

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département électronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : télécommunication

Spécialité : système télécommunication

Par

- **MEZIANI Youcef**
- **MANAA Noureddine**

Thème

Conception d'antenne monopole active reconfigurable multi bande

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom

Qualité

Etablissement

Dr. ADOUI Ibtissam

Président

Univ-BBA

Pr. BOUTTOUT Farid

Encadreur

Univ-BBA

M. BEHIH Mohamed

Examineur

Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie mon dieu qui m'a aidé et m'a donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leurs aides et qui ont contribué

À l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département de l'électronique.

Je tiens à remercier sincèrement mon encadreur Dr. Bouttout Farid de ce mémoire, il était toujours à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer et sans elle ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je n'oublie pas mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.



*Meziani Youcef
Manaa Nouredine*

Merci

Dédicace

A mes chers parents

A ma sœur et mes frères

A mes chères amies

A tous qui m'aiment

Meziani Youcef

Dédicace

*Je dédie ce travail à la source de tendresse
que sont mes très chers parents.*

*Tout en étant convaincue que mon succès est
une récompense pour tous leurs sacrifices,
qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus
profonde gratitude. Et tout la familles et les
amis de près ou de loin.*

Manaa Nouredine

Résumé

La multiplication future des systèmes sans fil exigera des antennes plus de fonctionnalités que nous le permettent des conceptions classiques. Les antennes reconfigurables représentent des axes de recherche et de développements importants pour introduire la flexibilité sur des caractéristiques d'antennes.

Les antennes reconfigurables offrent de multiples fonctions en changeant dynamiquement leurs propriétés telles que la fréquence de fonctionnement, la polarisation, le diagramme de rayonnement ou toute combinaison de ces trois paramètres. Dans ce projet, nous proposons deux antennes reconfigurables en fréquence simulée à l'aide du logiciel HFSS.

Les résultats obtenus montrent l'intérêt des antennes reconfigurables par rapport aux antennes classiques dans le domaine des radiocommunications.

Mots-clés: Antennes reconfigurable, HFSS, PIN, RFID.

Abstract

The future multiplication of wireless systems will require antennas more functionality than conventional designs allow. The reconfigurable antennas represent important research and development axes for introducing flexibility on antenna characteristics. Reconfigurable antennas offer multiple functions by changing dynamically their properties such as operating frequency, polarization, radiation pattern, or any combination of these three parameters.

In this project, we propose two antennas reconfigurable in simulated frequency using software HFSS.

The results obtained show the interest of reconfigurable antennas with respect to the conventional antennas in the field of radio communications.

Keywords: Reconfigurable antennas, HFSS, RFID, PIN

Table des matières

1	Table des matières	
	Introduction générale	1
1	Chapitre 1	3
1.1	Introduction	3
1.2	Définition d'antenne	3
1.3	Coefficient de réflexion et Rapport d'onde stationnaire	4
1.3.1	Directivité	5
1.3.2	Gain	5
1.3.3	Rendement de l'antenne	6
1.3.4	Diagramme de rayonnement	6
1.3.5	Ouverture a -3dB	7
1.3.6	Impédance d'entrée	9
2	Antennes reconfigurables	9
2.1	Définition	9
2.2	Types de la reconfigurabilités	10
2.3	La reconfiguration en fréquence	10
2.4	La reconfiguration en polarisation:	11
2.5	La reconfiguration en diagramme de rayonnement :	11
2.6	Technique de la reconfigurabilité	12
2.7	La modification géométrique	12
2.8	Fente ou ligne commutable	13
2.9	Diode PIN	13
2.10	Diode Vari cap	14
2.11	MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)	14
2.12	L'intégration de matériaux intelligents	15
3	Contexte et Applications	16
3.1	Les avantages pour une antenne reconfigurable	16
3.2	Inconvénients pour une antenne reconfigurable	17
4	Conclusion	18

Table des matières

1	Chapitre 2.....	20
1.1	Introduction	20
1.2	Présentation du simulateur ANSYS	20
1.2.1	Logiciel ANSYS Designer	20
1.2.2	Différentes étapes d'utilisation du logiciel	20
1.2.3	La fenêtre d'ANSYS HFSS possède plusieurs panneaux facultatifs	20
2	Présentation de l'antenne reconfigurable étudiée.....	21
2.1	Descriptions de patch.....	21
3	Modélisation de la diode PIN.....	22
3.1	Modélisation par un plot métallique	22
3.2	Modélisation par un circuit RLC équivalent	23
3.3	Circuit équivalent pour les modes (on/off) de la diode pin.....	23
4	Résultats numérique et commentaire.....	25
4.1	Coefficient de réflexion	25
4.2	Distribution de courant surfacique	62
5	Conclusion.....	78
	Conclusion générale	81
	BIBLIOGRAPHIE	

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : schéma descriptif d'une antenne	3
Figure 2: Diagramme de rayonnement (a) Source isotrope, (b) Source directive.	7
Figure 3 : Illustration de l'angle d'ouverture	8
Figure 4 : antenne reconfigurable en fréquence utilisant commutateurs RF-MEMS [10]	11
Figure 5 : antenne patch en anneau a polarisation circulaire reconfigurable [11] (Huang, 2008)	11
Figure 6: exemple sur la reconfigurabilité géométrique mécanique d'antenne [12](Sokol, 2013)	12
Figure 7: antenne patch reconfiguré par le fente ou ligne commutable [12](Sokol, 2013)	13
Figure 8: schéma de la diode pin	14
Figure 9: Commande par changement de matériau [12](Sokol, 2013)	15
Figure 10: L'interface de logiciel ANSYS HFSS	21
Figure 11: La géométrie de l'antenne planificateur reconfigurable en fréquence hexa-bande : (a) Vue de face. (b) Vue latérale. (c) Vue arrière. [18]	22
Figure 12 : La configuration des diodes pin RF : (a) Modèles de circuits équivalents pour les états ON et OFF du commutateur. (b) CST model [18]	23
Figure 13: structure de l'antenne étudiée	24
Figure 14: structure de la diode pin	24
Figure 15: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état (0,0,0)	26
Figure 16: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.908$	26
Figure 17 représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	27
Figure 18: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=7.3160$	28
Figure 19 : représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	29
Figure 20: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état (0,0,1)	30
Figure 21: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.580$	30
Figure 22: représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F_1 pour θ varie de 90° et 0°	31
Figure 23: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.4680$	32
Figure 24 : représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	33
Figure 25: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état (0,1,0)	34

LISTES DES FIGURES

Figure 26 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.0760$	35
Figure 27: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	36
Figure 28 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=7.172$	37
Figure 29: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F_4 pour θ varie de 90° et 0°	38
Figure 30: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état $(0,1,1)$	39
Figure 31 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.6920$	40
Figure 32: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	41
Figure 33: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.4840$	42
Figure 34: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	43
Figure 35 : représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état $(1,0,0)$	44
Figure 36 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.0440$	45
Figure 37: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	46
Figure 38: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$	47
Figure 39: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$	48
Figure 40: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état $(1,0,1)$	49
Figure 41: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.044$	50
Figure 42: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	50
Figure 43: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.7080$	51
Figure 44: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	52
Figure 45: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état $(1,1,0)$	53
Figure 46: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.3240\text{GHZ}$	53

LISTES DES FIGURES

Figure 47: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	54
Figure 48: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$	55
Figure 49: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	56
Figure 50: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état $(1,1,1)$	57
Figure 51: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.0520$	58
Figure 52 : représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	59
Figure 53: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.5480$	60
Figure 54 : représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°	61
Figure 55 : la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.9080$	62
Figure 56: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=7.3160$	63
Figure 57: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.5880$	64
Figure 58: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.4680$	65
Figure 59: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.0760$	66
Figure 60: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=7.172$	67
Figure 61: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=2.6920$	68
Figure 62 : la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.4840$	69
Figure 63: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.0440$	70
Figure 64: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.82$	71
Figure 65: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.044$	72
Figure 66: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.7080$	73
Figure 67: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=2.3240$	75
Figure 68: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.82$	75
Figure 69: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=2.0520$	76
Figure 70: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.5480$	78

LISTES DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Dimensions détaillées de l'antenne hexa-bande</i>	22
<i>Tableau 2: représente les valeurs de la diode pin.</i>	23
<i>Tableau 3: état de diode (0,0,0)</i>	25
<i>Tableau 4: état de la diode (0,0,1)</i>	29
<i>Tableau 5: état de diode (0,1,0)</i>	33
<i>Tableau 6: état de diode (0,1,1)</i>	38
<i>Tableau 7 : état de diode (1,0,0)</i>	43
<i>Tableau 8: état de diode (1,0,1)</i>	48
<i>Tableau 9: état de diode (1,1,0)</i>	52
<i>Tableau 10: état de diode (1,1,1)</i>	56

LISTES DES TABLEAUX

Introduction générale

Introduction Générale

Introduction Générale

Les antennes reconfigurables constituent un concept déjà relativement ancien l'intégration de composants sur les antennes souvent dénommées "antennes actives" remontant aux années 1960 est pratiquée depuis longtemps. Cependant, ces antennes suscitent depuis quelques années un intérêt croissant, dans la mesure où elles apparaissent de plus en plus apporter des solutions nouvelles et enrichissantes à l'interface entre le milieu de propagation et l'étage d'extrémité des terminaux ou stations mettant en œuvre des approches de radio flexible (logicielle/cognitive). En effet, les antennes reconfigurables offrent la possibilité de déléguer à l'antenne elle-même une partie des fonctionnalités généralement réservées à l'étage radio ou au traitement du signal numérique. Au delà de ces systèmes novateurs, les antennes reconfigurables présentent également de nombreux avantages par rapport à des antennes classiques, moins spectaculaires mais qui pourraient se révéler déterminants, en termes de durée d'emploi, de compacité et d'intégration. Les travaux présentés dans ce manuscrit ont principalement deux objectifs. Le premier est de tenter de parvenir à une classification des antennes reconfigurables, afin d'aboutir à une vision à la fois structurée et la plus exhaustive possible des différents types d'antennes reconfigurables existantes. Le second objectif consiste à étudier la viabilité technologique de l'approche, par le développement de prototypes aux fonctionnalités évoluées qui pourraient apporter des possibilités nouvelles pour la mise en œuvre de la radio logicielle. La terminologie "antenne reconfigurable" étant assez vague, nous avons décidé d'adopter dans ce mémoire la définition large suivante : "une antenne reconfigurable est une antenne dont on peut modifier au moins l'une des caractéristiques, après sa fabrication, à l'aide d'un signal de commande". Selon cette définition, il existe donc un très grand nombre d'antennes reconfigurables, aux fonctionnalités très diversifiées. En conséquence, nous commencerons pour bien poser le cadre du travail par tenter de classer ou de catégoriser (les deux mots seront utilisés indifféremment par la suite) les antennes reconfigurables, selon la fonctionnalité qu'elles proposent. Cette classification sera présentée

Introduction Générale

dans le premier chapitre, précédée par un exposé des avantages de ces antennes ainsi que de leurs applications les plus prometteuses

Dans le premier chapitre, nous nous attacherons à détailler la méthodologie de conception et de simulation des antennes reconfigurables. En effet, l'ajout de composants actifs dans une structure géométrique rayonnante s'accompagne de difficultés à la fois conceptuelles (comment simuler précisément une telle antenne ?) et pratiques (comment bien choisir et bien utiliser les composants ?). Le développement de ces méthodes de conception représente une partie importante des travaux menés, c'est pourquoi nous avons décidé de lui consacrer un chapitre entier.

Enfin, le dernier chapitre sera consacré à trois antennes reconfigurables aux caractéristiques fréquentielles ultra large bande et dont les fonctionnalités sont complémentaires. Ainsi, on introduira deux antennes présentant une bande ultra large commutable ainsi qu'une bande de fréquence étroite accordable. La troisième antenne proposée présente une bande ultra large et une réjection en fréquence à bande étroite et accordable. Les résultats de mesure seront en outre étayés par la présentation de résultats de mesure. La conclusion permettra d'ouvrir plusieurs pistes de recherche qui nous semblent les plus intéressantes, dans la continuité des travaux ici présentés et qu'il sera probablement nécessaire de suivre pour faire des antennes reconfigurables une alternative viables à certains systèmes existant aujourd'hui.

La conclusion permettra d'ouvrir plusieurs pistes de recherche qui nous semblent les plus intéressantes, dans la continuité des travaux ici présentés et qu'il sera probablement nécessaire de suivre pour faire des antennes reconfigurables une alternative viables à certains systèmes existant aujourd'hui

Chapitre 1

2 Chapitre 1

2.1 Introduction

La multiplication future des systèmes sans fil exigera des antennes plus de fonctionnalités que nous le permettent des conceptions classiques. Les antennes reconfigurables représentent des axes de recherche et de développements importants pour introduire la flexibilité sur des caractéristiques d'antennes. L'intérêt et le but de ces antennes sont de rendre les systèmes de télécommunication plus flexible, souple et rapide dans des applications diverses tels que les télécommunications terrestres et spatiales, la RFID, les radars et les guerres électroniques.

Dans ce chapitre nous adoptons un rappel sur les antennes et leurs caractéristiques, on définit par la suite la technologie de reconfigurabilité et les techniques utilisées pour l'obtenir et on termine par ses avantages et inconvénients

2.2 Définition d'antenne

C'est un dispositif utilisé pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace libre émission et/ou le capte en réception. Son rôle est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique (émission) ou l'inverse (réception).[1] (wikipédia)

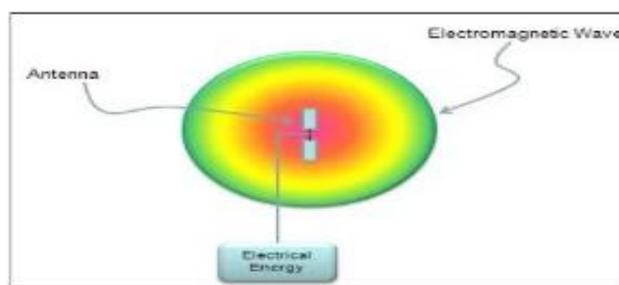


Figure 1 : schéma descriptif d'une antenne

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

Il existe plusieurs types d'antennes classées par rapport à leur principe de fonctionnement et leur rôle dans le système qui sont:

- Antennes filaires (dipôle, monopôle, Yagi)
- Antennes à fentes (demi ou quart d'onde)
- Antennes à ouverture (cornet)
- Antennes à réflecteurs (paraboles)
- Antennes patchs (planaires)

2.3 Coefficient de réflexion et Rapport d'onde stationnaire

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

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

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_0}{Z_{ant} + Z_0} \quad (1)$$

Où Z_0 est l'impédance de normalisation généralement égale à 50Ω .

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log(S_{11}) \quad (2)$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négativement, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal [2]. (Bachir, 2015)

Dans la pratique, l'adaptation est caractérisée par le module du coefficient de réflexion ou, le plus souvent, par le "Rapport d'Onde Stationnaire" (R.O.S.) [3]. (Benamor, 2015)

Lorsque l'adaptation n'est pas parfaite, la partie de l'onde réfléchie se superpose à l'onde incidente pour ne former qu'une seule onde, appelée onde stationnaire. Il se définit

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire. Le ROS ou VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) peut également s'exprimer à partir du coefficient de réflexion que nous venons de définir à travers l'expression [4] (Emmanuel D. , 2010)

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

Le terme de TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) peut être utilisé à la place de ROS [2]. (Benamor, 2015)

2.3.1 Directivité

La directivité (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [5]. (D .Walid, 2017)

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_R} \quad (4)$$

Où : (θ, φ) : La puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ) .

P_R : La puissance totale rayonnée.

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope [6] (Hamid, 2012)

2.3.2 Gain

Le gain d'une antenne dans une direction peut être exprimé par le rapport de la puissance rayonnée dans une direction par la puissance absorbée par une antenne isotrope.

Dans une antenne, la puissance d'alimentation n'est pas nécessairement rayonnée en totalité, du faite des pertes intrinsèques dans les matériaux constituant l'antenne. Par

conséquent, si on remplace P_R par P_A dans la relation Equ(I.6) on obtient une quantité $G(\theta, \varphi)$ appelée gain dans la direction (θ, φ) , tel que [8] (Hamdiken, 2017):

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad (5)$$

Avec $P_R = P_A \cdot \eta$. Généralement le gain est exprimé en dB :

$$G_{dB}(\theta, \varphi) = 10 \log \left(4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \right) \quad (6)$$

Où : P_A : La puissance d'alimentation d'une antenne.

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante [7]:

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (7)$$

Où : η : Le rendement.

2.3.3 Rendement de l'antenne

Soit P_A la puissance d'alimentation d'une antenne. Cette puissance est transformée en une puissance rayonnée P_R . Dans le sens de l'émission, la puissance rayonnée est inférieure à la puissance d'alimentation. L'antenne est un transformateur imparfait. Il y a des pertes lors de la transformation d'énergie, comme dans tout système. L'efficacité de l'antenne est définie [8] (M. Meriem, 2017)

$$\eta = \frac{P_R}{P_A} \quad (8)$$

Elle permet de mesurer le taux de transformation. C'est un rendement au sens thermodynamique du terme : $\eta \leq 1$

2.3.4 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation graphique en 2D ou 3D de la distribution de puissance ou de l'intensité de champ rayonné (capté) par l'antenne en fonction

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

des coordonnées spatiales. Il change d'une antenne à une autre, il peut être omnidirectionnel comme dans le cas d'une antenne isotrope qui rayonne de façon identique dans toutes les directions (figure 3) ou directif, comme dans le cas d'une antenne sectoriel, où l'énergie rayonnée est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : l'antenne présente alors des lobes de rayonnement principales et secondaires (figure I.4.b) [7]. (Hamdiken, 2017)

$$P(\theta, \varphi) = \frac{Pa}{4\pi} \quad (9)$$

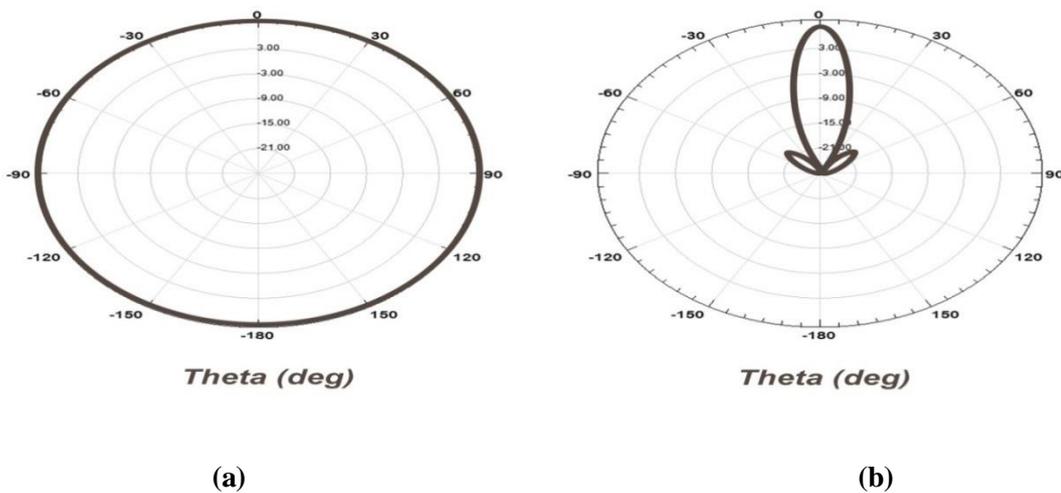


Figure 2: Diagramme de rayonnement (a) Source isotrope, (b) Source directive.

La fonction caractéristique de rayonnement $f(\theta, \varphi)$ de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ à la puissance P_{\max} de la direction où le rayonnement est maximal [9]. (Eddine, 2014)

2.3.5 Ouverture a -3dB

Si G_m est le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

moitié du gain maximal (gain à -3 dB), soit $G_m/2$, C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3dB sur le diagramme de rayonnement de la figure 4.

Comme le montre la figure, l'angle d'ouverture est défini dans un plan qu'il convient de préciser.

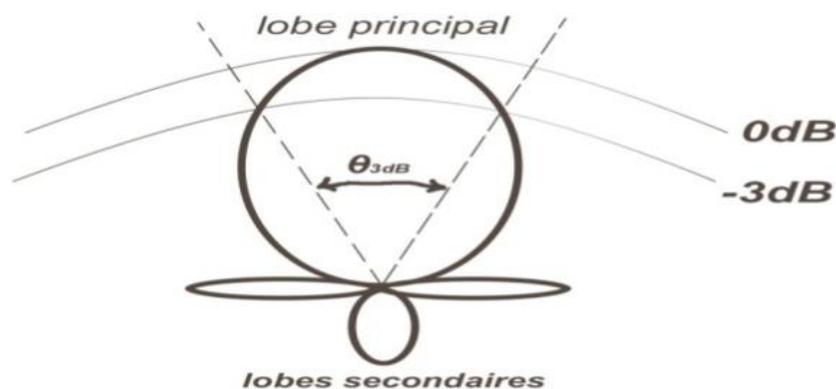


Figure 3 : Illustration de l'angle d'ouverture

- ❖ **Un lobe principal:** C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.
- ❖ **Des lobes secondaires:** Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.
- ❖ **Un lobe arrière (rayonnement arrière):** C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal.

Dans la plupart des systèmes antennaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les lobes secondaires.

Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives présentant un lobe principal de rayonnement. L'angle d'ouverture est une donnée importante pour les antennes très directives utilisées dans des liaisons point à point ou alors dans la mise en œuvre d'antennes sectorielles au niveau des stations de base des réseaux de téléphonie sans fil [4]. (Emmanuel D. , 2010)

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

2.3.6 Impédance d'entrée

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

$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant} \quad (10)$$

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

La partie réelle de l'impédance d'entrée regroupe la résistance de rayonnement R_{ray} et la résistance de perte R_{pertes} comme exprimées dans (12). La résistance de rayonnement correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne alors que la résistance de perte correspond aux pertes de conduction, aux pertes diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne.

$$R_{ant} = R_{ray} + R_{pertes} \quad (11)$$

3 Antennes reconfigurables

3.1 Définition

Le terme antenne reconfigurable a été introduit pour la première fois en 1998. Est une antenne capable de modifier dynamiquement au moins une de ses caractéristiques en fonction des besoins dictés par l'environnement de l'antenne et les besoins de l'application. L'avantage de base d'une telle antenne c'est qu'à partir d'une antenne classique à fonctionnement fixe et en intègrent un mécanisme intérieur de nature électrique, mécanique, optique ou autre (tels que les commutateurs RF, des vara tors, des actionneurs mécaniques ou des matériaux accordables) nous parvenons à étendre les capacités et améliorer le fonctionnement et les performances des terminaux sans fils avec un minimum d'impact sur la complexité et le cout de ces systèmes Il existe une très large variété d'antennes reconfigurable: selon la propriété physique qui les rend reconfigurable, selon les fonctions de

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

réconfigurabilité qu'elles offrent, la technologie apparaissant ainsi comme le résultat d'un besoin : reconfiguration en fréquence; reconfiguration du rayonnement; reconfiguration de la polarisation; et toute combinaison des trois configurations précédentes[10](Nguyen, 2012)

3.2 Types de la réconfigurabilités

Les antennes reconfigurables peuvent être classées en fonction de leur fonctionnalité en Polarisation, fréquence, et reconfiguration du diagramme de rayonnement. Ces fonctions peuvent être obtenues par des mécanismes spécifiques comme la commutation, les modifications Structurelles et le réglage des matériaux

3.3 La reconfiguration en fréquence

Le besoin de dispositifs accordables en hyper fréquence a toujours existé, pour compenser exemple les dérives technologiques ou pour augmenter l'intégration de fonctions.

La reconfiguration en fréquence concerne plusieurs fonctions

La commutation consiste à permettre à l'antenne de commuter entre plusieurs bandes. Les antennes à commutation sont celles qui permettent d'avoir les excursions en fréquence les plus élevées, car il est possible de commuter des sections d'antenne de longueur différentes et de changer la fréquence de résonance de manière inversement proportionnelle à la modification de la longueur électrique effective. Les antennes accordables en fréquence offrent la possibilité de faire varier de façon continue une ou plusieurs fréquences résonance [10](Nguyen, 2012)

La figure suivante illustre une antenne patch de type papillon, constituée de triangles identiques. Des interrupteurs de type RF-MEMS sont ensuite placés entre les triangles. L'antenne a été conçue pour fonctionner dans trois bandes de fréquence autour de 8, 14, et 24 GHz.

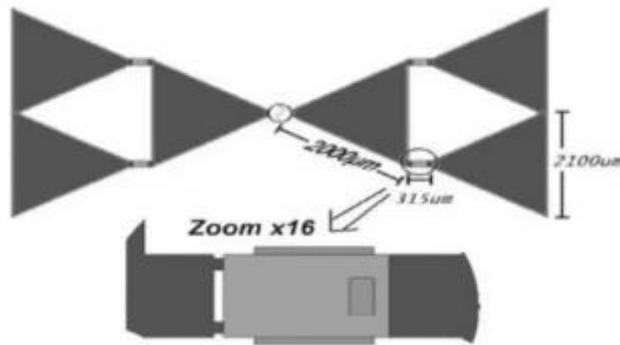


Figure 4 : antenne reconfigurable en fréquence utilisant commutateurs RF-MEMS [10]

3.4 La reconfiguration en polarisation:

Il s'agit de modifier l'orientation vectorielle du champ E tout en gardant le même comportement fréquentiel (mêmes fréquences de résonance) et même rayonnement. Elle offre une meilleure efficacité dans la réception du signal de communication

La figure 5 présente un exemple de circuit d'excitation reconfigurable d'un patch il devient alors possible de changer le sens de circulation des courants dans le U d'alimentation et par suite le type de polarisation circulaire de l'antenne (gauche ou droite).

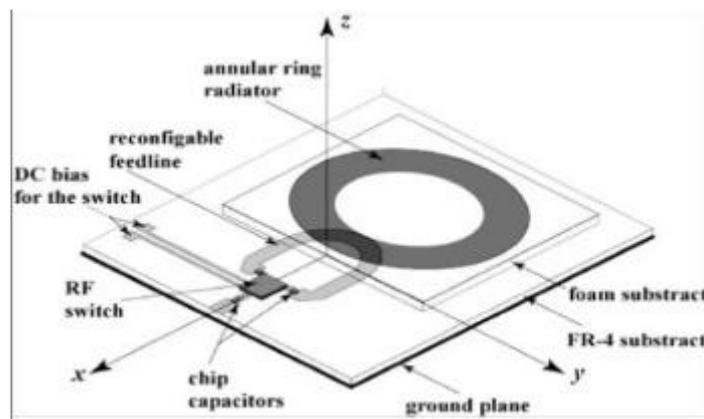


Figure 5 : antenne patch en anneau a polarisation circulaire reconfigurable [11] (Huang, 2008)

3.5 La reconfiguration en diagramme de rayonnement :

C'est la capacité de modifier la forme et la direction des diagrammes de rayonnement avec beaucoup moins de complexité que les réseaux à déphaseurs classiques afin de privilégier

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

non certaines directions. Cette fonctionnalité permet d'optimiser les bilans de liaison et ainsi d'améliorer les débits de transmission. Elle permet également de diminuer les interférences avec d'autres utilisateurs, d'éviter les phénomènes d'évanouissements dans les environnements multi-trajets et d'augmenter l'autonomie afin d'améliorer la performance globale du système. Il existe plusieurs concepts de reconfiguration de diagramme. Parmi les techniques, on trouve la modification géométrique, l'utilisation de courts circuits commutables et l'insertion de fentes commutable

3.6 Technique de la reconfigurabilité

Il existe plusieurs techniques de reconfiguration et différents moyens pour les mettre en œuvre, plus efficace et moins coûteuses.

3.7 La modification géométrique

De nombreuses antennes reconfigurables utilisent la modification géométrique. Le principe de fonctionnement est basé sur la modification de la longueur électrique de l'élément rayonnant. Cette technique peut être appliquée à différentes formes d'antennes (dipôles, patch, fractales....). Ce type d'antennes comporte des motifs avec des tailles différentes.

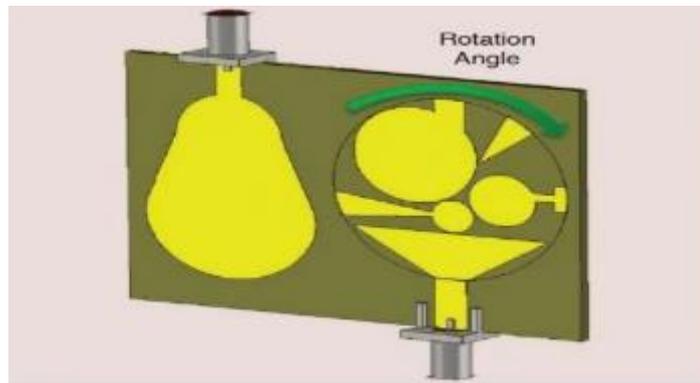


Figure 6: exemple sur la reconfigurabilité géométrique mécanique d'antenne [12](Sokol, 2013)

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

3.8 Fente ou ligne commutable

Les fentes et les lignes commutables sont également très utilisées pour rendre une antenne reconfigurable (reconfigurées électriquement). En effet ajout de fentes ou des lignes chargées par des composantes (diode PIN, diode Varactors, MEMS...etc.) Ces éléments permettent de modifier le trajet des courants surfaciques ainsi que la longueur électrique de l'antenne.

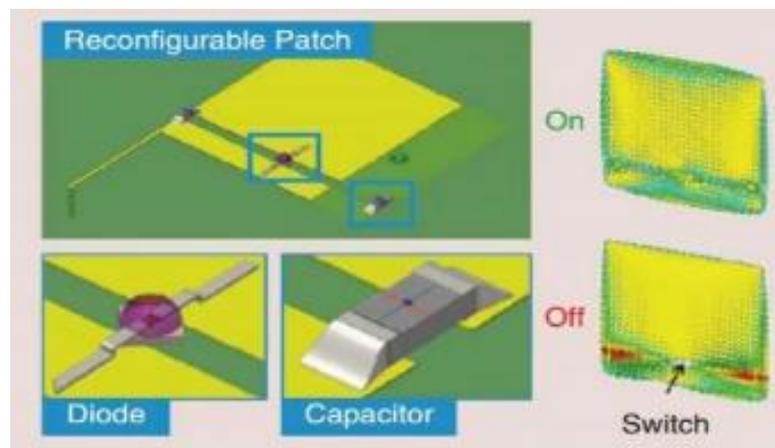


Figure 7: antenne patch reconfiguré par le fente ou ligne commutable [12](Sokol, 2013)

3.9 Diode PIN

C'est un dispositif semi-conducteur qui peut faire varier sa résistance en série en fonction la tension appliquée par sa cathode et son anode. Idéalement, ce composant agit comme un Court-circuit en état ON et un circuit ouvert en état OFF.

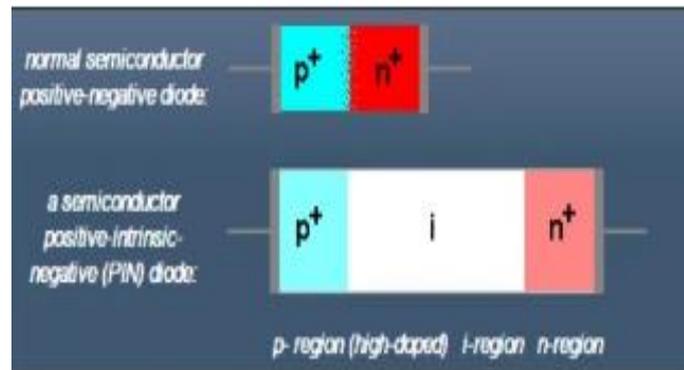


Figure 8: schéma de la diode pin

La diode pin est une composante à faible coût, une dimension variée ainsi qu'un commutateur rapide.

Typiquement, la diode PIN peut traiter l'énergie de l'ordre de 40 dBm qui est adaptée pour des nœuds de capteur sans fil ou des applications de téléphones portables. Cependant, son principal inconvénient est la forte consommation de courant continu en état ON. La diode PIN a été utilisée dans de nombreux types d'antennes telles que des dipôles imprimés, des antennes à fentes des antennes patch micro ruban des pifa et des antennes diélectrique à résonateur

3.10 Diode Vari cap

C'est une diode qui se comporte comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes, lorsque l'on change sa tension de polarisation, on change la valeur de cette capacité. Bien que ces types présentent une certaine facilité d'intégration et une grande agilité.

3.11 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

De type « switch RF » sont des composants utilisant un mouvement mécanique qui permet d'obtenir un court-circuit ou un circuit ouvert sur une ligne de transmission. Ces composants se distinguent par leur très faible consommation de puissance et faible temps de réponse.

3.12 L'intégration de matériaux intelligents

Les matériaux intelligents sont utilisés le plus souvent comme substrat dont les propriétés électromagnétiques (permittivité et/ou perméabilité) peuvent être modifiées via une commande externe (par l'application d'un champ électrique et /ou magnétique) assurant ainsi l'agilité des antennes. La nature de la commande externe permet de distinguer deux sous-ensembles : les matériaux à commande électrique (ferroélectrique et cristaux liquides) et les matériaux à commande magnétique (ferrites, composites ferromagnétiques). Ils offrent l'avantage d'être peu encombrants et de plus e plus facilement intégrables. état de l'art sur la reconfigurabilité

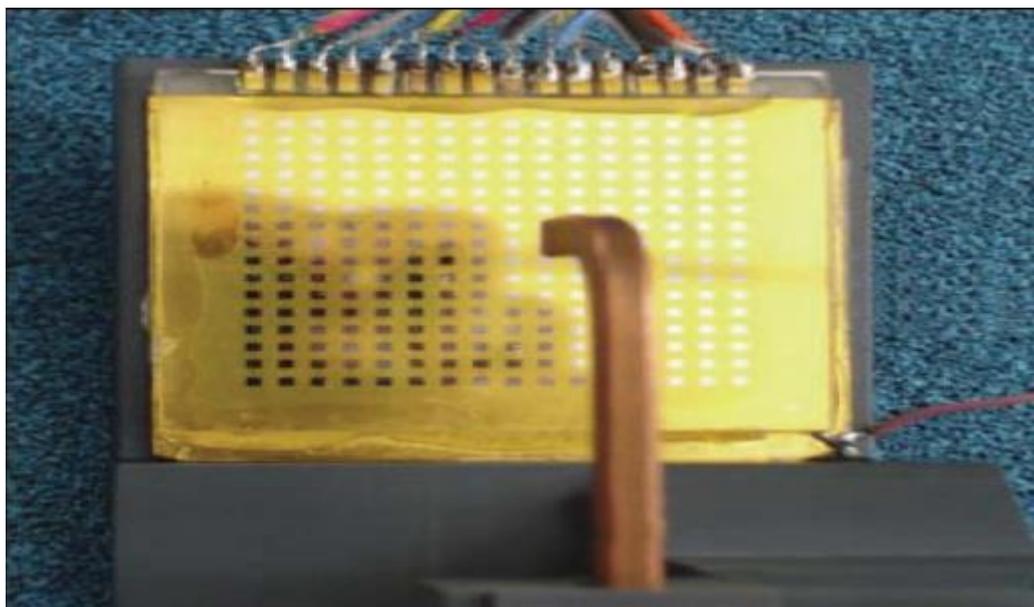


Figure 9: Commande par changement de matériau [12](Sokol, 2013)

Comme le montre la figure 10, cette technique de commande qui a été dans [13] (Langley., 2008) [14] (Langley., 2008) consiste à utiliser le cristal liquide, comme substrat de l'antenne. Ces derniers (matériaux à cristaux liquides) possèdent aussi la particularité de changer de permittivité une fois un champ électrique statique est appliqué. Cette caractéristique peut alors être exploitée pour commander l'antenne.

4 Contexte et Applications

Dans quel contexte a-t-on besoin d'antennes reconfigurables ? Quels en sont les avantages et inconvénients ?

4.1 Les avantages pour une antenne reconfigurable

Tout d'abord, les antennes reconfigurables présentent un avantage concernant leur durée d'emploi. En effet, une antenne classique est figée et ne peut fonctionner qu'aux fréquences pour lesquelles elle a été conçue à l'origine. Dans le cas d'une antenne reconfigurable, il est envisageable de pouvoir accorder sa fréquence de fonctionnement à un standard qui n'existait pas ou n'avait pas été pris en compte lors de la création de la dite antenne : cela permet notamment d'accéder à de nouveaux standards (avec possibilité de commutation rapide et régulière entre les différentes fréquences), et peut donc augmenter notablement sa durée de vie. Ceci peut être avantageux dans les domaines où infrastructures et matériels sont destinés à être opérationnels pendant une longue durée (infrastructures de réseaux de communication, matériel militaire, industrie spatiale) et où le coût supplémentaire induit par la complexité accrue de ces antennes est amorti par l'augmentation de leur durée d'emploi. Cette remarque met déjà en évidence les conséquences des caractéristiques d'une fonctionnalité sur l'implémentation technologique [15] (Bourtoutian, 2008),.

Un second avantage des antennes reconfigurables réside dans leur faculté d'intégrer des fonctionnalités au sein de l'antenne, ce qui contraste avec une conception plus classique par blocs séparés (antenne/circuit RF/circuit numérique...) . Le premier avantage de cette intégration est un gain en compacité de l'antenne, en contrepartie d'une diminution de la modularité du système (impossibilité de remplacer indépendamment les composants). Il a par ailleurs été montré [15] (Bourtoutian, 2008), que l'intégration de filtres ou d'amplificateurs directement dans l'antenne dégage des degrés de libertés supplémentaires, la conception de ces deux éléments permettant notamment de s'affranchir de l'obligation usuelle d'une adaptation à 50Ω . Cependant, l'intégration de composants dans l'antenne pose un certain nombre de questions fondamentales et non seulement pratiques, auxquelles il n'y pas de réponse générale :

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

- De manière intuitive, il est perceptible que le placement d'une fonctionnalité dans la structure même de l'antenne donne des degrés de liberté supplémentaires dans sa conception : les composants placés sur l'antenne permettent d'agir spatialement (action 3D) sur les lignes de courant, par opposition au traitement de signal qui ne peut agir qu'en sortie de l'antenne (action 1D). Ces degrés de liberté permettent d'en espérer des bénéfices, mais ils induisent aussi une plus grande complexité dans la conception, dont on verra la traduction concrète dans les chapitres suivants.

- Comment commander la partie logique de l'antenne reconfigurable ? Au delà du simple problème d'alimentation continue des composants actifs, il faut se poser la question de la manière optimale de commander l'antenne, c'est-à-dire du nombre de tensions indépendantes à appliquer et de la loi qu'il faut donner à celles-ci pour commander le plus efficacement possible l'antenne (en termes de fonctionnalité et de consommation d'énergie).

Une antenne reconfigurable peut aussi présenter un avantage volumique, par rapport à une antenne classique. Au delà de la compacité résultant de l'intégration de fonctionnalités dans l'antenne, évoquée précédemment, l'utilisation d'antennes reconfigurables permet parfois à une antenne unique de réaliser des fonctionnalités d'antennes multiéléments, ce qui entraîne un gain de place évident. Il est par exemple possible de faire cohabiter dans la même antenne un mode de communication UWB et un mode de communication bande étroite, usuellement obtenu à l'aide de deux antennes distinctes .

Il est aussi possible [16] (Ebrahimi & Hall, 2009), par action sur le rayonnement de l'antenne, de réaliser de la diversité de polarisation ou de diagramme avec une seule antenne.

4.2 Inconvénients pour une antenne reconfigurable

Un premier inconvénient des antennes reconfigurables est leur coût, bien plus élevé que celui d'antennes classiques.

Ce surcoût est directement lié à l'ajout de composants actifs sur l'antenne, parfois de haute performance, mais il peut aussi résulter d'une industrialisation plus complexe (structure

Chapitre 1 Antennes reconfigurables

plus compliquée, composants à souder sur l'antenne) ou de procédés de fabrication intrinsèquement plus dispendieux (gravure de composants semi-conducteurs ou MEMS directement sur l'antenne). Enfin il ne faut surtout pas oublier le coût de la conception, qui, pour des séries limitées, domine celui de la fabrication. Le second désavantage des antennes reconfigurables vient de leur consommation énergétique, aussi bien dans le domaine continu que dans le domaine RF. En effet, les composants actifs devant souvent être polarisés en continu, ils consomment nécessairement de l'énergie qu'il faut prendre en compte dans le dimensionnement énergétique du système

Enfin, le principal défaut des antennes reconfigurable est leur complexité, génératrice de nombreux problèmes. Le premier est lié à la complexité structurelle de l'antenne, due notamment aux structures de polarisation, qui se traduit par une fragilité matérielle (et un surcoût qu'on a évoqué plus haut) et principalement l'intégration de composants actifs dans une structure rayonnante, entraînent des difficultés conceptuelles et de simulation, notamment au niveau des calculs électromagnétiques [16]

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le concept des antennes reconfigurables ainsi que ces avantages et inconvénients, comme nous avons évoqué les principales techniques de reconfiguration permettant de modifier quelques caractéristiques de l'antenne.

Par ailleurs, nous avons vu que ce type d'antennes à comportement flexible et évolutif capable de s'adapter aux changements dynamiques de l'environnement permet une meilleure exploitation du spectre fréquentiel, l'augmentation des débits de transmission, l'optimisation de la consommation et de l'autonomie.

Le choix de la technique de reconfigurabilité va se faire en fonction des besoins de l'application visée.

Chapitre 2

1 Chapitre 2

1.1 Introduction

Après avoir présenter le formalisme théorique de l'antenne dipôle chargée par une lame diélectrique en ferrite à l'intérieur d'une cavité, nous proposons d'analyser cette structure sous HFSS.

1.2 Présentation du simulateur ANSYS

1.2.1 Logiciel ANSYS Designer

ANSYS est un logiciel de simulation électromagnétique qui étudie des structures complexes en trois dimensions en simulant ces structures et en proposant des visualisations claires des résultats en 2D et en 3D. ANSYS est utilisé essentiellement pour les expérimentations et les études de systèmes fonctionnant en hautes fréquences, il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonances ainsi que les champs électromagnétiques.

1.2.2 Différentes étapes d'utilisation du logiciel

1. Préparation sur papier de la structure à simuler.
2. Dessin de la structure : dimensions géométriques des différents objets. Spécification des matériaux pour chaque objet, constantes diélectrique, conductivité des matériaux.
3. Identification des sources, manière d'exciter la structure.
4. Configuration des paramètres de simulation.
5. Analyse des solutions.
6. Visualisation des résultats.
7. Discussion et exploitation des résultats.

1.2.3 La fenêtre d'ANSYS HFSS possède plusieurs panneaux facultatifs

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

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

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

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

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

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

L'organigramme suivant résume les étapes à suivre :

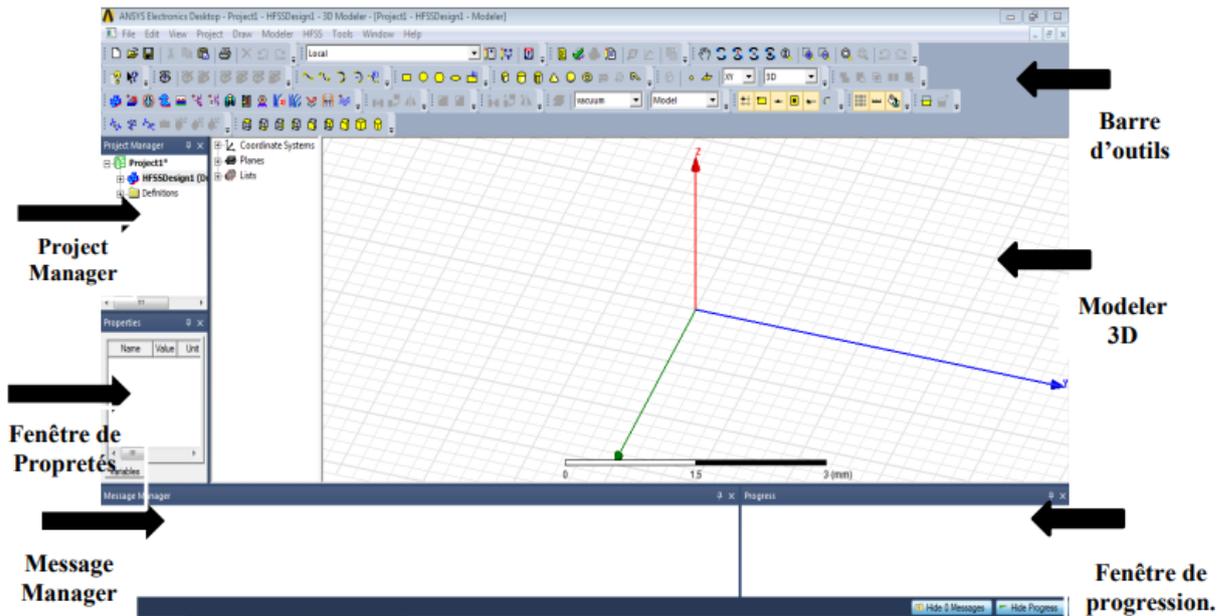


Figure 10: L'interface de logiciel ANSYS HFSS

2 Présentation de l'antenne reconfigurable étudiée

2.1 Descriptions de patch

Cette antenne reconfigurable est une antenne large bande qui se compose d'une entrée coplanaire avec quatre rectangle et trois diode pinchaque rectangle se caractérise par des démontions précise dans le tableau ci-dessus :

Nom	Valeur (en mm)
L1	13
L2	9.1
L3	4.5
L4	$L3+1.5*W1$
W1	2
W2	2.5
W3	3
W4	3
W5	6.3

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

Wf	3
gap	1
WS	16
blanc	$(WS-(W3+Wf+W2+gap+W4))/2$
h	1.6
Lg	7.5
Ls	33mm-Lg
L_box	$3*(Lg+Ls)$
Blancx	$(L_box-(Lg+Ls))/2$
W_box	$4*Ws$

Tableau 1 :Dimensions détaillées de l'antenne hexa-bande

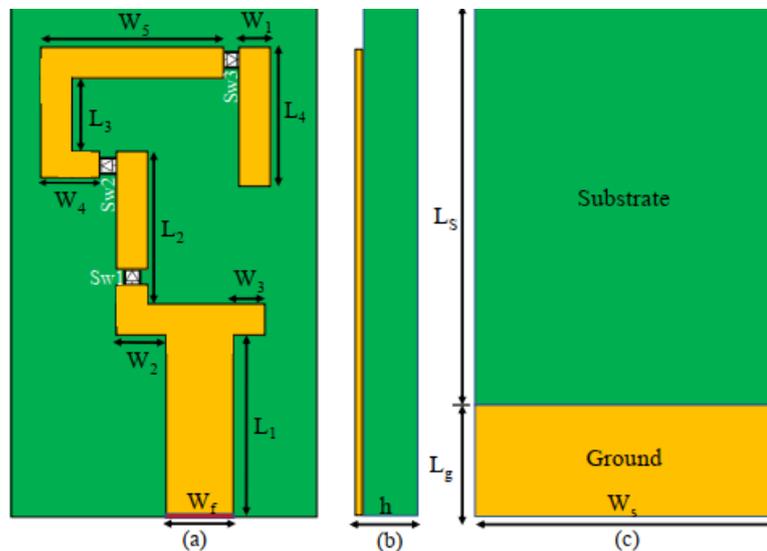


Figure 11: La géométrie de l'antenne planificateur reconfigurable en fréquence hexa-bande : (a) Vue de face. (b) Vue latérale. (c) Vue arrière. [18]

« Référence de la diode »

(Skyworks SMP 1345-079LF)

3 Modélisation de la diode PIN

3.1 Modélisation par un plot métallique

Le mode passant(ON) ou bloqué(OFF) de la diode PIN (connexion ou déconnexion) est simulé par la présence ou l'absence (respectivement) d'un plot métallique généralement de dimension 2 x 4 mm². Plusieurs travaux basés sur des diodes PIN, comme par exemple la

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

diode4005HPND, ont démontré la validité de cette modélisation très simple afin de simuler correctement les performances de l'antenne. [17]

3.2 Modélisation par un circuit RLC équivalent

Il s'agit d'un circuit RLC équivalent simplifié de la diode PIN. Ce modèle simplifié est illustré par la Figure 13 . Il se compose d'une inductance parasite (L) en série avec une capacité intrinsèque (C) et une résistance intrinsèque (R), qui elles sont montées en parallèle à l'état OFF d'une part et d'autre part la capacité n'intervient plus quand la diode PIN est à l'état «ON »[17]

3.3 Circuit équivalent pour les modes (on/off) de la diode pin

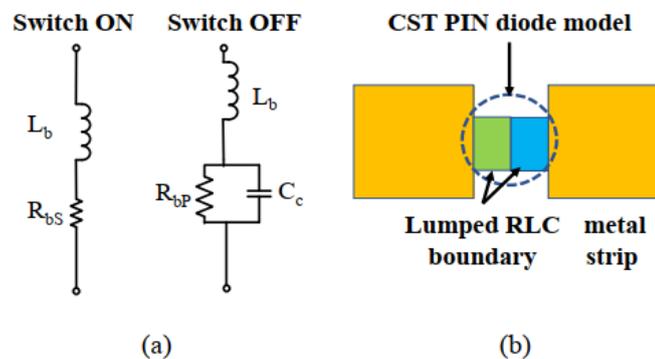


Figure 12 : La configuration des diodes pin RF : (a) Modèles de circuits équivalents pour les états ON et OFF du commutateur. (b)CST model [18]

Valeurs d'éléments	Etat on	Etat off
L	0.7nh	0.7nh
R	1.5ohm	20kohm
C	/	0.15pf
C_pack	0.1 μ F	0.1 μ F

Tableau 2: représente les valeurs de la diode pin.

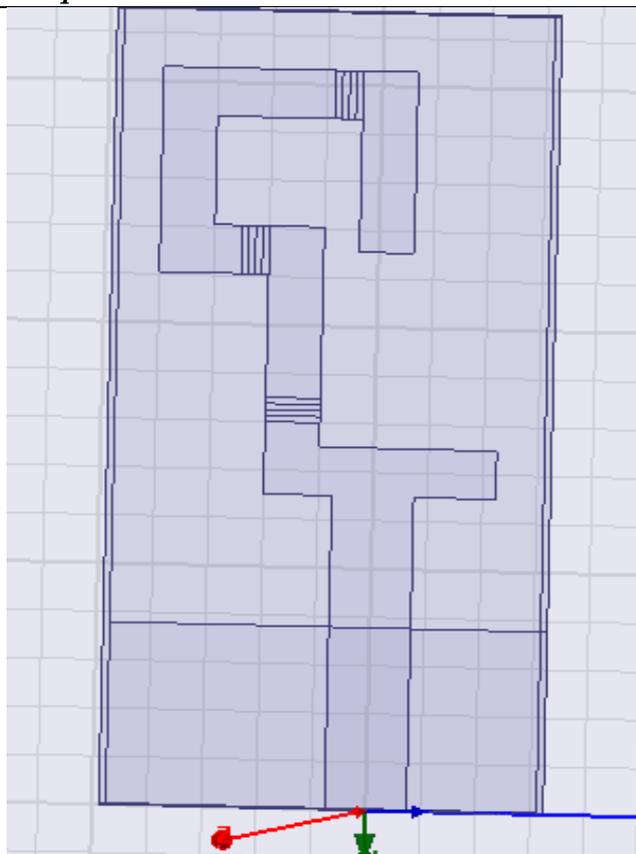


Figure 13: structure de l'antenne étudiée

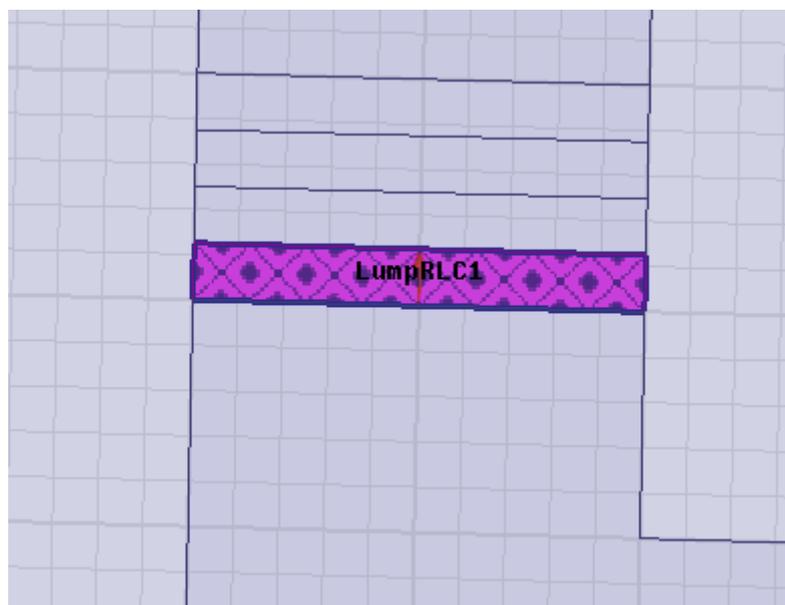


Figure 14: structure de la diode pin

4 Résultats numérique et commentaire

Après compilation du projet HFSS celui-ci est exécuté et on passe à l'étape post-procession pour afficher les résultats numérique de simulation et les commentaires

4.1 Coefficient de réflexion

Selon l'état des 3 diodes on obtient 8 combinaisons possibles du coefficient de réflexion ces courbes donnent les fréquences de résonance ce ainsi représentées dans les tableaux suivantes

Etat de diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
0,0,0	M1	3.9080	-9.5515	/
	M2	7.3160	-14.3155	6.65-----7.652

Tableau 3: état de diode (0,0,0)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

Pour $F=3.9080$ GHZ (0,0,0) :

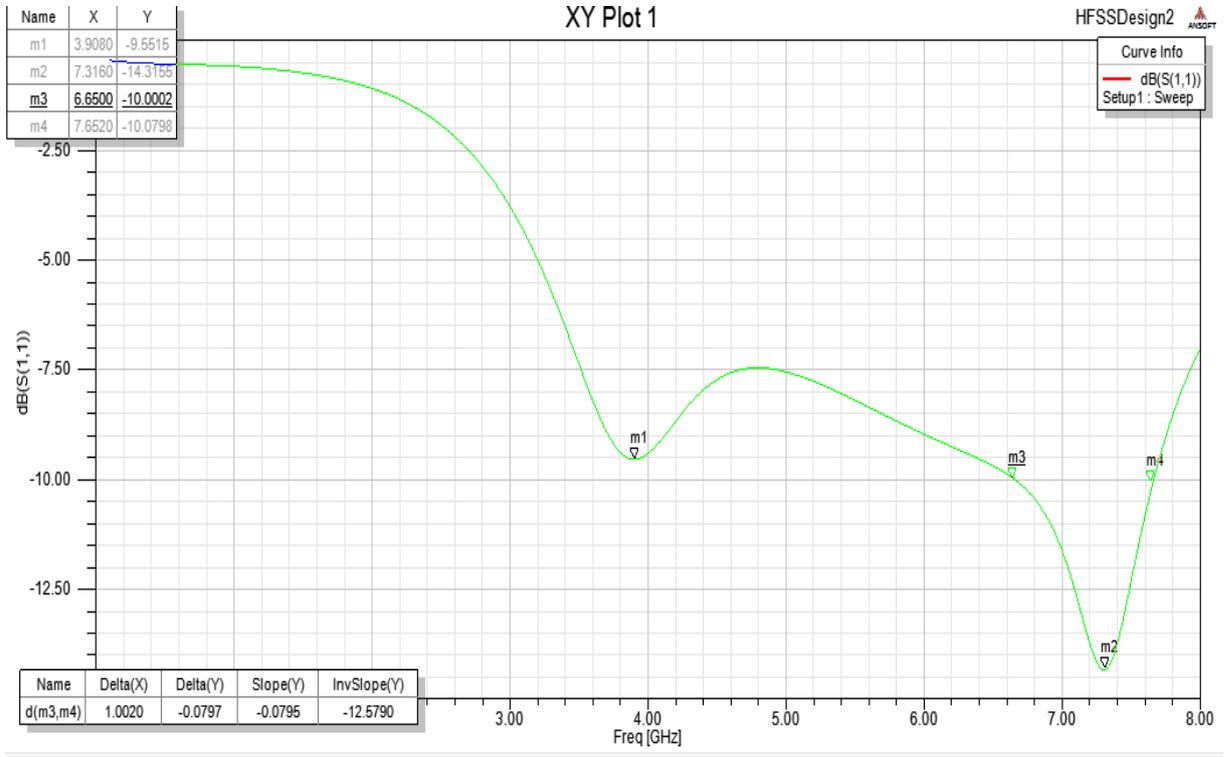


Figure 15: représente le paramètre $s_{1.1}$ dans l'état (0,0,0)

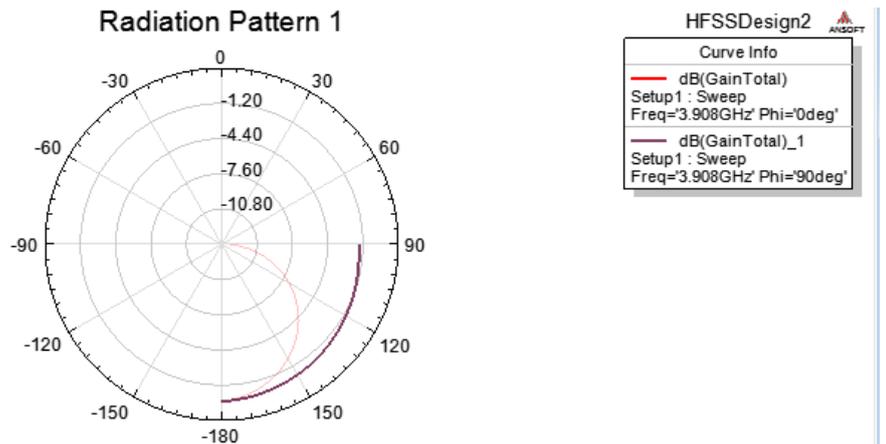


Figure 16: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.908$

Commentaire

- Dans le plans PHI=0 le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction thêta=180 deg Le min de rayonnement =12.4 dB dans la direction thêta =90 deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle PHI=90 deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

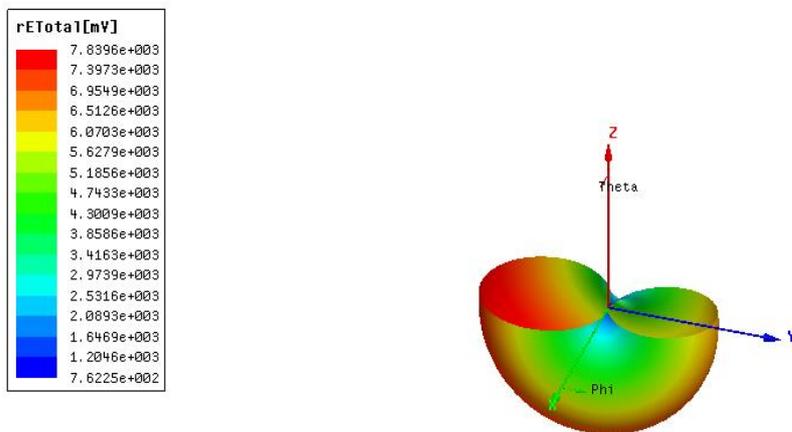


Figure 17 représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour thêta varie de 90° et 0°

Commentaire

Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence =3.9080 **GHZ** de résonance pour thêta varie de 90 deg et 0 deg

Pour F=7.3160 **GHZ** (0,0,0) :

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

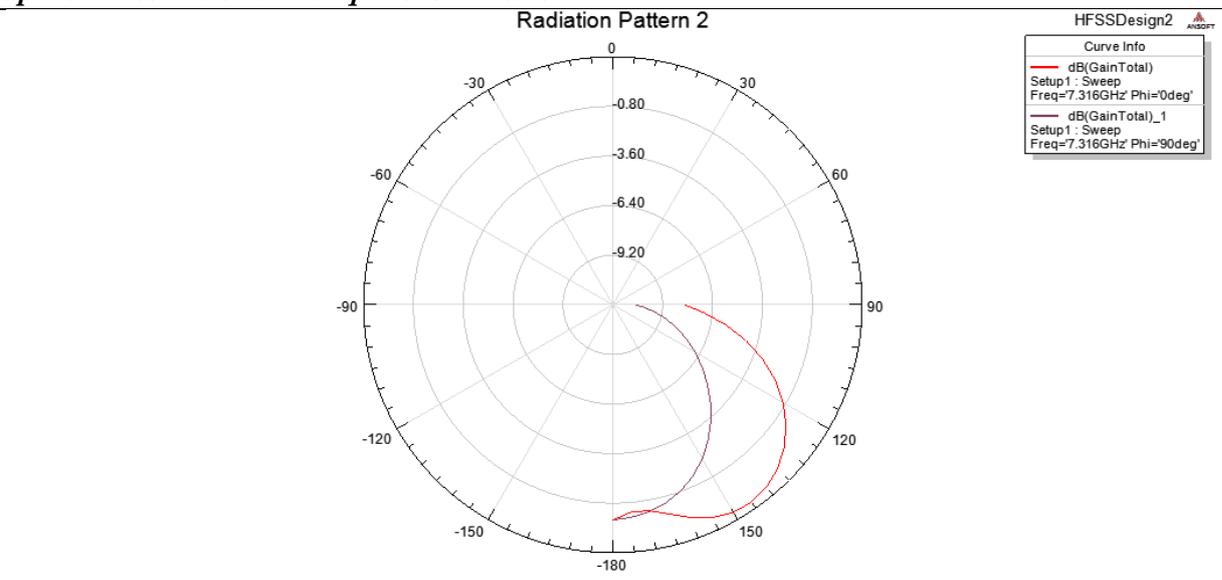


Figure 18: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=7.3160$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 DB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement =9.32 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

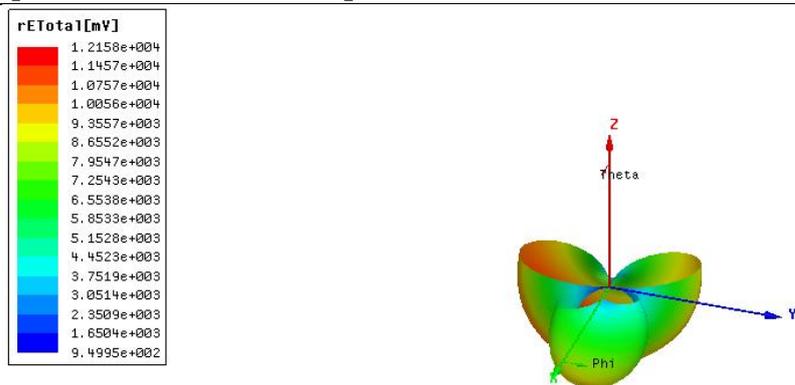


Figure 19 : représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 3.3160 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
(0,0,1)	M1	3.5880	-7.2859	/
	M2	4.3240	-11.9623	4.1320 ----- 4.5160
	M3	5.0600	-11.2078	4.98 ----- 5.1880
	M4	6.4680	-15.9452	6.3080 -----7.428

Tableau 4: état de la diode (0,0,1)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

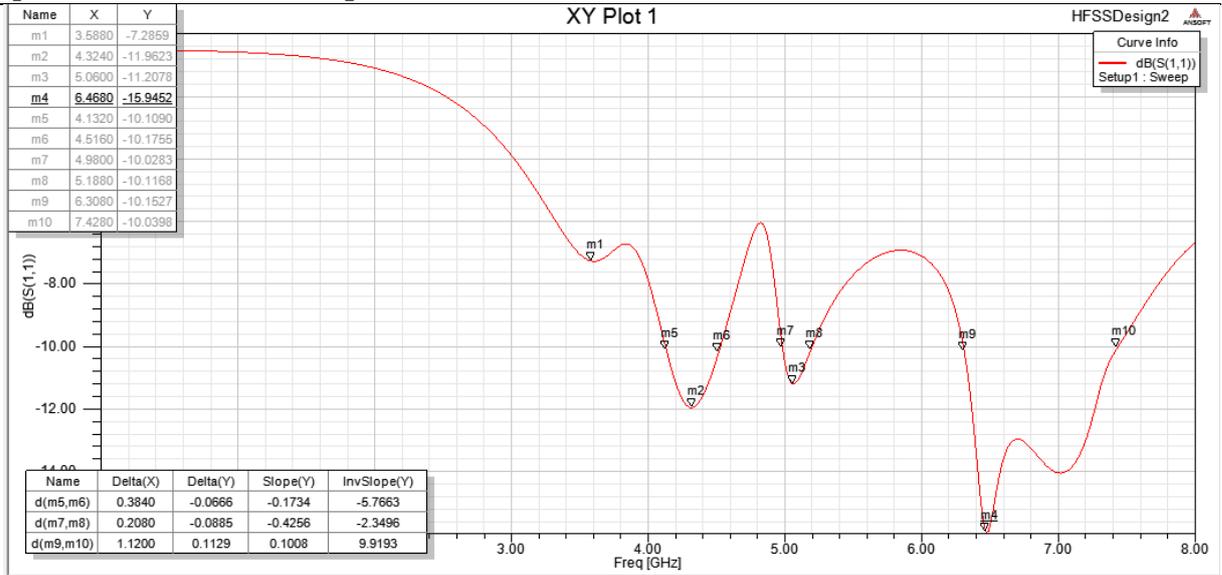


Figure 20: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (0,0,1)

pour $F=3.580$ GHZ (0,0,1)

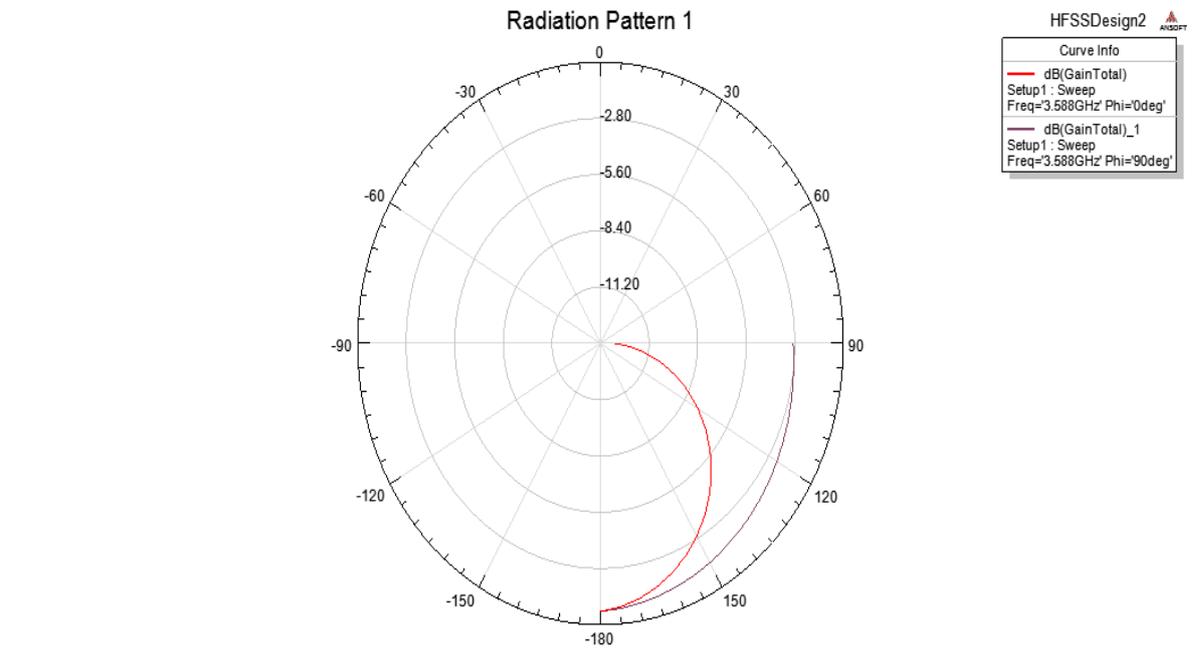


Figure 21: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.580$

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0dB dans la plans de direction $\text{thêta}=180$ deg Le min de rayonnement =13.44 dB dans la direction $\text{thêta} =90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

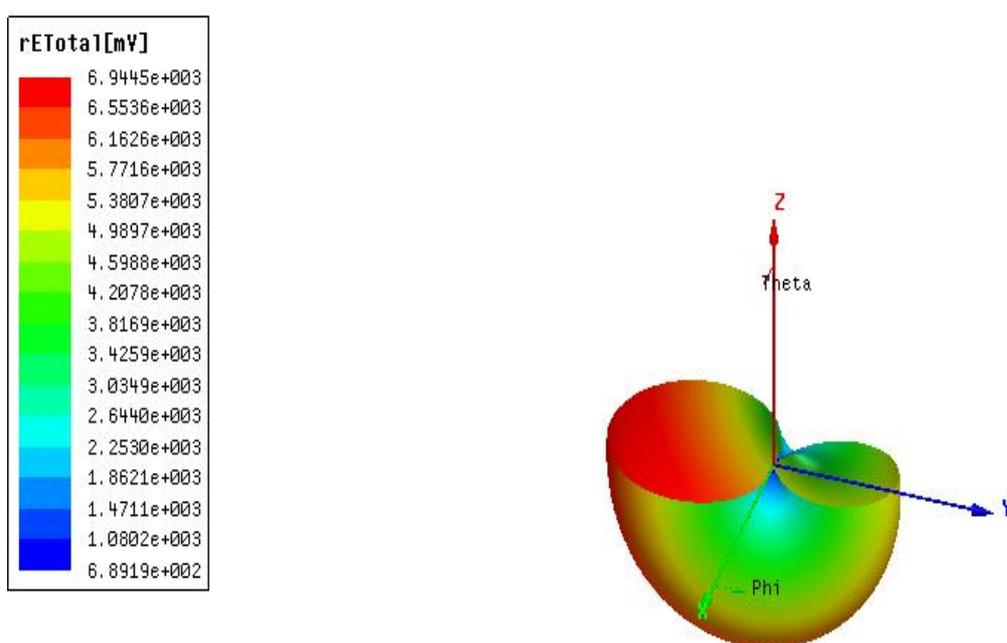


Figure 22: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F1 pour thêta varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 3.580 GHz de résonance pour thêta varie de 90 deg et 0 deg

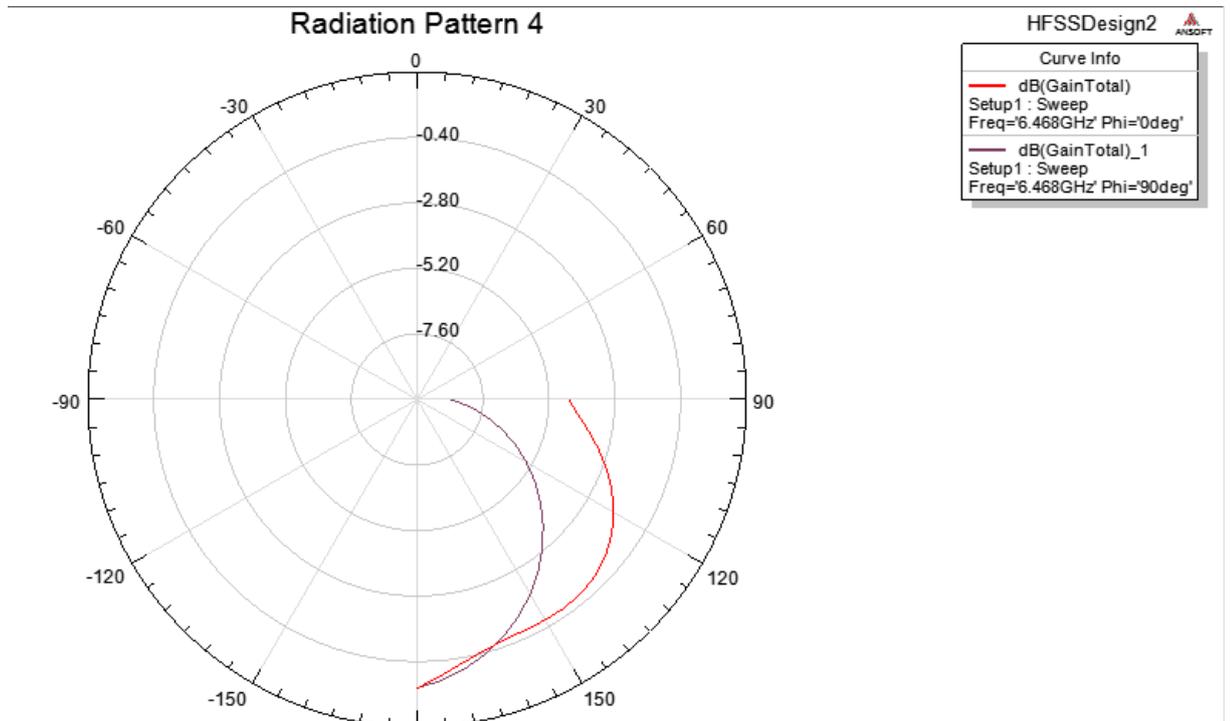


Figure 23: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.4680$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = 8.8 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

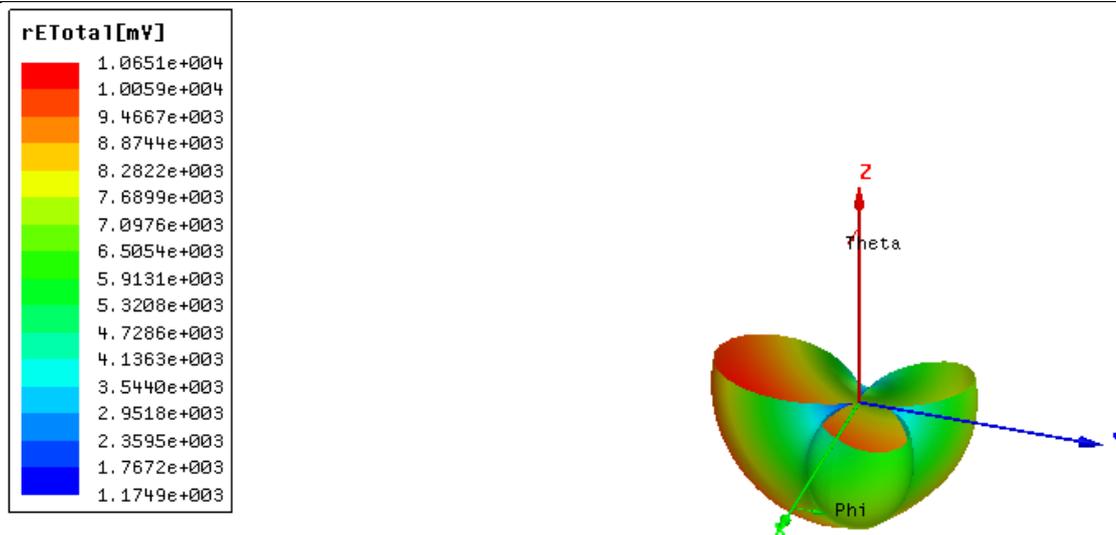


Figure 24 : représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire :

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 6.4680 **GHZ** de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale		Fréquence latérale
(0,1,0)	M1	3.0760	-6.5115
	M2	5.180	-15.3416
	M3	6.0040	-10.8162
	M4	7.172	-13.82
			/
			4.564 ----- 5.4440
			5.9080 ----- 6.0520
			6.35 -----7.55.60

Tableau 5: état de diode (0,1,0)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

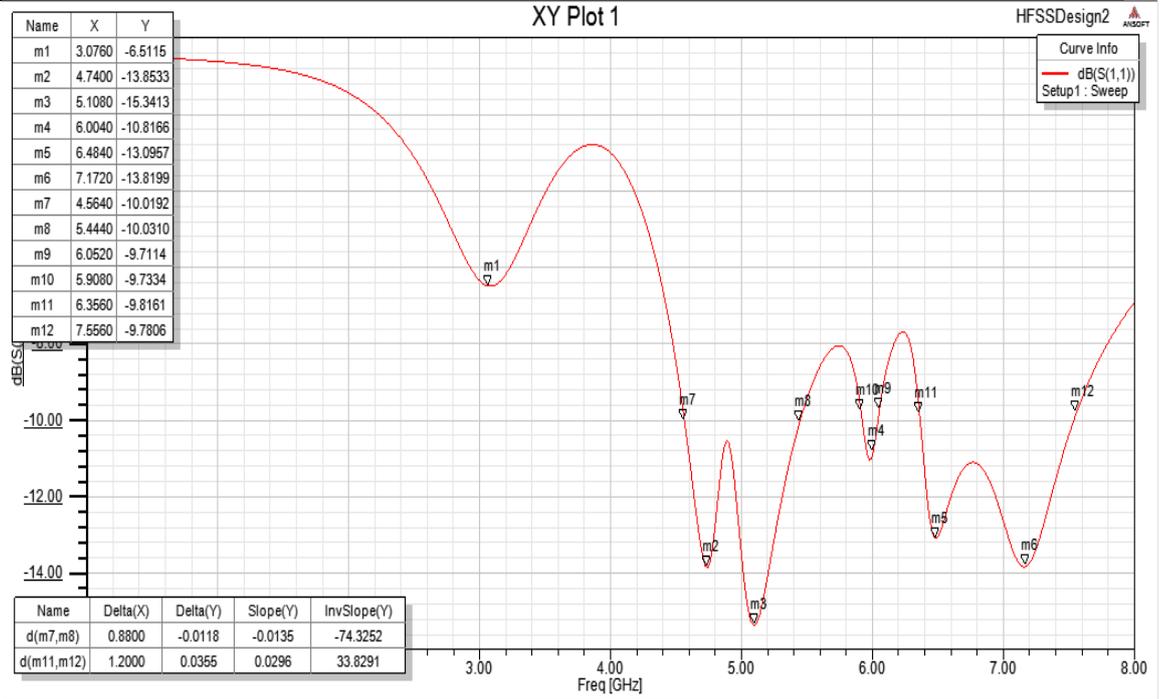


Figure 25: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (0,1,0)

Pour $F=3.0760$ GHz (0,1,0)

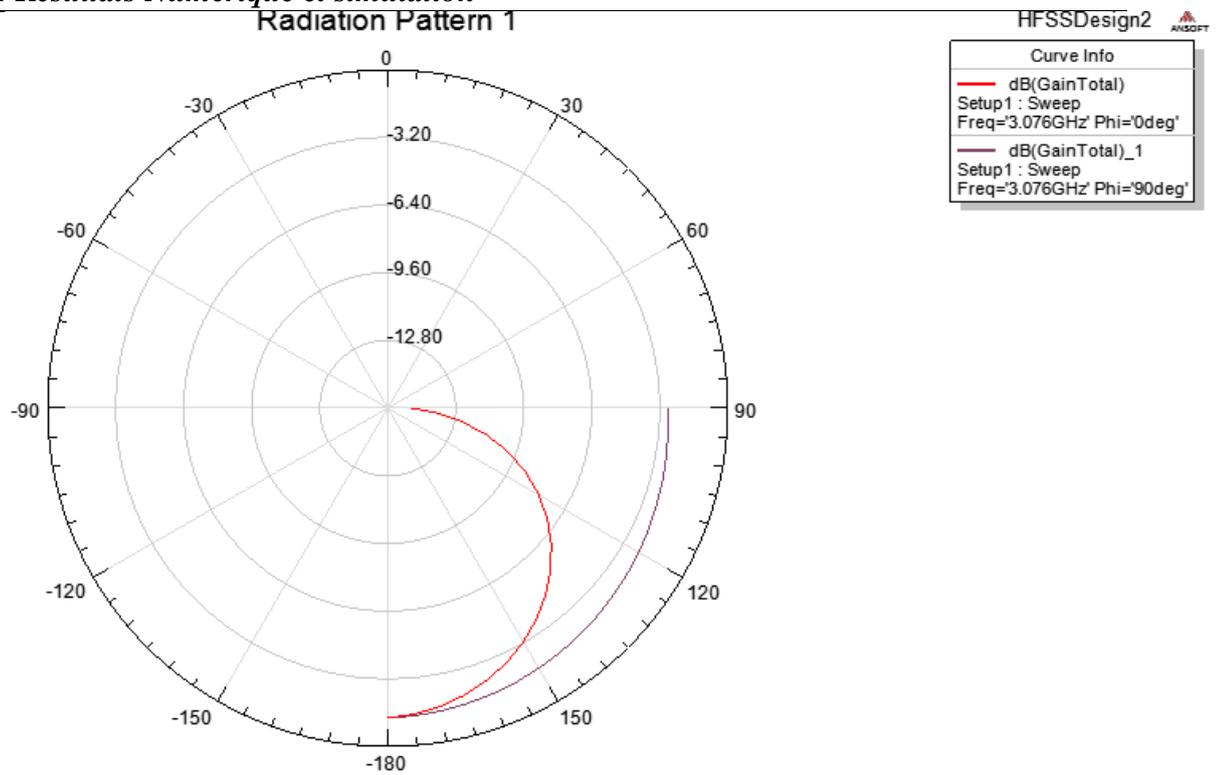


Figure 26 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.0760$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement =14.72 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

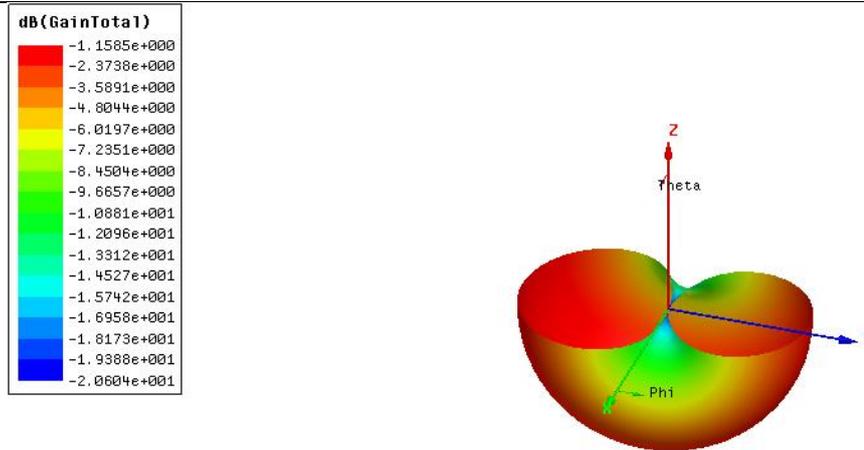


Figure 27: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence =3.0760 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Pour $F=7.172$ GHZ (0,1,0)

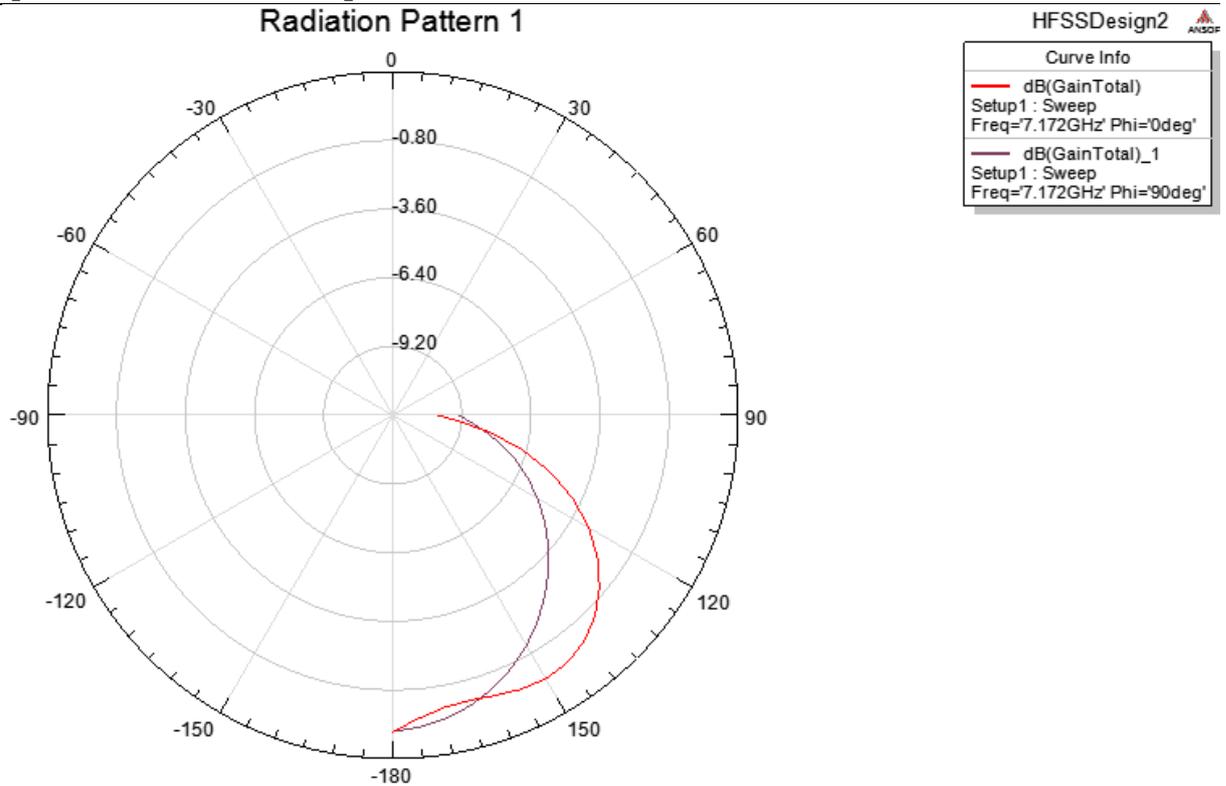


Figure 28 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=7.172$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = 10.88 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

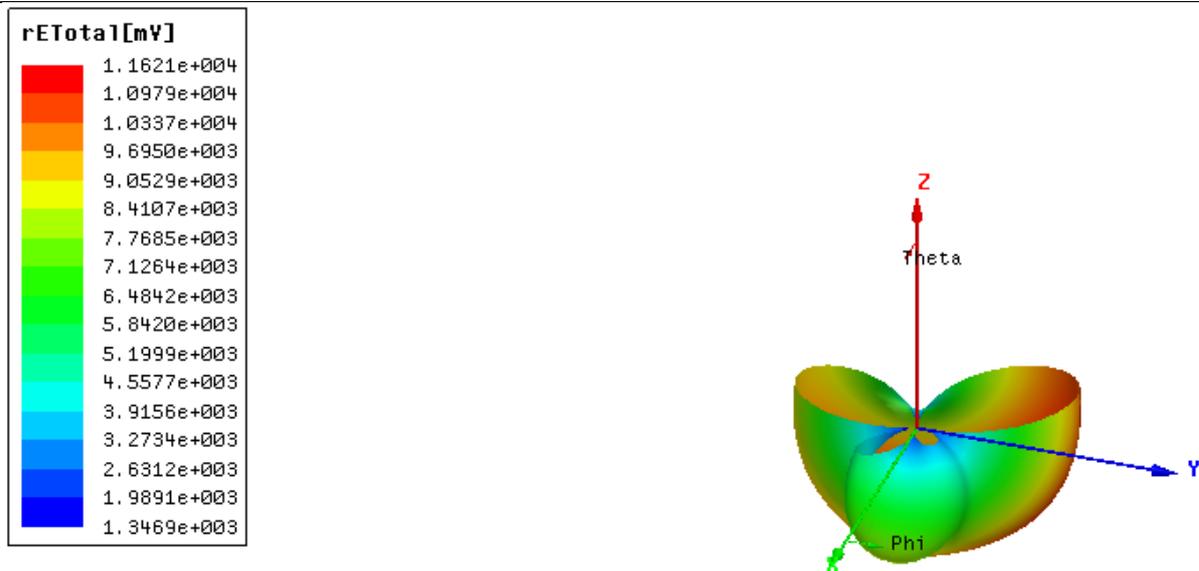


Figure 29: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 7.172 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
	(0,1,1)	M1	2.69620	-5.3810
M2		4.3240	-12.2160	4.084 ----- 4.51
M3		5.0440	-10.4477	4.999 ----- 5.122
M4		6.484	-21.98	6.1 -----7.0280

Tableau 6: état de diode (0,1,1)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

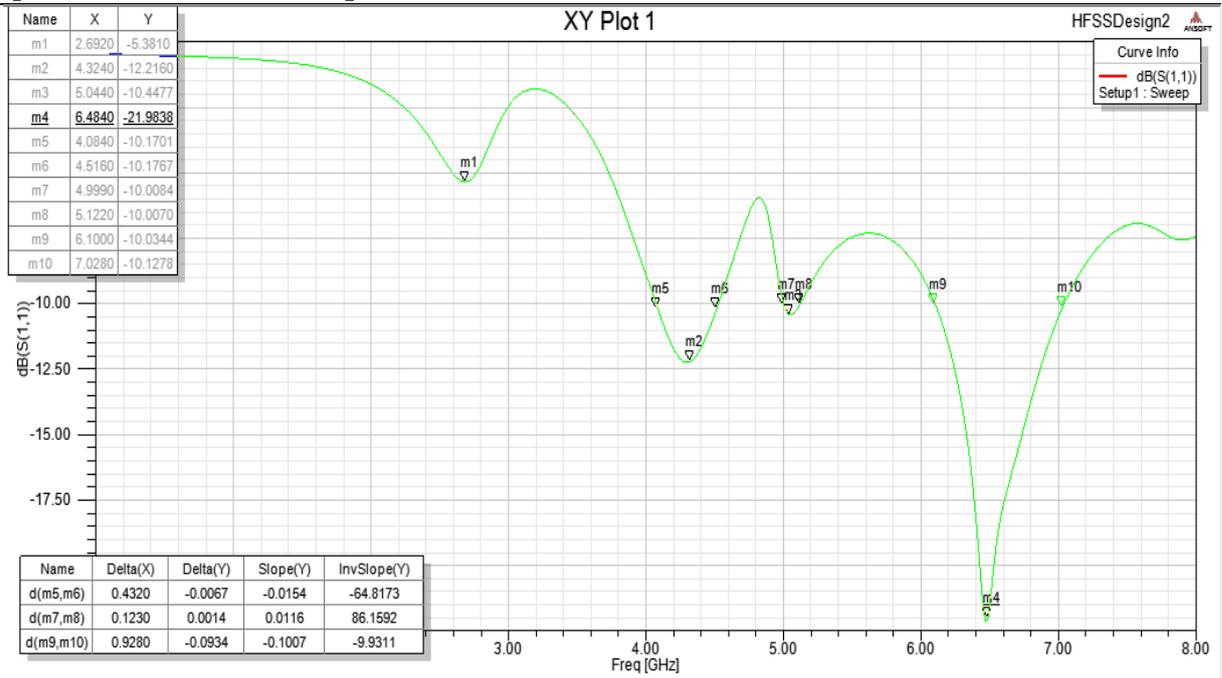


Figure 30: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (0,1,1)

Pour $F=2.6920$ GHZ (0,1,1)

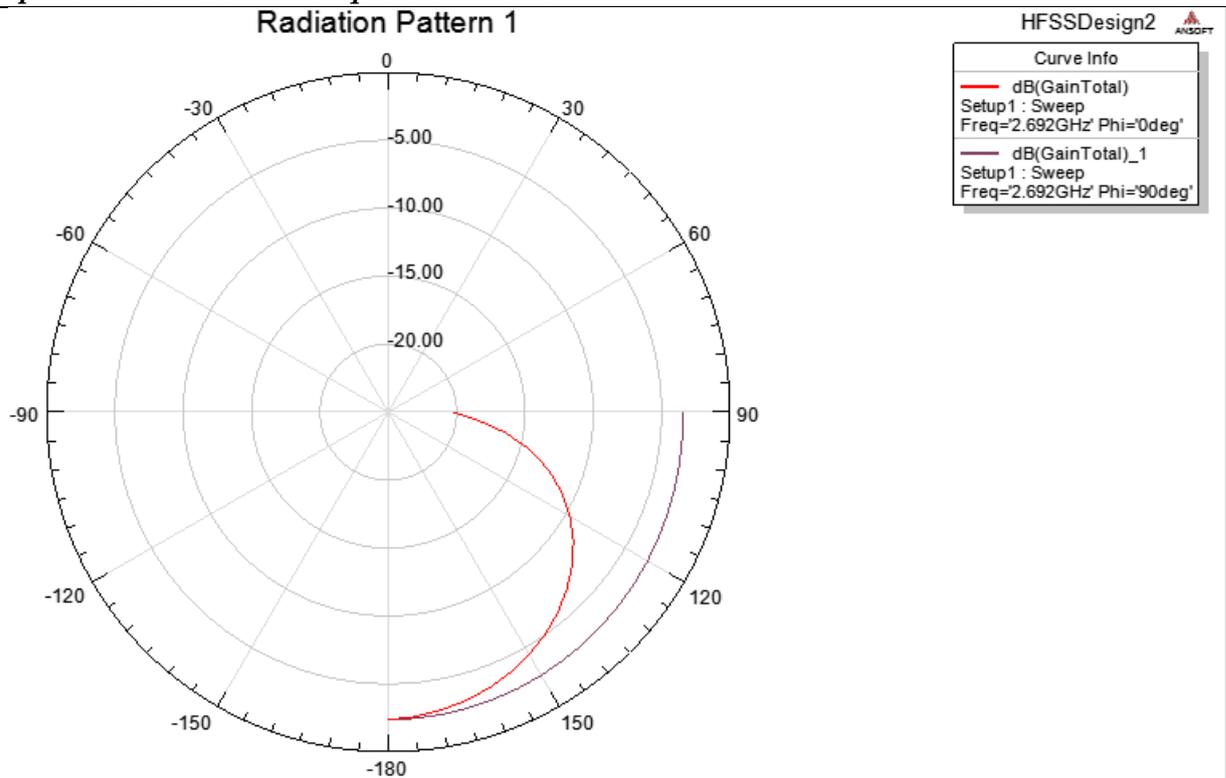


Figure 31 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.6920$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement= 0dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement=22.5 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

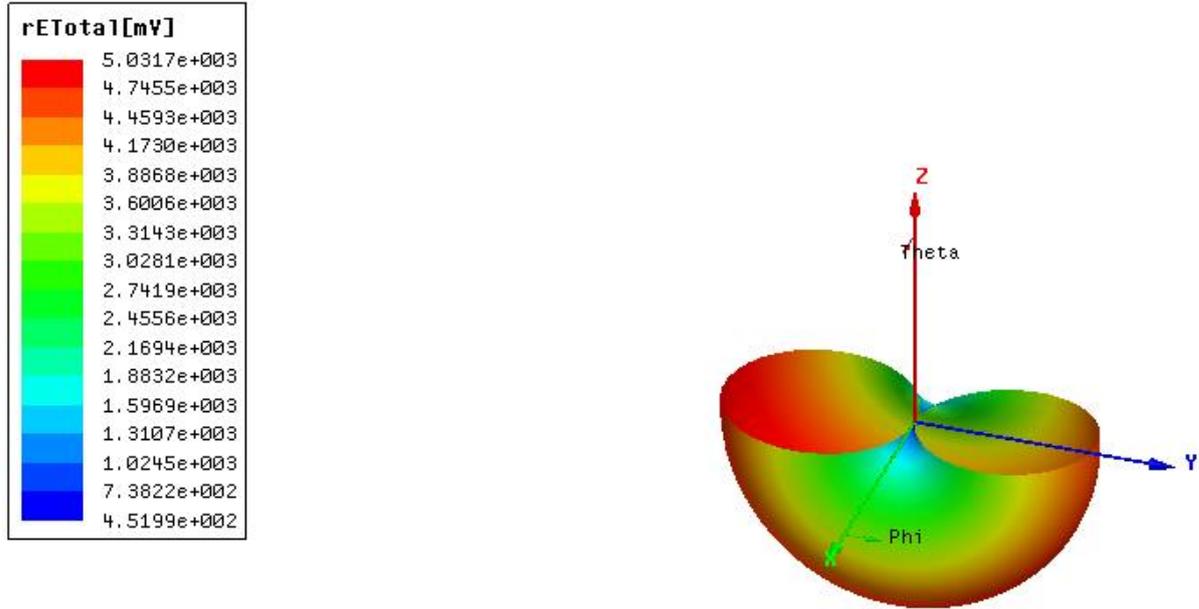


Figure 32: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire :

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 2,6920 **GHZ** de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

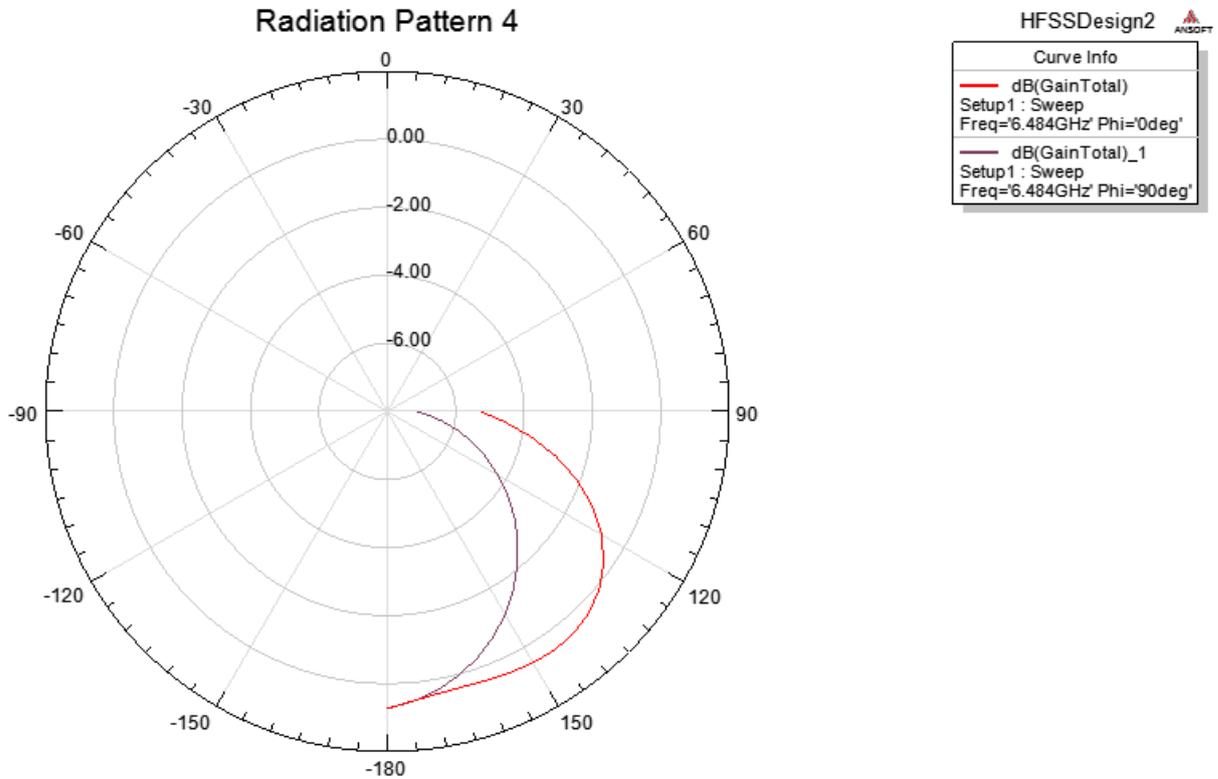


Figure 33: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.4840$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement =1 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement =6.4 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

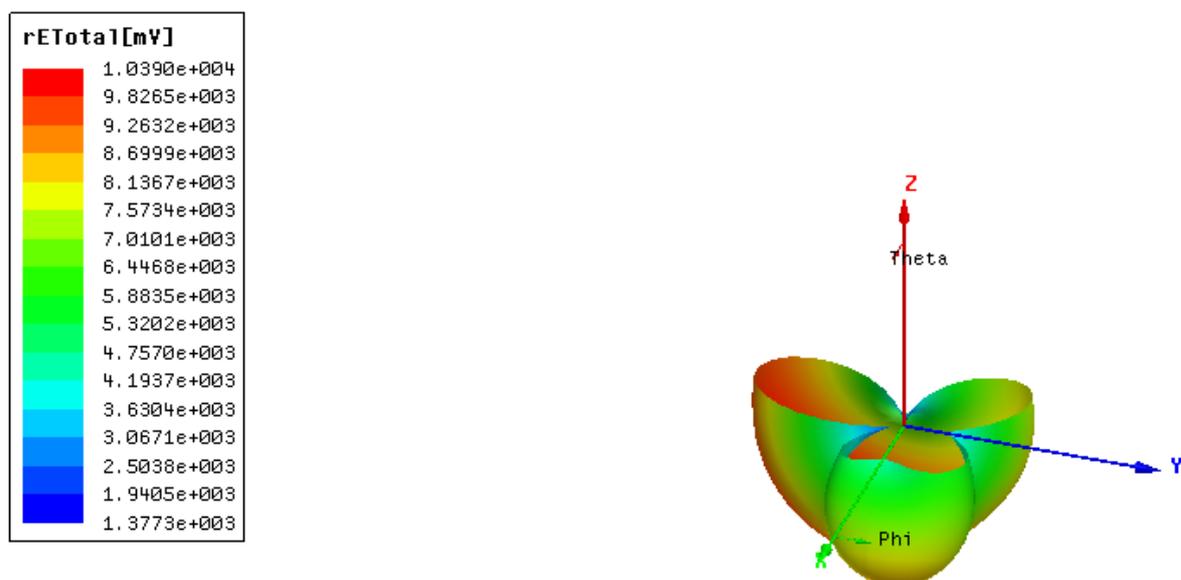


Figure 34: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence =6.4840 **GHZ** de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
(1,0,0)	M1	3.0440	-9.3675	/
	M2	5.0440	-8.2670	/
	M3	6.0200	-8.8446	/
	M4	6.82	-26.2511	6.4680 -----7.3320

Tableau 7 : état de diode (1,0,0)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

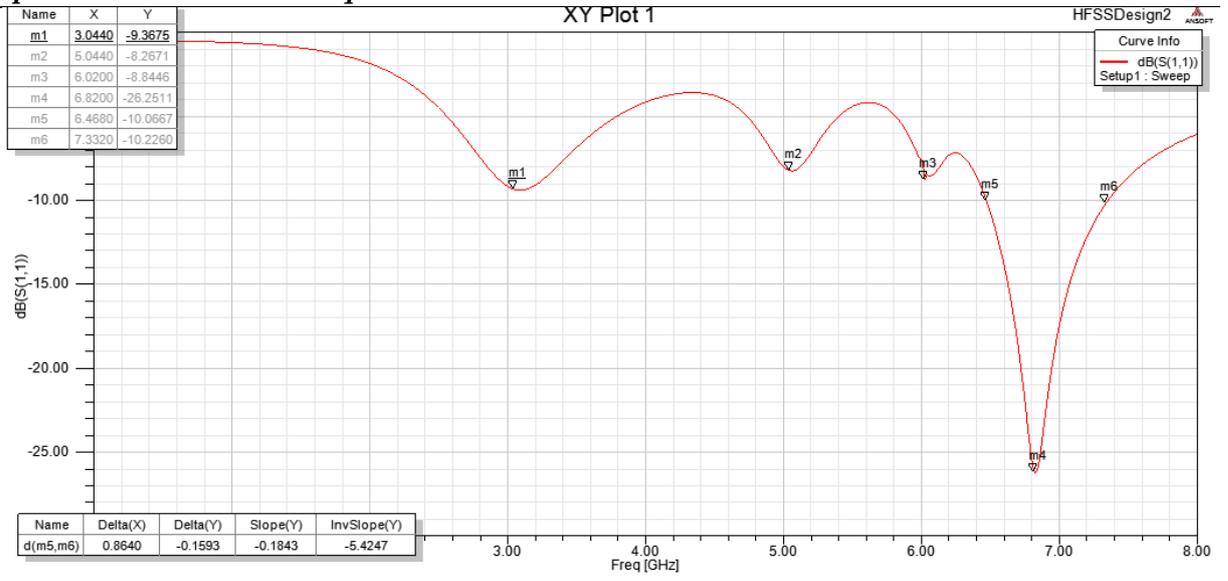


Figure 35 : représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (1,0,0)

Pour $F=3.0440$ GHZ (1,0,0)

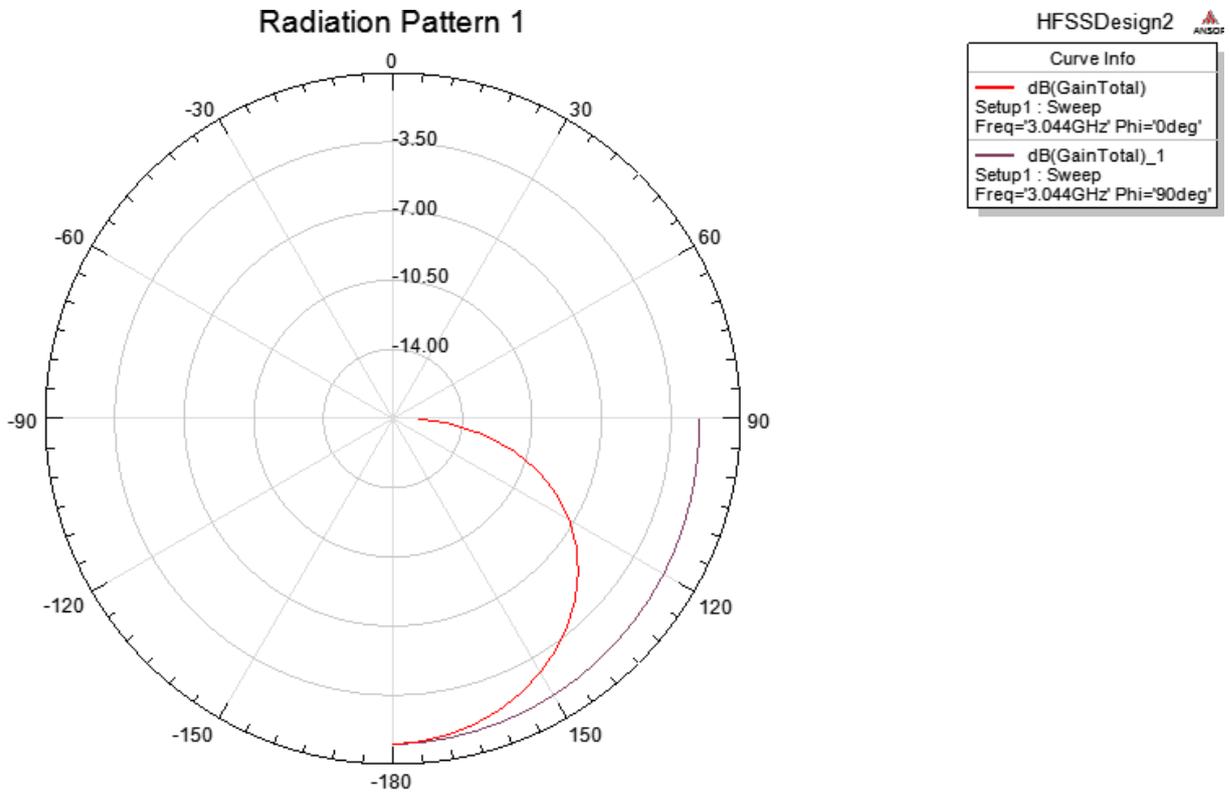


Figure 36 : représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.0440$

Commentaire :

- Dans le plans $\phi=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = 16.5 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\phi=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

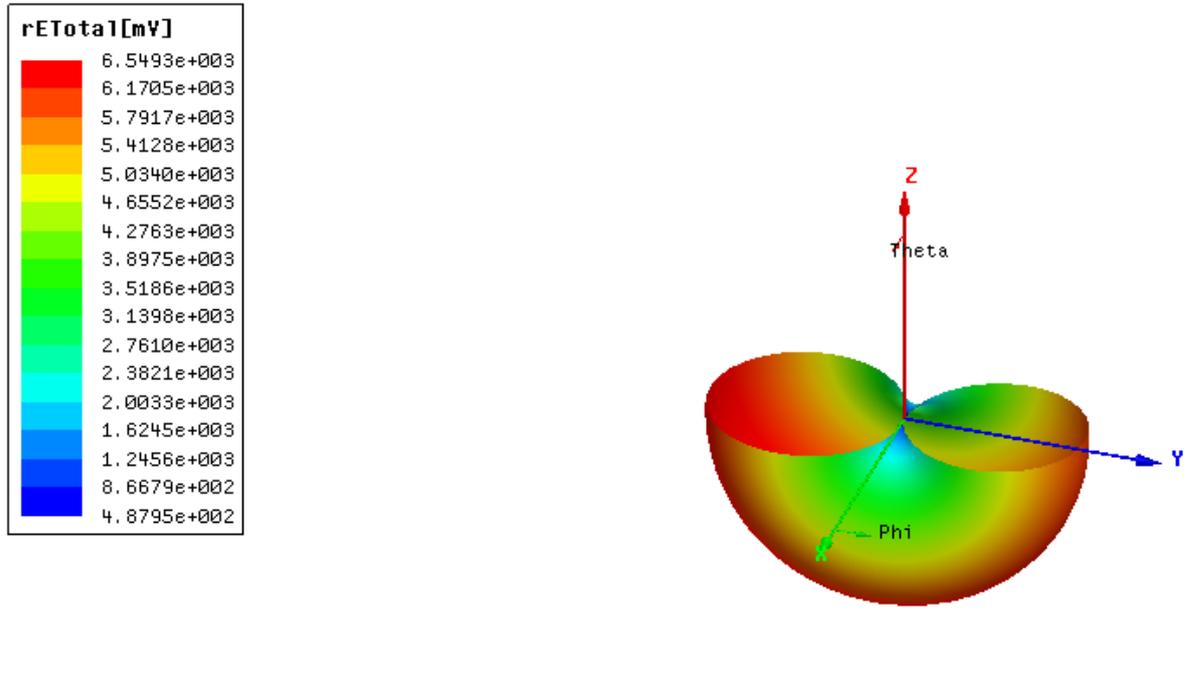


Figure 37: représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence =3,0440 **GHZ** de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

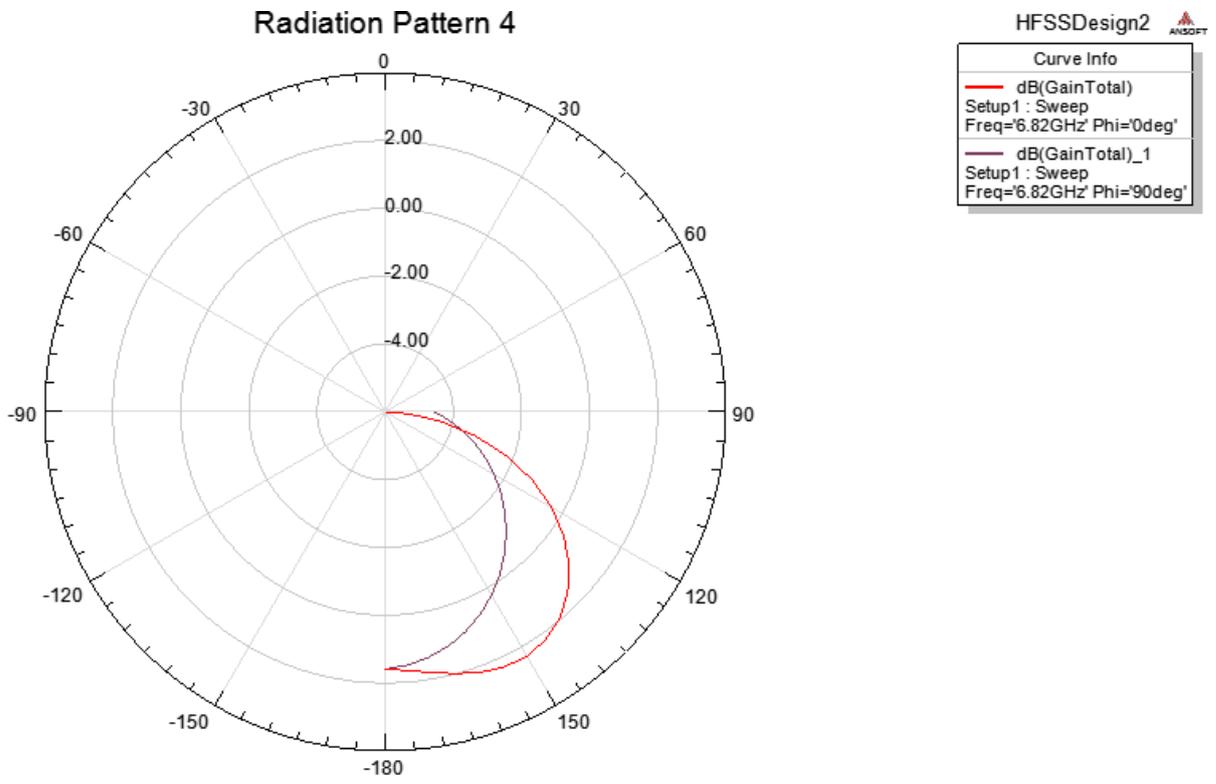


Figure 38: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$

Commentaire

- Dans le plans $\phi=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = 3.6 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\phi=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

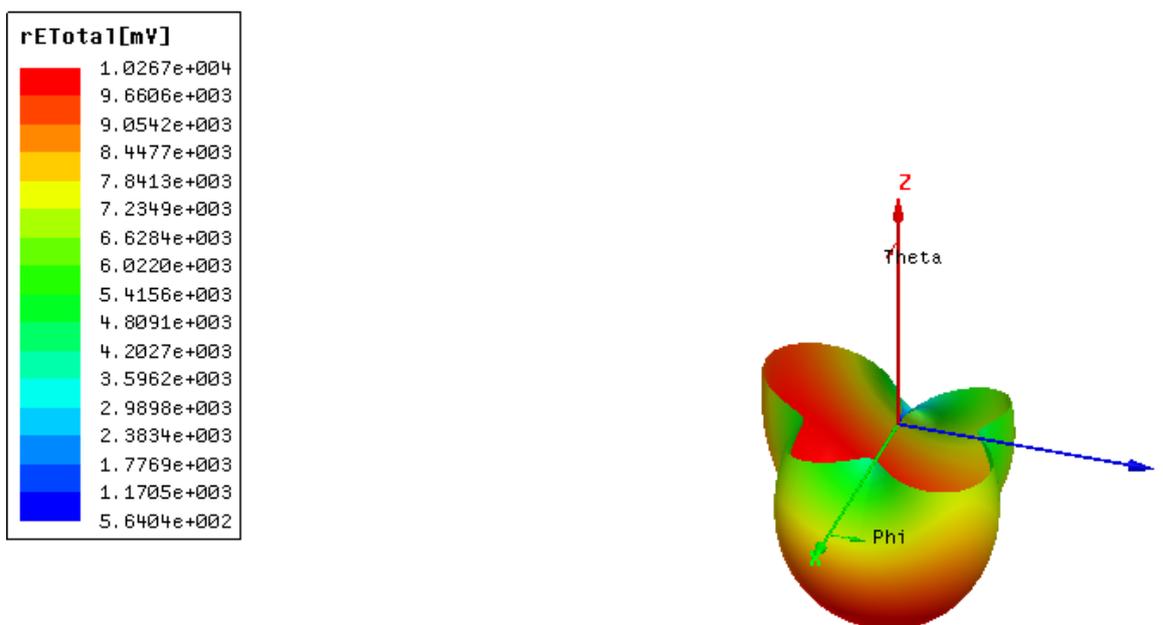


Figure 39: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence =6.82 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
(1,0,1)	M1	3.044	-8.7238	/
	M2	4.18	-8.6622	/
	M3	6.7080	-30.9907	6.265----- 7.2840

Tableau 8: état de diode (1,0,1)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

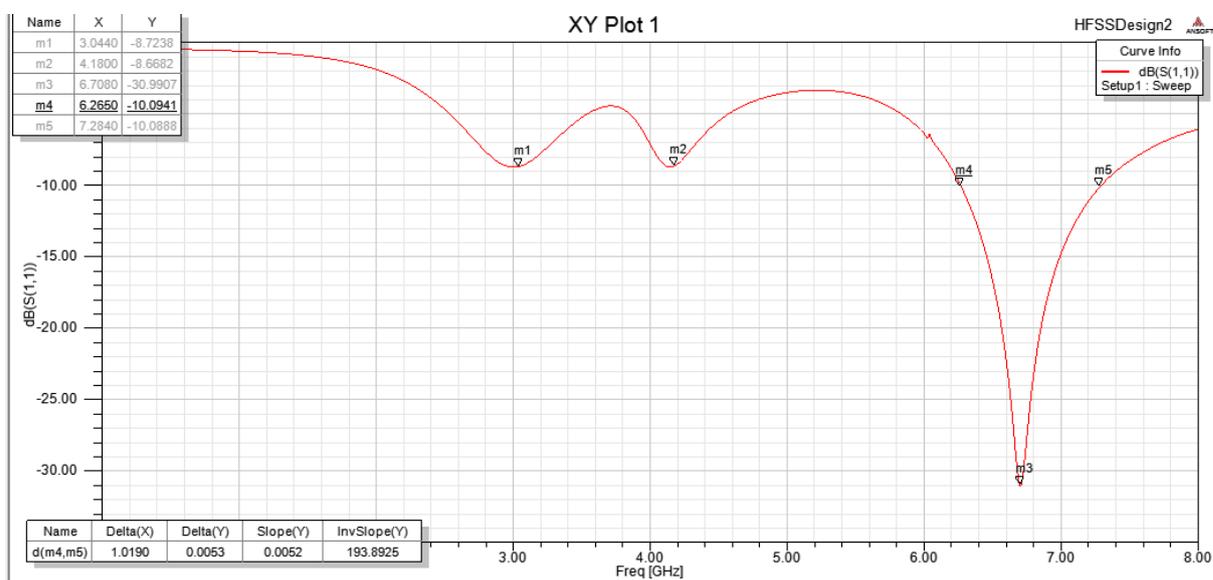
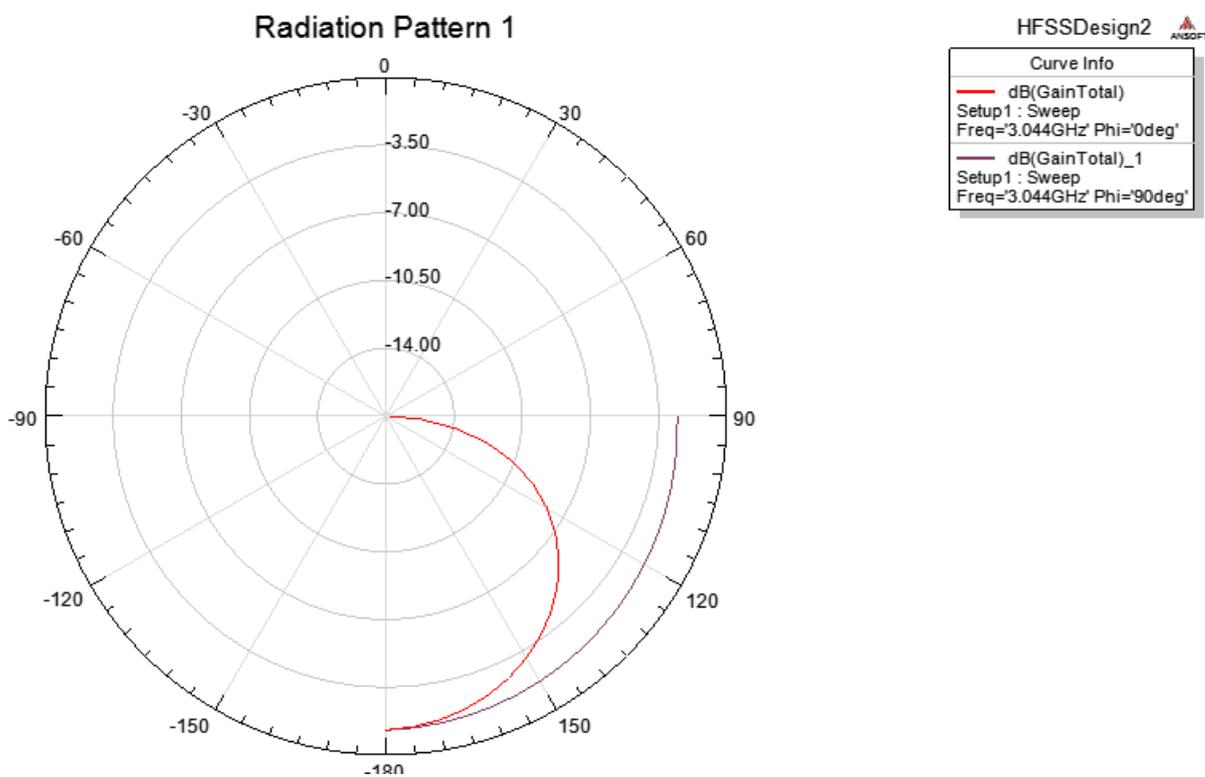


Figure 40: représente le paramètre s1.1 dans l'état (1,0,1)

Pour F=3.044 GHz (1,0,1)



Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

Figure 41: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=3.044$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement =16.8 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

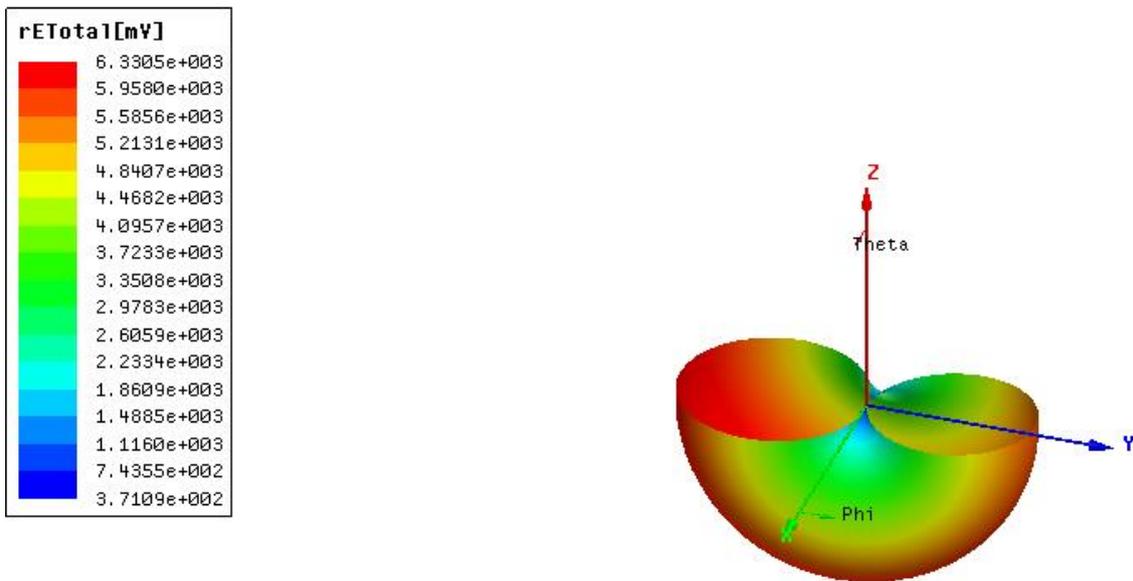


Figure 42: représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence $F= 3.044$ GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Pour $F= 6.7080$ GHZ

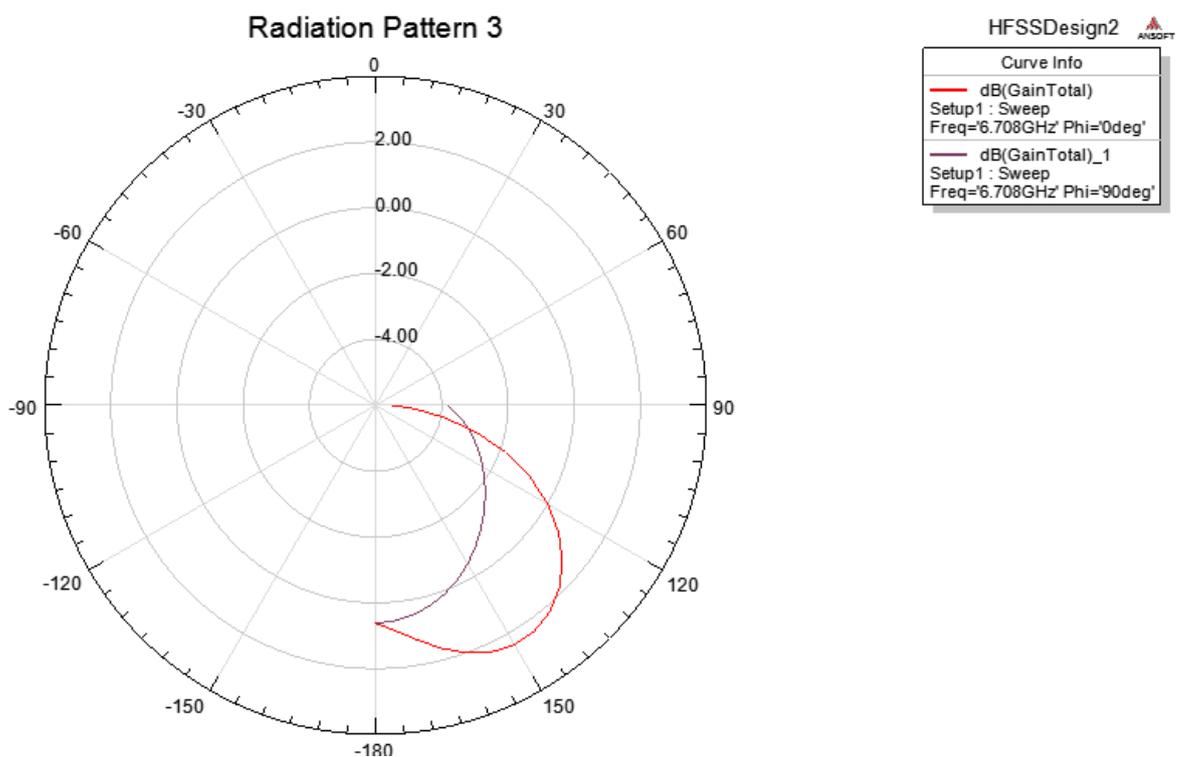


Figure 43: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.7080$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 4 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = -2.8 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

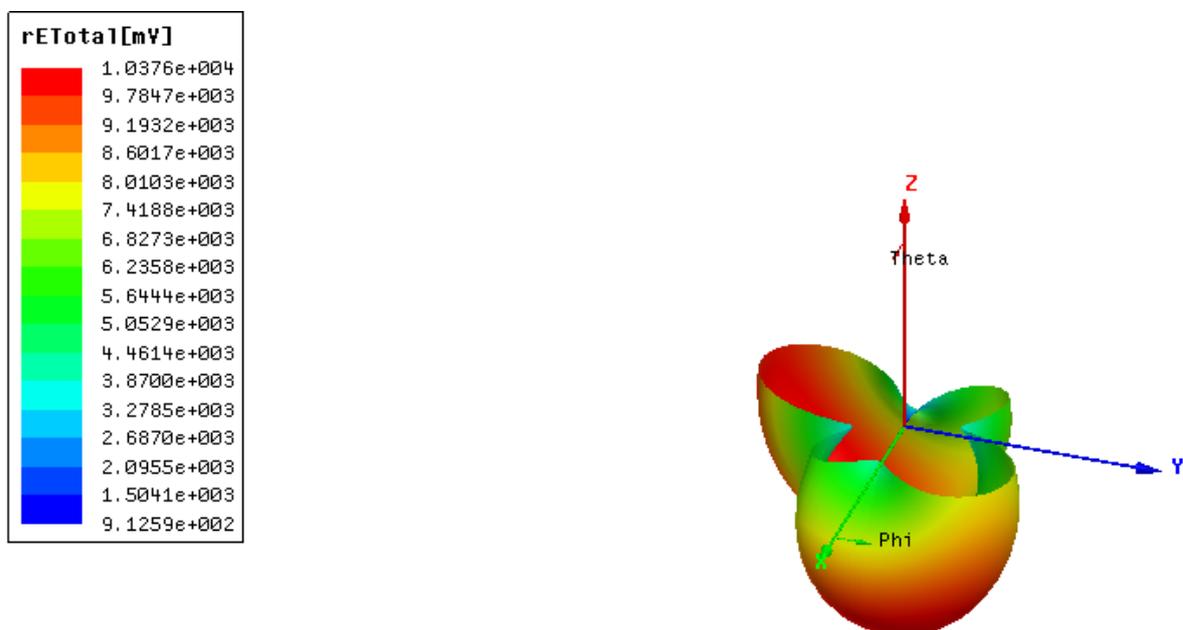


Figure 44: représente le diagramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 6.7080 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
(1,1,0)	M1	2.3240	-8.2542	/
	M2	4.740	-14.6289	4.54 ----- 4.948
	M3	5.9880	-9.3343	/
	M4	6.82	-27.9805	6.484 -----7.316

Tableau 9: état de diode (1,1,0)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

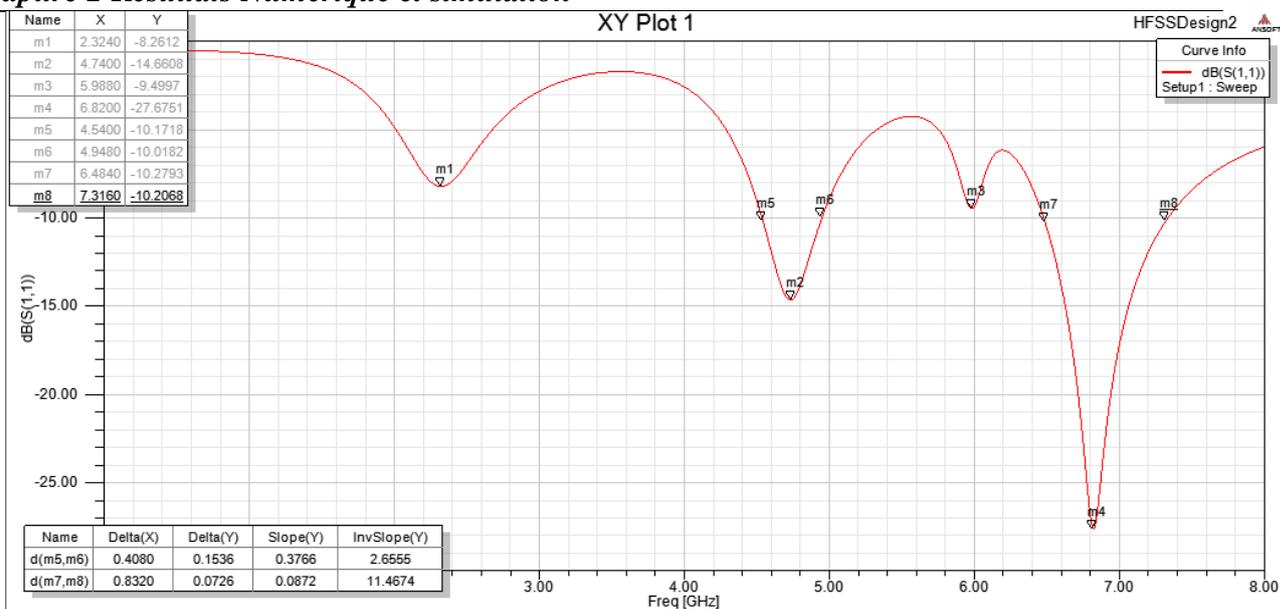


Figure 45: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (1,1,0)

Pour $F=2.3240$ GHZ (1,1,0)

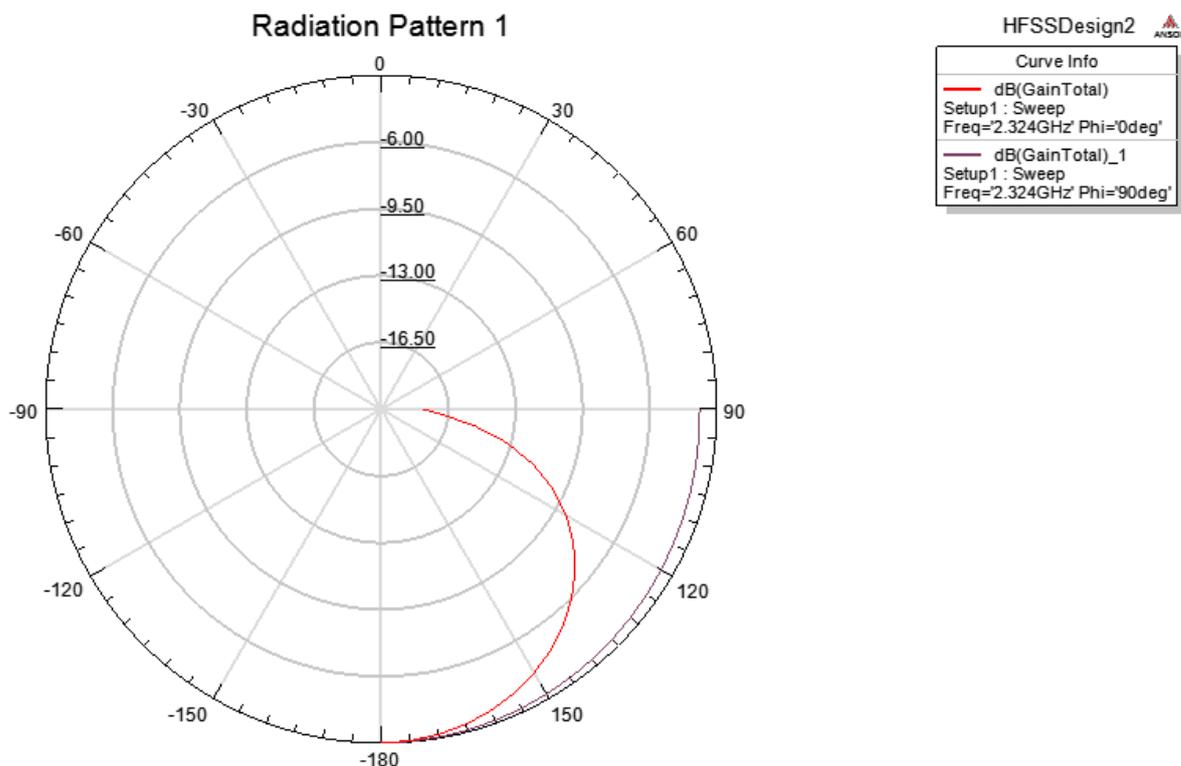


Figure 46: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.3240$ GHZ

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\text{thêta}=180$ deg Le min de rayonnement =0 dB dans la direction $\text{thêta} =90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

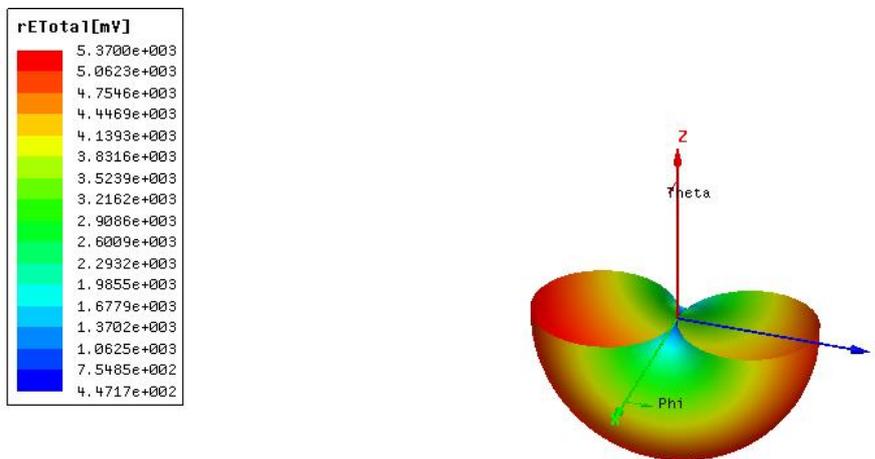


Figure 47: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour thêta varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représenté la fréquence = 2.3240 GHZ de résonance pour thêta varie de 90 deg et 0 deg

Pour $F= 6.82$ GHZ

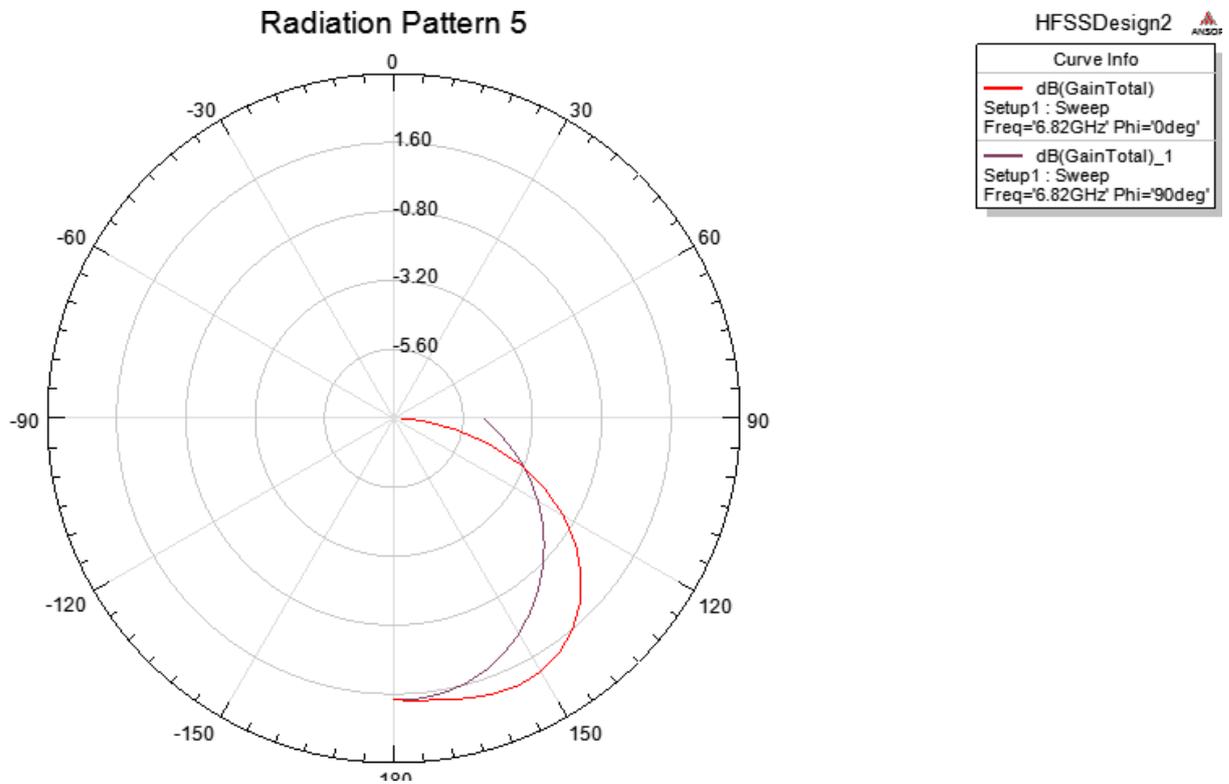


Figure 48: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\text{phi}=0$ et $\text{phi}=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.82$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\text{thêta}=180$ deg Le min de rayonnement =5,8 dB dans la direction $\text{thêta}=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

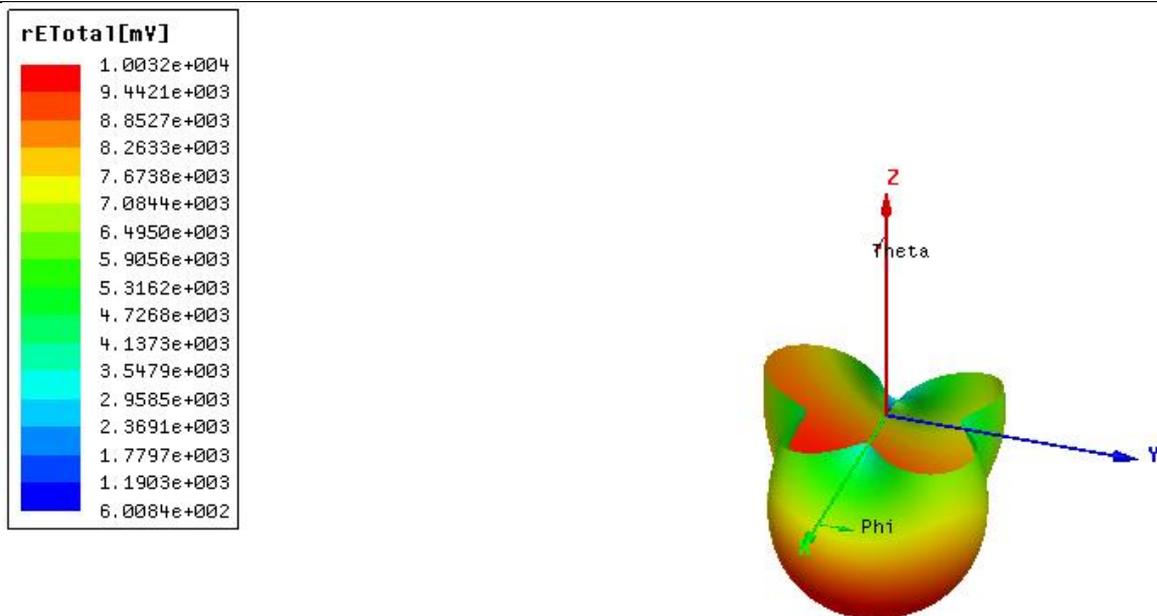


Figure 49: représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 6.82 GHZ de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Etat de la diode	Fréquence centrale			Fréquence latérale
	(1,1,1)	M1	2.0520	-8.0267
M2		4.0040	-11.5993	3.89-----4.16
M3		6.5480	-46.1542	6.1----- 7.22

Tableau 10: état de diode (1,1,1)

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

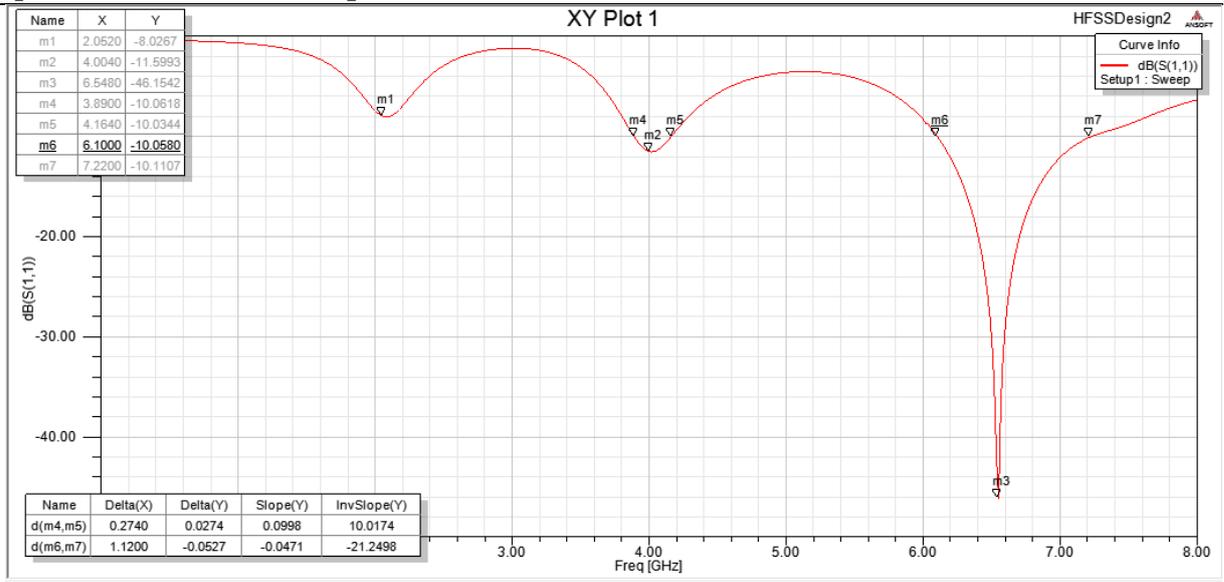


Figure 50: représente le paramètre $s_{1,1}$ dans l'état (1,1,1)

Pour $F = 2.0520$ GHz

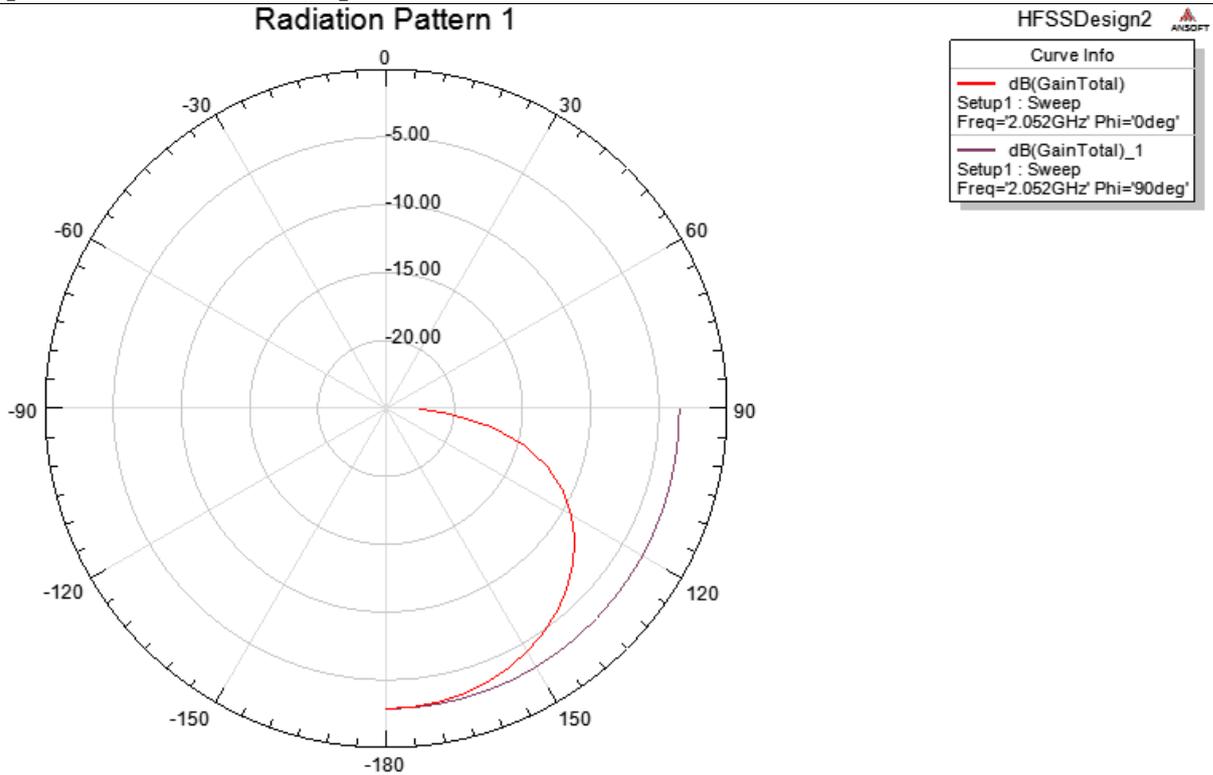


Figure 51: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\phi=0$ et $\phi=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=2.0520$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\theta=180$ deg Le min de rayonnement = -22.5 dB dans la direction $\theta=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) = (-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

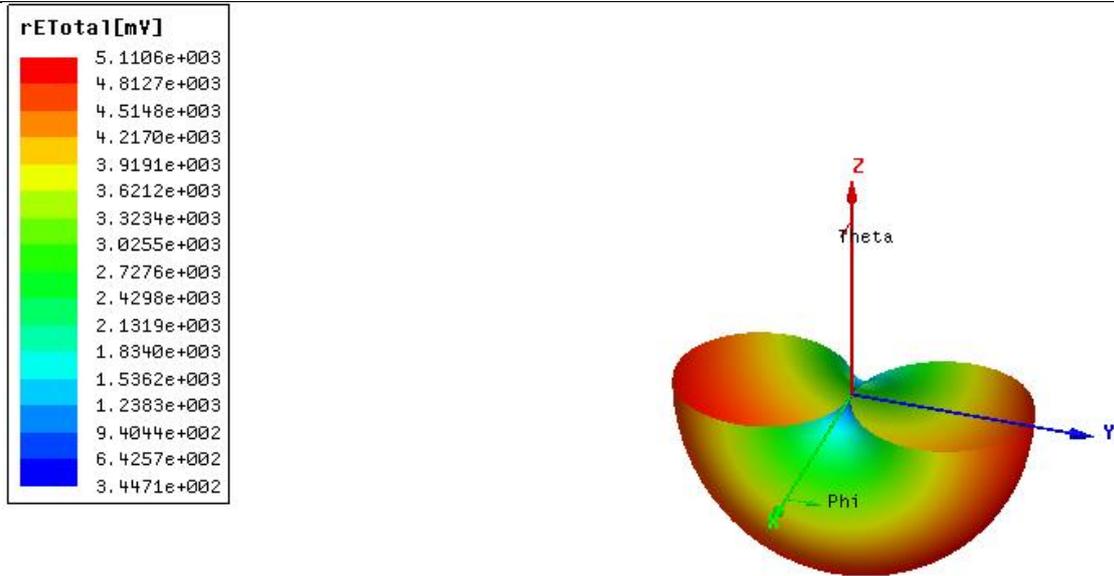


Figure 52 : représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 2.0520 GHZ de résonance pour θ varie de 90° et 0°

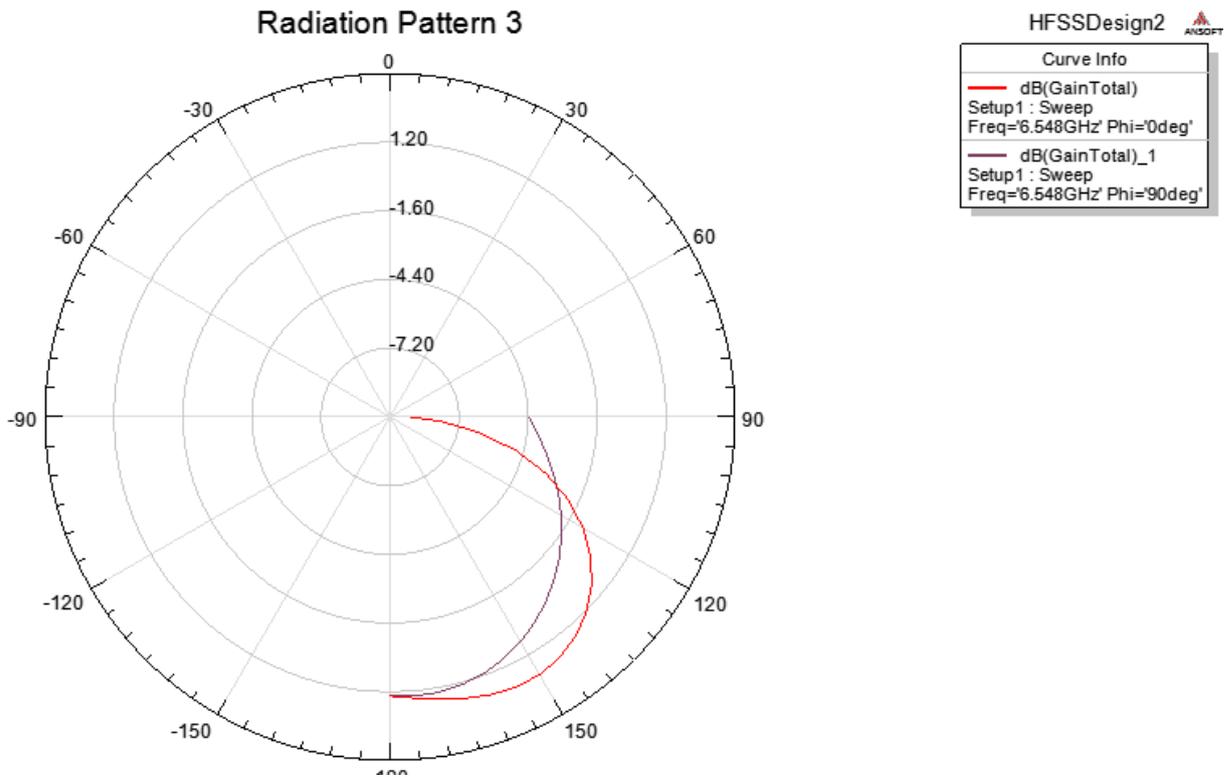


Figure 53: représente le diagramme de gain bidimensionnelle de l'antenne reconfigurable dans le plan $\text{phi}=0$ et $\text{phi}=90^\circ$ a la fréquence de résonance $F=6.5480$

Commentaire

- Dans le plans $\text{PHI}=0$ le max de rayonnement = 0 dB dans la plans de direction $\text{thêta}=180$ deg Le min de rayonnement = -7.20 dB dans la direction $\text{thêta}=90$ deg
- Le ouverture 3 dB est environ 80 deg dans le plans vertical Y et Z pour le quelle $\text{PHI}=90$ deg le diagramme non directionnel de amplitude (min ,max) =(-1,1) dB dans les direction 90 deg et 0 deg

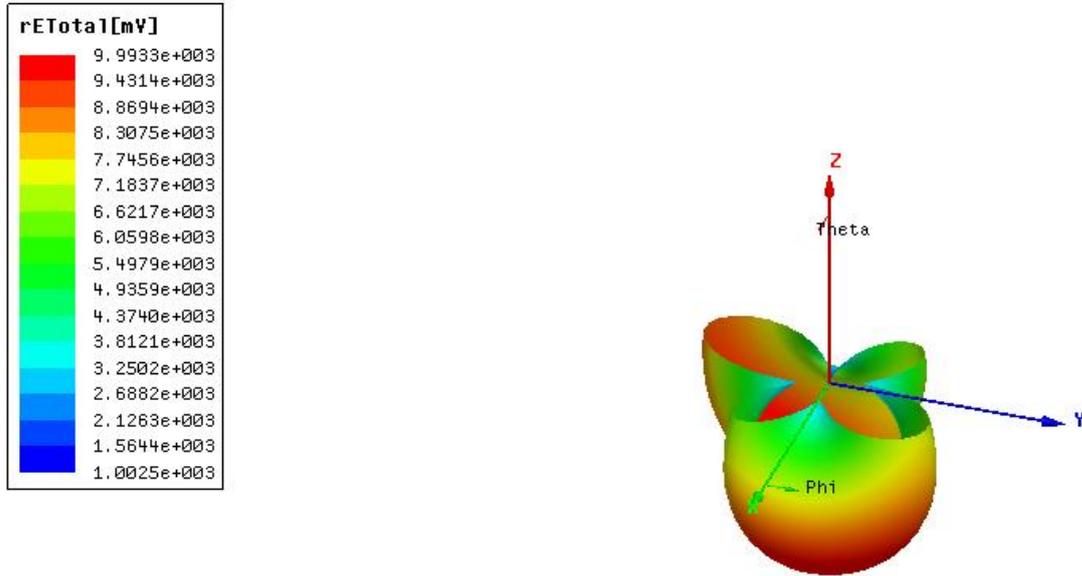


Figure 54 : représente le digramme de rayonnement 3D dans la même fréquence de résonance F pour θ varie de 90° et 0°

Commentaire

- Dans la figure de diagramme de rayonnement 3D est représentée la fréquence = 6.5480 **GHZ** de résonance pour θ varie de 90 deg et 0 deg

Distribution de courant surfacique

Pour l'état (0,0,0)

Si $F1=3.9080$ GHZ

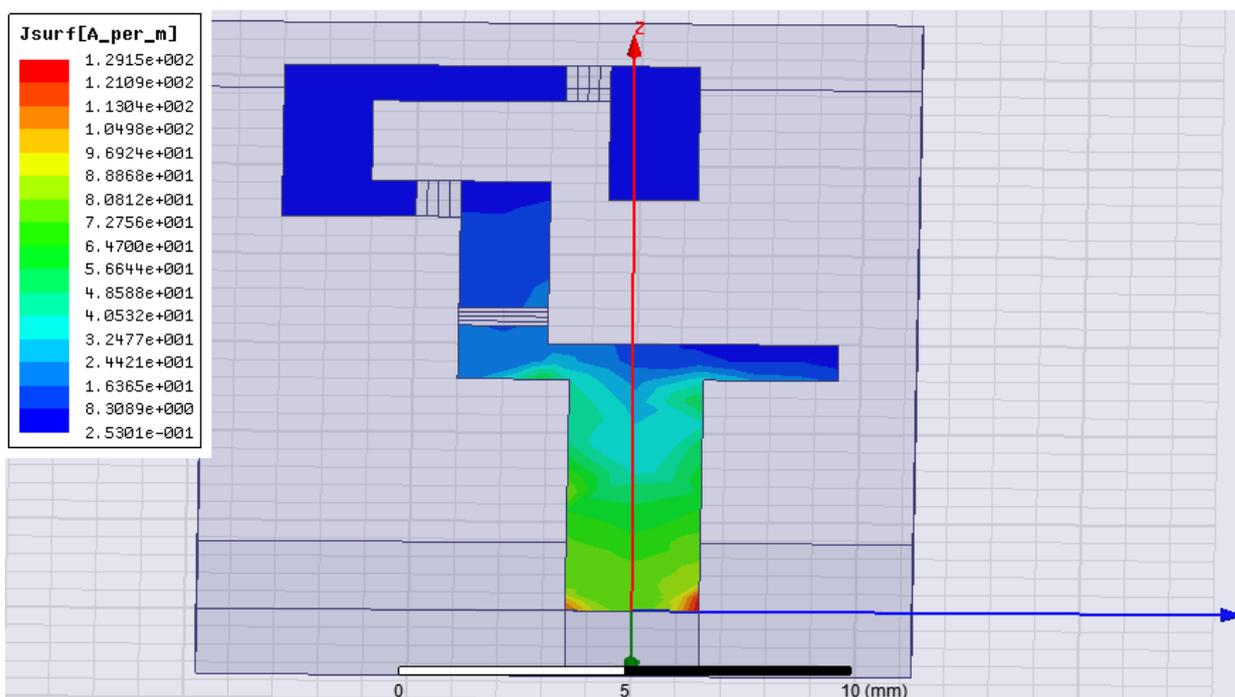


Figure 55 : la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.9080$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitué d'éléments rayonnants. Cette distribution présente des maximaux et des minimaux. Le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins. Elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

Si F2=7.3160 GHZ

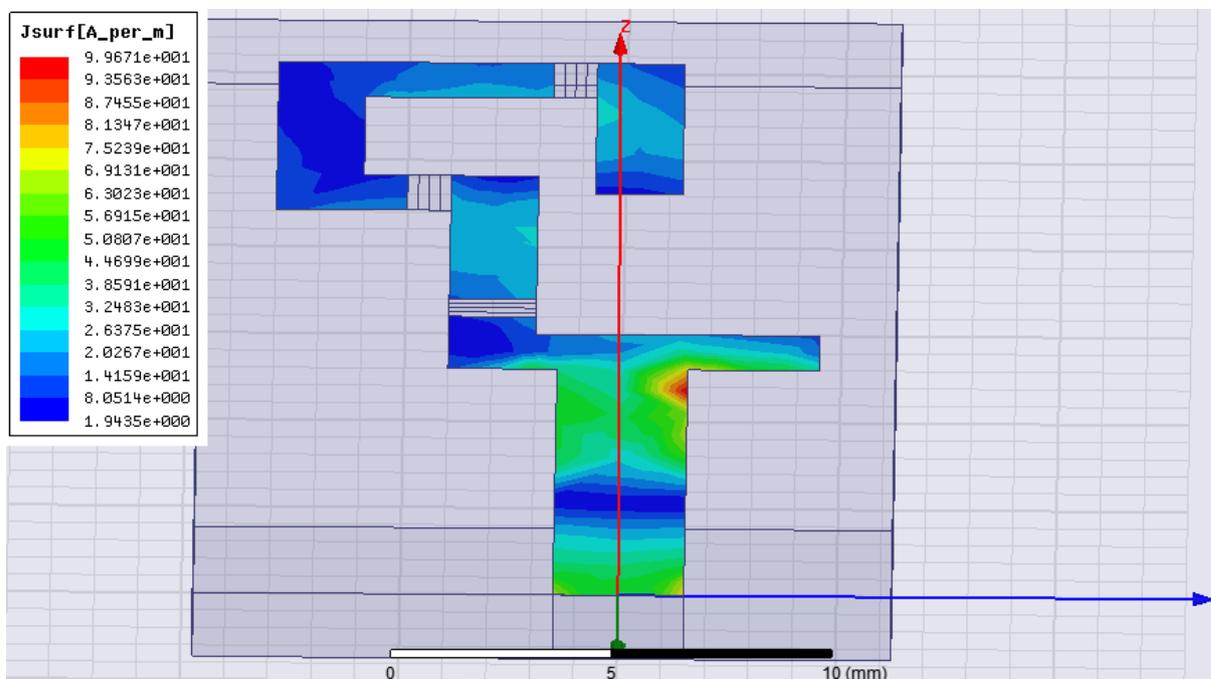


Figure 56: la distribution surfacique de courant sur le patch F2=7.3160

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximum et des minimum. le maximum de courant se produit à la hauteur de la partie 1 et sur le coin aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Pour l'état (0,0,1)

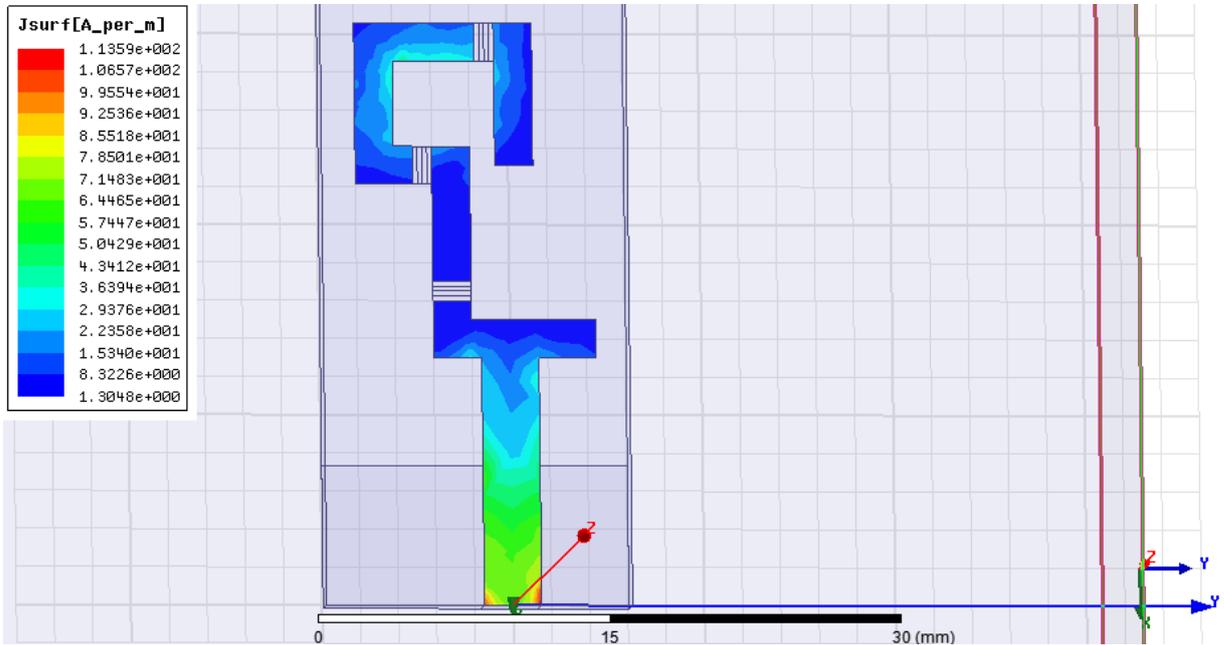


Figure 57: la distribution surfacique de courant sur le patch F1=3.5880

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximum et des minimum le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

Si F2=6.4680 GHZ

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

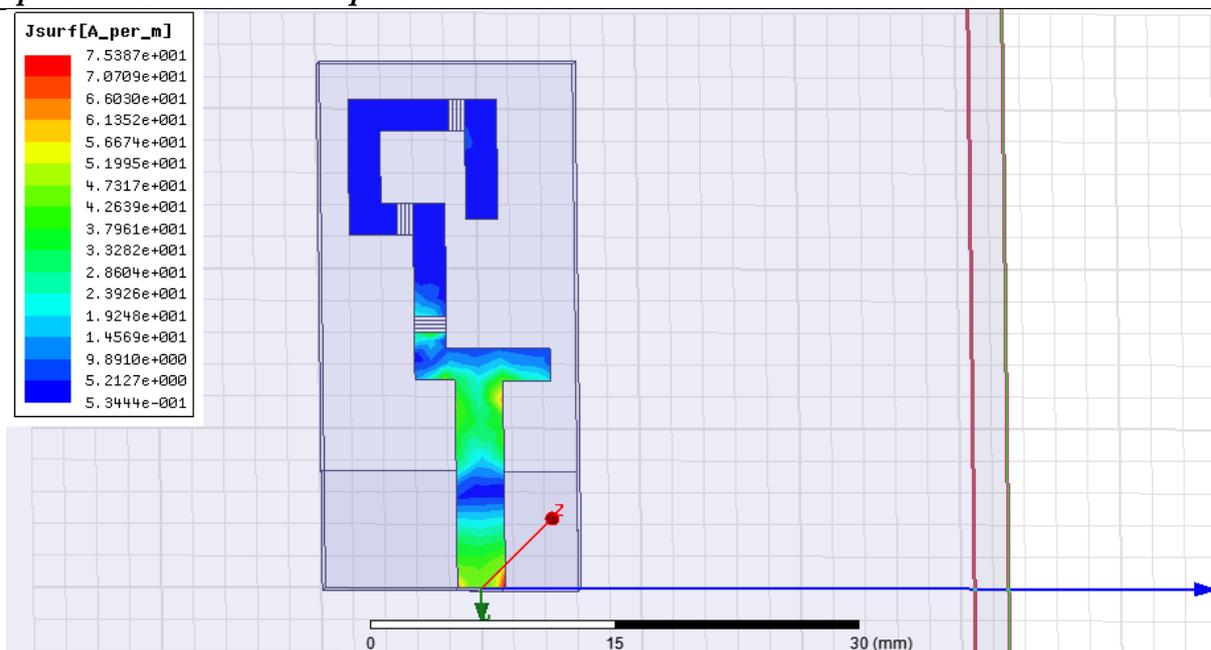


Figure 58: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.4680$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi et dans le haut de partiel au coin elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Pour l'état (0,1,0)

Si F1=3.0760 GHZ

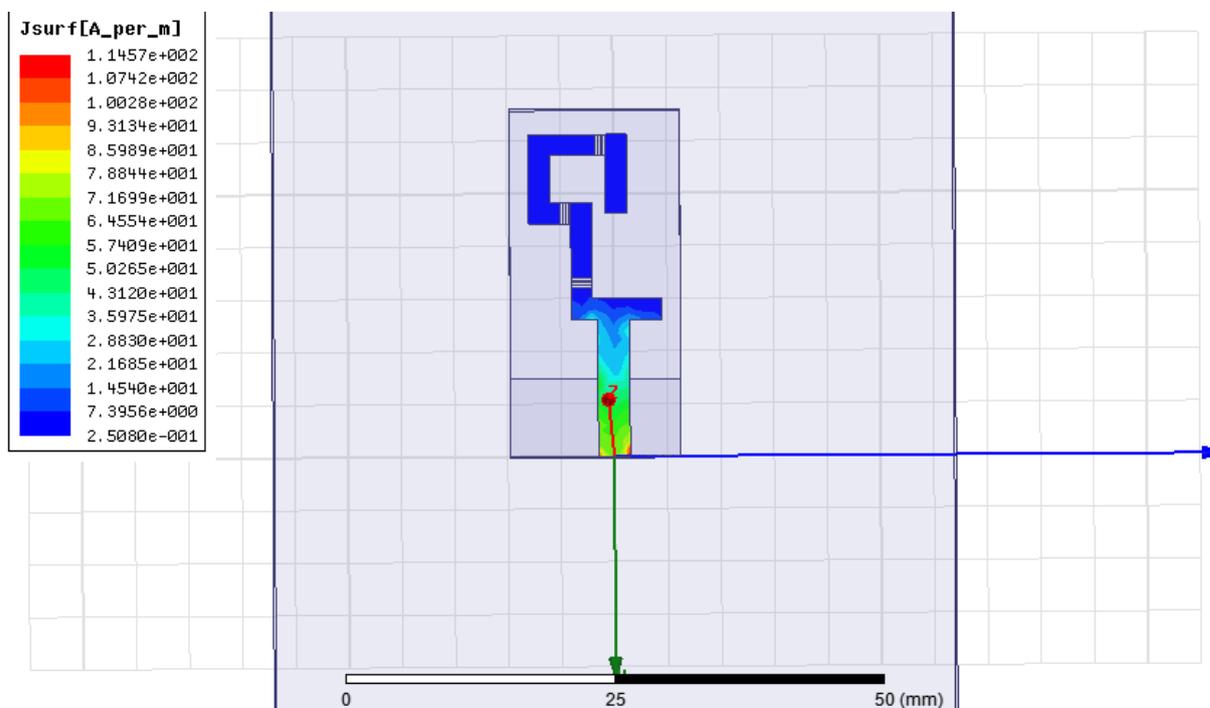


Figure 59: la distribution surfacique de courant sur le patch F1=3.0760

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins

aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

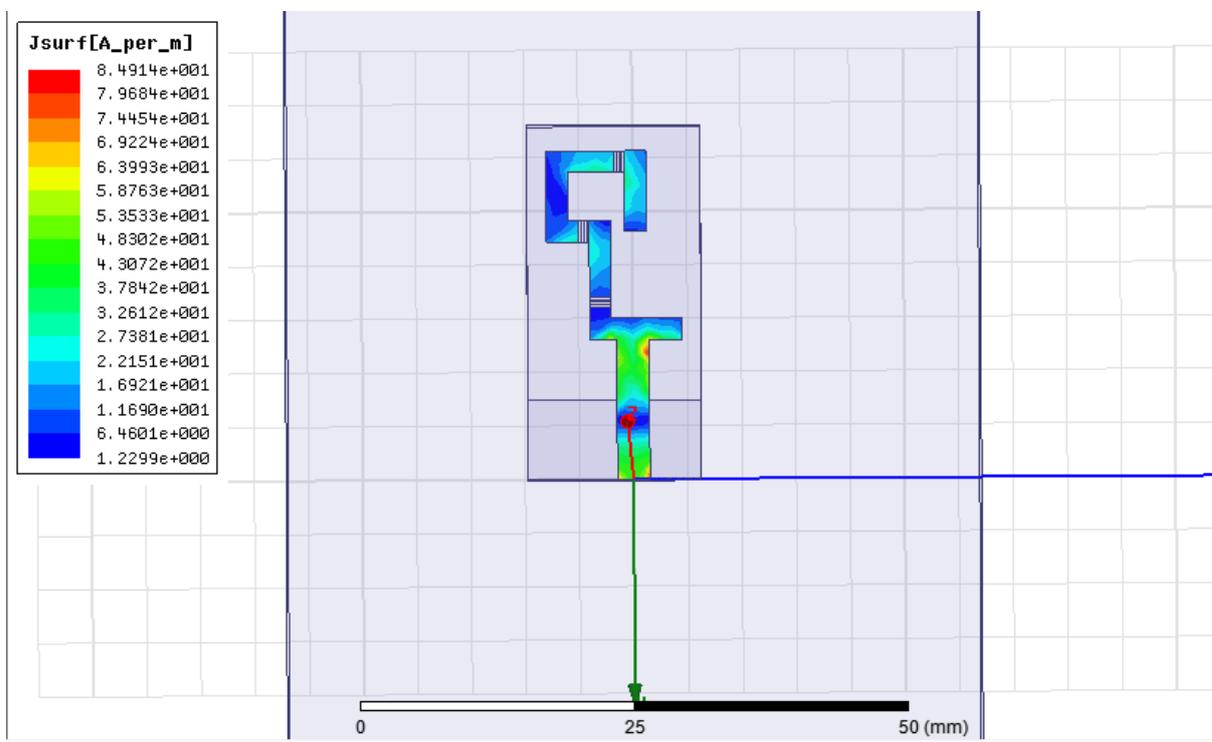


Figure 60: la distribution surfacique de courant sur le patch F2=7.172

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présenté des maximal et des minimal le maximum de courant se produit a l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins

aussi et dans le haut de partie1 au coin elle présente une symétrie par rapport a l'axe de la ligne . pour le reste des parties conductrices ,le courant est minimum

Pour l'état (0,1,1)

Si $F1=2.6920$ GHZ

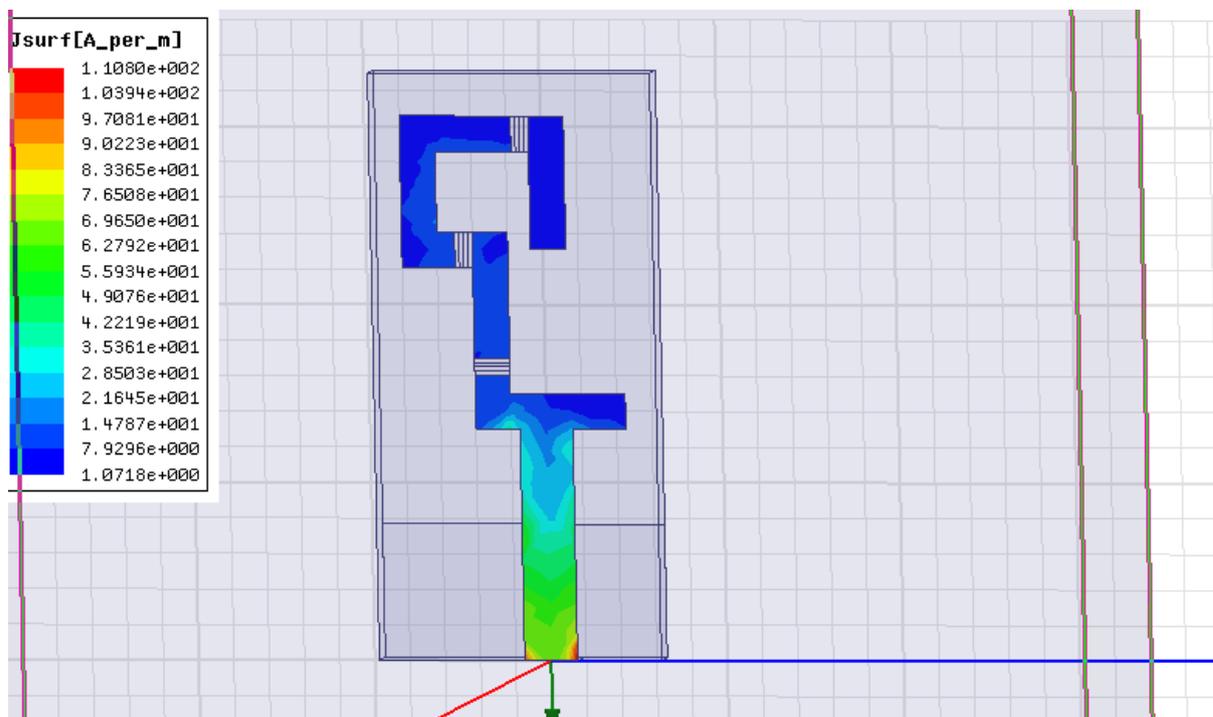


Figure 61: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=2.6920$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

Si F2=6.4840 GHZ

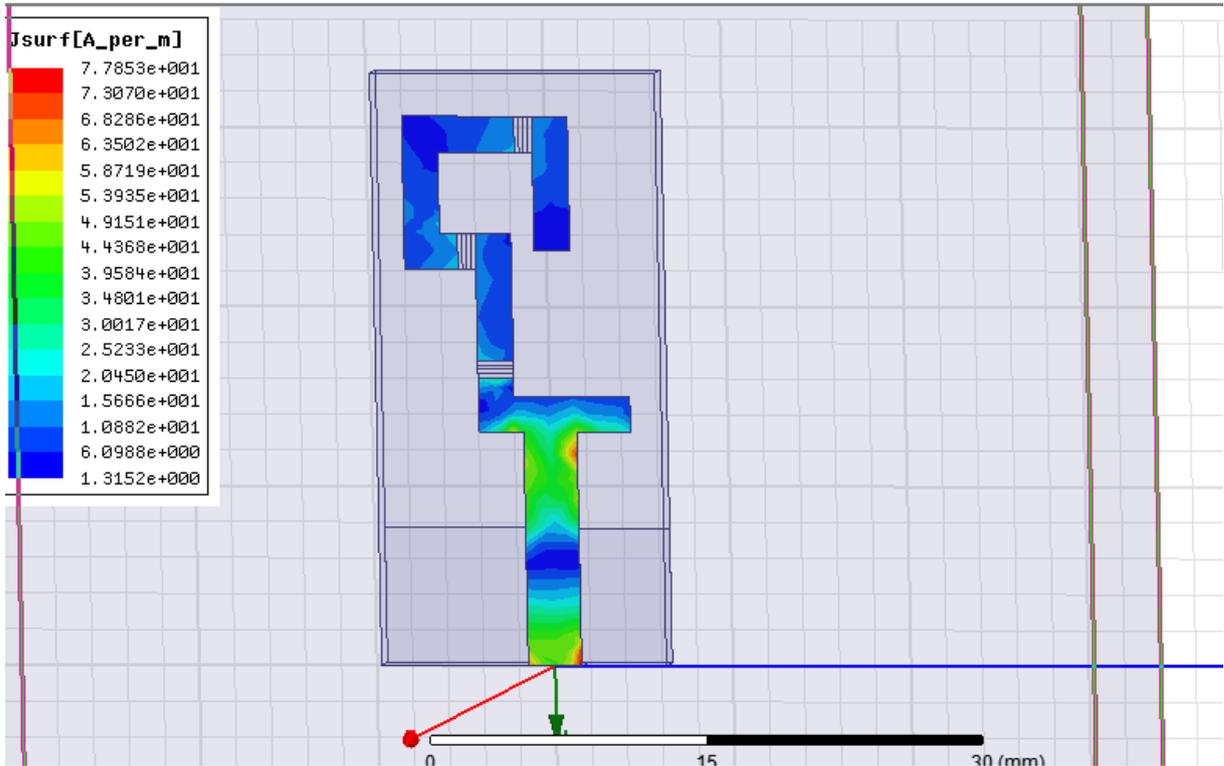


Figure 62 : la distribution surfacique de courant sur le patch F2=6.4840

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi et dans le haut de partie I au coin elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Pour l'état (1,0,0)

Si $F1=3.0440$ GHZ

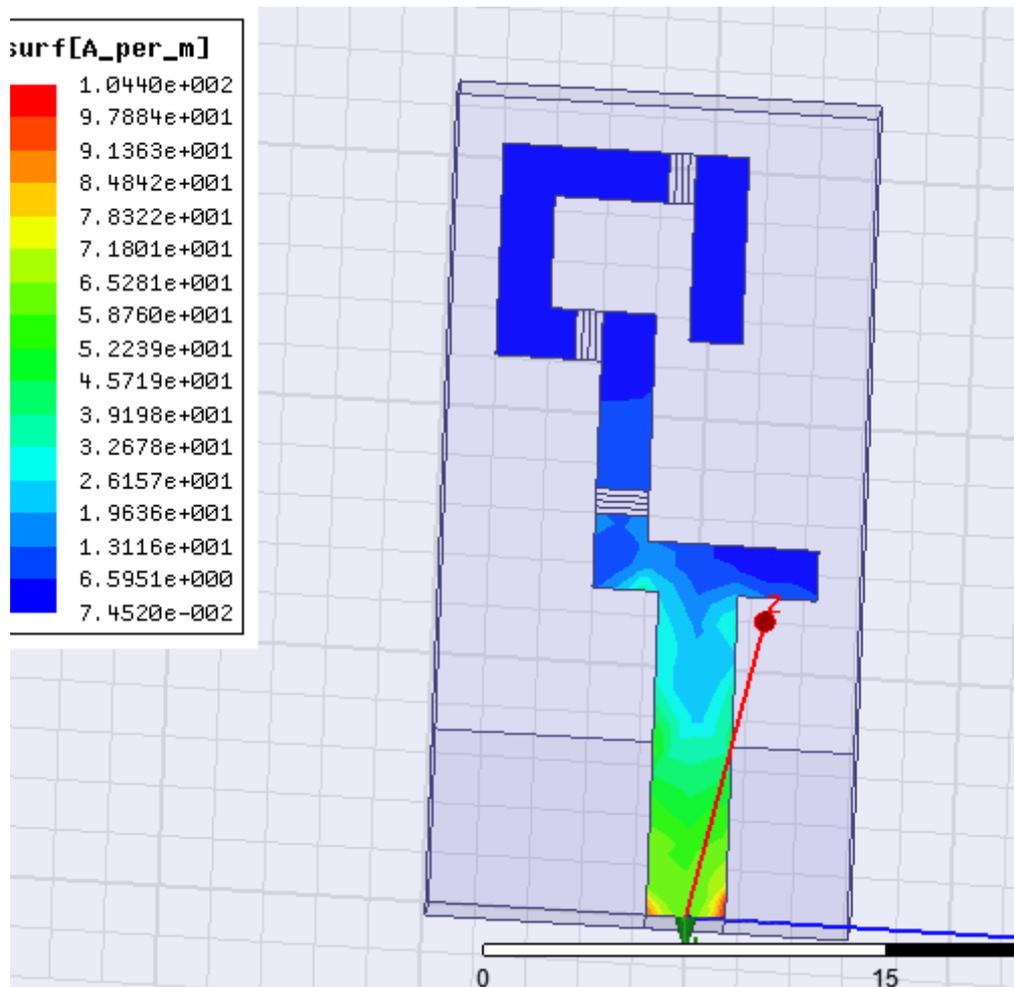


Figure 63: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.0440$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximum et des minimum le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins

Chapitre 2 Résultats Numérique et simulation

aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Si $F2=6.82$ GHz

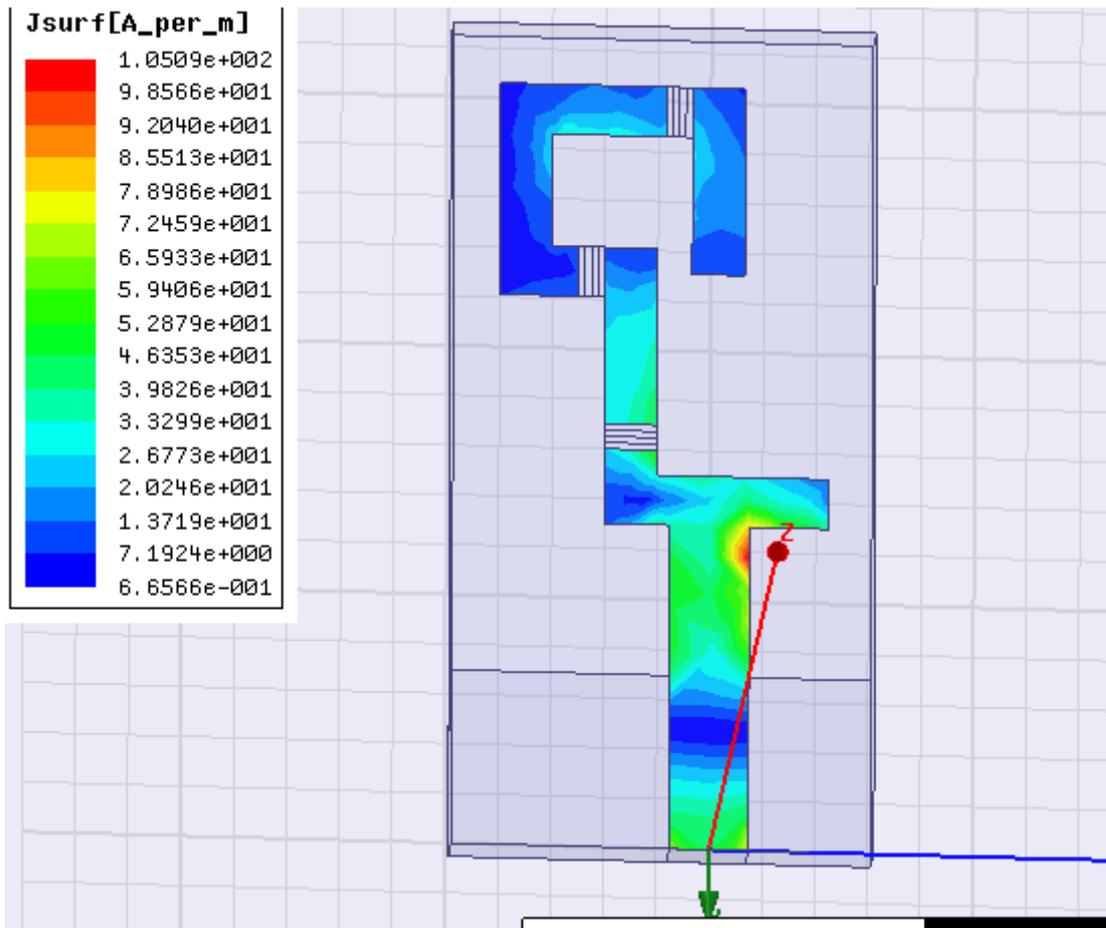


Figure 64: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.82$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitué d'éléments rayonnants. Cette distribution présente des maximaux et des minimaux. Le maximum de courant se produit au haut de la tige et sur le coin. Elle présente également une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

Pour l'état (1,0,1)

Si $F1=3.044$ GHZ

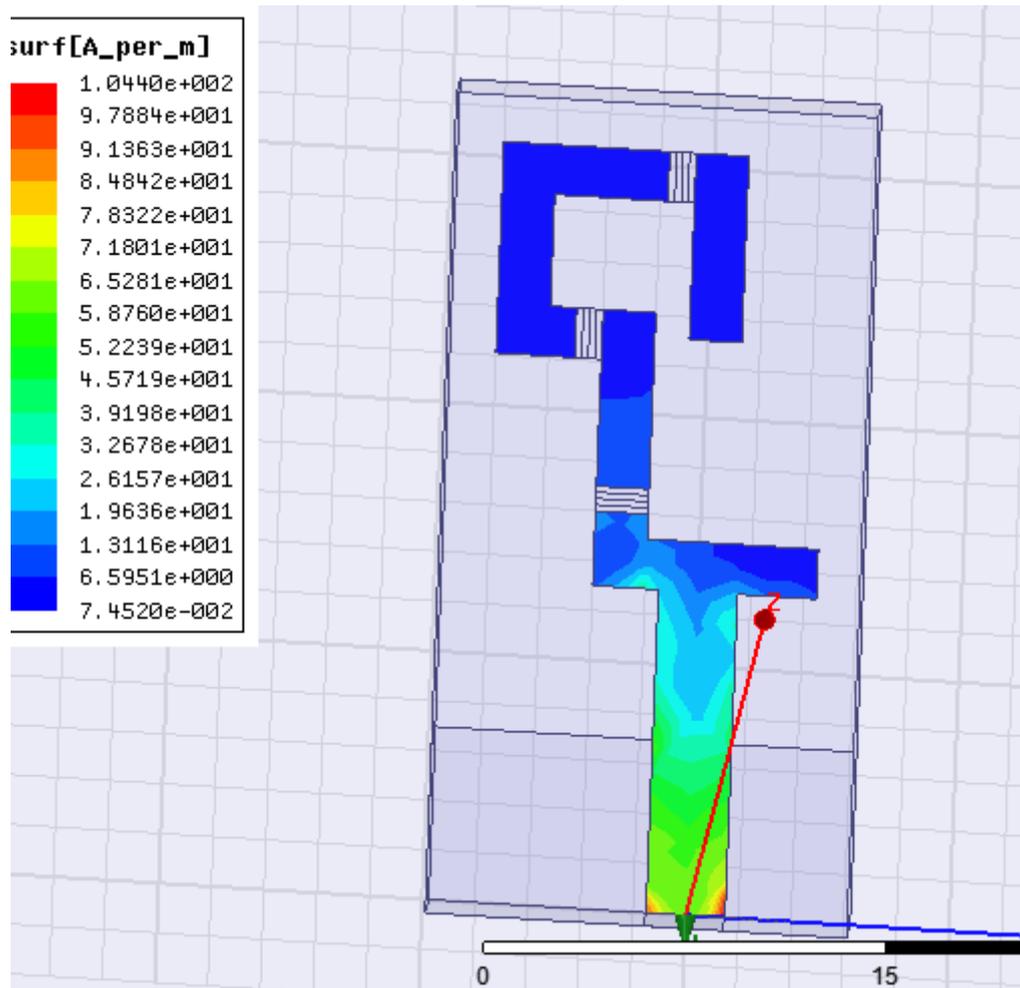


Figure 65: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=3.044$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximum et des minimum le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Pour $F2=6.7080$ GHz

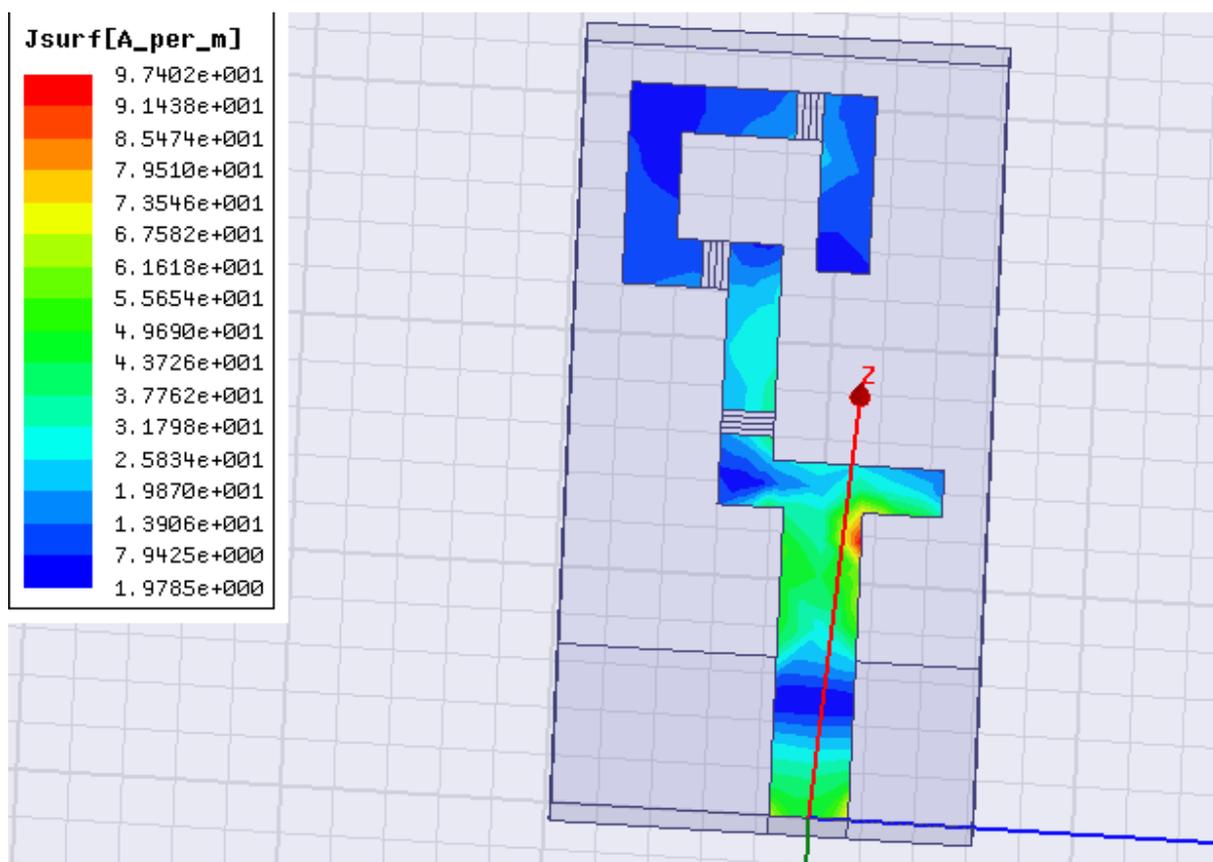


Figure 66: la distribution surfacique de courant sur le patch $F2=6.7080$

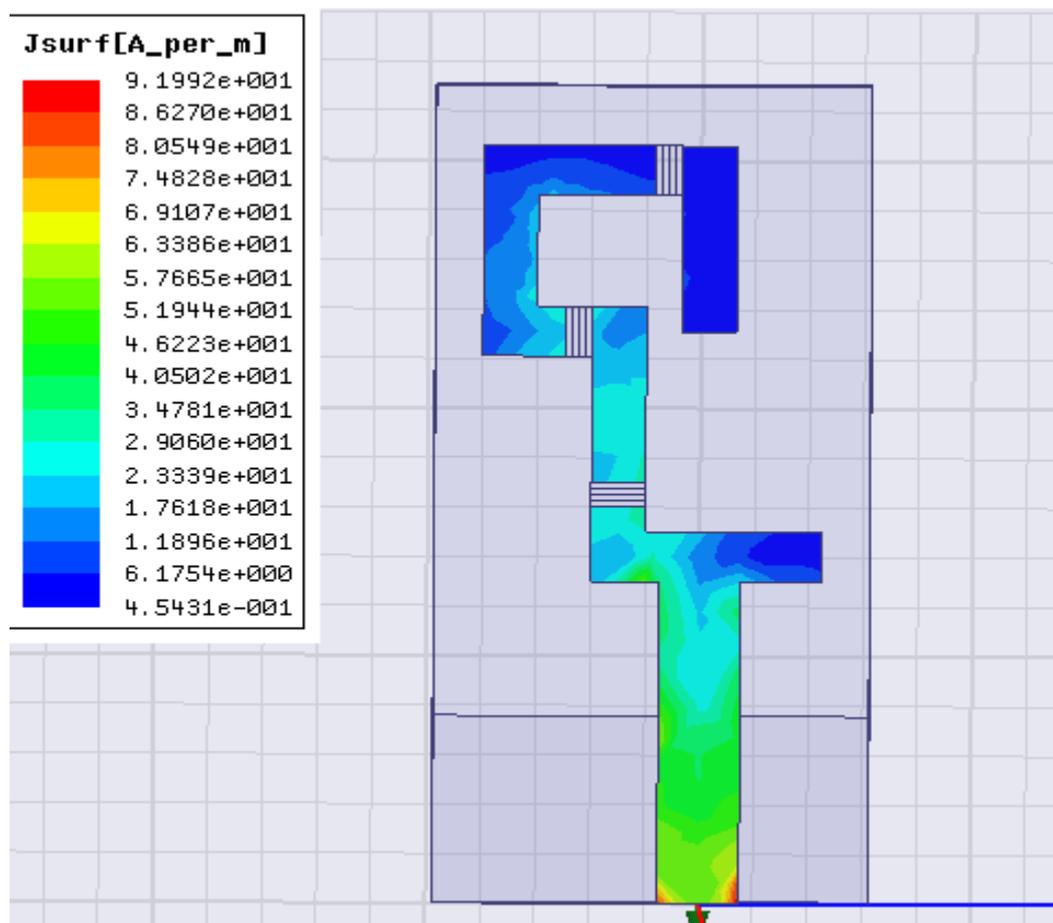
Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal. le maximum de

courant se produit a le haut de partie 1 et sur le coin aussi elle présente une symétrie par rapport a l'axe de la ligne . pour le reste des parties conductrices ,le courant est minimum

Pour l'état (1,1,0)

Si F1=2.3240 GHZ



Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximal et des minimal le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum

Si F2=6.82 GHz

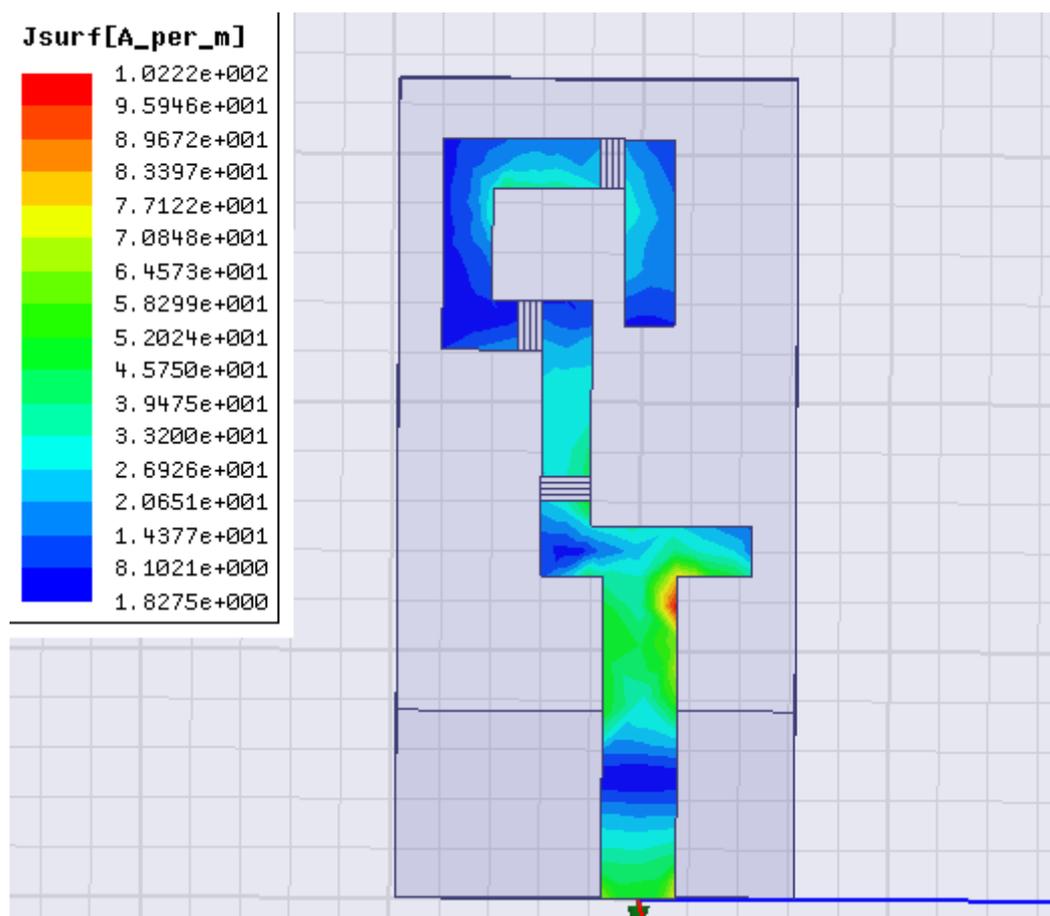


Figure 68: la distribution surfacique de courant sur le patch F2=6.82

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximum et des minimum. le maximum de courant se produit a le haut de partie 1 et sur le coin aussi elle présente une symétrie par rapport a l'axe de la ligne . pour le reste des parties conductrices ,le courant est minimum

Pour l'état (1,1,1)

Si $F1=2.0520$ GHZ

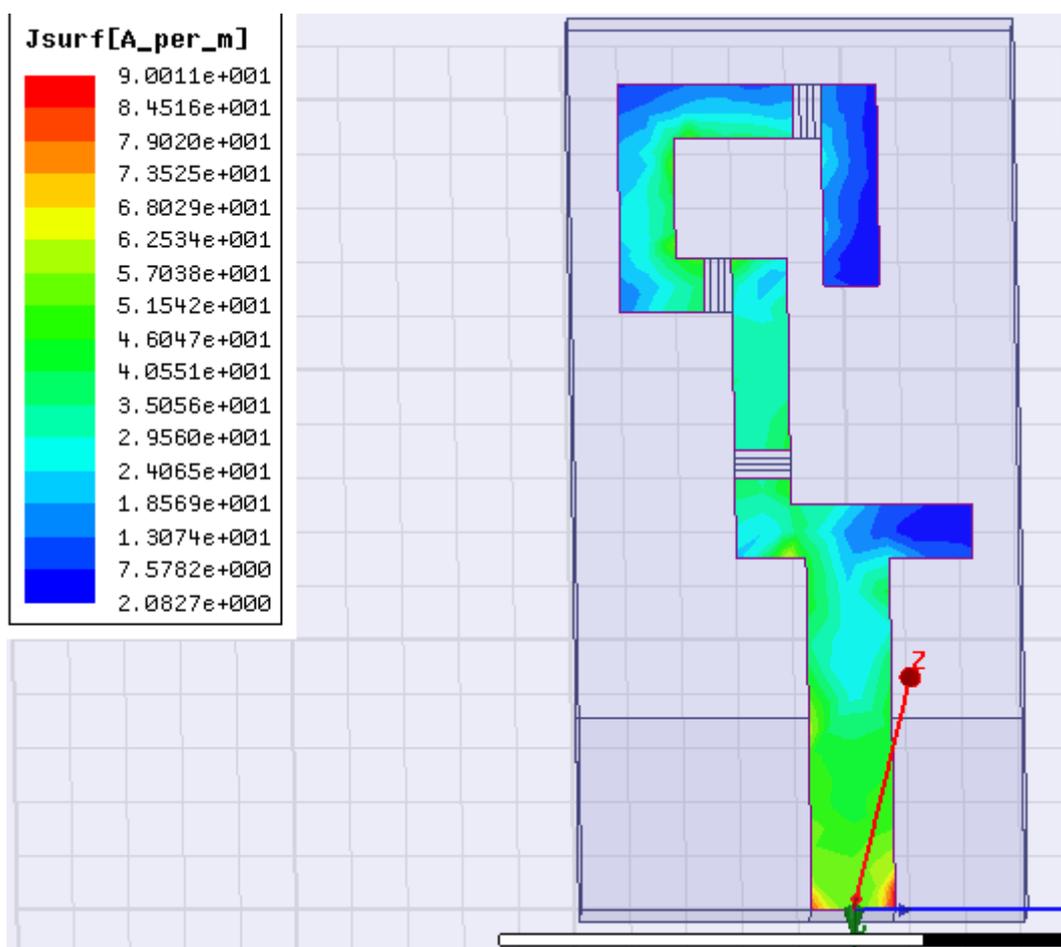
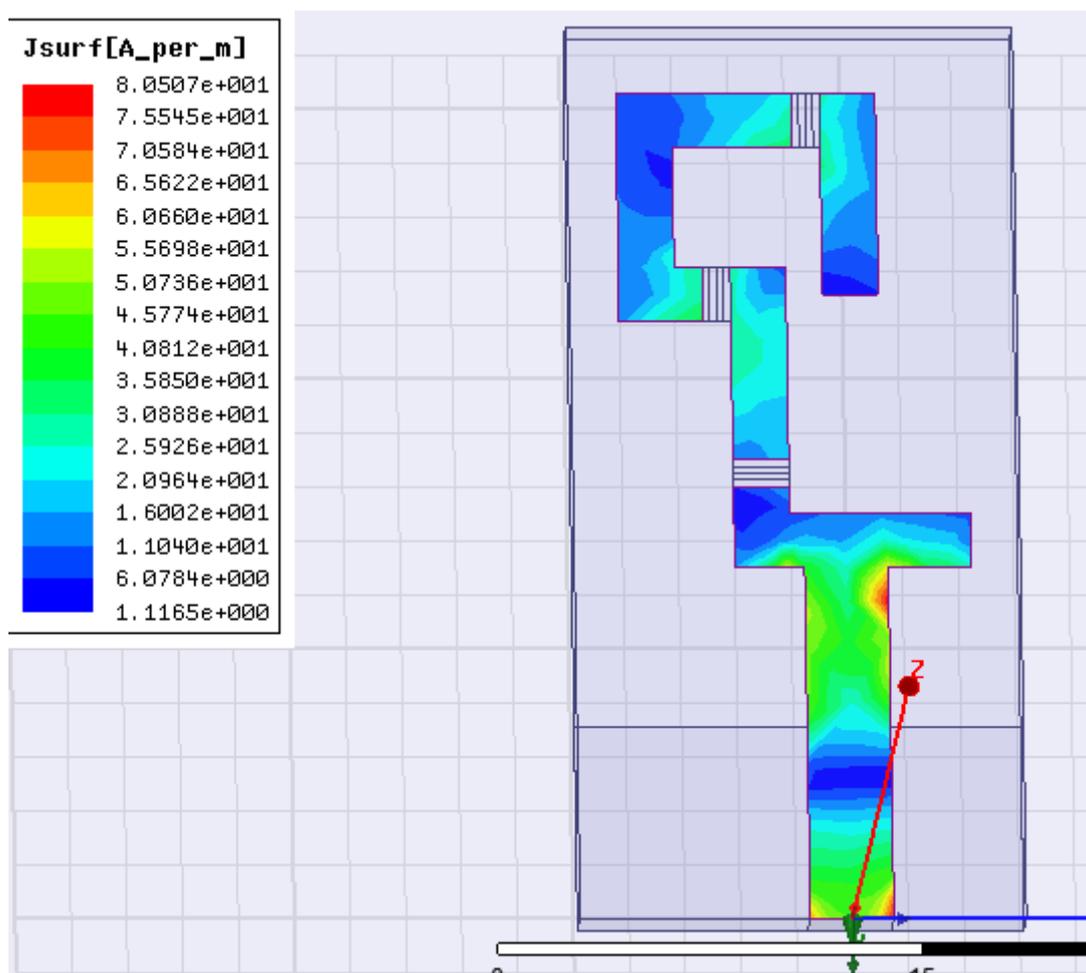


Figure 69: la distribution surfacique de courant sur le patch $F1=2.0520$

Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'élément rayonnant cette distribution présente des maximaux et des minimaux le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

Si $F2=6.5480$ GHz



Commentaire

La figure représente la distribution surfacique de courant sur le patch conducteur constitue d'éléments rayonnants. Cette distribution présente des maximaux et des minimaux. Le maximum de courant se produit à l'extrémité d'entrée de la ligne micro-ruban d'excitation et sur les coins aussi. Et dans le haut de partie 1 au coin, elle présente une symétrie par rapport à l'axe de la ligne. Pour le reste des parties conductrices, le courant est minimum.

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de simulation et de réalisation d'une antenne reconfigurable en fréquence et en diagramme de rayonnement en utilisant le simulateur HFSS.

Tout d'abord nous avons commenté sur chaque résultat de simulation et de mesure en termes de coefficient de réflexion S_{11} et le diagramme de rayonnement 2D et 3D. Nous pouvons dire qu'il y a une petite différence entre les résultats de simulation et de mesure, cette différence s'expliquera et on a effectué une modification géométrique par l'insertion de la diode PIN pour pouvoir atteindre notre objectif qui est la reconfigurabilité de l'antenne. Et comme il existe d'autres procédures de modélisation de la diode PIN pour simplifier la simulation et même la réalisation, on a remplacé cette diode par un circuit RLC équivalent puis par un plot métallique.

Dans la dernière partie on a fait la distribution de courant dans la structure étudiée pour chaque fréquence.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire de fin d'étude, nous nous intéressons à l'étude et à la conception d'une antenne reconfigurable en fréquence et en diagramme de rayonnement. A cet effet, une étude détaillée a été effectuée sur les techniques de reconfigurabilité. La flexibilité de reconfiguration des antennes configurables est utilisée pour optimiser les performances de l'antenne dans un scénario changeant ou pour répondre à des besoins opérationnels. Dans le premier chapitre nous avons présenté une généralité sur les antennes reconfigurable. Ensuite dans le deuxième chapitre nous avons présenté la différente technique de reconfiguration

avec quelques exemples illustratifs et nous avons cité les différents dispositifs de commutationnelle que RF MEMS, les diodes PIN, les Varactors qui peuvent modifier les caractéristiques des antennes reconfigurable après les fabrications. Finalement, le dernier chapitre est consacré à l'étude et la conception d'une antenne reconfigurable en fréquence et en diagramme de rayonnement.

La première partie de cette étude est basée sur la création des fentes et la modification géométriques dans laquelle on a utilisé les Diodes PIN ainsi que leur technique de modalisation à savoir circuit RLC équivalente et plot métallique. La deuxième partie est consacrée à la réalisation de deux prototypes, le première concerne une antenne triangulaire avec deux fentes insérées sur le plans masse et avec un seul plot métallique place sur la première fente. Alors que, nous avons constaté que les résultats de mesure obtenus sont similaires avec les résultats de simulation avec des petites différences qui peuvent être expliquées par une incertitude dimensionnelle

Comme perspectives de ce travail, nous proposons de :

Conclusion générale

- Utiliser d'autres formes de cavité (Sphérique, Cylindrique).
- Utiliser un autre simulateur CST
- Changer le type d'antenne et le type de substrat

Bibliographie

[1] wikipédia

[2] N. Emmanuel, «Réalisation d'une antenne patch Alimentée par ouverture», Rapport de stage, université de la réunion, Saint-Denis, France, 2007-2008.

[3]] Z. Bachir, «Modélisation d'une antenne micro ruban compacte», Master académique, Université EchahidHamma Lakhdar-El oued. 2015

[4] A. Benomar, «Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications», Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2015.

[5] D. Emmanuel, «Conception, optimisation et intégration RF d'un système d'antennes miniatures multi capteurs utilisant la diversité en vue d'augmenter les performances radio d'un terminal mobile 4G», Thèse de Doctorat, l'Institut polytechnique de Grenoble, 2010.

[6] .Walid, M. Rami, «Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée», Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila,2017.

[7]] C. Hamid, «Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique », Maitrise en Ingénierie, Université de Québec à Chicoutimi, Mai 2012.

[8]] N. Hamdiken , «Application de nouvelles méthodes de modélisation et d'optimisation dans l'étude des antennes microbandes et des systèmes multi-antennaires pour techniques de diversité et MIMO», Thèse de Doctorat, Université de Batna -2-, 2017.

[9] M. Meriem, B.Siham , « Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande Wifi 5 GHz », Master académique, Université KasdiMerbah Ouargla, Mai 2017

- [10] T. Mohamed Housseem Eddine, « Conception et Simulation d'une antenne micro ruban circulaire », Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, Juin 2014.
- [11] Trong Duc Nguyen, « Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive », Université Grenoble Alpes, France, 2012
- [12] Kin-Fai Tong et Jingjing Huang, « New Proximity Coupled Feeding Method for Reconfigurable Circularly Polarized Microstrip Ring Antennas », *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no 7, p. 1860-1866, juill. 2008.
- [13] M. Rutschlin et V. Sokol, « Reconfigurable Antenna Simulation: Design of Reconfigurable Antennas with Electromagnetic Simulation », *IEEE Microw. Mag.*, vol. 14, no 7, p. 92-101, nov. 2013
- [14] L. Liu and R. J. Langley., « BLiquid crystal tunable microstrip patch antenna », sept-2008.
- [15] W. Hu *et al.*, « Liquid-crystal-based reflectarray antenna with electronically switchable monopulse patterns », *Electron. Lett.*, vol. 43, no 14, p. 744, 2007
- [16] Bourtoutian, R., "Objets Communicants: Miniaturisation des Frontaux RF par Co Conception", mémoire de thèse de doctorat, 2008
- [17] Ebrahimi, E.; Hall, P.S., "A dual port wide-narrowband antenna for cognitive radio," *Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on*, vol., no., pp.809-812, 23-27 March 2009
- [18] Trong Duc Nguyen << Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive >> Thèse Doctorat, Université de Grenoble, 2012
- [19] I.A. Shah, S. Hayat, A. Basir, M. Zada, S.A.A. Shah, S. Ullah, S. Ullah, Design and Analysis of a Hexa-Band Frequency Reconfigurable Antenna for Wireless Communication, *International Journal of Electronics and Communications* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.10.012>,

Design and

Analysis of a Hexa-Band Frequency Reconfigurable Antenna for Wireless Communication

