

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialités : Réseaux et Systèmes des Télécommunications

### Thème

*Conception d'antennes monopolaires large-bande  
2D et 3D*

Préparé par :

OUKIL Meriem Dihia

BOUSSAA Amal

Dirigé par :

Mme. HAMZAOUI Dahbia

Examiné par :

Mr. KHIREDINE Abdelkrim

Mme. BOUNCER Samira

**Année universitaire : 2020/2021**

## *Remerciements*

*Avant tout, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail.*

*Nous adressons notre reconnaissance et nos remerciements à notre promotrice Mme HAMZAOUI Dahbia pour ses conseils chaleureux, son encadrement, sa disponibilité et son aide précieuse à la réalisation de ce travail, pour cela nous l'assurons de notre sincère gratitude et notre respect le plus profond.*

*Nous remercions les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail. Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce projet.*

## *Dédicaces*

*C'est avec beaucoup de reconnaissance qu'on dédie ce travail à  
nos chers parents et grands-parents,*

*À nos familles,*

*À nos frères et sœurs,*

*À nos ami(e)s*

*Et à tous ceux qui ont fait confiance à nos capacités pendant  
notre parcours.*

## Remerciements

## Dédicace

## Sommaire

## Liste des Figures

## Liste des Tableaux

## Liste des Acronymes

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

### **Chapitre 01 : Théorie des antennes monopolaires**

Introduction.....	3
I.1. Description d'une antenne monopole.....	3
I.2. Principe de fonctionnement.....	4
I.3. Théorie de l'image.....	5
I.4. Types d'antennes Monopoles.....	6
I.5. Caractéristiques.....	9
I.6. Tableau récapitulatif des caractéristiques principales d'une antenne monopole.....	13
I.7. Avantages et inconvénients.....	13
I.8. Applications.....	14
I.9. Différentes formes étudiées.....	15
I.10. Antennes monopolaires sur plaques métalliques (profil 3D).....	16
Conclusion.....	17

### **Chapitre 02 : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D**

Introduction.....	19
II.1.Outil de simulation.....	19
II.2.Simulation .....	19
II.2.1.Antenne monopole planaire elliptique .....	19
II.2.1.1. Géométrie de l'antenne .....	19
II.2.1.2.Etude paramétrique.....	20
II.2.1.3.Résultats de la Simulation après optimisation.....	21
II.2.2.Antenne monopole planaire rectangulaire .....	26
II.2.2.1.Géométrie de l'antenne.....	26
II.2.2.2.Etude paramétrique.....	26
II.2.2.3.Résultats de la Simulation après optimisation.....	29
II.2.3.Antenne monopole planaire trapézoïdale.....	32
II.2.3.1.Géométrie de l'antenne.....	32
II.2.3.2.Etude paramétrique.....	33
II.2.3.3.Résultats de la Simulation après optimisation.....	35

II.2.4. Antenne monopole planaire circulaire.....	38
II.2.4.1. Géométrie de l'antenne.....	38
II.2.4.2. Etude paramétrique.....	39
II.2.4.3. Résultats de la Simulation après optimisation.....	41
II.3. Tableau comparatif.....	45
Conclusion.....	45

### **Chapitre 03 : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D**

Introduction .....	46
III.1. Simulation et Résultats.....	46
III.1.1. Antenne monopole 3D rectangulaire.....	46
III.1.1.1. Géométrie de l'antenne .....	46
III.1.1.2. Etude paramétrique.....	47
III.1.1.3. Résultats de la Simulation après optimisation.....	49
III.2.2. Antenne monopole 3D circulaire.....	53
III.2.2.1. Géométrie de l'antenne .....	53
III.2.2.2. Etude paramétrique.....	53
III.2.2.3. Résultats de la Simulation après optimisation.....	55
III.3. Tableau Comparatif.....	59
Conclusion.....	60
<b>Conclusion générale</b>	<b>62</b>

**Abstract**

**Bibliographie**

## Liste des Figures :

Figure 1.1 : Antenne Monopole.....	3
Figure 1.2 : Quelques géométries de l'antenne planaire.....	4
Figure 1.3 : (a) Dipôle à alimentation centrale, (b) Monopole vertical au-dessus d'un sol infini.....	4
Figure 1.4 : Théorie de l'image pour une orientation verticale d'un dipôle.....	5
Figure 1.5 : Monopole linéaire.....	6
Figure 1.6 : Monopoles à charge supérieure, (A) L-inversé, (B) à plusieurs éléments, (C) spirale et (D) plaque de condensateur.....	7
Figure 1.7 : Monopole replié.....	7
Figure 1.8 : Monopoles à charge active : (A) Diode, (B) Transistor.....	8
Figure 1.9 : Monopoles à charge passive : inductance.....	8
Figure 1.10 : Antenne à manchon.....	9
Figure 1.11 : Exemples d'antennes unipolaires à large bande et ULB sur une plaque métallique. Monopôle gris foncé, plan de masse gris moyen et substrat diélectrique gris clair.....	16
Figure 2.1 : Modèle d'une antenne monopole planaire elliptique à 2.7071 GHz sous CST Microwave Studio.....	20
Figure 2.2 : Influence de la largeur $W$ de la ligne de transmission sur le coefficient de réflexion.....	20
Figure 2.3 : Influence de longueur « $L_g$ » du plan de masse sur le coefficient de réflexion.....	21
Figure 2.4 : Visualisation du paramètre $S_{11}$ et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.....	21
Figure 2.5 : Visualisation de l'impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.....	22
Figure 2.6 : VSWR en fonction de la fréquence, avec un zoom.....	22
Figure 2.7 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.7071 GHz.....	23
Figure 2.8 : Directivité de l'antenne en 3D.....	23
Figure 2.9 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	23
Figure 2.10 : Variation du gain en fonction de la fréquence.....	24
Figure 2.11 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 5GHz.....	24
Figure 2.12 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 5.7599 GHz.....	24
Figure 2.13: Distribution des champs d'une antenne monopole planaire elliptique. (A) champ $E$ , (B) champ $H$ .....	25
Figure 2.14: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire	

elliptique.....	25
Figure 2.15: Modèle d'une antenne monopole planaire rectangulaire à 2.365 GHz sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.....	26
Figure 2.16: Influence de la largeur $W_f$ de la ligne sur le coefficient de réflexion.....	26
Figure 2.17: Influence du paramètre « $S$ » sur le coefficient de réflexion.....	27
Figure 2.18 : Influence de la longueur « $Lg$ » du plan de masse sur le coefficient de réflexion.....	27
Figure 2.19 : Influence de la longueur « $Lp$ » du patch sur le coefficient de réflexion.....	28
Figure 2.20 : Influence de la largeur « $Wp$ » du patch sur le coefficient de réflexion.....	28
Figure 2.21 : Visualisation du paramètre $S_{11}$ et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.....	29
Figure 2.22 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.....	29
Figure 2.23 : Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	30
Figure 2.24 : Gain de l'antenne en 3D a la fréquence 2.365 GHz.....	30
Figure 2.25 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	30
Figure 2.26 : Représentation du gain en fonction de la fréquence.....	31
Figure 2.27 : Distribution du champ d'une antenne monopole planaire rectangulaire.(A) champ $E$ , (B) champ $H$ .....	31
Figure 2.28 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire rectangulaire.....	32
Figure 2.29:Modèle d'une antenne monopole planaire rectangulaire à 2.4004 GHz sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.....	32
Figure 2.30 : Influence de la largeur $W_f$ du la ligne sur le coefficient de réflexion.....	33
Figure 2.31 : Influence du paramètre « $S$ » sur le coefficient de réflexion .....	33
Figure 2.32 : Influence de la longueur « $Lg$ » d grounds sur le coefficient de réflexion....	34
Figure 2.33:Influence de la largeur « $Wp$ » du patch sur le coefficient de réflexion.....	35
Figure 2.34 : Visualisation du paramètre $S_{11}$ et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.....	35
Figure 2.35 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.....	36
Figure 2.36 : Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	36
Figure 3.37: Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.4004 GHz.....	36
Figure 2.38: Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	37
Figure 2.39 : Représentation du gain en fonction de la fréquence.....	37
Figure 2.40 : Distribution du champ d'une antenne monopole planaire trapézoïdale. (A) champ $E$ , (B) champ $H$ .....	38
Figure 2.41 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire	

trapézoïdale.....	38
Figure 2.42:Modèle d'une antenne monopole planaire circulaire à 2.323GHz sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.....	39
Figure 2.43 : Influence de la largeur $R$ de la ligne sur le coefficient de réflexion.....	39
Figure 2.44 : Influence de la largeur « e » de la ligne sur le coefficient de réflexion.....	40
Figure 2.45 : Influence de la largeur $W$ du la ligne sur le coefficient de réflexion.....	40
Figure 2.46: Influence du paramètre « g » sur le coefficient de réflexion .....	41
Figure 2.47: Visualisation du paramètre $S_{11}$ et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.....	41
Figure 2.48 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.....	41
Figure 2.49: Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	42
Figure 2.50 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.323 GHz .....	42
Figure 2.51 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	43
Figure 2.52 : Représentation du gain en fonction de la fréquence.....	43
Figure 2.53 : Gain de l'antenne circulaire 3D à la fréquence 3.5 GHz.....	43
Figure 2.54 : Gain de l'antenne circulaire 3D à la fréquence 4.1 GHz.....	44
Figure 2.55 : Distribution du champ d'une antenne monopole planaire circulaire (A) champ $E$ , (B) champ $H$ .....	44
Figure 2.56: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire circulaire.....	44
Figure 3.1 : Modèle d'une antenne monopole rectangulaire 3D à 2.6782 GHz sous CST Microwave Studio.....	46
Figure 3.2 : Influence de la largeur $T$ du rectangle sur le coefficient de réflexion.....	47
Figure 3.3: Influence de la longueur $L$ du rectangle sur le coefficient de réflexion.....	47
Figure 3.4 : Influence du gap $g$ sur le coefficient de réflexion.....	48
Figure 3.5 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 3.5 GHz.....	48
Figure 3.6 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 5.5 GHz.....	49
Figure 3.7 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 6 GHz.....	49
Figure 3.8: Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.....	49
Figure 3.9: Impédance caractéristique sur l'abaque de Smith.....	50
Figure 3.10 : VSWR en fonction de la fréquence.....	50
Figure 3.11 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.64 GHz.....	51
Figure 3.12 : Gain réalisé en coordonnées polaires . (A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	51
Figure 3.13 : Variation du gain en fonction de la fréquence.....	52
Figure 3.14 : Distribution des champs d'une antenne monopole rectangulaire. (A) champ $E$ , (B)	



champ $H$ .....	52
Figure 3.15 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole rectangulaire.	53
Figure 3.16: Antenne monopole en 3D alimentée par un port discret sous CST à la fréquence 2.476 GHz.....	53
Figure 3.17: Influence du rayon $R$ sur le coefficient de réflexion.....	54
Figure 3.18: Influence du gap $g$ sur le coefficient de réflexion.....	54
Figure 3.19 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 2.1613 GHz.....	55
Figure 3.20 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 3 GHz.....	55
Figure 3.21 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 4 GHz. ....	55
Figure 3.22 : Courbe de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.....	56
Figure 3.23: Impédance caractéristique sur l'abaque de Smith.....	56
Figure 3.24 : VSWR en fonction de la fréquence.....	56
Figure 3.25 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.476 GHz.....	57
Figure 3.26 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan $E$ , (B) Plan $H$ .....	57
Figure 3.27 : Variation du gain en fonction de la fréquence.....	58
Figure 3.28 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 3 GHz.....	58
Figure 3.29 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 4 GHz.....	58
Figure 3.30 : Distribution des champs d'une antenne monopole planaire elliptique. (A) champ $E$ , (B) champ $H$ .....	59
Figure 3.31: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole circulaire.....	59

## Liste des Tableaux :

Tableau 1.1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques principales d'une antenne monopole .....	13
Tableau 1.2 : Tableau représentant quelques domaines d'utilisation.....	15
Tableau 2.1 : Influence de la largeur $W$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	20
Tableau 2.2 : Influence de la longueur $Lg$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.	21
Tableau 2.3 : Influence du paramètre « S » sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.	27
Tableau 2.4 : Influence de la longueur $Lg$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante...	27
Tableau 2.5 : Influence de la largeur du patch $Lg$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	28
Tableau 2.6 : Influence du paramètre « S » sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.	33
Tableau 2.7: Influence de la longueur $Lg$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante...	34
Tableau 2.8 : Influence de la largeur $Wp$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	35
Tableau 2.9 : Influence du rayon $R$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	39
Tableau 2.10 : Influence de la longueur du plan de masse « e » sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	40
Tableau 2.11 : Influence de la largeur de la ligne « W » sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	40
Tableau 2.12 : Influence de « g » sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	41
Tableau 2.13 : Tableau comparatif de différentes antennes simulées en 2D.....	45
Tableau 3.1 : Influence de la largeur $W$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	47
Tableau 3.2 : Influence de la longueur $L$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	47
Tableau 3.3 : Influence du gap $g$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	48
Tableau 3.4 : Influence du rayon $R$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	54
Tableau 3.5 : Influence du gap $g$ sur la magnitude $S_{11}$ et la Bande Passante.....	54
Tableau 3.6 : Tableau comparatif de différentes antennes simulées en 3D.....	59

## Liste des acronymes

**CST MWS** : Computer Simulation Technology MicroWave Studio

**D**: Directivité de l'antenne.

**DRA**: Dielectric Resonator Antenna.

**G**: Gain de l'antenne.

**I<sub>o</sub>**: Courant maximal.

**ISM** : Industrial Scientific and Medical

**k** : Nombre d'onde.

**LB (WB) / ULB(UWB)** : Large Bande (WideBand) / Ultra Large Bande (Ultra WideBande).

**r** : Distance radiale.

**R.O.S (VSWR)** : Rapport d'Onde Stationnaire (Voltage Standing Wave Ratio).

**WLAN**: Wireless Local Area Network.

**$\eta$**  : Impédance intrinsèque ( $120 \pi = 377 \Omega$  pour l'espace libre).

**$\eta$** : Le rendement.

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

**$\epsilon_r$**  : Constante diélectrique.

**2D** : deux dimensions.

**3D** : Trois dimensions.

# *Introduction générale*

# Introduction Générale

---

En général, les technologies d'antennes *2D* et *3D* développées pour les applications à large bande (LB), multi bande et ULB peuvent être divisées en groupes suivants : antennes micro-rubans, antennes monopolaires sur plaques métalliques, antennes monopoles/dipôles imprimées, antennes à fente large, antennes méta matériaux et antennes à résonateurs diélectriques (DRA). Ces antennes peuvent dans certains cas répondre aux exigences des systèmes de communication existants, tout en pouvant être le point de départ pour développer de nouveaux systèmes de rayonnement adaptés aux futures exigences de communication.

En 1976, Dubost et Zisler ont introduit pour la première fois des antennes monopôles pour une application à large bande. Les antennes unipolaires ont une efficacité de rayonnement élevée, une bande passante d'impédance large, une fabrication facile et une isolation améliorée entre les bandes, un profil bas, un faible coût et une structure simple à concevoir. Celles-ci présentent des caractéristiques très avantageuses, surtout dans le cas où elles doivent opérer dans des fréquences élevées. Les antennes monopoles et/ou repliées présentent un intérêt pratique particulier car elles peuvent être utilisées dans des stations de base, des systèmes d'avionique ou d'automobile, etc. Ces applications, qui ne nécessitent généralement pas de systèmes de communications compacts, exigent plutôt des radiateurs à profil vertical bas lorsqu'ils sont destinés à être installés sur des véhicules mobiles à grande vitesse [1].

Pour répondre aux besoins actuels du domaine des télécommunications, les concepteurs en hyperfréquences sont amenés à élaborer des dispositifs à base d'antennes planaires. Ces dernières, jouent un rôle majeur parmi les autres types d'antennes en raison de leurs grandes flexibilités et leur intégration facile avec d'autres appareils. Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs à travers le monde ont conçu des antennes planes pour atteindre une large bande passante [2].

Les antennes monopôles sont très utilisées, Elles fonctionnent facilement dans les réseaux personnels sans fil (WLAN), pour les radars haute résolution, les systèmes d'imagerie, la communication militaire, la radio cognitive, etc. Beaucoup de travail a été fait pour la large bande passante et la miniaturisation de l'antenne pour les applications commerciales et industrielles [1].

L'objectif de ce mémoire est la conception d'antennes monopoles en deux et trois dimensions large bande, travaillant dans les bandes *L*, *S*, *C* et *X* des hyperfréquences.

# Introduction Générale

---

Dans ce mémoire, nous présentons différentes géométries d'antennes unipolaires large bande, la simulation est effectuée à l'aide du logiciel CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio).

Dans le premier chapitre, on a présenté la théorie des antennes monopoles. Nous avons parlé de leur principe de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients, sans oublier d'évoquer leurs principales caractéristiques à savoir : l'impédance d'entrée, la bande passante, la directivité, le gain, le rendement, le diagramme de rayonnement et la polarisation. Nous avons également rappelé quelques applications relatives à celles-ci et les différentes formes existantes les plus connues.

Dans le deuxième chapitre, grâce au logiciel de simulation CST MWS on a conçu plusieurs structures monopolaires de type  $2D$ . Les formes traitées sont les suivantes : circulaire, elliptique, rectangulaire et trapézoïdale. Pour chacune de ces structures, une étude paramétrique a été menée en variant les différents paramètres définissant l'antenne un à un et en étudiant son effet sur le comportement de celle-ci. Après optimisation, on a représenté les résultats de simulations obtenus décrivant les principales caractéristiques de ces monopoles. Le chapitre est terminé par une comparaison entre les quatre types de monopôles.

Dans le troisième chapitre, la même procédure a été suivie pour concevoir des antennes monopolaires  $3D$ . Faute de temps, les formes étudiées sont : l'antenne circulaire et l'antenne rectangulaire.

*Chapitre I :*  
*Théorie des antennes*  
*monopolaires*

## Introduction

Les antennes monopolaires planes à large bande se sont avérées être d'excellents radiateurs sur une très grande largeur de bande [2].

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord présenter brièvement la description de l'antenne monopole et son principe de fonctionnement. Par la suite, nous aborderons les différents types de monopoles à savoir le linéaire, celui à charge supérieure, le replié, etc. Nous allons nous intéresser aux caractéristiques principales de l'antenne monopole, impliquant les champs électrique et magnétique, la directivité, le coefficient de réflexion  $S_{11}$  et le rapport d'onde stationnaire VSWR. Nous terminerons par citer quelques avantages et inconvénients que celle-ci présente.

### I.1. Description d'une antenne monopole

L'antenne « monopôle » « quart d'onde » est une antenne radio constituée d'un élément de longueur égale au quart de longueur d'onde, perpendiculaire à un plan conducteur à angle droit d'une longueur considérable. Elle se comporte comme un demi-dipôle, le plan conducteur agissant en miroir.

Un monopôle planaire peut être réalisé en remplaçant l'élément filaire d'un monopôle avec un élément plan. Le remplacement de l'élément filaire par un élément plan, avec diverses formes, augmente les surfaces des monopôles, en ayant un impact direct sur la largeur de bande [2]. Sa forme dépend des fréquences, le monopole peut être sous forme circulaire, elliptique, carrée, rectangulaire, hexagonale, pentagonale ou autre.

Si celui-ci est suffisamment grand, le monopôle se comporte comme un dipôle, comme si sa réflexion dans le plan de masse formait la moitié manquante d'un dipôle [3].

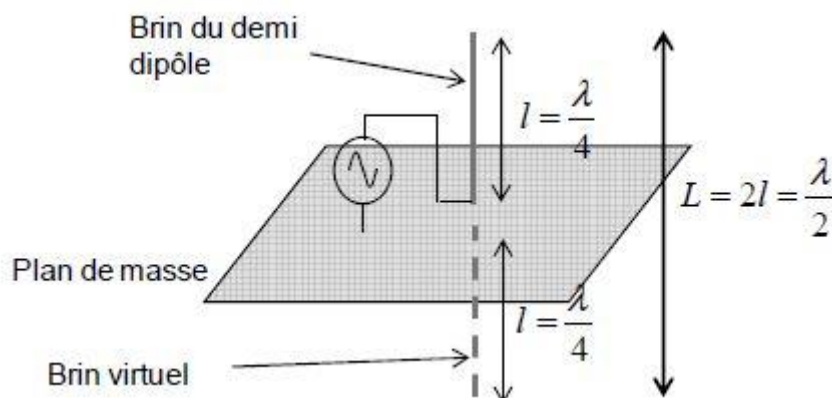


Figure1.1 : Antenne monopole [4].



Les antennes monopoles planaires peuvent être facilement intégrées dans les circuits Radio Fréquence grâce à leur faible encombrement ainsi que dans les dispositifs ULB. La figure suivante montre quelques formes que celles-ci peuvent prendre [5] :

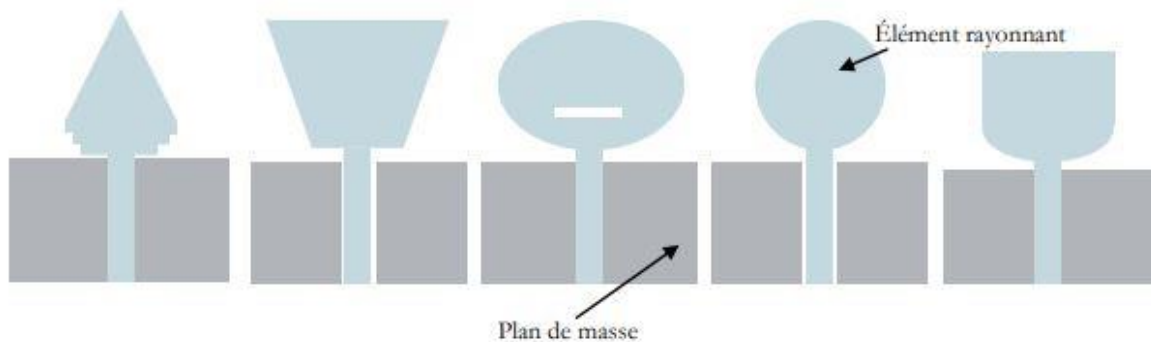


Figure 1.2 : Quelques géométries de l'antenne planaire.

### I.2.Principe de fonctionnement

Un monopôle idéal est composé d'un seul conducteur à fil mince monté perpendiculairement sur un plan de masse infini, comme indiqué dans la Figure 1.3. À la résonance, le courant forme une onde stationnaire sur le conducteur rayonnant des champs électromagnétiques [3].

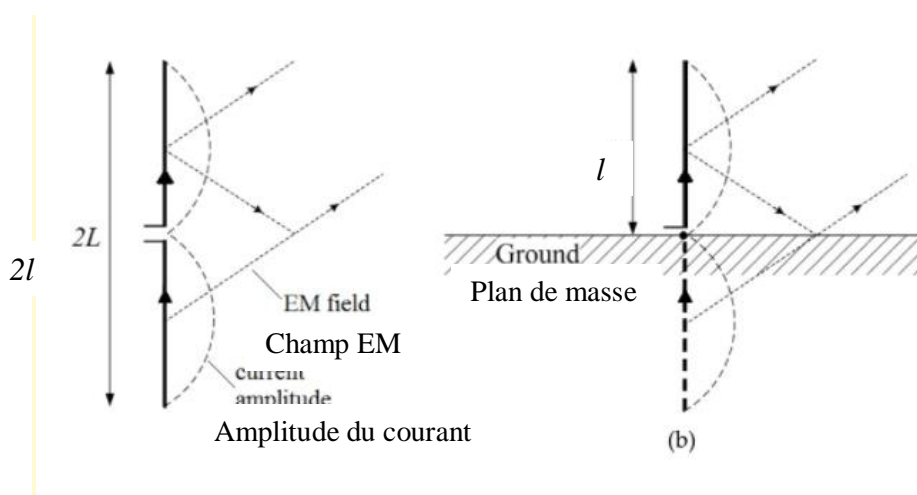


Figure 1.3 : a) Dipôle à alimentation centrale et (b) monopôle vertical au-dessus d'un sol infini.

Ce fil mince offre une bande passante d'impédance très étroite inadaptée aux applications ULB [3]. En outre, la zone de l'alimentation du monopole est relativement fine, ce qui entraîne une certaine fragilité de l'antenne. Pour y remédier, celui-ci peut être mis à plat et

## Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire

---

devient un élément plan, qui sera mis parallèlement au plan de masse pour former un monopôle planaire pouvant prendre différentes formes [6].

Un plan de masse ne peut pas être infini, mais un plan de masse avec un rayon approximativement égal à la longueur de l'élément actif, est une solution efficace et pratique.

### I.3. Théorie de l'image

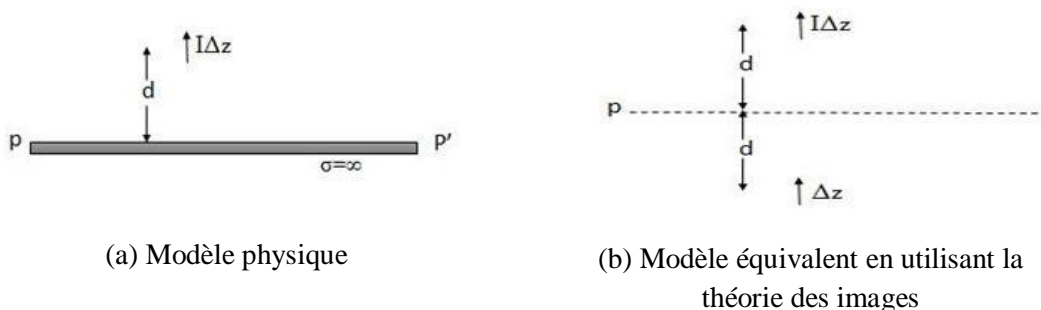
Pour le cas idéalisé d'un plan de masse d'étendue infinie et de conductivité infinie, l'antenne monopôle peut être modélisée par la méthode des images comme un dipôle avec la moitié de l'impédance d'entrée et le double de la directivité maximale du dipôle [7].

Le comportement des antennes sur des plans de masse infinis est intéressant car :

- Les antennes peuvent être conçues pour utiliser le plan de masse.
- La surface de la terre peut être considérée comme un plan de masse infini dans les bonnes conditions.
- Le plan de masse empêche le rayonnement du monopole dans l'hémisphère en dessous.
- Il permet un diagramme de rayonnement identique à celui du dipôle dans l'hémisphère supérieur.

Considérons un dipôle idéal, orienté verticalement au-dessus d'un plan de masse d'étendue infinie et parfaitement conducteur, comme le montre la figure 1.3(a).

Le dipôle virtuel situé sous le plan de masse est connu comme étant l'image du dipôle primaire.



**Figure 1.4 : Théorie de l'image pour une orientation verticale d'un dipôle.**

Le même raisonnement peut être appliqué à un monopôle de n'importe quelle longueur.

## **Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire**

---

Par la théorie de l'image, un monopôle génère exactement les mêmes champs au-dessus du plan de masse qu'un dipôle. Par conséquent, La puissance rayonnée  $U(\theta, \varphi)$  est la même qu'un dipôle pour  $\theta \leq 90^\circ$ .

Les champs sont nuls sous le plan de masse. D'où, la puissance moyenne rayonnée par un monopôle est deux fois moins importante que celle d'un dipôle. Cette notion est confirmée par le fait que la résistance au rayonnement est seulement la moitié de celle d'un dipôle [8].

Ce principe ne sera plus adapté à la compréhension des antennes si l'on réduit la taille du plan de masse car il devient une partie intégrante de l'antenne et peut lui aussi, rayonner [9].

### **I.4. Types d'antennes monopolaires**

Il existe un nombre illimité de monopoles. Cependant, les groupes les plus utilisés sont les suivants [10] :

#### **I.4.1. Monopole linéaire**

Le monopole linéaire est l'antenne la plus simple (structurellement) et la plus utilisée, il est fortement capacitif et son rendement est faible lorsqu'il est adapté en raison des pertes de puissance dans le réseau d'adaptation (généralement de 30 à 70 %) [10].

La figure ci-dessous illustre ce type de monopole :

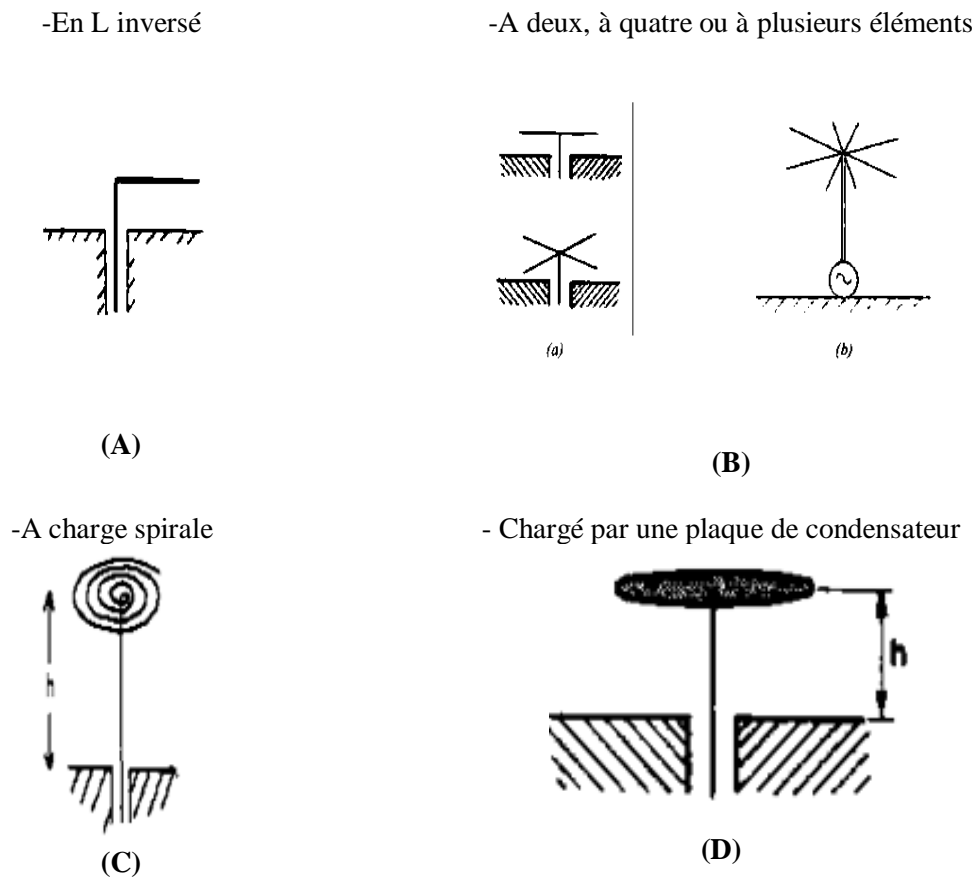


**Figure 1.5 : Monopole linéaire.**

#### **I.4.2. Monopole à charge supérieure**

Dans ce type d'antennes, les structures correspondantes augmentent le courant dans la partie verticale de l'antenne et cela génère une augmentation de la résistance de rayonnement et une réduction de l'impédance d'entrée. La caractéristique de cette conception est la distribution uniforme du courant le long du conducteur de l'antenne.

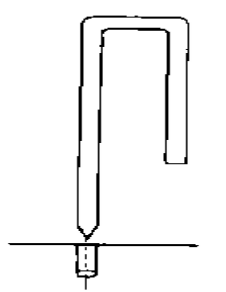
On trouve plusieurs types d'antennes à charge filaire :



**Figure 1.6 : Monopoles à charge supérieure, (A) L-inversé, (B) à plusieurs éléments, (C) spirale et (D) plaque de condensateur.**

### I.4.3. Monopole replié

Ce monopôle est utilisé comme directeur et réflecteur dans les antennes directionnelles. La résistance au rayonnement de ce monopôle est d'environ 10-15 Ohms. La structure la plus courante de cette antenne est le monopôle "Open Folded".



**Figure 1.7 : Monopôle replié.**

### I.4.4. Monopole à charge active/passive

Ces monopoles sont chargés d'éléments actifs (transistor, diode tunnel, etc.) et passifs (inducteur, condensateur, résistance ou combinaisons). La charge est utilisée pour augmenter la résistance au rayonnement, la largeur de bande effective et pour modifier le diagramme de rayonnement du monopole linéaire.

Les performances du monopole changent en fonction de la position de la charge sur le conducteur de l'antenne.

Quelques exemples de ce groupe d'antennes monopolaires sont les antennes :

Chargé à diode "Diode Loaded".

Chargé à transistor "Transistor Loaded".



Figure 1.8 : Monopoles à charge active : (A) Diode, (B) Transistor

Chargé à Inductance "Inductively Loaded".

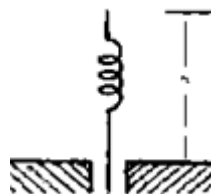


Figure 1.9 : Monopoles à charge passive : inductance.

### I.4.5. Monopoles à manchon

Le monopole "Sleeve" est utilisé pour augmenter la résistance au rayonnement de l'antenne et pour diminuer sa hauteur.

Ce monopôle à manchon présente une meilleure adaptation d'impédance à la ligne de transmission par rapport au monopôle traditionnel car il permet un contrôle abordable de l'adaptation de l'impédance sur une plus grande plage de largeur de bande. La longueur du manchon peut également être ajustée pour obtenir un fonctionnement bi/multi bande au lieu

d'un fonctionnement à large bande [11].

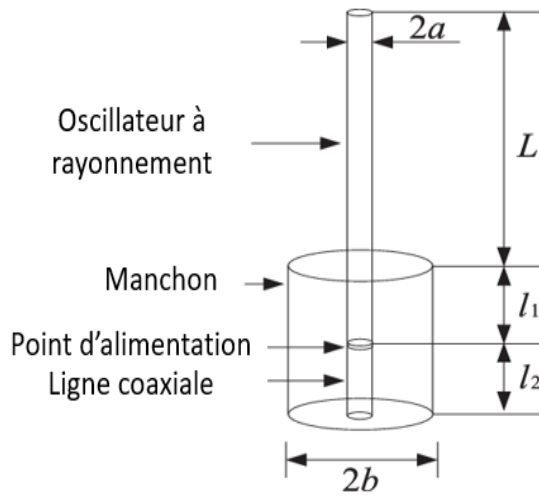


Figure 1.10 : Antenne à manchon [12].

### I.5. Caractéristiques

#### I.5.1. Champs lointains - Champs électrique et magnétique

Les champs lointains  $\underline{E}$  et  $\underline{H}$  pour le monopôle  $\lambda/4$  au-dessus du plan de masse sont pareils que ceux de l'antenne dipôle [13].

$$\underline{E}_\theta = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta} \right] \quad (1.1)$$

$$\underline{H}_\varphi = j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta} \right] \quad (1.2)$$

$$\underline{H}_\varphi = \frac{E_\theta}{\eta} \quad (1.3)$$

Où :

$\eta$  : impédance intrinsèque ( $120 \pi = 377 \Omega$  pour l'espace libre).

$I_0$  : courant maximal.

$k$  : nombre d'ondes.

$r$  : distance radiale.

#### I.5.2. Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est l'impédance présentée par une antenne à ses bornes, ou le rapport complexe observé entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne en émission.

## Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire

---

Puisque  $Z_A = V/I$ , l'impédance de l'antenne monopôle est réduite de moitié. L'impédance de l'antenne monopôle est donnée par [13] :

$$Z_{in} (\text{monopole}) = Z_{in} (\text{dipôle})/2 = (73 + j42.5) / 2 = 36.5 + j21.25 \quad (1.4)$$

La réactance :  $R_{in} = 36.5 \Omega$ .

L'inductance :  $X_{in} = 21 \Omega$ .

Cela peut être compris puisque seule la moitié de la tension est nécessaire pour conduire une antenne monopôle au même courant qu'un dipôle.

Ou simplement  $Z_{\text{monopole}} \approx 35 \Omega$  à la résonance.

### I.5.3. Diagramme de rayonnement

Ce paramètre représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace, on s'intéresse à celles où la puissance rayonnée est maximale.

Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites dans lesquels l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer [6].

Le diagramme de rayonnement des antennes monopôles au-dessus d'un plan de masse est connu à partir du résultat du dipôle. Un monopôle a un diagramme de rayonnement omnidirectionnel dans le plan d'azimut. Il rayonne avec une puissance égale dans toutes les directions azimutales perpendiculaires à l'antenne [14].

En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans : horizontal ( $\theta = 90^\circ$ ) et vertical ( $\varphi = \text{constante}$ ), ou bien dans les plans  $E$  et  $H$ .

Il est à noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique.

Quelle que soit la fréquence de fonctionnement et la structure physique, le rayonnement est caractérisé par des propriétés communes.

### I.5.4. Directivité, gain et rendement d'une antenne monopole

Ces trois grandeurs permettent de caractériser la façon dont la puissance électrique incidente est convertie en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction particulière. Le gain et la directivité permettent de comparer les performances d'une antenne

par rapport à l'antenne isotrope de référence, et le rendement nous informe sur l'efficacité de l'antenne [6].

### **I.5.4.1. La directivité**

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

La directivité d'une antenne monopôle est étroitement liée à celle d'une antenne dipôle. Si la directivité d'un dipôle de longueur  $2l$ , a une directivité de  $D_1$  [dB], alors la directivité d'une antenne monopôle de longueur  $l$  aura une directivité de  $D_1+3$  [dB]. Autrement dit, la directivité (en unités linéaires) d'une antenne monopôle vaut le double de la directivité d'une antenne dipôle. La raison en est tout simplement l'absence du rayonnement sous le plan de masse. En effet, la puissance n'est rayonnée que vers le demi-espace supérieur alors que la puissance vers le demi-espace inférieur est réfléchiée vers l'espace supérieur ; par conséquent, l'antenne est effectivement deux fois plus « directive » [14].

$$D(\text{monopole}) = 2 * D(\text{dipôle}) = 2.1.643 = 3.286 \text{ dB [13]}$$

L'augmentation de la directivité n'est pas causée par une augmentation de l'intensité du rayonnement/champ, mais plutôt par une diminution de la densité de puissance rayonnée [8].

### **I.5.4.2. Le gain**

Le gain est une autre mesure utile décrivant la performance d'une antenne. Bien qu'il soit étroitement lié à la directivité, c'est une mesure qui tient en compte l'efficacité de l'antenne aussi bien que ses capacités directionnelles.

Le gain d'un monopôle monté sur un plan de masse infini est exactement le double de celui d'un dipôle linéaire alimenté par le centre correspondant en espace ouvert dont la longueur est deux fois la longueur du monopôle. Ainsi, le monopôle quart de longueur d'onde a un gain de 3,286 dB. Son gain est légèrement inférieur à celui du monopôle idéal, mais il est toujours meilleur que celui du dipôle puisque la majeure partie de l'énergie est rayonnée dans le demi-espace dans lequel réside le monopôle [14].

### **I.5.4.3. Le rendement**

Le rendement de l'antenne définit le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit, ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne [15].



$$\eta = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)} \quad (1.5)$$

Où  $D$  : directivité de l'antenne.

$G$  : gain de l'antenne.

$\eta$  = le rendement.

### 1.5.5. Coefficient de Réflexion ( $S_{11}$ )

Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  est un paramètre très important car il permet de connaître la qualité d'adaptation de l'antenne et son optimisation. Ce paramètre met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne.

Plus son module tend vers moins l'infini ( $-\infty$ ), plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance est celle où le coefficient est minimal. Il correspond au rapport des amplitudes des ondes réfléchies sur les ondes incidentes [15].

### 1.5.6. Polarisation de l'antenne

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique, et donc à celle des brins rayonnants de l'antenne. Le plan  $E$  (électrique) est parallèle au vecteur  $E$  de l'onde émise. Par conséquent, on réfère à ce phénomène simplement la polarisation du champ électrique.

Le monopôle quart d'onde idéal a une polarisation linéaire avec le vecteur du champ électrique dans l'axe du fil. Si le plan de masse devient asymétrique, la direction de polarisation sera inclinée vers la plus grande partie du plan de masse, mais reste toujours linéaire [15].

### 1.5.7. Rapport d'ondes stationnaire de tension

Le paramètre VSWR est une grandeur qui décrit numériquement dans quelle mesure l'impédance de l'antenne est adaptée à la ligne de transmission à laquelle elle est connectée.

VSWR signifie Voltage Standing Wave Ratio, et est également appelé rapport d'ondes stationnaires (R.O.S). Ce dernier est fonction du coefficient de réflexion, qui décrit la fraction de la puissance réfléchiée par l'antenne, il est donné par : [16]

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1.6)$$

Où :

## Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire









$\Gamma$  : coefficient de réflexion.

Lorsqu'une antenne n'est pas adaptée au récepteur, la puissance est réfléchi (de sorte que le coefficient de réflexion n'est pas nul). Cela provoque une "onde de tension réfléchi", qui crée des ondes stationnaires le long de la ligne de transmission.

Si le  $R.O.S = 1$ , il n'y aurait pas de puissance réfléchi et la tension aurait une amplitude constante le long de la ligne de transmission [16].

### I.6. Tableau récapitulatif des caractéristiques principales d'une antenne monopole

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques les plus importantes de l'antenne monopole

Monopole length $l$	$\lambda/20$	$\lambda/4$	$\lambda/2$	$3/4$
Current distribution				
Radiation pattern				
Directivity	3.0 or 4.76 dBi	3.28 or 5.15 dBi	4.8 or 6.8 dBi	About 4.6
HPBW	45°	39°	23.5°	NA
Input impedance	$R$ : very small ( $\sim 1\Omega$ ) $jX$ : capacitive	$R$ : $\sim 37\Omega$ $jX$ : $\sim 0\Omega$	$R$ : very large $jX$ : $\sim 0\Omega$ for thin dipole	$R$ : $\sim 50\Omega$ $jX$ : $\sim 0\Omega$ for thin dipole
Note	$jX$ sensitive to the radius	$R+jX$ not sensitive to the radius	$R+jX$ sensitive to the radius	$R+jX$ sensitive to the radius

**Tableau1.1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques principales d'une antenne monopole [17].**

### I.7. Avantages et inconvénients

Les monopoles présentent plusieurs avantages et inconvénients par rapport aux antennes filaires générales. Les avantages et inconvénients fondamentaux de l'utilisation d'antennes monopolaires par rapport aux antennes filaires sont présentés ci-dessous.

# Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire

## I.7.1. Avantages

- Faible coût et facilité de fabrication ;
- Taille compacte, réponse en phase linéaire et efficacité de rayonnement acceptable ;
- Capable d'opérations multi-bandes et obtention de diagrammes de rayonnement omnidirectionnels dans le plan d'azimut pour toutes les bandes de fonctionnement ;
- Diagrammes de rayonnement monopolaires stables avec une perte de retour supérieure à 10 dB sur une plage de fréquences extrêmement large [2] ;
- Grande bande passante (en utilisant des valeurs optimales de charges) [10].

## I.7.2. Inconvénients

- Bande passante opérationnelle étroite (monopoles filaires);
- Pertes significatives en gain de puissance, à haute fréquence.

Ces inconvénients peuvent être minimisés en chargeant le monopôle avec des circuits résonants (tels que des condensateurs, des inductances, des diodes, etc.) [10].

## I.8. Applications

Les antennes monopolaires sont utilisées dans plusieurs applications militaires et civiles. Des exemples représentatifs sont énumérés dans le tableau suivant :

Plateforme	Système	Raison d'utilisation	Fréquences d'utilisation
Aviation	Communications, navigation, Contrôle du trafic aérien Identification	Faible traînée, faible charge latérale, Minimisation des dommages à l'antenne.	2,9 à 10,5 GHz, le GPS (1,57-1,58 GHz)
Véhicules	Communications, navigation	Petite taille électrique, faible hauteur, bonne couverture omnidirectionnelle, faible traînée, faible poids, faible charge de vent et de glace, minimisation des dommages dus aux vandales et de l'environnement, facilité de remplacement, robustesse	Communication pour les véhicules (5,9 GHz), le GPS (1,57-1,58 GHz)
Militaire	Contrôle des missiles, véhicules de communication et navigation	Bonne efficacité, bonne couverture omnidirectionnelle, Couverture large bande, Robuste, Facilité de remplacement et dissimulation	5 à 14 GHz, Bande radar (8-12GHz), le GPS (1,57-1,58 GHz)
Terminaux	Téléphonie mobile, radio récepteurs et navigation	Taille compacte, faible coût de fabrication, simple à fabriquer, Couverture à large bande	Le GSM1800 (1,71-1,88 GHz)

## Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire

Marine	Communication, Navigation	Propagation ELF (sous-marine), Petite taille, couverture large bande (Monopoles chargés), Couverture omnidirectionnelle, faible chargement dans l'eau (sous-marin)	53.8–71.2 MHz, la surveillance maritime, l'océanographie ou la détection de cibles (3-30 MHz)
Médical	Détection du cancer du sein et l'imagerie médicale.	Une structure simple avec un profil bas et est placée sur des tissus humains tels que le muscle, la graisse et la peau.	Bande ISM [2,4 – 2,48] GHz, 4,5-10,9 GHz
Réseaux de télécommunications	Réseaux sans fil	Supporte plusieurs normes simultanément	WLAN (2,4/5-6 GHz), WiMax(2,5/3,5/5,5 GHz) et les applications sans fil à grande vitesse point à point (5,925-8,5 GHz), Bande LTE MIMO[0,7, 1,7, 2,1, 2,3 et 2,5GHz]

**Tableau1.2 : Tableau représentant quelques domaines d'utilisation [10,1].**

### I.9. Différentes formes étudiées

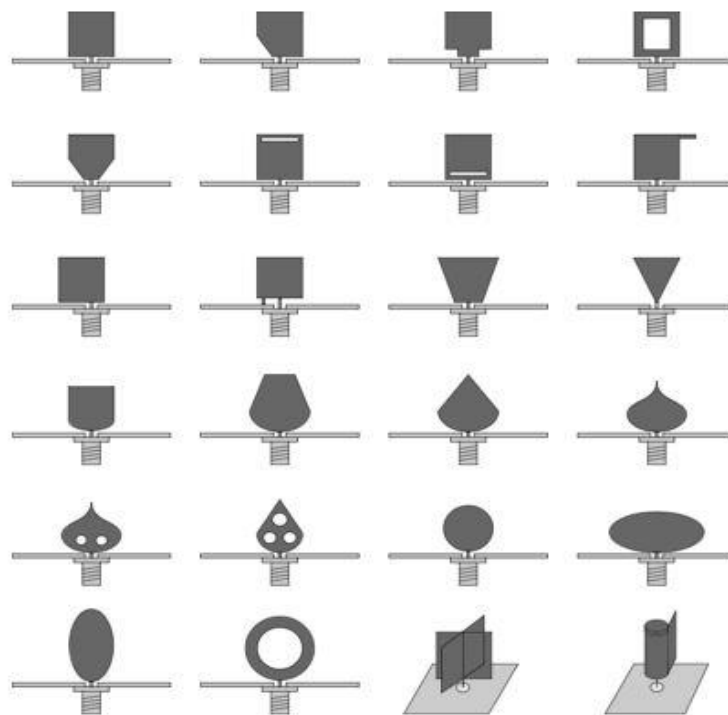
Afin d'optimiser divers paramètres, les chercheurs ont étudié un certain nombre de formes différentes jusqu'à présent. De chaque forme étudiée, un certain nombre de déductions ont été tirées et ces résultats ont été utilisés pour affiner la conception de ces antennes. Les formes étudiées jusqu'à présent sont les suivantes:

- Monopoles rectangulaires planaires avec des surfaces égales.
- Antennes monopôles planes rectangulaires, carrées, triangulaires, hexagonales circulaires et elliptiques.
- Antennes monopolaires carrées orthogonales à large bande avec base semi-circulaire.
- Monopole plan court-circuité avec biseau.
- Antennes unipolaires planes en forme de nœud papillon.
- Antenne unipolaire circulaire en treillis métallique.
- Antenne monopolaire annulaire.
- Antenne monopole planaire rectangulaire compacte à large bande.

Afin d'optimiser davantage les diagrammes de rayonnement et d'obtenir des bandes passantes plus larges, un certain nombre de formes modifiées des antennes mentionnées ci-dessus ont été développées [2].

### I.10. Antennes monopolaire sur plaques métalliques (profil 3D)

Différents types d'antennes monopôles planes ont été développés au cours des vingt dernières années, en raison de leurs nombreux avantages pratiques, même si leur taille verticale peut empêcher leur intégration dans les combinés. En particulier, la plaque métallique peut être utilisée pour augmenter le gain d'antenne et le rapport avant-arrière, permettant ainsi d'obtenir une isolation électrique élevée avec les circuits RF du système de communication et de préserver les caractéristiques de l'antenne quelles que soient les caractéristiques du site d'installation. Une large classe de ces antennes ayant les caractéristiques susmentionnées a été illustrée dans la figure ci-dessous [1].



**Figure 1.11 : Exemples d'antennes unipolaires LB et ULB sur une plaque métallique. Monopôle gris foncé, plan de masse gris moyen et substrat diélectrique gris clair [1].**

Les appareils portables modernes, qui fonctionnent avec des débits de données élevés, utilisent des antennes à large bande caractérisées par de petites tailles et des profils bas. En fait, alors que les antennes monopolaires, qui ont une forme tridimensionnelle, sont plus appropriées pour être utilisées dans les stations de base radio et les systèmes radio mobiles

## ***Chapitre I : Théorie des antennes monopolaire***

---

(voitures, trains, avions, bateaux, etc.), les antennes unipolaires imprimées non seulement réduisent l'encombrement vertical de l'appareil portable, mais permettent également une intégration facile avec le circuit RF. La nécessité de satisfaire ces exigences importantes a donné lieu à une forte activité de recherche qui a conduit au développement d'une grande classe d'antennes [1].

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressées d'abord aux notions fondamentales qui régissent le fonctionnement de l'antenne monopole. D'après la théorie de l'image, celle-ci se comporte comme un dipôle avec un plan de masse suffisamment grand permettant une facilité d'intégration. Une revue des caractéristiques principales de l'antenne est abordée, à savoir le gain et la directivité qui permettent de comparer les performances d'une antenne par rapport à l'antenne isotrope de référence, ainsi que le rendement qui nous informe sur son efficacité. De plus, le rapport d'onde stationnaire VSWR qui décrit dans quelle mesure l'impédance de l'antenne est adaptée à la ligne de transmission.

Ensuite, les différents types de monopoles les plus utilisés selon leur géométrie ont été mentionnés.

Il est intéressant de connaître leurs avantages tels que le faible coût et la facilité de fabrication, la taille compacte, ainsi que leurs inconvénients comme les pertes significatives en gain de puissance à haute fréquence.

Dans le chapitre suivant, nous allons concevoir quelques monopoles large bande bidimensionnels (2D).

***Chapitre II :***  
***Conception d'antennes***  
***monopolaires planaires 2D***

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### Introduction :

Ce chapitre met en évidence les principales caractéristiques des antennes monopolaires en deux dimensions étudiées, ayant les formes suivantes : rectangulaire, trapézoïdale, circulaire et elliptique. On a présenté tout cela en faisant dans un premier temps une étude paramétriques qui nous a permis de voir l'influence de chaque paramètre sur l'adaptation de l'antenne et son efficacité. Par la suite on a pu adapter ces différents monopoles planaires à une fréquence de résonance aux alentours de 2.4GHz et représenter les caractéristiques principales décrivant leur fonctionnement. Les différentes conceptions sont effectuées à l'aide du logiciel CST Microwave studio. Ensuite, nous avons effectué une comparaison entre ces différentes formes conçues et présentées pour donner un fonctionnement ultra large bande.

### II.1. Outil de simulation

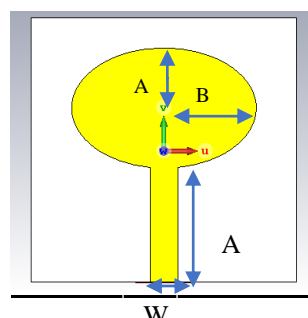
CST MWS : Computer Simulation Technology MicroWave Studio est un logiciel de simulation qui développe et commercialise une suite de solutions de modélisation électromagnétique de haute performance. Celle-ci permet de caractériser, concevoir et optimiser le comportement électromagnétique d'un équipement avant d'être en phase mesure en laboratoire ou fabrication. Ceci permet de réaliser des économies conséquentes sur le coût et le temps de développement, de réduire les risques et ainsi d'augmenter les performances et les profits [18].

### II.2. Simulations et résultats

#### II.2.1 Antenne monopole planaire elliptique

##### II.2.1.1. Géométrie de l'antenne

Une Antenne monopole planaire elliptique est représentée ci-dessous, alimentée par une ligne micro-ruban de dimension  $W * A = 4.8 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ , elle se compose d'un conducteur rectangulaire d'épaisseur  $Hm=0.017$ , de deux rayons  $A * B = 16 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ , l'épaisseur du substrat est  $h = 1.6 \text{ mm}$ . Le matériau utilisé est FR4, de constante diélectrique  $\epsilon_r = 4.4$ , les dimensions de ce substrat sont  $X_{sub} * Y_{sub} = 22\text{mm} \times 40\text{mm}$ .





## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

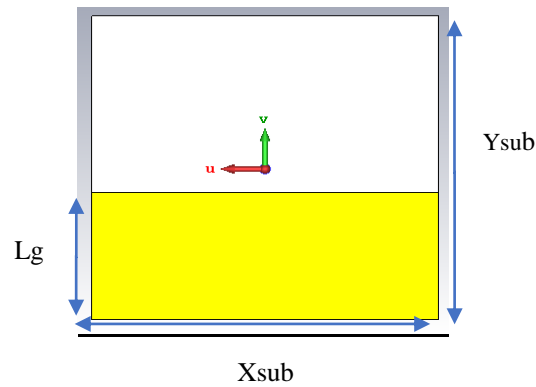


Figure 2.1 : Modèle d'une antenne monopole planaire elliptique sous CST Microwave Studio.

### II.2.1.2. Etude paramétrique

Les paramètres définissant la géométrie de l'antenne monopole elliptique sont variés, afin de constater leur influence sur les performances de la structure, notamment en termes d'adaptation sur une large bande de fréquence.

#### II.2.1.2.1. Variation de $W$

Une étude paramétrique a été menée afin de connaître l'influence de la largeur de la ligne sur l'adaptation de l'antenne. Nous avons varié la largeur «  $W$  » de 3 à 5 mm. Sur la figure 2.2, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur «  $W$  ».

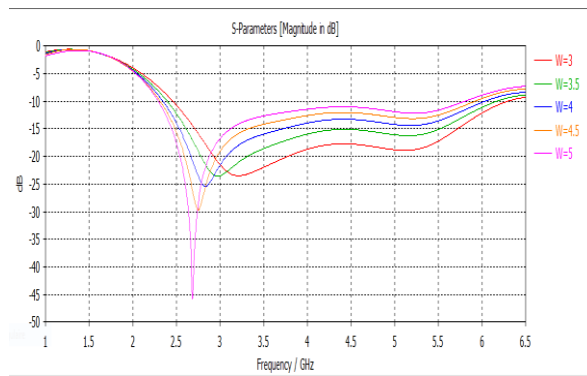


Figure 2.2 : Influence de la largeur «  $W$  » de la ligne de transmission sur le coefficient de réflexion.

$W$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
3	-23.615	3.8474
3.5	-23.769	3.7759
4	-25.567	3.7034
4.5	-29.837	3.6259
5	-46.13	3.499

Tableau 2.1 : Influence de la largeur «  $W$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

D'après les graphes de la figure 2.2, on remarque que lorsqu'on augmente la valeur de «  $W$  » la valeur de la fréquence diminue et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente. On remarque que l'inverse se produit en diminuant la valeur de «  $W$  ».

# Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

## II.2.1.2.2. Variation de $L_g$

Dans cette section, on étudie l'effet de la longueur du plan de masse sur l'adaptation de l'antenne monopole elliptique. Sur la figure 2.3, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur «  $L_g$  ».

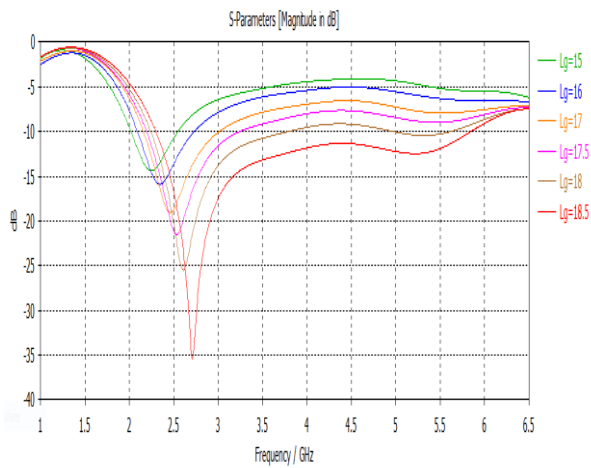


Figure 2.3 : Influence de longueur «  $L_g$  » du plan de masse sur le coefficient de réflexion.

$L_g$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
15	-14.435	0.5307
16	-16	0.63902
17	-19.112	0.86166
17.5	-21.651	1.0448
18	-25.65	1.5864
18.5	-35.654	3.5581

Tableau 2.2 : Influence de la longueur «  $L_g$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

On remarque d'après les différents graphes représentés à la figure 2.3, que la diminution de la valeur de «  $L_g$  » entraîne une diminution de la valeur de la fréquence, de la bande passante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$ .

## II.2.1.3. Résultats de la simulation après optimisation

Après plusieurs simulations, on a obtenu les résultats suivants :

### II.2.1.3.1 Coefficient de réflexion $S_{11}$

Après plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'optimiser son fonctionnement, une valeur minimale du  $S_{11}$  a été obtenue à une fréquence de résonance égale à 2.7071GHz.

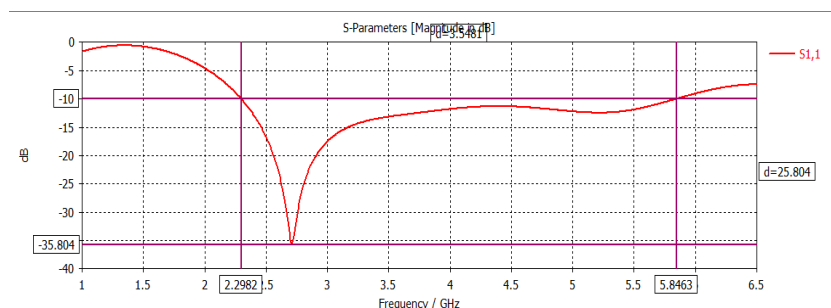


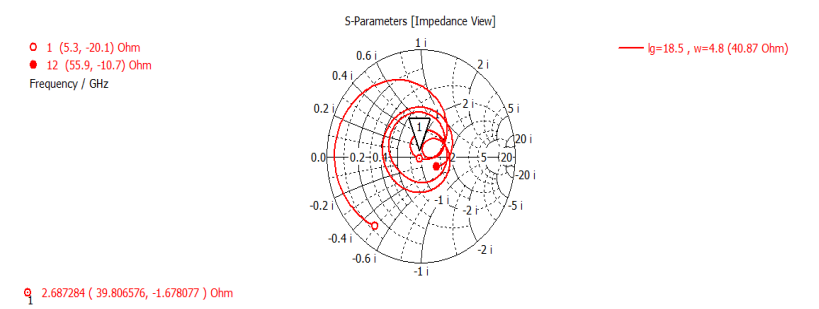
Figure 2.4 : Visualisation du paramètre  $S_{11}$  et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

La conception de cette antenne sous CST Microwave Studio présente une parfaite adaptation avec une très large bande passante allant de 2.294 GHz à 5.9116 GHz, et une bande-passante de 134%. De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée sur l'abaque de Smith qui sont présentées sur la figure 2.5 .

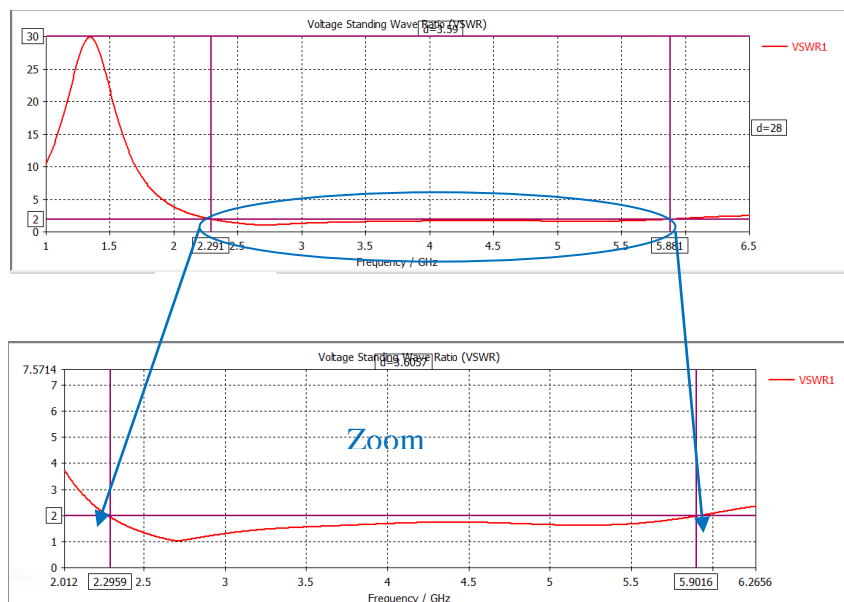
On rappelle que la bande passante exprimée en % est donnée par :

$$BP\% = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \cdot 100 = \frac{3,6176}{2,7071} \cdot 100 = 134\%$$



**Figure 2.5 : Visualisation de l'impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.**

Le rapport d'onde stationnaire VSWR est illustré sur la figure 2.6. avec un zoom sur la fréquence d'intérêt.



**Figure 2.6 : VSWR en fonction de la fréquence, avec un zoom.**

Théoriquement,  $TOS = VSWR = \frac{1+\rho}{1-\rho}$ , les pertes (Return Loss) de retour sont égales à  $RL=20 \log_{10}(\rho)$ .

# Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

## II.2.1.3.2. Diagramme de rayonnement en 3D et 2D

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence centrale qu'est notre fréquence de résonance, est tracé à la figure (2.7) et (2.8). On peut observer nettement qu'il est omnidirectionnel dans le plan  $xy$ . Le gain simulé de l'antenne est de 2.39 dBi et la directivité est de 2.79 dBi, d'où une bonne efficacité de 85.66%.

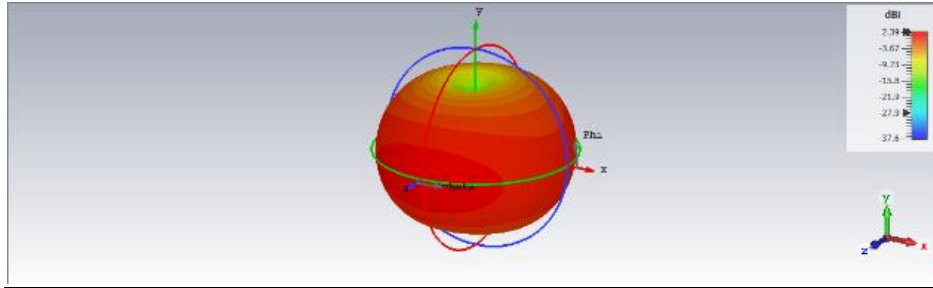


Figure 2.7 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.7071 GHz.

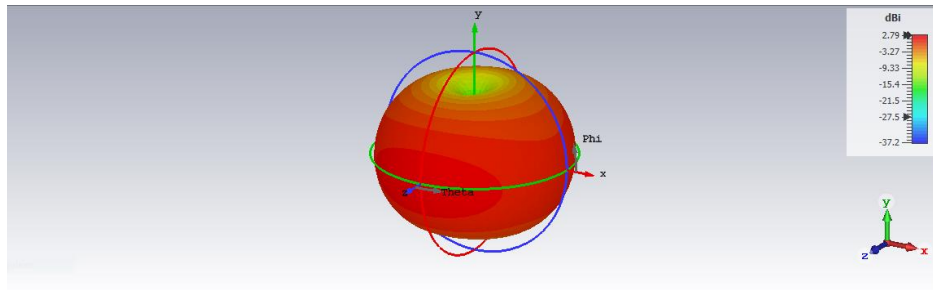


Figure 2.8 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 2.7071 GHz.

Le gain est notamment représenté en coordonnées polaires (diagramme 2D) par la figure 2.9 dans les deux plans  $E$  et  $H$ .

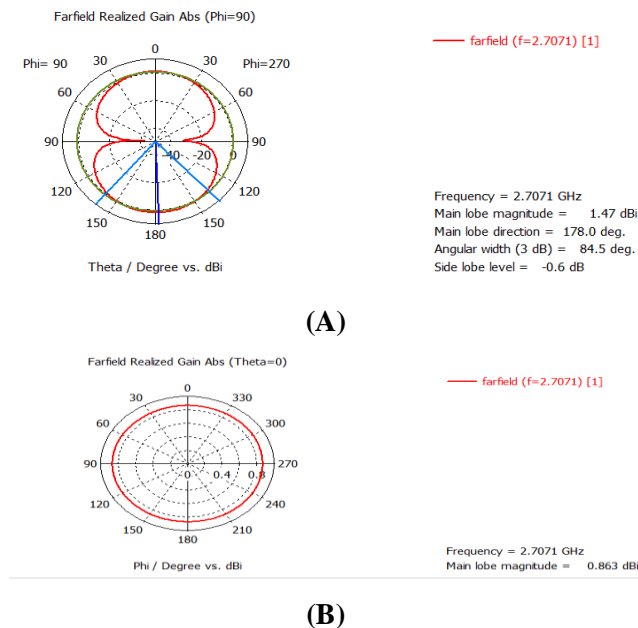


Figure 2.9 :Gain réalisé en coordonnées polaires .(A)Plan  $E$  ,(B)Plan  $H$ .

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

D'après la figure (2.9.A), on remarque une symétrie par rapport à l'axe de révolution  $y$  avec un angle d'ouverture de  $84,5^\circ$  dans le plan  $E$ . Sur le plan  $xz$  (plan  $H$ ), le rayonnement est omnidirectionnel comme le montre la figure (2.9.B).

L'antenne étant large-bande, une représentation du gain en fonction de la fréquence s'avère nécessaire (figure 2.10)

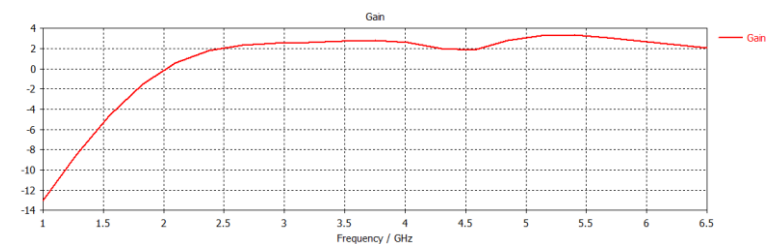


Figure 2.10 : Variation du gain en fonction de la fréquence.

Voici quelques figures qui nous montrent le changement du gain tout au long de la bande passante.

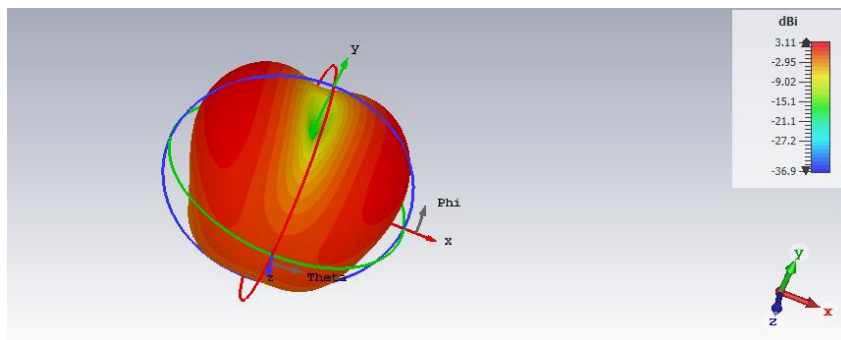


Figure 2.11 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 5 GHz.

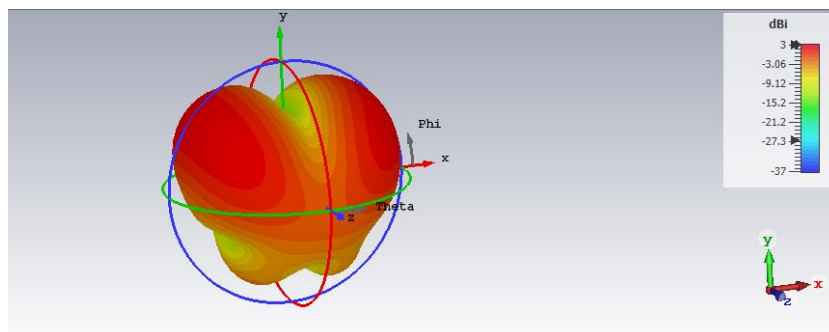
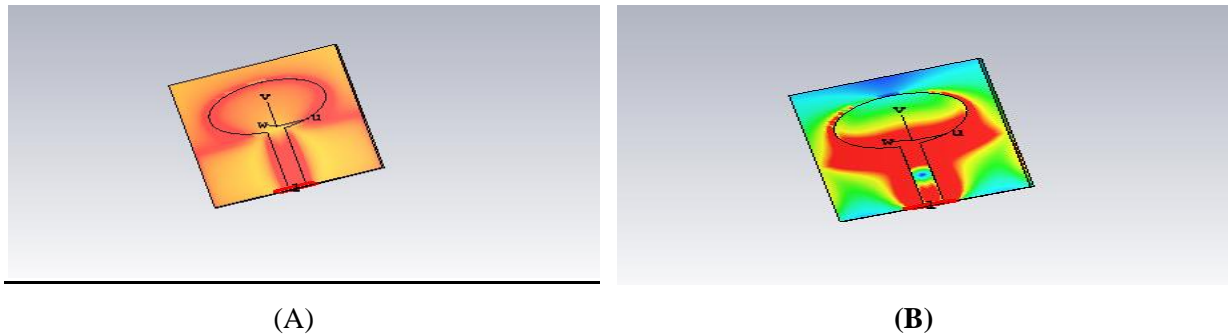


Figure 2.12 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 5.7599 GHz.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

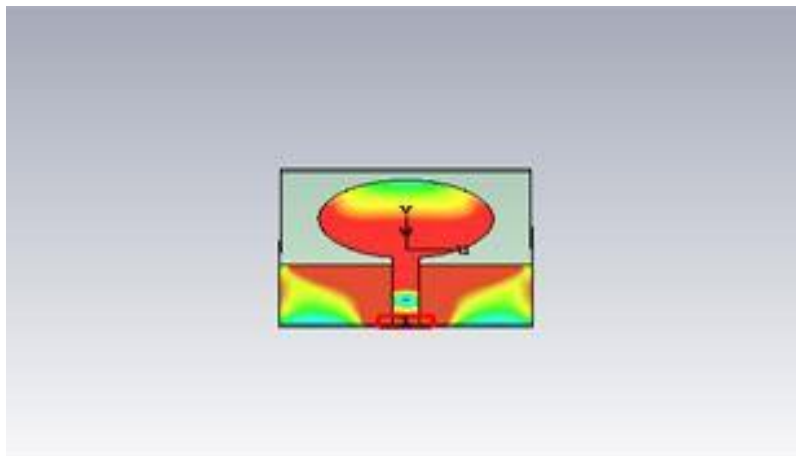
### II.2.1.3.3. Représentation des champs $E$ et $H$



**Figure 2.13: Distribution des champs d'une antenne monopole planaire elliptique. (A) champ  $E$ , (B) champ  $H$ .**

Les vecteurs de champ électrique verticaux des deux plans métalliques (figure 2.13 (A)) sont dans des directions opposées, le maximum du champ est concentré sur les bordures (1000V/m). Une polarisation linéaire horizontale est bien distinguée. En outre, la figure (2.13. (B)) montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopole elliptique à 2.7071 GHz, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

### II.2.1.3.4. Courant de surface



**Figure 2.14: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire elliptique**

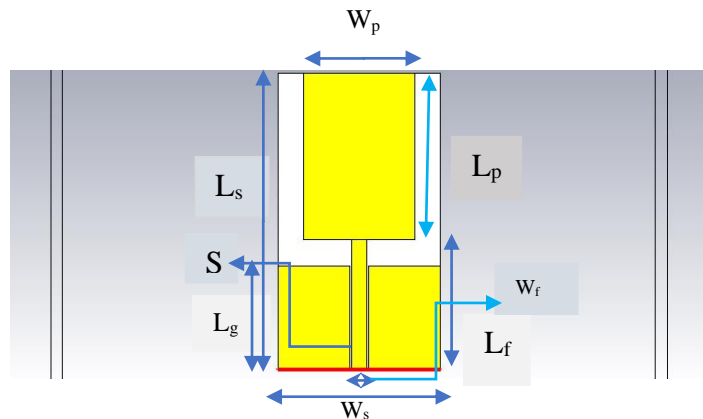
L'orientation de la distribution de courant se fait selon l'axe Y sur la surface de l'ellipse et la ligne d'alimentation. L'intensité du courant dans les deux parties du plan de masse est similaire mais de polarité opposée. L'intensité à la surface diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation. Pour l'ellipse l'intensité maximale est concentrée sur les contours vers la direction X.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### II.2.2. Antenne monopole planaire rectangulaire

#### II.2.2.1. Géométrie de l'antenne

Une Antenne monopole planaire rectangulaire est représentée ci-dessous, alimentée par une ligne coplanaire de dimension  $W_f * L_f = 2 \text{ mm} \times 17.5 \text{ mm}$ , elle se compose d'un conducteur rectangulaire d'épaisseur  $t = 0.035$ , de largeur et longueur  $W_p * L_p = 15 \text{ mm} \times 22.5 \text{ mm}$ , l'épaisseur du substrat est  $h = 1.6 \text{ mm}$ , le matériau utilisé est le FR4 ayant une constante diélectrique  $\epsilon_r = 4.4$ , les dimensions de ce substrat sont  $W_s * L_s = 22 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  et le gap  $S = 0.27$ .

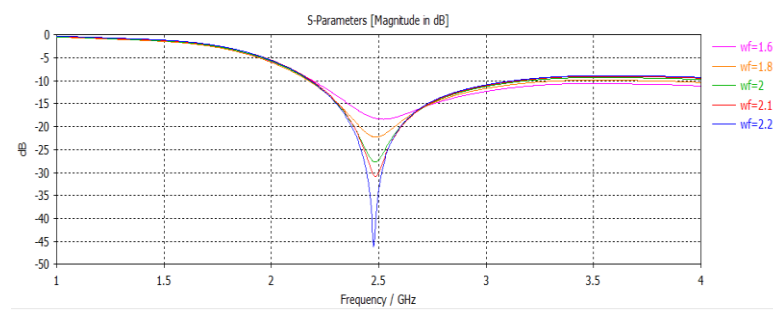


**Figure 2.15: Modèle d'une antenne monopole planaire rectangulaire à 2.365 GHz sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.**

#### II.2.2.2. Etude paramétrique

##### II.2.2.2.1. Variation de $W_f$

Nous avons modifié la largeur  $W_f$  de la ligne de 1.6 à 2.2 mm. Sur la figure 2.16, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur «  $W_f$  ».



**Figure 2.16: Influence de la largeur «  $W_f$  » de la ligne sur le coefficient de réflexion.**

D'après les graphes de la figure 2.16, nous avons observé que lorsqu'on diminuait la valeur de «  $W_f$  » le pic s'aplatit d'une façon remarquable et la bande passante s'élargit. Par contre, en augmentant sa valeur le pic s'approfondit et la bande passante devient plus étroite. Il n'y a aucun changement remarquable concernant la fréquence de travail de l'antenne.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### II.2.2.2.2. Variation de $S$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence du paramètre «  $S$  » sur l'adaptation de l'antenne. La figure 2.17 représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $S$  ».

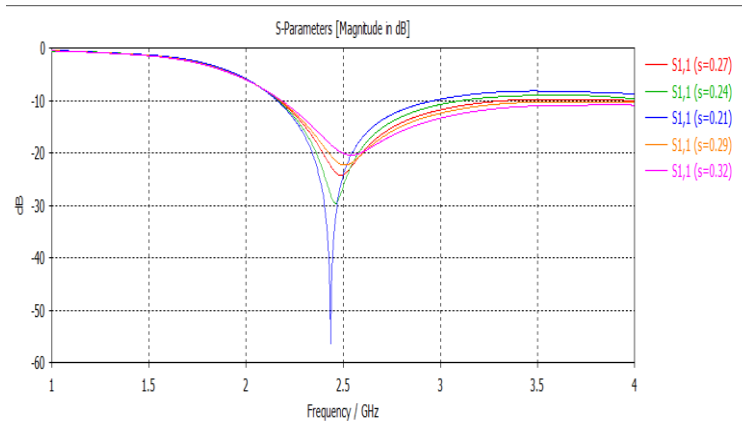


Figure 2.17: Influence de paramètre «  $S$  » sur le coefficient de réflexion.

$S$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
0.21	-56.345	0.79841
0.24	-29.525	0.94875
0.27	-24.308	1.1708
0.29	-22.267	1.5774
0.32	-20.434	>1,6

Tableau 2.3 : Influence du paramètre «  $S$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

La variation du paramètre  $S$  de 0.21 à 0.32 mm augmente à la fois la valeur du coefficient de réflexion et la bande passante de l'antenne.

### II.2.2.2.3. Variation de $Lg$

On représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur «  $Lg$  » afin de constater son effet sur l'adaptation de l'antenne.

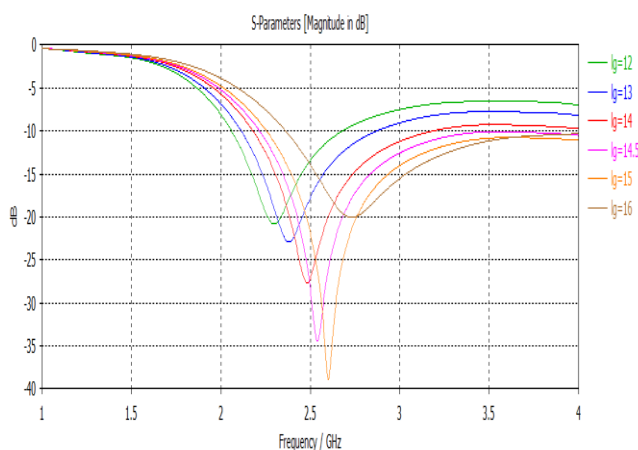


Figure 2.18 : Influence de longueur «  $Lg$  » du plan de masse sur le coefficient de réflexion.

$Lg$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
12	-19.328	0.63903
13	-20.871	0.80588
14	-24.306	1.1527
14.5	-28.366	>1.7
15	-46.755	>1.7
16	-20.723	1.6238

Tableau 2.4 : Influence de la longueur «  $Lg$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

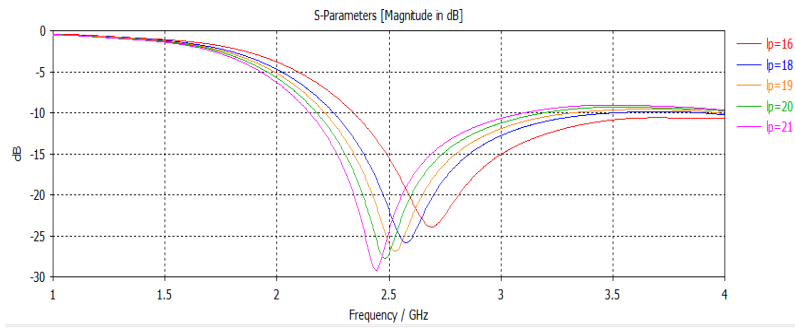


## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

On remarque d'après la figure 2.18, qu'en diminuant la valeur de «  $L_g$  », la fréquence et la magnitude du paramètre  $S_{11}$  diminuent, la bande passante s'élargit à peine. En augmentant la valeur de «  $L_g$  » le contraire se produit et la bande passante devient étroite.

### II.2.2.2.4. Variation de $L_p$

Nous avons modifié la longueur «  $L_p$  » du patch rectangulaire de 16 à 21 mm La figure 2.19, représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

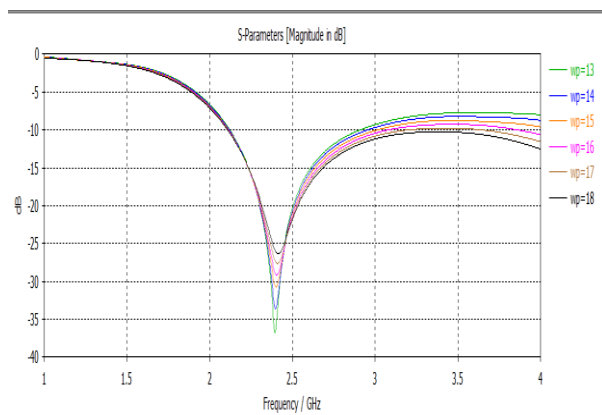


**Figure 2.19 : Influence de la longueur «  $L_p$  » du patch sur le coefficient de réflexion.**

On remarque d'après la figure 2.19, que lorsqu'on diminue la longueur «  $L_p$  » du patch, la fréquence et la magnitude du paramètre  $S_{11}$  en dB augmentent. En augmentant la valeur de «  $L_p$  », c'est l'inverse qui se produit. La largeur de bande reste quasiment constante.

### II.2.2.2.5. Variation de $W_p$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence de la largeur du patch «  $W_p$  » sur l'adaptation de l'antenne. Sur la figure 2.20, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $W_p$  ».



**Figure 2.20 : Influence de la largeur «  $W_p$  » du patch sur le coefficient de réflexion.**

$W_p$ (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
13	-36.967	0.79429
14	-33.809	0.82966
15	-30.865	0.89076
16	-29.273	0.98079
17	-27.712	1.1191
18	-26.639	>1.8

**Tableau 2.5 : Influence de la largeur «  $W_p$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.**

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

D'après la figure 2.20, on remarque que la diminution de la valeur de «  $Wp$  » entraîne la diminution de la valeur de la bande passante et la magnitude du  $S_{11}$  diminue. Lorsqu'on augmente la valeur de «  $Wp$  » la bande passante et la magnitude du  $S_{11}$  augmentent.

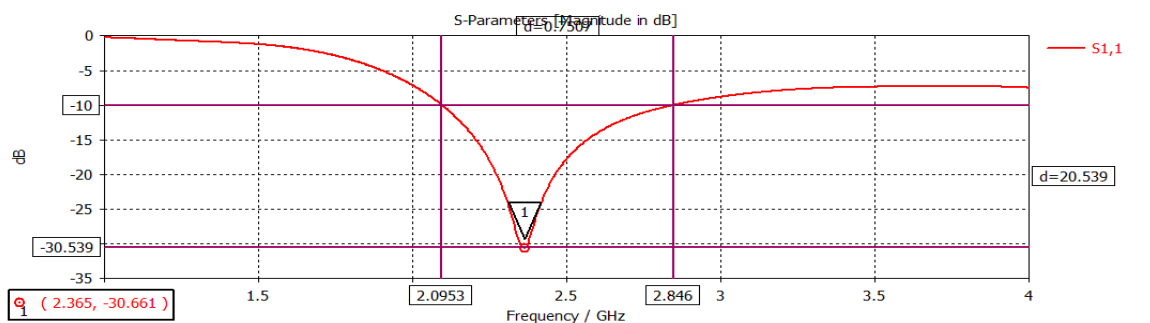
### II.2.2.3 Résultats de la simulation après optimisation

Après plusieurs simulations, on a obtenu les résultats suivants :

#### II.2.2.3.1. Coefficient de réflexion $S_{11}$

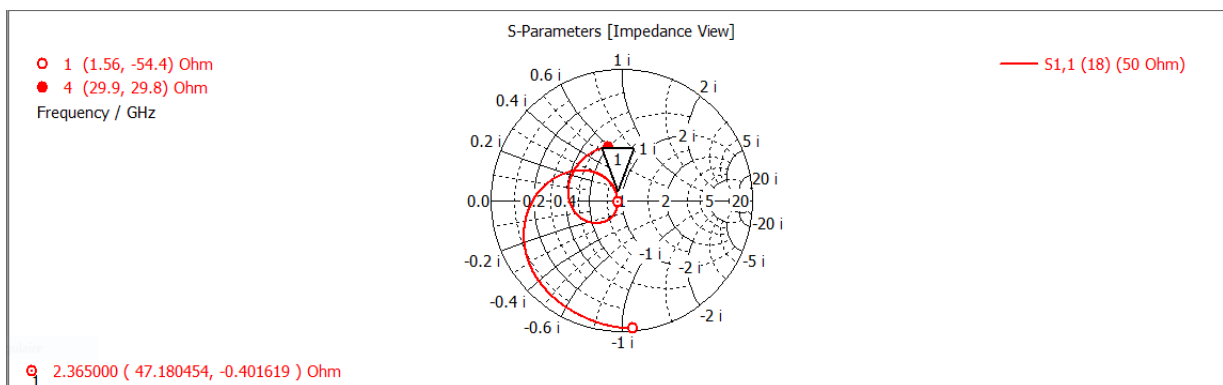
Après plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'avoir la valeur minimale du  $S_{11}$  centrée, on a obtenus une fréquence de résonance égale à 2.365GHz. Le paramètre  $S_{11}$  nous permet de visualiser l'adaptation si elle a lieu.

La conception de cette antenne par CST Microwave Studio présente une parfaite adaptation avec une large bande passante de 2.0953 GHz à 2.846 GHz, et une bande passante de 31.73%.



**Figure 2.21 : Visualisation du paramètre  $S_{11}$  et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.**

De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée sur l'abaque de Smith qui sont présentes sur la 2.22.



**Figure 2.22 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith**

Le rapport d'onde stationnaire est bien en dessous de 2 sur toute la largeur de bande susmentionnée comme le montre la figure 2.23.

# Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

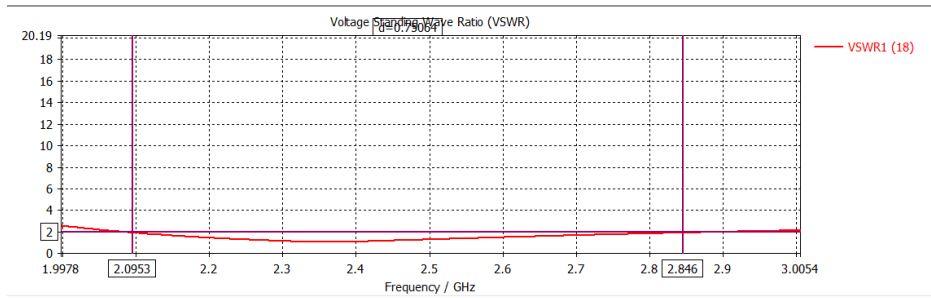


Figure 2.23 : Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

## II.2.2.3.2. Diagramme de rayonnement du gain total en 3D et 2D

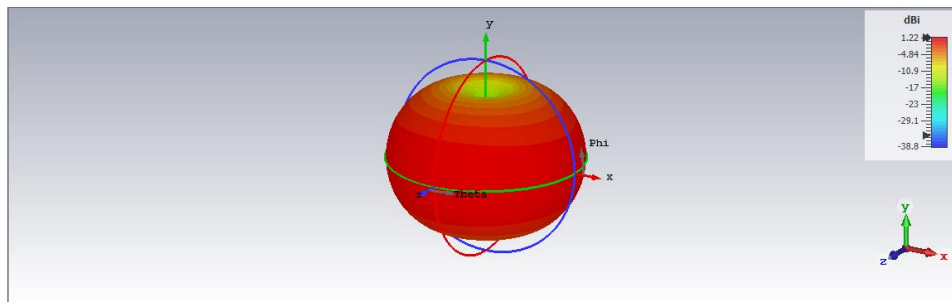


Figure 2.24 : Gain de l'antenne en 3D a la fréquence 2.365 GHz.

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence centrale qu'est notre fréquence de résonance, est tracée à la figure (2.24). On peut observer nettement qu'il est omnidirectionnel dans le plan  $xy$ . Le gain simulé de l'antenne est de 1.22 dBi et la directivité est de 2.18 dBi, d'où une efficacité de 55%.

Le gain est notamment représenté en coordonnées polaires (diagramme 2D) par la figure 2.25 dans les deux plans  $E$  et  $H$ .

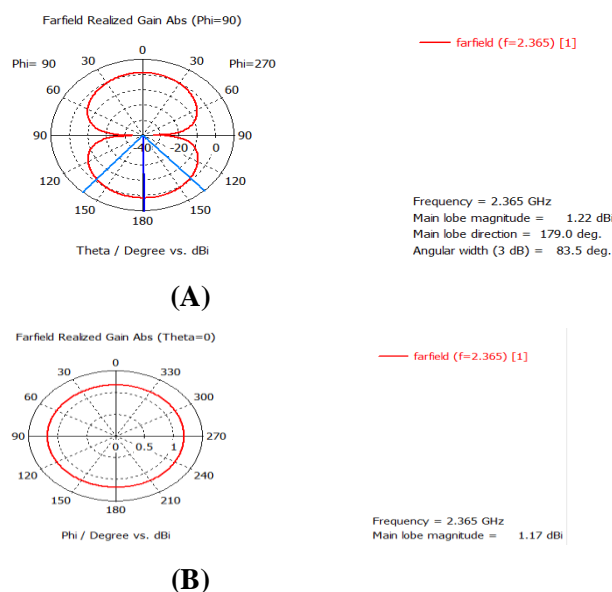
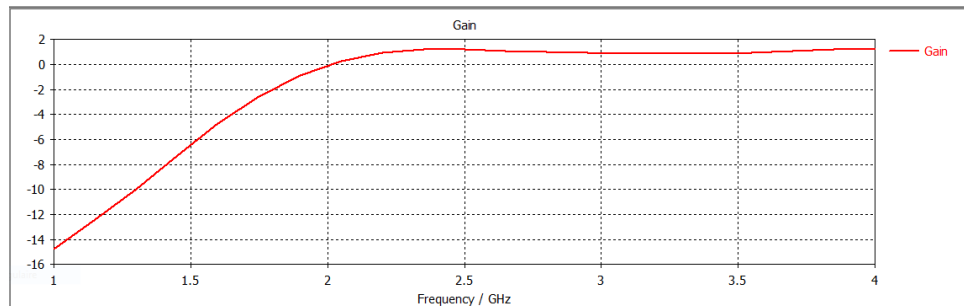


Figure 2.25 :Gain réalisé en coordonnées polaires .(A)Plan  $E$  , (B) Plan  $H$ .

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

D'après la figure (2.25.A), on remarque une symétrie par rapport à l'axe de révolution  $y$  avec un angle d'ouverture de  $83.5^\circ$  dans le plan  $E$ . Sur le plan  $xz$  (plan  $H$ ), le rayonnement est omnidirectionnel comme le montre la figure (2.25.B).

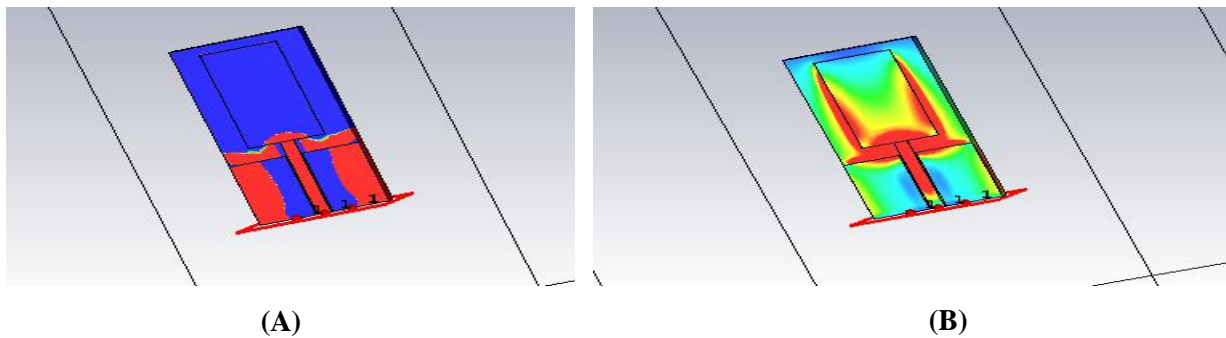
L'antenne étant large-bande, une représentation du gain en fonction de la fréquence s'avère nécessaire (figure 2.26)



**Figure 2.26 : Représentation du gain en fonction de la fréquence**

D'après la figure 2.26; on remarque que le gain augmente jusqu'à obtention d'une valeur maximale qui correspond à une fréquence de 2.365 GHz, par la suite la valeur de ce dernier diminue légèrement jusqu'à ce qu'elle devienne constante.

### II.2.2.3.c Représentation des champs $E$ et $H$

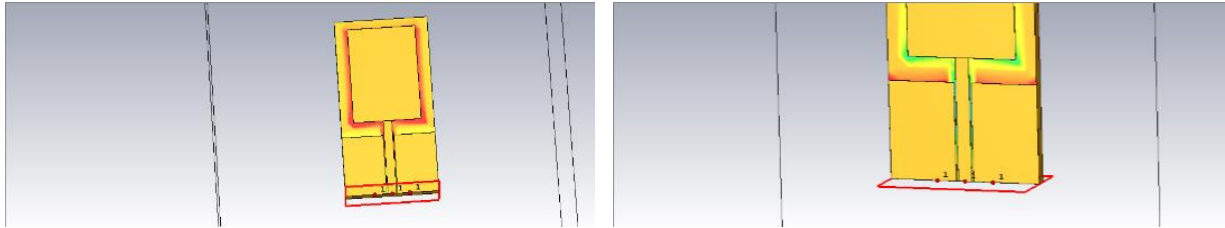


**Figure 2.27 : Distribution du champ d'une antenne monopolaire planaire rectangulaire.(A) champ E, (B) champ H**

Les vecteurs de champ électrique verticaux des deux plans métalliques (figure 2.27 (A)) sont dans des directions opposées, le maximum du champ est concentré sur les bordures (2000V /m). Une polarisation linéaire horizontale est bien distinguée. En outre, la figure (2.27.(B)) montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopolaire rectangulaire à 2.365GHz, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### II.2.2.3.d. Courant de surface



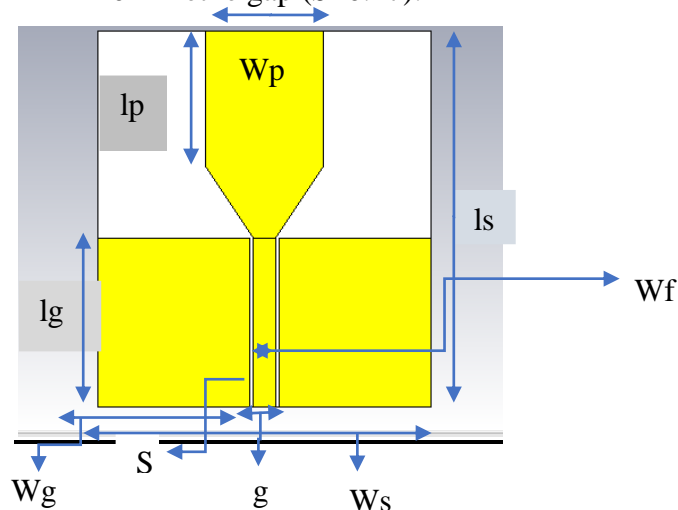
**Figure 2.28 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire rectangulaire**

L'orientation de la distribution de courant se fait selon l'axe Y sur la surface du rectangle et la ligne d'alimentation. L'intensité du courant dans les deux parties du plan de masse est similaire mais de polarité opposée. L'intensité à la surface diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation. Pour l'élément rectangulaire l'intensité maximale est concentrée sur les contours vers la direction X.

### II.2.3 Antenne monopole planaire trapézoïdale

#### II.2.3.1. Géométrie de l'antenne

Une Antenne monopole planaire trapézoïdale est représentée ci-dessous, alimentée par une ligne coplanaire de dimension  $W_f * L_g = 2 \text{ mm} \times 17.5 \text{ mm}$ , elle se compose d'un conducteur de hauteur  $t = 0.035$ , de largeur et longueur  $W_p * L_p = 15 \text{ mm} \times 22.5 \text{ mm}$ , l'épaisseur du substrat est  $h = 1.6 \text{ mm}$  son matériau est FR4, de constant diélectrique  $\epsilon_r = 4.4$ , les dimensions de ce substrat sont  $W_s * L_s = 22 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  et le gap ( $S=0.27$ ).



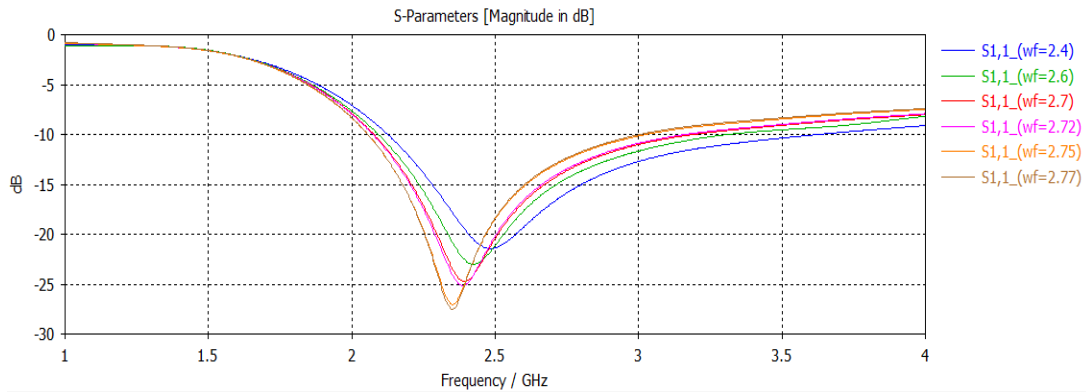
**Figure 2.29: Modèle d'une antenne monopole planaire rectangulaire sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.**

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### II.2.3.2. Etude paramétrique

#### II.2.3.2.a. Variation de $W_f$

Nous avons modifié la largeur «  $W_f$  » de la ligne de 2.4 à 2.77 mm. Sur la figure 2.30, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur «  $W_f$  ».

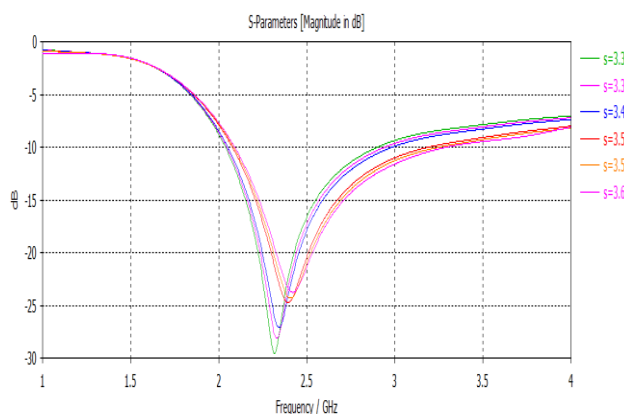


**Figure 2.30 : Influence de la largeur «  $W_f$  » de la ligne sur le coefficient de réflexion.**

D'après la figure 2.30, on remarque que lorsqu'on diminuait la valeur de «  $W_f$  », on remarque que la valeur de la fréquence augmente et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente. On remarque que l'inverse se produit en augmentant sa valeur.

#### II.2.3.2.b. Variation de $S$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence du paramètre «  $S$  » sur l'adaptation de l'antenne. Sur la figure 2.31, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $S$  ».



**Figure 2.31 : Influence de paramètre «  $S$  » sur le coefficient de réflexion .**

S (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
3.6	-23.758	1.2023
3.55	-24.319	1.1727
3.5	-24.906	1.109
3.4	-27.154	0.94515
3.35	-28.277	0.9054
3.3	-29.738	0.869

**Tableau 2.6 : Influence du paramètre «  $S$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante**

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

D'après les graphes de la figure 2.31, on a remarqué qu'avec la diminution de  $S$  la fréquence et la largeur de la bande passante diminuent et le pic s'approfondit. En augmentant la valeur de  $S$ , la fréquence et la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmentent, et la bande passante s'élargit.

### II.2.3.2.c. Variation de $L_g$

L'effet de la longueur  $l_g$  sur l'adaptation de l'antenne monopole trapézoïdale est étudié. Nous avons débuté la simulation par une longueur «  $L_g$  » égale à 16 mm, ces dimensions ont été augmentés jusqu'à une valeur égale à 20 mm. Sur la figure 2.32, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de cette longueur «  $L_g$  ».

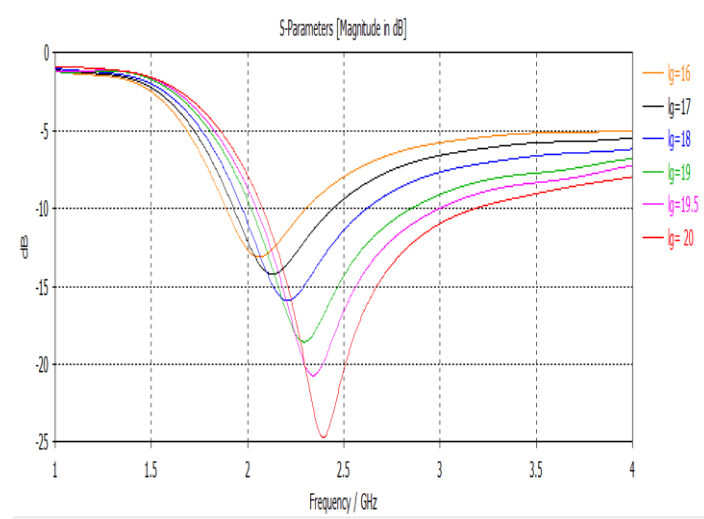


Figure 2.32 : Influence de longueur «  $L_g$  » sur le coefficient de réflexion

$L_g$ (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
16	-13.199	0.41794
17	-14.218	0.51784
18	-16	0.65901
19	-18.622	0.83157
19.5	-20.847	0.9512
20	-24.78	1.1142

Tableau 2.7 : Influence de la longueur «  $L_g$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante

D'après les graphes de la figure 2.32, On remarque que la diminution de la valeur de «  $L_g$  » entraîne diminution de la valeur de la fréquence, l'augmentation de la valeur de la bande passante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$ . En augmentant «  $L_g$  », le rayonnement maximal va s'incliner de plus en plus vers la direction perpendiculaire au plan de l'antenne.

### II.2.3.2.d Variation de $W_p$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence de la largeur du patch «  $W_p$  » sur l'adaptation de l'antenne. Sur la figure 2.33, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $W_p$  ».

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

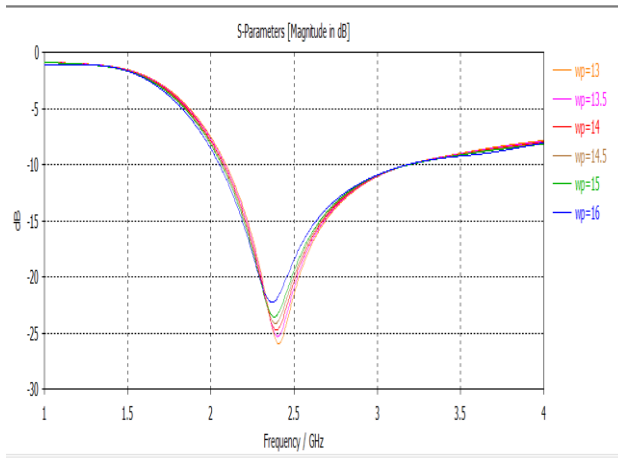


Figure 2.33: Influence de la largeur «  $W_p$  » du patch sur le coefficient de réflexion

$W_p$ (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
13	-26.18	1.0917
13.5	-25.466	1.1184
14	-24.907	1.1118
14.5	-24.318	1.1118
15	-23.743	1.1217
16	-22.376	1.1184

Tableau 2.8 : Influence de la largeur «  $W_p$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante

D'après la figure 2.33, on remarque que la diminution de la valeur de  $W_p$  entraîne l'augmentation de la valeur de la fréquence et de la valeur de la bande passante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$

### II.2.3.3. Résultats de la simulation après optimisation

#### II.2.3.3.a. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Après plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'avoir la valeur minimale du  $S_{11}$  centrée à obtenu une fréquence de résonance égale à 2.4004 GHz avec une large bande passante de 2.0746 GHz à 3.1799 GHz et une bande passante de 46%.

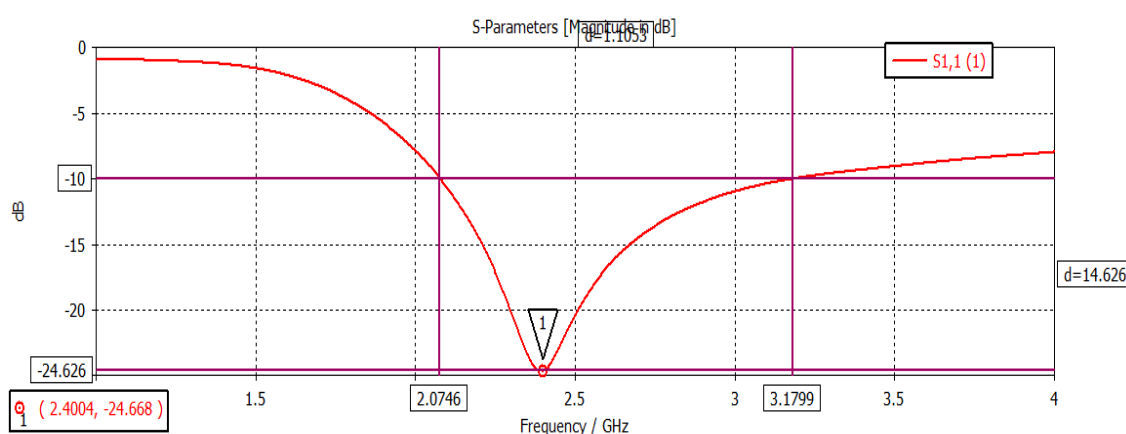


Figure 2.34 : Visualisation du paramètre  $S_{11}$  et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.

De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée sur l'abaque de Smith qui sont présentes sur la 2.35 .



## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

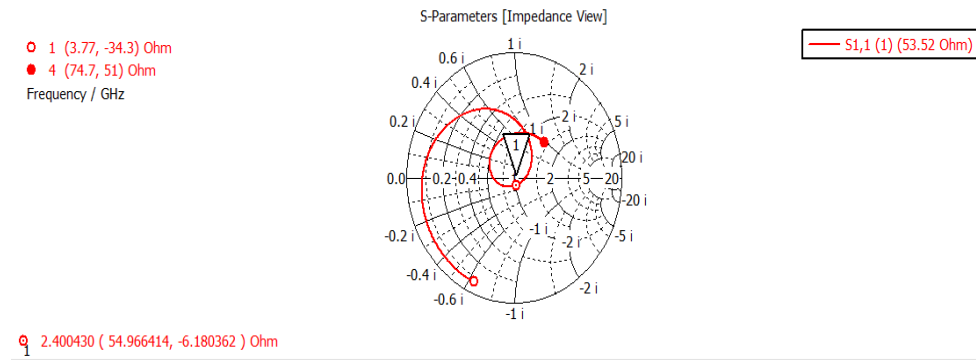


Figure 2.35 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de SmiWth.

Le rapport d'onde stationnaire est bien en dessous de 2 sur toute la largeur de bande susmentionnée comme le montre la figure 2.36

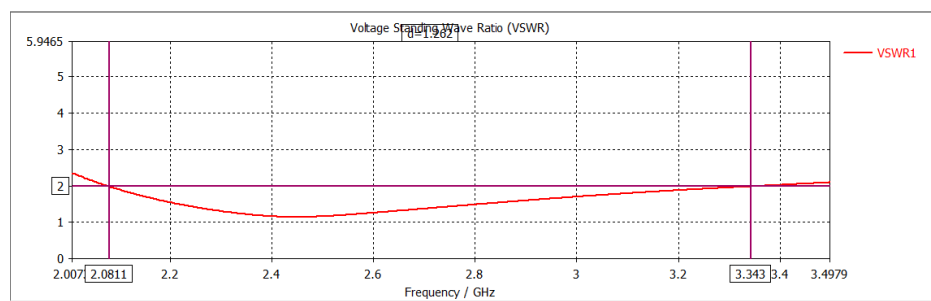


Figure 2.36 : Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

### II.2.3.3.b. Diagramme de rayonnement en 3D et 2D

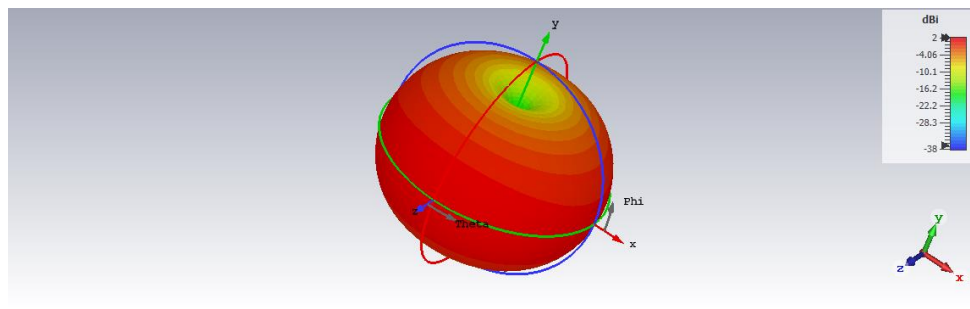
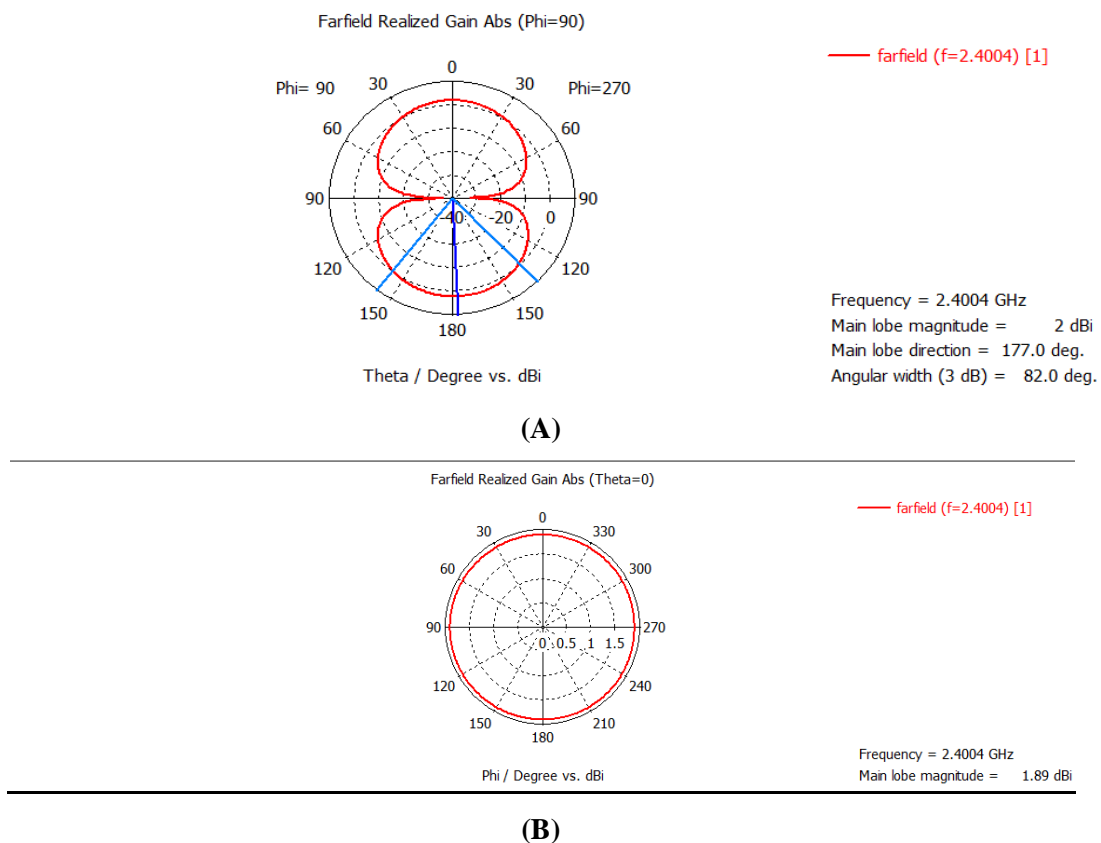


Figure 2.37: Gain de l'antenne en 3D a la fréquence 2.4004 GHz.

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence centrale  $f_0$  est tracé à la figure (2.37). On peut observer que le diagramme de rayonnement de l'antenne est omnidirectionnel. Le gain simulé de l'antenne est de 2 dBi, la directivité est de 2.36 dBi et son efficacité est de 84.74%.

Le diagramme de rayonnement polaire en 2D de l'antenne est présenté par la figure 2.38 pour la fréquence 2.4004 GHz .

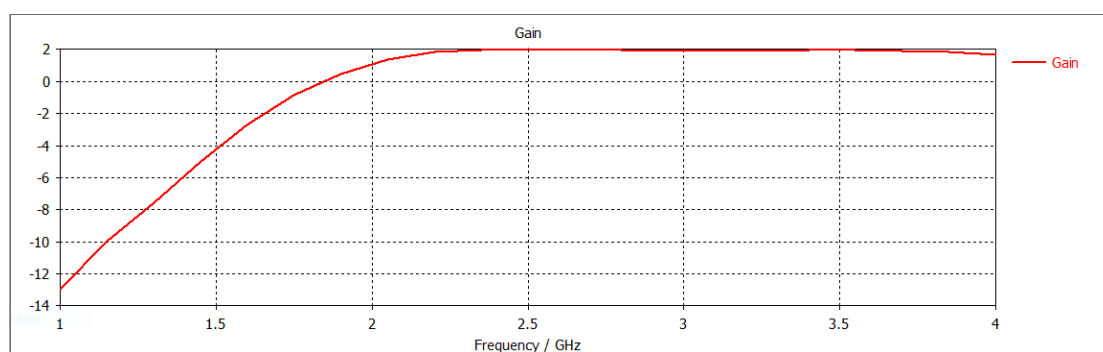
## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D



**Figure 2.38: Gain réalisé en coordonnées polaires .(A)Plan  $E$  , (B) Plan  $H$ .**

D'après la figure (2.38.A), on remarque une symétrie par rapport à l'axe de révolution  $y$  avec un angle d'ouverture de  $82,0^\circ$  dans le plan  $E$ . Sur le plan  $xz$  (plan  $H$ ), le rayonnement est omnidirectionnel comme le montre la figure (2.38.B).

L'antenne étant large-bande, une représentation du gain en fonction de la fréquence s'avère nécessaire (figure 2.39)



**Figure 2.39 : Représentation du gain en fonction de la fréquence**

D'après la figure 2.39; on a remarqué que le gain augmente en fonction de la fréquence jusqu'à obtention d'une valeur maximale à notre fréquence de résonance 2.4004GHz. Par la suite cette dernière devient stable.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

### II.2.3.3.c. Représentation des champs $E$ et $H$

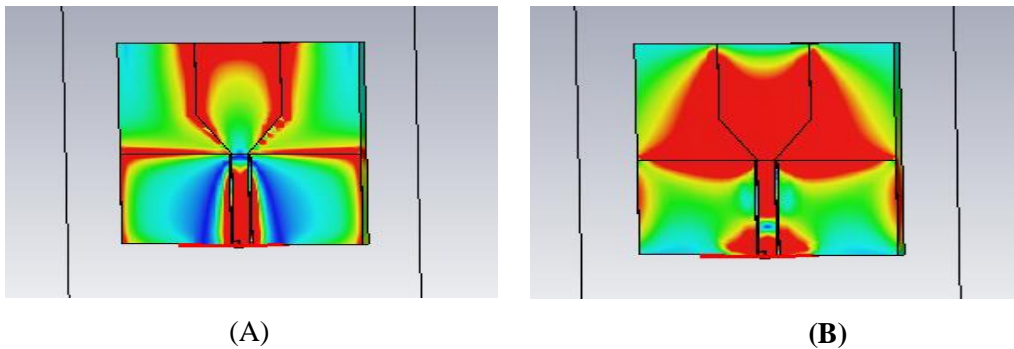


Figure 2.40 : Distribution du champ d'une antenne monopole planaire trapézoïdale .(A)champ E , (B) champ H .

Les vecteurs de champ électrique verticaux des deux plans métalliques (figure 2.40 (A)) sont dans des directions opposées, le maximum du champ est concentré sur les bordures (1200V /m). Une polarisation linéaire horizontale est bien distinguée. En outre, la figure (2.40.(B))montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopole trapézoïdale à 2.4004GHz, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

### II.2.3.3.d. La surface du courant

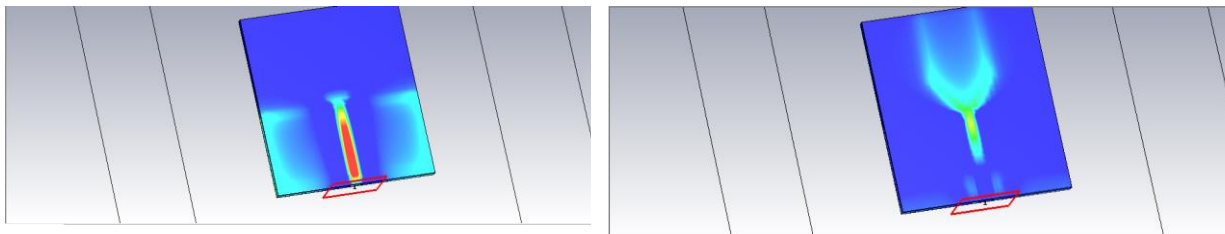


Figure2.41 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire trapézoïdale

L'orientation de la distribution de courant se fait selon l'axe Y sur la surface de l'antenne et la ligne d'alimentation. L'intensité du courant dans les deux parties du plan de masse est similaire mais de polarité opposée. L'intensité à la surface diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation. Pour l'antenne l'intensité maximale est concentrée sur les contours vers la direction X.

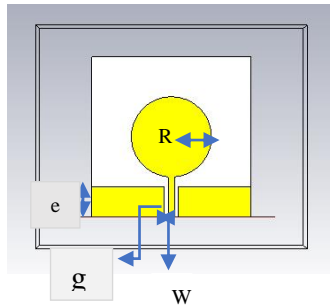
## II.2.4Antenne monopole planaire circulaire :

### II.2.4.1 Géométrie de l'antenne

Une Antenne monopole planaire elliptique est représentée ci-dessous, alimentée par une ligne de transmission de dimension  $W * Y_{sub} = 1.54 \text{ mm} \times 43.75 \text{ mm}$ , elle se compose d'un

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

conducteur rectangulaire de hauteur  $Hg=0.017$ , d'un rayon  $R= 22.75$  mm, l'épaisseur du substrat est  $h = 1.6$  mm. Le matériau utilisé est FR4, de constant diélectrique  $\epsilon_r = 4.4$ , les dimensions de ce substrat sont  $X_{sub} * Y_{sub} = 43.75\text{mm} \times 43.75\text{mm}$ .

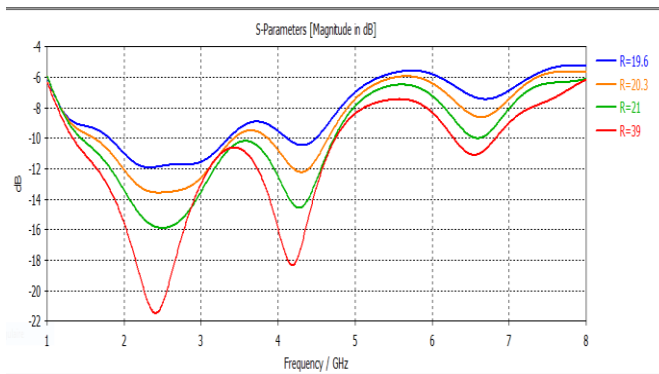


**Figure 2.42: Modèle d'une antenne monopole planaire circulaire à 2.323GHz sous CST Microwave Studio alimentée par une ligne coplanaire.**

### II.2.4.2 Etude paramétrique

#### II.2.4.2.a Variation de $R$

Nous avons modifié le rayon «  $R$  » du cercle de 19.6 à 39 mm. Sur la figure 2.43, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur «  $R$  ».



**Figure 2.43 : Influence de la largeur «  $R$  » du la ligne su le coefficient de réflexion.**

R (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
19.6	-12	1.5556
20.3	-13.652	1.8334
21	-16	3.2791
39	-21.514	3.4009

**Tableau 2.9 : Influence du rayon «  $R$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante**

D'après les graphes de la figure 2.43, on remarque que lorsqu'on diminue la valeur de «  $R$  » on remarque que la valeur de la fréquence augmente et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente.

#### II.2.4.2.b. Variation de $e$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence de la longueur du plan de masse «  $e$  » sur l'adaptation de l'antenne. Sur la figure 2.44, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $e$  ».

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

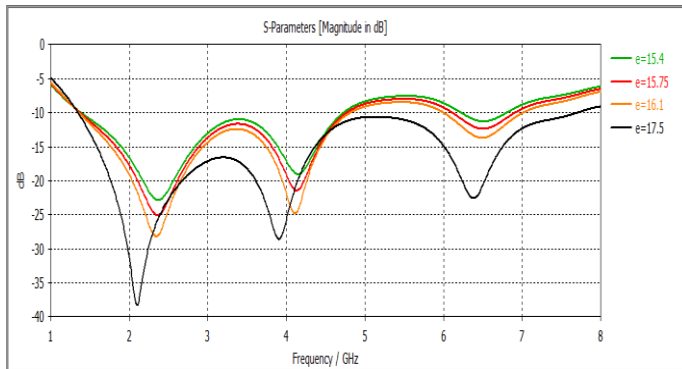


Figure 2.44 : Influence de la largeur «  $e$  » du la ligne sur le coefficient de réflexion.

$e$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
15.4	-22.919	3.436
15.75	-25.231	3.410
16.1	-28.314	3.4542
17.5	-38.324	6.350

Tableau 2.10 : Influence de la longueur du plan de masse «  $e$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante

D'après la figure 2.44, on remarque que lorsqu'on diminue la valeur de «  $e$  » on remarque que la valeur de la fréquence augmente et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente. On remarque que l'inverse se produit en augmentant la valeur de «  $e$  ».

### II.2.4.2.c Variation de $W$

Nous avons modifié la largeur «  $W$  » du conducteur central du guide d'onde coplanaire de 1.68 à 2.45 mm. Sur la figure 2.45, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur «  $W$  ».

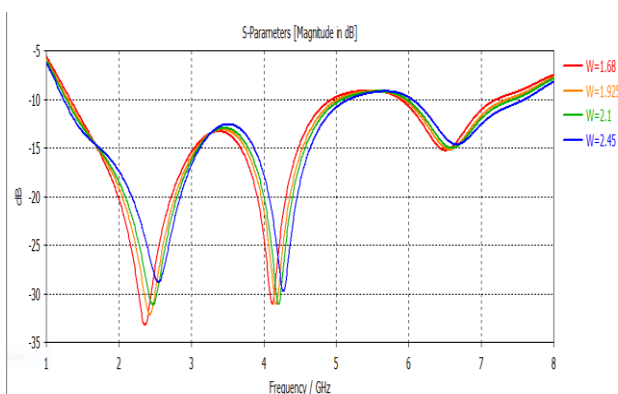


Figure 2.45 : Influence de la largeur «  $W$  » du la ligne sur le coefficient de réflexion.

$W$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
1.68	-33.144	3.587
1.925	-31.878	3.689
2.1	-31.144	3.781
2.45	-28.60	3.928

Tableau 2.11 : Influence de la largeur de la ligne «  $W$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante

D'après la figure 2.45, on remarque que la diminution de la valeur de «  $W$  » entraîne l'augmentation de la valeur de la fréquence, l'augmentation de la valeur de la bande passante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$ .

### II.2.4.2.d. Variation de $g$

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'influence du paramètre «  $g$  » sur l'adaptation de l'antenne. Sur la figure 2.46, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de «  $g$  ».

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

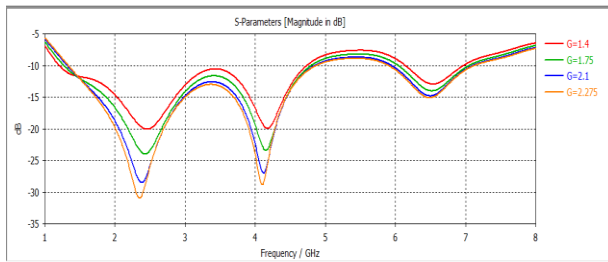


Figure 2.46 : Influence de paramètre «  $g$  » sur le coefficient de réflexion .

$g$ (mm)	Magnitude du $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
1.4	-20.134	3.547
1.75	-24	3.5166
2.1	-28.541	3.5245
2.275	-31.025	3.5558

Tableau 2.12 : Influence de «  $g$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante

D'après la figure 2.46, on a remarqué qu'avec la diminution de «  $g$  » la fréquence augmente et la largeur de la bande passante diminue et le pic s'approfondit. En augmentant la valeur de «  $g$  », la fréquence et la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmentent, et la bande passante s'élargit.

### II.2.4.3. Résultats de la simulation

#### II.2.4.3.a. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Après une plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'avoir la valeur minimale du  $S_{11}$  centrée à obtenir une fréquence de résonance égale à 2.323GHz.

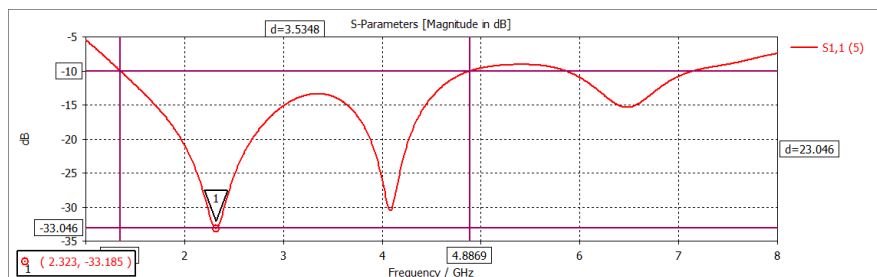


Figure 2.47: Visualisation du paramètre  $S_{11}$  et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.

La conception de cette antenne par CST Microwave Studio présente une parfaite adaptation avec une large bande passante de 2.0746 GHz à 3.1799 GHz, et une bande passante de 46% . De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée sur l'abaque de Smith qui sont présentes sur la figure(2.48)

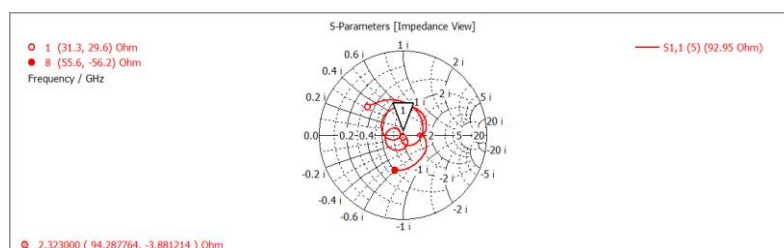


Figure 2.48 : Impédance réduite en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith.

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

Le rapport d'onde stationnaire est bien en dessous de 2 sur toute la largeur de bande susmentionnée comme le montre la figure 2.49

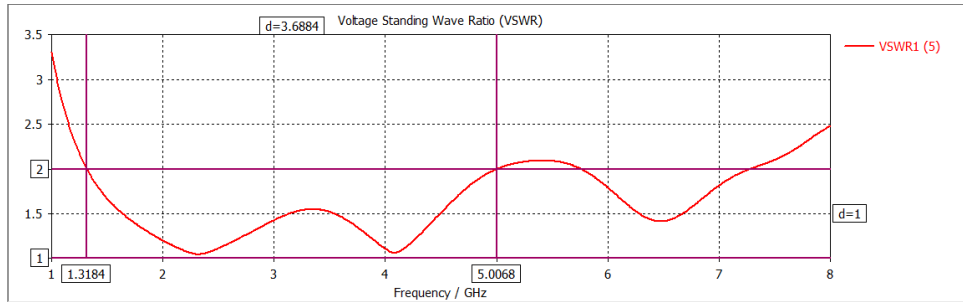


Figure 2.49: Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

### II.2.4.3.b. Diagramme de rayonnement du gain total en 3D et 2D

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence centrale est tracé à la figure (3.50). On peut observer que le diagramme de rayonnement de l'antenne est omnidirectionnel. Le gain simulé de l'antenne est de 2.16dBi, la directivité est de 3.02 dBi et l'efficacité vaut 71.52%

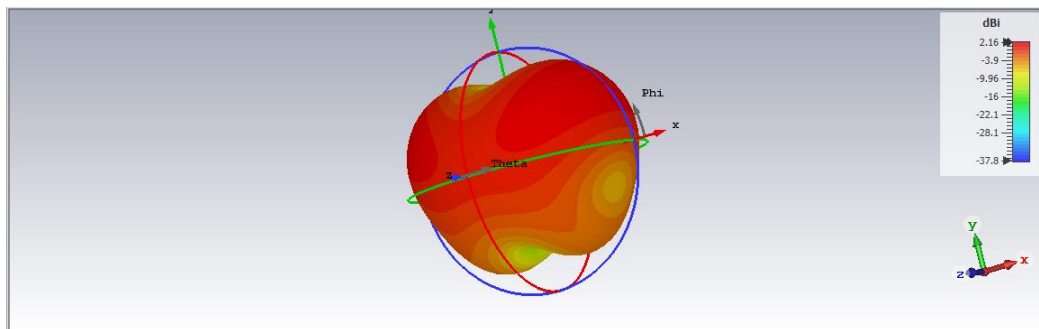
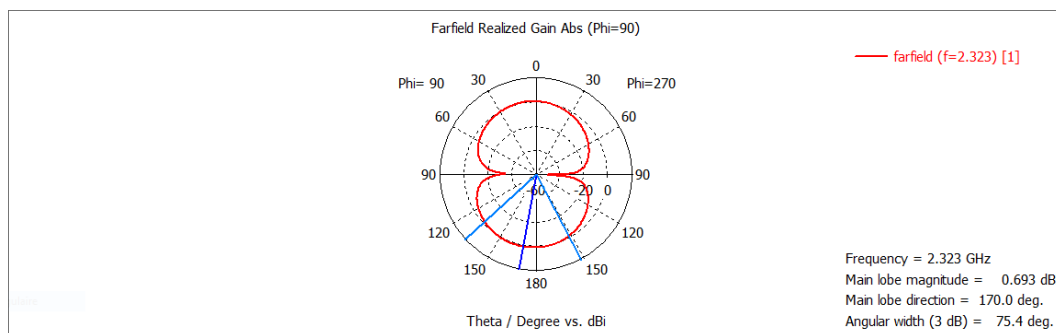


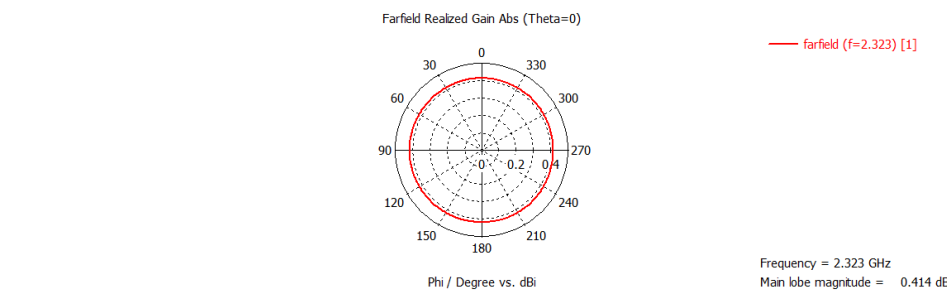
Figure 2.50 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.323 GHz .

Le diagramme de rayonnement polaire en 2D de l'antenne est présenté par la figure 2.51 pour la fréquence 2.323 GHz .



(A)

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D



(B)

Figure 2.51 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A)Plan *E* , (B) Plan *H*.

D'après la figure (2.51.A), on remarque une symétrie par rapport à l'axe de révolution *y* avec un angle d'ouverture de  $75,4^\circ$  dans le plan *E*. Sur le plan *xz* (plan *H*), le rayonnement est omnidirectionnel comme le montre la figure (2.51.B).

L'antenne étant large-bande, une représentation du gain en fonction de la fréquence s'avère nécessaire (figure 2.52)

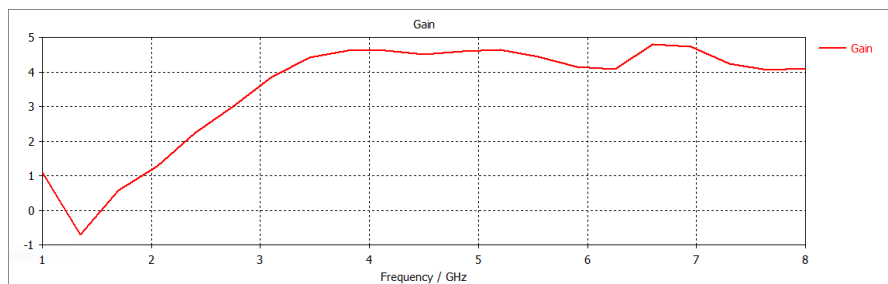


Figure 2.52 : Représentation du gain en fonction de la fréquence.

D'après la figure 2.52 ; on a remarque le gain augmente en fonction de la fréquence jusqu'à obtention d'une valeur maximale qui correspond à notre fréquence de résonance 2.323GHz

Voici quelque figure qui nous montre le changement du gain tout au long de la bande passante.

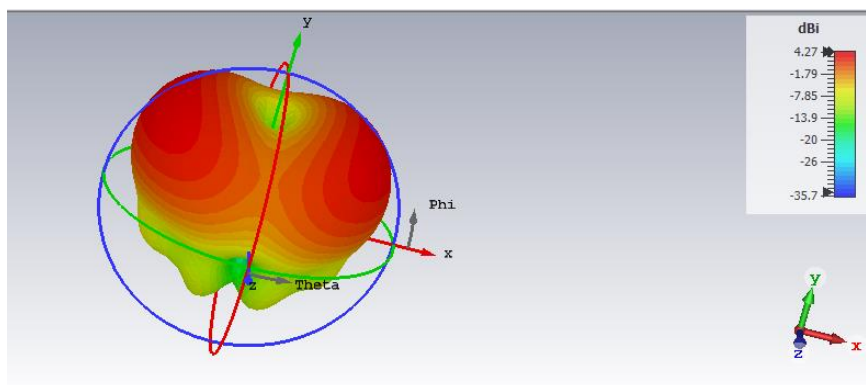


Figure 2.53 : Gain de l'antenne circulaire 3D à la fréquence 3.5 GHz.



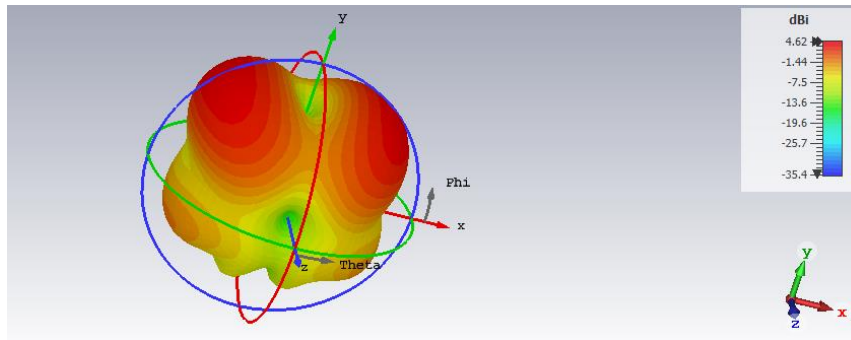


Figure 2.54 : Gain de l'antenne circulaire 3D à la fréquence 4.1 GHz.

### II.2.4.3.c. Représentation des champs $E$ et $H$

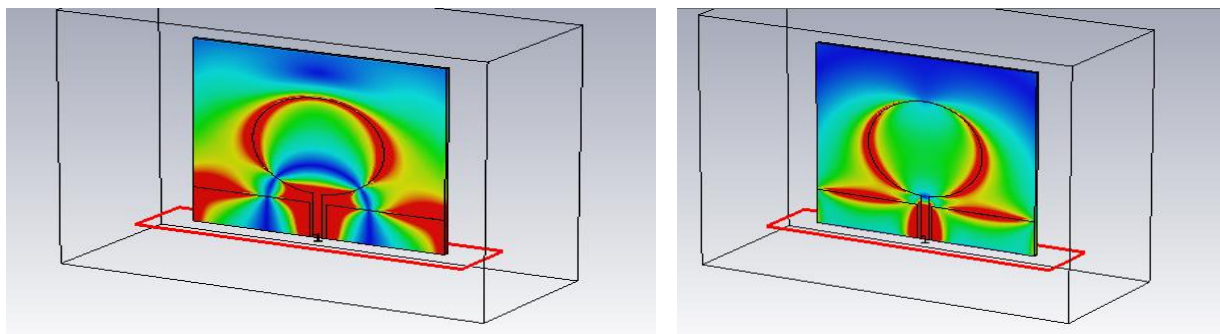


Figure 2.55: Distribution du champ d'une antenne monopole planaire circulaire .(A) champ  $E$  , (B) champ  $H$  .

D'après la figure (2.55.A) représentant le champ  $E$  pour 2.323 GHz sur on peut clairement examiner que l'ensemble de la structure participe au rayonnement de cette fréquence. Le graphique montre la distribution du champ  $E$  dans tout le radiateur qui prétend que la structure proposée a été conçu pour la fréquence respective prévue. En outre, la figure (2.55.(B))montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopole circulaire à 2.323 GHz, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

### II.2.4.3.d. la surface du courant

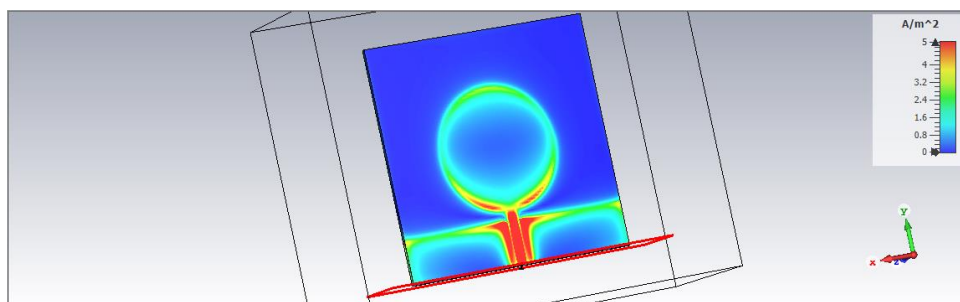


Figure 2.56: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole planaire circulaire

## Chapitre II : Conception d'antenne monopolaire planaire 2D

L'orientation de la distribution de courant se fait selon l'axe Y sur la surface de l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation. L'intensité du courant dans les deux parties du plan de masse est similaire mais de polarité opposée. L'intensité à la surface diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation. Pour l'élément rayonnant l'intensité maximale est concentrée sur les contours vers la direction X.

### II.3. Tableau comparatif

Forme des antennes monopolaire	Fréquence de résonance (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	Bande passante (GHz)	Gain (dB)	Efficacité*%
Elliptique	2.7071	-35.804	3.5481	2.39	85.66
Rectangulaire	2.365	-30.661	0.75064	1.22	55
Trapézoïdale	2.4004	-24.668	1.1053	2	84.74
Circulaire	2.323	-33.185	3.5348	2.16	71.52

Tableau 2.13 : Tableau comparatif de différentes antennes simulées en 2D.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié des antennes monopolaire planaires de différentes formes à savoir : elliptique, rectangulaire, circulaire, trapézoïdale adaptées aux systèmes de communication ULB.

Différentes variations ont été menées sur l'élément rayonnant et le plan de masse en vue d'améliorer l'adaptation et d'avoir un fonctionnement large bande.

La comparaison entre les résultats obtenus nous a permis de remarquer que la bande passante varie d'une antenne à une autre, les deux lobes du diagramme de rayonnement dans le plan vertical sont symétriques par rapport à l'axe des y et que le gain varie d'une antenne à une autre.

D'après les simulations et la comparaison qu'on a faite on a conclu que les antennes unipolaires rectangulaires et trapézoïdales donnent une largeur de bande inférieure à celle des antennes circulaires et elliptiques, mais ces bandes passantes sont suffisamment larges pour de nombreuses applications

***Chapitre III :***  
***Conception d'antennes***  
***monopolaires planaires 3D***

# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

## Introduction

Dans ce chapitre nous avons suivi la même procédure que dans le chapitre 2, mais cette fois nous avons simulé deux antennes planaires en 3D ayant les formes suivantes : rectangulaire et circulaire. Par la suite nous avons interprété les résultats de simulations obtenus.

On a présenté notre travail en faisant dans un premier temps une étude paramétrique qui nous a permis de voir l'influence de chaque paramètre sur l'adaptation de l'antenne et son efficacité. Par la suite on a pu adapter ces différents monopoles planaires à une fréquence de résonance aux alentours de 2.4GHz et représenter les caractéristiques principales décrivant leur fonctionnement. Nous avons interprété les résultats de simulations obtenus à l'aide du logiciel CST Microwave studio, puis, nous avons effectué une comparaison entre ces différentes formes conçues et présentées pour donner un fonctionnement ultra large bande.

### III.1. Simulation et résultats

#### III.1.1. Antenne monopole 3D rectangulaire

##### III.1.1.1 Géométrie de l'antenne

L'antenne monopole 3D, modélisée est représentée ci-dessous, est alimentée par un port discret d'impédance de  $37 \Omega$ . Elle est constituée d'un élément rectangulaire de dimensions  $L * T = 36 \times 25 \text{ mm}^2$  et d'épaisseur  $H_r = 1 \text{ mm}$ . Le plan de masse a les dimensions  $X_{sub} * Z_{sub} = 50 \times 30 \text{ mm}^2$  est une épaisseur  $h = 2 \text{ mm}$ . Le gap entre l'élément rayonnant et le plan de masse est noté  $g$ . toute la structure est faite à base cuivre.

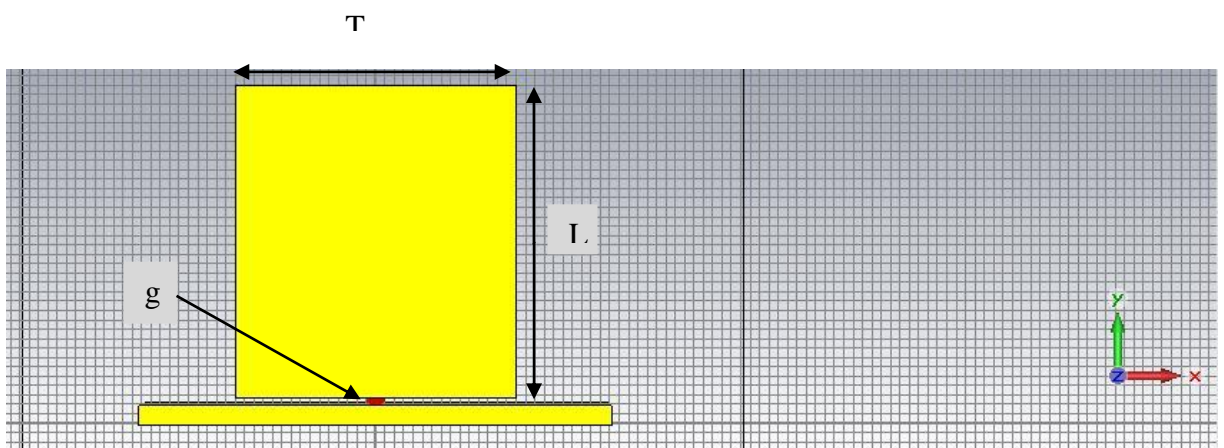


Figure 3.1 : Modèle d'une antenne monopole rectangulaire 3D à 2.64 GHz sous CST Microwave Studio.

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

### III.1.1.2. Etude paramétrique

Les paramètres définissant la géométrie de l'antenne monopole rectangulaire sont variés un à un, afin de constater leur influence sur les performances de la structure, notamment en termes d'adaptation sur une large bande de fréquence.

#### III.1.1.2.a. Variation de $T$

Une étude paramétrique a été menée afin de connaître l'influence de la largeur du rectangle sur l'adaptation de l'antenne. Nous avons varié la largeur «  $T$  » de 22 à 25 mm. Sur la figure 3.2, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de cette largeur «  $T$  ».

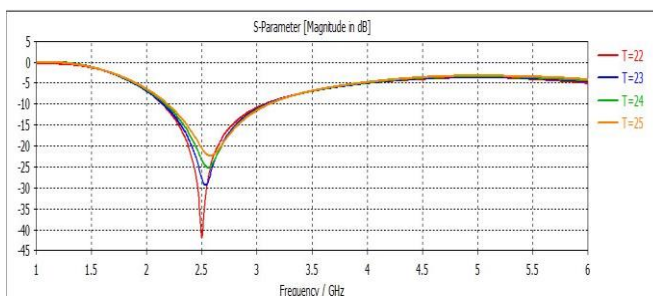


Figure 3.2 : Influence de la largeur «  $T$  » du rectangle sur le coefficient de réflexion.

T (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
22	-42.039	0.94118
23	-29.36	0.95167
24	-25	0.94608
25	-22.536	0.92872

Tableau 3.1 : Influence de la largeur «  $T$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

D'après les graphes de la figure 3.2, on remarque que lorsqu'on diminue la valeur de «  $T$  », la valeur du paramètre  $S_{11}$  diminue et la fréquence augmente. Le contraire se produit en augmentant la valeur de «  $T$  ». Il y a un léger décalage de la bande passante de l'antenne.

#### III.1.1.2.b. Variation de $L$

Dans cette section, on étudie l'effet de la longueur du rectangle sur l'adaptation de l'antenne monopole rectangulaire. Sur la figure 3.3, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur «  $L$  ».

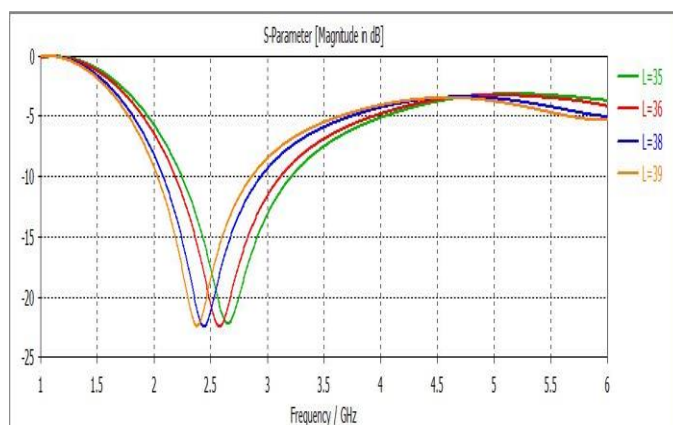


Figure 3.3: Influence de la longueur «  $L$  » du rectangle sur le coefficient de réflexion.

L (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
35	-22.459	0.94749
36	-22.416	0.92872
38	-22.406	0.86958
39	-22.362	0.84807

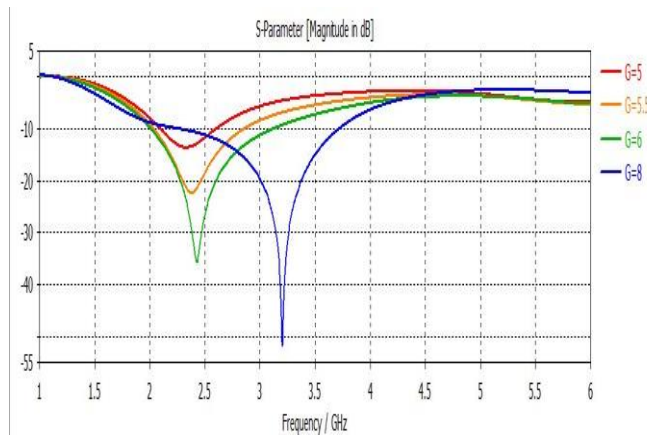
Tableau 3.2: Influence de la longueur «  $L$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

On remarque d'après les différents graphes représentés à la figure 3.3 que, lorsqu'on diminue la valeur de «  $L$  » la valeur du paramètre  $S_{11}$  et de la fréquence augmentent. Quand on diminue sa valeur, le contraire se produit.

### III.1.1.2.c. Variation de $g$

Nous avons modifié Le gap «  $g$  » (entre le rectangulaire et le plan de masse) de 5 à 8 mm La figure 3.4, représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.



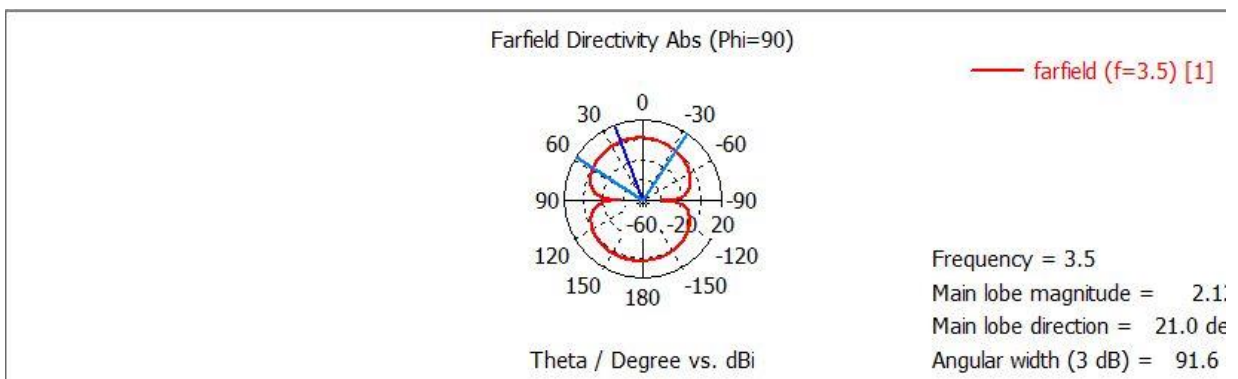
$g$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
5	-13.824	0.6177
5.5	-22.277	0.82963
6	-35.605	1.2705
8	-51.972	1.4694

**Tableau 3.3 : Influence du gap «  $g$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.**

**Figure 3.4 : Influence du gap «  $g$  » sur le coefficient de réflexion.**

On remarque d'après les différents graphes représentés à la figure 3.4, que la diminution de la valeur de «  $g$  » entraîne une diminution de la valeur de la fréquence, de la bande passante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$ .

### III.1.1.2.d L'effet du plan de masse sur la directivité



**Figure 3.5 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 3.5 GHz.**



# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

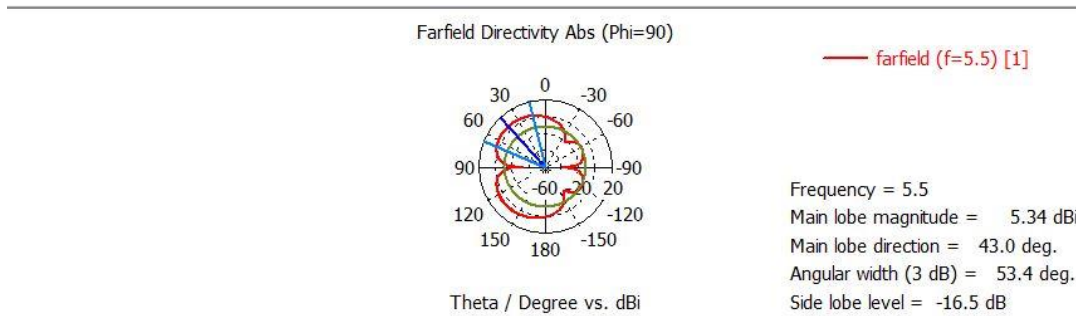


Figure 3.6 : Directivite de l'antenne en 3D à la fréquence 5.5 GHz.

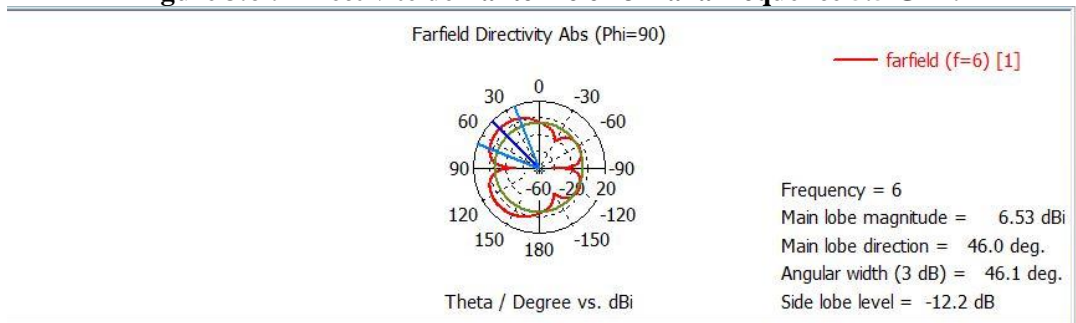


Figure 3.7 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 6 GHz.

Le diagramme de rayonnement reste directif sur toute la bande de fréquences. La direction du lobe principal reste à peu près constante lorsque la fréquence augmente, aux alentours de 60-65°. Par ailleurs, l'ouverture angulaire à -3 dB varie de 46.1 à 91.6° selon la fréquence. Cette variation angulaire à -3 dB est due principalement au fait que la distribution des courants surfaciques dépend de la fréquence.

### III.1.1.3. Résultats de la simulation

Après plusieurs simulations, on a obtenu les résultats optimisés suivants :

#### III.1.1.3.a. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Après plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'optimiser son fonctionnement, une valeur minimale du  $S_{11}$  a été obtenue à une fréquence de résonance égale à 2.64 GHz.

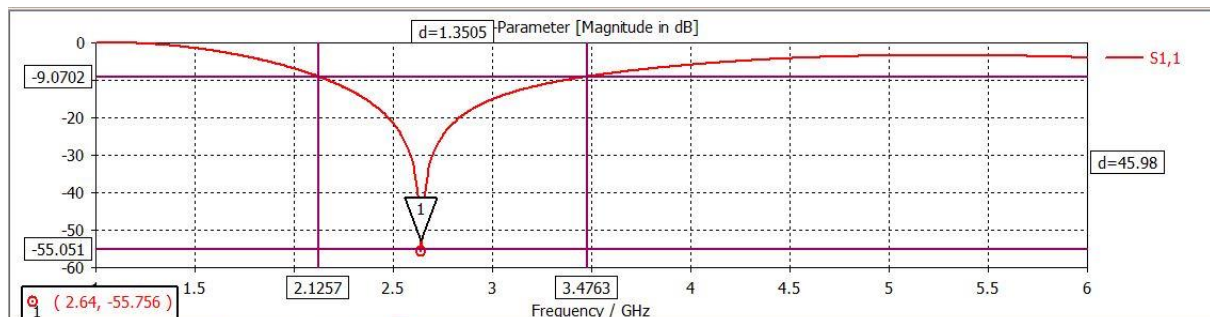


Figure 3.8 : Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

La conception de cette antenne sous CST MW présente une bonne adaptation avec une très large bande passante allant de 2.1257 GHz à 3.4763 GHz, soit une bande-passante de 51.15 %. De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée de l'antenne sur l'abaque de Smith qui sont présentés sur la figure 3.9.

On rappelle que la bande passante exprimée en % est donnée par :

$$BP\% = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \cdot 100 = \frac{1,3505}{2,64} \cdot 100 = 51.15\%$$

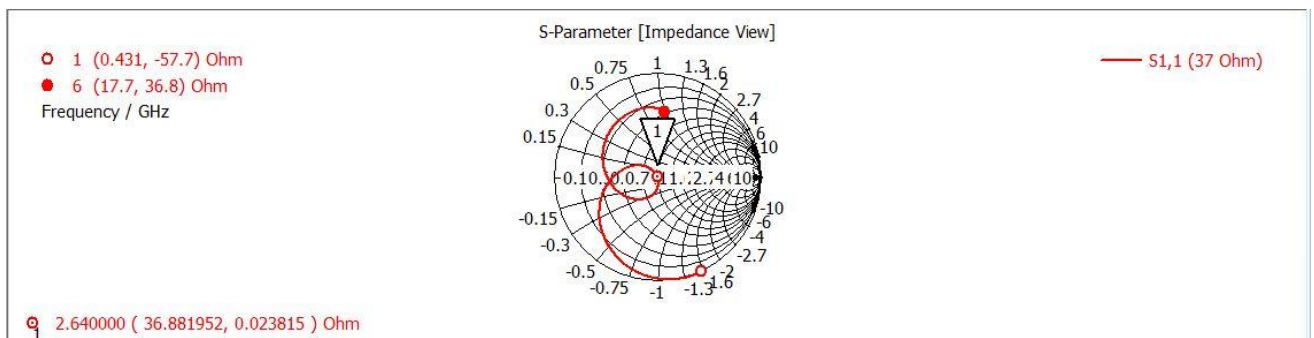


Figure 3.9 : Impédance caractéristique sur l'abaque de Smith.

Le rapport d'onde stationnaire VSWR est illustré sur la figure 3.10. avec un zoom sur la fréquence d'intérêt

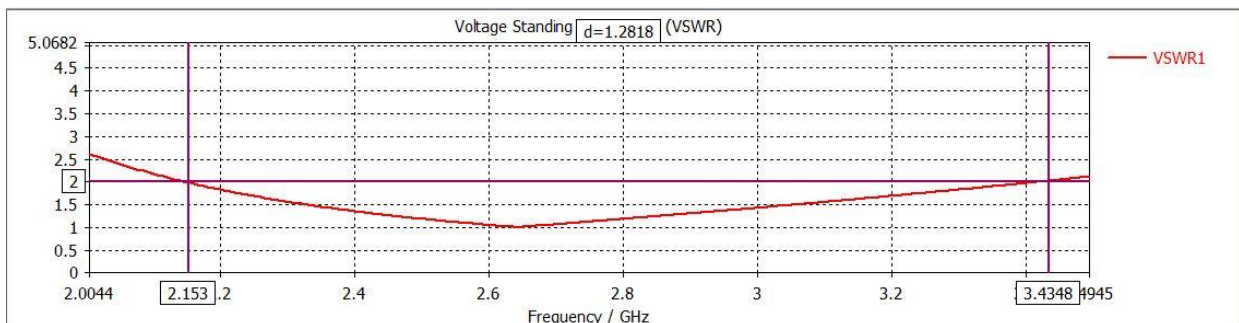


Figure 3.10 : VSWR en fonction de la fréquence.

### III.1.1.3.b. Diagramme de rayonnement du gain total en 3D et 2D

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence de résonance, est tracé à la figure (3.11) et (3.12). On remarque que ce dernier n'est pas omnidirectionnel dans le plan  $xz$ . Le gain simulé de l'antenne est de 2.22 dB, cette valeur est supérieur à la directivité qui est de 2.2 dBi. Ceci laisse entendre que l'efficacité dépasse 100% ! Nous rappelons que l'alimentation de l'antenne a été réalisée par un port discret qui simule le comportement d'une ligne coaxiale idéale.



# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

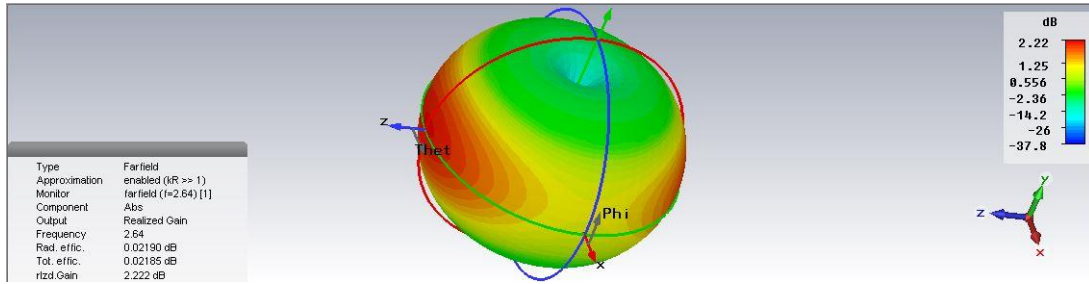
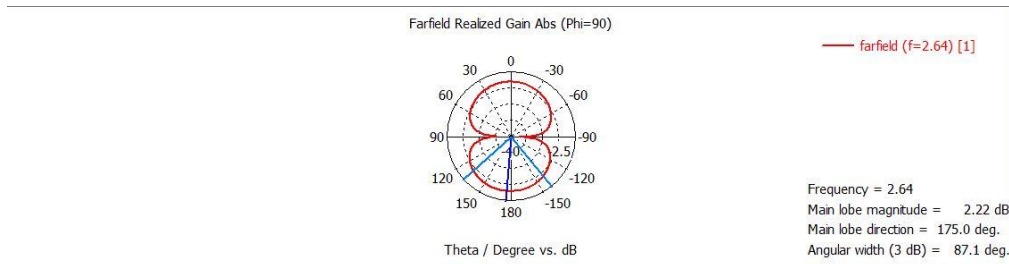
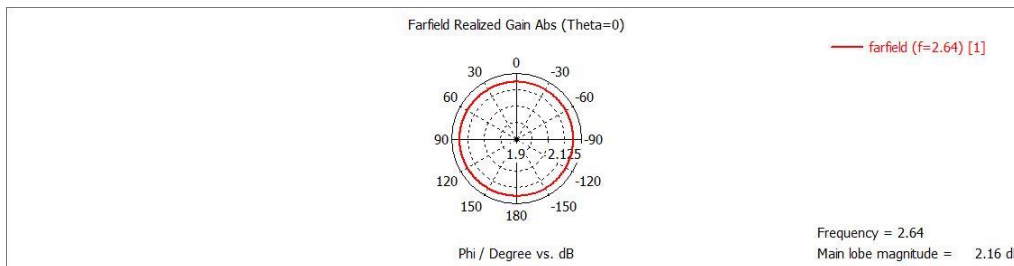


Figure 3.11 : Gain de l'antenne en 3D à la fréquence 2.64 GHz.

Le gain est notamment représenté en coordonnées polaires (diagramme 2D) par la figure 3.12 dans les deux plans *E* et *H*.



(A)

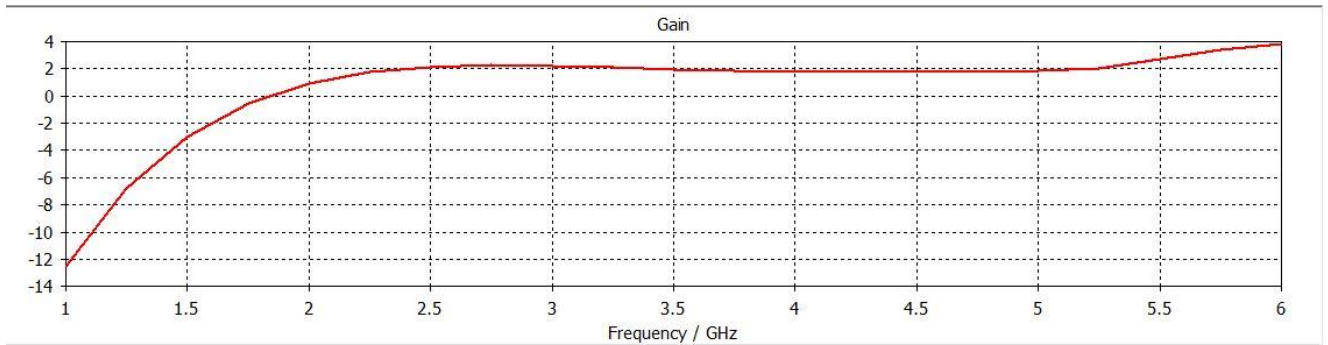


(B)

Figure 3.12 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan *E*, (B) Plan *H*.

D'après la figure (3.12.A), on remarque une symétrie par rapport au plan *xy* avec un angle d'ouverture de  $87.1^\circ$  dans le plan *E*. Sur le plan *xz* (plan *H*), le rayonnement est presque omnidirectionnel comme le montre la figure (3.12.B). Ceci est dû à la géométrie de l'élément rayonnant d'une part et au plan de masse qui n'est pas assez grand d'autre part.

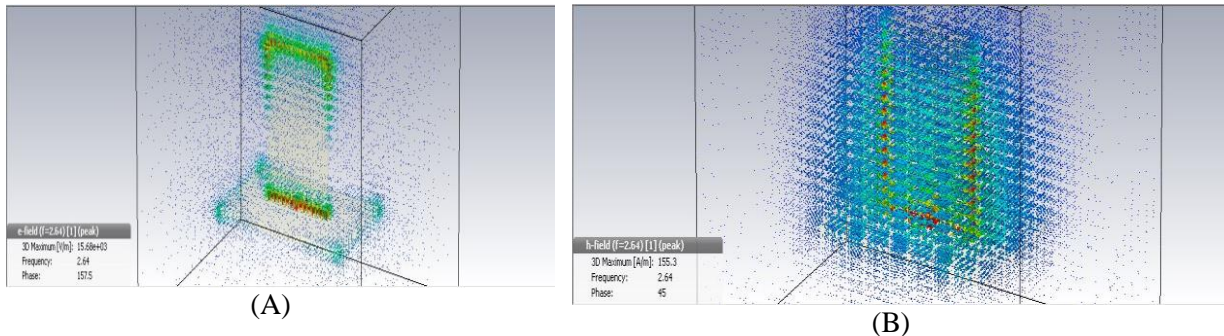
L'antenne étant large-bande, une représentation du gain en fonction de la fréquence s'avère nécessaire (figure 3.13).



**Figure 3.13 : Variation du gain en fonction de la fréquence.**

D'après la figure 3.13 ; on remarque que le gain augmente jusqu'à obtention d'une valeur maximale qui correspond à une fréquence de 2.64 GHz. Ce dernier stabilise puis augmente

### III.1.1.3.c. Représentation des champs $E$ et $H$

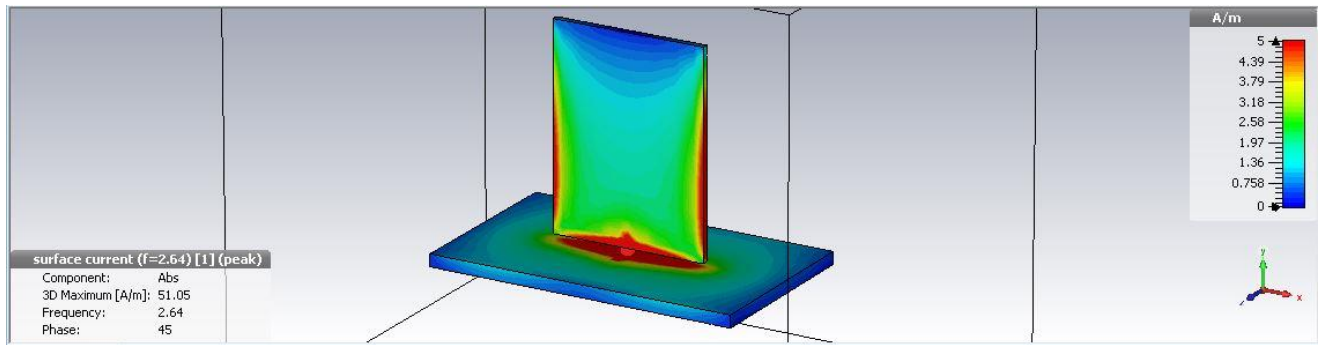


**Figure 3.14 : Distribution des champs d'une antenne monopole rectangulaire.**

**(A) champ  $E$ , (B) champ  $H$ .**

Les vecteurs de champ électrique verticaux des du plan de masse (figure 3.14(A)) sont distribués sur tout le plan de masse, le maximum du champ est concentré sur les bordures (3000V /m). Une polarisation linéaire horizontale est bien distinguée. En outre, la figure (3.14. (B)) montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopole rectangulaire, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

### III.1.1.3.d. Le courant de surface



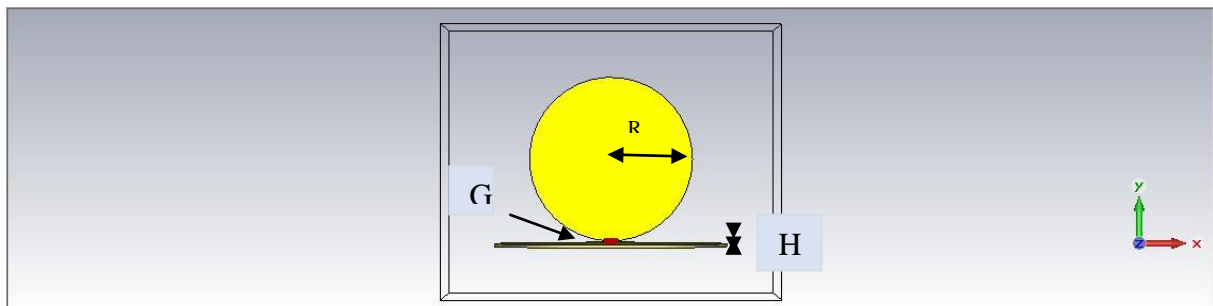
**Figure 3.15: Représentation du courant de surface d'une antenne monopole rectangulaire.**

Nous remarquons que le courant est distribué et maximal sur les deux longueurs latérales du rectangle d'une façon symétrique ainsi qu'au niveau de la source d'alimentation où il diminue en s'éloignant de celle-ci. Nous avons relevé la valeur maximale du courant surfacique (5A/m).

### III.1.2 Antenne monopole planaire circulaire

#### III.1.2.1. Géométrie de l'antenne

L'antenne monopole 3D, modélisée est représentée ci-dessous, est alimentée par un port discret d'impédance de  $37\Omega$ . Elle est constituée d'un élément circulaire de dimensions  $R=30.8$  mm et d'épaisseur  $H=1$ mm. Le plan de masse est de dimension  $R_p= 50.6$ mm. Le gap entre l'élément rayonnant et le plan de masse est noté  $g$ . toute la structure est faite à base cuivre.



**Figure 3.16: Antenne monopole en 3D alimentée par un port discret sous CST a la fréquence 2.476 GHz.**

#### III.1.2.2. Etude paramétrique

##### III.1.2.2.a. Variation de $R$

Nous avons modifié le rayon «  $R$  » du cercle de 1.6 à 2.2 mm. Sur la figure 3.17, on représente les variations de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs du rayon «  $R$  ».

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

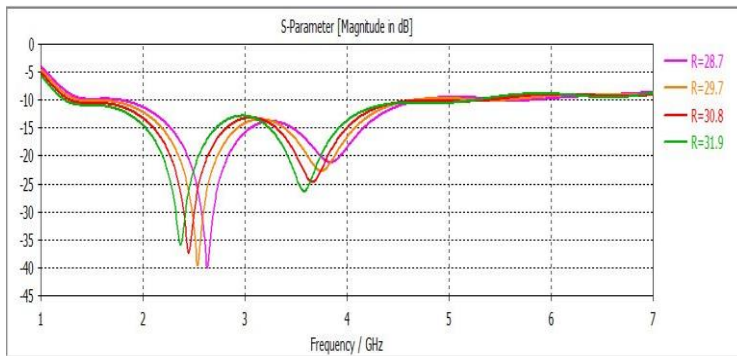


Figure 3.17: Influence du rayon «  $R$  » sur le coefficient de réflexion.

R (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
28.7	-40.134	0.67174
29.7	-39.81	3.3421
30.8	-37.636	3.4937
31.9	-35.976	4.051

Tableau 3.4 : Influence du rayon «  $R$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

D'après les graphes de la figure 3.17, on remarque que lorsqu'on augmente la valeur de «  $R$  » la valeur de la fréquence augmente et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente. On remarque que l'inverse se produit en diminuant la valeur de «  $R$  ».

### III.1.2.2.b. Variation de $G$

Dans cette section, on étudie l'effet du gap «  $G$  » sur l'adaptation de l'antenne monopole circulaire. Sur la figure 3.18, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur «  $G$  ».

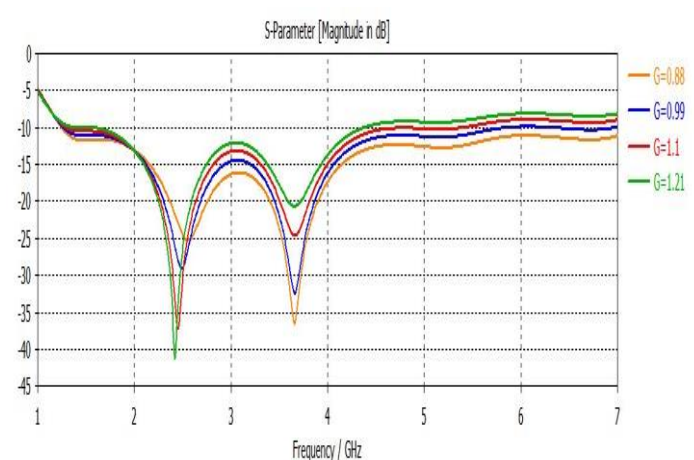


Figure 3.18: Influence du gap «  $G$  » sur le coefficient de réflexion.

G (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
0.88	-36.473	>4.8
0.99	-32.214	4.8354
1.1	-37.078	3.5272
1.21	-40.911	2.94464

Tableau 3.5: Influence du gap «  $G$  » sur la magnitude  $S_{11}$  et la Bande Passante.

D'après les graphes de la figure 3.18, on remarque que lorsqu'on augmente la valeur de «  $G$  » la valeur de la fréquence augmente et que la magnitude du paramètre  $S_{11}$  augmente. On remarque que l'inverse se produit en diminuant la valeur de «  $G$  ».

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

### III.1.2.2.c L'effet du plan de masse sur la directivité

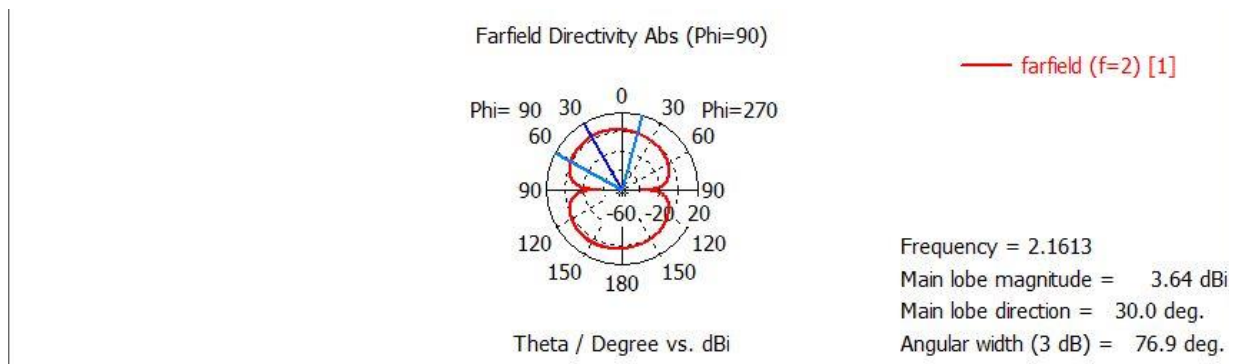


Figure 3.19 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 2.1613 GHz.

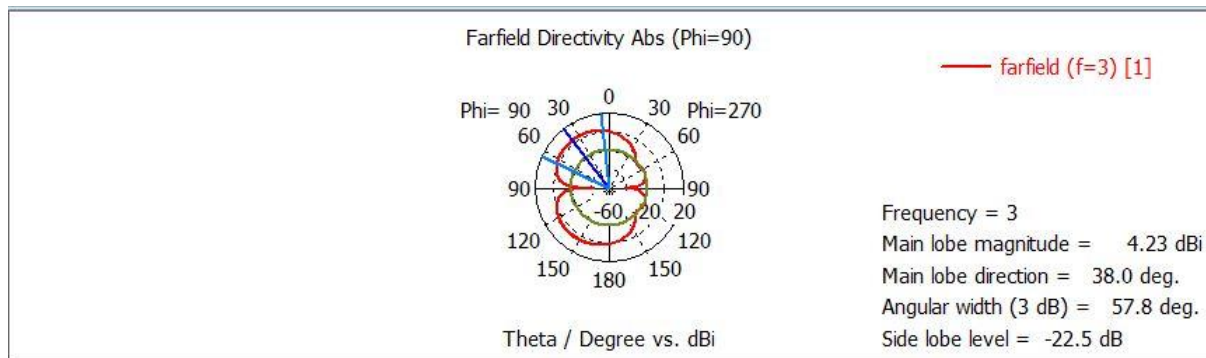


Figure 3.20 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 3 GHz.

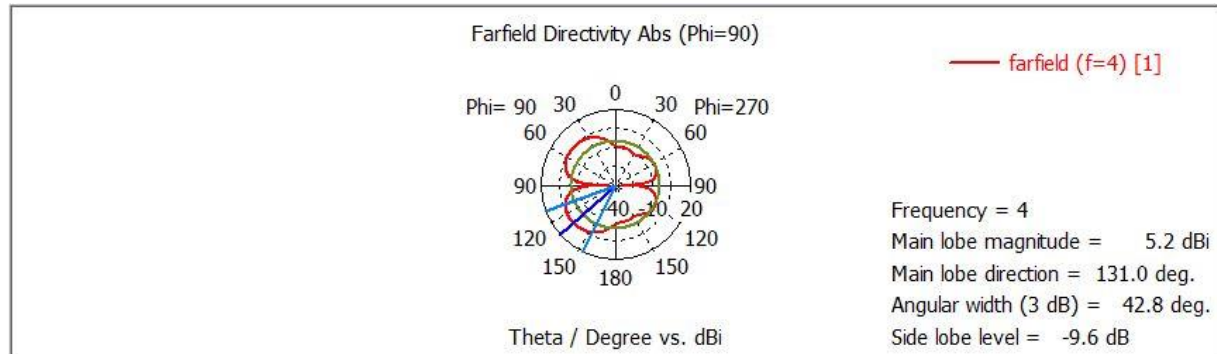


Figure 3.21 : Directivité de l'antenne en 3D à la fréquence 4 GHz.

Le diagramme de rayonnement reste directif sur toute la bande de fréquences. La direction du lobe principal reste à peu près constante lorsque la fréquence augmente, aux alentours de 60-65°. Par ailleurs, l'ouverture angulaire à -3 dB varie de 42.8 à 76.9° selon la fréquence. Cette variation angulaire à -3 dB est due principalement au fait que la distribution des courants surfaciques dépend de la fréquence.

### III.1.2.3. Résultats de la simulation après optimisation :

Après plusieurs simulations, on a obtenu les résultats suivants :



# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

## III.1.2.3.a. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Après plusieurs simulations, et modifications des paramètres de l'antenne afin d'avoir la valeur minimale du  $S_{11}$  centrée, on a obtenu une fréquence de résonance égale à 2.476GHz. Le paramètre  $S_{11}$  nous permet de visualiser l'adaptation si elle a lieu.

La conception de cette antenne par CST Microwave Studio présente une parfaite adaptation avec une large bande passante de 1.5047 GHz à 5.9047 GHz, et une bande passante de 85.72%.

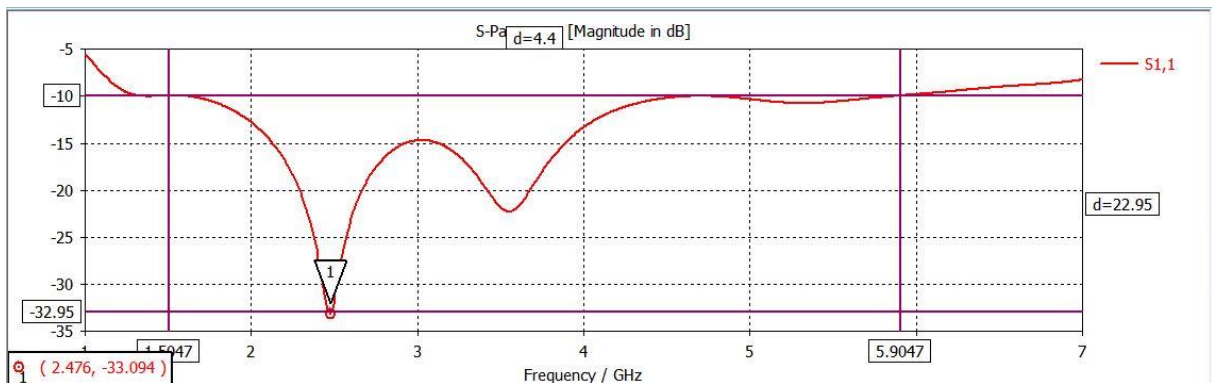


Figure 3.22 : Courbe de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

De même, nous avons tracé les lieux d'impédance d'entrée sur l'abaque de Smith qui sont présentés sur la figure 3.23.

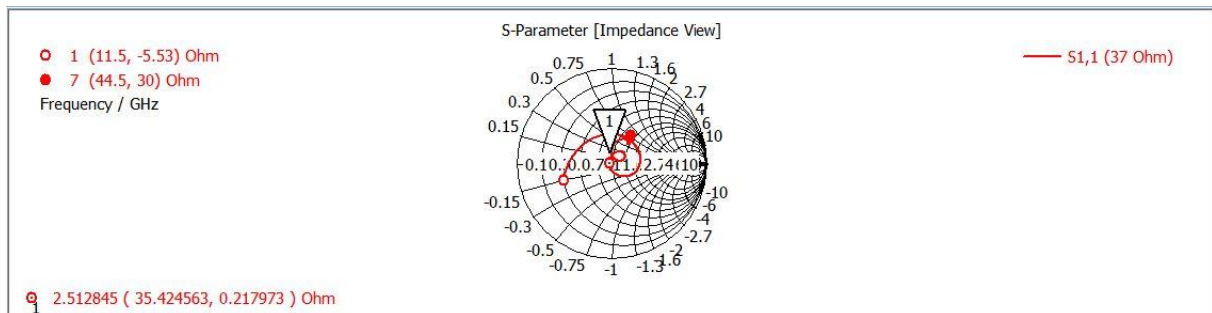


Figure 3.23: Impédance caractéristique sur l'abaque de Smith.

Le rapport d'onde stationnaire est bien en dessous de 2 sur toute la largeur de bande susmentionnée comme le montre la figure 3.24.

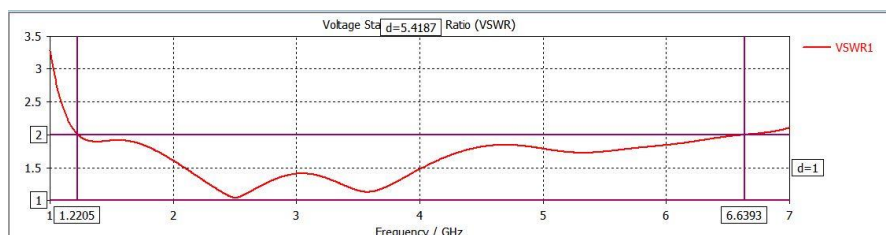


Figure 3.24 : VSWR en fonction de la fréquence.

# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

## III.1.2.3.b. Diagramme de rayonnement du gain total en 3D et 2D

Le diagramme de rayonnement simulé de l'antenne à la fréquence de résonance, est tracé à la figure (3.25). On remarque que ce dernier n'est pas omnidirectionnel dans le plan  $xz$ . Le gain simulé de l'antenne est de 4.27 dBi, cette valeur est supérieure à la directivité qui est de 4.26 dBi. Ceci laisse entendre que l'efficacité dépasse 100% ! Nous rappelons que l'alimentation de l'antenne a été réalisée par un port discret qui simule le comportement d'une ligne coaxiale idéale.

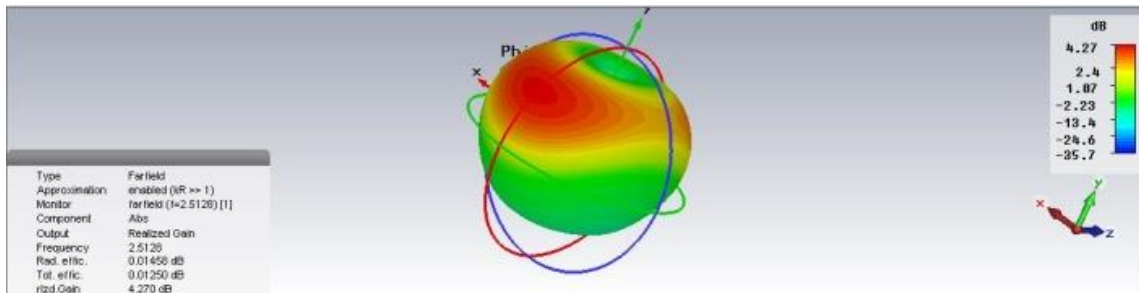


Figure 3.25 : Gain de l'antenne en 3D a la frequence 2.476 GHz.

Le gain est notamment représenté en coordonnées polaires (diagramme 2D) par la figure 3.26 dans les deux plans  $E$  et  $H$ .

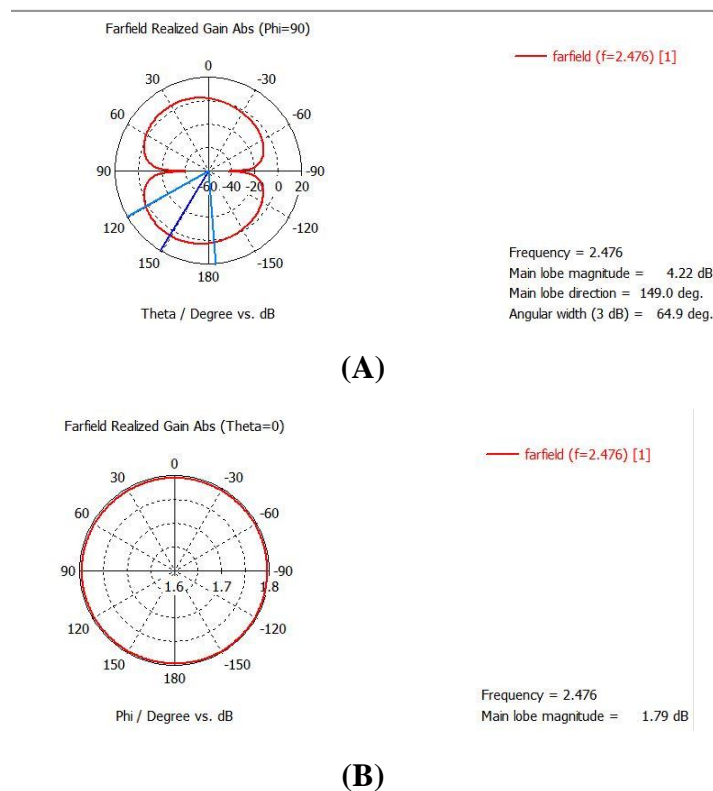
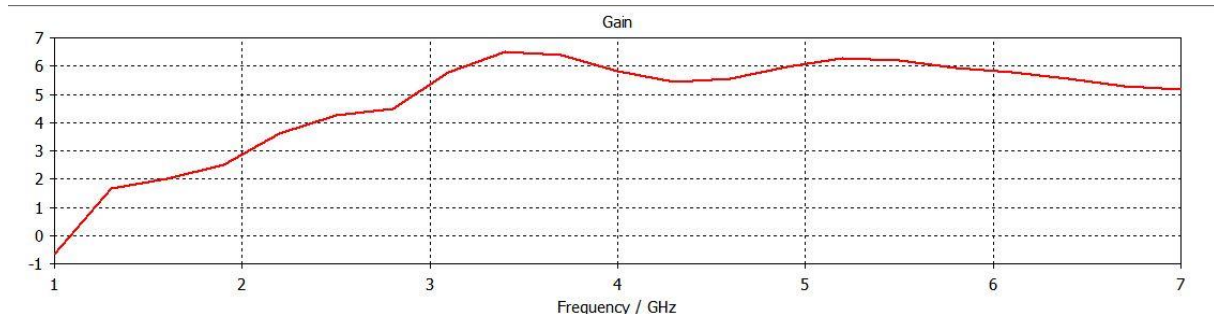


Figure 3.26 : Gain réalisé en coordonnées polaires .(A) Plan  $E$ , (B) Plan  $H$ .

## Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

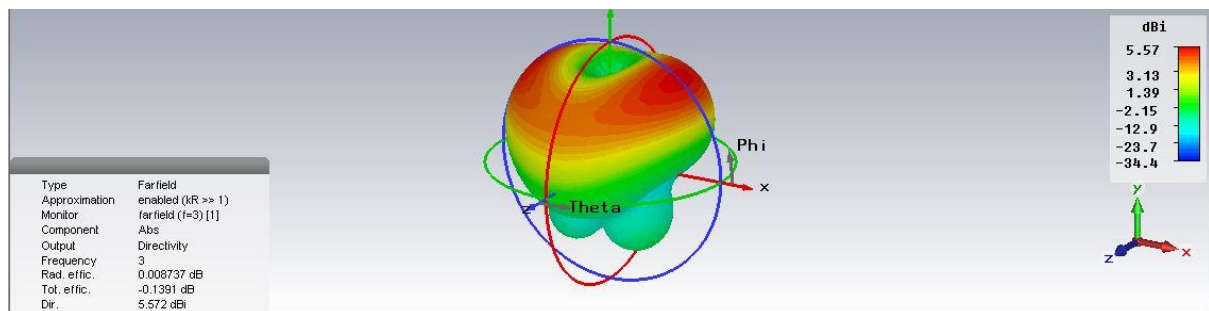
Le diagramme de rayonnement dans le plan vertical par rapport à l'antenne figure (3.26.A) et (3.26.B) représente les deux lobes principaux de l'antenne monopole elliptique. Les deux lobes sont identiques et symétriques par rapport au plan x.



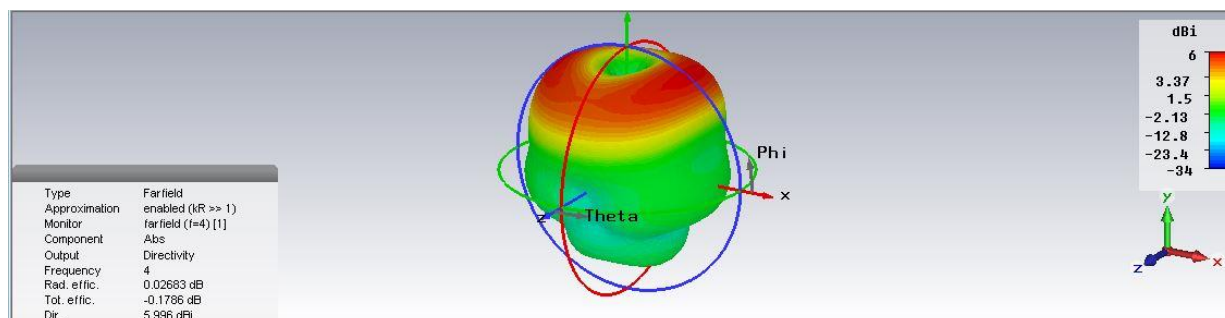
**Figure 3.27 : Variation du gain en fonction de la fréquence.**

D'après la figure 3.27 ; on remarque que le gain augmente jusqu'à obtention d'une valeur maximale à la fréquence 2.476 GHz.

Voici quelque figure qui nous montre le changement du gain tout au long de la bande passante.



**Figure 3.28 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 3 GHz.**



**Figure 3.29 : Gain de l'antenne elliptique 3D à la fréquence 4 GHz.**



# Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D

## III.1.2.3.c. Représentation des champs $E$ et $H$

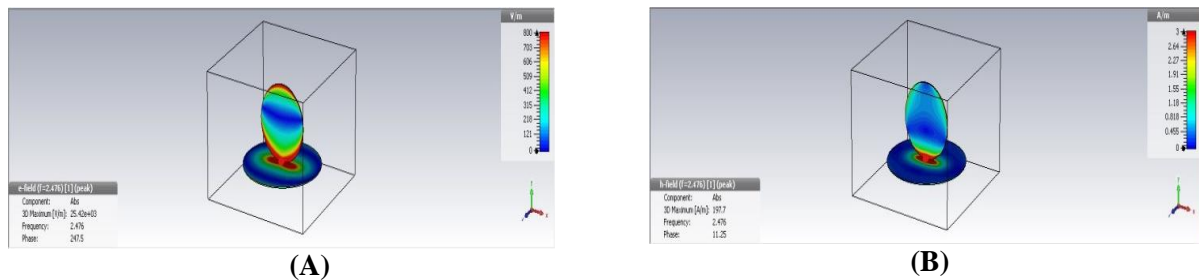


Figure 3.30 : Distribution des champs d'une antenne monopole planaire elliptique.

(A) champ  $E$ , (B) champ  $H$ .

Les vecteurs de champ électrique verticaux des du plan de masse (figure 3.30(A)) sont distribués sur tout le plan de masse, le maximum du champ est concentré sur les bordures (3000V /m). Une polarisation linéaire horizontale est bien distinguée. En outre, la figure (3.30 (B)) montre les vecteurs de champ magnétique simulés de l'antenne monopole circulaire, alors que le champ tourne de 0 à 270 degrés. À mesure que le temps augmente, les vecteurs de champ magnétique tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.

## III.1.2.3.d. Le courant de surface

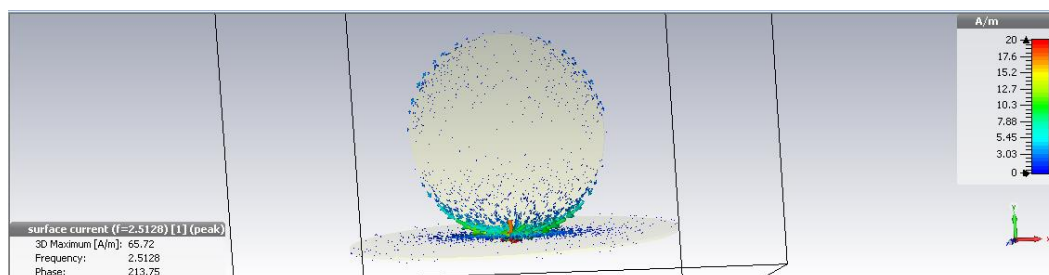


Figure 3.31 : Représentation du courant de surface d'une antenne monopole circulaire.

Nous remarquons que le courant est distribué et maximal sur les deux longueurs latérales du cercle d'une façon symétrique ainsi qu'au niveau de la source d'alimentation où il diminue en s'éloignant de celle-ci. Nous avons relevé la valeur maximale du courant surfacique (20 A/m).

## III.2. Tableau comparatif

Forme des antennes monopolaire	Fréquence de résonance (GHz)	$S_{11}$ (dB)	Bande passante (GHz)	Gain (dB)	Efficacité*%
Rectangulaire	2.6782	-25.246	1.2622	2.28	<100
Circulaire	2.476	-33.169	3.1226	4.27	<100

Tableau 3.6 : Tableau comparatif de différentes antennes simulées en 3D

## **Chapitre III : Conception d'antenne monopolaire planaire 3D**

---

### **Conclusion**

Dans ce dernier chapitre, nous avons étudié des antennes monopoles de formes circulaire et rectangulaire adaptées aux systèmes de communications ULB.

Différentes variations ont été menées sur l'élément rayonnant et le plan de masse en vue d'améliorer l'adaptation et d'avoir un fonctionnement large bande.

La comparaison entre les résultats obtenus nous a permis de remarquer que la bande passante avec un élément circulaire est meilleure que celle qui est obtenue avec un élément rectangulaire. Les deux lobes du diagramme de rayonnement dans le plan vertical sont symétriques par rapport à l'axe des y et que le gain est élevé comparé aux monopoles planaires 2D.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion Générale

---

Les travaux décrits dans ce mémoire s'inscrivent dans le domaine de la conception et de la caractérisation d'antennes Large Bande et ULB, fonctionnant entre 1 et 8 GHz. L'ensemble des travaux présentés dans ce mémoire a permis d'améliorer notre compréhension du fonctionnement des antennes monopolaires élémentaires.

L'objectif principal de ce travail était la compréhension et la maîtrise du comportement d'antennes monopoles large bande en 2D et 3D et leur adaptation aux fréquences de notre choix. Pour ce faire, le logiciel de simulation électromagnétique CST MW Studio a été utilisé comme outil pour la modélisation, la simulation et l'optimisation de ces antennes.

L'étude s'est d'abord portée sur une variation des dimensions du plan de masse et du monopole, de la ligne d'alimentation et du gap (constituants de l'antenne). Pour ce faire, on a réalisé une étude paramétrique qui consiste à fixer tous les paramètres et faire varier un seul à la fois pour étudier son influence sur les performances de l'antenne. Les résultats trouvés sont alors présentés et discutés.

A la lumière des résultats de simulations obtenus, on a pu constater d'abord que la variation de la longueur du plan de masse et de la valeur du gap par rapport à la fréquence, provoque une déformation importante dans les diagrammes de rayonnement et une désadaptation de l'antenne. Celui-ci perd sa propriété omnidirectionnelle pour d'autres valeurs de fréquences comprises dans sa bande passante hormis sa fréquence de résonance pour les antennes circulaire et elliptique qui sont alors classifiées dans la catégorie des antennes broad band. Par ailleurs, le diagramme de rayonnement est quasiment omnidirectionnel sur toute la bande de fonctionnement malgré une légère déformation concernant les antennes rectangulaire et trapézoïdale appartenant donc à la catégorie des antennes large-bande. Par la suite, pour les antennes unipolaires 2D, la forme trapézoïdale offre une bande passante supérieure à celle du monopole rectangulaire qui d'ailleurs nous donne la plus petite bande passante comparée aux autres formes. En parallèle, l'élément rayonnant elliptique permet d'avoir une bande passante meilleure qu'avec un élément circulaire cependant un fort rapport d'ellipticité peut la dégrader. L'intensité du courant maximal est concentrée sur les contours de l'élément rayonnant, et diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation. Par ailleurs, pour les antennes unipolaires 3D, les mêmes remarques sont applicables en outre du gain qui est plus élevé comparé aux monopoles planaires. Faute de temps, nous n'avons pu que faire une étude sur les deux formes circulaire et rectangulaire.

## **Conclusion Générale**

---

Bien qu'elles présentent des géométries simples, les antennes imprimées exigent des études approfondies théoriques et numériques pour la conception d'antennes performantes.

A partir de ce travail plusieurs perspectives peuvent être envisagées : il serait très intéressant d'étendre l'étude à d'autres formes d'antennes monopoles pour satisfaire des cahiers de charges bien précis (gain, efficacité, largeur de bande, fréquence de travail, type de rayonnement, etc). Une maîtrise d'autres logiciels de conception électromagnétiques comme HFSS, Momentum, IE3D, COMSOL, etc. permet d'assurer une comparaison entre les résultats obtenus par ces derniers. Cette procédure nous facilite le passage vers l'étape de fabrication et mesures, en minimisant le temps et les coûts.

## Abstract

The 2D and 3D monopole antennas developed for WideBand and Ultra-Wideband applications are very popular and have several advantages. They can in some cases, meet the requirements of existing communication systems, but can also be the starting point for developing new radiation systems to meet future communication requirements.

The work described in this thesis is in the field of design and characterisation of WideBand and Ultra-Wideband antennas, operating between 1 and 8 GHz.

The design, parametric study and optimization of 2D monopoles with rectangular, trapezoidal, circular and elliptical shapes fed by a coplanar line as well as 3D monopoles with circular and rectangular shapes fed by a discrete port are realized and simulated using CST Microwave Studio software. The influence of the various elements constituting these antennas is also studied. The simulation results are presented and discussed.

**Key words:** WideBand antenna, Ultra WideBand antenna, monopole antenna, 2D and 3D antenna, CST Microwave Studio, optimization.

## نبذة مختصرة

تحظى الهوائيات أحادية القطب ثنائية وثلاثية الأبعاد التي تم تطويرها لتطبيقات النطاق العريض والنطاق العريض للغاية بشعبية كبيرة ولها العديد من المزايا. يمكنها في بعض الحالات تلبية متطلبات أنظمة الاتصالات الحالية ولكن يمكن أن تكون أيضاً نقطة البداية لتطوير أنظمة إشعاع جديدة لتلبية متطلبات الاتصالات المستقبلية. العمل الموصوف في هذه الرسالة هو في مجال تصميم وتوصيف هوائيات النطاق العريض والنطاق العريض للغاية، التي تعمل بين 1 و 11 جيجاهرتز.

التصميم والدراسة البارامترية وتحسين أحادي القطب ثنائي الأبعاد بأشكال مستطيلة وشبه منحرف ودائرية وبيضاوية الشكل يغذيها خط متحد المستوى بالإضافة إلى أقطاب أحادية ثلاثية الأبعاد بأشكال دائرية ومستطيلة تغذيها منفذ منفصل يتم تحقيقها ومحاكاتها باستخدام برنامج CST Microwave Studio. تأثير العناصر المختلفة التي تشكل تلك الهوائيات مؤثر أيضاً. نتائج المحاكاة عرضت ونوقشت.

الكلمات الأساسية: هوائي واسع النطاق، هوائي أحادي القطب، الهوائيات ثنائية وثلاثية الأبعاد، تحسين Microwave Studio Suite

## Références Bibliographiques

- [1] Ahmed Toaha Mobashsher, « Antennes à large bande et UWB pour les applications sans fil », International journal of Antennas and Propagation, Review Article | Open Access Volume 2017 |Article ID 2390808.
- [2] Girish Kumar, “Broadband Planar Monopole Antennas”, M.Tech credit seminar report, Electronic Systems group, EE Dept, IIT Bombay submitted Nov 03.
- [3] L. Liu, SW Cheung, YF Weng et TI Yuk, « Effets du câble sur la mesure des petites antennes monopolaires UWB planes », Chapitre en libre accès avec comité de lecture, 2012.
- [4] Alexandre Boyer, cours 5 ème Année Réseau et Télécom, « Institut national des sciences appliquées de Toulouse » ,2011.
- [5] Ziani Kerarti Djalal, « Etude et conception d’antennes ultra large bande », Magister, Université Abou Barkr Belkaidde Tlemcen, 2011.
- [6] Antenne radioélectrique — Wikipédia (wikipedia.org).
- [7] Dr.Omer El Saraereh, “monopole antenna analysis”, design and simulation using computer, project, Hashemite University, 2007.
- [8] W. L. Stutzman and G. A. Theile, “Antenna theory and design”. John Wiley and Sons, Inc, pp.76,1998.
- [9] Mohamed Mansouri et El HaithemErrezoug, « Conception et Simulation d’une antenne patch ultra large bande [1-8 GHz] », Master en Aréronautique, Université de Blida, 2018-2019.
- [10] Nikolaos Hrissovalantisvardalagos, “Investigation of loaded monopole antenna”, Master ,The University of Leeds Department of Electronic & Electrical Engineering, 2000.
- [11] Mohammad Matin, Salman Naeem Khan and Muhammad Ashfaq Ahmed, “Printed Sleeve Monopole Antenna”, Department of Physics, Pakistan, pp.217.
- [12] Guozhi Zhang, Cunhui Li, Xiaoxing Zhang, Jian Zhang, Ling Chen, and Fan Liu, “Optimized sleeve monopole antenna for detection of electrostatic discharge radiation of spacecraft solar array”, Review of scientific instruments, Published online: 29 Janvier 2019.
- [13] Girish Kumar, “Monopole Antenna”, Project, Electrical Engineering Department, IIT Bombay.
- [14] [www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php](http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php).

[15] (PDF) Optimisation d'antenne compacte pour les systèmes de communication ultra large bande (researchgate.net) .

[16] [www.antenna-theory.com/m/definitions/vswr.php](http://www.antenna-theory.com/m/definitions/vswr.php).

[17] Yi Huang et Kevin Boyle, "Antennas from theory to practice", John Wiley & sons, United Kingdom, pp.139, 2008.

[18] [www.microwave-rf.com/](http://www.microwave-rf.com/)