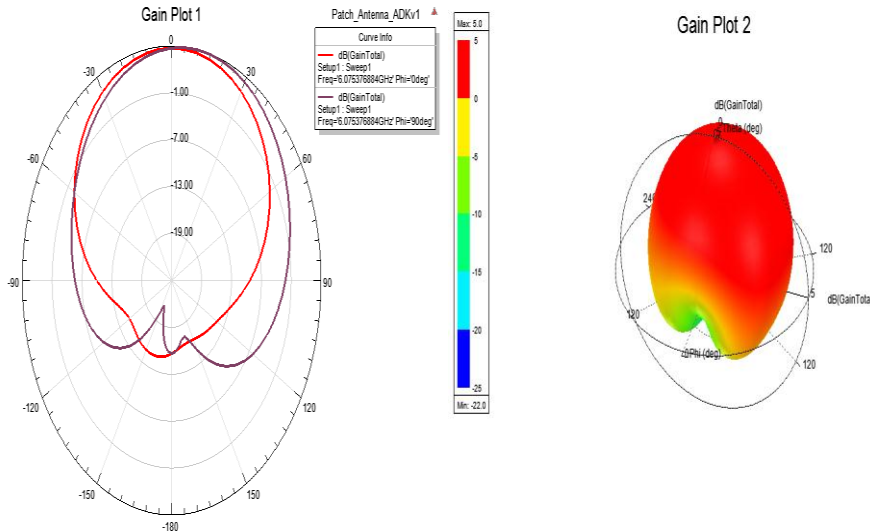


Figure III.9: VSWR pour différentes valeurs de  $R_x$  et  $R_y$ .

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

La meilleure valeur du VSWR (1,73 : valeur minimale), est obtenue en utilisant les dimensions  $R_x=11\text{mm}$  et  $R_y=7\text{mm}$ . Cette valeur permet une meilleure adaptation de l'antenne avec la ligne d'alimentation par rapport à l'antenne conventionnelle dont son VSWR est de 1.79.

### III-5.4 Gain 2D et 3D



**Figure III.10:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.08 GHz.

Après avoir modifié la première antenne en utilisant un élément parasite, une légère amélioration dans le coefficient de réflexion est observé ( $S_{11}=-11.48\text{GHz}$ ) et de même pour le VSWR (1.73dB), par rapport à l'antenne de base ( $S_{11}=-11.42\text{ dB}$ ) et VSWR (1.74).

Quant à la bande passante, elle n'a pas changé. L'antenne obtenue est nommée Antenne I

### III-6 Antenne patch avec deux éléments parasites Antenne II

Après avoir analysé les résultats obtenus avec l'antenne précédente lors de l'ajout d'un seul élément parasite, qui n'ont pas répondu à nos attentes, nous avons entrepris la conception d'une nouvelle antenne plus avancée. Cette nouvelle configuration intègre deux éléments parasites utilisant deux positions différentes, dans le but d'explorer des solutions alternatives pour améliorer les performances.

## III-6.1 Méthode 1 (Antenne II\_1)

### III-6.1.1 Géométrie de l'antenne II\_1

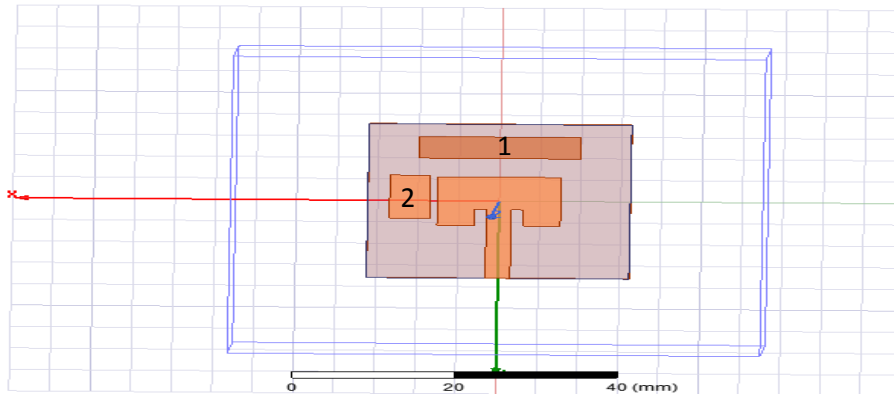


Figure III.11 : Géométrie de l'antenne II\_1.

L'antenne montrée dans la **Figure III.11** contient deux éléments parasites, un en haut (1) et l'autre à gauche (2).

### III-6.1.2 Dimensions des éléments parasites

Rx1	Ry1	Rx2	Ry2
[5 :2 :20] mm	[2 :1.5 :8.5] mm	[1 :1 :7] mm	[5 :1.5 :12] mm

Tableau III.3: dimensions des éléments parasites.

### III-6.1.3 Paramètres de l'antenne II\_1

- Coefficient de réflexion et bande passante

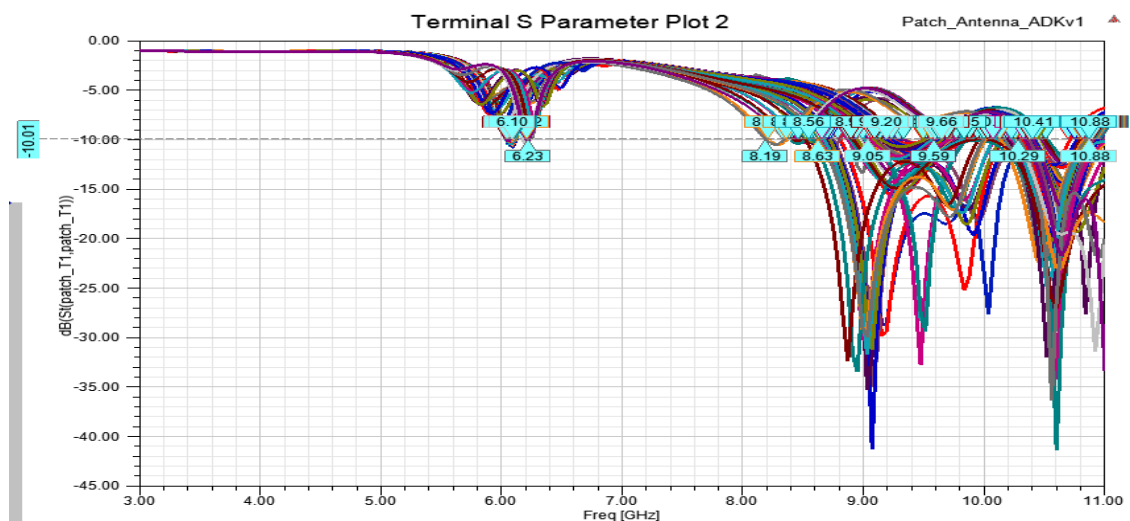


Figure III.12: S11 pour différentes valeurs de Rx1 , Ry1, Rx2 et Ry2.

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

La Figure III.12 présente les variations du coefficient de réflexion en fonction des dimensions des deux éléments parasites. Une observation importante est le comportement multi-bande qui se manifeste à mesure que les dimensions des éléments parasites changent. Cela signifie que l'antenne avec ces deux éléments parasites est capable de fonctionner sur plusieurs bandes de fréquences simultanément, offrant ainsi une polyvalence accrue par rapport à l'antenne d'origine. Cette caractéristique multi-bande est essentielle pour les systèmes de communication et de radar qui nécessitent une couverture large et efficace sur plusieurs fréquences.

Par la suite, nous présentons les résultats des différents comportements multi-bandes observés. Pour sélectionner le meilleur comportement, nous nous sommes basés sur la minimisation de la valeur de S11. En identifiant le comportement avec la plus faible valeur de S11, nous pouvons déterminer la configuration optimale des éléments parasites qui permettra d'obtenir les meilleures performances en termes d'adaptation d'impédance et de qualité de signal. Cette approche de sélection nous permet de garantir une efficacité maximale de l'antenne tout en assurant une réponse multi-bande satisfaisante.

### Comportement Triple bande

Le meilleur comportement Triple bande est obtenu en utilisant les dimensions : (Rx1, Ry1, Rx2, Ry2) = (5, 2, 2.5, 6.5) respectivement.

#### ➤ Coefficient de réflexion et bande passante

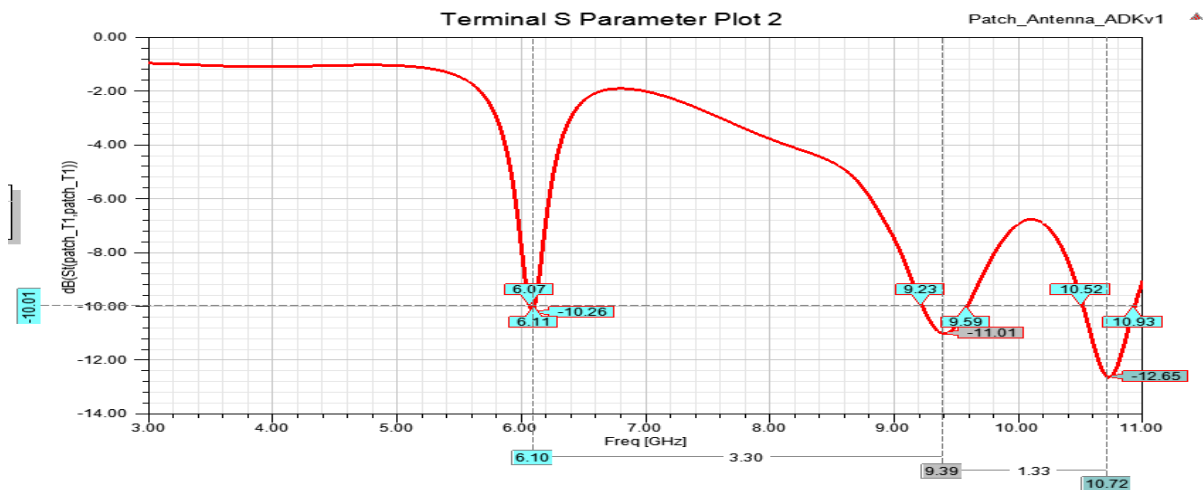


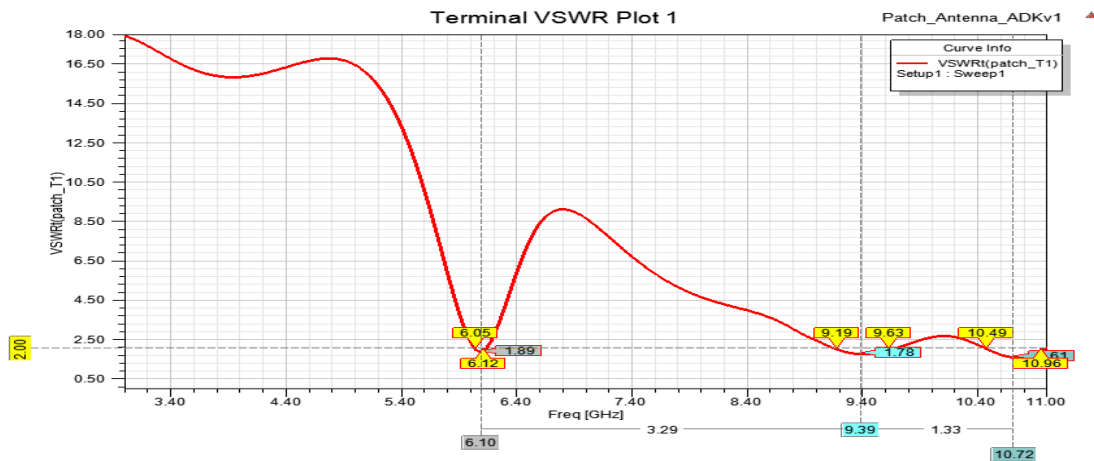
Figure III.13: S11 triple bande pour les éléments (1) et (2).

En analysant la Figure III.13, qui présente les variations du coefficient de réflexion de l'antenne avec la nouvelle conception, nous avons identifié la présence de trois bandes passantes distinctes. Les caractéristiques de chaque bande passante sont les suivantes :

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

1. La première bande passante, située entre 6,07 GHz et 6,11 GHz, présente une largeur de bande de 40 MHz. À la fréquence centrale de 6,10 GHz, le coefficient de réflexion atteint -10,26 dB, indiquant une bonne adaptation d'impédance dans cette plage de fréquences.
2. La deuxième bande passante s'étend de 9,23 GHz à 9,59 GHz, offrant une largeur de bande de 360 MHz. À la fréquence centrale de 9,39 GHz, le coefficient de réflexion est de -11,01 dB, témoignant d'une adaptation d'impédance efficace dans cette plage de fréquences.
3. La troisième bande passante se situe entre 10,52 GHz et 10,93 GHz, avec une largeur de bande de 410 MHz. À la fréquence centrale de 10,72 GHz, le coefficient de réflexion atteint -12,65 dB, indiquant une adaptation d'impédance optimale dans cette plage de fréquences.

### ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



**Figure III.14:** VSWR triple bande pour les éléments (1) et (2).

Dans la Figure III.14, nous avons présenté le taux d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne. Les valeurs obtenues sont les suivantes : 1,89 à la fréquence de 6,10 GHz, 1,78 à la fréquence de 9,39 GHz et 1,61 à la fréquence de 10,72 GHz. Ces valeurs relativement faibles de VSWR témoignent l'efficacité de l'antenne avec la nouvelle conception. Cela confirme que l'antenne est capable de fonctionner avec une adaptation d'impédance optimale dans ces plages de fréquences spécifiques, ce qui est essentiel pour une performance fiable et une transmission de signal de qualité.

## ➤ Gain 2D et 3D

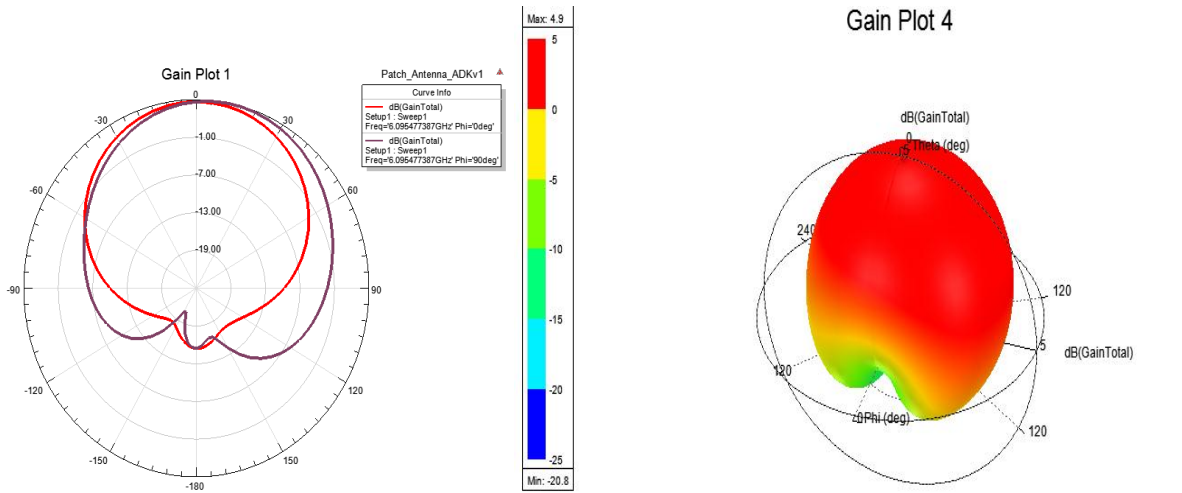


Figure III.15: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.10 GHz.

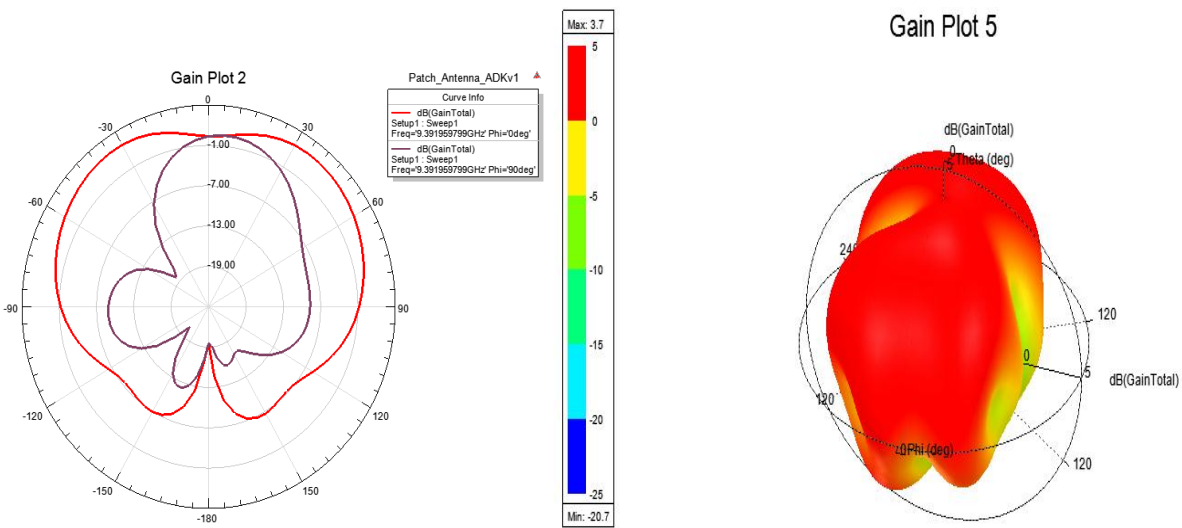
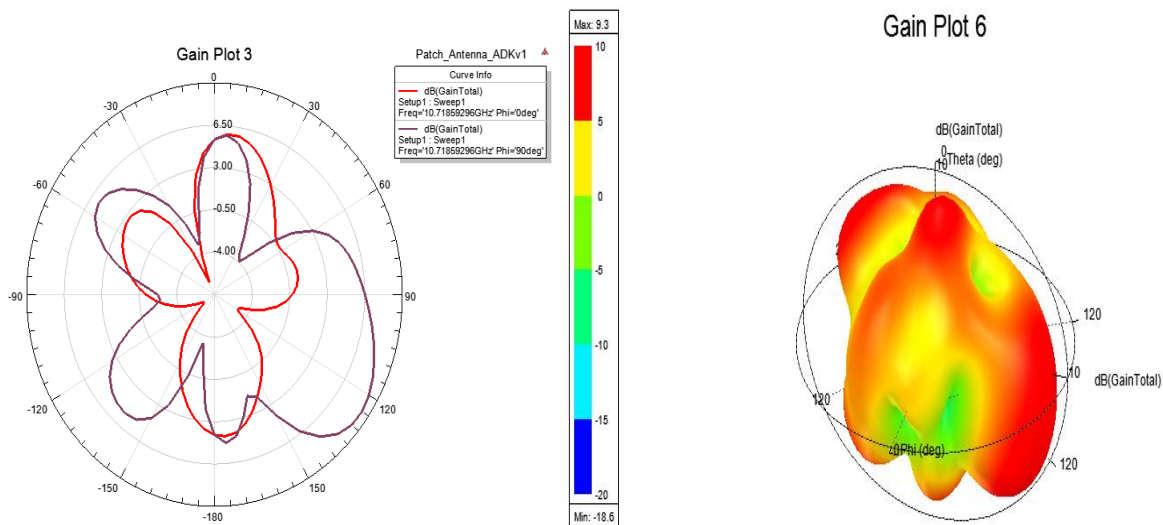


Figure III.16: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.39 GHz.





**Figure III.17:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.72 GHz.

Les figures III.15, III.16 et III.17 présentent les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D dans le plan E ( $\phi = 0^\circ$ ) et dans le plan H ( $\phi = 90^\circ$ ) de l'antenne pour les fréquences 6.10 GHz, 9.39 GHz et 10.72 GHz. L'antenne proposée présente des gains de 4.9dB, 3.7dB et 9.3 dB.

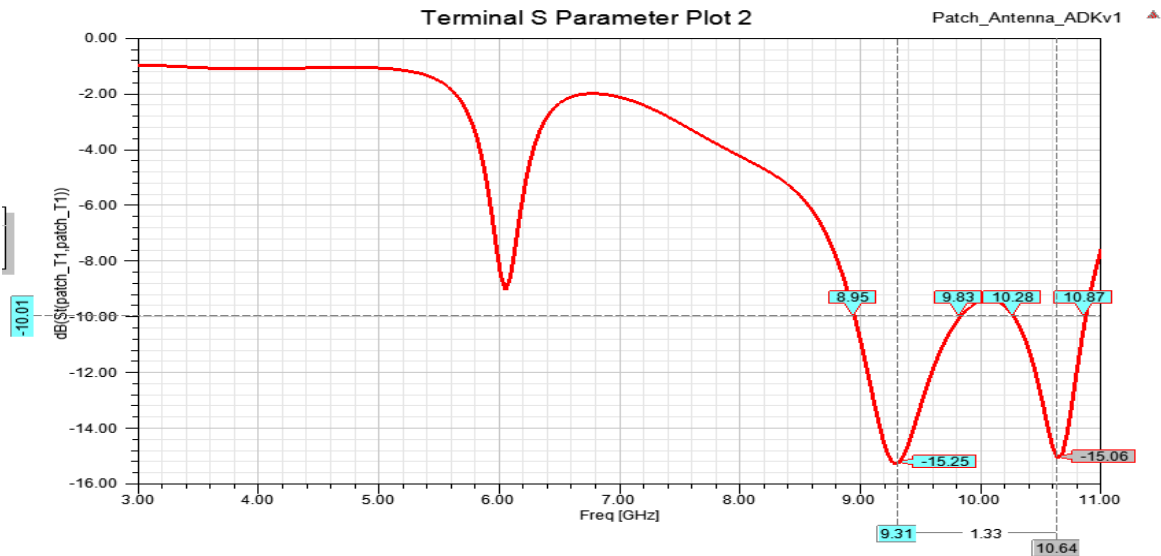
Ces résultats démontrent les performances améliorées de l'antenne avec l'ajout des éléments parasites, offrant des gains significatifs à différentes fréquences. Ces gains de rayonnement permettent une meilleure portée et une transmission de signal efficace pour les applications sans fil et les systèmes de communication.

Les résultats obtenus témoignent la capacité de l'antenne avec la nouvelle conception à fonctionner sur des plages de fréquences différentes, ce qui est crucial pour les applications nécessitant une couverture étendue.

### Comportement double bande

Le comportement double bande optimal est atteint en utilisant les dimensions suivantes : ( $R_x1, R_y1, R_x2, R_y2$ ) = (5, 5, 4.5, 9.5) respectivement. Ces valeurs de dimensions permettent d'obtenir une performance maximale dans les deux bandes de fréquences.

### ➤ Coefficient de réflexion et bande passante



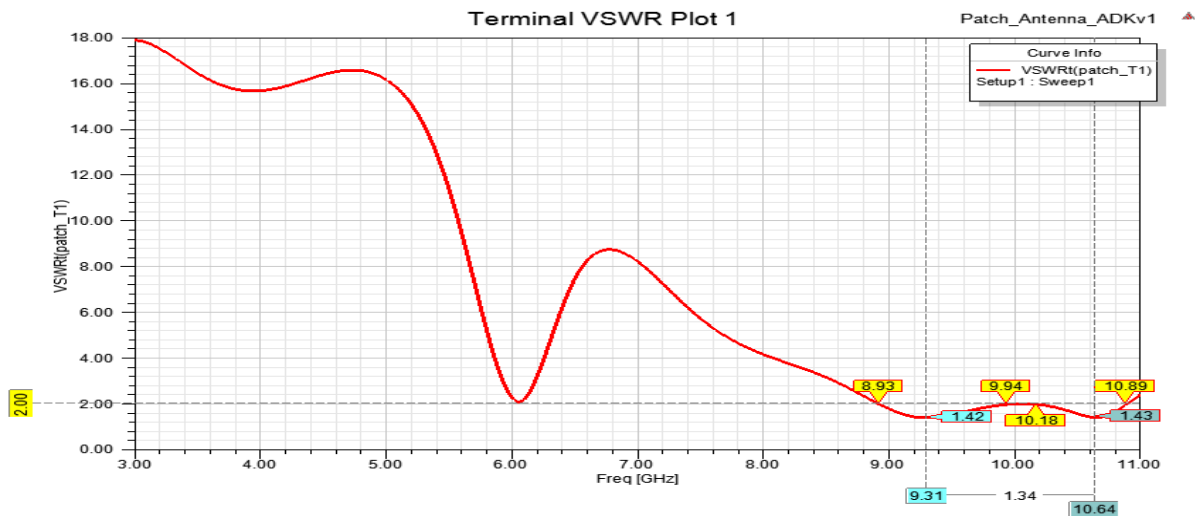
**Figure III.18:** S11 double bande pour les éléments (1) et (2).

Nous avons observé la présence de deux bandes passantes distinctes dans nos résultats :

1. La première bande passante s'étend de 8,59 GHz à 9,83 GHz, avec une largeur de bande de 1,24 GHz. À la fréquence centrale de 9,31 GHz, avec  $S_{11} = -15,25$  dB, indiquant une adaptation d'impédance efficace dans cette plage de fréquences.
2. La deuxième bande passante s'étend quant à elle de 10,28 GHz à 10,87 GHz, avec une largeur de bande de 590 MHz. À la fréquence centrale de 10,64 GHz, le coefficient de réflexion est de -15,06 dB. Cette bande passante présente également une bonne adaptation d'impédance dans sa plage de fréquences.

Ces deux bandes passantes obtenues sont supérieures à 500 MHz, ce qui démontre que notre antenne présente une large bande passante dans les deux plages de fréquences. Cette caractéristique est essentielle pour de nombreuses applications nécessitant une transmission de signal à large spectre, offrant une flexibilité accrue et une meilleure adaptabilité aux exigences des systèmes de communication modernes.

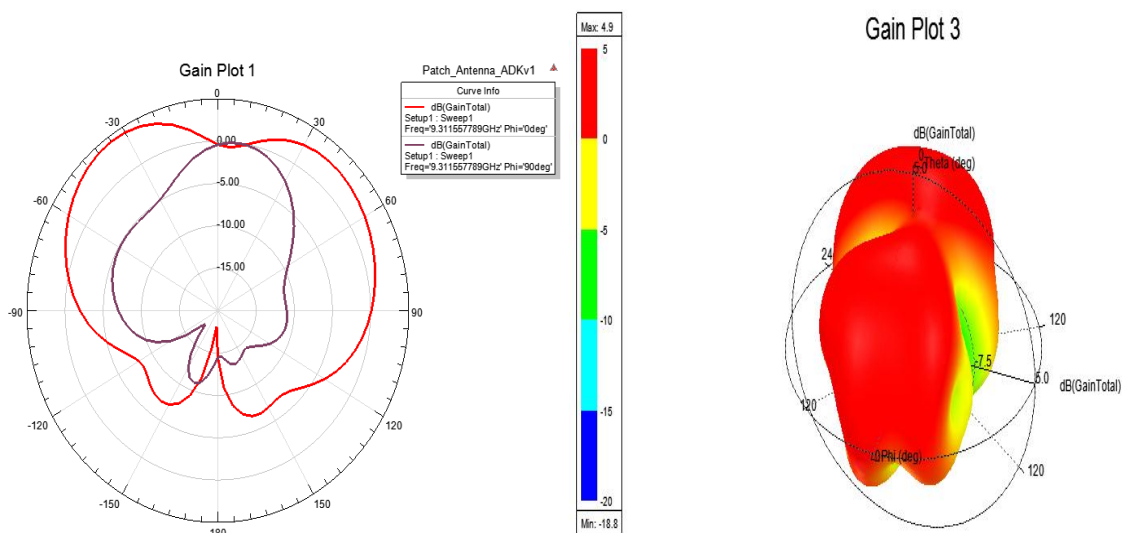
## ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



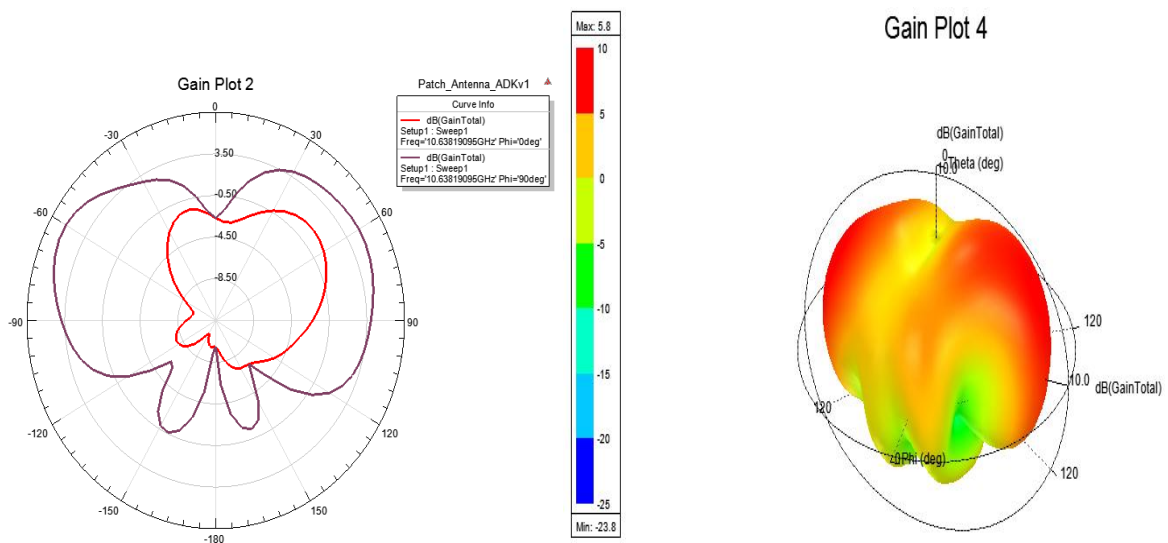
**Figure III.19:** VSWR double bande pour les éléments (1) et (2).

La Figure III.18 présente le taux d'onde stationnaire. À la fréquence de 9,31 GHz, nous avons mesuré un taux d'onde stationnaire de 1,42, tandis qu'à la fréquence de 10,64 GHz, le taux d'onde stationnaire atteint 1,43. Ces valeurs de VSWR présentent une adaptation d'impédance efficace de l'antenne à ces fréquences spécifiques. Cela signifie que l'antenne est capable de transmettre efficacement l'énergie du signal sans trop de réflexions indésirables.

## ➤ Le Gain 2D et 3D



**Figure III.20:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.31 GHz.



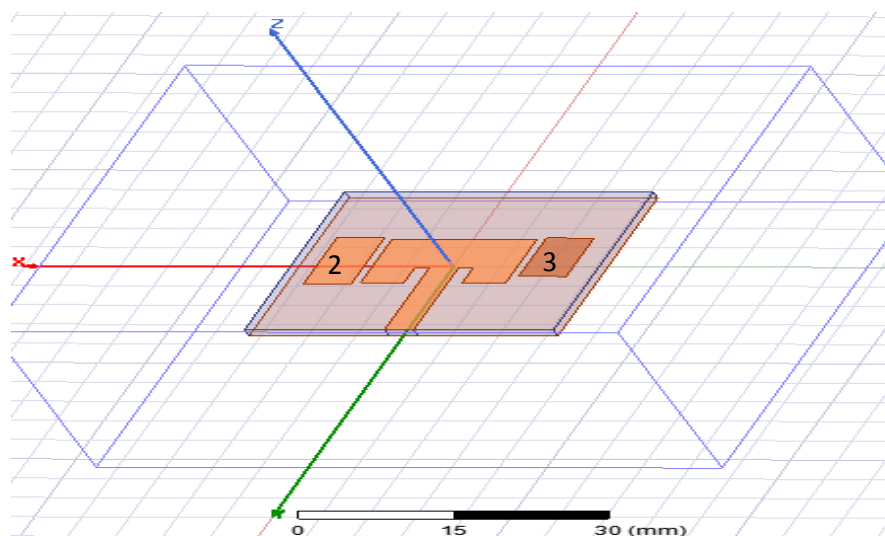
**Figure III.21:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.64 GHz.

Les Figures III.20 et III.21 illustrent les diagrammes de rayonnements en 2D et en 3D de notre antenne simulée à l'aide du logiciel HFSS pour les fréquences 9,31 GHz et 10,64 GHz respectivement. À la fréquence de 9,31 GHz, l'antenne présente un gain de 4,9 dB, tandis qu'à la fréquence de 10,64 GHz, le gain est de 5,8 dB. Ces valeurs de gain indiquent une bonne directionnalité de l'antenne, ce qui est bénéfique pour de nombreuses applications de communication sans fil.

## III-6.2 Méthode 2 (Antenne II\_2)

### III-6.2.1 Géométrie de l'Antenne II\_2

Une autre variante de l'antenne avec deux éléments parasites est montrée dans la **Figure III.22**, cette antenne contient deux éléments parasites, un à gauche (2) et l'autre à droite (3).



**Figure III.22:** Antenne patch avec deux éléments parasites(2) et (3).

# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

## III-6.2.2 Dimensions des éléments parasites

Rx2	Ry2	Rx3	Ry3
[1 :1 :7] mm	[5 :1.5 :12] mm	[-1 :-1 :-7] mm	[5 :1.5 :12] mm

III.4: dimensions des éléments parasites.

## III-6.2.3 Paramètres de l'antenne

- Coefficient de réflexion et bande passante

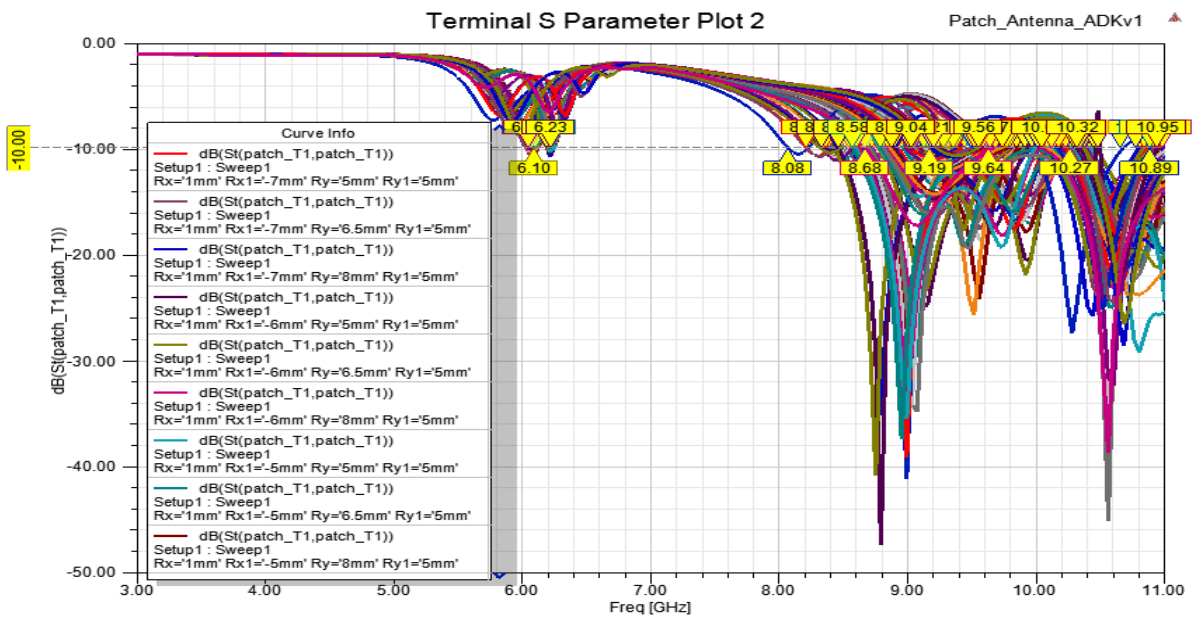


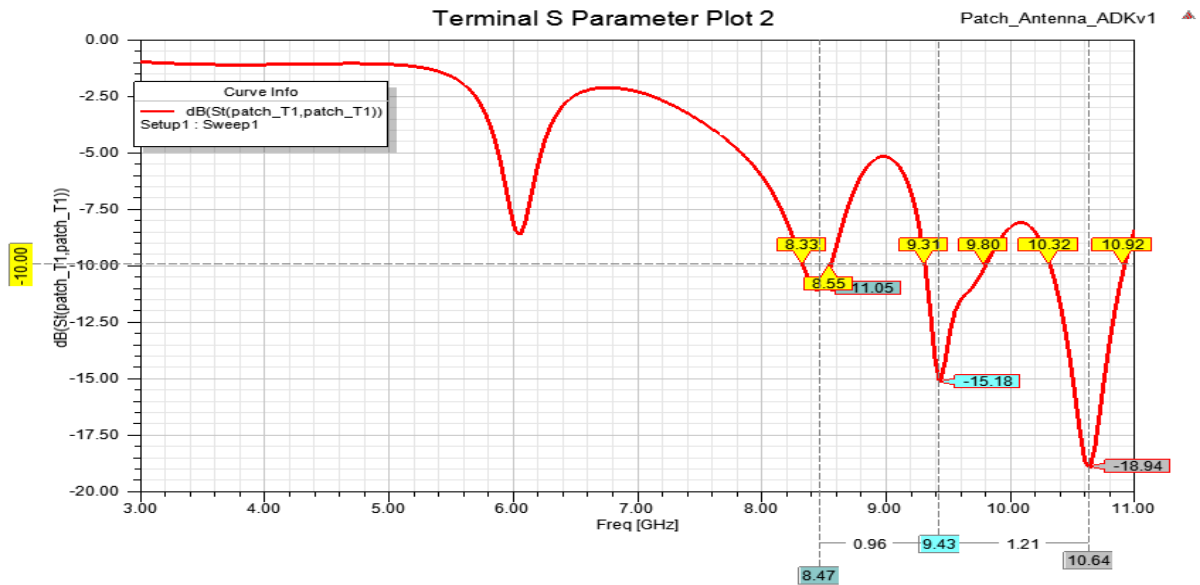
Figure III.23: S11 pour différentes valeurs de Rx2 , Ry2, Rx3 et Ry3.

La Figure III.23 met en évidence les variations du coefficient de réflexion en fonction des dimensions des deux éléments parasites.

### Comportement triple bande

Le comportement triple bande optimal est atteint en utilisant les dimensions suivantes : (Rx2, Ry2, Rx3 et Ry3) = (1, -7, 8, 9.5) respectivement. Ces dimensions spécifiques ont été déterminées par une analyse paramétrique et une optimisation du coefficient de réflexion de l'antenne.

### ➤ Coefficient de réflexion et bande passante

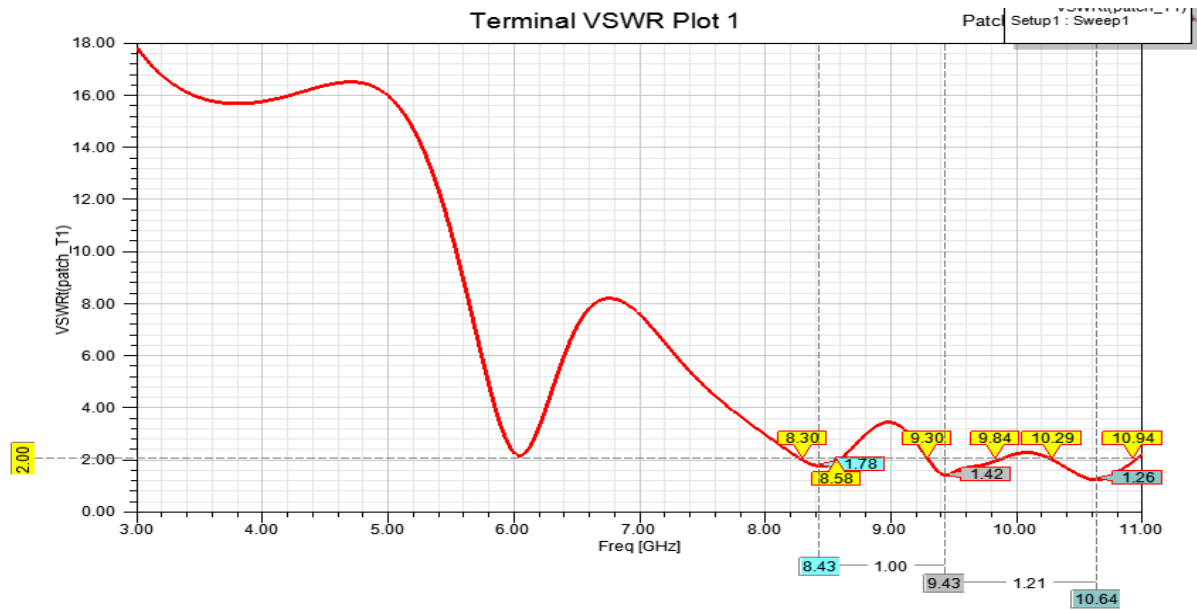


**Figure III.24:** S11 triple bande pour les éléments (2) et (3).

Nous avons identifié la présence de trois bandes passantes distinctes lors de l'étude de notre antenne :

1. La première bande, située entre 6.33 GHz et 6.55 GHz, présente une bande passante (BP1) de 220 MHz. À la fréquence centrale de 8.47 GHz, le coefficient de réflexion est mesuré à -11.05 dB.
2. La deuxième bande, quant à elle, couvre une plage de fréquences allant de 9.31 GHz à 9.80 GHz. Avec une bande passante (BP2) de 490 MHz, cette bande présente une fréquence centrale de 9.43 GHz et un coefficient de réflexion de -15.18 dB.
3. La troisième bande est caractérisée par une plage de fréquences s'étendant de 10.32 GHz à 10.92 GHz. Elle présente une bande passante (BP3) large de 600 MHz. À la fréquence centrale de 10.64 GHz, le coefficient de réflexion est mesuré à -18.94 dB. Cette bande offre une réponse en fréquence étendue et des performances significatives dans cette plage de fréquences.

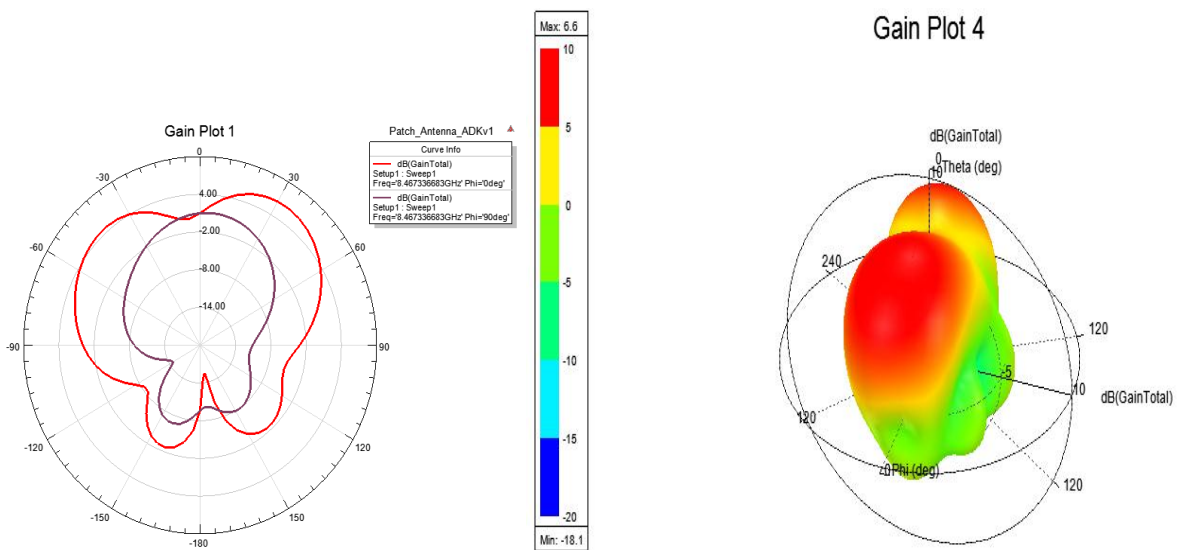
## ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



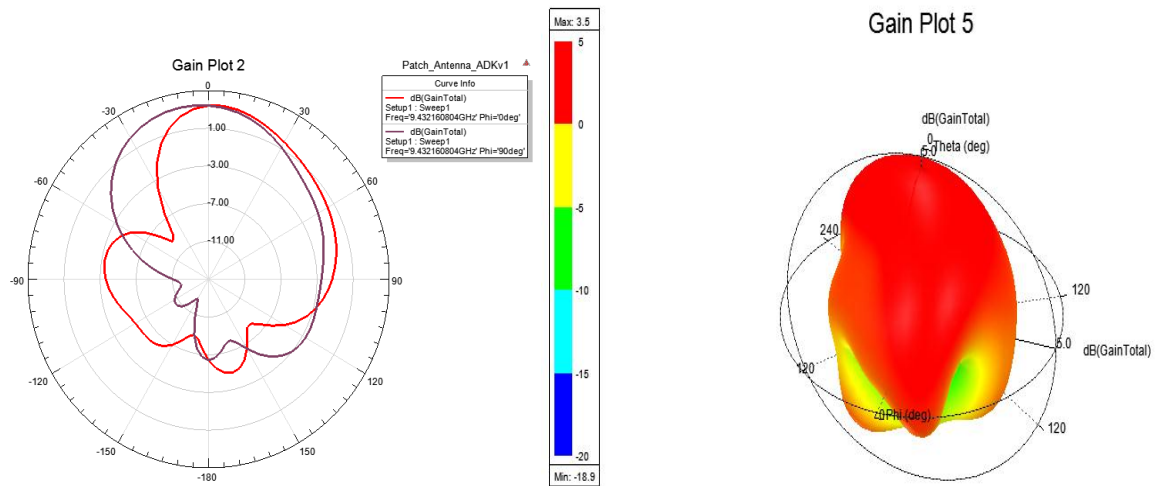
**Figure III.25:** VSWR triple bande pour les éléments (2) et (3).

La Figure III.25 présente le taux d'onde stationnaire de notre antenne. Des VSWR de 1.78, 1.42 et 1.26 sont obtenu pour les fréquences de 8.43 GHz, 9.43 GHz et 10.64 GHz respectivement. En examinant ces mesures de VSWR à différentes fréquences, nous constatons que l'antenne présente une bonne adaptation d'impédance à différentes fréquences.

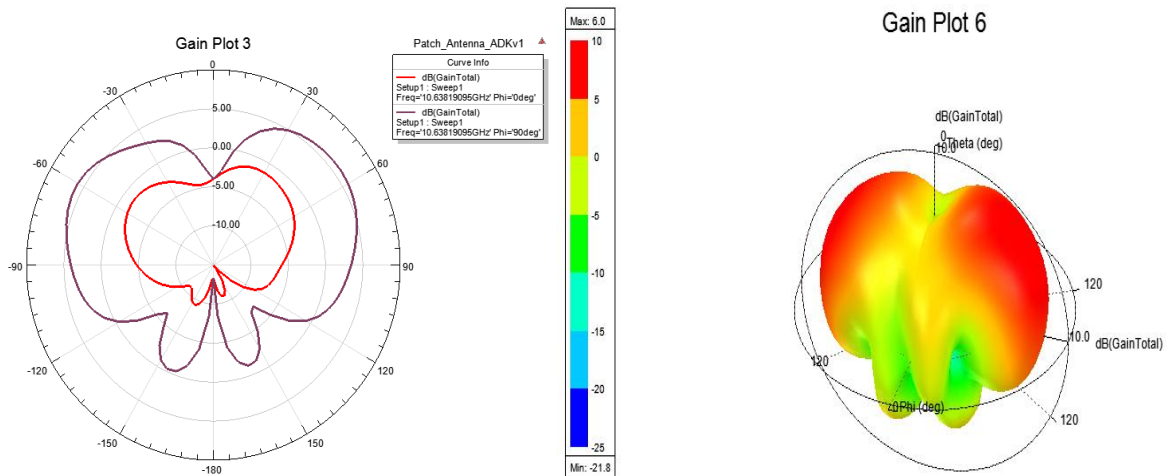
## ➤ Gain 2D et 3D



**Figure III.26:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 8.47 GHz.



**Figure III.27:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.43 GHz.



**Figure III.28:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.64 GHz.

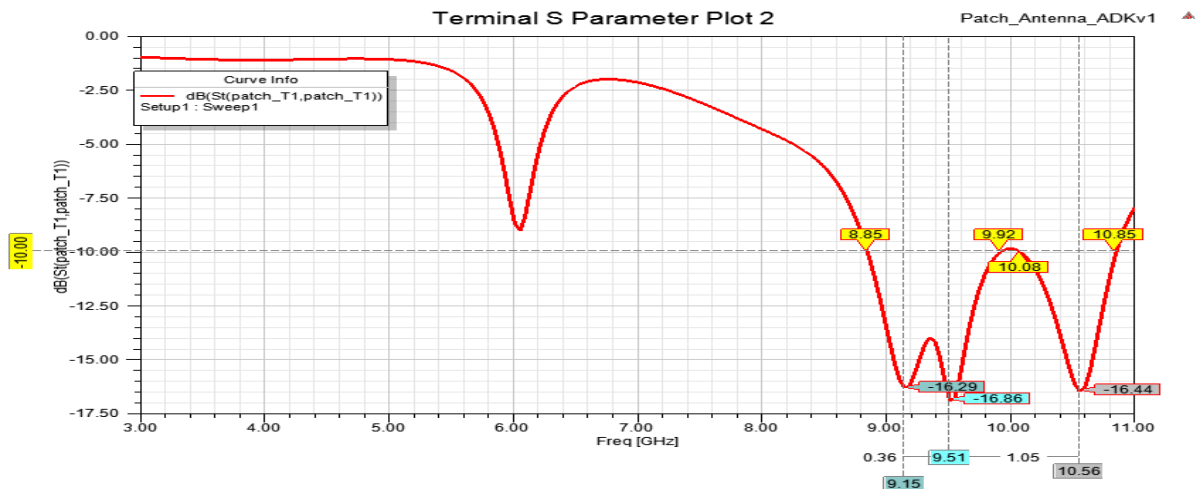
Les figures III.26, III.27 et III.28 présentent les diagrammes de rayonnement à des fréquences spécifiques. Ces diagrammes démontrent la directivité et la performance de l'antenne dans la transmission des signaux à la fréquence de 8.47 GHz avec un gain de 6.6 dB, à la fréquence de 9.43 GHz avec un gain de 3.5 dB, et à la fréquence de 10.64 GHz avec un gain de 6 dB. Ces résultats confirment l'efficacité et la fiabilité de la conception d'antenne pour des applications de communication sans fil.

## Comportement double bande

Les dimensions  $(R_x2, R_y2, R_x3, R_y3) = (1, -5, 8, 9.5)$  ont été identifiées comme les plus efficaces pour atteindre un comportement double bande optimal dans notre antenne. Ces valeurs de dimensions ont été sélectionnées en minimisant le S11 dans les bandes de fréquences ciblées.



## ➤ Coefficient de réflexion et bande passante



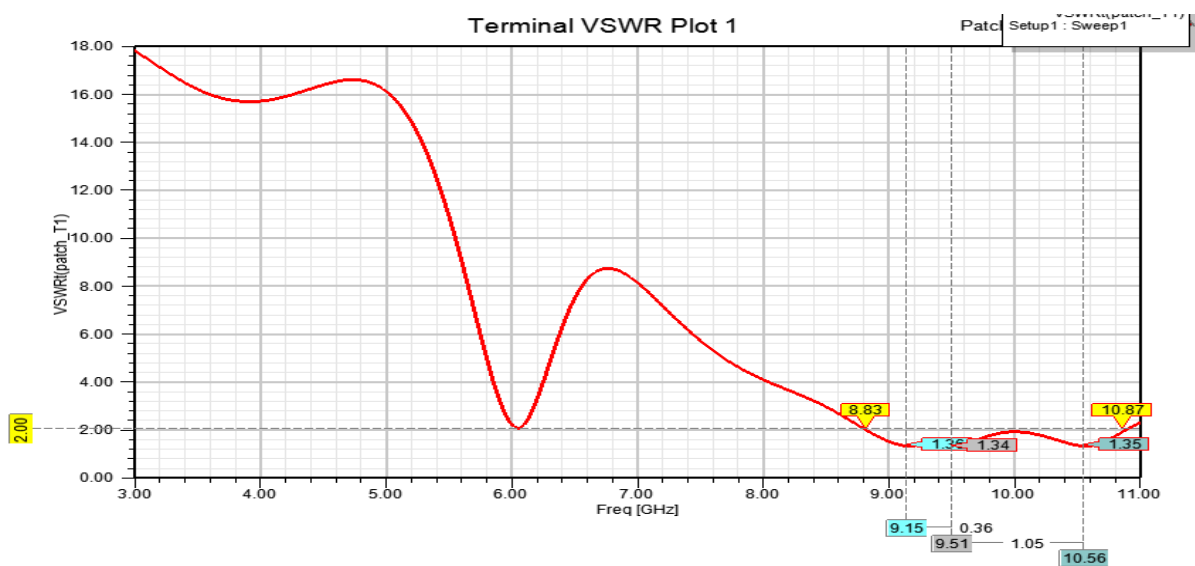
**Figure III.29:** S11 Double bande pour les éléments (2) et (3).

Le S11 dans la Figure III.29 présente de deux bandes de fréquences :

1. La première bande de fréquence (BP1) est très large de 1.07GHz s'étend de 8.85 GHz à 9.92 GHz avec des coefficients de réflexion minimums de -16.29 dB et -16.86 dB.
2. La deuxième bande passante (BP2) de 700 MHz se situe entre 10.08 GHz et 10.85 GHz, avec un coefficient de réflexion de -16.44 dB à la fréquence centrale de 10.56 GHz.

Ces résultats témoignent de la capacité de l'antenne à fonctionner efficacement sur une large gamme de fréquences, ce qui est essentiel dans de nombreuses applications de communication moderne.

## ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



**Figure III.30:** VSWR double bande pour les éléments (2) et (3).

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

La Figure III.30 présente les résultats du taux d'onde stationnaire (VSWR). À la fréquence de 9.51 GHz, nous avons mesuré un VSWR de 1.34, tandis qu'à la fréquence de 10.56 GHz, le taux d'onde stationnaire atteint 1.35. Ces valeurs de VSWR démontrent une adaptation d'impédance efficace de l'antenne à ces fréquences spécifiques.

### ➤ Le Gain 2D et 3D

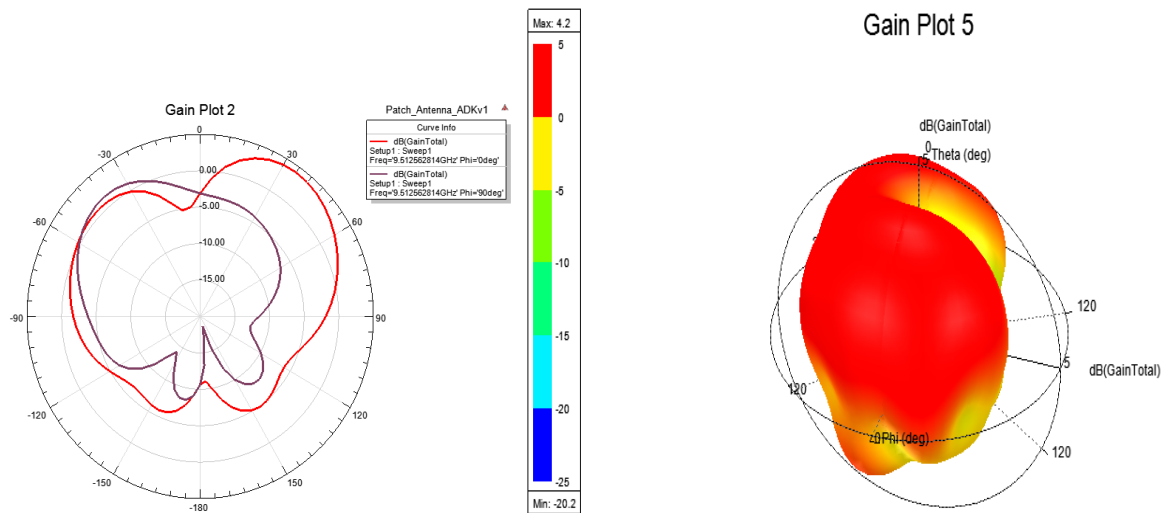


Figure III.31: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.51 GHz.

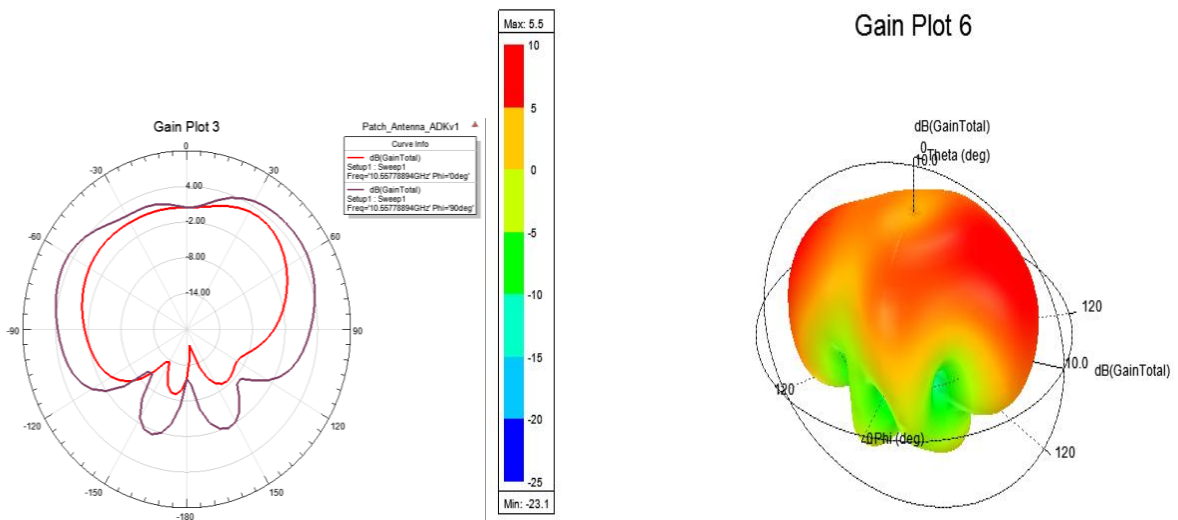


Figure III.32: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.56 GHz.

Les figures III.31 et III.32 présentent les résultats du diagramme de rayonnement en 2D et en 3D de l'antenne, simulés à différentes fréquences. À la fréquence de 9.51 GHz, l'antenne présente un gain de 4.2 dB avec un minimum de S11 de -20.2 dB. À la fréquence de 10.56 GHz, le gain de l'antenne est de 5.5 dB avec un minimum de S11 -23.1 dB.

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

Ces résultats révèlent des niveaux de gain et de S11 acceptables pour l'antenne. Ces performances sont essentielles pour assurer une communication efficace et fiable à ces fréquences spécifiques.

### III-7 Antenne patch avec trois éléments parasites (Antenne III)

La dernière partie de cette étude se concentre sur l'effet de l'ajout de trois éléments parasites (1), (2) et (3) à l'antenne patch.

#### III-7.1 Géométrie de l'antenne III

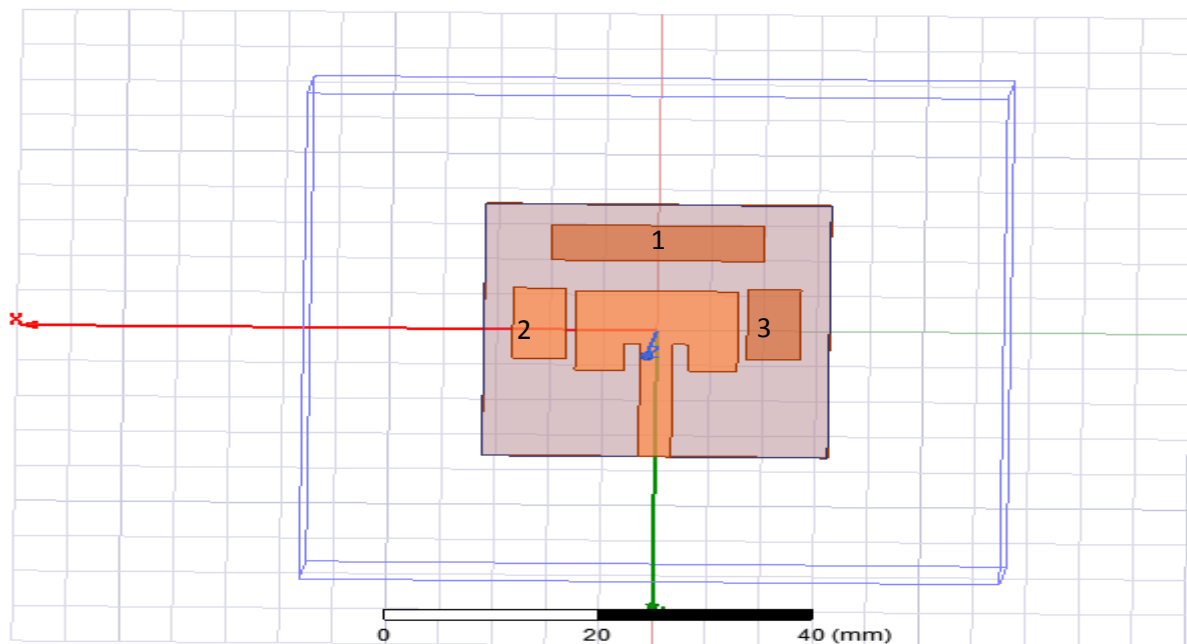


Figure III.33: Antenne patch avec trois éléments parasites.

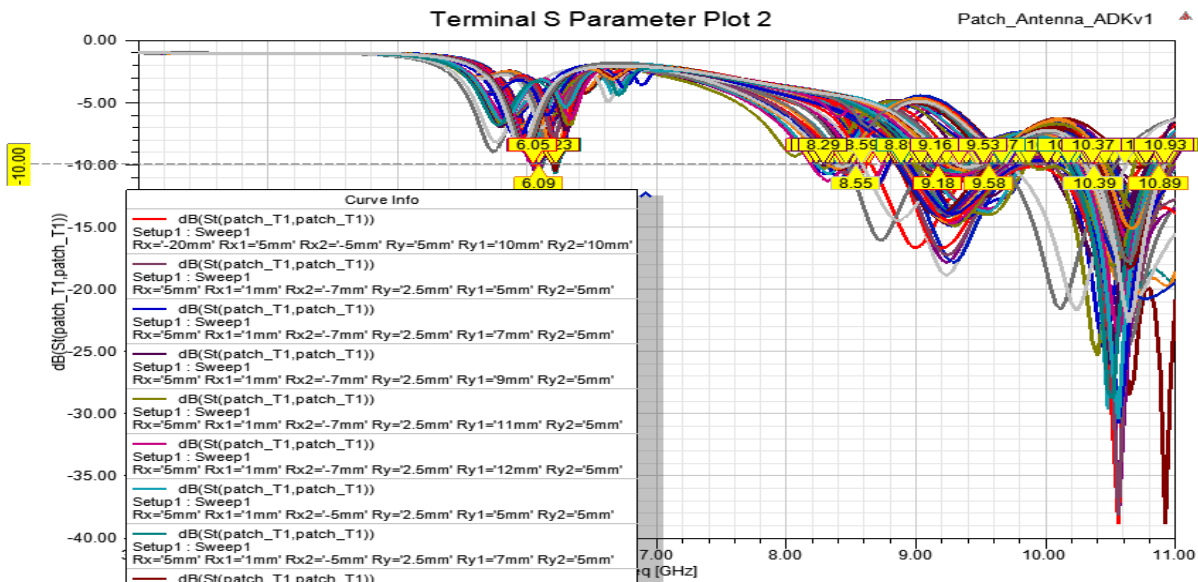
#### III-7.2 Dimensions des éléments parasites

Rx1	Ry1	Rx2	Ry2	Rx3	Ry3
[5 :2 :20] mm	[2 :1.5 :8.5] mm	[1 :1 :7] mm	[5 :1.5 :12] mm	[-1 :-1 :-7] mm	[5 :1.5 :12] mm

Tableau III.5: dimensions des éléments parasites.

## III-7.3 Paramètres de l'antenne

### III-7.3.1 Coefficient de réflexion et bande passante



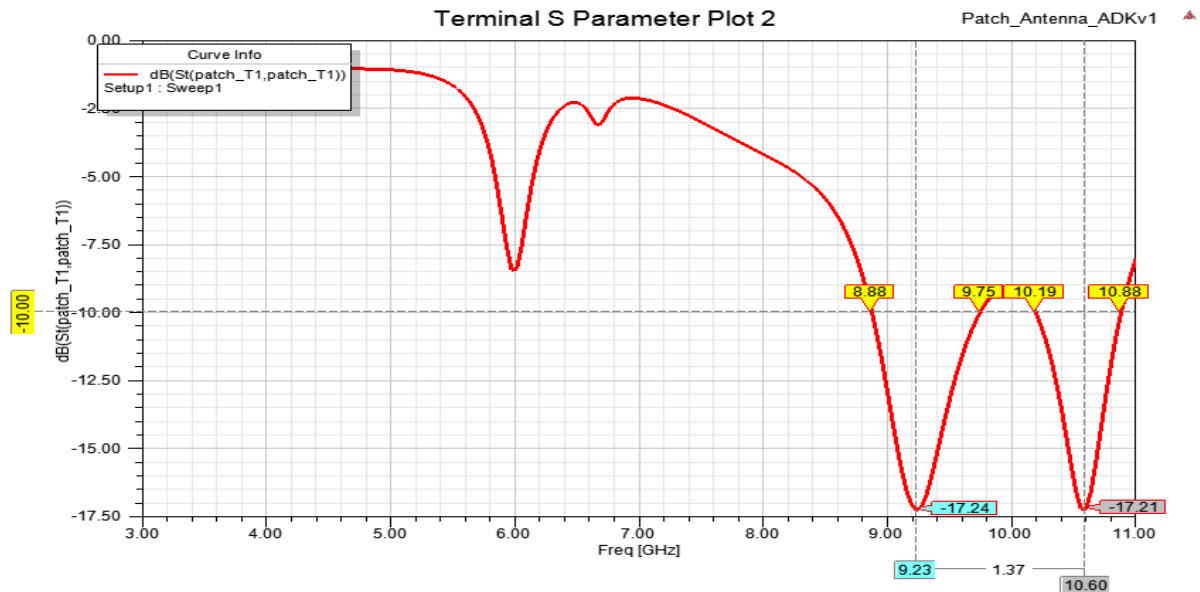
**Figure III.34:** S11 pour différentes valeurs de Rx1 , Ry1, Rx2, Ry2, Rx3 et Ry3.

La Figure III.34 présente les variations du coefficient de réflexion en fonction des dimensions des trois éléments parasites.

#### Comportement double bande

Le comportement double bande optimal est atteint en utilisant les dimensions suivantes : (Rx1, Ry1, Rx2, Ry2, Rx3, Ry3) = (5, 1, -5, 2.5, 12, 7) respectivement. Ces valeurs de dimensions permettent de minimiser le coefficient de réflexion (S11) dans les deux bandes de fréquences.

### ➤ Coefficient de réflexion et bande passante



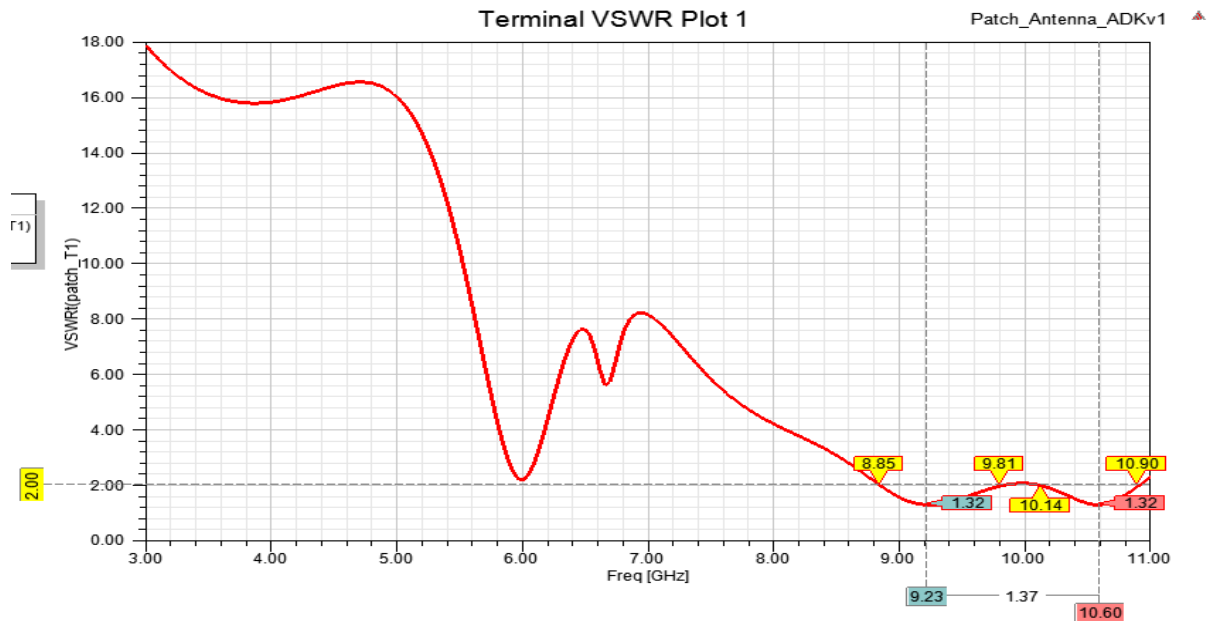
**Figure III.35:**  $S_{11}$  double bande avec trois éléments parasites.

Nous avons observé la présence de deux bandes passantes distinctes dans notre étude :

1. La première bande possède une bande passante BP1 de 0.87 GHz (870 MHz), s'étendant de 8.88 GHz à 9.75 GHz. À la fréquence centrale de 9.23 GHz, le coefficient de réflexion est -17.24 dB.
2. La deuxième bande présente une bande passante BP2 de 0.69 GHz (690 MHz), s'étendant de 10.19 GHz à 10.88 GHz. À la fréquence centrale de 10.60 GHz, le coefficient de réflexion est mesuré à -17.21 dB.

Les résultats obtenus soulignent la capacité de l'antenne à fonctionner de manière efficace et à couvrir une large bande de fréquences dans les deux bandes identifiées. De plus, ces résultats témoignent d'une atténuation significative des réflexions indésirables.

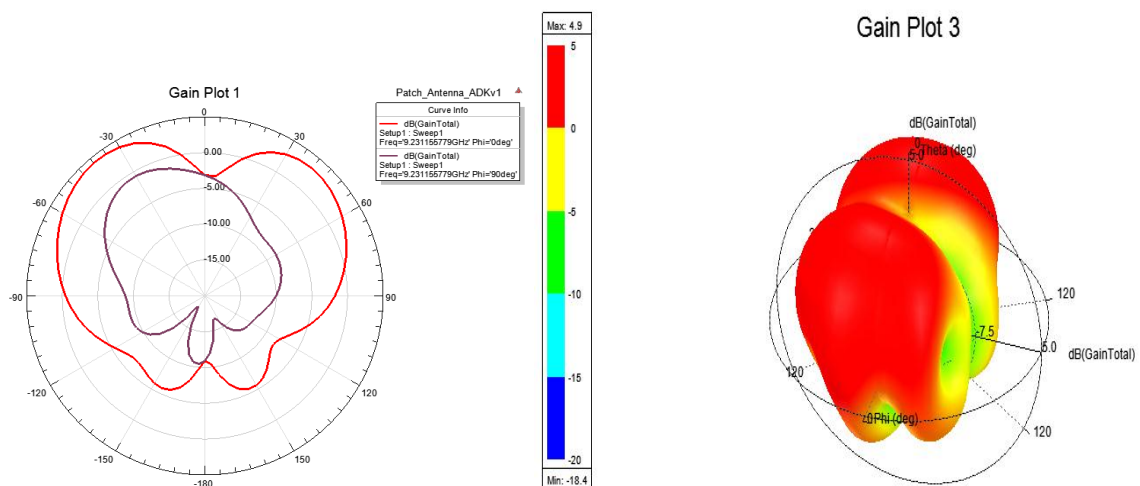
## ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



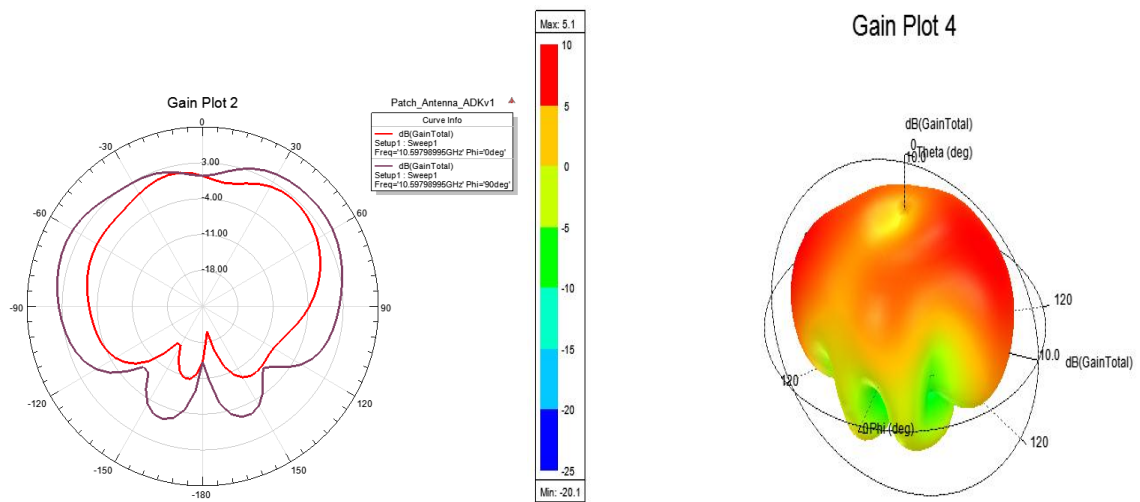
**Figure III.36:** VSWR double bande avec trois éléments parasites.

La Figure III.36 présente le taux d'onde stationnaire de l'antenne. On observe que la valeur de VSWR est identique à la fréquence de 9.23 GHz et à la fréquence de 10.60 GHz, avec un VSWR de 1.32. Ces résultats indiquent une adaptation d'impédance efficace de l'antenne à ces deux fréquences spécifiques, cela confirme la stabilité et la performance de l'antenne sur une large bande de fréquences.

## ➤ Le Gain 2D et 3D



**Figure III.37:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.23 GHz.



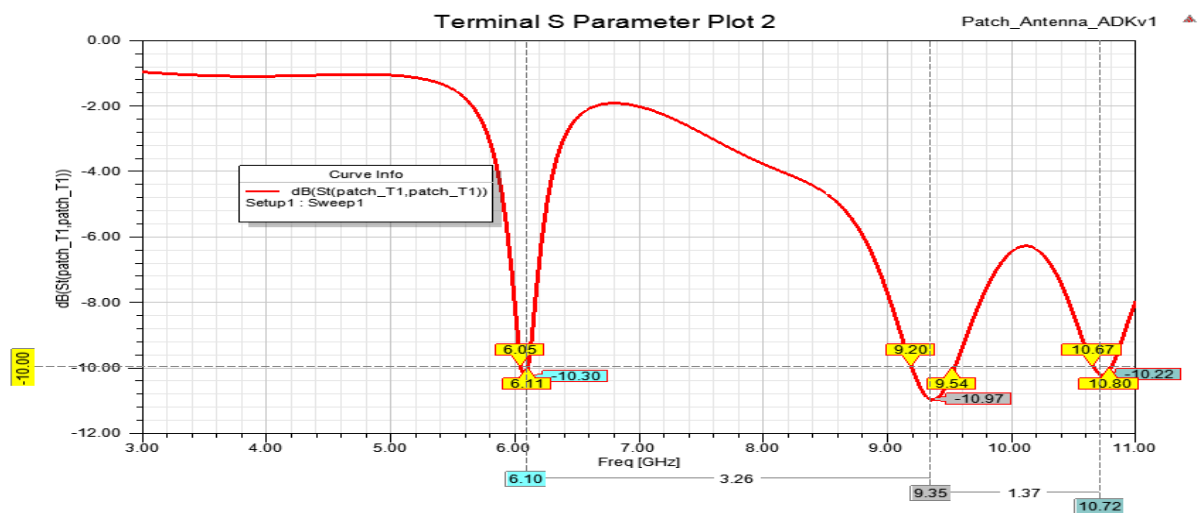
**Figure III.38:** Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.60 GHz.

Les figures III.37 et III.38 illustrent respectivement les diagrammes de rayonnement en 2D et en 3D de l'antenne à deux fréquences spécifiques. À la fréquence de 9.23 GHz, l'antenne présente un gain de 4.9 dB, tandis qu'à la fréquence de 10.60 GHz, le gain atteint 5.1 dB. Ces valeurs de gain indiquent la capacité de l'antenne à concentrer et à émettre le signal de manière directionnelle dans ces deux bandes de fréquences. L'analyse des diagrammes de rayonnement permet d'évaluer la directivité et l'efficacité de rayonnement de l'antenne, ce qui confirme sa performance dans les fréquences spécifiques étudiées.

## Comportement Triple bande

Le meilleur comportement Triple bande est obtenu en utilisant les dimensions :  $(Rx1, Ry1, Rx2, Ry2, Rx3, Ry3) = (5, 1, -1, 2.5, 7, 7)$  respectivement.

### ➤ Coefficient de réflexion et bande passante



**Figure III.39:** S11Triple bande avec trois éléments parasites.

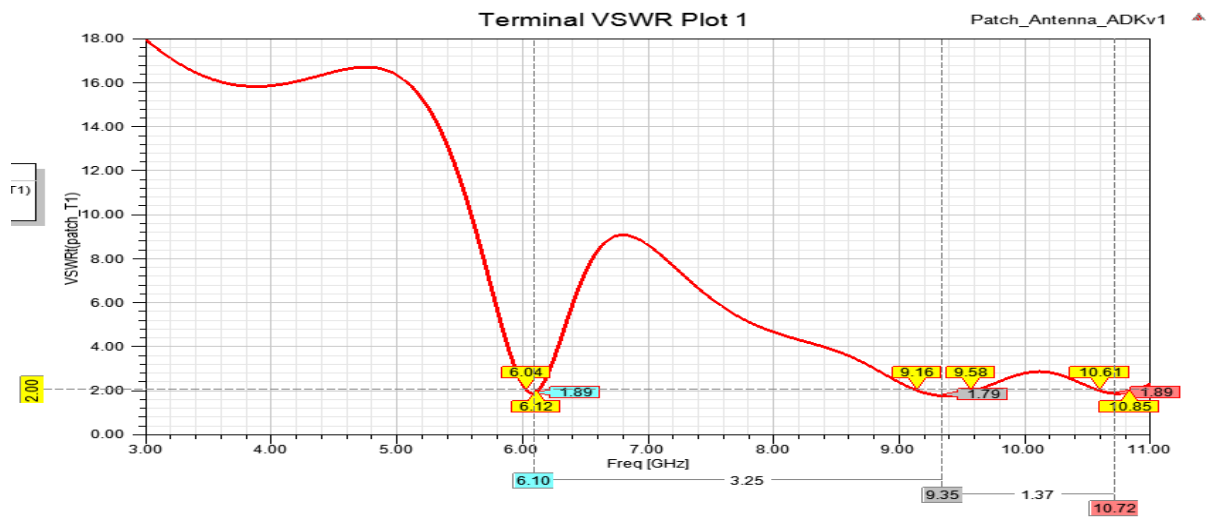
## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

L'analyse de l'antenne a révélé la présence de trois bandes passantes distinctes :

1. La première bande a une largeur de bande de 60 MHz, s'étendant de 6.05 GHz à 6.11 GHz, avec un coefficient de réflexion de -10.30 dB à une fréquence centrale de 6.10 GHz.
2. La deuxième bande présente une bande passante de 340 MHz, allant de 9.20 GHz à 9.54 GHz, avec un coefficient de réflexion de -10.97 dB à une fréquence centrale de 9.35 GHz.
3. La troisième bande a une largeur de bande de 130 MHz, s'étendant de 10.67 GHz à 10.80 GHz, avec un coefficient de réflexion de -10.22 dB à une fréquence centrale de 10.72 GHz.

Ces résultats indiquent que l'antenne est capable de fonctionner efficacement sur une large gamme de fréquences, avec une atténuation appropriée des réflexions indésirables.

### ➤ Taux d'onde stationnaire (VSWR)



**Figure III.40:** VSWR Triple bande avec trois éléments parasites.

La Figure III.40 présente les mesures du taux d'onde stationnaire de l'antenne. À la fréquence de 6.10 GHz, un taux d'onde stationnaire de 1.89 a été observé. À la fréquence de 10.35 GHz, le taux d'onde stationnaire atteint 1.79, ce qui confirme également une adaptation d'impédance efficace à ces deux fréquences.



# Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

## ➤ Le Gain 2D et 3D

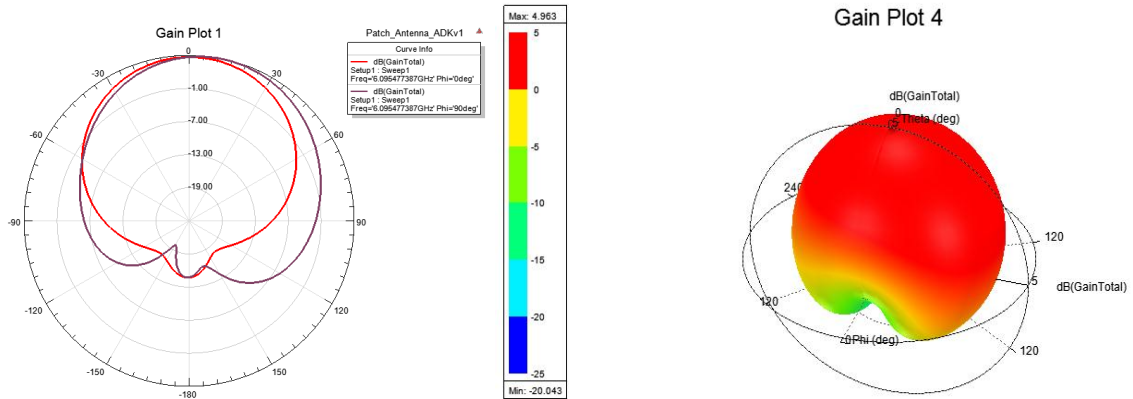


Figure III.41: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 6.10 GHz.

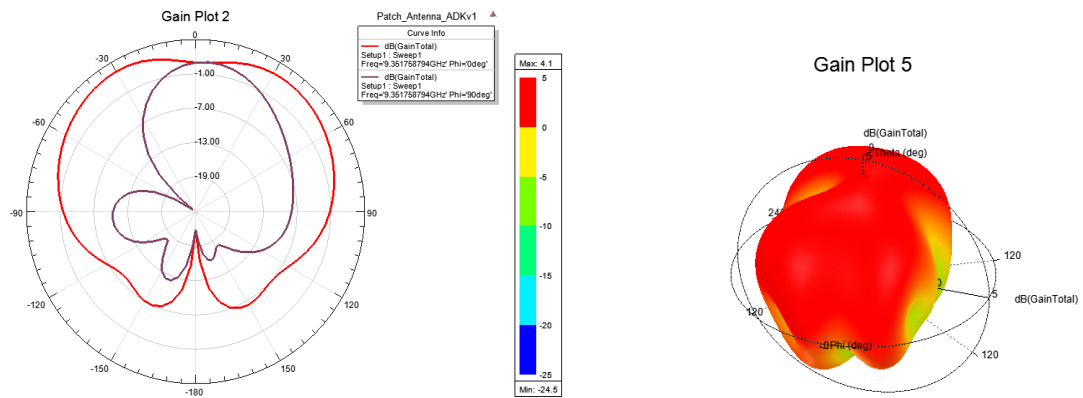


Figure III.42: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 9.35 GHz.

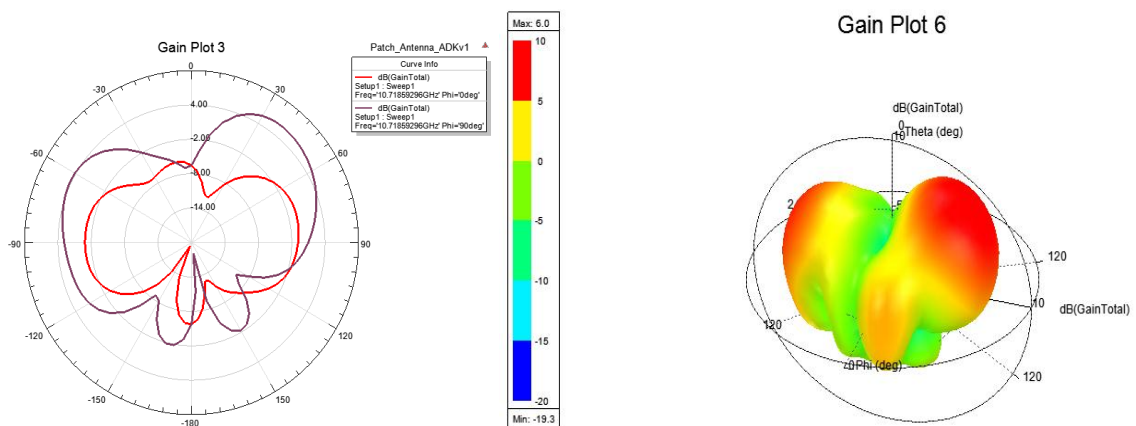


Figure III.43: Le Gain 2D et 3D à la fréquence 10.72 GHz.

Les figures III.41, III.42 et III.43 illustrent les caractéristiques du diagramme de rayonnement de l'antenne à différentes fréquences. L'antenne présente des gains de 4.96 dB, 4.1 dB et 6 dB pour les

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

---

fréquences de 6.10 GHz, 9.35 GHz et 10.73 GHz respectivement. Ces résultats montrent la directivité et l'efficacité de l'antenne dans la radiation du signal dans différentes directions tridimensionnelles.

### III.8 Etude comparative

Dans cette partie, une étude comparative des performances des différentes antennes réalisées est présentée. La comparaison porte sur plusieurs aspects tels que la bande passante, la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion, le VSWR et le gain. Ces paramètres permettent d'évaluer et de comparer les performances des différentes antennes étudiées.

L'analyse de ces caractéristiques permettra de déterminer les antennes qui offrent les meilleures performances en termes de largeur de bande, d'adaptation d'impédance, de rayonnement et de gain.

Après l'ajout d'un élément parasite à la première antenne, on observe une légère amélioration du coefficient de réflexion et du VSWR par rapport à l'antenne de base. Cela indique une meilleure adaptation d'impédance de l'antenne.

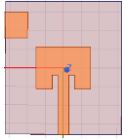
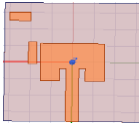
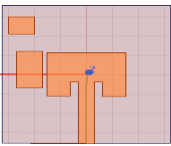
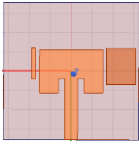
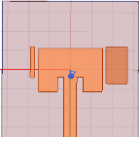
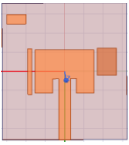
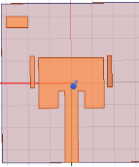
Cependant, la bande passante n'a pas été modifiée, ce qui signifie que l'ajout de l'élément parasite n'a pas affecté la largeur de bande de l'antenne.

Après l'incorporation de deux et trois éléments parasites, les antennes modifiées ont présenté des comportements à double et triple bandes.

Afin de faciliter la comparaison de chaque comportement, le tableau **III.7** présente les caractéristiques des antennes à double bandes, tandis que le tableau **III.8** présente les caractéristiques des antennes à triple bandes.

Ces tableaux permettent de visualiser et d'analyser les performances de chaque configuration d'antenne en termes de bandes passantes, fréquences de résonance, coefficients de réflexion, VSWR et gains

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

	Dimensions des éléments parasites (mm)	BP	Fr (GHz)	S11 (dB)	VSWR	Gain (dB)
Antenne de base	/	80 MHz	6.08	-11.02	1.79	5.9
Antenne I	[11,7] 	70 MHz	6.08	-11.49	1.73	5
Antenne II_1	[5, 2, 2.5, 6.5] 	40 MHz	6.10	-10.26	1.89	4.9
		360 MHz	9.39	-11.01	1.78	3.7
		410 MHz	10.72	-12.65	1.61	9.3
	[5, 5, 4.5, 9.5] 	1.24 GHz	9.31	-15.25	1.42	4.9
		590 MHz	10.64	-15.06	1.43	5.8
Antenne II_2	[1, -7, 8, 9.5] 	220 MHz	8.47	-11.05	1.78	6.6
		490 MHz	9.43	-15.18	1.42	3.5
		600 MHz	10.64	-18.94	1.26	6
	[1, -5, 8, 9.5] 	1.07 GHz	9.51	-16.86	1.34	4.2
		770 MHz	10.56	-16.44	1.35	5.5
Antenne III	[5, 1, -5, 2.5, 12, 7] 	870 MHz	9.32	-17.24	1.32	4.9
		690 MHz	10.60	-17.21	1.32	5.1
	[5, 1, 1, 2.5, 7, 7] 	60 MHz	6.10	-10.30	1.89	4.96
		340 MHz	9.35	-10.97	1.79	4.1
		130 MHz	10.72	-10.22	1.89	6

**Tableau III.6:** Résultats de simulation des quatre antennes.

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

	<b>Dimensions des E. parasites (mm)</b>	<b>BP</b>	<b>Fr (GHz)</b>	<b>S11 (dB)</b>	<b>VSWR</b>	<b>Gain (dB)</b>
<b>Antenne II_1</b>	[5, 5, 4.5, 9.5]	<b>1.24 GHz</b>	9.31	-15.25	1.42	4.9
		<b>590 MHz</b>	10.64	-15.06	1.43	5.8
<b>Antenne II_2</b>	[1, -5, 8, 9.5]	1.07 GHz	9.51	-16.86	1.34	4.2
		770 MHz	10.56	-16.44	1.35	5.5
<b>Antenne III</b>	[5, 1, -5, 2.5, 12, 7]	870 MHz	9.32	<b>-17.24</b>	<b>1.32</b>	4.9
		690 MHz	10.60	<b>-17.21</b>	<b>1.32</b>	5.1

**Tableau III.7:**Comportement double bande des antennes

Le tableau III.7 présente une étude comparative du comportement double bande des performances des antennes modifiées avec l'ajout de deux et trois éléments parasites. Voici une analyse des principales conclusions :

- Les antennes II\_1 et II\_2 obtiennent les meilleures valeurs de bande passante parmi les antennes étudiées. Cela indique que l'ajout de deux éléments parasites a un effet significatif sur l'élargissement de la bande passante de l'antenne.
- L'antenne III présente les meilleures valeurs de VSWR et de S11 parmi les antennes étudiées. Cela signifie que l'ajout de trois éléments parasites améliore considérablement l'adaptation d'impédance de l'antenne et réduit les réflexions indésirables.
- En ce qui concerne le gain, il est comparable pour les trois antennes. Cela suggère que l'incorporation de deux ou trois éléments parasites n'a pas d'impact significatif sur le gain de l'antenne.

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

	<b>Dimensions des E. parasites (mm)</b>	<b>BP</b>	<b>Fr (GHz)</b>	<b>S11 (dB)</b>	<b>VSWR</b>	<b>Gain (dB)</b>
<b>Antenne II_1</b>	[5, 2, 2.5, 6.5]	40 MHz	6.10	-10.26	1.89	4.9
		360 MHz	9.39	-11.01	1.78	3.7
		410 MHz	10.72	-12.65	1.61	9.3
<b>Antenne II_2</b>	[1, -7, 8, 9.5]	<b>220 MHz</b>	8.47	<b>-11.05</b>	<b>1.78</b>	<b>6.6</b>
		<b>490 MHz</b>	9.43	<b>-15.18</b>	<b>1.42</b>	<b>3.5</b>
		<b>600 MHz</b>	10.64	<b>-18.94</b>	<b>1.26</b>	<b>6</b>
<b>Antenne III</b>	[5, 1, 1, 2.5, 7, 7]	60 MHz	6.10	-10.30	1.89	4.96
		340 MHz	9.35	-10.97	1.79	4.1
		130 MHz	10.72	-10.22	1.89	6

**Tableau III.8:** Comportement triple bande des antennes

Le tableau III.8 présente une étude comparative du comportement triple bande des performances des antennes modifiées avec l'ajout de deux et trois éléments parasites. Voici une analyse des principales conclusions :

- L'antenne II\_2 obtient les meilleurs résultats en termes de bande passante, de gain, de VSWR et de S11 dans le cas du comportement triple bande. Cependant, il est important de noter que la première fréquence de résonance a été modifiée de 6 GHz à 8.47 GHz. Cela signifie que cette antenne est plus adaptée pour des applications où la première fréquence de résonance plus élevée est acceptable.
- Les antennes II\_1 et III conservent la première fréquence de résonance autour de 6 GHz, tandis qu'elles créent deux autres fréquences autour de 9.4 GHz et 10.7 GHz pour atteindre le comportement triple bande. Bien que ces antennes n'obtiennent pas les meilleurs résultats dans tous les paramètres (bande passante, gain, VSWR, S11), elles conservent la première fréquence de résonance plus basse, ce qui peut être plus approprié pour certaines applications spécifiques.

## Chapitre 3 : Optimisation, Résultat Et Discussion

---

### III-9 Conclusion

En conclusion, l'ajout de deux et trois éléments parasites dans l'antenne patch a montré des résultats prometteurs en termes de performances multi-bandes. Les éléments parasites ont permis d'élargir la bande passante des antennes, offrant la possibilité de fonctionner sur plusieurs fréquences avec des caractéristiques acceptables. De plus, l'incorporation d'éléments parasites a conduit à une amélioration significative du VSWR et du S11, témoignant d'une meilleure adaptation d'impédance de l'antenne.

L'étude comparative a révélé que l'ajout de deux éléments parasites a conduit à une amélioration significative de la bande passante dans le cas d'un comportement double bande. D'autre part, l'ajout de trois éléments parasites a permis d'améliorer considérablement le VSWR et le S11, démontrant une réduction des réflexions indésirables et une meilleure qualité de transmission du signal.

Il convient de noter que les performances des antennes modifiées varient en fonction du nombre et des dimensions des éléments parasites utilisés. Chaque configuration d'antenne présente des avantages et des compromis spécifiques, tels que des changements de fréquence de résonance ou des améliorations dans certains paramètres.

En somme, l'ajout d'éléments parasites dans l'antenne patch offre une solution efficace pour obtenir des performances multi-bandes et améliorer les caractéristiques d'adaptation d'impédance. Cette approche peut être utilisée pour répondre aux exigences de différentes applications nécessitant une large bande passante et une bonne adaptation d'impédance dans des fréquences spécifiques.

# Conclusion Générale

# Conclusion Générale

---

## Conclusion Générale

Le domaine des télécommunications et des nouvelles technologies connaît depuis plusieurs années un véritable essor. On assiste aujourd'hui à un engouement public sans précédent pour les applications de communication multimédia (données, voix, photo, vidéo) et à une demande croissante de transmission à haut débit entre mobiles et appareils de télécommunication. Par ailleurs, les technologies radio (Bluetooth, Wifi, GPRS, ...etc.) connaissent un grand succès que l'usage soit nomade ou sédentaire. Pour répondre à la demande croissante de communications sans fil à haut débit, les futures générations d'appareils utiliseront des antennes de plus en plus efficaces. Celles-ci fonctionneront sur plusieurs bandes de fréquences ou à large bande, mais pour des raisons pratiques et esthétiques, ils doivent également être intégrés dans des systèmes radio, ce qui nécessite le développement de structures compactes et discrètes sans problèmes de compatibilité électromagnétique avec les circuits électroniques environnants. Pour répondre à ces différents objectifs, nous avons concentré nos recherches sur les antennes patch avec des éléments parasites

Ce projet nous a permis de prendre en main le logiciel HFSS. En effet, les étapes de conception des antennes ainsi que la création des rapports doivent être bien maîtrisées pour obtenir des résultats valables dans un domaine de fréquence donné. De plus, ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des antennes ainsi que les techniques de réalisations des antennes patch. La rédaction de ce mémoire nous a permis d'apprendre la terminologie de la recherche et la bonne façon d'utiliser la bibliographie et les références.

Dans ce mémoire, nous avons utilisé une antenne rectangulaire avec encoche à substrat FR-4 (lossy) alimentée par une ligne micro ruban comme antenne de base. L'ajout de deux et trois éléments parasites dans l'antenne patch a montré des résultats prometteurs en termes de performances multi-bandes. Les éléments parasites ont permis d'élargir la bande passante des antennes, offrant la possibilité de fonctionner sur plusieurs fréquences avec des caractéristiques acceptables. De plus, l'incorporation d'éléments parasites a conduit à une amélioration significative du VSWR et du S11, témoignant d'une meilleure adaptation d'impédance de l'antenne.



# Référence

## Références

- [1] Picon, O., Cirio, L., Ripoll, C., Baudoin, G., Bercher, J. F., & Villegas, M. Les antennes: Théorie, conception et applications. Dunod. 2009
- [2] A. Kamil, Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz), grade du Maitre ès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.
- [3] RABIH ASLIM . Conception antenne wifi micro-ruban HFSS. Méthodologie – université antonine faculté des ingénieurs en télécommunications informatique. 2010
- [4] Yadava, R. L. Antennas and wave propagation. PHI Learning Pvt. Ltd. 2022.
- [5] NAKAR, Punit S. Design of a compact microstrip patch antenna for use in wireless/cellular devices. 2004.
- [6] Valdes, Jehison Rafael Leon. Antennes agiles reconfigurables optiquement dans le domaine millimétrique avec l'intégration de matériaux à changement de phase. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2020.
- [7] KAMIL, Adil. Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz). Thèse de doctorat. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique. 2011
- [8] BOYER, Alexandre. Support de cours énoncé de travaux dirigés. 2011.
- [9] BALANIS, Constantine A. Antenna theory: analysis and design. John wiley & sons, 2016.
- [10] BOUAZZA, Fouzia. Antennes microrubans mono et multicouches à lobe unique incliné en bandes X et K: applications. Thèse de doctorat. Lille 1. 1996
- [11] AISSAOUI, Djelloul, HACENE, Noureddine BOUKLI, et BENDIMERAD, Fethi Tarik. Analyse des Antennes Imprimées Alimentées par des Lignes adaptées. Revue Méditerranéenne des Télécommunications, vol. 4, no 1. 2014
- [12] FORTINO, Nicolas. Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra-Large-Bande impulsions. Thèse de doctorat. Université Nice Sophia Antipolis. 2006
- [13] AMYAR, Amal. Conception et analyse d'une antenne MIMO fractal 4x4 pour les applications UL B. 2022.
- [14] NELSON, Robert M., ROGERS, David A., et D'ASSUNCAO, A. Gomes. Resonant frequency of a rectangular microstrip patch on several uniaxial substrates. IEEE transactions on antennas and propagation, 1990, vol. 38, no 7, p. 973-981.

## Référence

---

- [15] DJOUANE, Lotfi. Analyse rigoureuse d'une plaque microbande rectangulaire sur plan de masse avec ouverture rectangulaire par la méthode des moments et les dyades hybrides de green. Thèse de doctorat. Batna, Université El Hadj Lakhder. 2005.
- [16] Souai, Sana. Réseaux d'antennes miniatures super-directifs reconfigurables basses fréquences pour l'IoT. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, 2021.
- [17] S. Uda, "Wireless beam of short electric waves," J. IEE. (Japan), pp. 273–282, Mar-1926.
- [18] H. Yagi, "Beam Transmission of Ultra Short Waves," Proc. Inst. Radio Eng., vol. 16, no. 6, pp. 715–740, 1928.
- [19] S.-S. Hsu, K.-C. Wei, C.-Y. Hsu, and H. Ru-Chuang, "A 60-GHz Millimeter-Wave CPW-Fed Yagi Antenna Fabricated by Using 0.18- $\mu\text{m}$  CMOS Technology," IEEE Electron Device Letter, vol. 29, no. 6, pp. 625–627, 2008.
- [20] S. S. M. Abdalla, "Uni-planar Wideband Quasi Yagi Antenna for Multiple Antenna Channel Measurements." University of Manchester Institute of science and Technology. 2002
- [21] J. Huang, "Planar microstrip Yagi array antenna," in IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp., Jun. vol. 2, pp. 894–897. 1989
- [22] J. Huang and A. Densmore, "Microstrip Yagi antenna for mobile satellite vehicle application," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 39, no. 7, pp. 1024–1030, Jul. 1991.
- [23] Gerald R. DeJean. "A New High-Gain Microstrip Yagi Array Antenna with a High Front-to-Back (F/B) Ratio for WLAN and Millimeter-Wave Applications," Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0250 USA February 19, 2006.
- [24] G. DeJean and M. M. Tentzeris, "A Printed Microstrip Yagi Antenna Array for Millimeter-Wave Multi-Sector applications." Georgia Electronic Design Center, School of ECE, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332-0250, U.S.A. 2005
- [25] S. BADRA "Utilisation de la méthode de l'équation du champ électrique et des réseaux de neurones artificiels pour l'étude d'une antenne imprimée bicouche fonctionnant en mode "thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Batna, 2011.