الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique

Projet de Fin D'études

Présenté pour l'obtention du

Diplôme de Master

Spécialité : *les systèmes de télécommunication*

THEME

Conception et simulation d'une antenne micro-ruban de formes spécifiées

Proposé et dirigé par,

Mr. B. MIMEN

Préparé et présenté par,

M.GASMI FAROUK

M.DEHBI MOHAMED

Devant le jury composé de,

Mr. ELBESSEGHI Encadreur

Mr. ESSAID Président

Année Universitaire 2017 - 2018

Remerciement

Tout d'abord nous remercions dieu pour nous avoir guidés vers le chemin de la lumière et du savoir, pour nous avoir donné le courage et la volonté afin de pouvoir réaliser ce travail et nos parents pour leurs soutiens et leurs sacrifices.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer cet ouvrage et en particulier notre encadreur ***Mr. MIMENE*** pour son aide et ses orientations précieuses

Nous tenons également à remercier les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous accordé, en acceptant de juger notre travail.

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants de l'institut de télécommunication qui ont contribué à notre formation.

Que tous ceux et celles qui nous ont apporté leur soutien et qui nous ont aidé de prés ou de loin pour l'achèvement de ce projet, trouvent ici l'expression de notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos familles et nos amis

Dédicace

Je remercie le Dieu pour m'avoir donné la force d'accomplir

Ce travail pour aller plus loin.

A mon père.

Tu as toujours entouré ta famille d'amour et réjouissais

Des réussites de tes enfants.

Tu m'as soutenu dans les différentes étapes de ma vie et m'as

Appris le sens des valeurs.

Chaque homme a besoin d'un modèle dans sa vie et te restera à jamais le mien.

Papa ; je dédie ce travail.

A ma mère.

Je te remercie pour ton soutien, ton amour et ton courage.

Reçois ici témoignage de tout mon amour.

Maman ; je dédie ce travail ;

Je le dédie à mon petite frère Mohamed Ryane. Et mes sœurs Abir et Minna Allah,

Et mes Frères Fethi , Abd Alhalim , Salim et Sedik

Et je les remercie pour leurs encouragements ainsi que toute ma famille.

A tous mes amis et mon binôme : Mohamed Dehbi

A mes collègues de la promotion 2017/2018.

A tous ceux qui aiment FAROUK et ceux qui FAROUK aime.

Dédicace

Je remercie le Dieu pour m'avoir donné la force d'accomplir

Ce travail pour aller plus loin.

A mon père.

Tu as toujours entouré ta famille d'amour et réjouissais

Des réussites de tes enfants.

Tu m'as soutenu dans les différentes étapes de ma vie et m'as

Appris le sens des valeurs.

Chaque homme a besoin d'un modèle dans sa vie et te restera à jamais le mien.

Papa ; je dédie ce travail.

A ma mère.

Je te remercie pour ton soutien, ton amour et ton courage.

Reçois ici témoignage de tout mon amour.

Maman ; je dédie ce travail ;

Je le dédie à mes frères walid et Abd Alrahmane

Et je les remercie pour leurs encouragements ainsi que toute ma famille.

A tous mes amis et mon binôme : Farouk gasmi

A mes collègues de la promotion 2017/2018.

A tous ceux qui aiment MOHAMED et ceux qui MOHAMED aime.

ملخص :

هوائيات الميكروفون هي أجهزة لنقل واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية. هي هياكل مصغرة يمكن دمجها في معدات الإرسال مثل أجهزة الهواتف النقالة . هذه الأخيرة تجد تطبيقاتها في مختلف المجالات.

هذه مذكرة مخصصة لتصميم ومحاكاة الهوائيات ذات الشريط الصغير من مختلف الأشكال (مستطيلة أو دائرية والمضلع) و فقا للتردد (2.5 GHz و 5 GHz)، الأبعاد وكذلك سمك ونوع العازل. تم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج HFSS "Ansoft- High Frequency Structure Simulator". النتائج المقدمة لكل حالة هوائي ، هي نمط الإشعاع ، الكسب ، الاتجاهية ، المعامل S ، إلخ ، وقد أجريت دراسة مقارنة بين مختلف الحالات. في كائن آخر، يحتوي تصميم ومزاوجة مصفوفة الهوائي على الشكل المستطيل للعناصر المختلفة: 2 و 4 و 8 حسب تردد 2 GHz،5.

كلمات البحث: هوائي، مغير، عازل، HFSS، عرض النطاق الترددي، نمط الإشعاع، زيادة، الاتجاهية، معامل الانعكاس،

RESUME :

Les antennes micro rubans sont des dispositifs de transmission et réception des ondes électromagnétique. Ce sont des structures miniaturisées qui peuvent être intégrés dans des équipements de transmission tels que les téléphones portables. Ces dernières trouvent leurs applications dans les divers domaines.

Ce mémoire est consacré à la conception et la simulation des antennes micro-rubans de divers formes (rectangulaires, circulaires et polygones) en fonction de la fréquence (2,5GHz et 5 GHz), les dimensions ainsi que l'épaisseur et le type du diélectrique. La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel HFSS «Ansoft- High Frequency Structure Simulator». Les résultats présentés pour chaque cas d'antenne, sont le diagramme de rayonnement, le gain, la directivité, le coefficient S,…etc, et une étude comparative entre les diverses cas a été effectuée.

Dans un autre objet, une concevoir et simulation d'un réseau d'antenne a la forme rectangulaire de divers éléments : 2 ,4 et 8 en fonction de la fréquence 2.5 GHz.

Mots clés : antenne, micro-ruban, diélectrique, HFSS, bande passante, diagramme de rayonnement, gain, directivité, Coefficient de réflexion,

Abstract

Microstrip antennas are devices for transmitting and receiving electromagnetic waves. These are miniaturized structures that can be integrated into transmission equipment such as mobile phones . These latter find their applications in the various fields.

This thesis is devoted to the design and simulation of micro-ribbons antennas of various shapes (rectangular, circular and polygons) as a function of frequency (2.5GHz and 5 GHz), the dimensions as well as the thickness and type of the dielectric. The simulation was carried out using the HFSS software "Ansoft- High Frequency Structure Simulator". The results presented for each antenna case are the radiation pattern, the gain, the directivity, the S coefficient, etc., and a comparative study between the various cases has been carried out.

In our object, a design and simulation of an antenna array has the rectangular shape of various element: 2, 4 and 8 depending on the frequency 2.5 GHz.

Key words: antenna, micro-ribbon, dielectric, HFSS, bandwidth, radiation pattern, gain, directivity, reflection coefficient,

Table des matières

Table des matières : ……..……I

Liste des Figures :……...…IV

Liste des Tableaux :……...…..VIII

Liste des ABREVIATION :……..……...IX

Introduction Générale :……..……..……1

CHAPITRE I : Généralités (Quelques notions de base)

I.1 Introduction : 2

I.2 Historique : 3

I.3 Généralités sur les antennes : 3

I.3.1 Définition : 3

I.3.2 Le rôle des antennes : 4

- **Antenne d'émission : 4**
- **Antenne de réception : 4**
- **Réciprocité : 4**

I.3.3 Comment rayonne une antenne : 5

I.3.4 Rayonnement électromagnétique (champ proche et champ lointain) : 6

- ✓ **Zone de Rayleigh : 6**
- ✓ **Zone de Fresnel : 6**
- ✓ **Zone de Fraunhofer : 6**

I.3.5 Différents types d'antennes : 7

- **Antenne dipolaire 7**
- **Boucle magnétique 8**
- **Antenne cornet.....9**
- **Réseau de fentes.....9**
- **Antenne à réflecteur parabolique 10**
- **Antennes de type Cassegrain.....10**
- **Antennes plaquées (micro ruban) 11**

I.3.6 Les paramètre d'antennes : 11

- **L'impédance d'entrée :.....11**
- **Le coefficient de réflexion et la bande passante :.....12**

- **La directivité** : 13
- **Le gain** : 14
- **La polarisation d'une antenne :** 14
- **Diagramme de rayonnement** : 15
- **L'angle d'ouverture** : 15
- **Rendement :** 16

I.4 Conclusion : 17

Chapitre 2 : Etude et caractéristiques des antennes micro ruban

II.1 Introduction : 18

II.2 Antenne micro ruban : 19

II.2.1 Définition et Structure : 19

II.2.2 Avantages : 20

II.2.3 Limitations : 21

II.3 Classification des antennes micro ruban 21

II.3.1 Les différentes formes d'antenne micro ruban : 21

II.3.2 Les antennes réseaux : 22

II.4 Les paramètres géométriques du l'antenne imprimée : 23

II.4.1 Largeur du patch : 23

II.4.2 Longueur du patch : 23

II.5 Choix du substrat : 24

II.5.1 Les matériaux diélectriques utilisés : 24

- **Les matériaux semi-conducteurs :** 25

- **Les matériaux ferromagnétiques :** 25
- **Les matériaux synthétiques : ….** 25
- **Les matériaux céramiques :** 25
- **Les matériaux TMM :** 25
- **Les matériaux photoniques:.** 25

II.5.2 Critères de choix du substrat : 26

II.6 Caractéristiques de l'Antenne micro ruban : 26

- **Bande Passante** 26
- **Impédance d'Entrée :** 27
  - **Diagramme de Rayonnement :** 27

II.7 Techniques d'excitation d'une antenne micro-ruban : 27

- **Alimentation par ligne micro-ruban :** 28

- **Alimentation par sonde coaxiale :** 28
- **Alimentation par couplage par fente :** 29
- **Alimentation par couplage par proximité :** 30
- **Avantages et inconvenants de ces techniques d'alimentation :** 31

II.8 Les Applications des antennes micro ruban : 32

II.9 Conclusion : 33

Chapitre 3 : Conception et simulation des antennes micro-ruban de diverses formes

III.1 Introduction 34

III.2 Travail à effectuer : 34

III.3 Présentation du Logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) : 35

III.4 Description des modules à réaliser : 35

III.5 Conception 36

III.6 Simulation 37

III.6.1 Les résultats de simulation pour les formes d'une antenne patch : 37

A. **Pour fréquence f=2.5 GHz** 37

B. **Pour fréquence f =5GHz** 49

III.6.2 Les résultats de simulation pour des réseaux d'antenne : 61

III.6.2.1 Réseau d'antenne d'un 2 patch : 61

III.6.2.1 Réseau d'antenne d'un 4 patch : 63

III.6.2.3 Réseau d'antenne d'un 8 patch : 65

III.7 Tableaux de comparaison : 67

III.8 Discussion et interprétation des résultats : 68

III.9 Conclusion : 69

Conclusion Générale 70

Bibliographie : 71

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Historique d'évolution des antennes 2
Figure I.2 : lien radio typique..... 3
Figure I. 3 : Rayonnement d'une antenne. 4
Figure I.4 : La densité de puissance rayonnée par l'antenne 5
Figure I.5 : Limite des 3 zones de rayonnement. 6
Figure I.6 : Antenne dipolaire 7
Figure I.7 : Boucle magnétique..... 7
Figure I.8 : Antenne cornet. 8
Figure I.9 : Réseau de fentes 8
Figure I.10 : Antenne à réflecteur Parabolique. 9
Figure I.11 : Antenne à réflecteur parabolique 10
Figure I.12 : Représentation de l'impédance de l'antenne..... 11
Figure I.13 : Exemple $|S_{11}|$d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10dB..... 12
Figure I.14 : Représentation de la polarisation verticale et horizontale. 14
Figure I.15 : Représentation de diagramme de rayonnement 3D, E et H..... 14
Figure I.16 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes. 15
Figure II.1 : Géométrie d'une antenne micro ruban de forme arbitraire. 17
Figure II.2 : Antenne plaquée. 18
Figure II.3 : Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique 19
Figure II.4 : Différentes formes d'antennes patch 20
Figure II.5 : Réseaux d'antennes micro ruban 21
Figure II.6 : Alimentation par ligne micro ruban..... 27
Figure II.7 : Alimentation par sonde coaxiale d'une antenne patch 28
Figure II.8 : Alimentation par couplage par fente..... 28
Figure II.9 : Alimentation par couplage par proximité 29
Figure III.1 : antenne micro ruban rectangulaire ……36
Figure III.2 : antenne micro ruban polygone…….36
Figure III.3 : antenne micro ruban circulaire…….36
Figure III.4 : réseau d'antenne d'un 2 patch……..36
Figure III.5 : réseau d'antenne d'un 4 patch……...37
Figure III.6 : réseau d'antenne d'un 8 patch…….……....37
Figure III.7 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……..37
Figure III.8 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).....38
Figure III.9 : Diagramme de rayonnement du gain……..……..38
Figure III.10 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..…..….38

Figure III.11: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……..……..…39

Figure III.12 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……...……..39

Figure III.13 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……..……..……40

Figure III.14 : Diagramme de rayonnement du gain……..…....……40

Figure III.15 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..…40

Figure III.16: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……...…..…41

Figure III.17 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……..……....41

Figure III.18 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….....…..42

Figure III.19 : Diagramme de rayonnement du gain……...……..42

Figure III.20 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….……...……42

Figure III.21: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……...…...…43

Figure III.22 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence…….……..…..43

Figure III.23 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) …….……..…..44

Figure III.24 : Diagramme de rayonnement du gain…..…….....44

Figure III.25 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..……...44

Figure III.26: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain…….…….……45

Figure III.27 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……..45

Figure III.28 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) …….…….....….46

Figure III.29 : Diagramme de rayonnement du gain…….....….46

Figure III.30: Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..…46

Figure III.31: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……...…..47

Figure III.32 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……..……47

Figure III.33 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……....…….....48

Figure III.34 : Diagramme de rayonnement du gain…….....48

Figure III.35 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……...…48

Figure III.36: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……..…....49

Figure III.37 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……...…...49

Figure III.38 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……..……..... 50

. **Figure III.39 :** Diagramme de rayonnement du gain…….....…..50

Figure III.40 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……50

Figure III.41: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……51

Figure III.42 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……51

Figure III.43: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……...52

Figure III.44 : Diagramme de rayonnement du gain…….....….52

Figure III.45 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….…….52

Figure III.46: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……..…….53

Figure III.47 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence…….……53

Figure III.48: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….……..….54

Figure III.49 : Diagramme de rayonnement du gain…….….54

Figure III.50 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..….54

Figure III.51: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……..…….55

Figure III.52 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……55

Figure III.53: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….……...56

Figure III.54 : Diagramme de rayonnement du gain…….....….56

Figure III.55 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….56

Figure III.56: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain…….……..….57

Figure III.57 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……..……57

Figure III.58: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….……..….58

Figure III.59 : Diagramme de rayonnement du gain……....….58

Figure III.60 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….…….58

Figure III.61: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain…….…..…..59

Figure III.62 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence……59

Figure III.63: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……..……..….60

Figure III.64 : Diagramme de rayonnement du gain…….….60

Figure III.65 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….….60

Figure III.66: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain…….……...….61

Figure III.67 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence…….……61

Figure III.68: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….….62

Figure III.69 : Diagramme de rayonnement du gain……..….62

Figure III.70 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale…….….62

Figure III.71: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain…….....63

Figure III.72 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence…….……63

Figure III.73: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)…….……64

Figure III.74 : Diagramme de rayonnement du gain…….....….64

Figure III.75 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..…….64

Figure III.76: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……..…….65

Figure III.77 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence…….……65

Figure III.78: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire)……..…….66

Figure III.79 : Diagramme de rayonnement du gain…….....….66

Figure III.80 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale……..…….66

Figure III.81: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain……...…….67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Comparaison des différentes techniques d'alimentation……..30
Tableau II.2 : les avantage et les inconvénients de diffèrent technique de l'alimentation…….31
Tableau III.1 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire……. 39
Tableau III.2 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire…….. 41
Tableau III.3 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire…… 43
Tableau III.4 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire…….45
Tableau III.5 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone…….47
Tableau III.6 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone…….49
Tableau III.7 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire…….. 51
Tableau III.8 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire…….. 53
Tableau III.9: Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire…… 55
Tableau III.10 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire…….. 57
Tableau III.11 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone…….. 59
Tableau III.12 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone…….. 61
Tableau III.13: Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 2 patches…….. 63
Tableau III.14 : Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 4 patches…….. 65
Tableau III.15 : Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 8 patchs…… 67
Tableau III.16 : Tableau Comparatif entre les trois différentes formes…… 67
Tableau III.17 : Tableau Comparatif entre les trois différents réseaux antennes…… 68

LISTE DES ABREVIATION

RFID : identification radio fréquence.

MMIC : Microwave Monolithic Integrated Circuits.

GaAs : Arséniure de Gallium.

TMM : Thermoset Microwave Material.

VSWR : Voltage standing wave ratio

FDTD : Finité Différence Time Domaine.

FIT : la technique d'intégration finie.

CST : Computer Simulation Technology.

HFSS : High Frequency Structure Simulator.

Introduction générale :

Les télécommunications se sont banalisées au cours de ces dernières années. Poussés par l'engouement du public, les systèmes de réception sont devenus portables et les antennes se sont miniaturisées, l'utilisation d'antennes imprimées est devenue usuelle dans les systèmes de radiocommunications.

Le développement des nouveaux systèmes de Télécommunications sans fil nécessite la conception d'antennes de plus en plus difficiles à élaborer. Les antennes satisfaisant de nombreuses contraintes telles que : compacité, faible coût de fabrication, large bande passante et fonctionnement multifréquence.

De ce fait, les études se sont orientées vers une miniaturisation importante, vers l'utilisation de nouveaux matériaux diélectriques et vers le développement de capacités multifonctionnelles....

Afin de répondre à ces besoins, des méthodologies de conception innovatrices d'antenne sont nécessaires. Les nouvelles technologies pour les systèmes de télécommunication devront démontrer des potentialités très attractives en matière minimisée, des pertes de réglage et de reconfiguration des circuits, et aussi la fiabilité, faire diminuer coûts de fabrication. Dans lesquels les caractéristiques pourront évoluer par une commande électronique.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à étudier les antennes Micro-rubans minimisées. Leur première apparition était dans les années 1950 par Deschamps, mais il a fallu attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui étaient essentiellement réservées à des applications militaires.

Deux atouts majeurs ont entraîné un développement très important de ce type: leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration. Aujourd'hui ils sont implantés dans des nombreux dispositifs électroniques et constituent le type privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes. Par ailleurs ce type présente des limites, notamment la bande passante étroite.

Notre mémoire est subdivisé comme suite, Dans le premier chapitre, nous aurons dressé généralités quelques notions de base pour les antennes, ensuit pour la deuxième chapitre nous avons présenté une Etude et caractéristiques des antennes micro ruban,enfin pour la troisième chapitre en a présenter la conception et simulation de HFSS pour une étude comparative.

Chapitre I

Généralités (Quelques notions de base)

Chapitre 1 :
Généralités (Quelques notions de base)

I.1 Introduction :

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Une définition traditionnelle est la suivante : « Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur » [Combes].

Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique, à condition que l'onde électromagnétique soit modulée par un signal informatif. Une liaison radioélectrique est un canal de transmission entre un émetteur et un récepteur, dont le support de transmission est assuré par des ondes électromagnétiques. Comme tous les canaux de communication, il est soumis aux problèmes posés par le bruit et les perturbations, qui vont limiter les performances du système de transmission. Ils sont aussi dépendants des propriétés de l'antenne qui va donner naissance à l'onde électromagnétique, et à l'environnement autour de l'antenne qui va influer sur la propagation des ondes électromagnétiques. La connaissance et la modélisation de la propagation et des antennes sont complexes … mais nécessaires pour dimensionner un système de transmission sans fils.

Bien que complémentaire de l'étude des antennes, la question de la propagation des ondes électromagnétiques, la description physique et la modélisation des effets de la propagation des ondes et les techniques permettant de compenser les effets parasites du canal radioélectrique ne seront pas traitées dans ce cours.

Dans ce chapitre nous aurons dressé généralités quelques notions de base pour les antennes : le rôle des antennes, comment rayonnent-ils ?, le rayonnement électromagnétique des antennes. Puis on aura présenté les différentes types d'antennes en suite différents paramètres des antennes

I.2 Historique :

La figure(I.1) présente un rapide historique des découvertes et inventions liées aux radiocommunications et aux antennes. Le développement des radiocommunications est basé sur la théorie de l'électromagnétisme, mise au point au 19eme siècle et améliorer au 20eme siècle. Les ondes électromagnétiques, support des radiocommunications, ont été prévu de manière théorique dans le cadre des équations de Maxwell et mises en évidence expérimentalement par Hertz à la fin du 19eme siècle. Peu de temps après, les premières applications de transmission radio sont apparus. Leur développement s'est fait en parallèle avec celui de l'électronique au début du siècle. Le 20eme siècle est ensuite ponctué d'innovations majeures, qui répondaient à des besoins précis. [3]

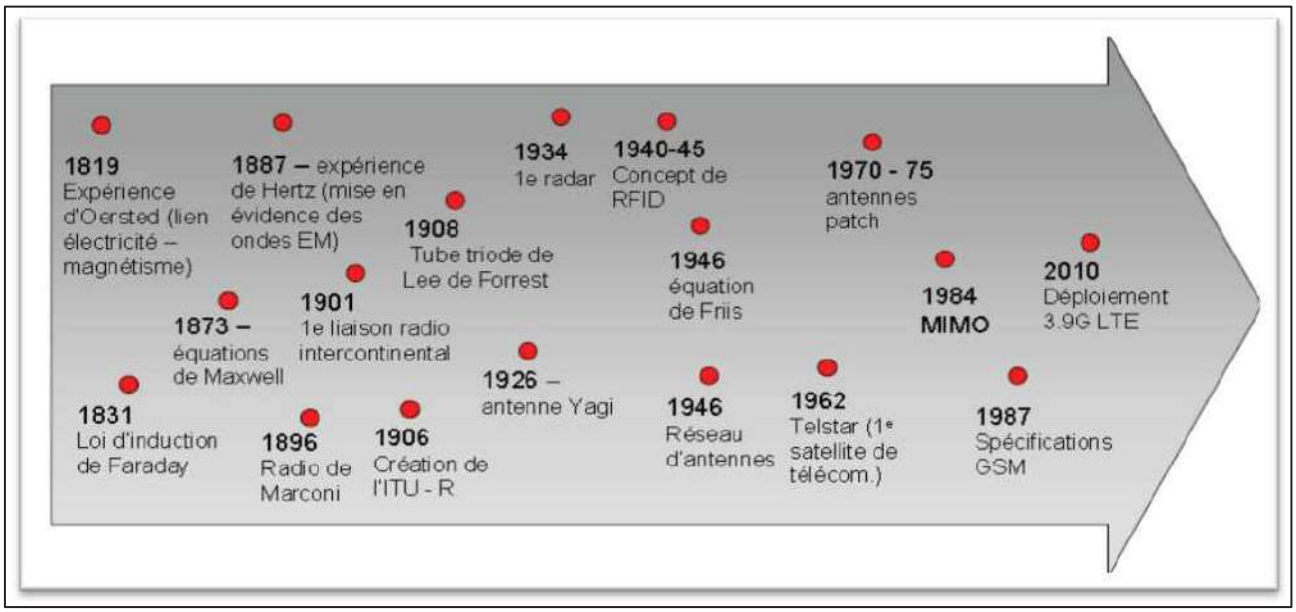


Figure I.1 : Historique d'évolution des antennes

I.3 Généralités sur les antennes :

I.3.1 Définition :

Une antenne est un dispositif qui assure la transition entre un guide d'onde et l'espace libre dans lequel ces ondes vont se propager, ou inversement. [13]

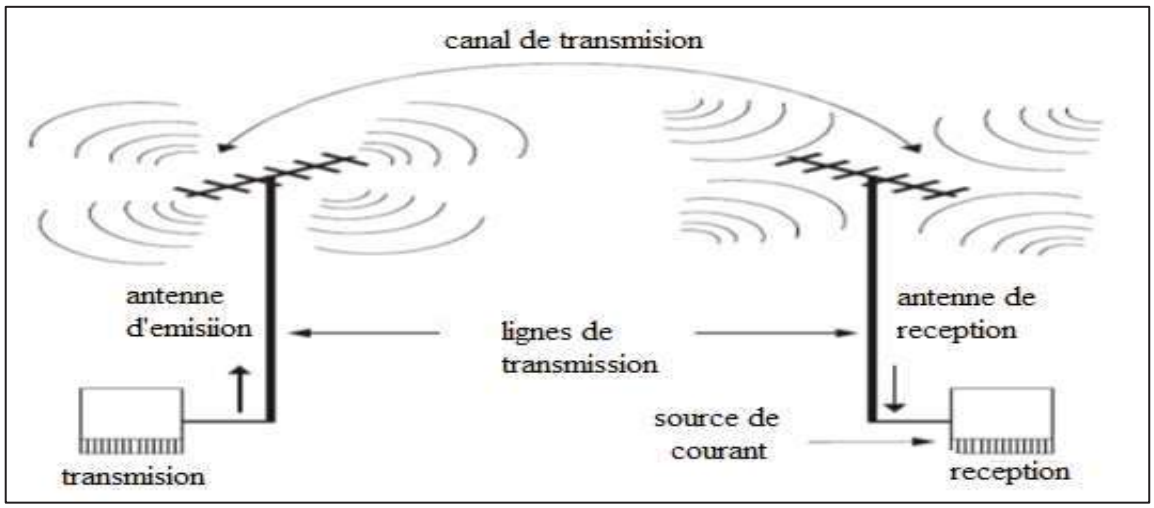


Figure I.2 : lien radio typique

I.3.2 Le rôle des antennes :

- **Antenne d'émission :**

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

- **Antenne de réception :**

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

- **Réciprocité :**

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes On dit que son fonctionnement est réciproque.

Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas.

I.3.3 Comment rayonne une antenne :

Afin de savoir comment une antenne rayonne, voyons d'abord comment le rayonnement se produit.

Un fil conducteur rayonne principalement en raison d'une variation temporel du courant ou une accélération (ou décélération) de la charge. S'il n'Ya pas de déplacement de charges dans le fil y'aurai pas de rayonnement, car aucun flux de courant ne se produit. Le rayonnement ne se produira pas même si les charges sont en mouvement avec une vitesse uniforme dans un fil rectiligne. Mais dans un fil courbé ou plié le mouvement des charges avec une vitesse uniforme produira des rayonnements. Si la charge oscille dans le temps, le rayonnement se produit même dans d'un fil rectiligne. [1]

Le rayonnement d'une antenne peut être expliqué comme montré la Figure I.3 qui présente une source de tension connecté à une ligne de transmission à deux conducteurs. Quand une tension sinusoïdale est appliquée à travers la ligne de transmission, un champ électrique est créé qui est sinusoïdal dans la nature et il en résulte la création de lignes de force électriques qui sont tangentielle du champ électrique. L'amplitude du champ électrique est indiquée par la concentration des lignes de force électriques.

Les électrons libres sur les conducteurs sont déplacées par les lignes électriques de force et le mouvement de ces charges provoque la circulation du courant qui à son tour conduit à la création d'un champ magnétique. [5]

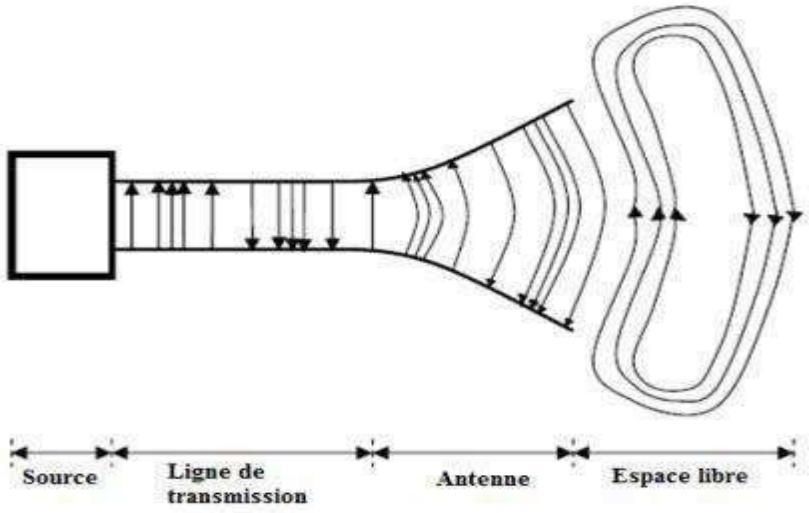


Figure I. 3 : Rayonnement d'une antenne.

I.3.4 Rayonnement électromagnétique (champ proche et champ lointain) :

Les champs dans la proximité de l'antenne sont extrêmement complexes à analyser.

✓ **Zone de Rayleigh :**

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre *l'antenne et le milieu extérieur. A courte distance* (*par rapport* à *la longueur d'onde*) *pour* $r < \frac{Dse^2}{2\lambda}$ la densité de puissance est quasi constante (tube d'énergie).

Les champs varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes à analyser.

✓ **Zone de Fresnel :**

Elle se situe entre les deux extrêmes. Ici les champs varient avec de fortes oscillations. Dans cette zone, $\frac{Dse^2}{2\lambda} < r < \frac{2Dse^2}{2\lambda}$, où la densité de puissance est fluctuante.

✓ **Zone de Fraunhofer :**

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance par rapport à la longueur d'onde, les champs sont rayonnés sous la forme d'une onde quasiment plane. Dans cette zone, $r > \frac{2Dse^2}{2\lambda}$, où la densité de puissance décroît en $\frac{1}{r}$.

Quel que soit le type d'antenne, on obtient invariablement des champs dont les expressions mathématiques indiquent des variations en $\frac{1}{r}$, $\frac{1}{r^2}$ et $\frac{1}{r^3}$. On interprète ces variations des champs selon la distance comme :

- les termes en $\frac{1}{r}$ correspondent au rayonnement.
- les termes en $\frac{1}{r^2}$ de E sont reliés à l'induction.
- les termes en $\frac{1}{r^3}$ *de* E et en $\frac{1}{r^2}$ de H proviennent de l'électrostatique.

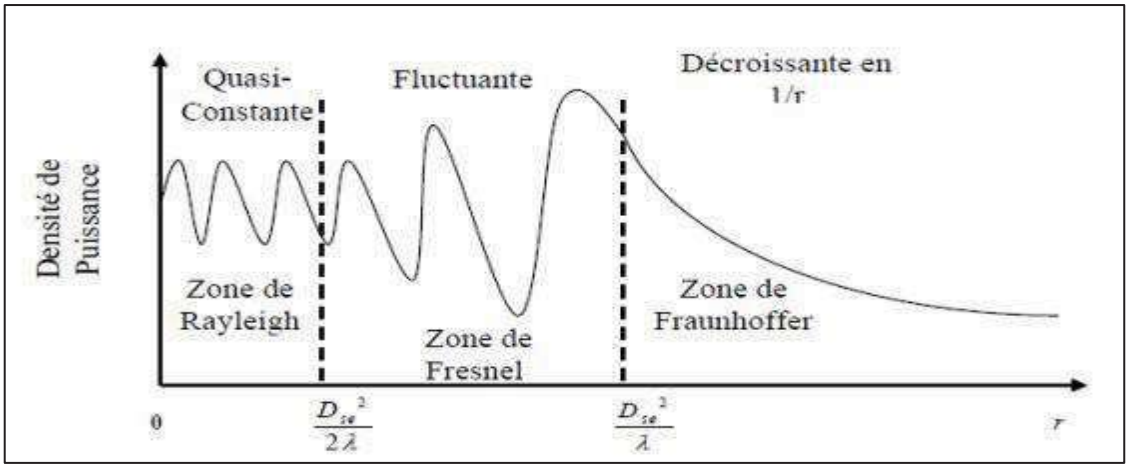


Figure I.4 : La densité de puissance rayonnée par l'antenne

D_{se} est le diamètre de la surface équivalente de l'antenne et r la distance à l'antenne.

Donc l'espace environnant d'une antenne est divisé en trois parties qui sont présenté dans Figure I.5 suivante : [5]

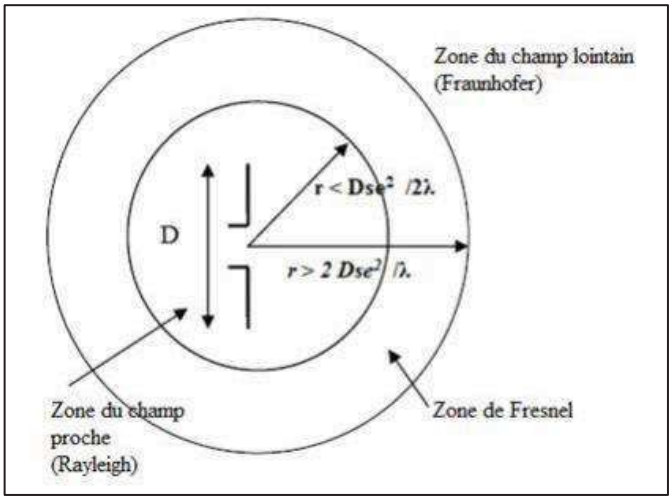


Figure I.5 : Limite des 3 zones de rayonnement.

I.3.5 Différents types d'antennes :

Afin de comprendre comment s'effectue cette transformation entre la puissance guidée et la puissance rayonnée, nous allons présenter un certain nombre d'antennes. Elles sont classées ici selon un ordre qui suit approximativement leur chronologie d'apparition. Il n'est pas question dans ce paragraphe de présenter tous les types d'antennes, mais d'en introduire certains des plus utilisés.

En conclusion, nous aboutirons à un classement des antennes selon le type de la source rayonnante qui apparaîtra soit comme un courant électrique, soit comme une surface caractérisée par un champ électrique.

- **Antenne dipolaire**

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire (figure 1.6). En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont dans le même sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. Étant donnée la symétrie du dipôle, le rayonnement s'effectue autour de l'axe, matérialisé

par le fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler d'un rayonnement isotrope.

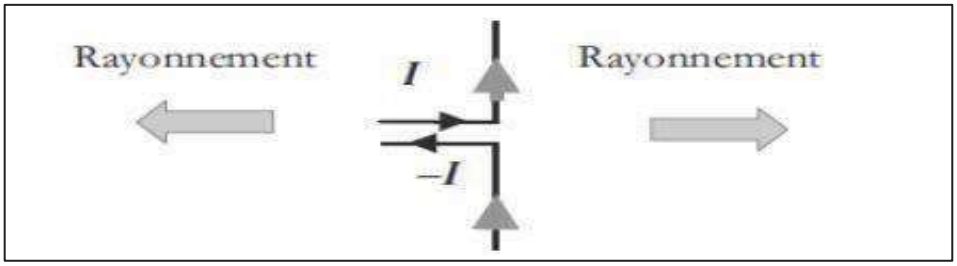


Figure I.6 : Antenne dipolaire

À l'extrémité de chaque fil apparaissent des charges de signes opposées dont l'existence s'explique par la conservation de la charge. En effet, la relation de conservation suivante lie les charges au courant : $I = \frac{dq}{dt}$

D'autres antennes de même type sont obtenues avec des fils rayonnants plus longs. Ces antennes de type filaires ont de nombreuses applications qui seront décrites dans les chapitres suivants.

Citons rapidement les antennes pour récepteurs radio, les antennes du talkie-walkie, etc.

- **Boucle magnétique**

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (figure 1.7). La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur.

Le rayonnement, à grande distance, est maximal dans le plan de la boucle et s'effectue de façon radiale. Le courant circulant dans le fil crée un champ magnétique qui se propage. Sa variation engendre le champ électrique associé, d'où le rayonnement électromagnétique associé.

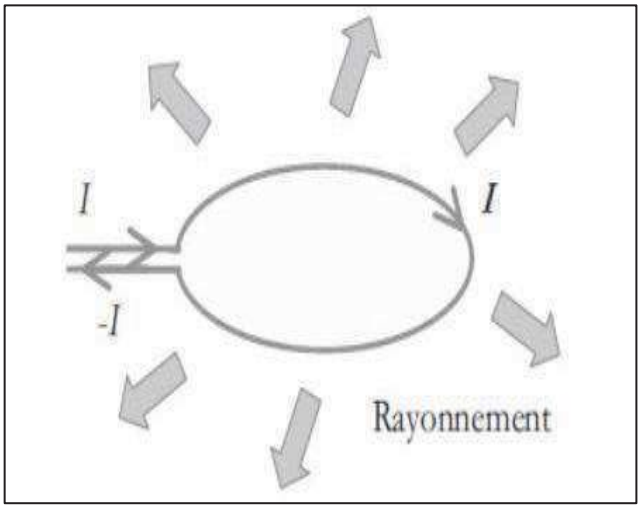


Figure I.7 : Boucle magnétique

En champ lointain, les boucles magnétiques ont été très utilisées pour les récepteurs de grandes ondes radio sous forme d'un cadre sur lequel étaient enroulées plusieurs spires de fil. En champ proche, on les utilise dans tous les dispositifs RFID (identification radio fréquence). Les cartes à

puce sans contact sont munies de ce type d'antenne, incluse dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique.

- **Antenne cornet**

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, il est utilisé en haute en fréquence. Son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (figure 1.8). Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique.

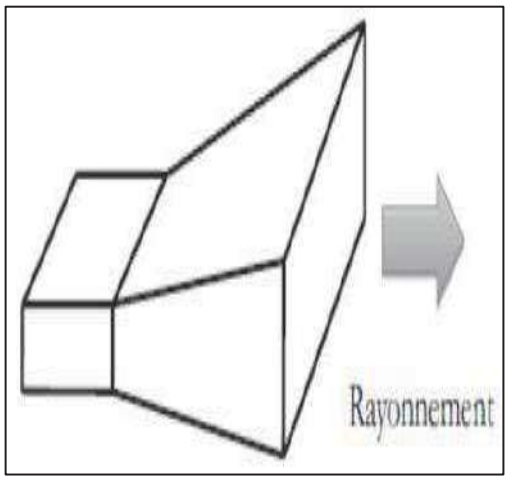


Figure I.8 : Antenne cornet.

Les transitions présentent des formes variées : linéaires, exponentielles... Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance du cornet et celle du vide.

De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que les précédentes, dans la mesure où la puissance n'est émise que dans une région de l'espace limitée.

Le guide d'onde est un dispositif hyperfréquence très utilisé du fait des pertes très faibles engendrées par la propagation dans celui-ci, même à hautes fréquences et de sa capacité à supporter de la puissance. Les antennes cornets qui lui sont associées sont donc aussi très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites…

- **Réseau de fentes**

Toujours en utilisant le guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'envisager un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide, en usinant des fentes dans le corps du guide. Le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan

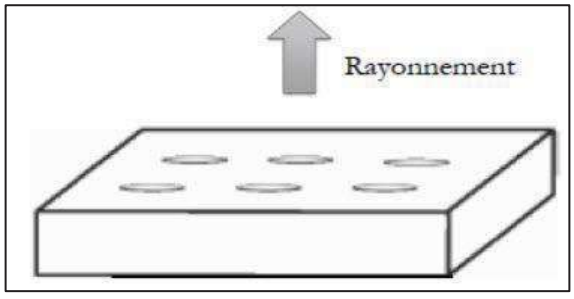


Figure I.9 : Réseau de fentes

troué du guide.

Ce type de dispositif est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Par exemple, dans des tunnels, où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes. En général la ligne est en haut du tunnel avec émission vers le bas

- **Antenne à réflecteur parabolique**

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réflectrice, souvent de forme parabolique (figure 1.10)

La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement. Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles. Par décalage de la source dans le plan focal, les rayons parallèles à la sortie du réflecteur, peuvent présenter une inclinaison par rapport à l'axe de la parabole.

Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision. Leur orientation est choisie de façon à viser un satellite particulier.

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

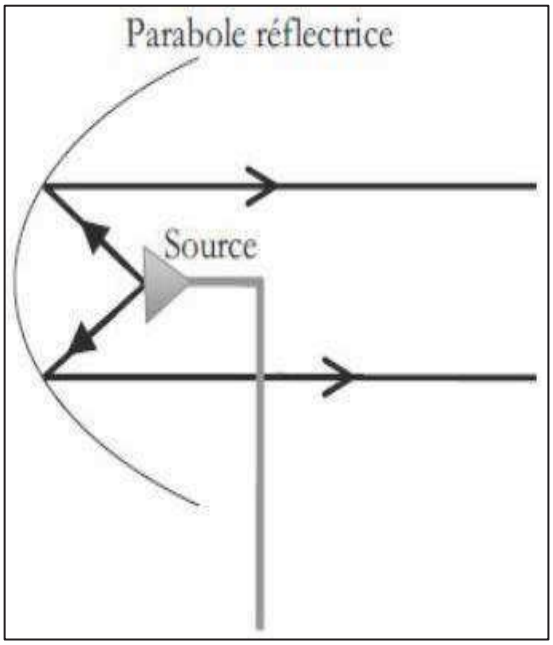


Figure I.10 : Antenne à réflecteur Parabolique.

- **Antennes de type Cassegrain**

Une variante des antennes précédentes consiste à utiliser un réflecteur principal et un réflecteur secondaire, comme dans le montage Cassegrain (figure 1.11). Ce nom provient du télescope du même nom reposant sur le même principe.

Les rayons issus de la source se réfléchissent sur un premier réflecteur de forme hyperbolique, puis sur le réflecteur principal de forme parabolique. Les rayons ressortent parallèlement. La propriété

de l'antenne parabolique est ainsi conservée. L'intérêt de ce type d'antenne est d'être moins sensible aux parasites provenant de l'extérieur de la parabole. De plus, les câbles reliant la source à l'électronique sont plus courts que dans les systèmes d'alimentation d'une antenne parabolique. La qualité du signal s'en trouve améliorée.

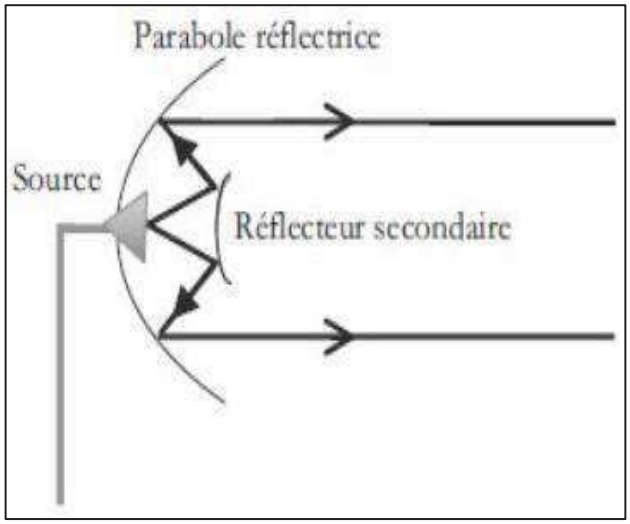


Figure I.11 : Antenne à réflecteur parabolique

- **Antennes plaquées (micro ruban)**

L'antenne plaquée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique. Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban [2]. Ce type d'antennes est le sujet du chapitre suivant.

I.3.6 Les paramètre d'antennes :

➢ I.3.6.1 L'impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme le rapport entre la tension et le courant aux terminaux de l'antenne ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs électriques et magnétiques. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne Z_{ant} se décompose en une partie réelle

R_{ant} et une partie imaginaire X_{ant} et s'écrit comme suit :

$$Z_{ant} = R_{ant} + X_{ant}\, j \qquad (I.1)$$

Z_{ant}: impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

La partie réelle de l'impédance R_{ant} regroupe une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray} \quad (I.2)$$

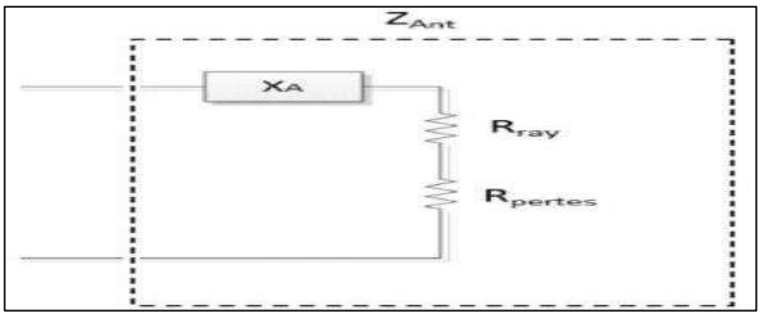


Figure I.12 : Représentation de l'impédance de l'antenne

Pour s'assurer que la puissance a été transférée de l'alimentation vers l'antenne, il est nécessaire d'avoir une adaptation d'impédance. Le transfert maximal de puissance est obtenu lorsque l'impédance de l'alimentation est égale à l'impédance conjuguée de l'antenne et comme S_{11} est fonction de la fréquence alors R_{ant} varie aussi avec la fréquence. Cette impédance d'entrée en fonction de S_{11} est donnée par la formule :

$$Z_{ant} = Z_c * \frac{1+S11}{1-S11} \quad (I.3)$$

- **Le coefficient de réflexion et la bande passante** :

Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z_{ant}, reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_c le coefficient de réflexion peut être défini comme suite :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Zant - Zc}{Zant + Zc} \quad (I.4)$$

Avec : $Z_c = 50$ o*h*m

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S11|_{db}$ et se définit comme suit :

$$|S11|_{db} = 20\log(S_{11}) \quad (I.5)$$

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

La largeur de bande ou bande passante en adaptation d'une antenne peut être définie comme une bande de fréquences pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné. Elle peut être définie comme correspondant à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est supérieur à un seuil.

On déduit souvent la bande passante d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion.

$$BP = \Delta F = F_2 - F_1 \qquad (I.6)$$

On peut avoir la bande passante à partir critère typique de la représentation de coefficient de réflexion sur un droit inférieur a-10 dB ou a -6 dB. La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante a -10 dB.

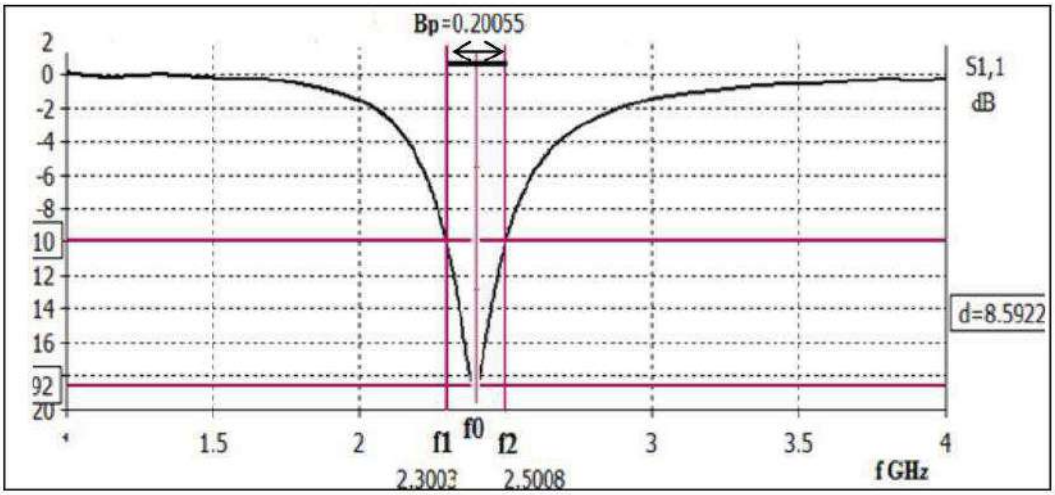


Figure I.13 : Exemple $|S_{11}|$d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10dB.

- **La directivité** :

Elle indique les directions dans lesquelles la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope, elle est égale au rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ,Φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle pour une même puissance totale rayonnée.

$$D(\theta, \Phi) = 4\pi * \frac{P(\theta,\Phi)}{\eta\, Pa} \qquad (I.7)$$

On dira donc qu'une antenne fortement directive quand l'antenne admet une faible ouverture de rayonnement, et qu'une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement.

- **Le gain** :

D'une façon générale, une antenne rayonne une puissance qui varie en fonction de la direction considérée. On appelle gain G (θ, Φ) d'une antenne dans une direction (θ, Φ), le rapport de la puissance P (θ, Φ) dans cette direction à la puissance P_a (θ, Φ) que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation, il est donné par la relation :

$$G(\theta, \Phi) = \frac{P(\theta,\Phi)}{P(\theta,\Phi)} = 4\pi * \frac{P(\theta,\Phi)}{Pa} \qquad \text{(I. 8)}$$

P_a : la puissance d'alimentation.

Le gain et la directivité sont liés par l'équation suivante :

$$G(\theta, \Phi) = \eta\, D(\theta, \Phi) \qquad \text{(I. 9)}$$

- **La polarisation d'une antenne :**

La polarisation est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique.

La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne.

Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste tout le t temps dans le même plan.

Le champ électrique peut laisser l'antenne dans une orientation verticale, une orientation horizontale ou dans un angle entre les deux. Le rayonnement verticalement polarisé est légèrement moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission et l'angle de rayonnement plus bas.

Les antennes omnidirectionnelles ont toujours une polarisation verticale. Avec la polarisation horizontale, de telles réflexions causent des variations dans la force du signal reçu. Les antennes horizontales sont moins sensibles aux interférences causées par les humains, car celles-ci sont généralement polarisées verticalement.

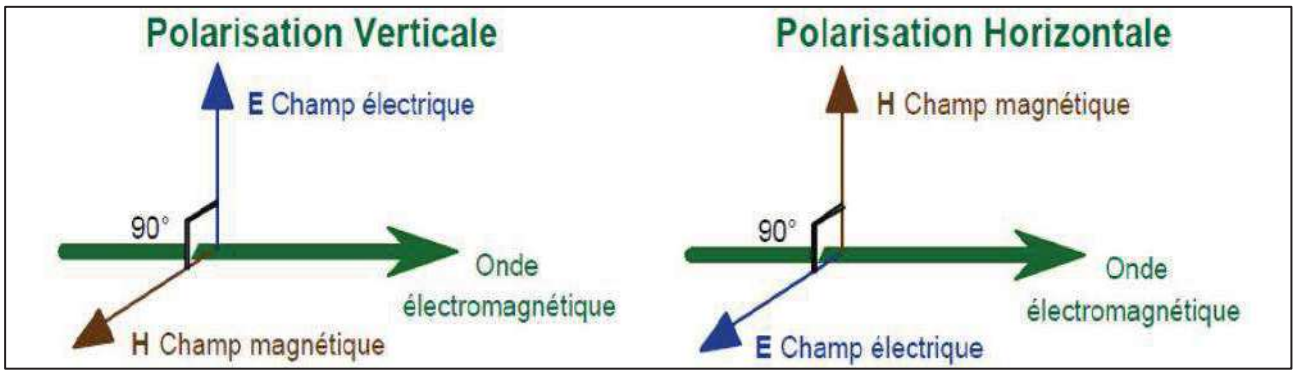


Figure I.14 : Représentation de la polarisation verticale et horizontale.

- **Diagramme de rayonnement** :

Le diagramme de rayonnement est une représentation de la façon dont l'antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace .La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe de rayonnement de l'antenne.

La représentation de cette fonction donne les caractéristiques du rayonnement dans l'espace.

Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique, le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique.

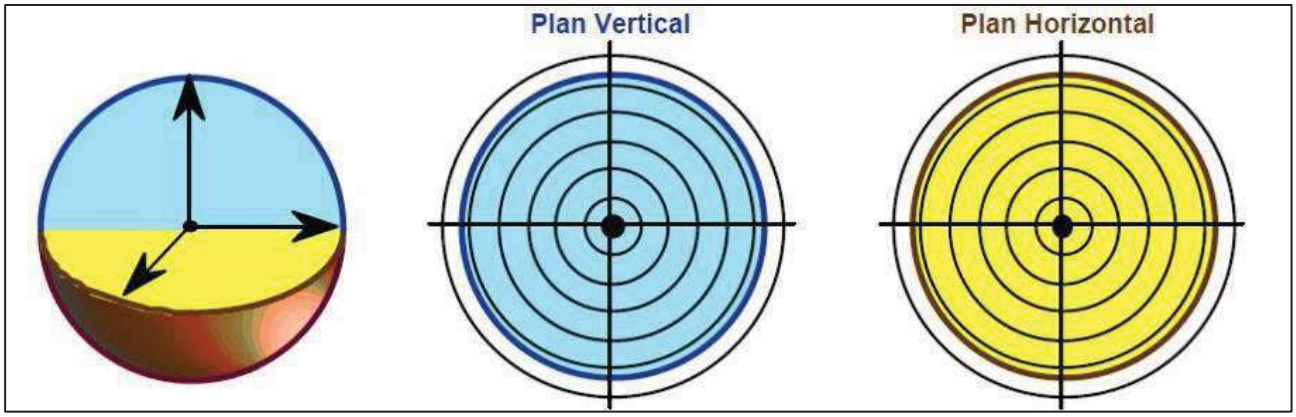


Figure I.15 : Représentation de diagramme de rayonnement 3D, E et H.

- **L'angle d'ouverture** :

L'angle d'ouverture est défini comme l'angle entre les directions où le gain est inférieur de 3dB au gain maximal. Ou bien elle est définie comme l'angle existant entre les points dont la densité de puissance de rayonnement est égale la moitié de la puissance de rayonnement maximum. C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3 dB sur le diagramme de rayonnement, comme le montre Figure I.16.

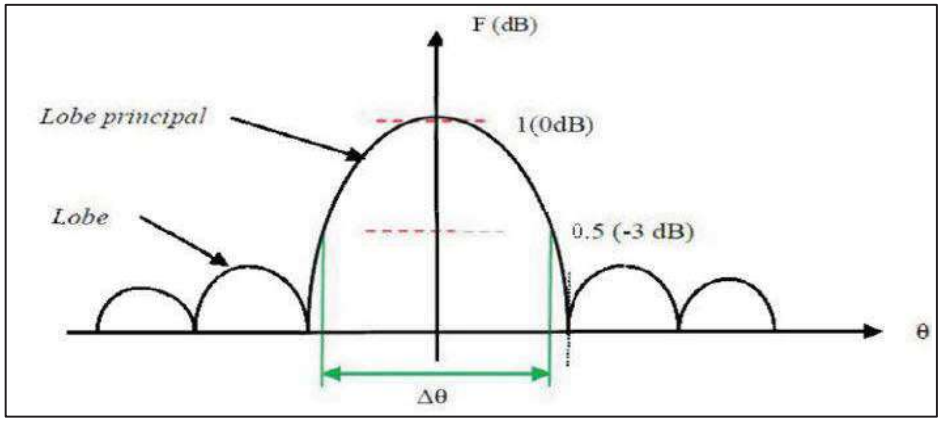


Figure I.16 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes.

ΔΘ représente l'angle d'ouverture. Lorsque l'antenne présente un lobe principal assez fin, la plus grande partie de la puissance rayonnée se trouve à l'intérieur des deux directions (-3dB). Autrement dit, ΔΘ nous donne plus de renseignements sur la finesse du lobe et la qualité du rayonnement.

Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives présentant un lobe principal de rayonnement. L'angle d'ouverture est une donnée importante pour les antennes très directives utilisées dans des liaisons point à point ou alors dans la mise en œuvre d'antennes sectorielles au niveau des stations de base des réseaux de téléphonie sans fil.

- **Rendement :**

Pour une antenne donnée, la puissance rayonnée P est généralement inférieure à la puissance d'alimentation P_a, le rendement d'une antenne est alors défini comme étant le rapport de la puissance totale P qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentation P_a On la note

$$\eta : \eta = \frac{P}{Pa} \qquad \text{(I. 10)}$$

Avec d'autre définition le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation. Elle est exprimée par :

$$\eta = \frac{Rr}{Rr+Rp} \qquad \text{(I.11)}$$

Rr : Résistance liée à son rayonnement.

Rp : Résistance liée aux pertes de l'antenne. [8]

I.4 Conclusion :

Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Plusieurs techniques existent pour les réaliser.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref historique sur les antennes avec une petite définition et montré le rôle et les déférente types des antennes, ainsi que Rayonnement électromagnétique, Nous avons montré également quelques différentes de paramètre d'antennes.

Le chapitre suivant, va présenter une étude détaillée des antennes micro-ruban.

Chapitre II

Etude et caractéristiques des antennes micro ruban

Chapitre 2 :

Etude et caractéristiques des antennes micro-ruban

II.1 Introduction :

Le concept des antennes micro rubans a été proposé la première fois en 1953 par Deschamps, mais ce n'est qu'aux années soixante-dix que les premières applications de ce type d'antennes ont vu le jour. Faiblement profilées, ces antennes sont largement utilisées en particulier dans les communications mobiles et personnelles.

Dans sa forme la plus simple, une antenne micro ruban est constituée d'un élément conducteur appelé patch imprimé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique, la face inférieure complètement métallisée constitue le plan de masse (Figure II.1). L'élément rayonnant peut être de forme arbitraire, cependant les formes rectangulaire, circulaire, triangulaire et leurs dérivées sont les plus communément utilisées vue leur facilité d'analyse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'analyse des antennes planaires, certaines sont relativement simples, partent d'un certain nombre d'approximations donnant naissance à des modélisations, d'autres sont plus élaborées et permettent d'étudier les antennes de formes les plus variées. De nouvelles méthodes dites d'optimisation viennent s'ajouter aux premières, plus simples et d'un degré de précision de plus en plus compétitif

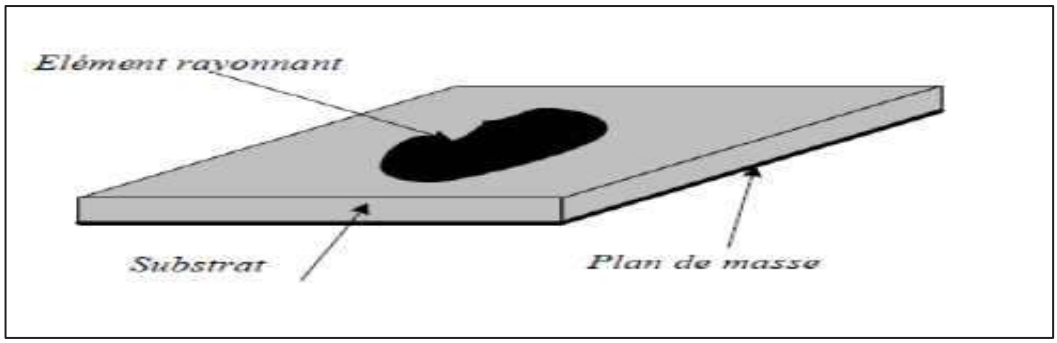


Figure II.1 : Géométrie d'une antenne micro ruban de forme arbitraire.

Ce chapitre présente la technologie imprimée de manière générale. On commence tout d'abord par la structure et les techniques d'alimentation déployées, par la suite, les méthodes d'analyse pouvant tirer profit de ces performances. On clôture le chapitre par un bref aperçu des domaines d'application et quelques avantages et inconvénients des antennes imprimées.

II.2 Antenne micro ruban :

II.2.1 Définition et Structure :

L'antenne micro-ruban est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (figure II.2). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban.

Elle présente l'avantage du poids sur certaines antennes décrites précédemment. Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception.

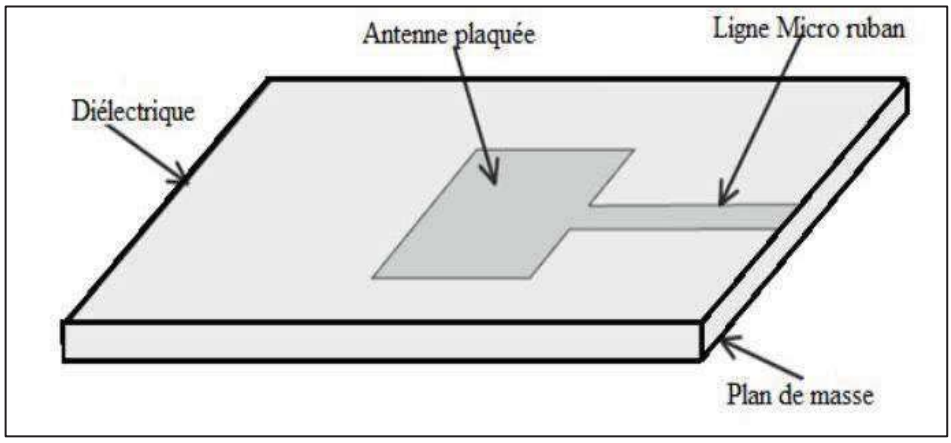


Figure II.2 : Antenne plaquée.

Note :

Les progrès réalisés sur la fabrication des antennes micro-rubans, rendent possible le report d'un circuit actif sur l'antenne (**Antennes actives)**. L'antenne a des fonctions qui dépassent son rôle simple de transformateur d'énergie. Selon les fonctions électroniques adjointes, on obtient un dispositif complexe. On parle ainsi d'antennes intelligentes si le dispositif a une partie de contrôle et de commande.

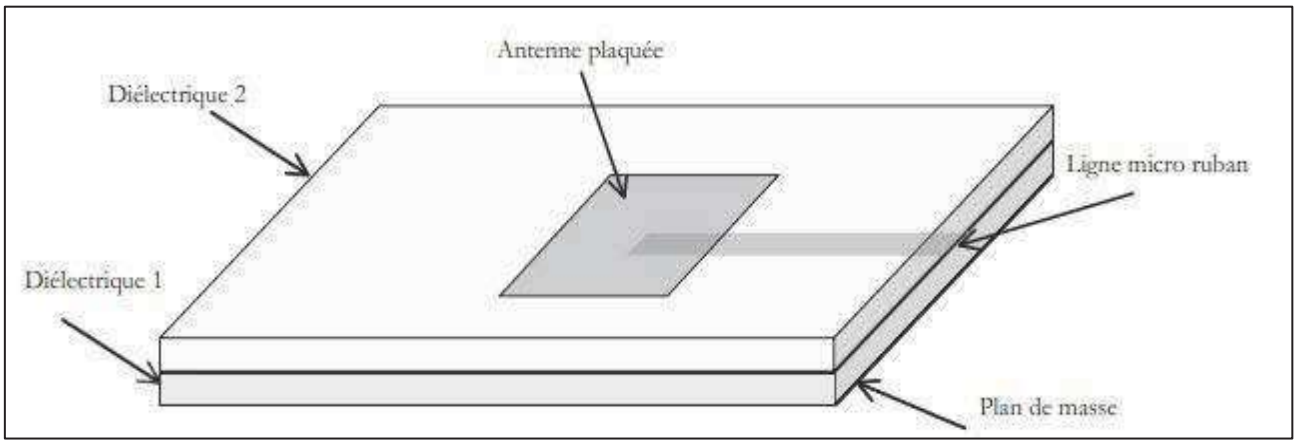


Figure II.3 : Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique

Les applications des antennes actives sont très variées. Elles sont utilisées pour des tâches nécessitant:

- ✓ de la commutation,
- ✓ du déphasage dans les réseaux d'antennes,
- ✓ de l'amplification (de puissance à l'émission ou faible bruit à la réception)
- ✓ de l'agilité en fréquence, etc.

On distingue les antennes actives intégrées des antennes hybrides sur lesquelles des composants sont reportés. L'intérêt actuel porte toutefois sur les antennes intégrées, pour lesquelles l'antenne est au plus près du circuit intégré car réalisée en même temps, sur le même support.

Il existe d'autres types d'antennes qui seront vus dans la suite. Ce n'est ici qu'une introduction à leurs principes de fonctionnement. [2]

II.2.2 Avantages :

- Faible poids, et encombrement minimal.
- Faible coût de production, et possibilité de production en masse.
- Polarisation linéaire et circulaire.
- Multi-polarisation possible.
- Compatibilité avec les circuits MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuits).
- Réseau d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

II.2.3 Limitations :

- Bande étroite à cause des limitations physiques et géométriques et un faible gain arrivant jusqu'à 5 à 6 dB au maximum.
- Rayonnement dans le demi-plan.
- Puissance maximale de rayonnement est de 100W, alors une plus grande puissance d'alimentation provoque l'éclatement de l'antenne et de ses connexions.
- Pertes de radiation impliquées par les ondes de surface

II.3 Classification des antennes micro ruban

Les antennes micro ruban peuvent être classées en deux catégories principalement liées à leur mécanisme de fonctionnement :

II.3.1 Les différentes formes d'antenne micro ruban :

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. La figure suivante montre ces différentes formes

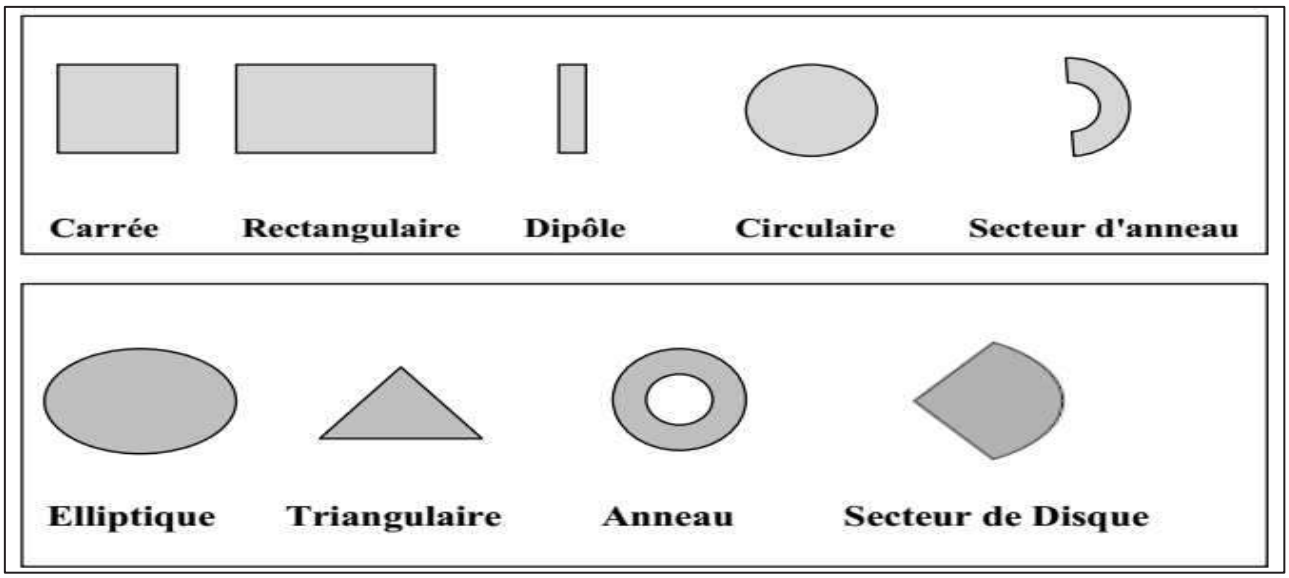


Figure II.4 : Différentes formes d'antennes patch

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.

II.3.2 Les antennes réseaux :

Les performances des antennes micro ruban, notamment le gain et la directivité, peuvent être améliorées en intégrant plusieurs patchs résonateurs sur un même substrat pour former une antenne réseau

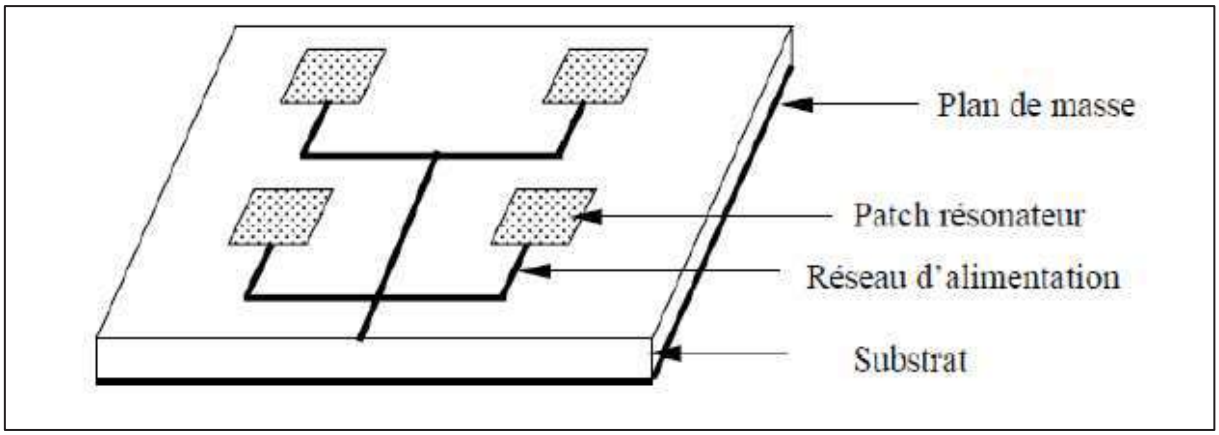


Figure II.5 : Réseaux d'antennes micro ruban

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

- la possibilité d'obtenir des gains très importants (30 à 40 dB) et des polarisations rectilignes ou circulaires ;
- les faibles dimensions des éléments rayonnants et leur simplicité de réalisation ;
- la possibilité d'imprimer les éléments rayonnants sur des surfaces planes ou conformes, facilement intégrable, par exemple, au fuselage d'un avion ou d'une fusée ;
- la possibilité de disposer les éléments rayonnants et le dispositif d'alimentation de part et d'autre d'un plan de masse commun, en une structure compacte, légère et peu coûteuse.

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

- les pertes de l'énergie électromagnétique dans les lignes de transmission reliant les différents résonateurs influents sur l'efficacité de l'antenne ;
- la bande passante de l'antenne, tout comme celle d'un résonateur isolé, est faible ;
- le couplage mutuel entre les résonateurs est atténué en maintenant une distance suffisamment grande entre les résonateurs ce qui entraîne une surface d'antenne importante.[4]

II.4 Les paramètres géométriques du l'antenne imprimée :

II.4.1 Largeur du patch :

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

$$R_{IN} = 90 \frac{zr^2}{zr - 1} \left(\frac{L}{W} \right) \quad \text{(II.1)}$$

$$W = \frac{c}{2f01} \sqrt{\frac{2}{zr+1}} \quad \text{(II.2)}$$

Où le terme f_{01} représente la fréquence de résonance fondamentale de l'antenne. En contrepartie, le diagramme de rayonnement est légèrement dégradé car il apparaît plusieurs lobes secondaires.

Avec : c la vitesse de la lumière (c = $3.0*10^8$ m/s)

II.4.2 Longueur du patch :

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

$$L = \frac{\lambda g \, dielictric}{2} - 2\,\Delta L = \frac{c}{2f01\sqrt{zr\,eff}} - 2\,\Delta L \quad \text{(II.3)}$$

La longueur L doit être légèrement inférieure que la longueur d'ondes dans le diélectrique. A cette fréquence d'opération, λ dépend du constant diélectrique efficace (ε_{eff}). L'effet de débordement du champ fait électriquement, le patch semble plus grand que sa dimension physique. Il y a donc une augmentation de L (éq II.4) de chaque côté de patch.

$$\Delta L = 0.421h \frac{(\varepsilon_{eff}+0.3)\left(\frac{l}{h}+0.264\right)}{(\varepsilon_{eff}-0.258)\left(\frac{l}{h}+0.8\right)} \quad \text{(II.4)}$$

Donc la dimension effective du patch sera :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad \text{(II.5)}$$

II.5 Choix du substrat :

Les substrats possèdent aussi des qualités en tant que métaux, leurs propriétés électromagnétiques sont caractérisées essentiellement par trois grandeurs physiques: conductivité, constante diélectrique relative, angle de perte. Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de patch.

Dans le cas où le matériau du patch de l'antenne est normal comme le cuivre, la permittivité relative du substrat varie de 1 à 12.
Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité et une bande passante large. Mais, les pertes par onde de surface augmentent et l'antenne devient de plus en plus encombrante. Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes permettant la minimisation des ondes de surfaces et des radiations non désirées. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause de la grande perte dans le substrat.
Dans le cas où le matériau de patch est supraconducteur, le substrat doit être monocristallin, de préférence isotrope pour permettre de limiter les défauts lors de la croissance du supraconducteur.
Ainsi que les pertes diélectriques doivent être les plus faibles possibles. Les tangentes de pertes des substrats employés sont généralement inférieures à 10^{-5} à T=77 °K.

II.5.1 Les matériaux diélectriques utilisés :

Le substrat joue un rôle double dans la technologie microbande. Il est à la fois un matériau diélectrique, où viennent se graver les circuits, et une pièce mécanique, car il supporte la structure.
Cela implique des exigences à la fois sur le plan mécanique et électrique, parfois difficiles à concilier d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde de fonctionnement ($h << \lambda_0$), le substrat diélectrique affecte le comportement et les performances électromagnétiques de l'antenne.
On préfère souvent utiliser des substrats à faibles pertes diélectriques ($\tan\delta < 10^{-3}$) qui favorisent le rendement de l'antenne et ceux à permittivité relative faible ($\varepsilon r < 3$) qui

améliorent le rayonnement tout en diminuant les pertes par ondes de surface pour une épaisseur donnée.

Les principales catégories de matériaux diélectriques utilisées sont :

- **Les matériaux semi-conducteurs :** De type Arséniure de Gallium (GaAs) ou Silicium (Si), la surface disponible, généralement réduite pour réaliser des antennes, destinées à des applications dans le domaine millimétrique.
- **Les matériaux ferromagnétiques** : Ces matériaux comprennent les substrats ferrite. L'effet gyromagnétique est mis à profit pour concevoir des circulateurs, des isolateurs ou encore des antennes plaques rayonnant naturellement une onde en polarisation circulaire. Ce sont des matériaux anisotropes à forte permittivité relative (de 9 à 16) et à faibles pertes diélectriques.
- **Les matériaux synthétiques** : La plupart de ces matériaux possèdent d'excellentes propriétés électriques, une permittivité proche de 2 avec de faibles pertes (tan < 0,003). Cependant, les pertes deviennent vite importantes lorsque l'on monte en fréquence (tan > 0,01 à 26.5 GHz). Un exemple de ces matériaux: le polyéthylène, le polyester, le téflon, le polypropylène, etc…
- **Les matériaux céramiques :** Couramment employés pour les circuits micro rubans, dont le plus répandu est sans doute l'alumine (Al2O3) avec une permittivité relative autour de 10. D'un point de vue mécanique, ces substrats disposent généralement d'excellentes qualités de surface et de rigidité mais sont cassants et donc fragiles. Leurs permittivités sont pour la plupart élevées et ils présentent de faibles pertes
- **Les matériaux TMM :**(Thermoset Microwave Material): Ces matériaux constitués de résines chargées de différents composants céramiques de faibles pertes (tan <0.0018) pour des permittivités respectivement égales à 3.25, 4.5, 6 .5, 9.8. Rigides et moins cassants que les céramiques, ils conservent leurs dimensions et leurs permittivités à des températures élevées.
- **Les matériaux photoniques:** Depuis le début des années soixante, un nouveau type de matériaux, les cristaux photoniques (matériaux à permittivité périodique) font l'objet d'une grande effervescence dans le monde scientifique. Or, la grande majorité des recherches portant sur ces matériaux ont été effectuées par des physiciens dans le cadre d'études de dispositifs optiques.

Actuellement, les chercheurs s'intéressent à une application dans le domaine des microondes. Il s'agit de concevoir une antenne imprimée sur une cavité constituée par des matériaux photoniques, ces derniers peuvent réduire les ondes de surface.

II.5.2 Critères de choix du substrat :

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

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

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

- L'épaisseur h.
- La constante diélectrique εr.
- Le coefficient de dilatation thermique (en ppm/°C).
- Le facteur de dissipation (tangente delta).
- La conductivité thermique (en W/m. °K). [7]

II.6 Caractéristiques de l'Antenne micro ruban :

- **Bande Passante**

La largeur de bande, appelée aussi bande passante, d'une antenne définit le domaine de fréquences dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises.

Il s'agit aussi de la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale. La bande passante peut être définie

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

- **Impédance d'Entrée**

Le rapprochement de la tension et du courant donné par les équations (II.6) et (II.7), donnent une explication simple pour la variation d'une caractéristique essentielle de l'antenne microbande qui est l'impédance d'entrée ($Z_{in} = \frac{V}{I}$). Pour un point d'alimentation à un bord de rayonnement ($x = 0$ ou $x = L$), la tension est au maximum et le courant est au minimum, il résulte que l'impédance d'entrée est au maximum. Par contre, si le point d'alimentation est au centre du patch ($x = \frac{L}{2}$), la tension est à zéro, le courant est au maximum donc l'impédance d'entrée est à zéro. Ainsi l'impédance d'entrée peut être contrôlée (commandée) en ajustant la position du point d'alimentation (d'excitation) .

$$\mathrm{I(x)} = \frac{\mathrm{V_0}}{\mathrm{Z_0}} * \sin\frac{\pi \mathrm{x}}{\mathrm{L}} \qquad \text{(II.6)}$$

$$\mathrm{V(x)} = V_0 * \cos\frac{\pi \mathrm{x}}{\mathrm{L}} \qquad \text{(II.7)}$$

- **Diagramme de Rayonnement**

Le diagramme de rayonnement d'une antenne représente les variations de la puissance que rayonne cette antenne par unité d'angle solide dans les déférentes directions de l'espace.

En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leur puissance de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace.[11]

II.7 Techniques d'excitation d'une antenne micro-ruban :

L'antenne patch micro-ruban peut être alimentée par plusieurs techniques qui peuvent être classées en deux catégories: avec contact et sans contact. Dans la première technique, la puissance RF est alimentée directement au patch rayonnant en utilisant un élément de liaison comme une ligne micro-ruban. Dans la deuxième technique, un couplage de champ électromagnétique est fait pour le transfert de puissance entre la ligne micro-ruban et le patch rayonnant. Les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées sont la ligne micro-ruban, la sonde coaxiale, le couplage par fente et le couplage par proximité.

- **Alimentation par ligne micro-ruban :**

Dans ce type de technique d'alimentation, une ligne micro-ruban est reliée directement au bord du pavé micro-ruban comme le montre la figure II.6. La largeur de la ligne ajustera l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation. En effet, cette technique d'alimentation présente un avantage puisque l'antenne et le circuit d'alimentation sont gravés sur le même substrat.

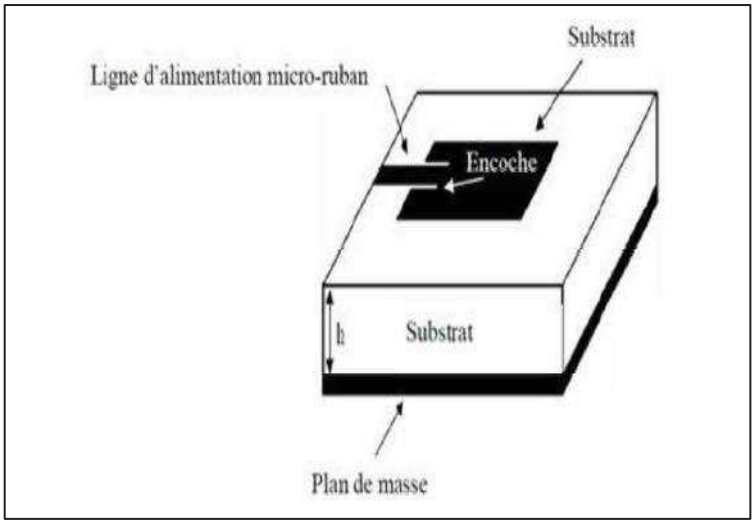


Figure II.6 : Alimentation par ligne micro ruban

Le but de l'encoche gravée sur le patch est de faire correspondre l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation à l'impédance d'entrée du patch sans avoir besoin d'éléments supplémentaires. Ceci est réalisé en contrôlant la bonne profondeur de l'encoche.

Il s'agit donc d'une technique d'alimentation relativement simple car elle offre une facilité de fabrication, une simplicité de modélisation et une bonne adaptation d'impédance. Cependant, en raison de l'augmentation possible de l'épaisseur du substrat diélectrique utilisé, les ondes de surface et le rayonnement parasite de l'alimentation augmentent aussi, ce qui a pour effet la dégradation de la bande passante de l'antenne. En outre, le rayonnement parasite de l'alimentation donne lieu à un rayonnement indésirable dû à la polarisation croisée

- **Alimentation par sonde coaxiale :**

L'alimentation par sonde coaxiale est une technique très couramment utilisée pour l'alimentation des antennes patchs micro-rubans. Comme le montre la figure II.7, le conducteur interne du connecteur coaxial s'étend à travers k diélectrique pour être soudé au patch, tandis que le conducteur extérieur est relié au plan de masse. Le principal avantage de ce type d'alimentation est la possibilité de placer la sonde coaxiale à n'importe quel endroit à l'intérieur du patch afin de rechercher l'adaptation. Cette méthode d'alimentation est simple à concevoir.

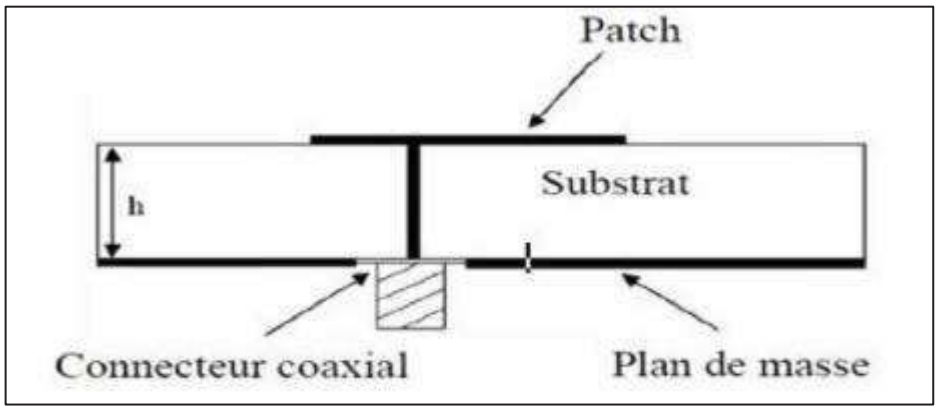


Figure II.7 : Alimentation par sonde coaxiale d'une antenne patch

- **Alimentation par couplage par fente :**

Dans ce type dc technique d'alimentation, le plan de masse sépare le patch rayonnant et la ligne d'alimentation, figure II.8. Le couplage entre les deux éléments est obtenu grâce à une fente ou une ouverture dans le plan de masse. La fente de couplage est généralement centrée sous le patch entraînant ainsi une baisse de polarisation croisée à cause de la symétrie de la configuration. Le couplage entre la ligne d'alimentation et le patch est déterminé par la forme, la taille et l'emplacement dc l'ouverture ou de la fente. Dans cette technique d'alimentation, le Rayonnement parasite est réduit au minimum. FI régie générale, afin d'optimiser le rayonnement du patch, une constante diélectrique élevée est utilisée pour le substrat inférieur, tandis qu'une épaisseur plus grande et une constante diélectrique faible sont utilisées pour le substrat supérieur. L'inconvénient majeur de cette configuration réside dans la di fabrication due à la présence de plusieurs couches, ce qui a pour effet d'augmenter l'encombrement de l'antenne et le coût.

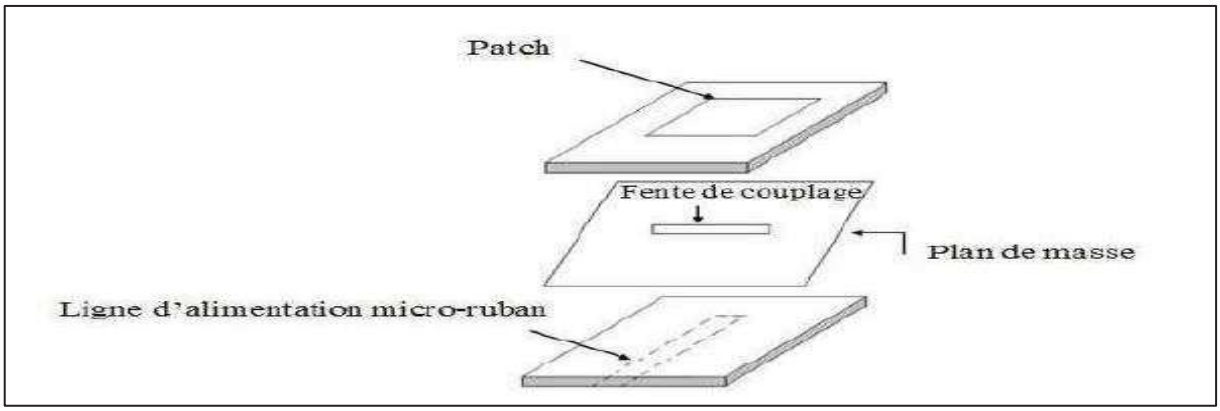


Figure II.8 : Alimentation par couplage par fente.

- **Alimentation par couplage par proximité :**

Il s'agit en fait d'une technique d'alimentation par couplage électromagnétique. Comme le montre la figure II.9, deux substrats diélectriques sont utilisés de sorte que la ligne d'alimentation se situe entre les deux substrats, tandis que le patch se retrouve au-dessus du substrat supérieur. Le principal avantage de cette technique d'alimentation est qu'elle élimine le rayonnement parasite de l'alimentation et fournit une bande passante élevée due à l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne .Ce système offre aussi le choix entre deux milieux diélectriques, l'un pour le patch et l'autre pour la ligne d'alimentation afin d'optimiser les performances de l'antenne. L'adaptation peut être obtenue en contrôlant la profondeur de la ligne d'alimentation sous le patch et la largeur du patch. L'inconvénient majeur de ce type d'alimentation est la difficulté de fabrication due à la superposition de deux couches diélectriques, et donc l'imprécision au niveau de l'alignement des couches. Notons enfin qu'il y a une augmentation de l'épaisseur globale de l'antenne et du coût.[14]

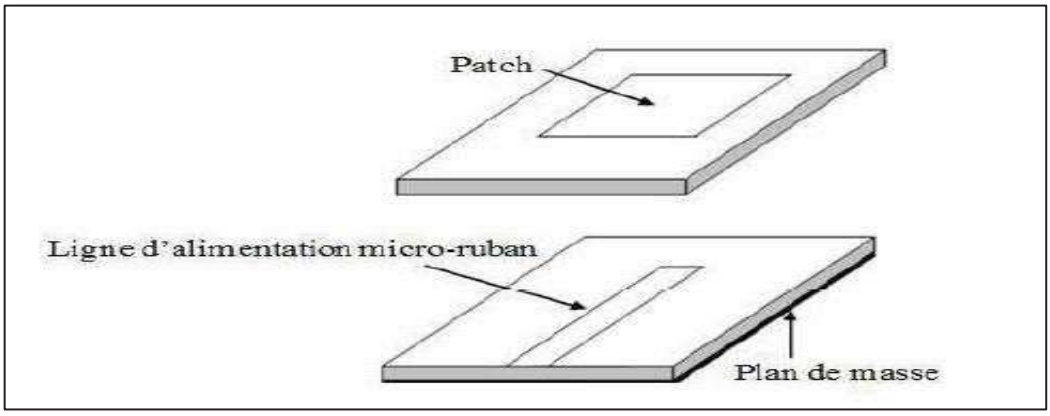


Figure II.9 : Alimentation par couplage par proximité

Tableau II.1 : Comparaison des différentes techniques d'alimentation

Caractéristiques	Ligne micro ruban	Sonde coaxiale	Couplage par fente	Couplage par proximité
Rayonnement parasite	Elevé	Elevé	Moyenne	Réduit
Fiabilité	Très bonne	Pauvre, due aux soudures	Bonne	Bonne
Facilite de fabrication	Facile	Soudure nécessaire	Alignement nécessaire	Alignement nécessaire

Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	2-5%	13%

Le tableau ci-dessous résume les quatre (04) méthodes citées précédemment.

- **Avantages et inconvenants de ces techniques d'alimentation :**

La technique d'alimentation par ligie micro ruban sera la mieux utilisée par la suite, puisqu'on peut facilement là graver en même temps que le patch. Le bon fonctionnement de l'antenne est basé sur l'adaptation de la ligne d'alimentation sur toute la bande de fréquences. Les avantages et les inconvénients de chacune de ces techniques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : les avantage et les inconvénients de diffèrent technique de l'alimentation

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Alimentation par contact		
Sonde coaxiale	-pas pertes par rayonnement de ligne - sélection possible d'un mode privilège - obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde - prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats faible hauteur - technique de perçage simple jusqu'à 10 GHz	- dans le cas de substrat épais, la réactance inductive supplémentaire apportée par la sonde affecte la bande passante - partie selfique ramenée par l'âme chi connecteur à prendre en compte. - technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique. - difficile à exciter chaque élément d'un réseau seul
Ligne micro ruban	- procédé technologique le plus simple par gravure sur la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation - adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant.	- rayonnement parasite de la discontinuité ligne – aérien - rayonnement parasite possible du circuit de distribution en millimétrique - structure figée après gravure

Alimentations par proximité		
par couplage	- dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens - bande passante plus large par augmentation de la hauteur	- deux couches de substrat requises – difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur
Guide d'onde coplanaire	- procédé technologique simple –facilités pour intégrer des dispositifs actifs et dissiper la chaleur résultante - faible rayonnement arrière - transitions simples pour l'intégration de dispositifs actifs et de circuits MMIC	- génération de modes de propagation parasites sur les guides d'onde coplanaires après une discontinuité (coude ou tés) nécessitant des ponts à air en millimétrique
Couplage par fente	- réalisations du circuit de distribution et de l'aérien indépendantes - séparation électromagnétique des deux couches - possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente	- technologie plus coûteuse et complexe - intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions - rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage l'élément

II.8 Les Applications des antennes micro-ruban :

Vu l'explosion technologique dans le domaine des télécommunications et les recherches scientifiques continues, concernant les antennes imprimés, et vu les exigences multiples dans le domaine de la communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes microbandes

remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications. Parmi ces applications on cite: [12]

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

II.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref historique sur les antennes imprimées et montré le rôle et l'évolution technologique des patches, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Nous avons montré également quelques différentes techniques d'alimentation, ainsi que l'application des antennes micro ruban. Elles présentent toutes des avantages et des inconvénients.

Le chapitre suivant, va présenter la conception et simulation de HFSS pour une étude comparative.

Chapitre III

Conception et simulation des antennes micro-ruban de diverses formes

Chapitre III :
Conception et simulation des antennes Micro-ruban de diverses formes

III.1 Introduction

Durant les derniers décades, la découverte de la technologie micro-ruban a aidé à réduire d'une manière considérable la taille des antennes et leur encombrant, donnons par exemple les antennes filiformes des appareils cellulaires. Les anciennes antennes cellulaires étaient intégrées d'une façon apparente, mais actuellement grâce à la technologie des hyperfréquences on a pu réduire leurs tailles d'une manière à les embarquer à l'intérieur des appareils mobiles avec une occupation minimale d'espace.

La phase de conception d'une antenne, à l'aide d'un logiciel adapté est une étape incontournable dans un souci de gain de temps et d'optimisation de structure aux paramètres désirés. La conception permet également de prendre en compte les paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux bas coût choisis, et de nous permet de rapprocher des futures antennes réalisées. Pour cela, nous avons choisi un outil de simulation électromagnétique HFSS qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions, il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonnances ainsi que les champs électromagnétiques et la visualisation du diagramme de rayonnement en 3D

Nous étudions dans ce chapitre la phase de conception en présentant la structure de l'antenne réalisés ainsi les résultats de simulation pour des antennes à plusieurs formes de patch rayonnant et pour d'un réseau d'antenne alimenté par ligne micro-ruban

III.2 Travail à effectuer :

On procède à faire la conception et la simulation d'antenne micro ruban de forme différent pour des fréquences 2.5 GHz et 5 GHz suivant des diverses dimensions L, w dimensions , en fonction de f ou respecte les paramètres suivantes :

- ✓ support et plan de masse de surface (60x60) mm^2
- ✓ diélectrique et de type L'époxy –FR4 de permittivité relative εr =4.4

La longueur L et la largeur W du micro-ruban sont fonction de la longueur d'ondes λ. Tel que : $W <= \frac{\lambda}{6}$ *et* $\frac{\lambda}{6} <= L <= \frac{\lambda}{2}$ pour une épaisseur h donnée. Avec $\lambda = \frac{c}{f}$.

III.3 Présentation du Logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) :

C'est le Simulateur des structures à champ électromagnétique à haute fréquence. Le logiciel ANSYS HFSS est la norme de l'industrie pour simuler des champs électromagnétiques en pleine onde 3D. Sa précision d'or, ses solveurs avancés et ses technologies de calcul haut performance en font un outil essentiel pour les ingénieurs chargés d'exécuter une conception précise et rapide dans les appareils et plates-formes électroniques haute fréquence et haute vitesse. HFSS offre des technologies de solveur à la fine pointe de la technologie basées sur l'équation intégrale, l'équation intégrale, l'asymptotique et les méthodes hybrides avancées pour résoudre une vaste gamme d'applications numériques hyperfréquences, RF et hyperfréquences. [15]

Les étapes à suivre pour simuler les antennes micro-rubans sont les suivants :

- Dessin de la structure : dimensions géométriques des différents objets. Respect des règles de simulation
- Spécification des matériaux pour chaque objet. : Constantes diélectriques, conductivité des matériaux ...
- Identification des sources et (ou) ports d'entrée / sortie : Manière d'Exciter la structure.
- Spécification des conditions aux limites
- Configuration des paramètres de simulation : Fréquence (s) de maillage, paramètres de convergence ...
- Analyser des solutions à une ou plusieurs fréquences.
- Visualisation des résultats : diagramme de rayonnement, champs E et H, ainsi que les paramètres S, le gain et la directivité

III.4 Description des modules à réaliser :

Comme une première approche les dimensions du micro ruban, vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative εr, l'épaisseur h) et le choix de la fréquence de résonnance. L'alimentation sera faite à l'intermédiaire une ligne micro-ruban

Les extrémités du diélectrique doivent être éloignées à partir de l'antenne, alors l'espacement du plan de masse situé au fond du diélectrique est inclus. Pour le choix de l'épaisseur du substrat, une bonne épaisseur favorise l'extension des champs alors la radiation

vers l'extérieur le choix du type de matériau le FR4-EPOXY ayant une permittivité de 4.4 ce qui est parfait car il présente un bon rapport Prix/Qualité

II.5 Conception :

L'Environnement de travail HFSS nous donne la possibilité de concevoir nos schémas en toute finesse comme les montre les figures ci-dessous.

Dans ce qui suit, nous avons :

- Dans un premier temps, simulé trois formes d'antennes micro-rubans (Rectangulaire, cercle et polygone),
- Par la suit, une conception des réseaux d'antennes micro rubans rectangulaires a été effectué.

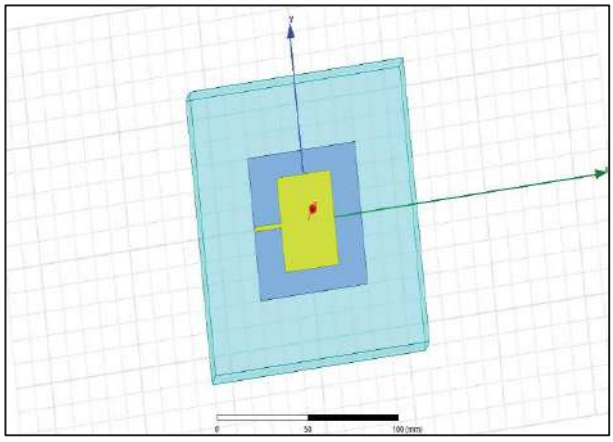


Figure III.1 : antenne micro ruban rectangulaire

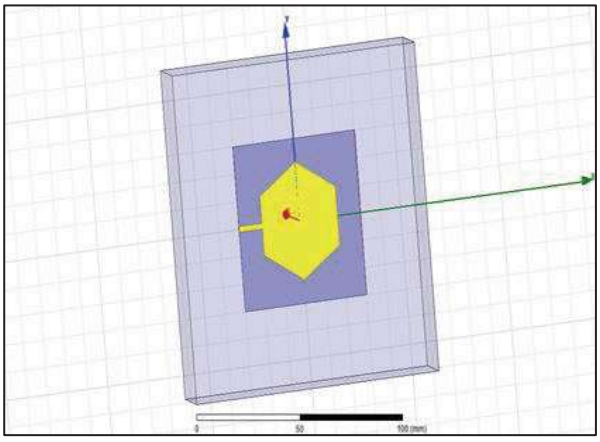


Figure III.2: antenne micro ruban polygone.

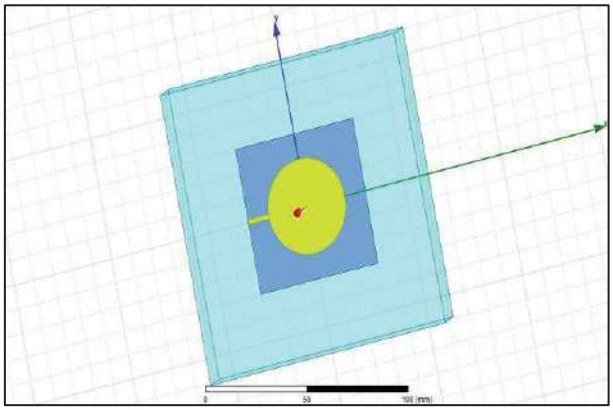


Figure III.3 : antenne micro ruban circulaire

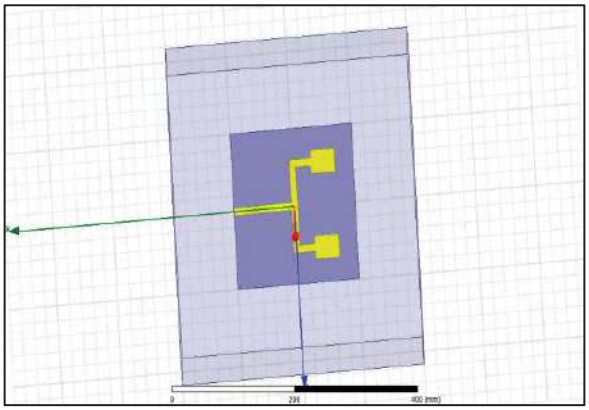


Figure III.4 : réseau d'antenne d'un 2 patch

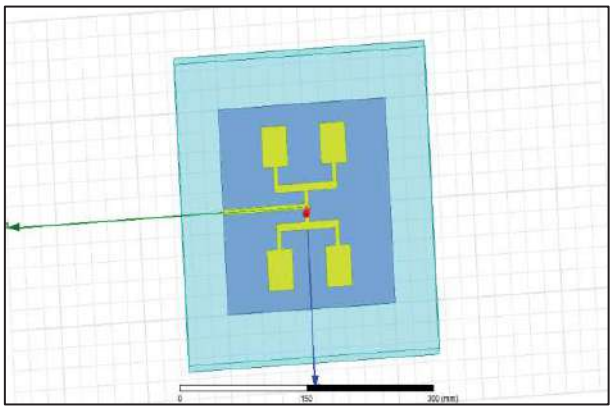


Figure III.5 : réseau d'antenne d'un 4

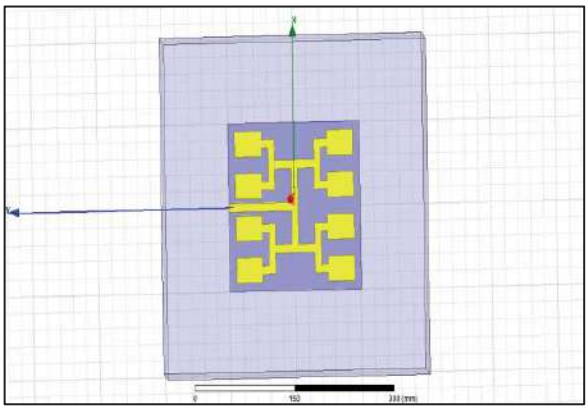


Figure III.6 : réseau d'antenne d'un 8 patch

III.6 Simulation :

III.6.1 Les résultats de simulation pour les formes simples d'antennes micro-rubans :

A. Pour fréquence f=2.5 GHz

- Les dimensions : L= 40 mm, W= 30 mm

1. **Forme rectangulaire** :

✓ h= 1.5 mm

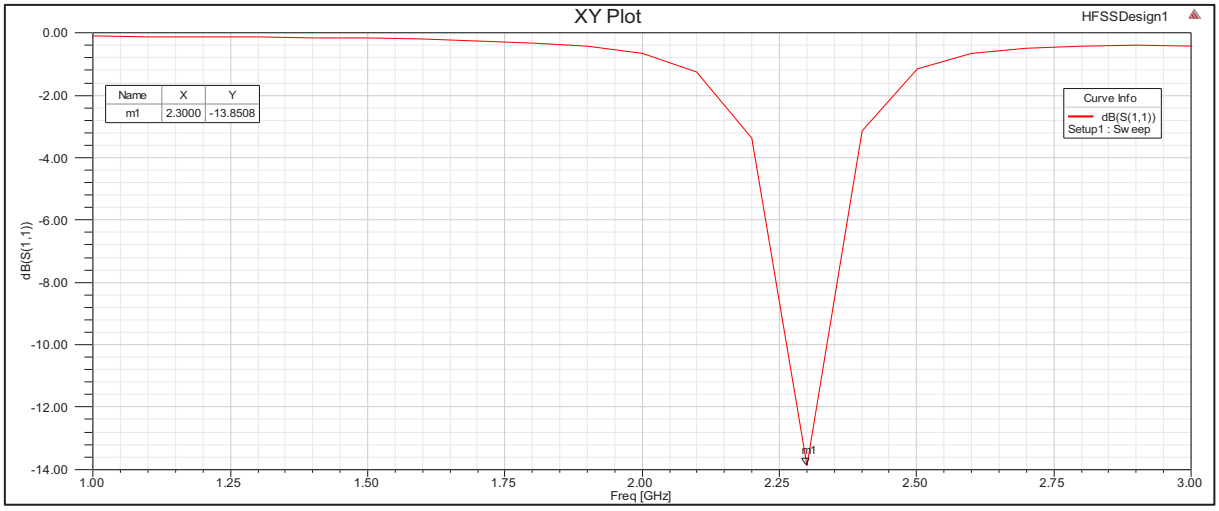


Figure III.7 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence**.**

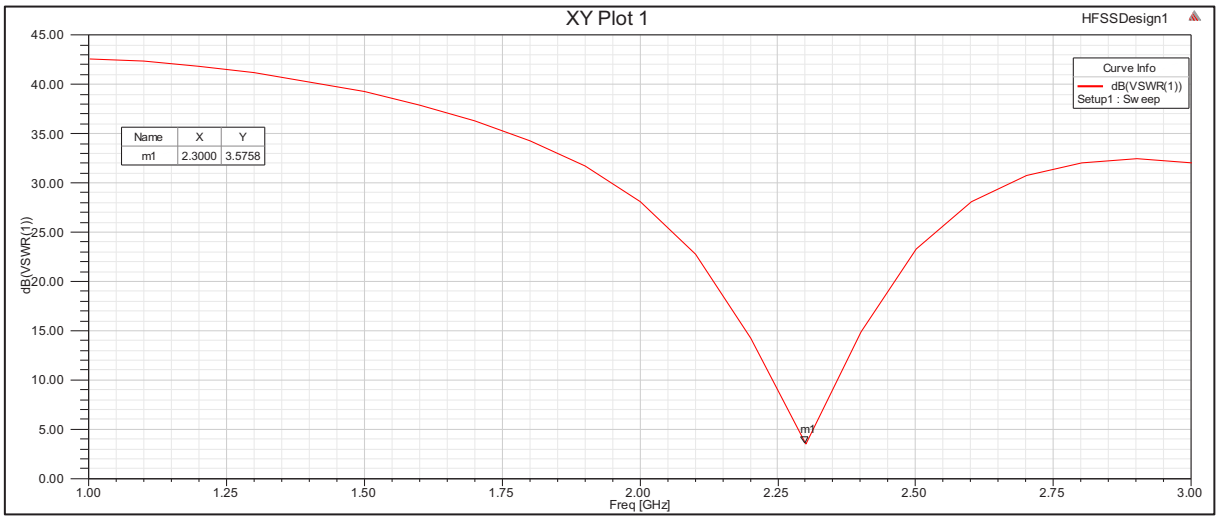


Figure III.8 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) .

Les figures III.7 et III.8 montrent les courbes respectives du coefficient de réflexion et du taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

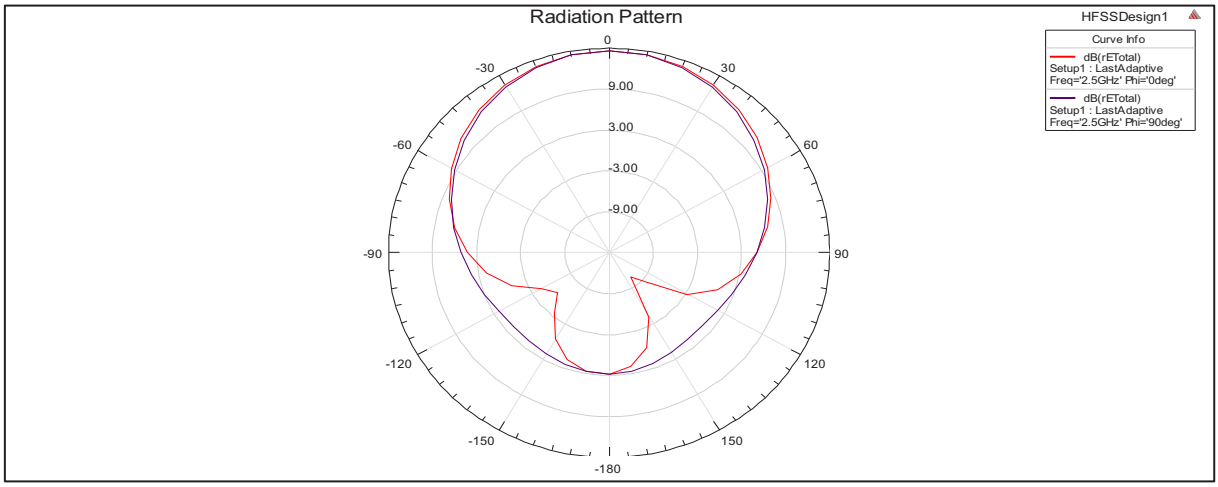


Figure III.9 : Diagramme de rayonnement du gain.

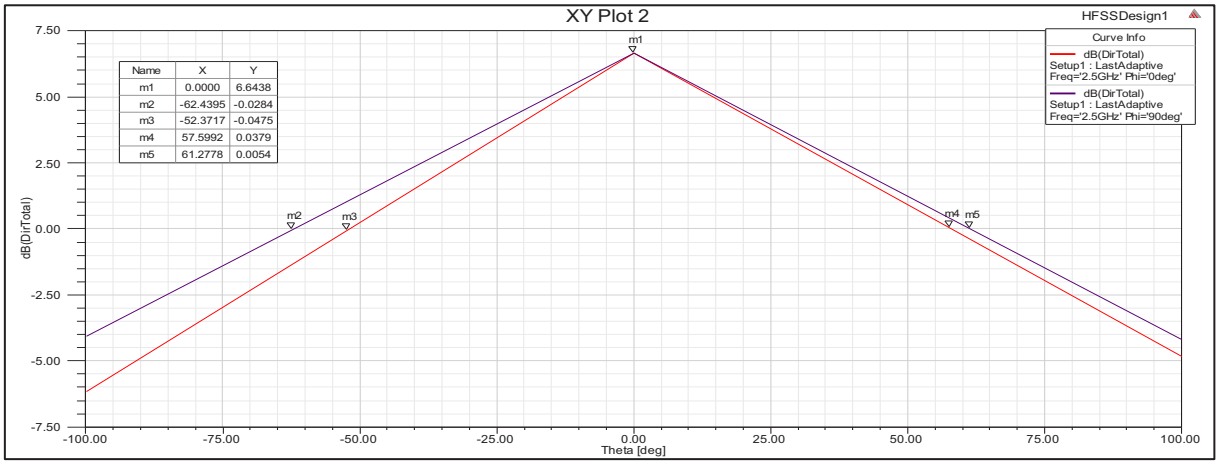


Figure III.10 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale**.**

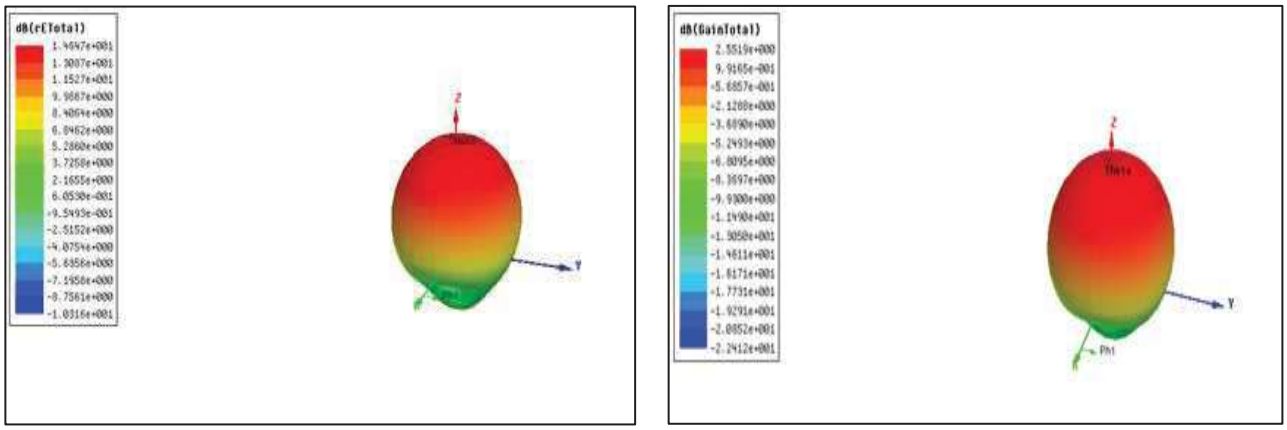


Figure III.11: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.1 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire

caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coeff reflect S11	Rendement (%)
Forme rectangulaire	0.08	3.57	2.55	14.64	6.64	-13.85	38.40

La Forme rectangulaire a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 110°, mais elle présente une bande passante étroite.

- Comme cette forme présente une bande passante étroite, on souhaite réaliser un autre forme afin d'améliorer cet inconvénient.
- on a obtenu une adaptation de -13.85 dB ; on est bien adapté mais on n'a pas une bande passante suffisante

✓ h=3mm

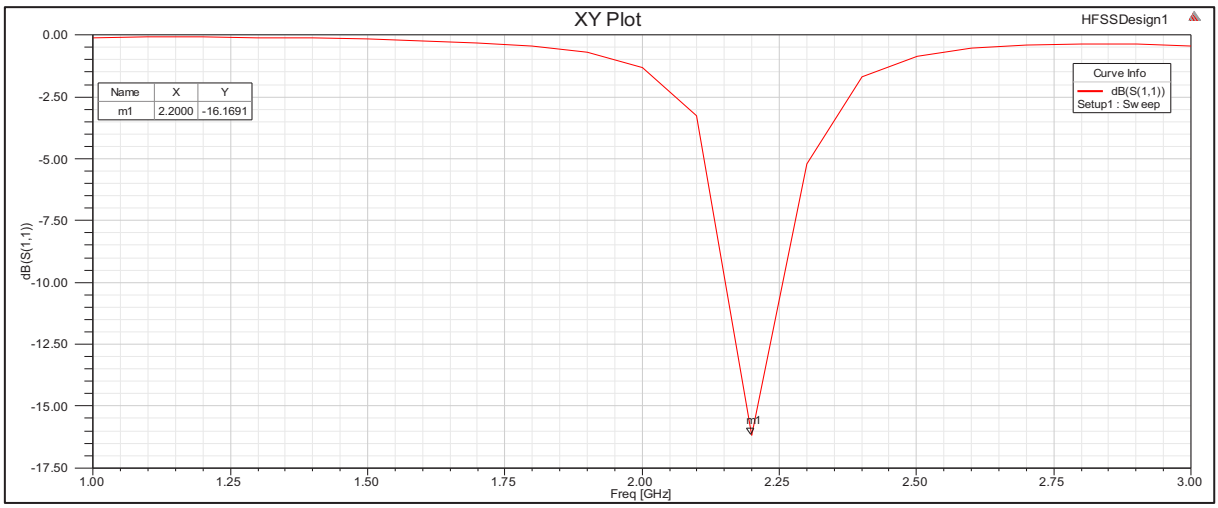


Figure III.12 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

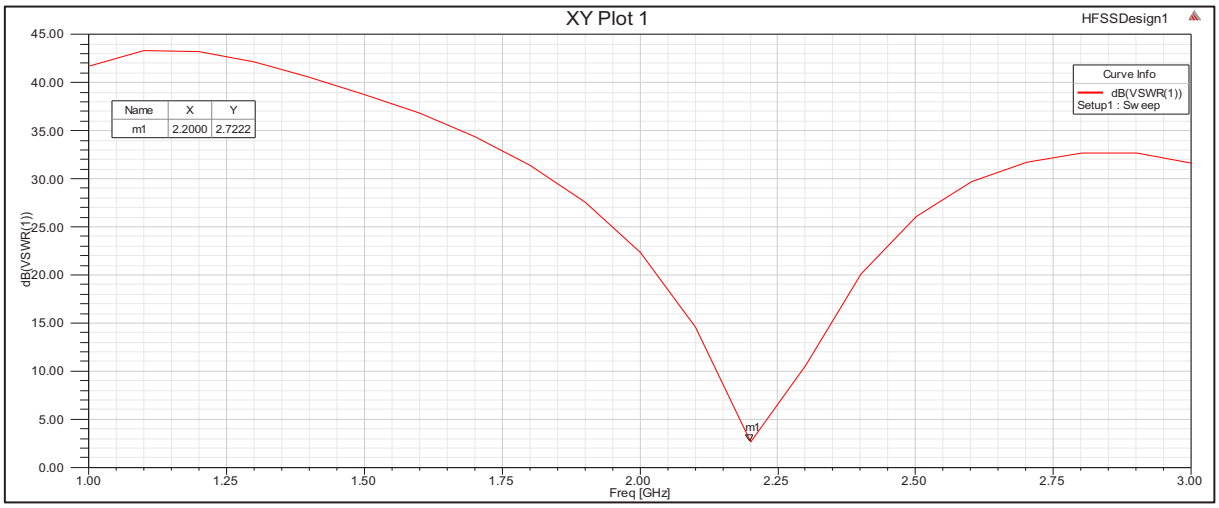


Figure III.13 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

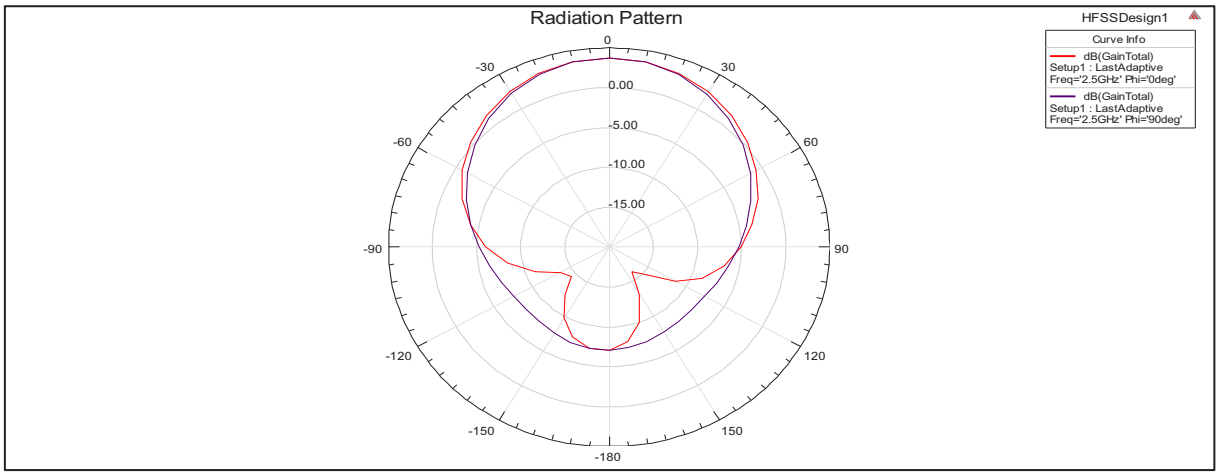


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement du gain

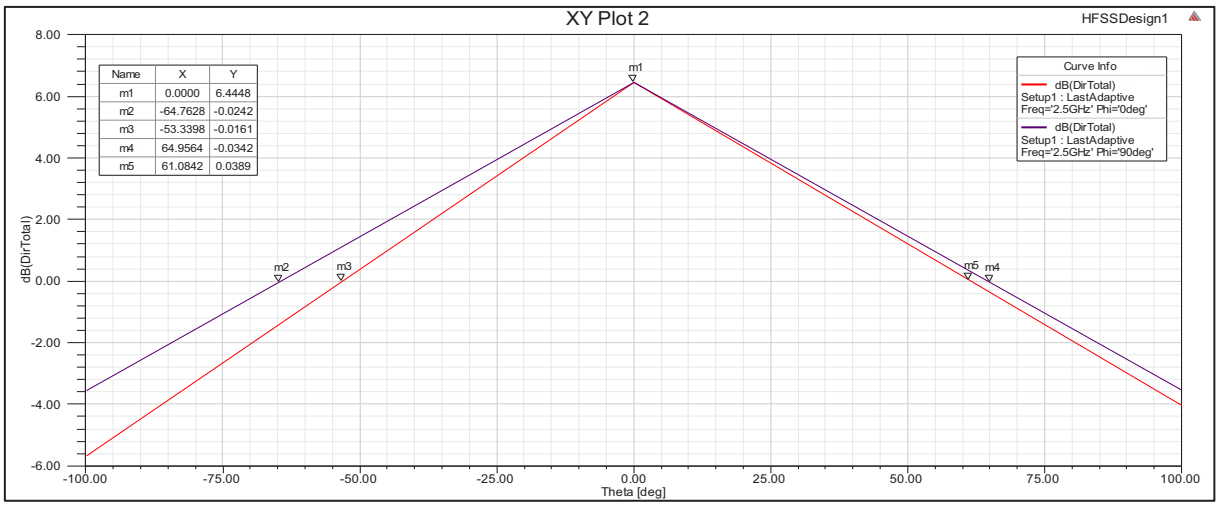


Figure III.15 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

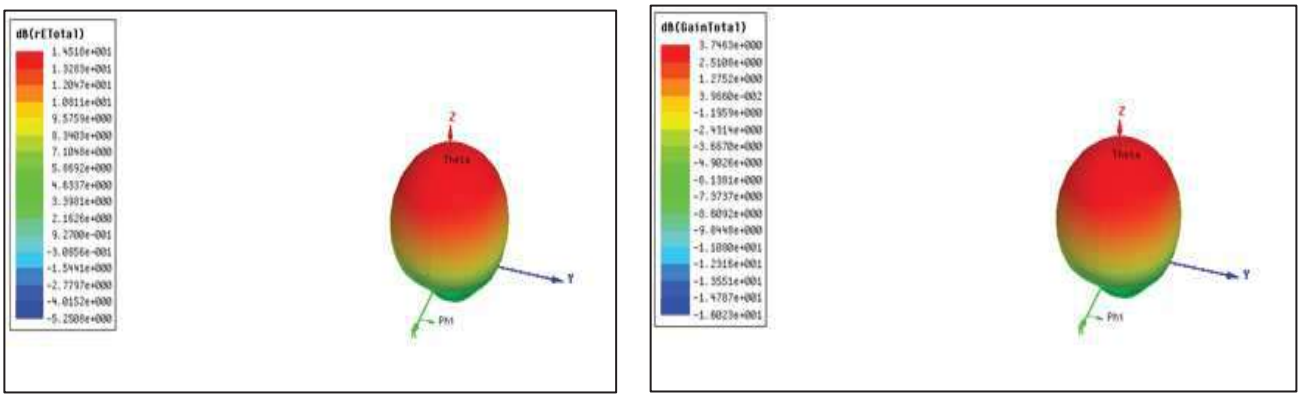


Figure III.16: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.2 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Tetha=0°	Coff reflec S11	Rendement (%)
Forme rectangulaire	0.11	2.72	3.74	14.51	6.44	-16.18	58.07

A partir du tableau III.2, on constate que les paramètres de cette forme ont été améliorés légèrement par rapport à la première structure.

- On observe une augmentation au niveau de la bande passante,
- Augmentation dans le gain ; on est bien adaptation S11=-16.18 dB,
- L'inconvénient est la directivité diminue

2. Forme Circulaire :

- Les dimensions : R=19.54 mm
  - ✓ h=1.5mm

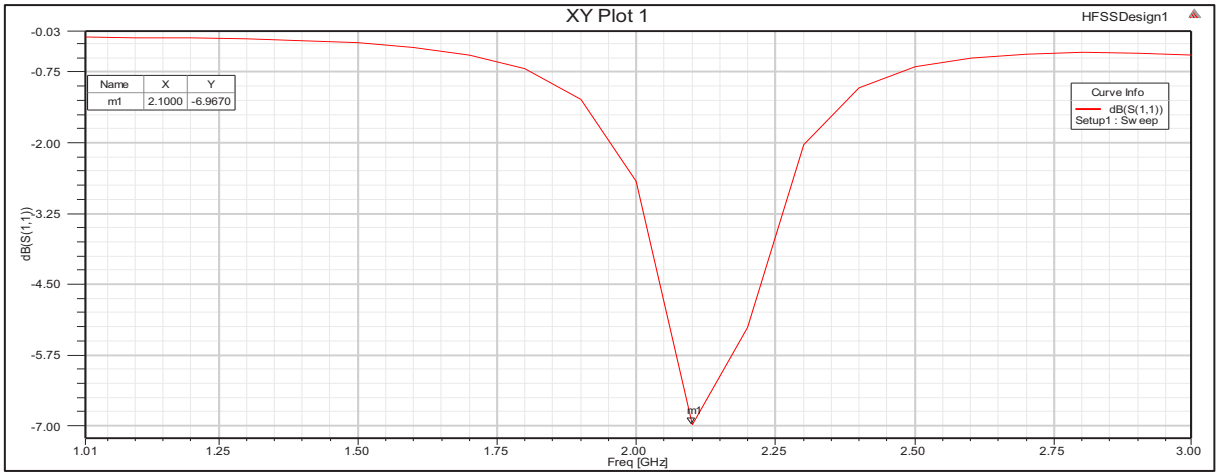


Figure III.17 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

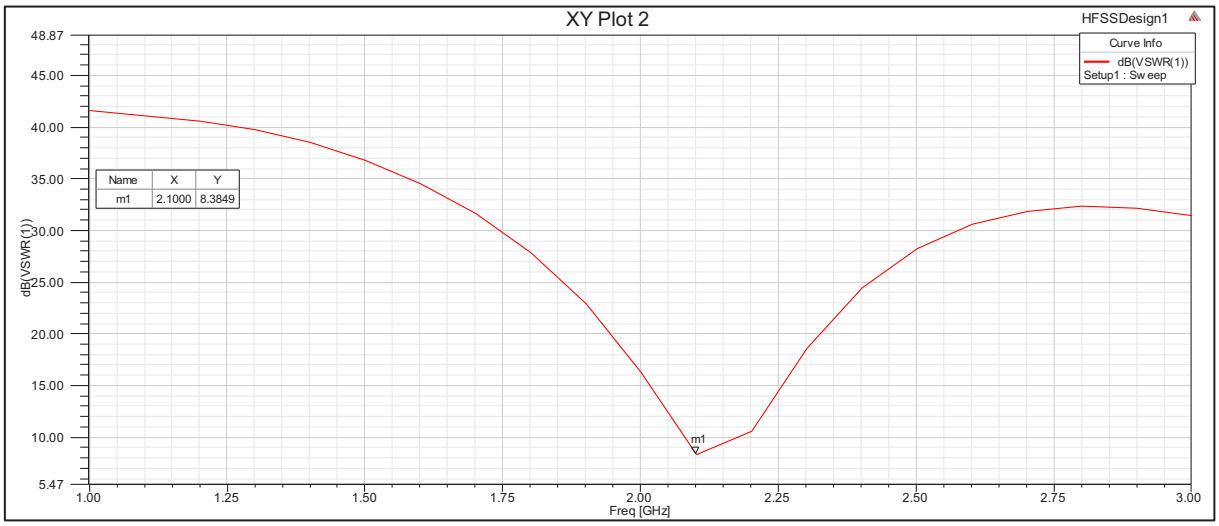


Figure III.18 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

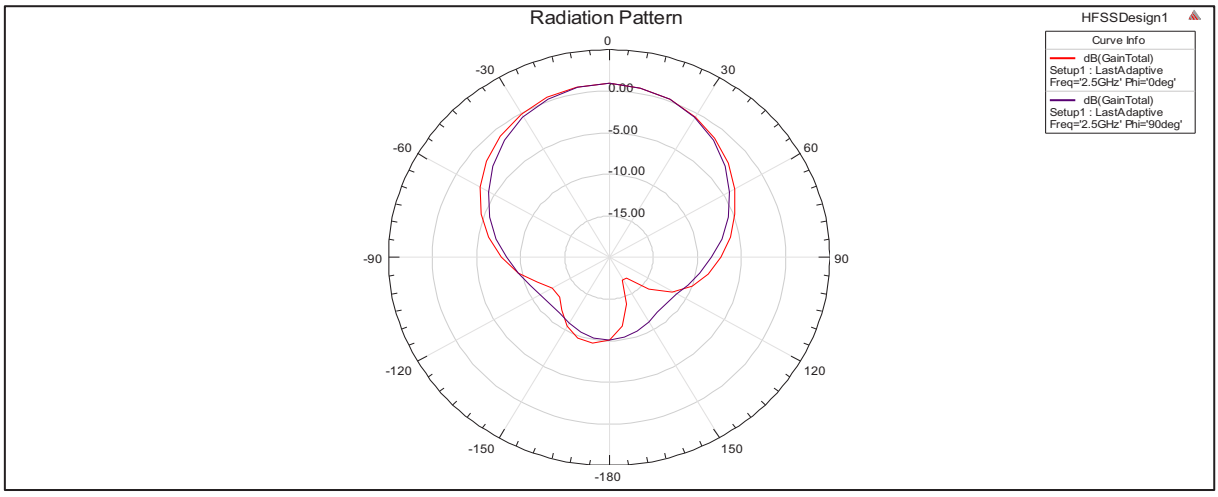


Figure III.19 : Diagramme de rayonnement du gain

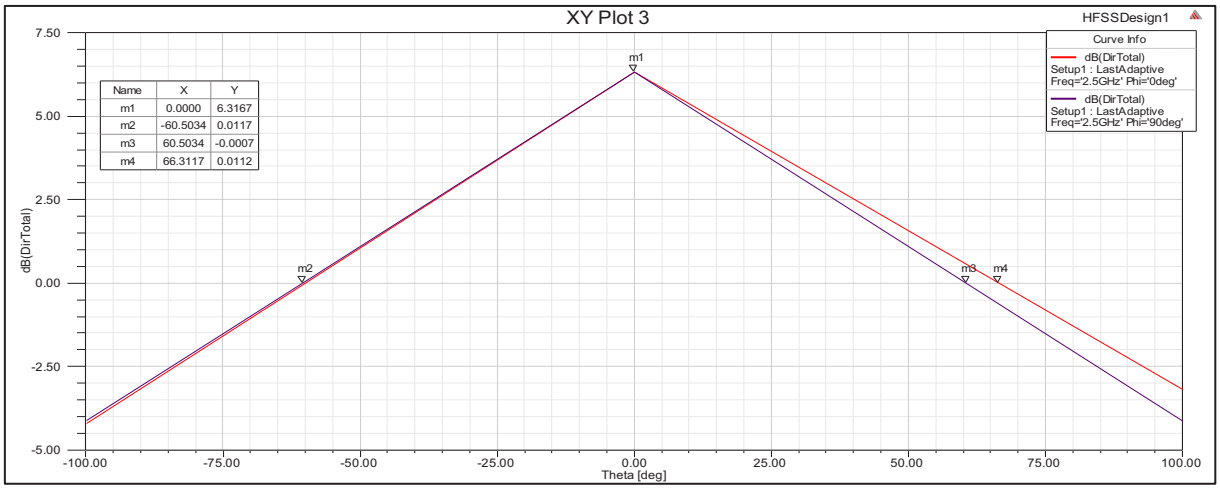


Figure III.20 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

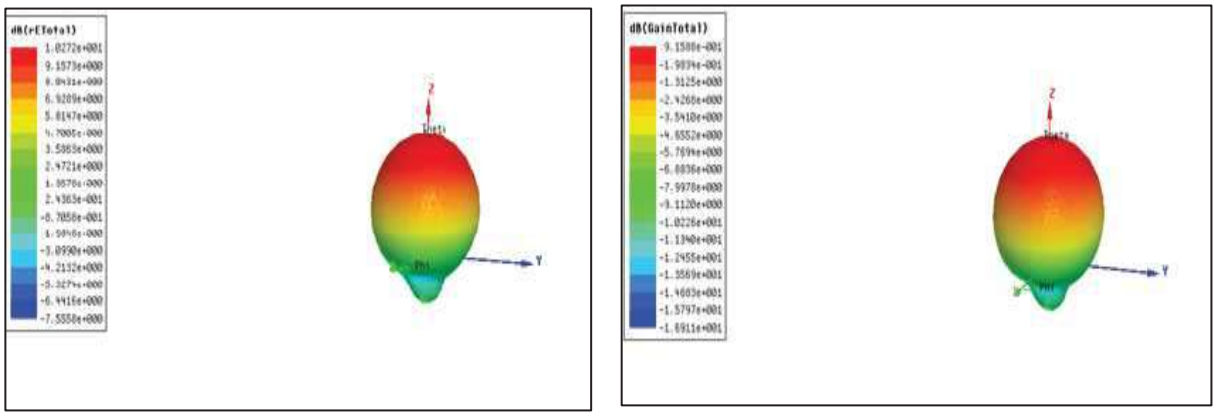


Figure III.21: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain..

Tableau III.3 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire

caractéristiques	BP(GHz) à -6 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coff reflec S11 (min)	Rendement (%)
forme circulaire	0.08	5.38	0.91	10.2	6.31	-6.96	14.42

La Forme circulaire a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 100°, mais elle présente une bande passante étroite.

- Comme cette forme présente une bande passante étroite, on souhaite réaliser un autre forme afin d'améliorer cet inconvénient.
- on a obtenu une adaptation mauvaise de -6.96dB

✓ h=3mm

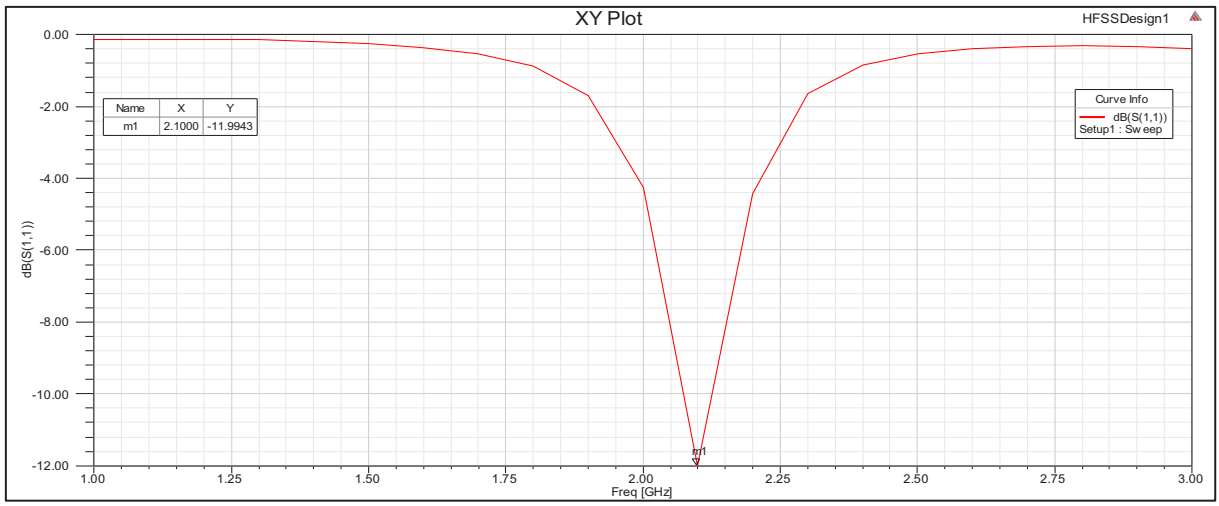


Figure III.22: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

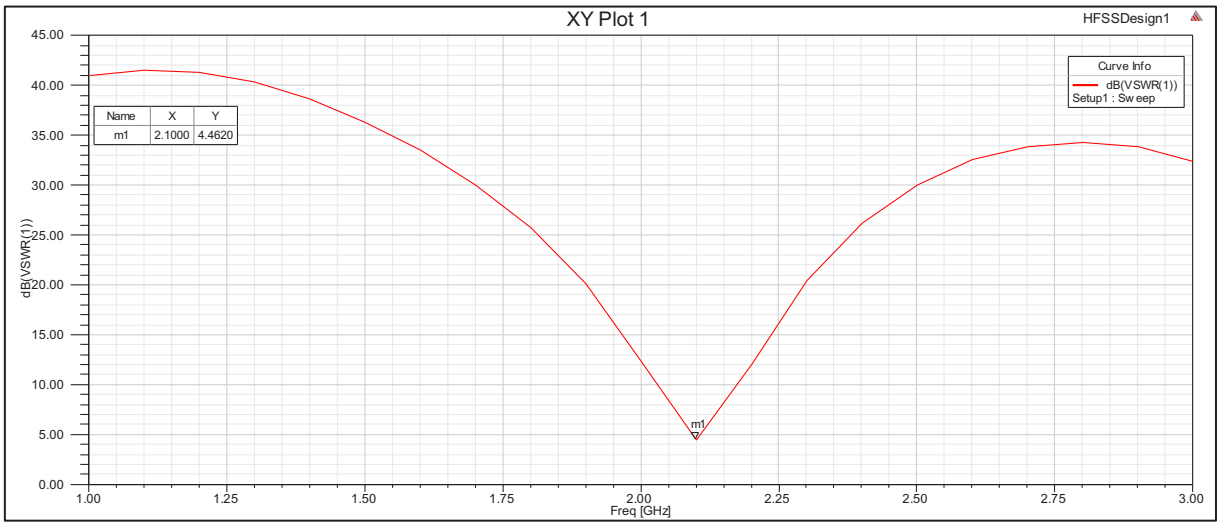


Figure III.23 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

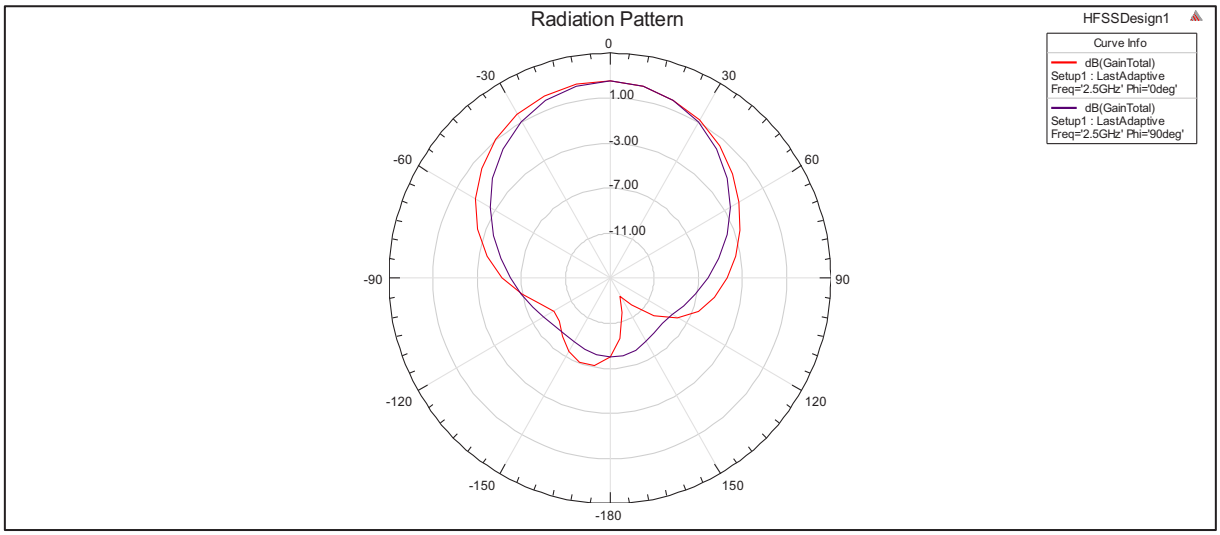


Figure III.24 : Diagramme de rayonnement du gain

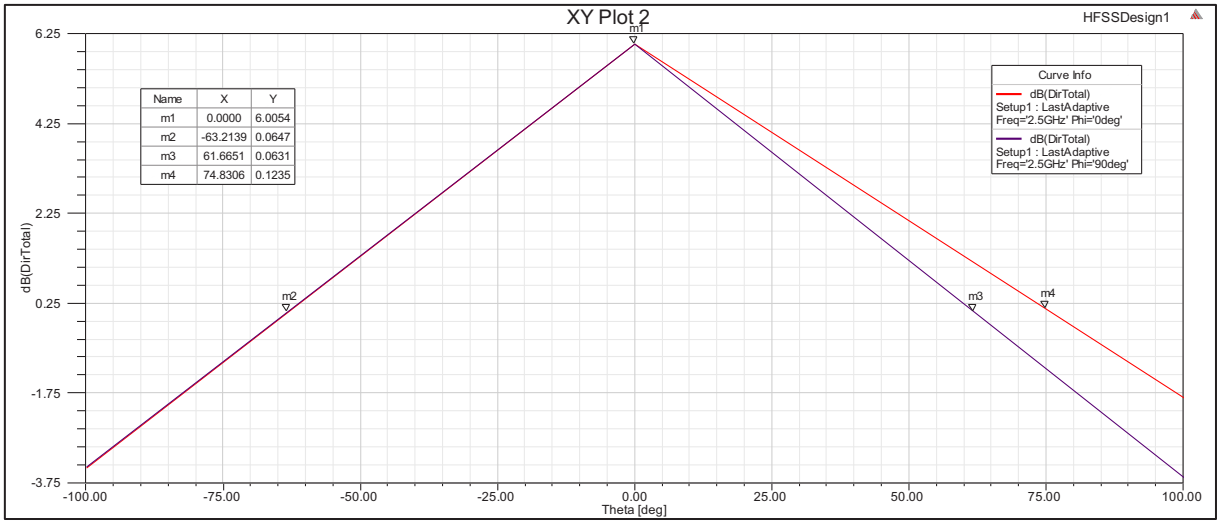


Figure III.25 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

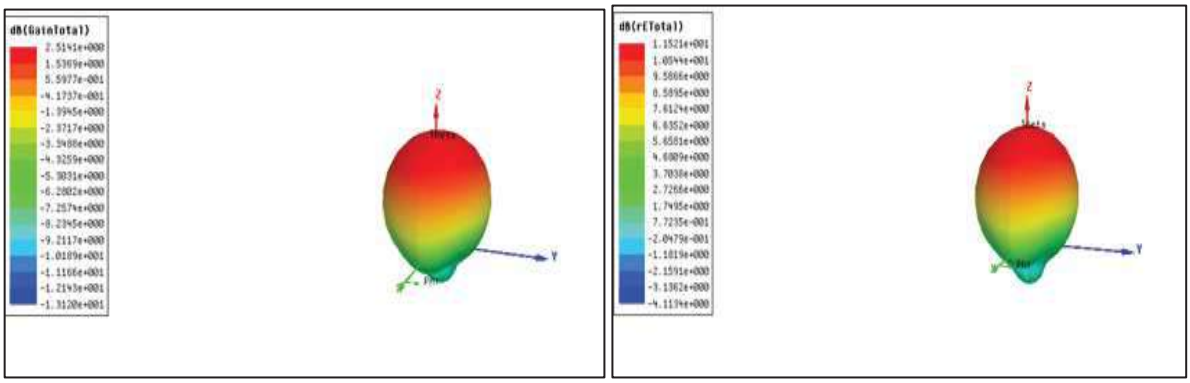


Figure III.26: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.4 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à -8 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coff refle S11 (min)	Rendement (%)
forme circulaire	0.1	4.46	2.5	11.5	6	-11.99	41.66

A partir du tableau III.3, on constate que les paramètres de cette forme ont été améliorés légèrement par rapport à la 3 ^{eme} structure.

- On observe une augmentation au niveau de la bande passante,
- Augmentation dans le gain, est bien adaptée
- L'inconvénient est la directivité diminue

3. Forme polygone :

- Les dimensions : A=21.49 mm
  - ✓ h=1.5 mm

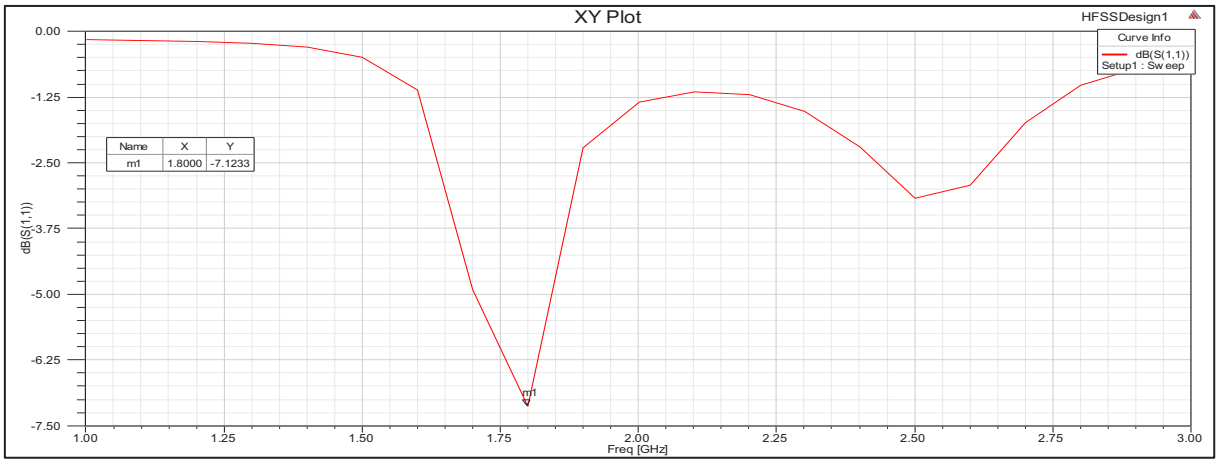


Figure III.27 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

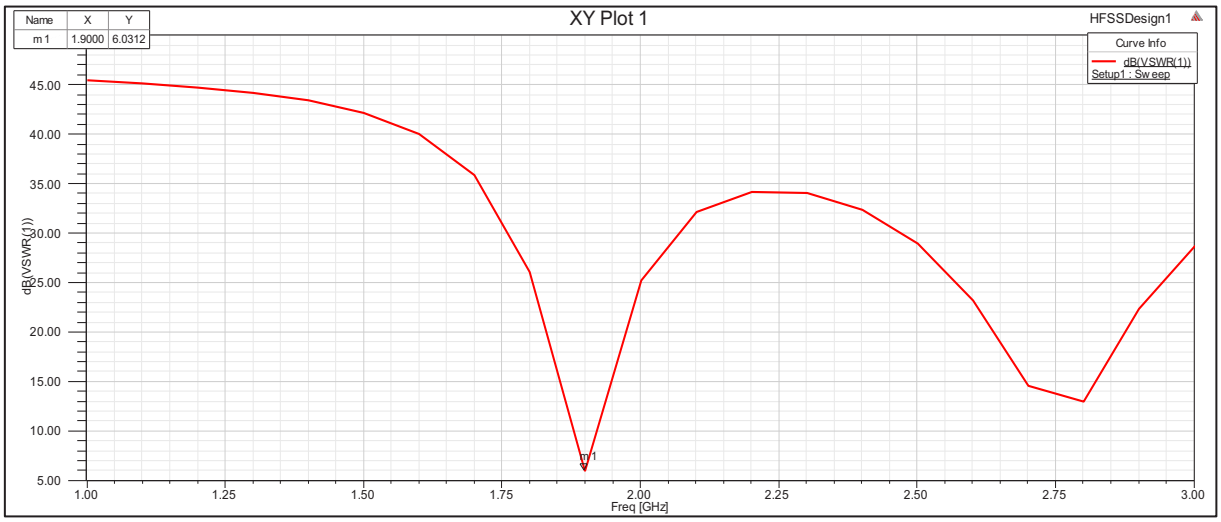


Figure III.28 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

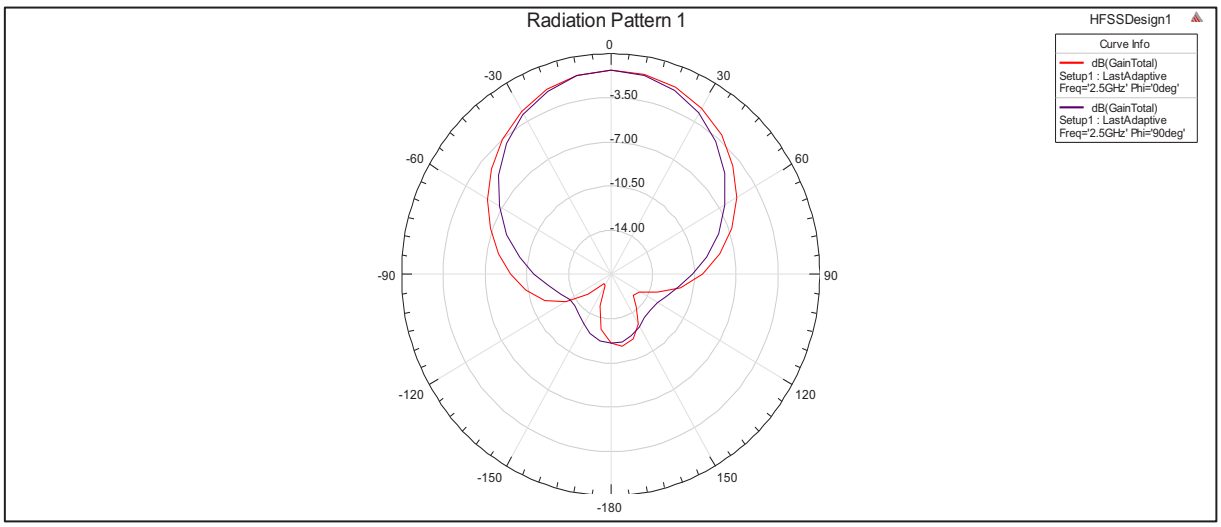


Figure III.29 : Diagramme de rayonnement du gain

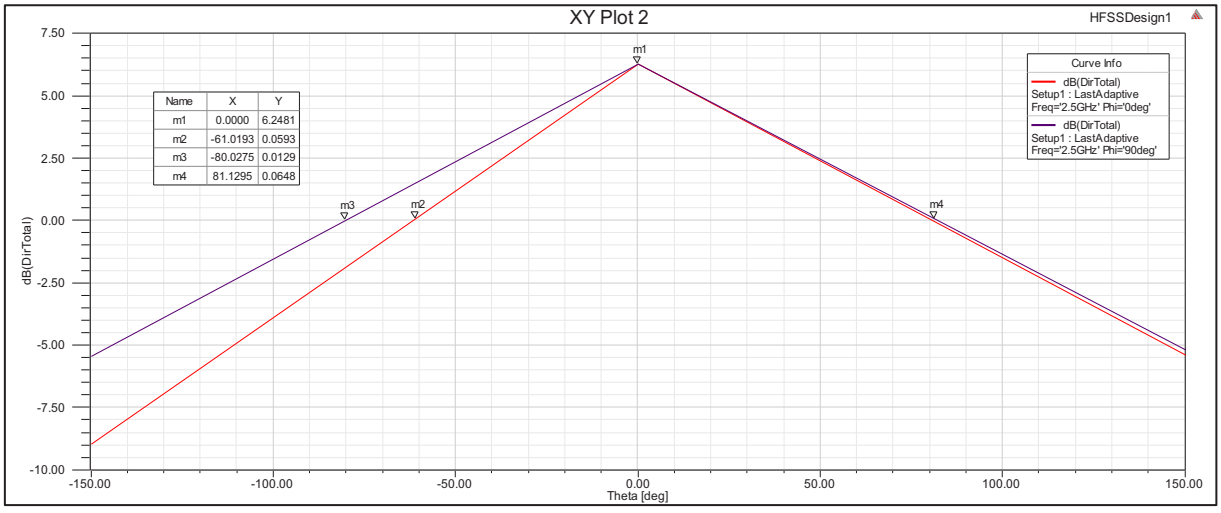


Figure III.30 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

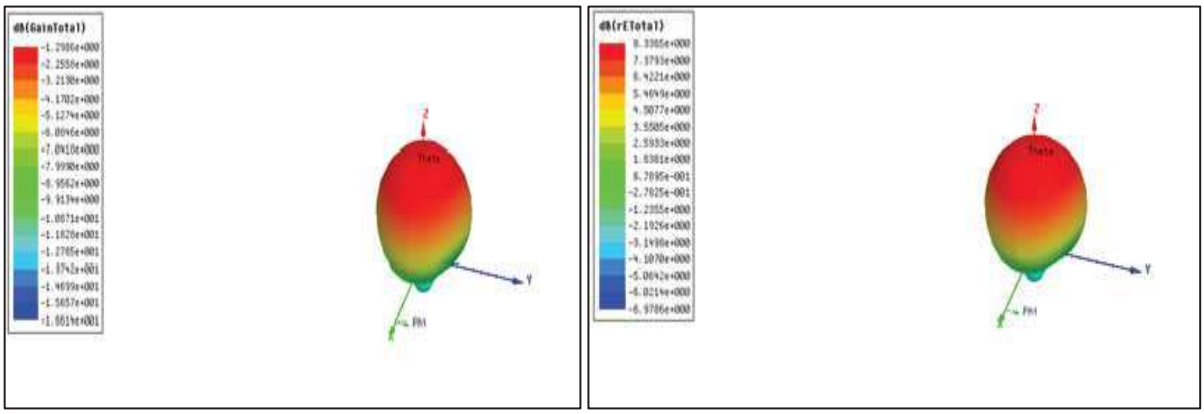


Figure III.31: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.5 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone

caractéristiques	BP(GHz) à -6 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coff reflec S11 (min)	Rendement (%)
forme polygone	0.08	6.03	-1.29	6.33	6.24	-7.12	20.67

La Forme polygone a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 100°, mais elle présente une bande passante étroite.

- Comme cette forme présente une bande passante étroite, on souhaite réaliser un autre forme afin d'améliorer cet inconvénient.
- On a obtenu une adaptation de -7.12 dB ; on est bien adapté
- Le gain très faible
    - ✓ h=3 mm

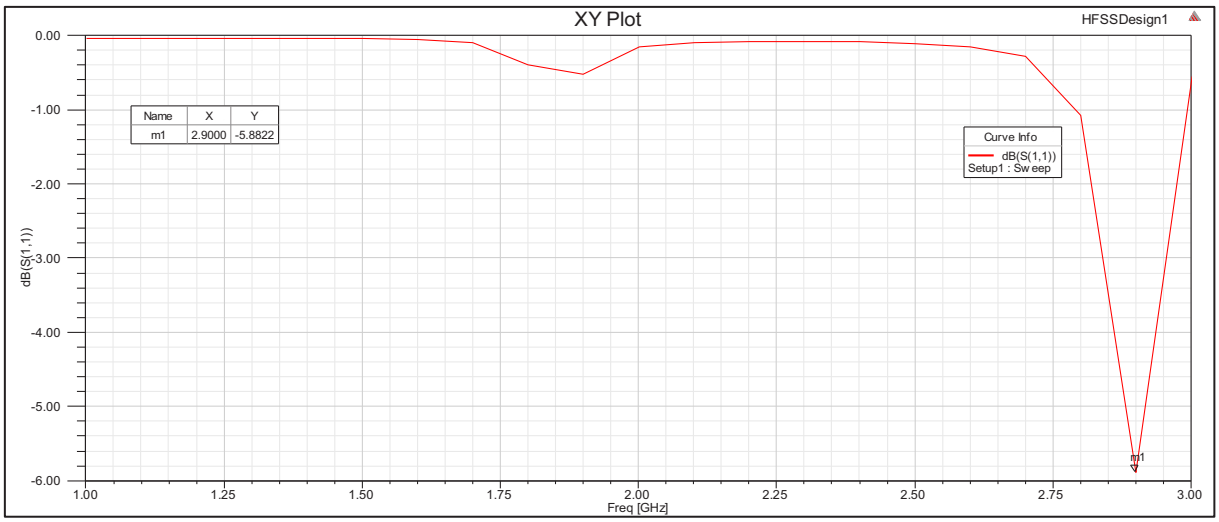


Figure III.32 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

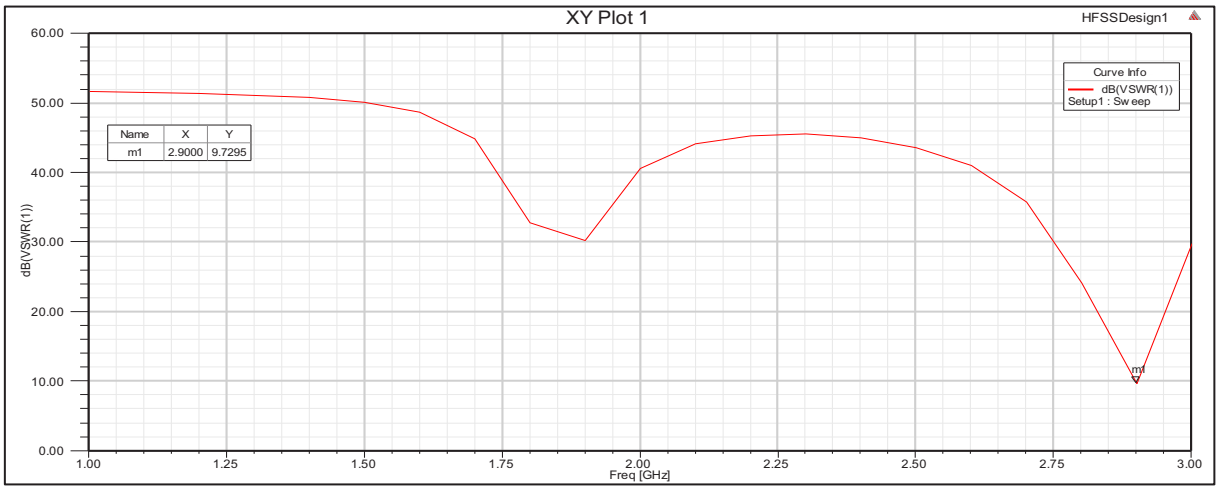


Figure III.33 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

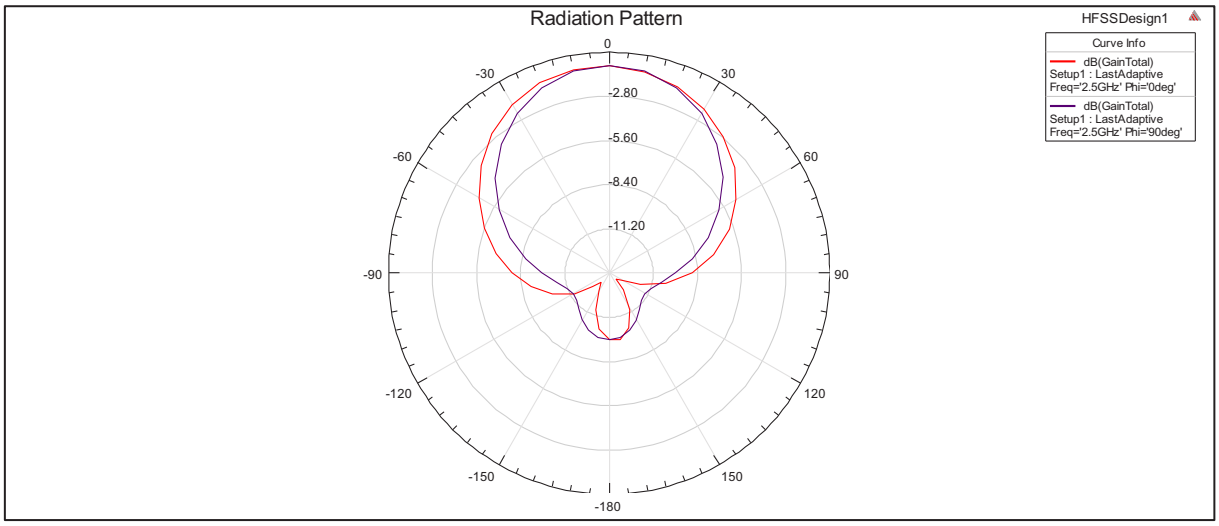


Figure III.34: Diagramme de rayonnement du gain

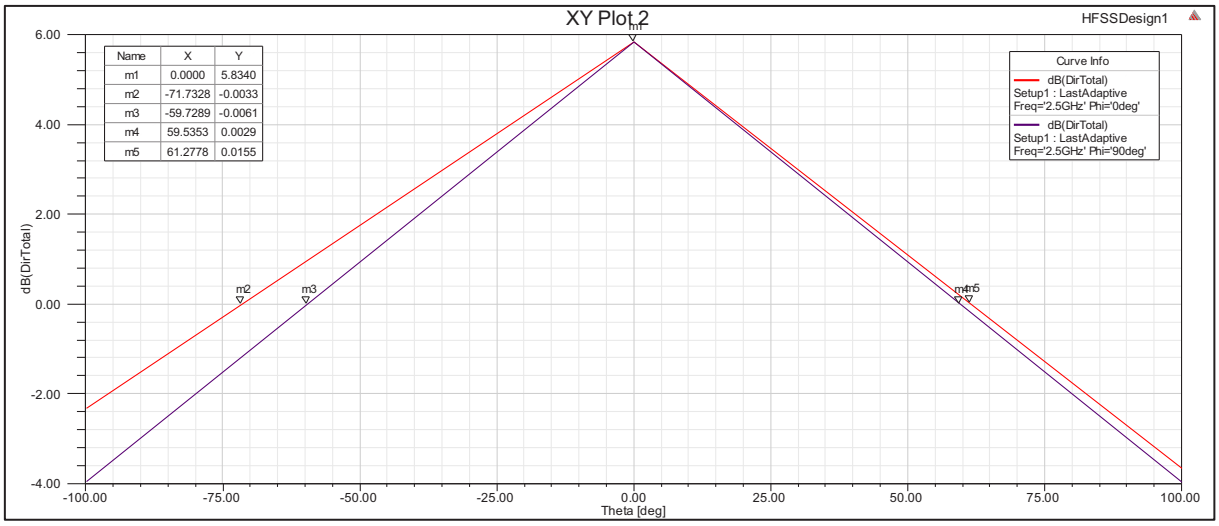


Figure III.35 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

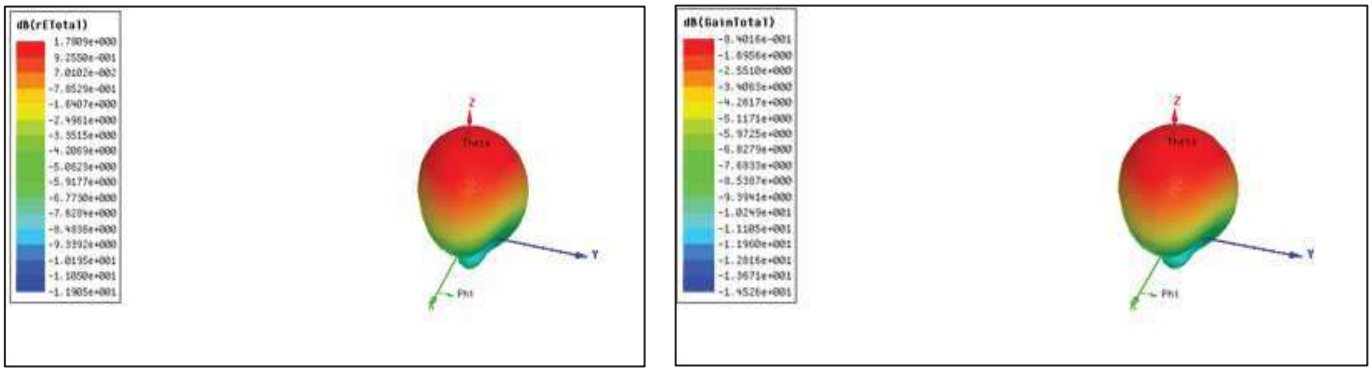


Figure III.36: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.6 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone.

caractéristiques	BP(GHz) à -3 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe refle S11 (min)	Rendement (%)
forme polygone	0.12	9.72	-0.4	1.7	5.83	-5.88	6.86

A partir du tableau III.5, on constate que les paramètres de cette forme ont été améliorés légèrement par rapport à la 5 eme structure.

- On observe une augmentation au niveau de la bande passante,
- Augmentation dans le gain, et mauvais adaptation
- L'inconvénient est la directivité diminue

B. Pour fréquence f =5GHz

- Les dimensions : L = 20mm , W = 15mm

1. Forme rectangulaire :

✓ h=1.5 mm

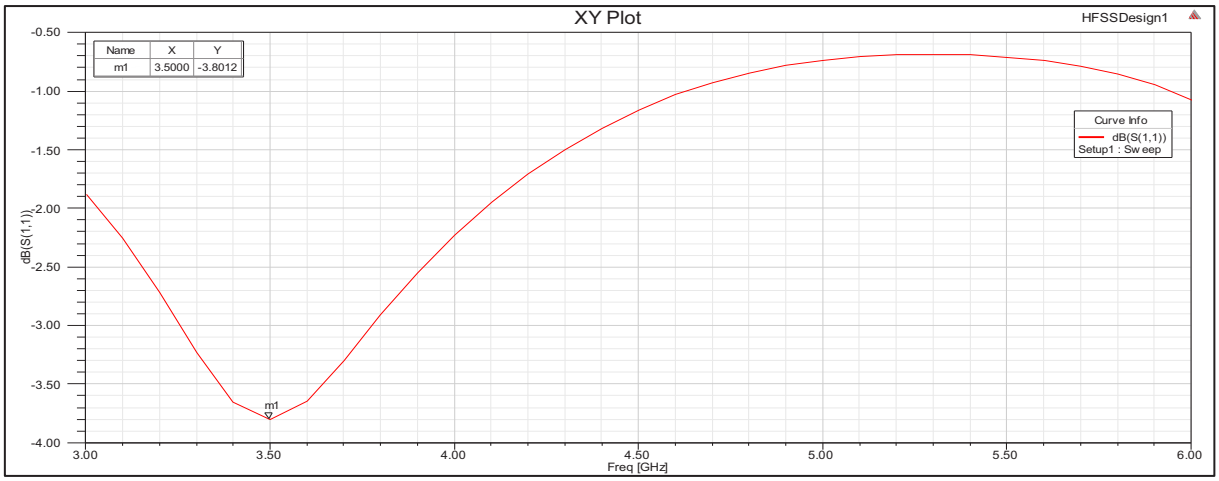


Figure III.37 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

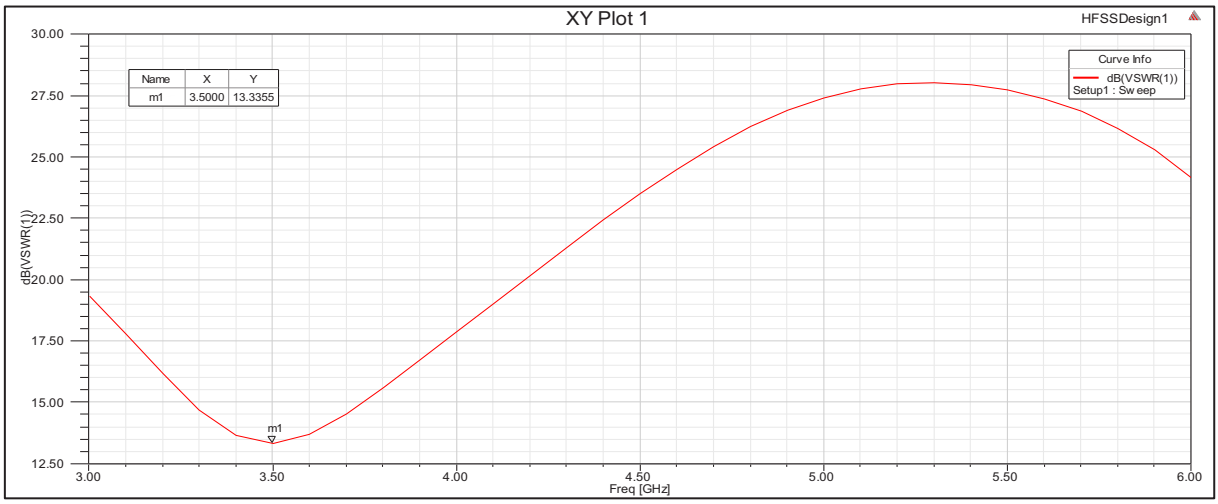


Figure III.38 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

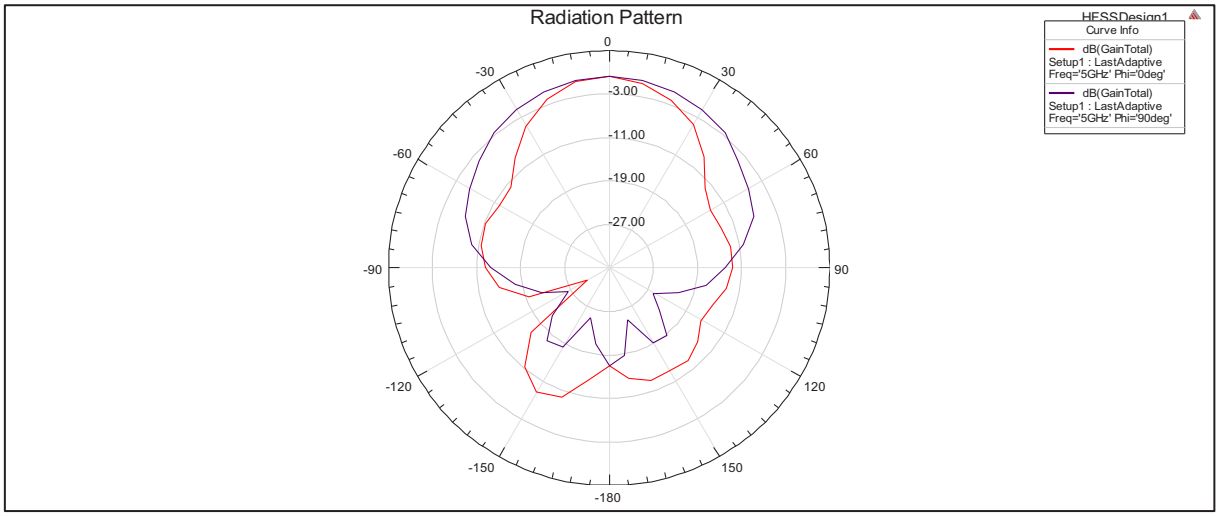


Figure III.39: Diagramme de rayonnement du gain

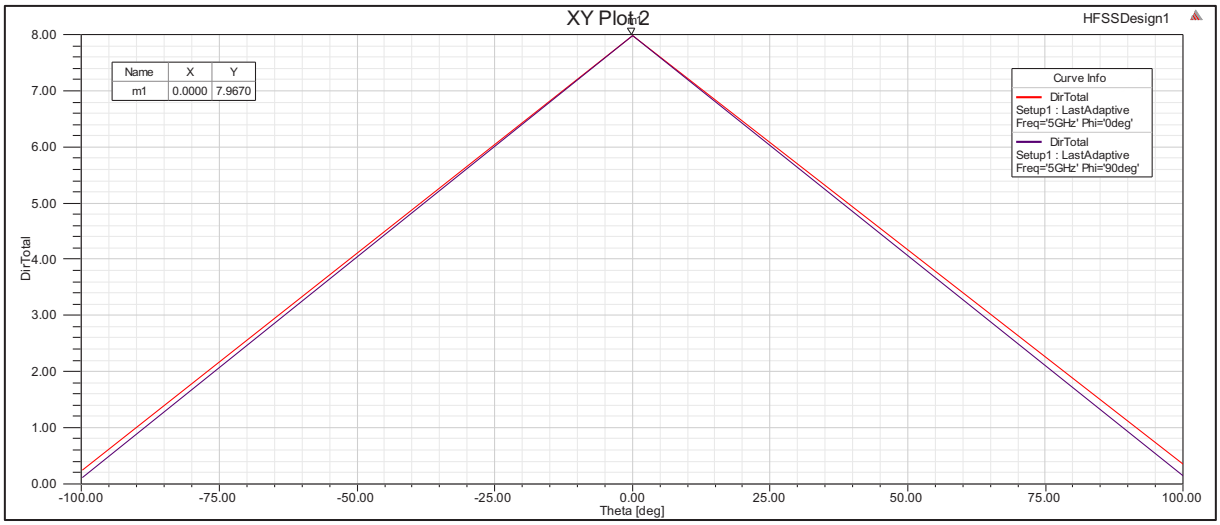


Figure III.40 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

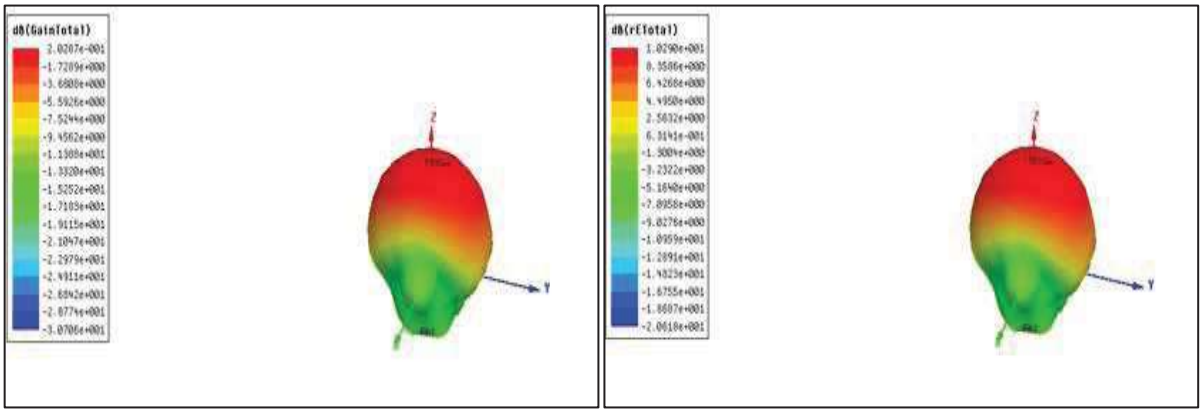


Figure III.41: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.7 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à -3 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe revlec S11 (min)	Rendement (%)
Forme rectangulaire	0.27	13.9	0.20	10.29	7.98	-3.5	2.50

La Forme rectangulaire a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 87°, mais elle présente une largeur de bande passant

- Comme cette forme présente largeur de bande, alors cette forme amélioré.
- On a obtenu une mauvaise adaptation de -3.5 dB ; et un gain faible

✓ h=3mm

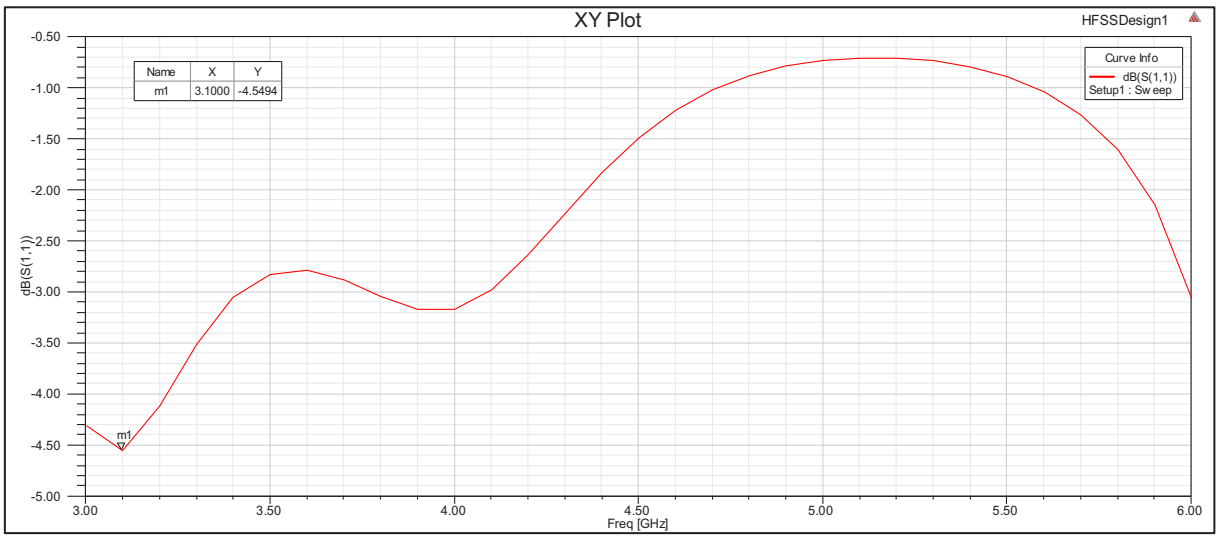


Figure III.42 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

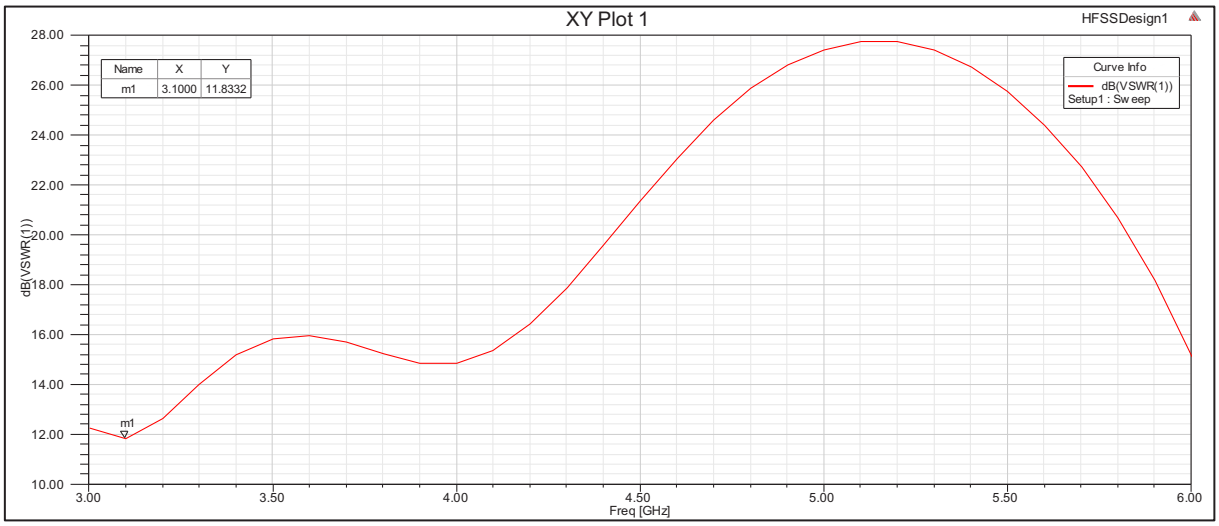


Figure III.43 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

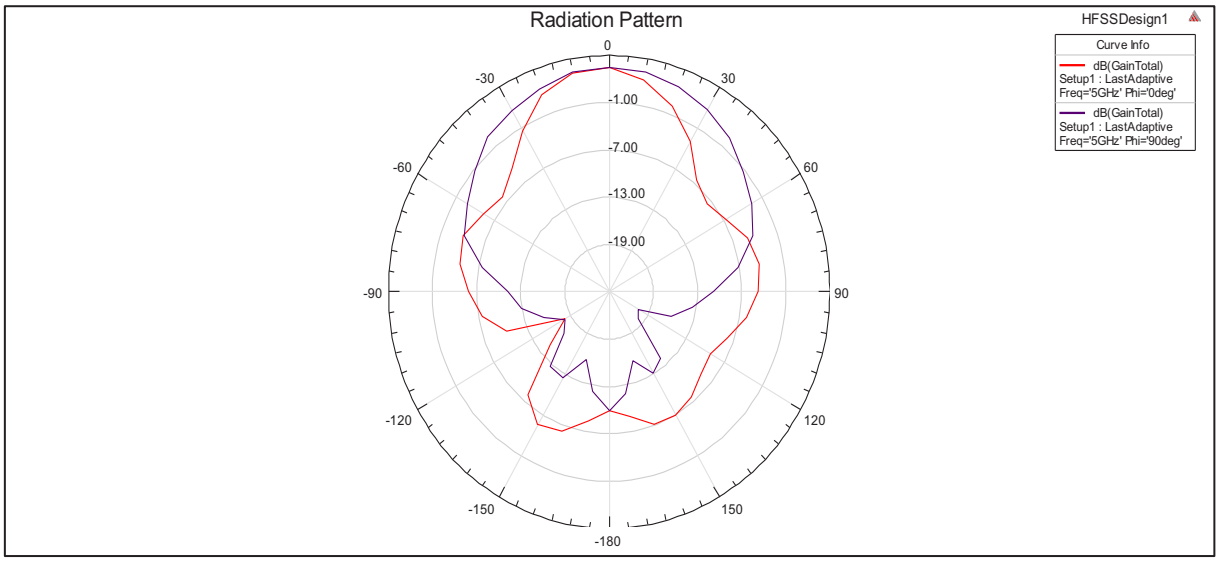


Figure III.44: Diagramme de rayonnement du gain

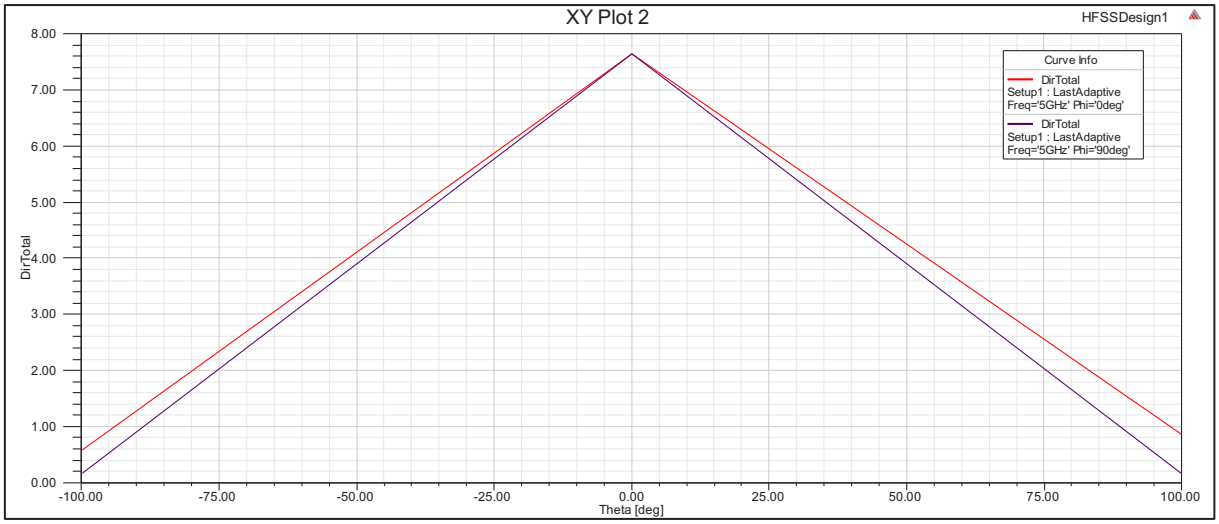


Figure III.45 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale

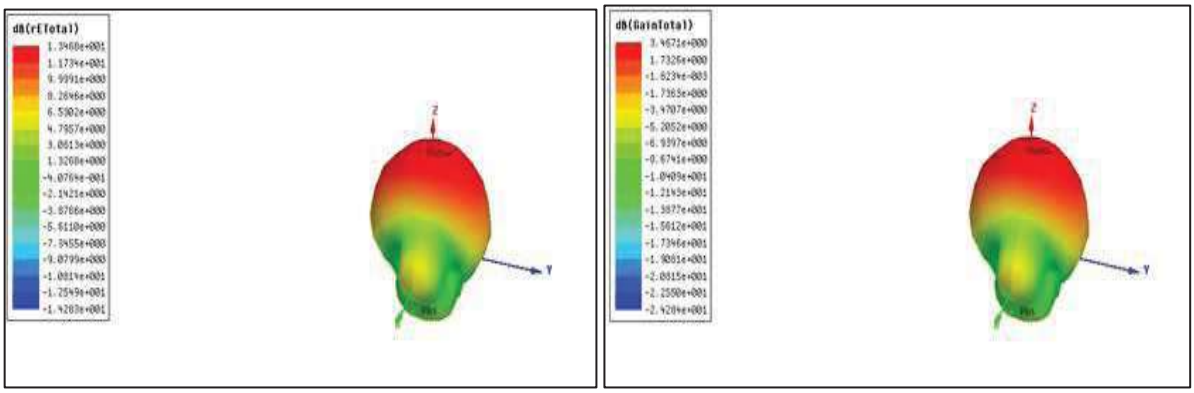


Figure III.46: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain..

Tableau III.8 : Les paramètres caractéristiques d'une forme rectangulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à –4 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Forme rectangulaire	0.08	11.83	3.46	13.4	7.8	-4.54	44.35

A partir du tableau III.7, on constate que les paramètres de cette forme ont été détériorés légèrement par rapport à la 7 eme structure.

- On observe une diminué au niveau de la bande passante,
- Augmentation dans le gain, et mauvais adaptation
- L'inconvénient est la directivité diminue

2. Forme circulaire :

- Les dimensions : R= 9.77 mm
  - ✓ h=1.5

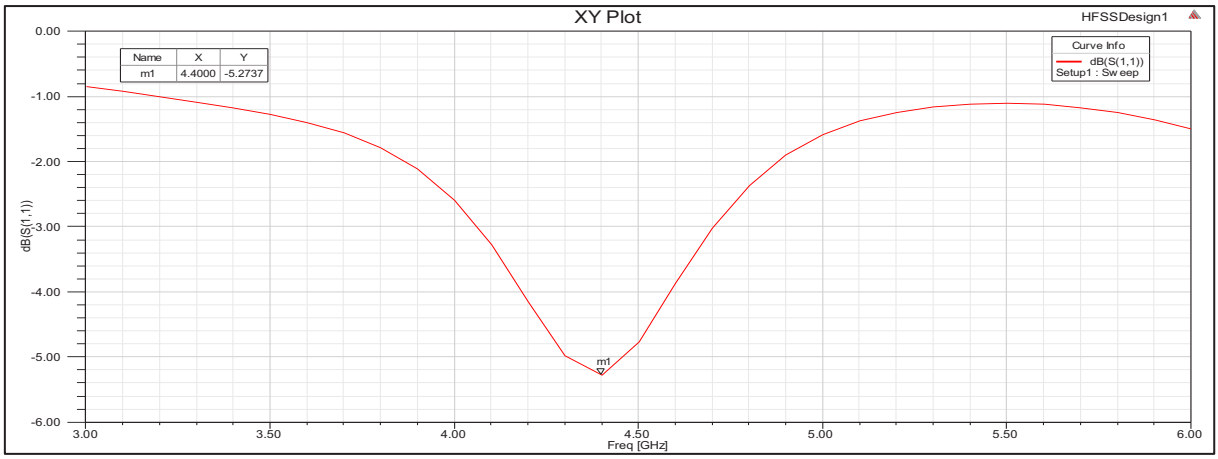


Figure III.47: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

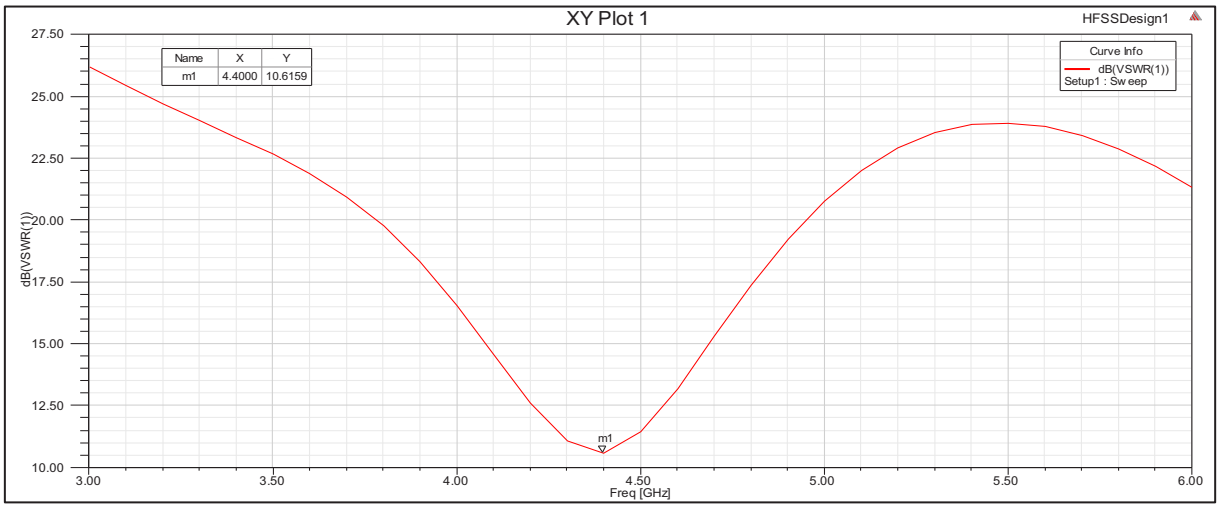


Figure III.48 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

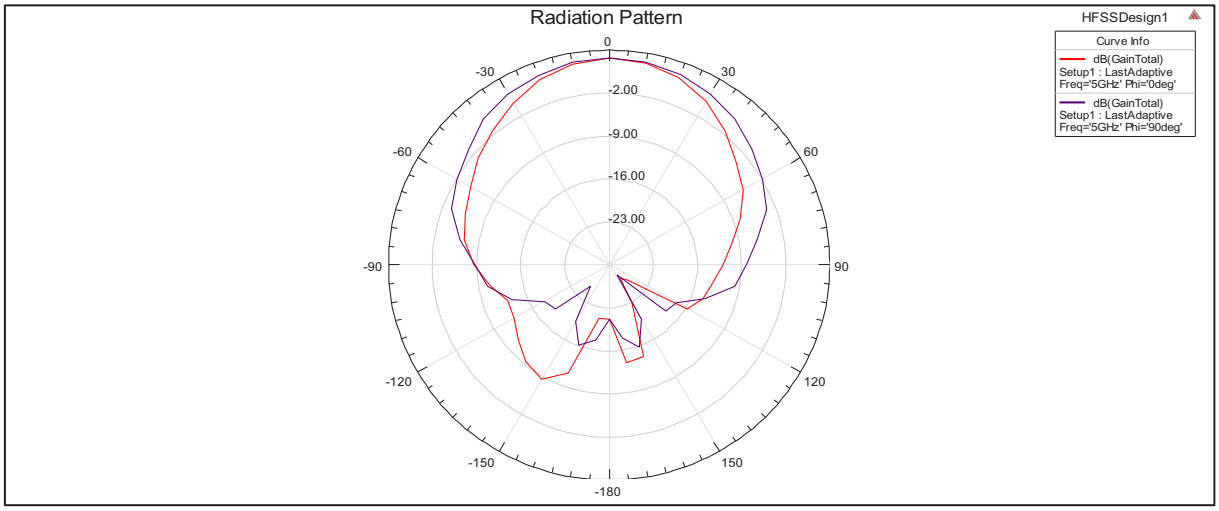


Figure III.49: Diagramme de rayonnement du gain

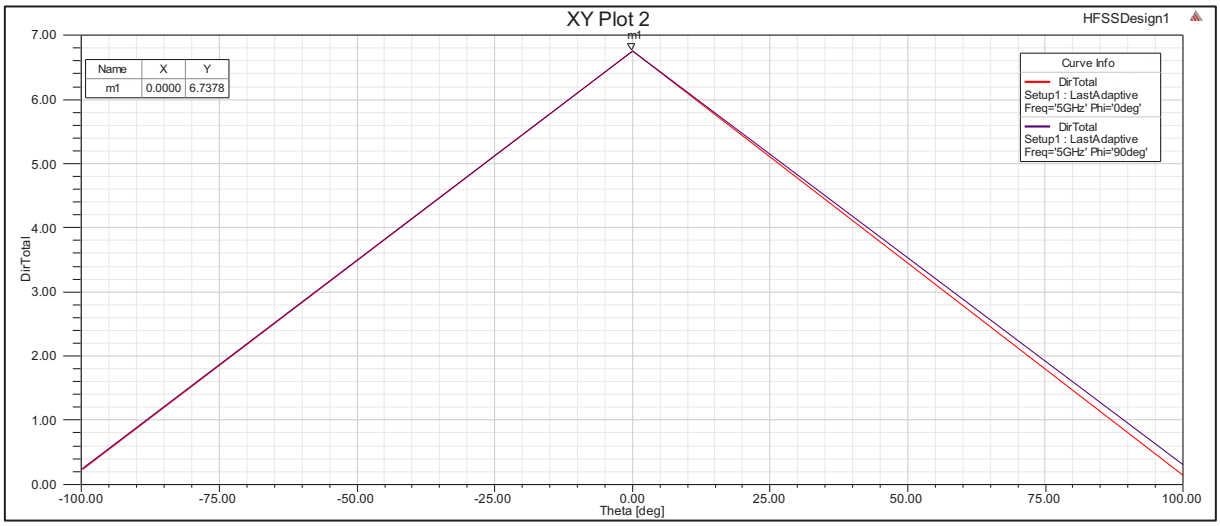


Figure III.50 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

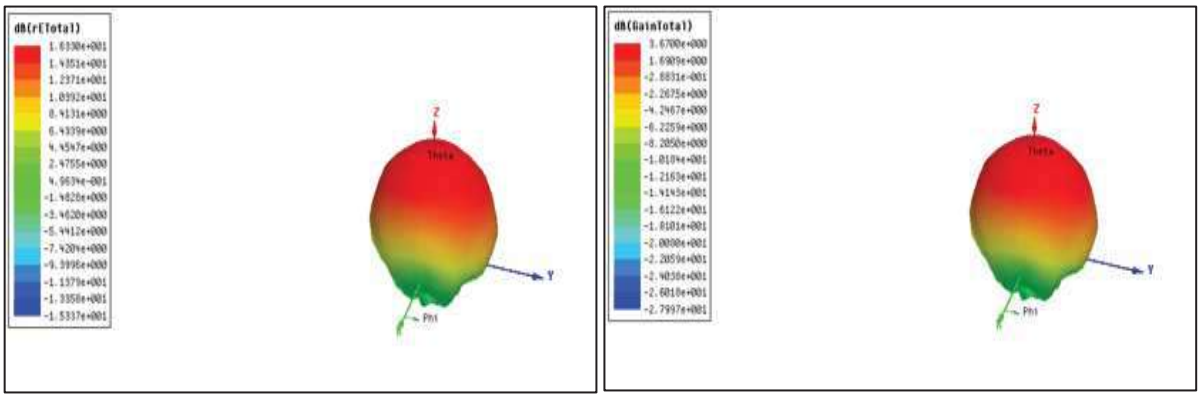


Figure III.51: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.9: Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à -4 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Forme Circulaire	0.41	10.61	3.67	16.33	6.73	-5.27	54.53

La Forme circulaire a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 87°, mais elle présente une largeur de bande passant

- Comme cette forme présente largeur de bande, alors cette forme amélioré.
- On a obtenu une mauvaise adaptation de -5.27 dB ;

✓ h=3mm

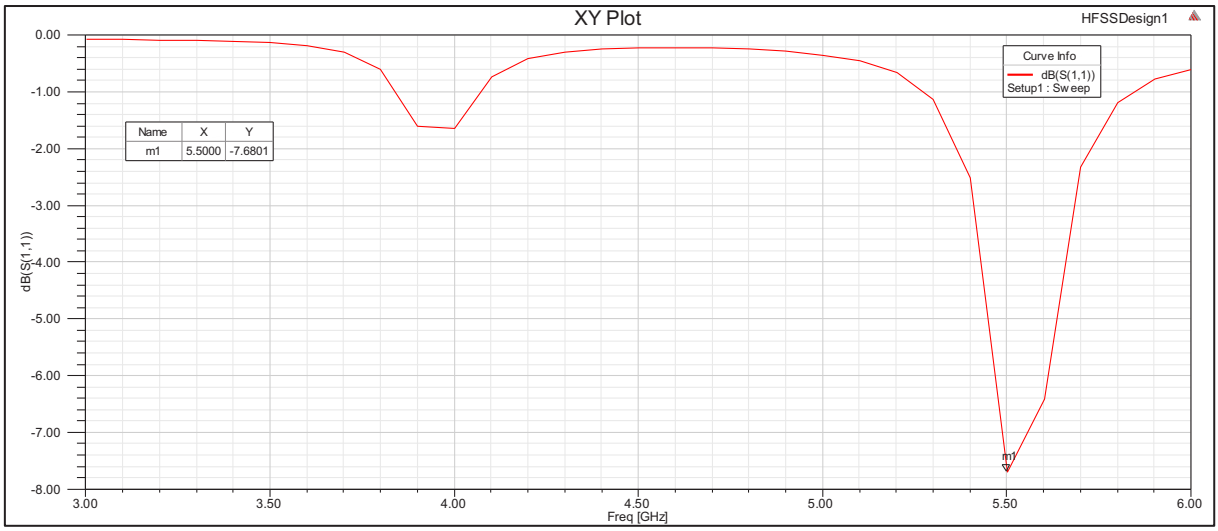


Figure III.52 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

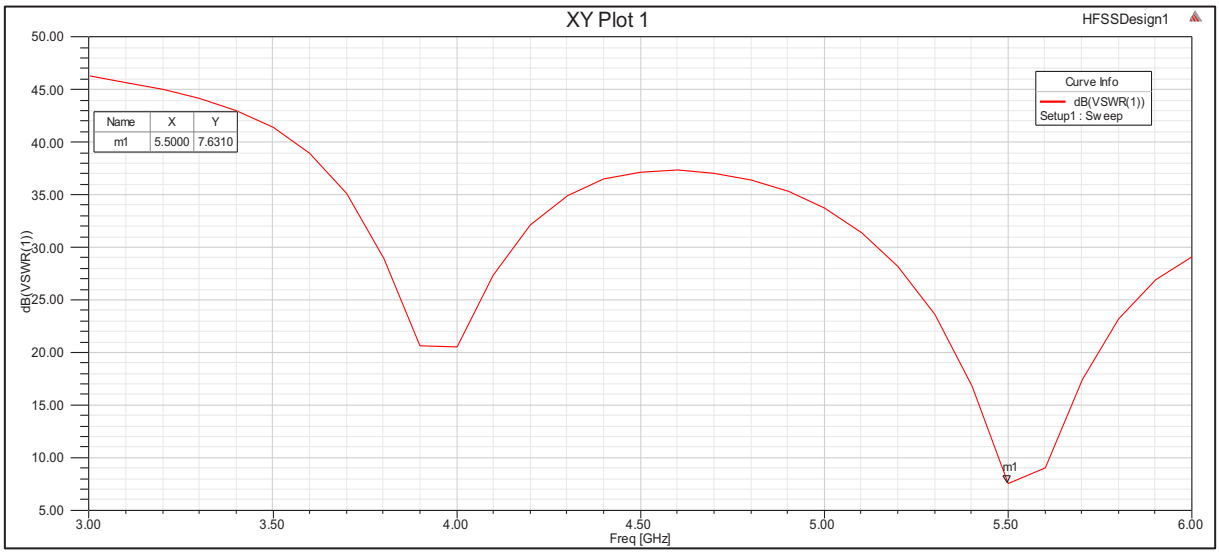


Figure III.53 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

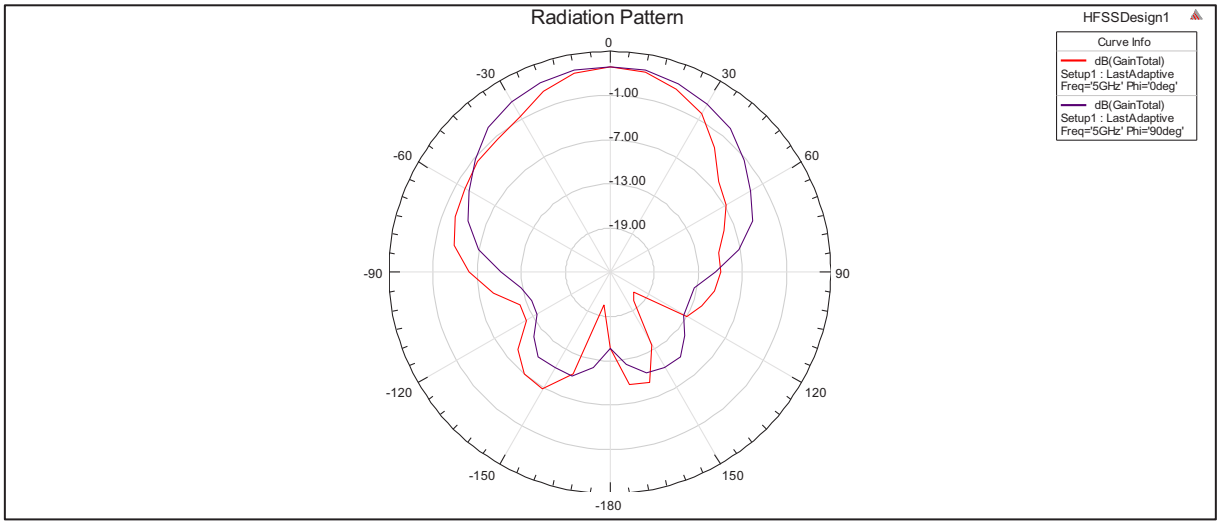


Figure III.54: Diagramme de rayonnement du gain

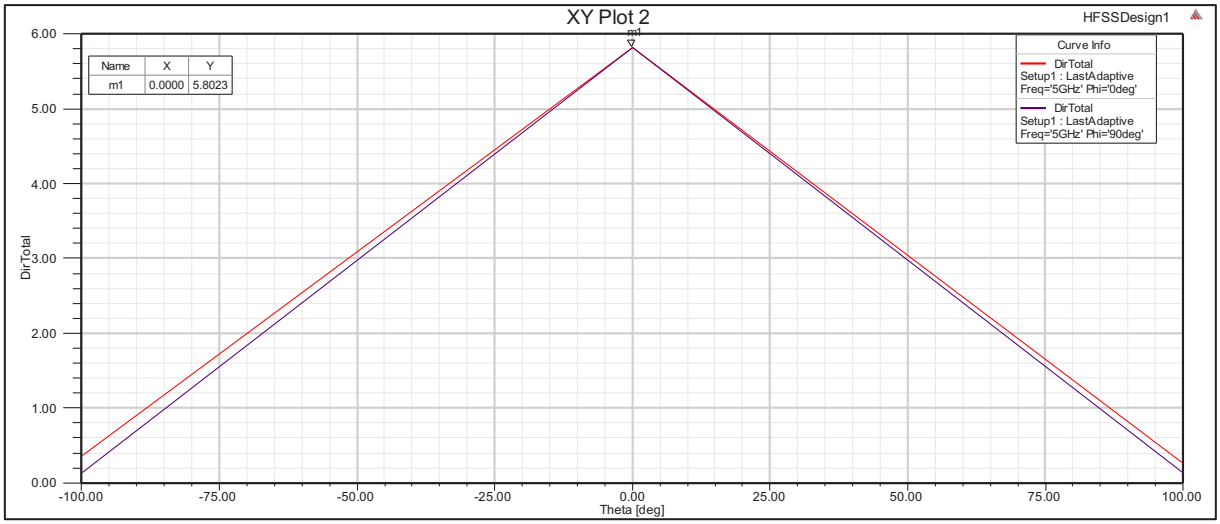


Figure III.55 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

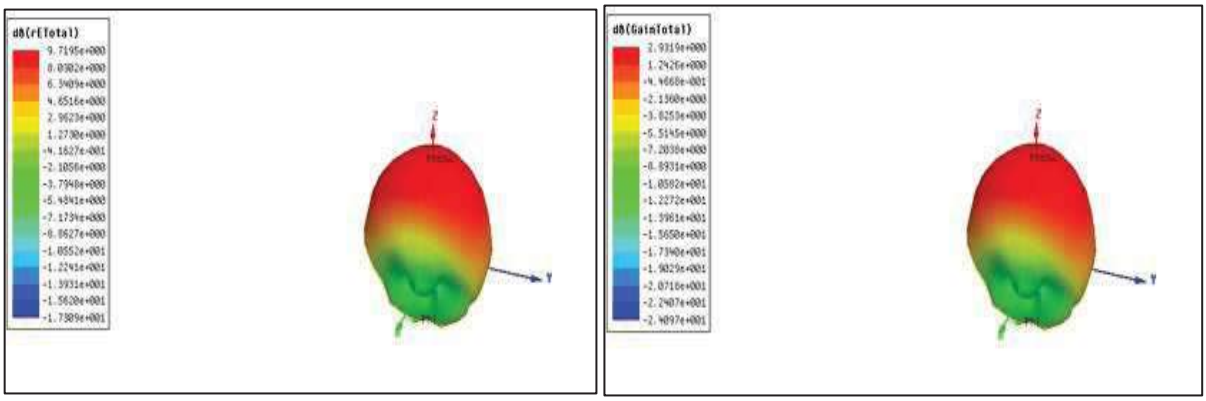


Figure III.56: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.10 : Les paramètres caractéristiques d'une forme circulaire.

caractéristiques	BP(GHz) à -6 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Forme circulaire	0.16	7.63	2.93	9.71	5.83	-7.65	50.25

A partir du tableau III.9, on constate que les paramètres de cette forme ont été détériorés légèrement par rapport à la 9 ^{eme} structure.

- On observe une diminué au niveau de la bande passante,
- bien adaptation
- L'inconvénient est que le gain et la directivité sont diminués

1. Forme polygone :

- Les dimensions : A= 10.74 mm
  - ✓ h=1.5 mm

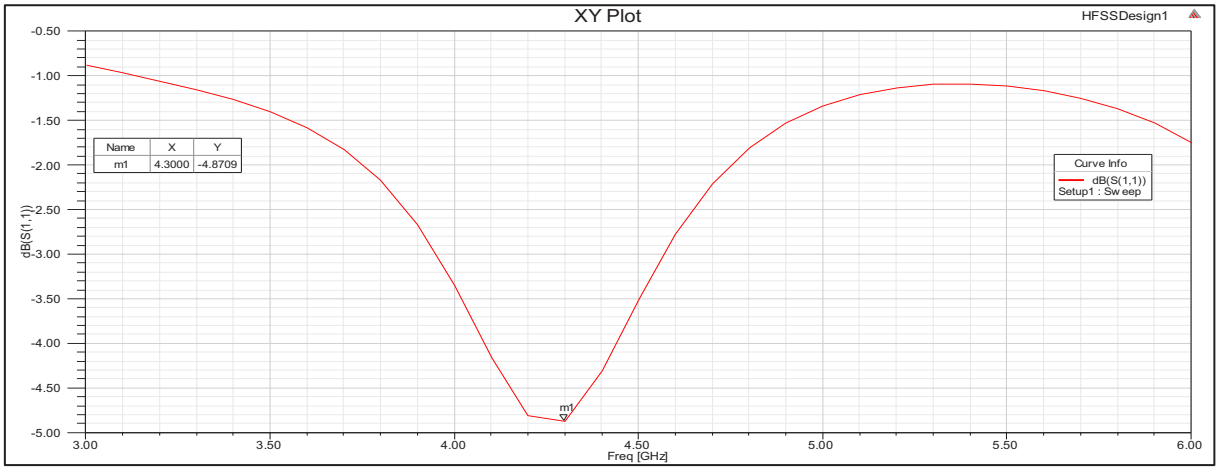


Figure III.57 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

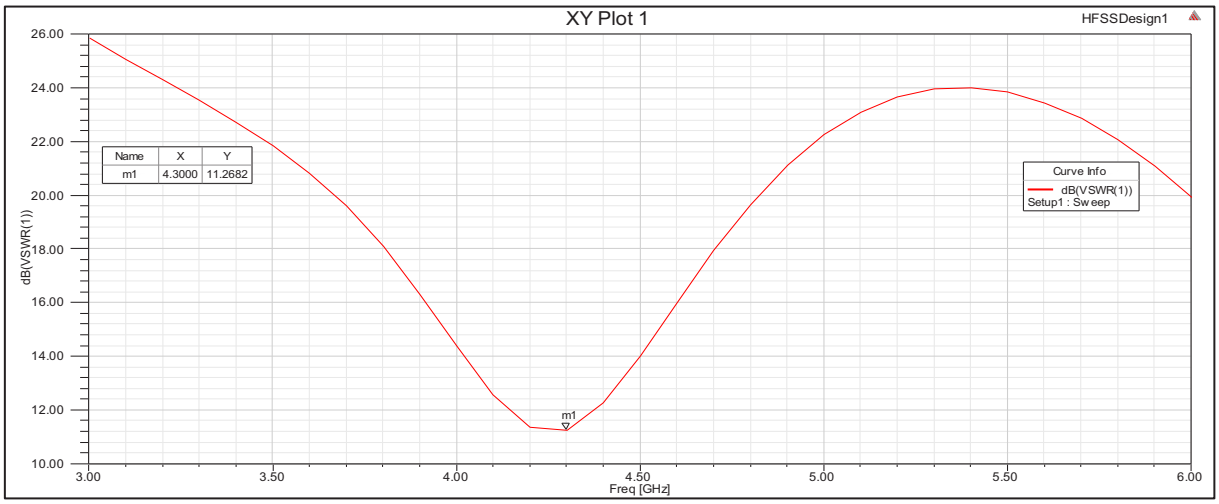


Figure III.58 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

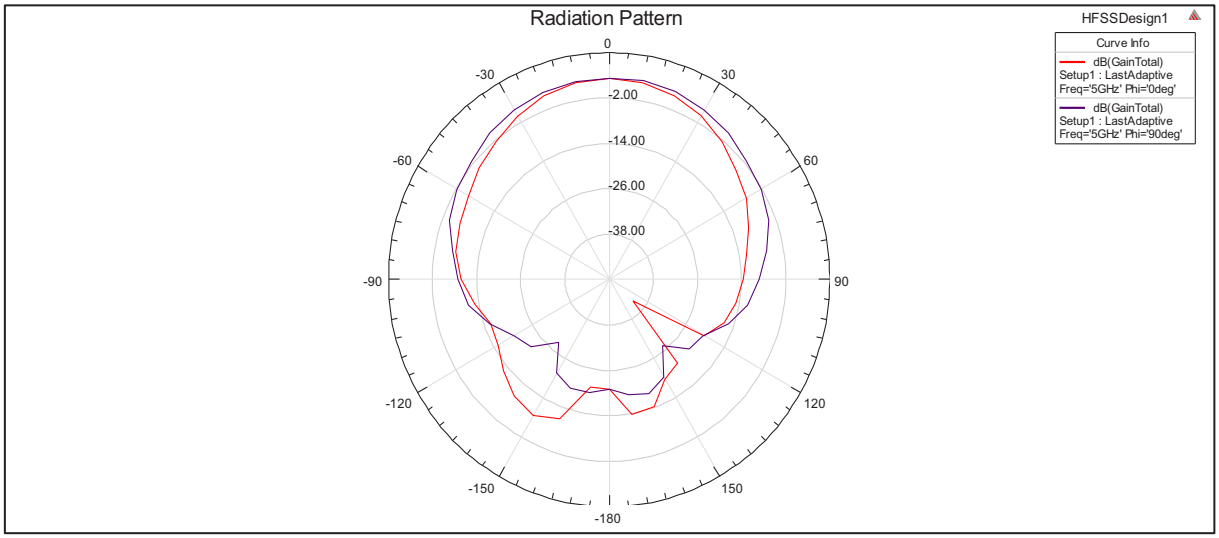


Figure III.59: Diagramme de rayonnement du gain

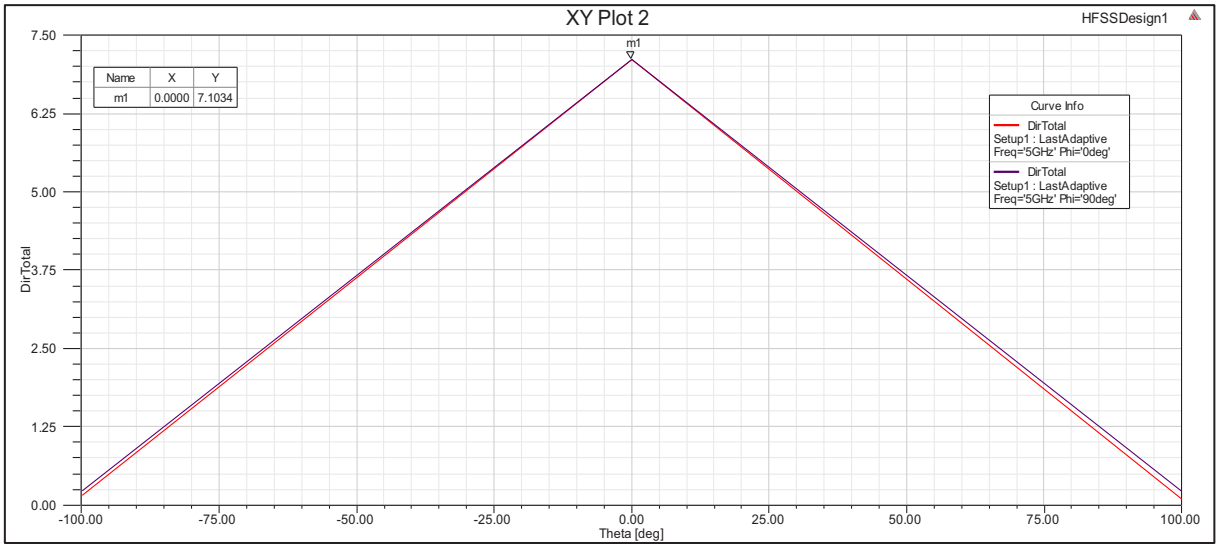


Figure III.60 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

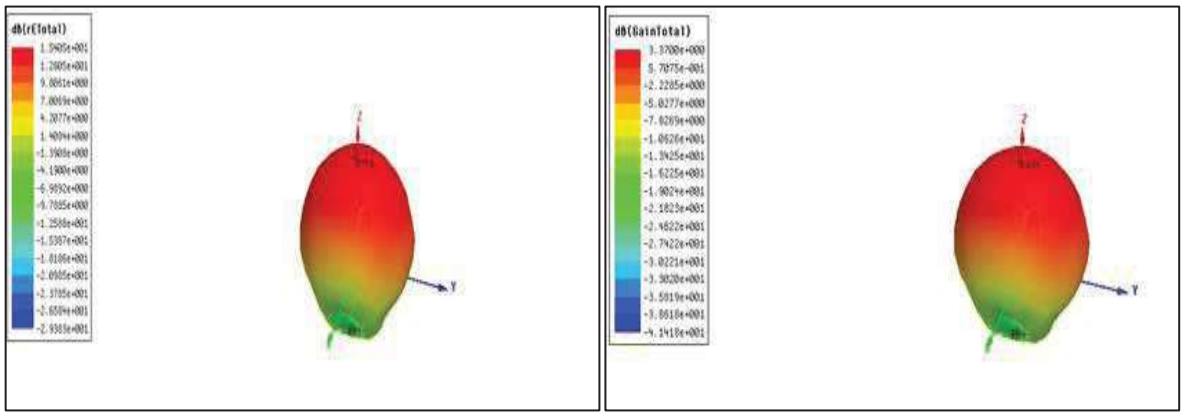


Figure III.61: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.11 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone.

Caractéristiques	BP(GHz) à -4 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
forme Polygone	0.35	11.28	3.37	15.4	7.10	-4.87	47.46

La Forme polygone a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 110°, mais elle présente une largeur de bande passant

- Comme cette forme présente largeur de bande, alors cette forme amélioré.
- On a obtenu une mauvaise adaptation de -4.87 dB ;

✓ h=3mm

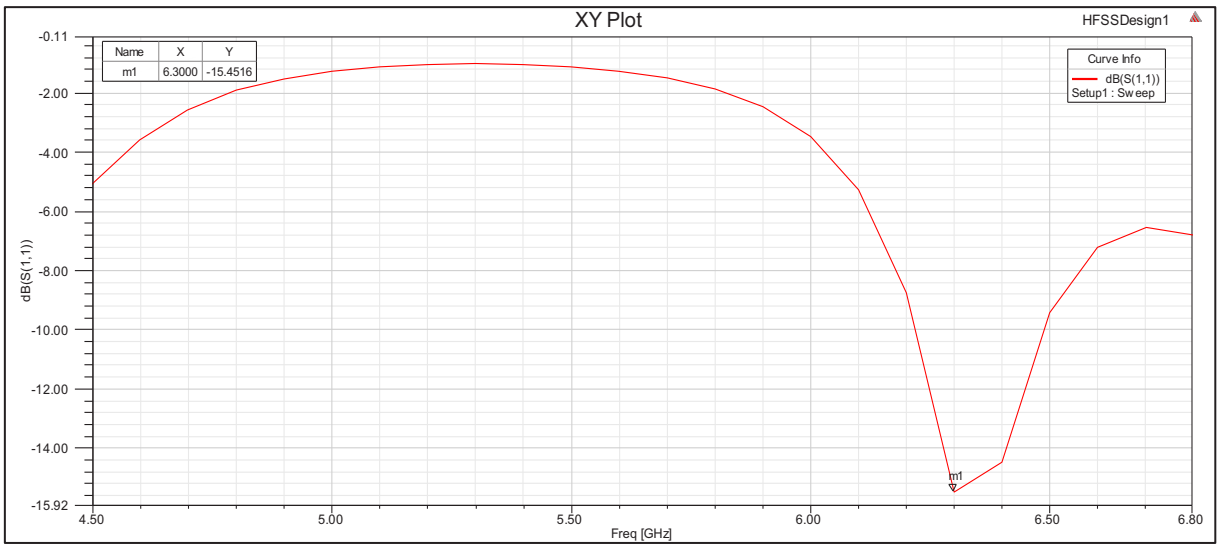


Figure III.62 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de

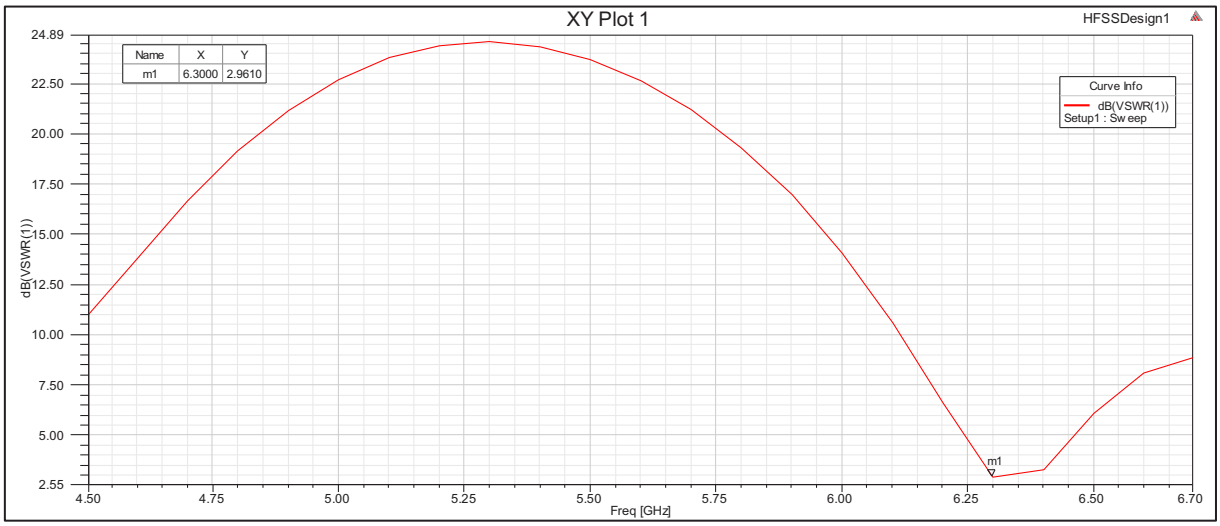


Figure III.63 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

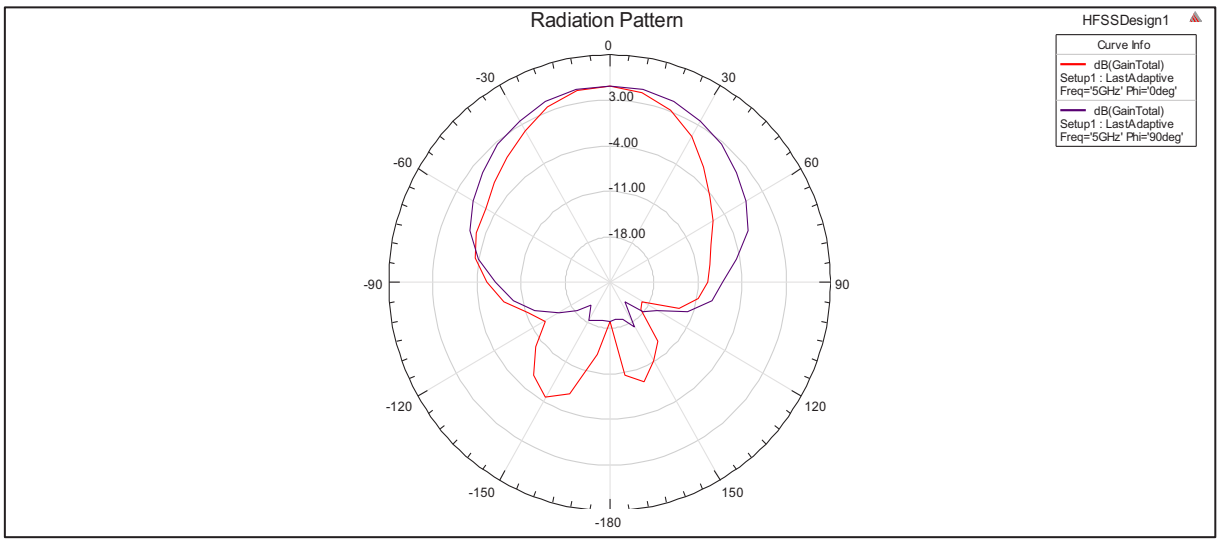


Figure III.64: Diagramme de rayonnement du gain

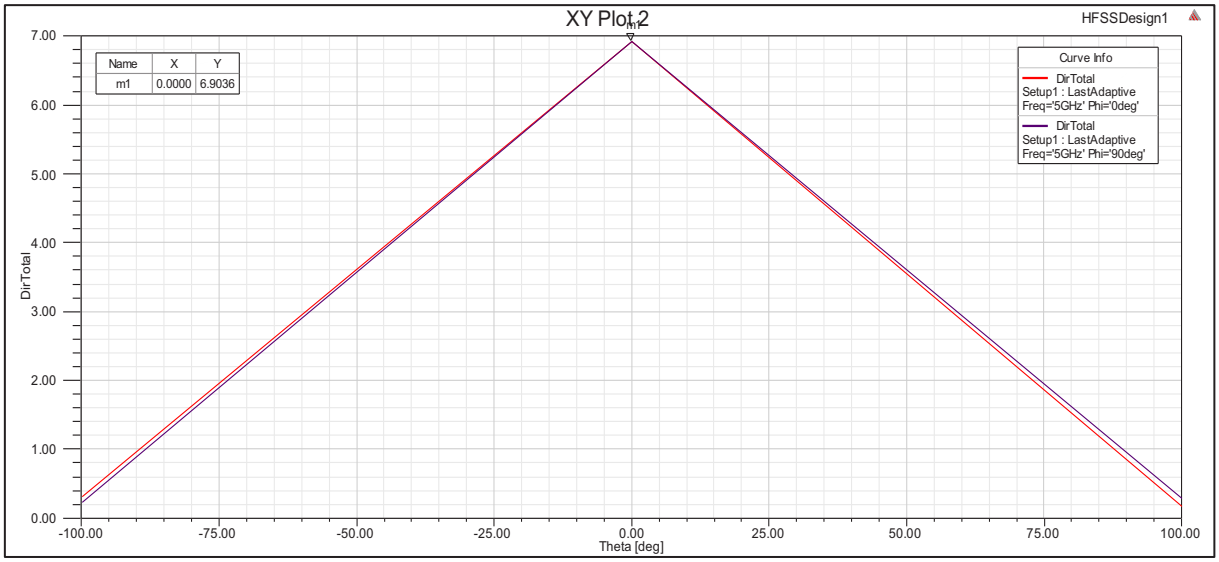


Figure III.65 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

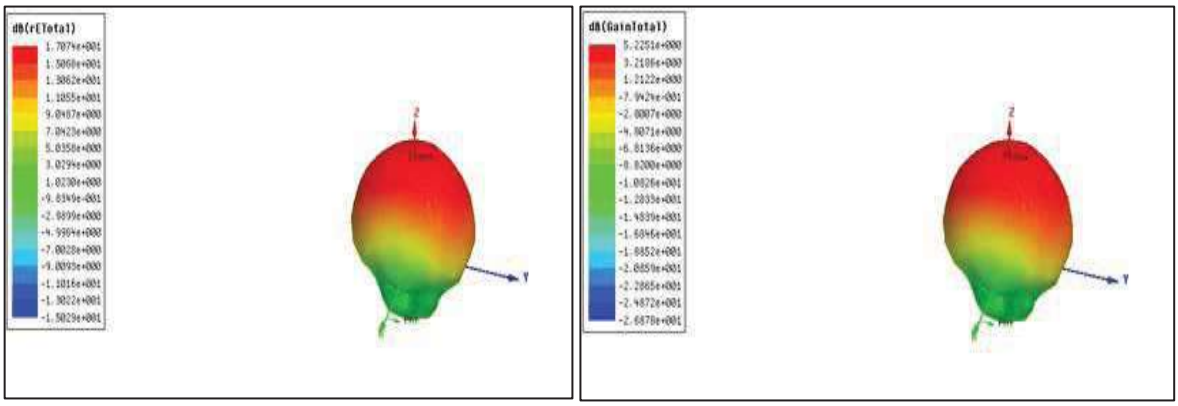


Figure III.66: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.12 : Les paramètres caractéristiques d'une forme polygone.

caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
forme Polygone	0.1	2.98	5.22	17.9	6.93	-15.45	75.32

A partir du tableau III.11, on constate que les paramètres de cette forme ont été détériorés légèrement par rapport à la 11eme structure.

- On observe une diminué au niveau de la bande passante,
- L'inconvénient est la directivité diminuée, augmentation dans le gain
- on a obtenu une adaptation de -15.45 dB ; on est bien adapté

III.6.2 Les résultats de simulation pour des réseaux d'antenne :

- Les dimensions : L= 40 mm, W = 30 mm

III.6.2.1 Réseau d'antenne d'un 2 patch :

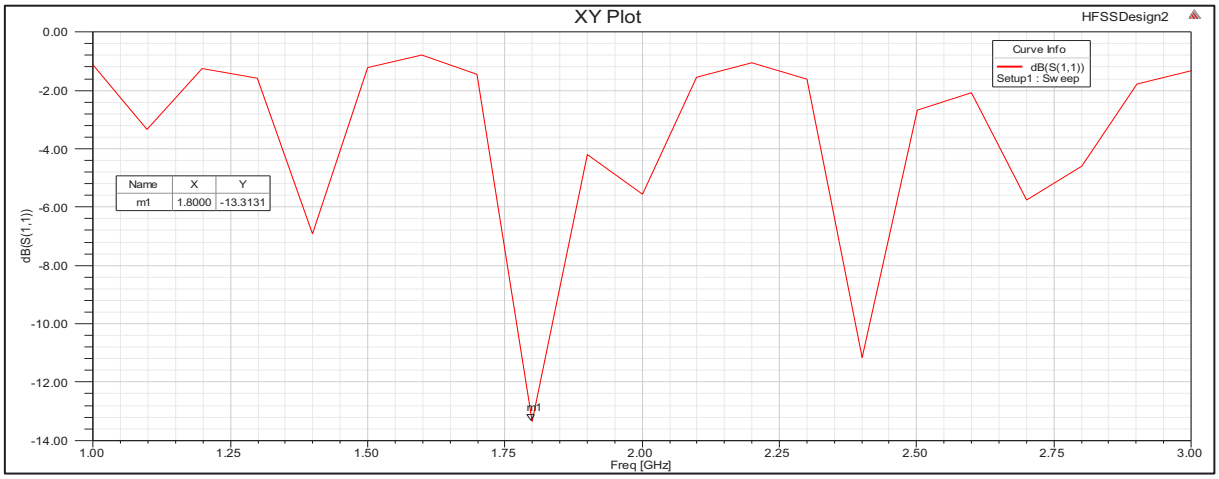


Figure III.67 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de

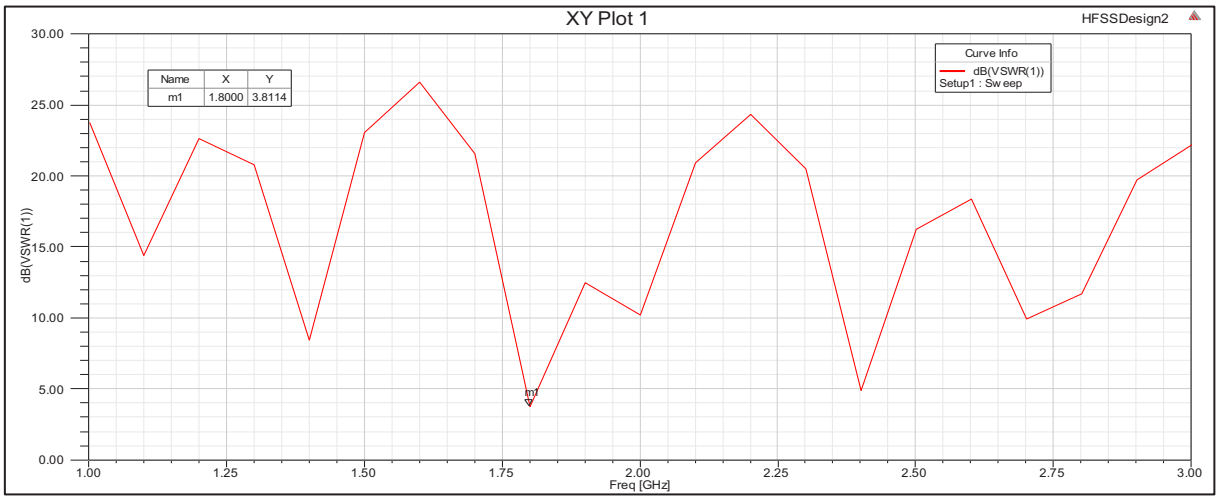


Figure III.68 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

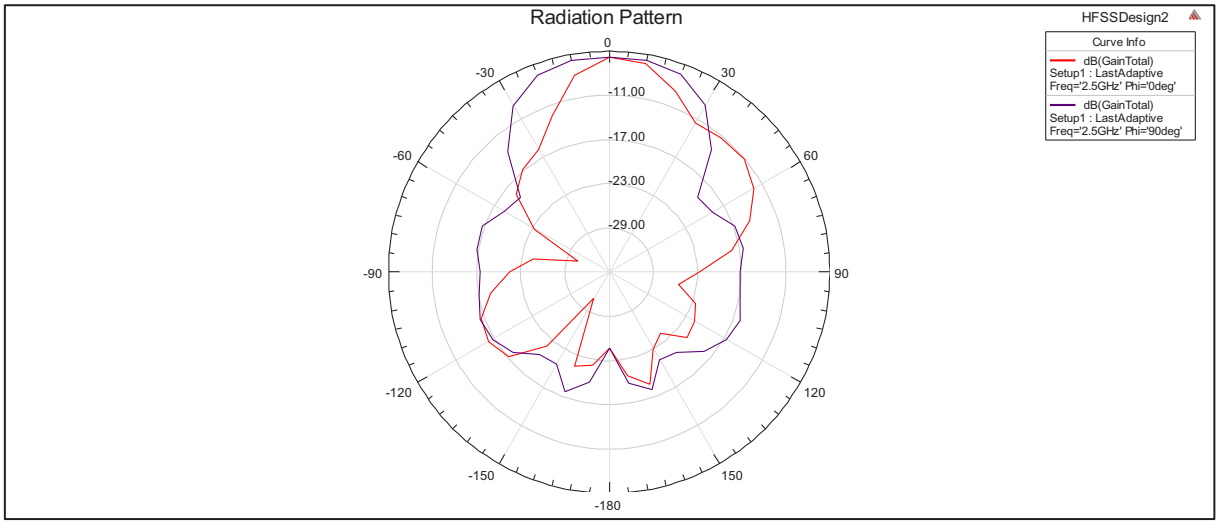


Figure III.69: Diagramme de rayonnement du gain

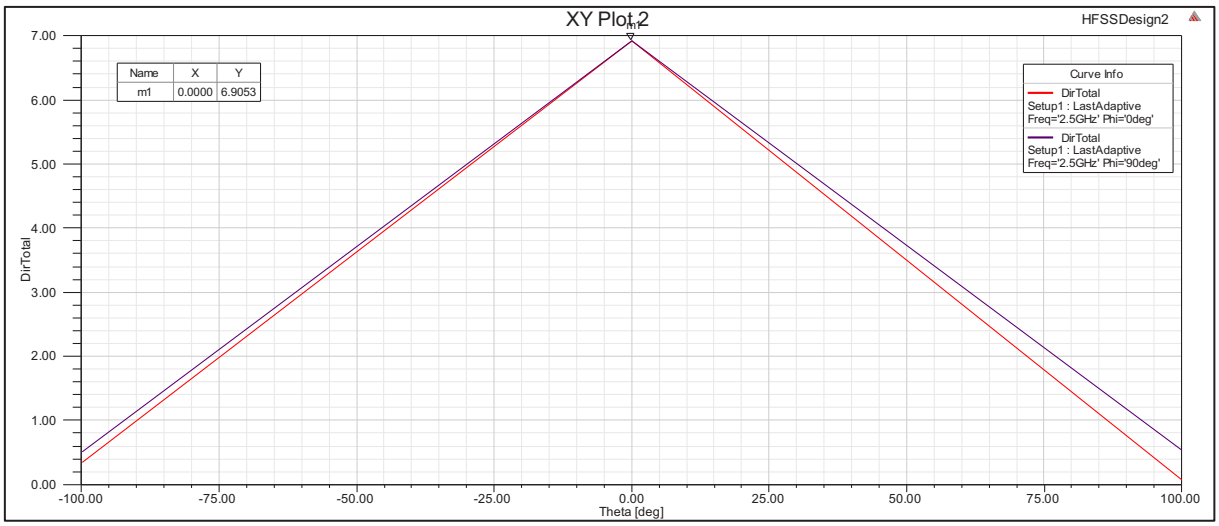


Figure III.70 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

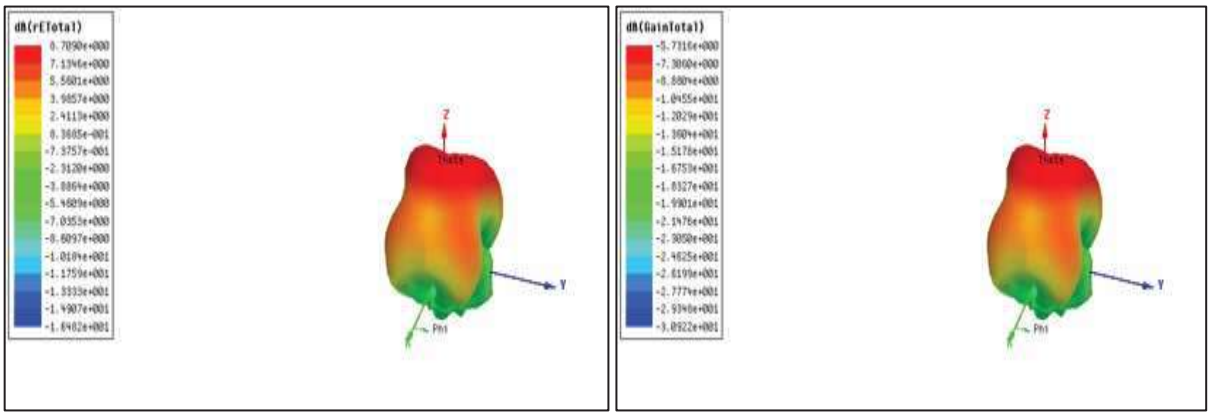


Figure III.71: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.13: Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 2 patches.

caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Réseau d'antenne .2-P	0.07	3.81	-5.73	8.70	6.90	-13.31	83.04

La Réseau d'antenne à 2 patches a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 85°, mais elle présente une bande passant étroite

- Comme cette forme présente largeur de bande, alors cette forme amélioré.
- On a obtenu une adaptation de -13.31 dB ; on est bien adapté.

III.6.2.1 Réseau d'antenne d'un 4 patch :

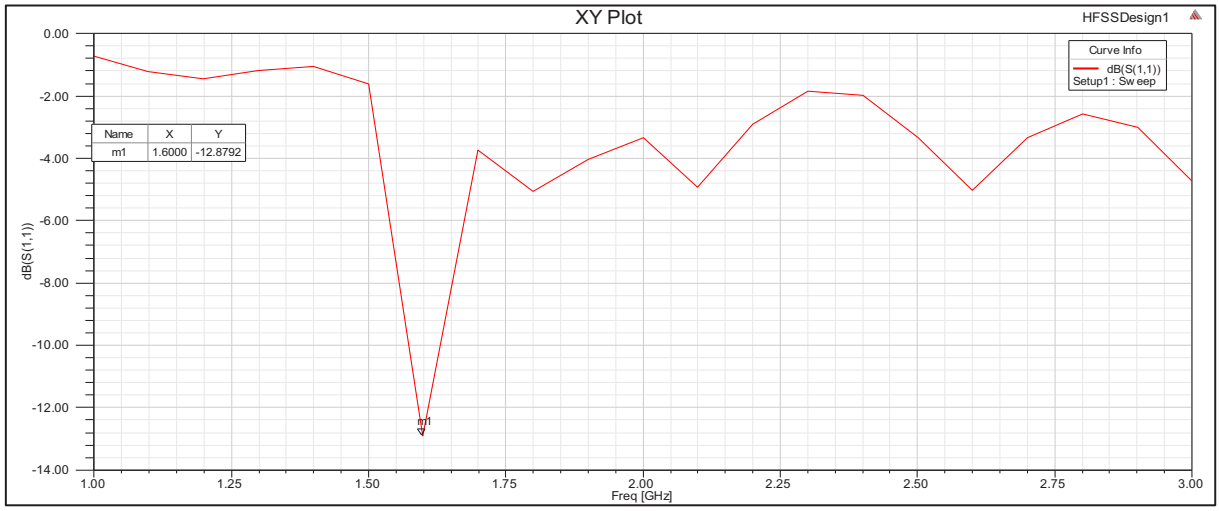


Figure III.72 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

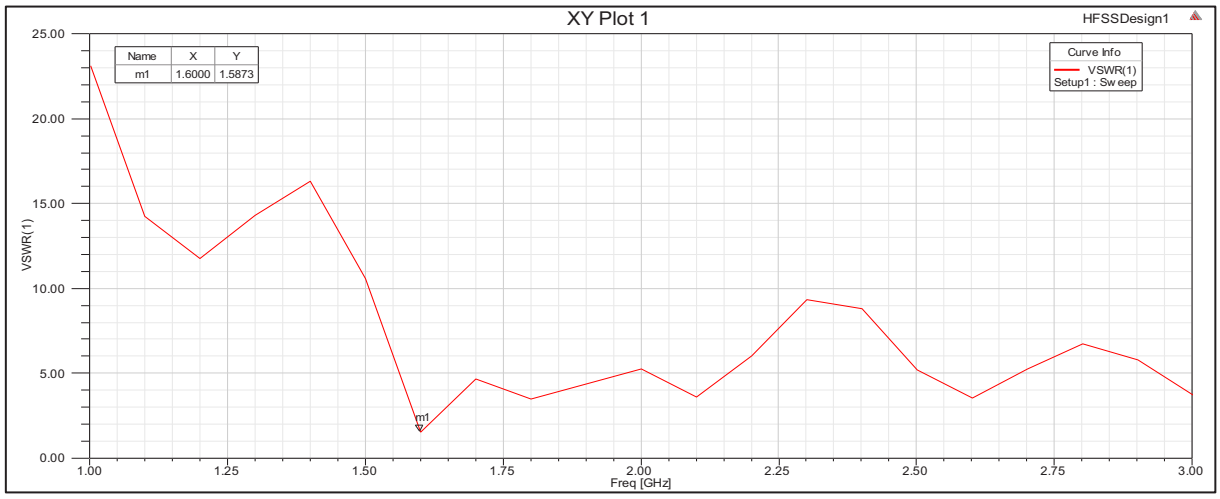


Figure III.73 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

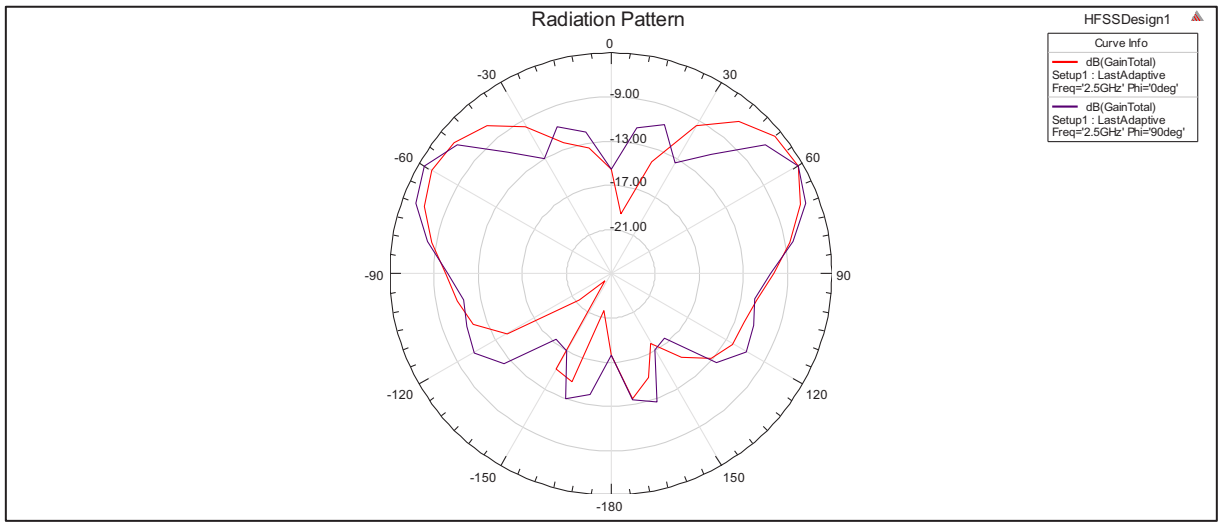


Figure III.74: Diagramme de rayonnement du gain

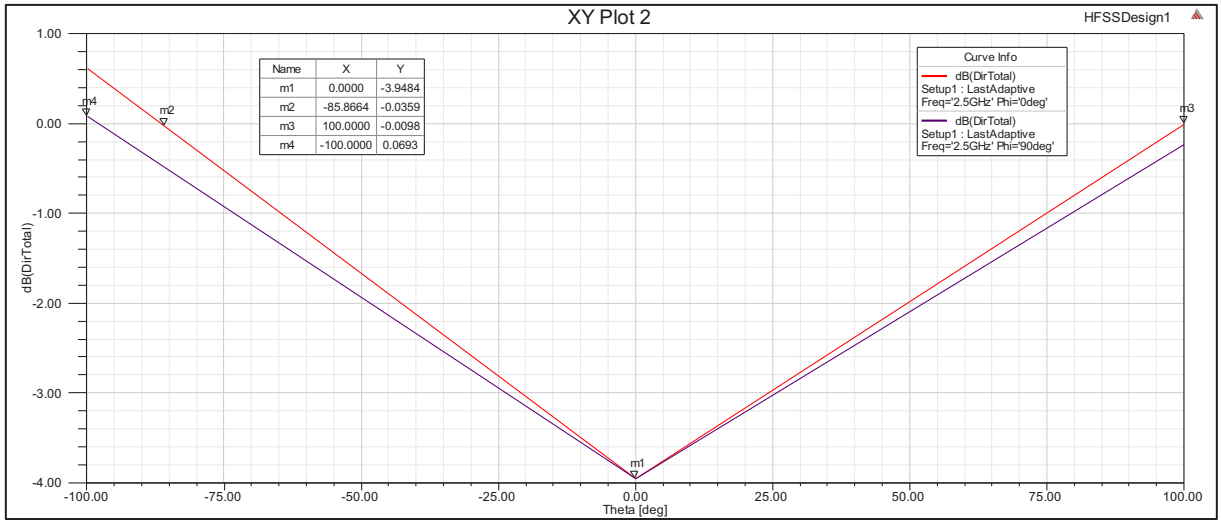


Figure III.75 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

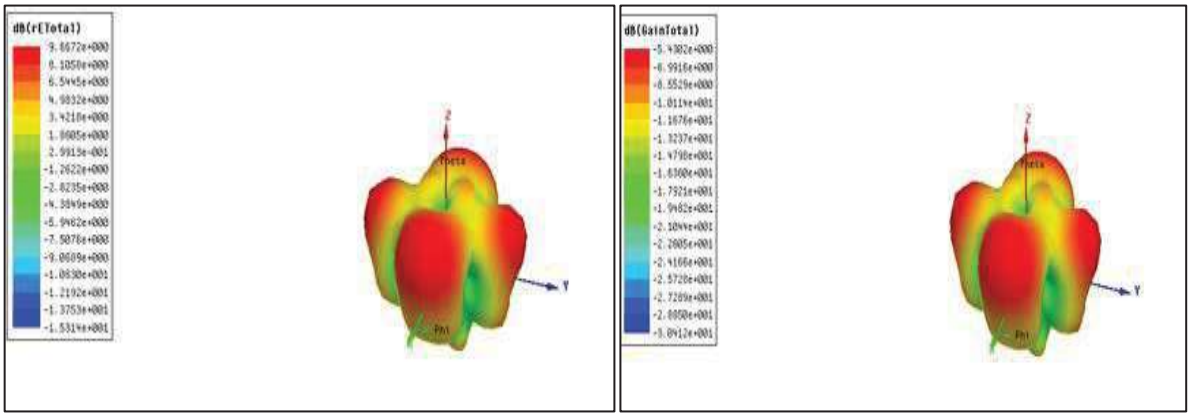


Figure III.76: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain.

Tableau III.14 : Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 4 patches.

Caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Réseau d'antenne .4-P	0.07	1.58	-5.43	9.66	-3.94	-12.87	0

A partir du tableau III.13, on constate que les paramètres de cette forme ont été détériorés légèrement par rapport à la 13eme structure.

- On observe un égal au niveau de la bande passante,
- L'inconvénient est que le gain et la directivité sont très faibles.
- on a obtenu une adaptation de -12.87 dB ; on est bien adapté

III.6.2.3 Réseau d'antenne d'un 8 patch :

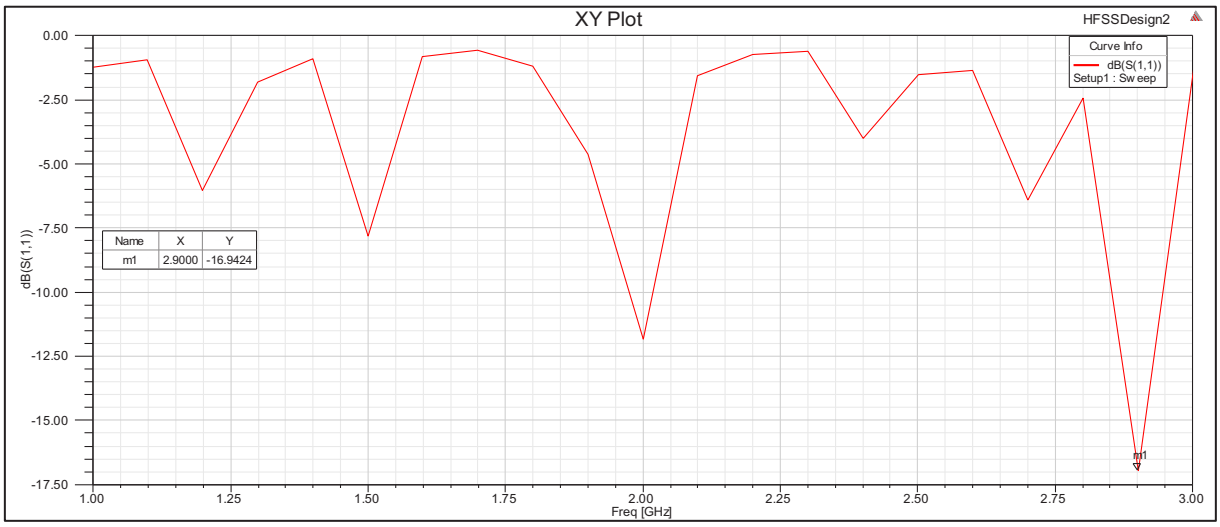


Figure III.77 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence

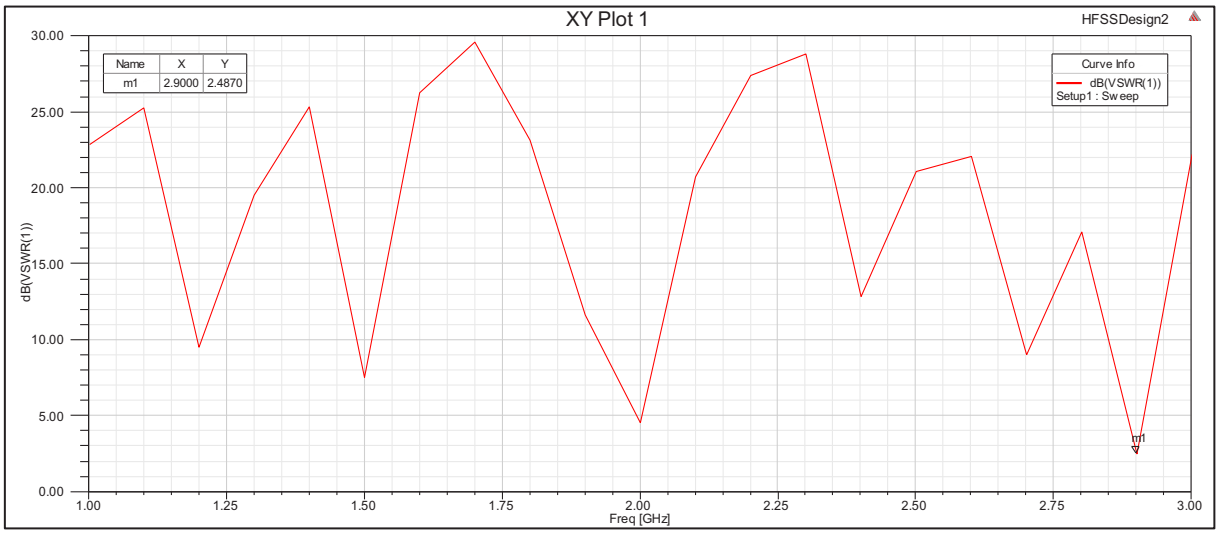


Figure III.78: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire).

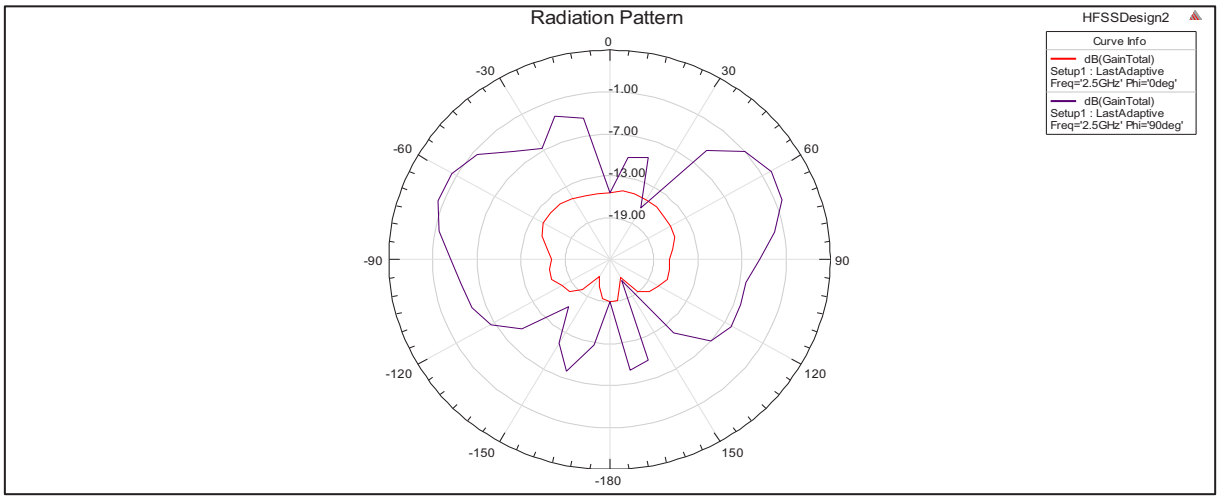


Figure III.79: Diagramme de rayonnement du gain

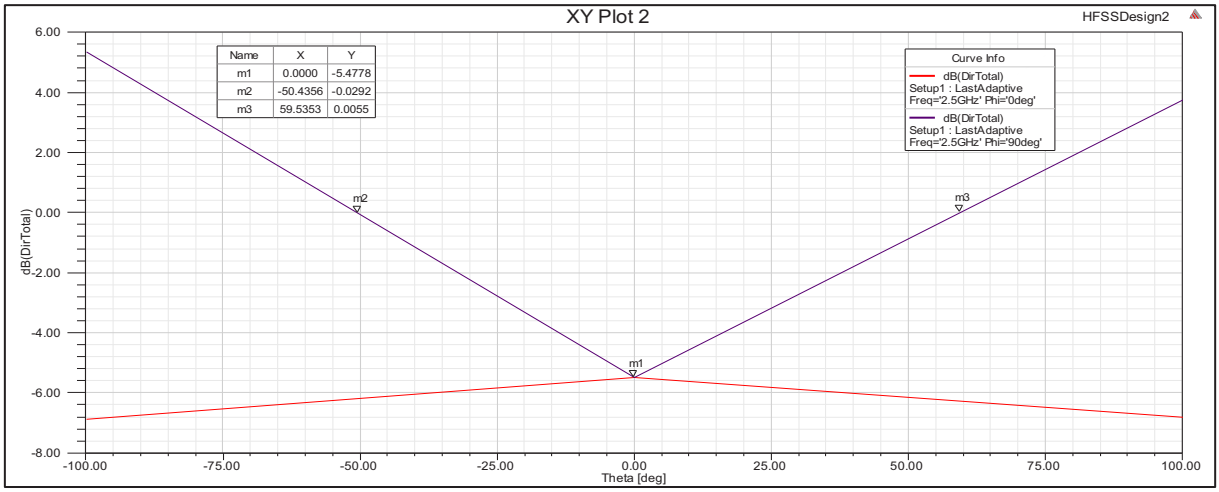


Figure III.80 : Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

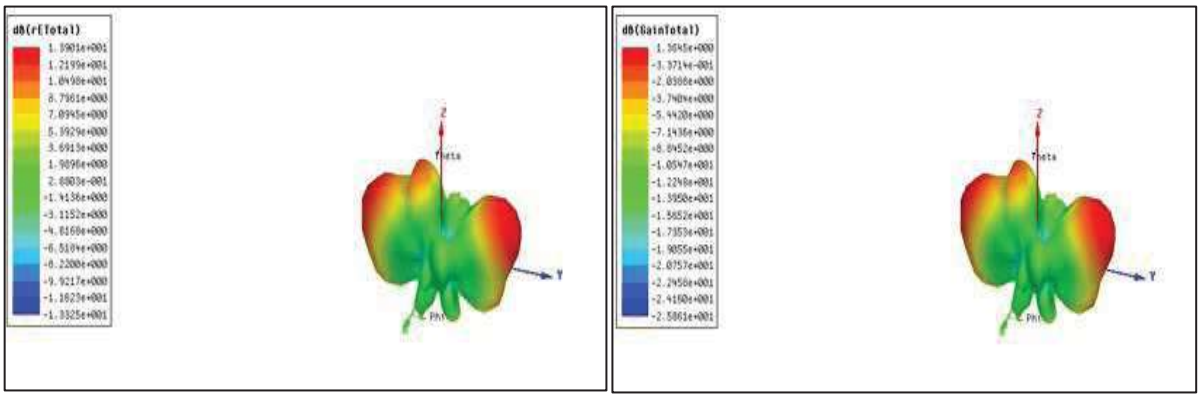


Figure III.81: Diagramme de rayonnement 3D du champ électrique et du gain

Tableau III.15 : Les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de 8 patchs.

caractéristiques	BP(GHz) à -10 dB	VSWR (min)	Gain (dB)	champ électrique (dB)	Directivité à Theta=0°	Coffe reflec S11 (min)	Rendement (%)
Réseau d'antenne .8-P	0.1	2.48	1.36	13.9	-5.47	-16.94	24.86

III.7 Tableaux de comparaison :

Le tableau III.16 résume les résultats de simulations des trois formes d'antennes.

Tableau III.16 : Tableau Comparatif entre les trois différentes formes.

Caractéristiques	Les formes d'une antenne imprimée		
	Rectangulaire	circulaire	Polygone
BP (GHz)	0.08	0.08	0.08
VSWR (min)	3.57	5.38	6.03
Gain (dB)	2.55	0.91	-1.29
champ électrique (dB)	16.64	10.27	6.33
Directivité à Theta	6.64	6.31	6.24
S11 (min)	-13.85	-6.96	-956
Rendement	38.40	14.42	20.67

Le tableau III.17 résume les résultats de simulations des trois structures d'un réseau d'antennes.

Tableau III.17 : Tableau Comparatif entre les trois différents réseaux antennes.

Caractéristiques	Réseau d'antenne		
	2 Patches	4 Patches	8 Patches
BP (GHz)	0.07	0.07	0.1
VSWR (min)	3.81	1.58	2.48
Gain (dB)	-5.73	-5.43	1.36
champ électrique (dB)	8.7	9.66	13.9
Directivité à Theta=0°	6.9	-3.94	-5.47
Coffe reflec S11 (min)	-13.31	-12.87	-16.94
Rendement	83.04	0	24.86

Une comparaison a été faite sur les trois types d'antenne, On a vu que la performance ont été améliorés durant Une augmentation du nombre patches.

III.8 Discussion et interprétation des résultats :

D'après les résultats de simulation obtenus pour divers fréquences et dimension des antennes micro-rubans, on constate que la bande passante obtenue pour des fréquences 2.5 GHz est étroite avec un gain satisfaisant par rapport à ceux obtenus pour la fréquence 5 GHz.

D'après le tableau III.16, la forme rectangulaire donne de bons résultats pour l'épaisseur h=1.5mm, le coefficient de réflexion S11= -13.85dB à une fréquence de résonance proche de la fréquence souhaitée qui est de l'ordre de 2.5 GHz. La bande passante à -10 dB est de 0.08 GHz autour de la fréquence de résonance (2.3 GHz) dans l'intervalle 1.5 GHz 3 GHz.

Le paramètre S est un plus important coefficient pour conception des antennes imprimées parce qu'il agit comme une perturbation de transmission de données.

On remarque qu'une augmentation dans la bande passante et le gain pour fixe la fréquence et changer dans l'épaisseur par contre diminué dans la directivité

Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal (phi=0 ° ou dans le plan vertical (phi=90°) incluant le lobe le plus important, En observant le diagramme de rayonnement 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement va dans la direction z. Dans le champ rouge haut avec un angle d'ouverture. Cette antenne est directive, il a un gain important maximum

Pour une petite fréquence et une augmentation de l'épaisseur nous obtenons une augmentation du gain et de la bande passant et ceci est étroit et diminue la directivité d'une part et d'autre part pour une plus grande fréquence et augmentation d'épaisseur nous obtenons une diminution de la bande et augmentation dans le gain et le manque de directivité alors on va remarquer que le changement de fréquence dans un antenne micro ruban il va changer la bande passante chaque fois change la fréquence

Selon le tableau III.17, on remarque que la structure d'un réseau d'antenne de 8 patch a été retenue à cause de ses performances qui sont relativement meilleures que celles des deux premiers réseaux car l'augmentation du nombre patches affecte considérablement sur la bande passante et le gain.

III.9 Conclusion :

Ce chapitre est une représentation de la conception et la simulation d'une antenne micro ruban des forme rectangulaire, circulaire et polygone, car les résultats obtenus montrent que celles rectangulaires sont meilleurs par rapport à celles circulaires et à polygone de point de vue bandes passante, et gain suivant le choix des paramètres de dimensionnement.

D'autre part, les résultats de la simulation des réseaux d'antennes microbandes, à 2, 4 et 8, montre que ceux à 8 éléments, présente de meilleur performances de point de vu gain, directivité et bande passante.

À la fin, nous concluons que le dimensionnement L et W de microbande ainsi que l'épaisseur h du substrat, influent considérablement sur les performances de l'antenne (gain, coefficient de réflexion S, la bande passante et le diagramme rayonnement).

Conclusion générale :

Ce travail a pour objectif de la conception d'une antenne patch de plusieurs formes (rectangulaires, circulaire et polygone) et un réseau d'antenne de plusieurs formes 2, 4 et 8 patches permettant d'émettre ou de recevoir à une fréquence 2.5GHz et 5 GHz.

Nous sommes intéressés dans notre étude d'utilisé un logiciel de simulation électromagnétique 3D HFSS (High Fréquence Structure Simulator) qui est un outil performant à onde électromagnétique (EM) commercial qui fait la simulation du champ d'un model arbitraires en 3D. Il intègre la simulation, visualisation, modélisation des solides, et l'automatisation dans un environnement facile à utiliser où les solutions des problèmes EM 3D sont obtenues rapidement et avec précision. HFSS emploie la méthode des éléments finis (FEM) pour la résolution des équations de Maxwell.

A partir de ce travail, nous nous sommes attachés à modéliser et concevoir des antennes micro ruban pour différents systèmes de communication sans fils.

Nous avons simulé de sous HFSS 12 antennes micro rubans pour fréquence 2.5 GHZ de forme rectangulaire : Une antenne imprimé sur de faible permittivité relative $\varepsilon r=4.4$, d'épaisseur 1.5 mm à bande étroite, l'autre la permittivité relative $\varepsilon r=4.4$, d'épaisseur 3 mm, et même condition pour les 2 antennes circulaire et 2 antenne polygone. Pour fréquence de 5 GHz même la condition correspondant à large bande d'une autre parte nous avons simulé de sous HFSS 3 réseaux d'antenne de différente patch dans le substrat de : fréquence= 2.5 GHz, permittivité relative $\varepsilon r=4.4$, d'épaisseur 1.5 mm à bande étroite. Dans cette simulation le plan de masse est considéré comme étant nulle.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et vérifient complètement et parfaitement Travail à effectuer, toutes les caractéristiques de l'antenne (coefficients de réflexion, le gain et le rayonnement).mais il y on a un seul défaut qui est le décalage de la fréquence résonance. Pour avoir des bons résultats, et s'approcher un peu de la valeur désirée, nous avons fait un ajustement des antennes en agrandissant ou en diminuant légèrement les dimensions du patch.

On constate que le rayonnement est moins important pour les constants diélectriques élevés. La forme rectangulaire est la meilleure forme pour l'étude des antennes micro ruban.

Nous remarquons que la forme rectangulaire à donner des bons résultats surtout le gain et présente un coefficient de réflexion inférieur à10 dB à la de fréquence de résonance désirée, Nous avons remarqué que la durée dans la fréquence est 5 GHz plus grand que l'équivalent de 5 fois la fréquence 2,5 GHz , Nous permet d'apprendre et de travailler facilement avec le logiciel HFSS .

Les résultats des antennes de fréquence 2.5Ghz satisfaisants par rapport à fréquence 5 GHz, l'inconvénient de fréquence 2.5Ghz est qu'elle fournit une bande passante étroite.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : constantine A.Balanis ; « ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN », wilay INterscience , 2005

[2] : Maurice Bellanger, « les antennes : théorie, conception et application », L'usinenouvelle dunod , septembre 2009

[3] : Alexandre Boyer « ANTENNE, Support de cours énonce de travaux dirigés », INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE, Octobre 2011

[4] : **:** ROUIBAH Ammar « ETUDE D'UNE ANTENNE MICRORUBAN DE FORME ARBITRAIRE PAR LA METHODE FDTD » , UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF,2009

[5] : BENARADJI SELMa et LALLAM CHAFIKA « conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile » , université abou bekr belkaid tlemcen,2012

[6] : Touati Mohamed et Houssem Eddine « Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire », Université Mohamed Khider Biskra, 2014

[7] : Soltane Samia « ETUDE ET CARACTERISATION D'ANTENNES IMPRIMEES POUR SYSTEME ULTRA-LARGE BANDE », Université Mohamed Khider – Biskra, 2015

[8] : Zaoui Bachir « Modélisation d'une antenne micro ruban compacte », UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED, 2015

[9] : Rabih SLIM & Khalil HAYDAR « Conception d'une Antenne Patch ou Réseau d'antennes A gain fort et haute Directivité pour Applications WiFi 2.45 GHZ », Université Antonine ,

[10] : ZIANI KERARTI DJALAL « Etude et Conception d'Antenne ultra bande », université abou bekr belkaid tlemcen ,

[11] : Haoued Mouissa Nawel et Madoui Souad « L'effet d'une cellule AMC sur la bande passante d'une antenne patch », Université Kasdi Merbah Ouargla 2017

[12] : MEDDOUR Meriem et BENKEDDA Siham «Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz », Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017

Sites web

[13] : CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES ANTENNES, http://www.infcom.rnu.tn/content/pdf/cours/aline-saidane/chapitre1-generalies-sur-les-antennes-2dni.pdf

[15] :https://www.researchgate.net/publication/314230384_An_Introduction_to_ANSYS_HFSS.

[14] : CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES ANTENNES, https://drive.google.com/file/d/0B3-hzCUo0KqOM2h0SDZjR3MzbDB4Z2ZDR2doTlB4OE5kUENR/view?usp=sharing