REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Électrique
Spécialité : les systèmes des télécommunications

Conception et simulation des réseaux d'antennes Microbande de diverses formes à base du logiciel HFSS.

Présenté par :

KAFAIFI Soumeya

MANSOURI Manel

Proposé et Dirigé par :

Mr. B. MIMENE

Promotion 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À ma chère mère

Qui a consacré sa vie à mon bonheur et à mon succès, merci ma mère pour tout, avec tout mon amour et ma gratitude pour toi, prie Allah de te bénir avec la santé et la longévité et de te garder toujours.

À mon cher père, que Dieu ait pitié de lui, et je le ferai habiter au paradis.

À mes frères et sœurs

Qui ont fait de leur mieux pour m'aider, Ils sont une source de force et de fierté.

À toute ma famille.

À mon cher ami et partenaire : Manel Mansouri, vous êtes ma sœur, merci pour votre amitié et vos positions nobles.

À mon superviseur, Mr B. MIMENE, pour sa vigilance et son soutien constant.

À tous mes amis et connaissances. Et à tous ceux qui m'ont aidé à développer ce travail.

KAFAIFI SOUMEYA.

Dédicace

Tout d'abord, merci à Dieu qui m'a aidé tout au long de ma carrière.

Je dédie ce mémoire.

À mes Chers parents

Je prie Dieu de vous bénir avec la santé et la longévité et de garder une couronne sur ma tête parce que tous les mots de remerciement sont peu à votre droite, je vous aime.

À ma gentille famille

Mon mari, mon frère et mes sœurs à tous les membres de ma famille, merci pour votre soutien et vos encouragements pour ma réussite.

À mon binôme et à mon amie Kafaifi soumeya je vous souhaite du bonheur et plus de succès dans votre vie. Merci pour votre noble amitié.

À mes amis et mes proches et À tous ceux qui me connaissent et m'aiment.

MANSOURI MANEL.

Remerciement

Tout d’abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir permis d’atteindre cette position humble et de nous guider sur le chemin de la connaissance, qui nous a procuré la santé, la patience, la volonté et la capacité de faire ce travail. Sans la sagesse de Dieu, rien n'aurait pu être réalisé.

Nous remercions tout particulièrement nos parents pour leurs efforts et leurs sacrifices tout au long de notre parcours éducatif. Les parents sont la source de la détermination, de l’encouragement et du succès.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à l’honorable superviseur **Mr B. MIMENE**, et à vous remercier d’avoir accepté l’encadrement de la présente note, vos efforts, vos conseils et votre aide précieuse, qui nous ont permis de surmonter les difficultés et de progresser. Merci pour la confiance que vous avez mise à notre disposition.

Nous voudrions également remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont rendu en leur présence et leur acceptation d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre travail.

Je voudrais remercier tous les professeurs et les responsables de l'Institut des télécommunications qui ont contribué et ont fait un effort dans notre éducation et notre formation.

Et exprimer notre gratitude à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à nous fournir assistance et soutien au cours de cette période. Nous n'oublions pas non plus notre famille et tous nos amis et parents pour les encourager dans la mise en œuvre de ce mémorandum.

Merci avec notre sincère gratitude.

Puisse Allah vous préserver tous.

Table des matières

Dédicace……..I

Remerciement……...…III

Table des matières……IV

Liste des Figures.....VIII

Liste des Tableaux……...XII

Liste des Abréviation……XIV

Résume……....XV

Introduction générale

Introduction générale..... 1

Chapitre I

Généralités (Quelques Notions de base)

I.1 Introduction..... 2
I.2 Historique..... 2
I.3 Principe de fonctionnement des antennes..... 4
I.3.1 Définition d'antenne..... 4
I.3.2 Rôle des antennes..... 4
- Antennes d'émission..... 4
- Antennes de réception..... 4
- Réciprocité..... 5

I.3.3 Comment rayonne une antenne..... 5
I.3.4 La Puissance rayonnante des antennes..... 6
I.3.5 Diagramme de rayonnement..... 6
I.4 Applications..... 7
I.5 Différents types d'antennes..... 8
a. Antenne dipolaire..... 8
b. Boucle magnétique..... 9
c. Antenne cornet..... 9
d. Antenne à fente..... 10
e. Antenne à réflecteur parabolique..... 11
f. Antennes de type Cassegrain..... 12
g. Antennes plaquées (microbande)..... 13
h. Antennes actives..... 13
I.6 Classification des antennes en fonction du type de la source..... 14
I.7 Conclusion..... 15

Chapitre II

Les antennes microbandes

II.1 Introduction..... 16
II.2 Description de l'antenne microbande..... 16

II.3 Principe de fonctionnement 17
II.4 les Réseaux d'antennes 18
II.5 Structure d'une antenne microbande 19
II.5.1 Les paramètres géométrique du l'antenne imprimée 20
 Largeur de l'élément rayonnant (patch) 20
 Longueur du patch 20
II.6 Critères de Choix du substrat 21
II.7 Caractéristiques des antennes 21
II.7.1 Représentation en quadripôles 21
II.7.2 Coefficient de réflexion S11 22
II.7.3 Directivité 22
II.7.4 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio) 22
II.7.5 Rendement de l'antenne 22
II.7.6 Gain 22
II.7.7 Ouverture 22
II.7.8 Impédance d'entrée 23
II.7.9 Diagramme de rayonnement 23
II.7.10 Polarisation de l'antenne 24
II.8 Techniques d'alimentation 24
II.8.1 Alimentation par ligne micro ruban 24
II.8.2 Alimentation par câble coaxiale 24
II.8.3 Alimentation couplée par fente (ouverture) 24
II.8.4 Alimentation couplée par proximité 25
II.9 Méthode d'analyse 28
II.9.1 Méthode approximatives (analytiques) 28
II.9.1.1 Le modèle de la ligne de transmission 28
II.9.1.2 Le Modèle de la cavité 29
II.9.2 Méthodes rigoureuses (Numériques) 30
II.9.2.1 Méthodes des éléments finis(FEM) 30
II.9.2.2 Méthode des différences finies (FDTD) 30
II.9.2.3 La Méthode des moments 31
II.9.2.4 Méthode d'analyse spectrale 31
II.10 Applications des antennes microbandes 31
II.11 Les avantages et les inconvénients 32
II.12 Conclusion 32

Chapitre III
Implémentation et discussion des résultats

III.1 Introduction 33
III.2 Présentation du logiciel d'Ansoft HFSS 33
III.2.1 Définition HFSS 33
III.2.2 Réalisation d'un projet sous HFSS 34
III.3 Paramètres des antennes microbandes à concevoir 35
III.4 Description des modules à réaliser 36

III.5 Conception des antennes microbandes 36
III.6 Présentation et discussion des résultats de simulation des antennes microbandes simples 39
III.6.1 Simulation des antennes simples de formes pour la fréquence f=2.3GHz et épaisseur h=1.5mm. 39
A. Forme rectangulaire (de longueur : L=43.3mm, largeur : W=31mm) 39
B. Forme Circulaire (de dimensions : R=20.67mm)……..... 41
C. Forme polygone (d'arrêts : **a**=22.73mm)..... 43
III.6.2 Simulation pour la fréquence f=4.6GHz et épaisseur h=1.5mm. 45
A. Forme rectangulaire : (Longueur : L=21.7mm ;Largeur : W=16mm). 45
B. Forme circulaire (de Rayon : R=10.51mm). 48
C. Forme polygone (d'arrêt : a=11.56mm). 50
III.7 Résultats de simulation des réseaux d'antennes microbandes de divers formes (rectangulaire, circulaire, polygone) 52
III.7.1 Réseaux d'antennes microbandes de forme rectangulaire 52
A. Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm):Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm. 52
B. Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm): (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm.) 54
C. Réseaux à deux (02) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3mm, W=24mm): (Pour la fréquence f=3 GHz et h=1.5mm). 56
D. Réseaux à deux (02) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3mm, W=24mm) : (Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm). 58
E. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm) (Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm) : 61
F. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm) (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm) 63
G. Réseaux à quatre(04) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3 mm, W=24 mm)……. 65
G.1. Pour la fréquence f=3 GHz et h=1.5mm…….....65
G.2. Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm……67
H. Réseaux à Huit (08) antennes microbandes (dimensions : L=43.3 mm, W=31 mm).. 70
H.1 Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm……..70
H.2 Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm…….……71
I. Réseaux à Huit (08) antennes microbandes Rectangulaires (dimensions : L=33.3 mm, W=24 mm) 73
I.1 Pour la fréquence f=3 GHz et h=1.5mm……..73
I.2 Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm……..……75
III.7.2 Réseaux d'antennes microbandes de forme Circulaire 78
A. Réseaux à deux antennes microbandes Circulaires (rayon : R=20.67 mm): (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 78
B. Réseaux à quatre antennes microbandes Circulaires (R=20.67 mm): (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 80
C. Réseaux à six antennes microbandes Circulaires (dimensions : R=20.67 mm) :

(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 82
D. Réseaux à Huit antennes microbandes circulaire (dimensions : R=20.67 mm) :
(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 84
E. Réseaux à Neuf antennes microbandes circulaires (dimensions : R=20.67 mm) :
(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 86
III.7.3 Réseaux d'antennes microbandes de forme Polygone 88
A. Réseaux à deux antennes microbandes Polygone (Arrêt : a=22.73 mm.):
(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 88
B. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Polygone (Arrêt : a=22.73 mm.):
(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm). 91
III.8 Etude comparative 93
III.9 Discussion et interprétation des résultats on générale 95
III.10 conclusion……...97

Conclusion générale

conclusion générale……...98

Bibliographie

Bibliographie……99

Annexe

Annexe……102

Liste des Figures

Chapitre I

Généralités (Quelques Notions de base)

Figure I.1: rôle d'une antenne.... 4
Figure I.2: Rayonnement d'une antenne.... 5
Figure I.3: Puissance rayonné par une antenne dans une direction de l'espace. 6
Figure I.4: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne. 7
Figure I.5: Occupation du spectre radiofréquence. 7
Figure I.6: Antenne dipolaire. 8
Figure I.7: Boucle magnétique. 9
Figure I.8: Différents types de cornets. 10
Figure I.9: Réseau de fentes. 11
Figure I.10: Fentes sur le grand coté d'un guide rectangulaire. 11
Figure I.11: Antenne à réflecteur parabolique. 12
Figure I.12: Antenne à réflecteur parabolique. 13
Figure I.13: Antenne plaquée. 13
Figure I.14: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique. 14

Chapitre II

Les antennes microbandes

Figure II.1: Présentation d'une antenne microbande.... 16
Figure II.2: Différentes formes d'antennes microbande. 17
Figure II.3: Distribution de champ dans une antenne microbande. 18
Figure II.4: Réseaux d'antennes patch. 18
Figure II.5: La structure de base d'une antenne patch. 19
Figure II.6: Représentation en quadripôle. 21
Figure II.7: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire. 23
Figure II.8: Techniques d'alimentation. 25
Figure II.9: Ligne micro-ruban. 28
Figure II.10: antenne patch rectangulaire. 29
Figure II.11: Modèle de la cavité. 30

Chapitre III

Implémentation et discutions des résultats

Figure III.1: La fenêtre principale du logiciel HFSS. 34
Figure III.2: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS 35
Figure III.3: antenne microbande rectangulaire… **…… ……..……** 36
Figure III.4: antenne microbande circulaire. 36
Figure III.5: Antenne microbande polygone 37
Figure III.6: Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires. 37
Figure III.7: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire 37
Figure III.8: Réseaux à huit (08) antennes microbandes rectangulaires. 37
Figure III.9: Réseaux à deux (02) antennes microbandes circulaires 37

Liste des Figures

Figure III.10: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes circulaire 38
Figure III.11 : Réseaux à six (06) antenne microbandes circulaires. 38
Figure III.12: Réseaux à huit (08) antennes microbandes circulaire 38
Figure III.13: Réseaux à neuf (09) antennes microbandes circulaires. 38
Figure III.14: Réseaux à deux (02) antennes microbandes polygones. 38
Figure III.15: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes polygones. 38
Figure III.16: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) Le champ électrique..... 39
Figure III.17: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi). 39
Figure III.18: Diagramme de rayonnement de la Directivité totale 40
Figure III.19: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 40
Figure III.20: Le VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 40
Figure III.21: Diagramme de rayonnement 3D : (a) Le gain, (b) le champ électrique..... 41
Figure III.22: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi). 41
Figure III.23: Diagramme de rayonnement (Directivité totale de l'antenne). 42
Figure III.24: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 42
Figure III.25: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence 42
Figure III.26: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) le champ électrique 43
Figure III.27: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)…….....43
Figure III.28: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 44
Figure III.29: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 44
Figure III.30: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 44
Figure III.31: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) le champ électrique. 45
Figure III.32: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi). 46
Figure III.33: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 46
Figure III.34: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 46
Figure III.35: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 47
Figure III.36: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 48
Figure III.37: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi). 48
Figure III.38: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 48
Figure III.39: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 49
Figure III.40: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 49
Figure III.41: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 50
Figure III.42: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi). 50
Figure III.43: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 50
Figure III.44: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 51
Figure III.45: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence ... 51
Figure III.46: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 52
Figure III.47: Diagramme de rayonnement de la directivité totele. 53
Figure III.48: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 53
Figure III.49: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 53
Figure III.50: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 54
Figure III.51: Diagramme de rayonnement de la directivité totele 54

Liste des Figures

Figure III.52: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 55
Figure III.53: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 55
Figure III.54: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 56
Figure III.55: Diagramme de rayonnement de la directivité totele. 56
Figure III.56: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence 56
Figure III.57: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 57
Figure III.58: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 58
Figure III.59: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 58
Figure III.60: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 58
Figure III.61: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. .. 59
Figure III.62: diagramme de rayonnement du gain 60
Figure III.63: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique 61
Figure III.64: Diagramme de rayonnement de la directivité totale 61
Figure III.65: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 61
Figure III.66: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence ... 62
Figure III.67: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 63
Figure III.68: Diagramme de rayonnement de la directivité totale 63
Figure III.69: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 63
Figure III.70: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 64
Figure III.71: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 65
Figure III.72: Diagramme de rayonnement de la directivité totale 65
Figure III.73: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 65
Figure III.74: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. ... 66
Figure III.75: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 66
Figure III.76: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 67
Figure III.77: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 67
Figure III.78: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. .. 68
Figure III.79: diagramme de rayonnement du gain. 69
Figure III.80: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 70
Figure III.81: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 70
Figure III.82: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 70
Figure III.83: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. .. 71
Figure III.84: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 71
Figure III.85: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 72
Figure III.86: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 72
Figure III.87: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence ... 72
Figure III.88: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 73
Figure III.89: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 74
Figure III.90: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 74
Figure III.91: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. .. 74
Figure III.92: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 75
Figure III.93: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 75

Liste des Figures

Figure III.94: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 76
Figure III.95: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence ... 76
Figure III.96: Diagramme de rayonnement du gain. 77
Figure III.97: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 78
Figure III.98: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)..... 78
Figure III.99: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 79
Figure III.100: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 79
Figure III.101: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 79
Figure III.102: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 80
Figure III.103: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)..... 80
Figure III.104: Diagramme de rayonnement de la directivité totale 81
Figure III.105: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 81
Figure III.106: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 81
Figure III.107: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique…….82
Figure III.108: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)……82
Figure III.109: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 83
Figure III.110: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence 83
Figure III.111: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 83
Figure III.112: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 84
Figure III.113: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)..... 84
Figure III.114: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 85
Figure III.115: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence 85
Figure III.116: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence..85
Figure III.117: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 86
Figure III.118: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)..... 86
Figure III.119: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 87
Figure III.120: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence 87
Figure III.121: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 87
Figure III.122: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 88
Figure III.123: Diagramme de rayonnement (Evolution du gain en fonction de phi)..... 89
Figure III.124: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 89
Figure III.125: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 89
Figure III.126 : Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.90
Figure III.127: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique..... 91
Figure III.128 : Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi)..... 91
Figure III.129: Diagramme de rayonnement de la directivité totale. 91
Figure III.130: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. 92
Figure III.131: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence. 92

Liste des tableaux

Chapitre I

Généralités (Quelques Notions de base)

Tableau I.1: Historique des radiocommunications et des antennes. 3

Chapitre II

Les antennes microbandes

Tableau II.1: Comparaison des différentes techniques d'alimentation. 26
Tableau II.2: Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentation. 27

Chapitre III

Implémentation et discussion des résultats.

Tableau III.1: Les caractéristiques d'une antenne microbande rectangulaire. 41
Tableau III.2: Les caractéristiques d'une antenne microbande circulaire. 43
Tableau III.3: Les caractéristiques d'une antenne microbande polygone. 45
Tableau III.4: Les caractéristiques d'une antenne microbandes rectangulaire. 47
Tableau III.5: Les caractéristiques d'une antenne microbande circulaire. 49
Tableau III.6: Les caractéristiques d'une antenne microbandes polygone. 51
TableauIII.7: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02) antennes microbandes rectangulaire. 54
Tableau III.8: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire.55
Tableau III.9: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire.57
Tableau III.10: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire. 59
TableauIII.11: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire. 62
TableauIII.12: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire. 64
TableauIII.13: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire. 66
TableauIII.14: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire. 68
TableauIII.15: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire. 71
TableauIII.16: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire. 73
TableauIII.17: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire. 75
TableauIII.18: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire. 76
Tableau III.19: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02) antennes microbandes circulaire. 80
TableauIII.20: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes circulaire. 82

Liste des tableaux

Tableau III.21: Les caractéristiques d'un réseau à six (06) antennes microbandes circulaire. 84
Tableau III.22: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes circulaire. 86
TableauIII.23: Les caractéristiques d'un réseau à neuf (09) antennes microbandes circulaire. 88
TableauIII.24: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02) antennes microbandes polygone. 90
TableauIII.25: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes polygone. 92
TableauIII.26: Tableau comparatif entres les trois différentes formes d'antennes microbandes pour différentes fréquences. 93
TableauIII.27: Tableau comparatif entre les trois différents réseaux antennes de forme rectangulaire. 93
TableauIII.28: Tableau comparatif entre les cinq différents réseaux antennes de forme circulaire. 94
TableauIII.29: Tableau comparatif entre les deux différents réseaux antennes de forme polygone. 94
TableauIII.30: Tableau comparatif entre les trois formes différentes à réseau d'antenne d'un 2 patch. 95
TableauIII.31: Tableau comparatif entre les simples et des réseaux d'antennes des déférentes formes……...95

LISTE DES ABREVIATION

RFID: Identification Radio Fréquence.

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output.

GSM: Global System for Mobile communications.

LTE: Long Term Evolution.

ISM: Industriel, Scientifique et Médical.

GPS: Global Positioning System.

DCS: Digital Cellular System.

UMTS: l'Universal Mobile Télécommunications System.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio.

FEM: Finite Element Method.

FDTD: Finite Difference Time Domain.

MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit.

HFSS: High Frequency Structure Simulator.

الملخص:

الهوائيات ذات النطاق العريض (المطبوعة) هي عناصر هامة لنقل و استقبال الموجات الكهرومغناطيسية، كما أنها تتصف بالعديد من المزايا و على قدرة اندماج كبيرة في مختلف دارات الاتصالات العالية التردد بتكلفة تصنيع منخفضة. نجد تطبيقات هذه الهوائيات في مجالات مختلفة مثل: أنظمة الاتصالات الفضائية، الاتصالات الهاتفية المتنقلة...الخ.

يعتمد مشروعنا على تصميم و محاكاة الهوائيات ذات النطاق العريض و شبكاتها بأشكال مختلفة (مستطيلة، دائرية، متعددة الأضلاع) للترددات المختلفة (2.3GHz، 3GHz، 4.6GHz) و لأبعاد مختلفة (الطول و العرض، نصف القطر، السمك)، و الهدف منه هو تحقيق نتائج معقولة ضمن النطاق المعقول.

تم إجراء التصميم و المحاكاة باستخدام برنامج HFSS، حيث تتم مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها و تفسيرها والتي هي:(نمط الإشعاع، معامل الانعكاس S11، نسبة الموجة الثابتة، الاتجاهية، الكسب). في النهاية، أجريت دراسة مقارنة وفقا لمختلف الأشكال و الحالات المختلفة.

كلمات البحث:هوائي النطاق العريض، هيكل، عازل، HFSS، عرض النطاق الترددي، معامل الانعكاسS_{11}، الاتجاهية، نمط الإشعاع، الكسب.

Résumé:

Les antennes microbande (imprimées) sont des éléments importants pour la transmission et la réception des ondes électromagnétiques. Elles présentent plusieurs avantages et une capacité d'intégration importante dans les divers circuits de télécommunication à hautes fréquences avec un faible coût de fabrication. Ces antennes trouvent leurs applications dans divers domaines tels que: les Systèmes de communication par satellite, téléphonie mobiles etc.

Notre projet base sur la conception et la simulation des antennes microbandes et leurs réseaux de diverses formes (Rectangulaire, circulaire, polygonale) pour différentes fréquences (2,3GHz, 3GHz et 4,6GHz), et pour des dimensions variables (Longueur, Largeur, Rayon et épaisseur), dont l'objectif d'obtenir des résultats convenables dans la fourchette raisonnable.

La conception et la simulation ont été réalisées à l'aide du Logiciel HFSS, où les résultats obtenus sont discutés et interprétés et qui sont (le diagramme de rayonnement, le coefficient de réflexion S11, le taux d'onde stationnaire, la directivité et le gain).A la fin, une étude comparative a été effectuée selon les diverses formes et divers cas.

Mot clé : Antenne microbande, structure, isolant, HFSS, largeur de bande, coefficient de réflexion S11, directivité, diagramme de rayonnement, gain.

Abstract:

Microstrip antennas (printed) are important elements for the transmission and reception of electromagnetic waves. They have several advantages and a significant integration capacity in the various high frequency telecommunication circuits with a low manufacturing cost. These antennas find their applications in various fields such as: satellite communication systems, mobile telephony, etc.

Our project is based on the design and simulation of microstrip antennas and their networks of various shapes (Rectangular, circular, polygonal) for different frequencies (2.3 GHz, 3GHz and 4.6 GHz), and for variable dimensions (Length, Width, Radius and Thickness), in the objective of which is to obtain reasonable results within the reasonable range.

The design and simulation were performed using the HFSS Software, where the results obtained are discussed and interpreted and which are (the radiation pattern, the reflection coefficient S11, the standing wave ratio, the directivity and the gain). In the end, a comparative study was carried out according to the various forms and various cases.

Keyword:

Antenna microstrip, structure, insulation, HFSS, bandwidth, reflection coefficient S11, directivity, radiation pattern, gain.

Introduction Génerale

Introduction Générale :

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les préoccupations de ce domaine, on trouve les antennes. Ce sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Afin de répondre aux besoins actuels du domaine de télécommunication les concepteurs ont développé un point important : celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile d'où l'apparition d'un nouveau réseau sans fils pour la communication à distance (le réseau de téléphonie mobile). Et cela en élaborant des dispositifs à base des antennes planaires (imprimées). Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le cout, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique.

Cependant, ce type d'antenne présente des limites notamment en bande passante étroite, le faible gain, et la possibilité de résonner à une seule fréquence.

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses applications. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes microbandes sont : les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil et la téléphonie mobile.

Pour une antenne, de nombreuses bandes opérationnelles sont à couvrir suite à l'évolution des standards de communication. Elle est présente dans tous les systèmes de communication sans fil.

Notre objectif dans ce mémoire est d'effectuer la conception et la simulation des antennes microbandes simples de diverses formes, et de la suivi par la conception et la simulation des réseaux d'antennes de diverses formes (Rectangulaires, circulaires et polygonale).

Notre mémoire est subdivisé comme suite :

- ✓ Le premier chapitre est consacré pour la présentation de quelques notions de base pour les antennes comme généralité.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique des caractéristiques des antennes microbandes.
- ✓ Le troisième Chapitre présente divers résultats de conceptions et simulations des antennes microbandes simples et les réseaux d'antennes microbandes de diverses formes sous HFSS.
- ✓ Finalement, on termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités: Quelques Notions de base.

I.1 Introduction :

Les premières antennes sont apparues à La fin du 19eme siècle, a une époque ou les travaux sur l'électromagnétiques ont connu un développement considérable. Depuis, leur réalisation n'a cessé d'évoluer, d'abord, grâce aux progrès scientifiques de l'électromagnétisme, plus tard, sous la pression de nombreuses demandes technologiques dans des domaines d'application variés. L'essor actuel des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisateurs :

Télécommunications mobiles, satellites, télévision, radio, identification, objets communication,… etc.

Malgré cette grande diversité, toutes les antennes ont en commun de transformer un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences.

Actuellement la course à l'innovation concernant les systèmes de communication entraîne des études poussées dans le domaine des antennes.

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Comme nous le verrons dans ce chapitre, il existe de nombreux types d'antennes.

Il est important d'avoir une connaissance globale de leur fonctionnement lors du choix d'un dispositif rayonnant. La compréhension de ce fonctionnement aidera, d'une part à utiliser l'antenne au mieux de ses performances et d'autre part, à en réaliser une conception optimale.

Les techniques de conception et de réalisation d'antennes se sont affinées au fur et à mesure que le domaine de l'électromagnétisme s'est développé. C'est un domaine relativement récent, puisque c'est en s'appuyant sur les équations de Maxwell que tous les développements théoriques et techniques ont pu progresser. Les avancées dans ce domaine ont été rapides car touchant aux transmissions radioélectriques dont le nombre d'applications est considérable.

Dans ce chapitre nous aurons dressé les principes fondamentaux des antennes : le rôle des antennes, comment rayonnent-ils ?, la puissance rayonnante, le Diagramme de rayonnement. Puis on aura présenté les Application suite les différentes types d'antennes. [1]

I.2 Historique :

Le tableau (I.1) dresse un rapide historique des découvertes et inventions liées aux radiocommunications et aux antennes. Le développement des radiocommunications est basé sur la théorie de l'électromagnétisme, mise au point au 19eme siècle et améliorer au 20eme siècle. Les onde électromagnétiques, support des radiocommunications, ont été prévu de manière théorique dans le cadre des équations de maxwell et mises en évidence

expérimentalement par Hertz à la fin du 19eme siècle. Peu de temps après, les premières applications de transmission radio sont apparus. Leur développement s'est fait en parallèle avec celui de l'électronique au début du siècle. Le 20eme siècle est ensuite ponctué d'innovations majeures, qui répondaient à des besoins précis. [2]

Le tableau (I.1) récapitule historique des radiocommunications et les antennes :

Années	**événements**
1819	Expérience d'Oersted (lien électricité- magnétisme).
1831	Loi d'induction de faraday.
1873	équations de Maxwell.
1887	Expérience d'Hertz (mise en évidence des ondes EM).
1896	Radio de Marconi.
1901	La liaison radio intercontinental.
1906	Création de l'ITU-R.
1908	Tube triode de Lee de Forrest.
1926	Antenne Yagi.
1934	Le radar.
1940-1945	Concept de RFID.
1946	équation de Friis.
	Réseau d'antennes.
1962	Telstar (1^esatellite de télécom.)
1970-1975	Antennes Patch.
1984	MIMO.
1987	Spécifications GSM.
2010	Déploiement 3.9G LTE.

Tableau I.1: Historique des radiocommunications et des antennes.

I.3 Principe de fonctionnement des antennes :

I.3.1 Définition d'antenne :

Une antenne est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission et vice versa en réception afin d'assurer la transmission de l'information. On peut les qualifier comme des adaptateurs d'impédances entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur. [10]

I.3.2 Rôle des antennes :

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie transportée par une onde électromagnétique. « Figure I.1 » [15]

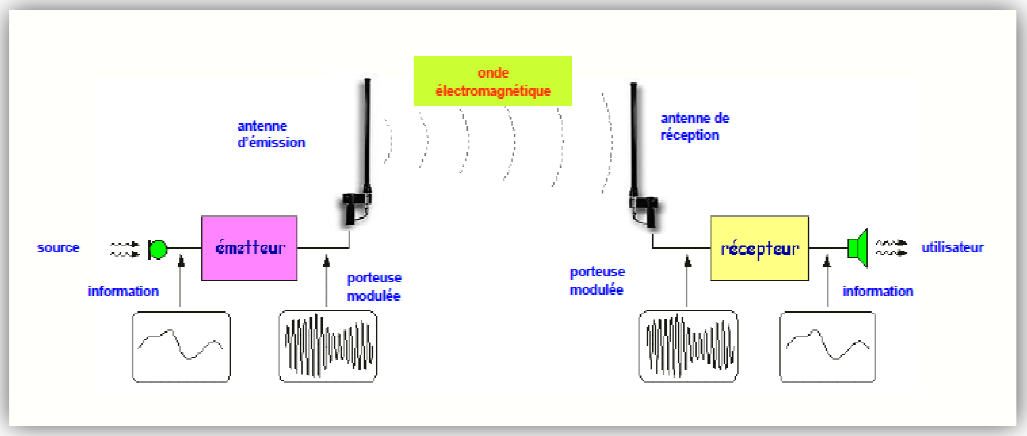


Figure I.1 : rôle d'une antenne.

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- ✓ Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.
- ✓ Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- ✓ Transmettre le plus fidèlement possible une information. [7]

- **Antennes d'émission :**

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif qui génère une onde rayonnée qui est l'antenne. Car, l'antenne d'émission est un transducteur qui transforme la puissance électrique guidée en une puissance électromagnétique rayonnée.

- **Antennes de réception :**

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électrique guidée. Donc l'antenne réceptrice est un adaptateur entre l'espace libre de propagation des ondes EM et le câblage des systèmes électriques afin de récupérer les informations emportées.

- **Réciprocité :**

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas. [1]

I.3.3 Comment rayonne une antenne:

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

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

Le rayonnement d'une antenne peut être expliqué comme montré la (Figure I.2) qui présente une source de tension connecté à une ligne de transmission à deux conducteurs. Quand une tension sinusoïdale est appliquée à travers la ligne de transmission, un champ électrique est créé qui est sinusoïdal dans la nature et il en résulte la création de lignes de force électriques qui sont tangentielle du champ électrique. L'amplitude du champ électrique est indiquée par la concentration des lignes de force électriques.

Les électrons libres sur les conducteurs sont déplacées par les lignes électriques de force et le mouvement de ces charges provoque la circulation du courant qui à son tour conduit à la création d'un champ magnétique. [16]

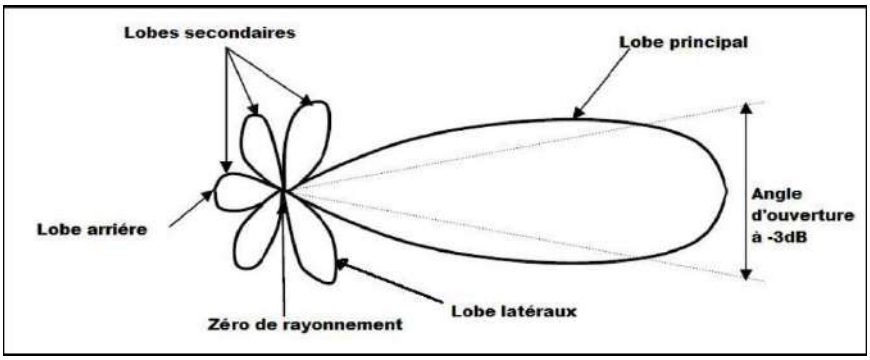


Figure I.2 : Rayonnement d'une antenne [15].

I.3.4 La Puissance rayonnante des antennes :

Une antenne sert à convertir une puissance électrique en une puissance rayonnée, c'est-à-dire transportée par une onde électromagnétique, qui peut se propager dans toutes les directions de l'espace. Les directions dans lesquelles cette puissance va dépendre des caractéristiques de l'antenne. Commençons par exprimer la puissance rayonnée par une antenne quelconque. Dont le centre est placé au centre d'un repère sphérique (Figure I.3) et connectée à une source qui lui fournit une puissance électrique P_A. [2]

a) La puissance rayonnée dans une direction quelconque (θ, φ) dans un angle solide Ω (exprimé en stéradian sr) est donnée par l'équation (I.1) :

$$P(\theta,\varphi) = \frac{P_A}{\Omega}(WouW/sr) \qquad \text{(I.1)}$$

b) La puissance fournie à une surface élémentaire située à une distance R est donnée par l'équation (I.2) :

$$P(\theta,\varphi) = \frac{P_A}{\Omega.R^2}(W/m^2) \qquad \text{(I.2)}$$

c) La puissance rayonnée totale correspond à la somme des puissances rayonnées dans toutes les directions de l'espace donnée par l'équation (I.3) :

$$P_{tot} = \int_\theta \int_\varphi P(\theta,\varphi)\, d\theta\, d\varphi \qquad [W/m^2] \qquad \text{(I.3)}$$

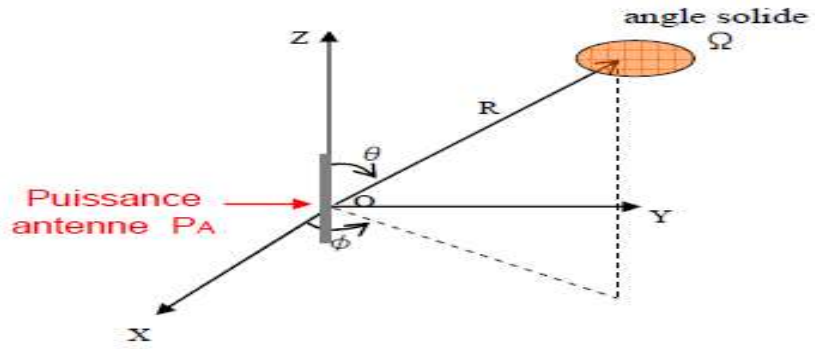


Figure I.3: puissance rayonnée par une antenne dans une direction de l'espace.

I.3.5 Diagramme de rayonnement :

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace (θ_0, φ_0) dans les quelles la fonction caractéristique de rayonnement **r** (θ, φ), qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Celui-ci peut se représenter sous différentes formes (Figure I.4).

En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontaux (θ= 90°) et verticaux (φ = constante), ou bien dans les plans E et H.

Équation (I.4) :

Puissance rayonnée dans une direction quelconque.

$$r(\theta,\varphi) = \frac{p(\theta,\varphi)}{P_0(\theta_0,\varphi_0)}$$

Puissance rayonnée Max

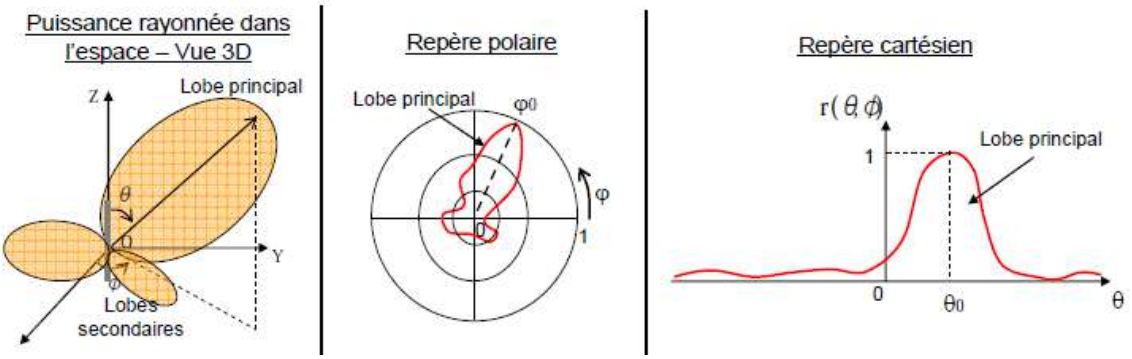


Figure I.4: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est principalement relié à sa géométrie mais peut aussi varier avec la fréquence. Hormis les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas la puissance de manière uniforme dans l'espace. Dans ce cas, la fonction caractéristique de rayonnement est égale à 1 quel que soit la direction considérée. En général, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs « lobes ». Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténue. [2]

I.4 Applications :

Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquence (ou de longueur d'onde) pour un grand nombre d'applications différentes comme le montre la (Figure I.5) [2].

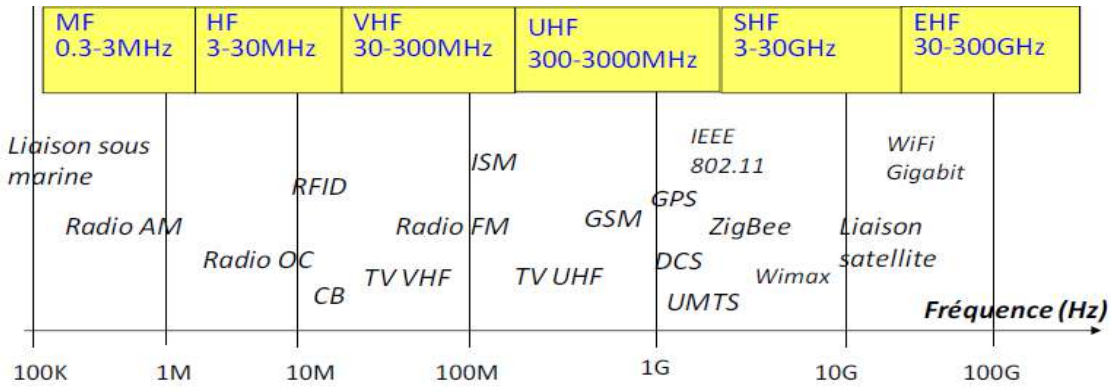


Figure I.5 : occupation du spectre radiofréquence.

I.5 Différents types d'antennes :

Afin de comprendre comment s'effectue cette transformation entre la puissance guidée et la puissance rayonnée, nous allons présenter un certain nombre d'antennes.

Elles sont classées ici selon un ordre qui suit approximativement leur chronologie d'apparition. Il n'est pas question dans ce paragraphe de présenter tous les types d'antennes, mais d'en introduire certains des plus utilisés.

En conclusion, nous aboutirons à un classement des antennes selon le type de la source rayonnante qui apparaîtra soit comme un courant électrique, soit comme une surface caractérisée par un champ électrique. [1]

a. Antenne dipolaire :

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire (Figure I.6). En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont dans le même sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. Étant donnée la symétrie du dipôle, le rayonnement s'effectue autour de l'axe, matérialisé par le fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler d'un rayonnement isotrope.

À l'extrémité de chaque fil apparaissent des charges de signes opposées dont l'existence s'explique par la conservation de la charge. En effet, la relation de conservation suivante lie les charges au courant :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

D'autres antennes de même type sont obtenues avec des fils rayonnants plus longs.

Citons rapidement les antennes pour récepteurs radio, les antennes des talkies-walkies, etc. [1]

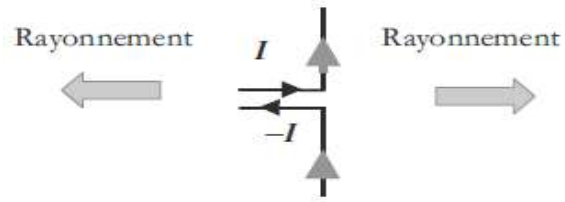


Figure I.6 : Antenne dipolaire.

b. Boucle magnétique :

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (Figure I.7). La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur.

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

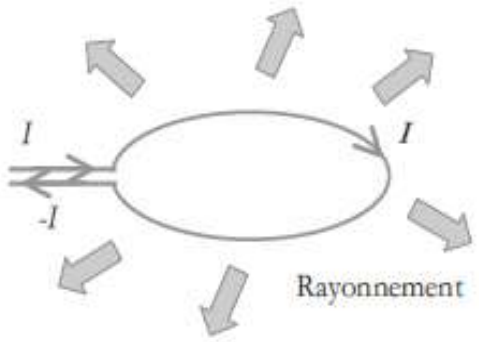


Figure I.7 : Boucle magnétique.

En champ lointain, les boucles magnétiques ont été très utilisées pour les récepteurs de grandes ondes radio sous forme d'un cadre sur lequel étaient enroulées plusieurs spires de fil.

En champ proche, on les utilise dans tous les dispositifs RFID (identification radiofréquence). Les cartes à puce sans contact sont munies de ce type d'antenne, incluse dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique. [1]

c. Antenne cornet :

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, il est utilisé en haute en fréquence. Son utilisation est très répandue en hyperfréquences.

Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (Figure I.8). Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique. Les transitions présentent des formes variées : linéaires, exponentielles... Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance du cornet et celle du vide.

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

Le guide d'onde est un dispositif hyperfréquence très utilisé du fait des pertes très faibles engendrées par la propagation dans celui-ci, même à hautes fréquences et de sa capacité à supporter de la puissance. Les antennes cornets qui lui sont associées sont donc aussi très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites... [1]

L'inconvénient majeur de ce type d'antennes est son poids et son coût, car elle est entièrement métallique. Les antennes satellites sont essentiellement de ce type et, dans ce cas, le poids est un inconvénient majeur qui est contrebalancé par la solidité et le gain de ces antennes. Ce sont aussi les antennes utilisées dans les systèmes radar en raison de la puissance élevée qu'elles supportent. Du fait de leur constitution métallique, elles présentent peu de pertes et du fait de leur forme, elles sont très directives.

Les antennes cornets de forme cylindrique, conique ou pyramidale sont utilisées comme des antennes sources pour éclairer un réflecteur parabolique. Suivant la forme du cornet, il est possible d'obtenir un diagramme de rayonnement fin soit dans le plan E, soit dans le plan H, soit dans les deux.

Les cornets présentent les avantages suivants :

- ✓ La pureté de leur polarisation permet de caractériser d'autres antennes.
- ✓ Une large bande passante et un gain important. [7]

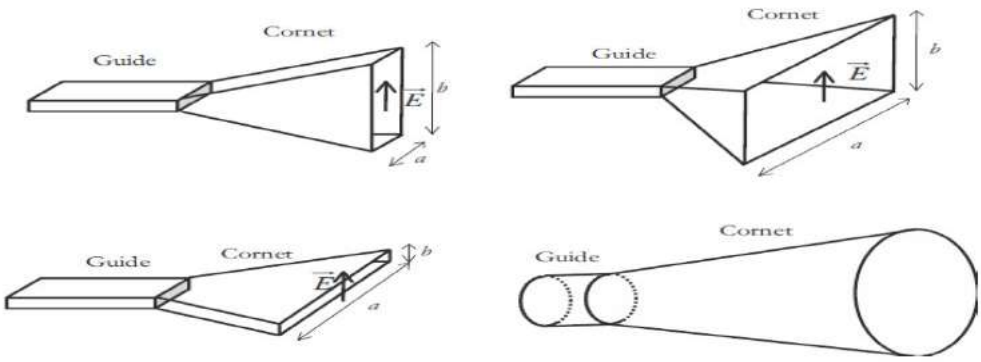


Figure I.8 : Différents types de cornets.

d. Antenne à fente :

Toujours en utilisant le guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'envisager un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide, en usinant des fentes dans le corps du guide (Figure I.9).

Le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan troué du guide.

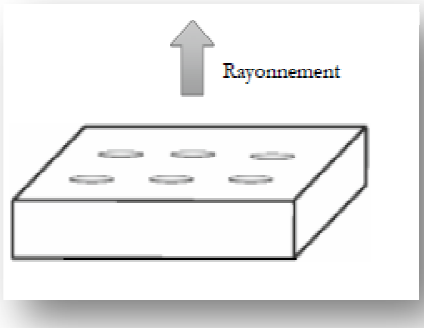


Figure I.9 : Réseau de fentes.

Ce type de dispositif est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Par exemple, dans des tunnels, où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes. En général la ligne est en haut du tunnel avec émission vers le bas. [1]

Une antenne à fentes est constituée d'un assemblage de guides d'ondes souvent rectangulaire, sur lesquels sont taillées des fentes régulièrement espacées, soit sur le grand côté, soit sur le petit côté, ayant d'excellentes performances quant aux pertes et au niveau de rayonnement diffus dû aux erreurs de fabrication. Le couplage de la ligne d'alimentation (le guide) avec les fentes se règle facilement par leur position sur le guide.

La Figure (I.10) en donne une représentation de l'antenne à fentes où les flèches représentent le sens de la polarisation (ou vecteur champ électrique). Cependant, il y a des avantages significatifs à l'antenne à fentes à la fois dans la fabrication et les performances des applications telles que les systèmes radar. [7]

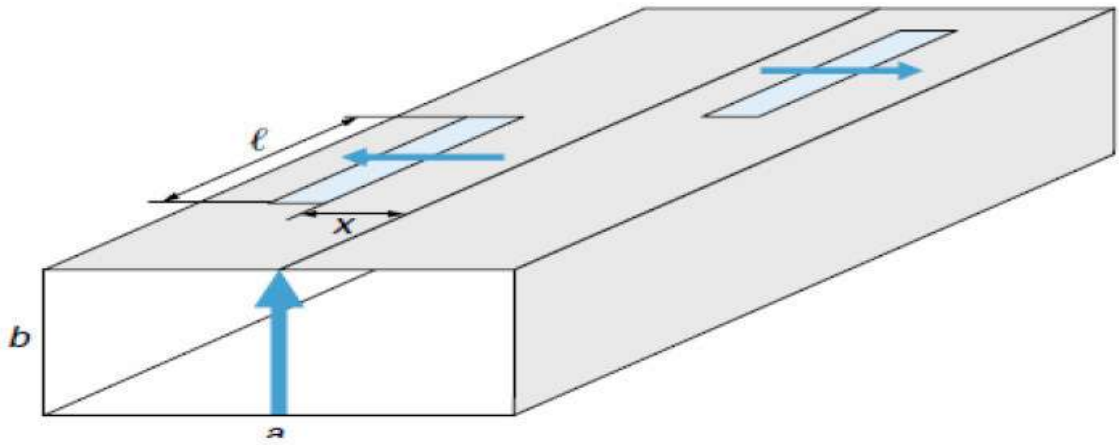


Figure I.10 : Fentes sur le grand coté d'un guide rectangulaire.

e. Antenne à réflecteur parabolique :

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réflectrice, souvent de forme parabolique (Figure I.11) .La source, placée au foyer

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

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

Afin d'éviter les perturbations par la pluie ou la neige, ces antennes sont souvent recouvertes d'un radôme. C'est le cas des antennes très exposées aux conditions climatiques, utilisées pour les transmissions hertziennes. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer. [1], [15].

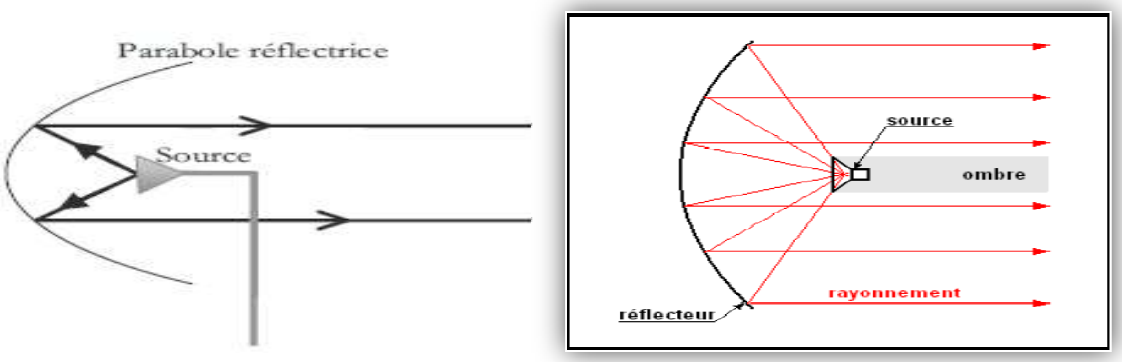


Figure I.11 : Antenne à réflecteur parabolique.

f. Antennes de type Cassegrain :

Une variante des antennes précédentes consiste à utiliser un réflecteur principal et un réflecteur secondaire, comme dans le montage Cassegrain (Figure I.12). Ce nom provient du télescope du même nom reposant sur le même principe. Les rayons issus de la source se réfléchissent sur un premier réflecteur de forme hyperbolique, puis sur le réflecteur principal de forme parabolique. Les rayons ressortent parallèlement. La propriété de l'antenne parabolique est ainsi conservée. L'intérêt de ce type d'antenne est d'être moins sensible aux parasites provenant de l'extérieur de la parabole. De plus, les câbles reliant la source à l'électronique sont plus courts que dans les systèmes d'alimentation d'une antenne parabolique. La qualité du signal s'en trouve améliorée. [1]

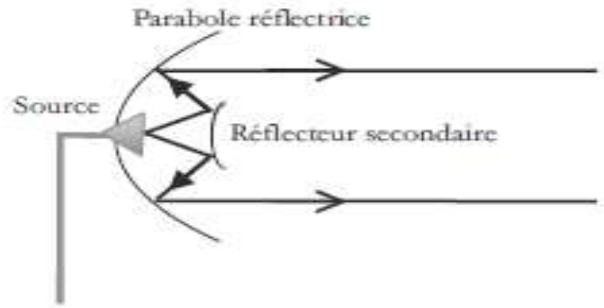


Figure I.12 : Antenne à réflecteur parabolique.

g. Antennes plaquées (microbande) :

L'antenne plaquée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (Figure I.13). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban. [1]. Ce type d'antennes est le sujet du chapitre suivant.

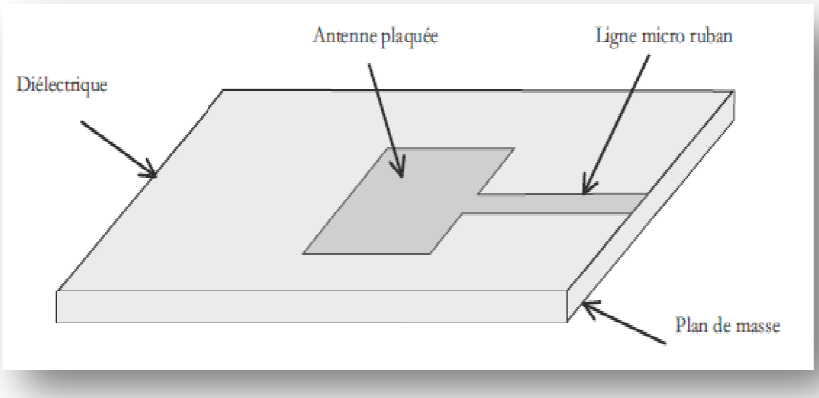


Figure I.13 : Antenne plaquée.

h. Antennes actives :

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

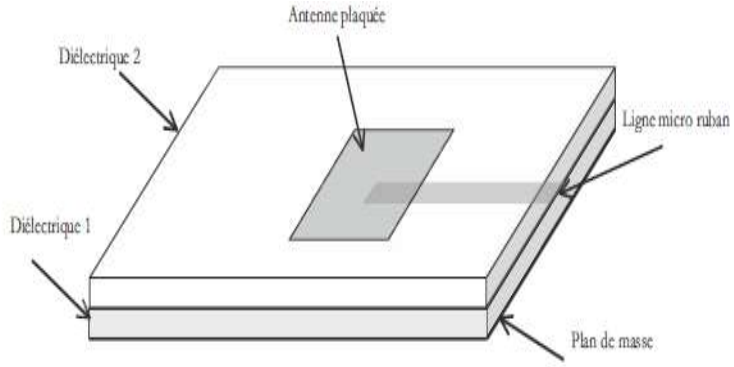


Figure I.14 : Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique.

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

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

On distingue les antennes actives intégrées des antennes hybrides sur lesquelles des composants sont reportés. L'intérêt actuel porte toute fois sur les antennes intégrées, pour lesquelles l'antenne est au plus près du circuit intégré car réalisée en même temps, sur le même support. [1]

I.6 Classification des antennes en fonction du type de la source :

Il existe de nombreuses façons de classer les antennes. Nous en proposons certaines dans cet ouvrage. Une première classification repose sur le type de la source rayonnante. En effet, parmi les différentes antennes décrites dans ce chapitre, il est évident pour certaines que la source du rayonnement est constituée de courants (dipôle, boucle, antenne planaire). Ces courants sont soit linéiques, soit surfaciques.

L'interprétation du rayonnement est alors aisée: les courants variables vont créer un rayonnement dans tout l'espace selon leur répartition.

On distingue alors :

- ✓ le rayonnement par les courants.
- ✓ le rayonnement par les ouvertures. [1]

I.7 Conclusion :

Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées.

La maitrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, elle nous permet de comprendre leur comportement à des différentes gammes de fréquences. Car pour toute application, il faut choisir des caractéristiques bien conforme au standard spécifie.

Et Nous nous intéresserons á la présentation générale d'une antenne micro-ruban dans ce qui suit.

Chapitre II

Les antennes Microbandes.

II.1 Introduction:

Les antennes microbandes, souvent appelées antennes micro rubans, les antennes imprimée ou patchs, sont largement utilisées dans la bande de fréquences micro-ondes, à cause de leur simplicité et compatibilité avec la technologie des circuits imprimés faisant d'elles une structure faciles à produire. [18]

Le concept des antennes micro rubans fut initialement proposé en 1953 par Deschamps aux Etats Unis d'Amérique et en France par *Guttan et Baissimot* en 1955, mais ce n'est qu'aux années soixante-dix que les premières applications de ce type d'antennes ont vu le jour [19]

Dans ce chapitre, nous présentons **:**

- La description et le principe de fonctionnement de l'antenne microbande,
- la structure, les caractéristiques et les technique d'alimentation les réseaux d'antennes,
- les avantages, les inconvénients et les applications des antennes imprimées.

II.2 Description de l'antenne microbande :

Une antenne microbande, comme il est représentée dans la Figure (II.1) est constituée d'un mince conducteur métallique de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse. [17], [8]

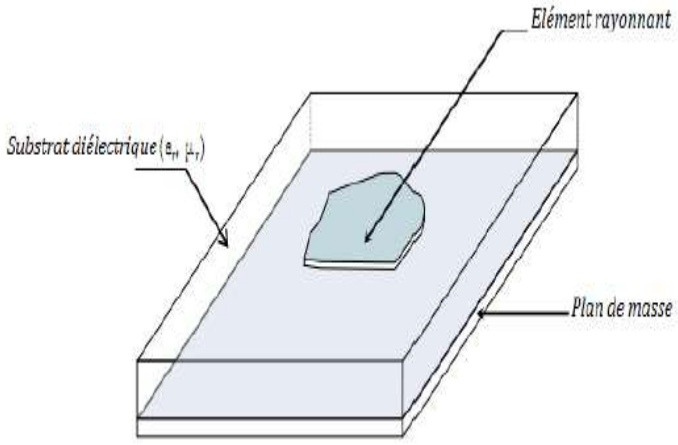


Figure II.1 : Présentation d'une antenne microbande.

L'éléments rayonnants peut prendre plusieurs formes, Comme le montre la Figure (II.2)

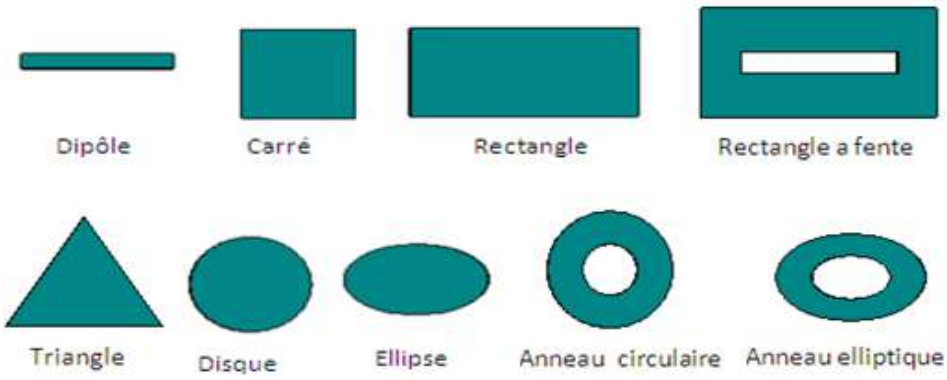


Figure II.2 : Différentes formes d'antennes microbande [3]

Pour obtenir une antenne d'efficacité importante, il est souhaitable de choisir un substrat diélectrique suffisamment épais et dont la constante diélectrique est de faible valeur ce qui contribue à augmenter les effets de bords et donc à favoriser le champ rayonné. [4]

II.3 Principe de fonctionnement :

Pour expliquer le fonctionnement d'une antenne imprimée ou planaire résonnante, une approche similaire consiste à considérer que ce sont à la fois les courants surfaciques sur le patch et le plan de masse qui rayonnent.

Une deuxième méthode consiste à voir le patch comme une ligne micro ruban tronquée à ses extrémités. Le générateur est équivalent à une source de courant qui va générer un champ électrique dans la cavité. Le patch agit comme une capacité qui va stocker le champ : c'est le modèle de la cavité (Quatre murs latéraux magnétiques et deux murs horizontaux électriques).

Le rayonnement existe à cause de la fuite du champ électrique qui existe entre les bords du patch et le plan de masse. Si la longueur du patch L est approximativement égale à la moitié de la longueur d'onde dans le diélectrique ($\lambda_g/2$), cette longueur est résonante et l'on obtient un transfert de puissance maximal à l'antenne. C'est le mode d'ordre 1 ou à fréquence de résonance fondamentale du patch (si L > W avec W largeur du patch), le rayonnement à l'infini est effectif car le champ électrique sous la ligne et à ses deux extrémités se trouve en opposition de phase (Figure II.3). Une valeur approchée qui permet un dimensionnement rapide est $L = 0{,}49\lambda_g$. [20]

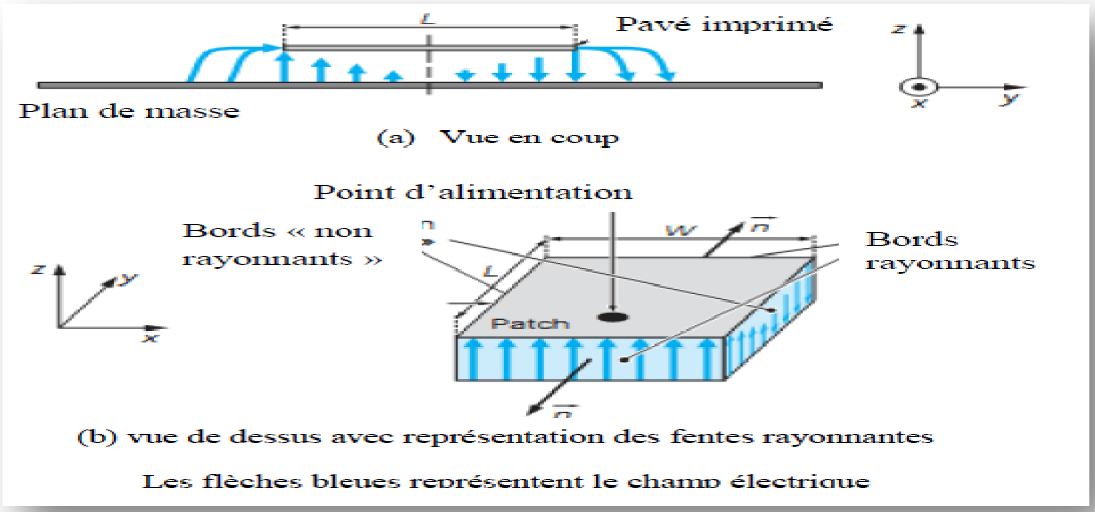


Figure II.3: Distribution de champ dans une antenne microbande. [20]

II.4 les Réseaux d'antennes :

Les performances des antennes plaquées, notamment le gain et la directivité, peuvent être améliorées en intégrant plusieurs patchs résonateurs sur un même substrat pour former une antenne réseau. (Figure II.4)

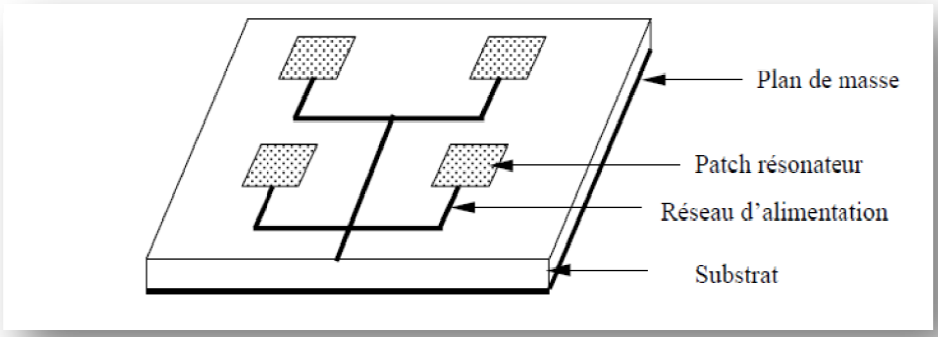


Figure II.4 : Réseaux d'antennes patch. [11]

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

- la possibilité d'obtenir des gains très importants (30 à 40 dB) et des polarisations rectilignes ou circulaires.

- les faibles dimensions des éléments rayonnants et leur simplicité de réalisation.

- la possibilité d'imprimer les éléments rayonnants sur des surfaces planes ou conformes facilement intégrable par exemple au fuselage d'un avion ou d'une fusée.

- la possibilité de disposer les éléments rayonnants et le dispositif d'alimentation de part et d'autre d'un plan de masse commun, en une structure compacte, légère et peu coûteuse.

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

- les pertes de l'énergie électromagnétique dans les lignes de transmission reliant les différents résonateurs influents sur l'efficacité de l'antenne.

- la bande passante de l'antenne, tout comme celle d'un résonateur isolé, est faible ;

- le couplage mutuel entre les résonateurs est atténué en maintenant une distance suffisamment grande entre les résonateurs ce qui entraîne une surface d'antenne importante. [11]

II.5 Structure d'une antenne microbande :

La structure de base est rappelée sur la (Figure II.5): [12]

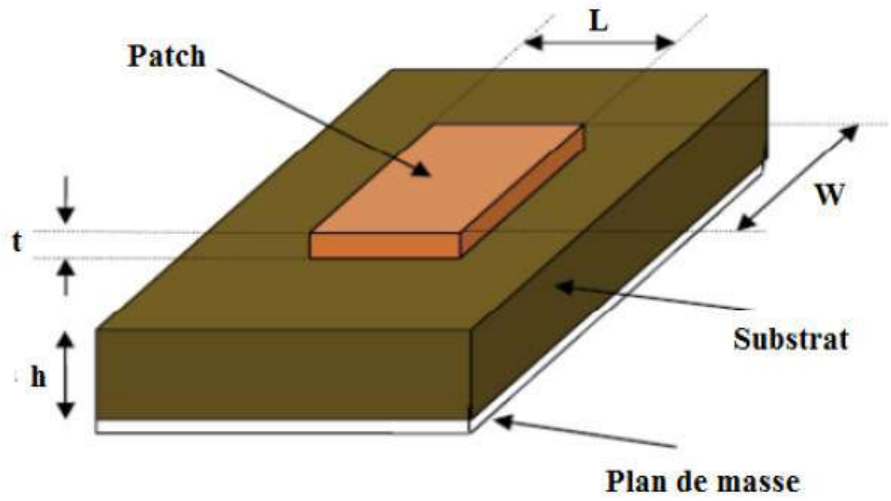


Figure II.5 : la structure de base d'une antenne patch.

L: Longueur du patch. **,** **t :** épaisseur du patch.

W: Largeur du patch. **,** **h :** épaisseur du substrat.

II.5.1 Les paramètres géométrique du l'antenne imprimée :

- **Largeur de l'élément rayonnant (patch) :**

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

$$R_{IN} = 90\frac{\varepsilon^2{}_r}{\varepsilon_r - 1}\left(\frac{L}{W}\right)^2 \qquad \text{(II.1)}$$

Pour permettre un bon rendement de l'antenne, une largeur **W** pratique est : (équation II.2)

$$W = \frac{c}{2f_{0_1}}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \qquad \text{(II.2)}$$

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

Avec : **C** la vitesse de la lumière ($C = 3 \times 10^8$m/s).

- **Longueur du patch :**

La longueur du patch détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher deux fois la longueur ΔL qui correspond au débordement des champs (équation II. 3).

$$L = \frac{\lambda_g dielectric}{2} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_{0_1}\sqrt{\varepsilon_{r\,eff}}} - 2\Delta L \qquad \text{(II.3)}$$

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

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

Donc la dimension effective du patch sera :(équation II.5)

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

II.6 Critères de Choix du substrat :

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

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

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

- L'épaisseur h.
- La constante diélectriqueε_r.
- Le coefficient de dilatation thermique (en ppm/°C).
- Le facteur de dissipation (tangente delta).
- La conductivité thermique (en W/m. °K). [12]

II.7 Caractéristiques des antennes Microbandes.

Dans les communications sans fil, chaque application met en relief certaines caractéristiques des antennes. D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres. Une antenne peut être caractérisée par :

II.7.1 Représentation en quadripôles :

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure II.6) défini par les paramètres S :

A_1, A_2, B_1et B_2

Sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$$B_1 = S_{11} \times A_1 + S_{12} \times A_2$$

$$B_2 = S_{21} \times A_1 + S_{22} \times A_2 \quad \text{(II.6)}$$

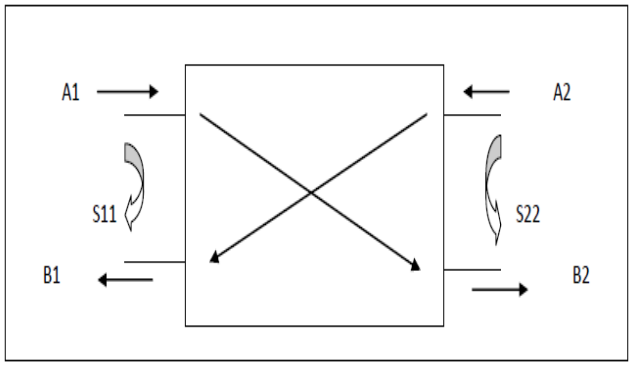


Figure II.6 : Représentation en quadripôle. [21]

Le coefficient S_{11} correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque A_2= 0.

Le coefficient S_{12} représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque $A_1 = 0$.

Le coefficient S_{21}est le gain du quadripôle lorsque $A_2 = 0$.

Le coefficient S_{22} est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque $A_1 = 0$.

Elles sont adaptées.

II.7.2 Coefficient de réflexion S_{11} :

Le coefficient de réflexion S_{11} met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.

II.7.3 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. $D(\theta, \varphi) = P(\theta, \varphi)/P_r\, 4\pi = 4\pi P(\theta, \varphi)/\mathrm{P_r}$ (II.7)

II.7.4 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio) :

Le SWR est l'expression mathématique de la non-uniformité d'un champ électromagnétique dans une ligne de transmission. Le SWR est donc le ratio entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission. À partir du SWR, on peut définir le VSWR et ISWR qui font respectivement référence au voltage et au courant. Idéalement, on va rechercher un SWR de 1. Ce ratio est donc une autre manière de caractériser la quantité du signal qui est réfléchie aux bornes d'une composante micro-onde.

II.7.5 Rendement de l'antenne :

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\left.\begin{array}{l} \eta = \mathrm{P_r}/\mathrm{P_f} \\ \mathrm{G} = \eta * \mathrm{D} \;\rightarrow \quad \eta = \mathrm{G}/\,\mathrm{D} \end{array}\right\} \quad \text{(II.8)}$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

II.7.6 Gain :

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte. Si G est le gain, alors :

$$G(\theta, \varphi) = \eta * \mathrm{D}(\theta, \varphi) \qquad \text{(II.9)}$$

II.7.7 Ouverture :

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 moitié du gain maximal (gain à –3 dB), soit $G_m / 2$

II.7.8 Impédance d'entrée :

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

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1+S_{11})}{(1-S_{11})} \qquad \text{(II.10)}$$

Z_0= impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

N.B. Comme S_{11} est fonction de la fréquence, alors Z_{in} varie aussi avec la fréquence.

II.7.9 Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace. Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement (θ, $\emptyset$) de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définit comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée (θ, $\emptyset$) à la puissance P_{max} de la direction où le rayonnement est maximal. [21]

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_a}{4\pi} \qquad \text{(II.11)}$$

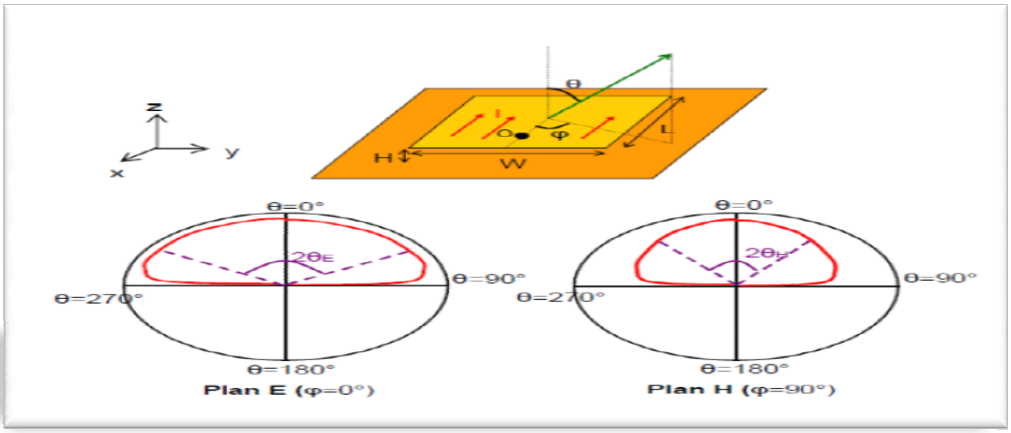


Figure II.7: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

II.7.10 Polarisation de l'antenne :

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique, c'est à dire à celle des brins rayonnants de l'antenne. Le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise. On parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol, on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure. On réfère à ce phénomène simplement la polarisation du champ électrique. La figure est généralement une ellipse qui présente des cas particuliers.

- Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée.
- Si le vecteur champ électrique tourne selon un cercle, elle est dite à polarisation circulaire. [12]

II.8 Techniques d'alimentation :

Il existe plusieurs techniques pour l'alimentation des antennes micro rubans, ces techniques peuvent être soit par contact direct soit par couplage, les plus communément utilisées sont l'alimentation par ligne micro ruban, par sonde coaxiale, par couplage de proximité ou par ouverture.

II.8.1 Alimentation par ligne micro ruban :

Dans le premier cas, une ligne micro ruban est directement connectée à l'élément rayonnant comme le montre la Figure (II.8.a), le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance.

Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais peut engendrer un rayonnement parasite qui peut devenir considérable et une bande passante typiquement entre 2 et 5%.

II.8.2 Alimentation par câble coaxiale :

L'alimentation par câble coaxiale est réalisée par un contact direct de l'élément rayonnant au conducteur central d'une ligne coaxiale, tandis que son conducteur externe est relié au plan de masse (Figure II.8.b). L'adaptation d'impédance est réalisable en déplaçant le point d'alimentation sur le patch. L'inconvénient de ce type d'alimentation réside dans la bande passante étroite et la difficulté de modélisation surtout pour des substrats électriquement épais.

II.8.3 Alimentation couplée par fente (ouverture) :

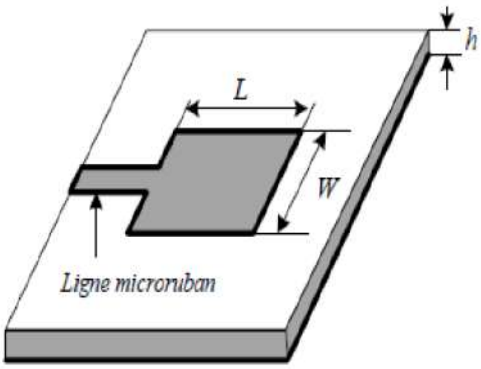
L'alimentation par ligne micro ruban ou par ligne coaxiale présentent une asymétrie qui génère des modes d'ordres supérieurs produisant un rayonnement de polarisation croisée, pour

y remédier à cet état de fait l'alimentation par fente a été introduite. Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne micro ruban comme le montre la figure (II.8.c). Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite modéré. Cependant, elle est la plus difficile à mettre en œuvre et présente une bande passante étroite.

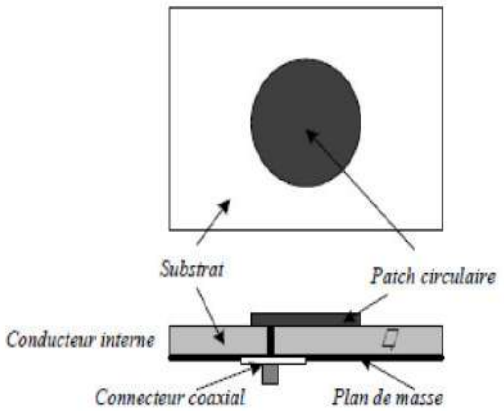
II.8.4 Alimentation couplée par proximité :

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la figure (II.8.d). L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne.

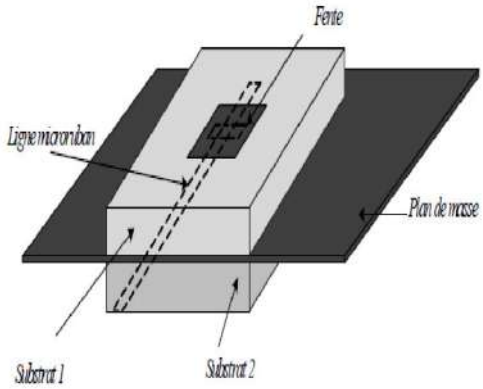
Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre. [22]



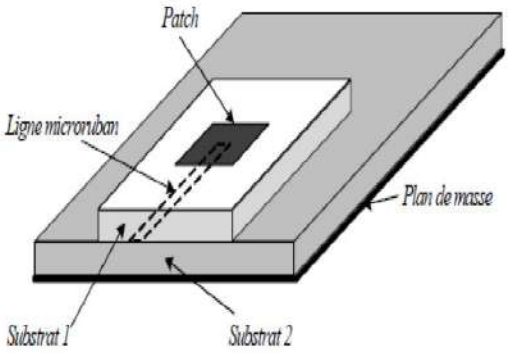
(a) Alimentation par ligne micro ruban.



(b) Alimentation par câble coaxiale.



(c) Alimentation couplée par fente (ouverture).



(d) Alimentation couplée par proximité.

Figure II.8 : Techniques d'alimentation. [22]

Le tableau (II.1): résume les caractéristiques des différentes techniques d'alimentation.

Caractéristiques	Alimentation par ligne micro ruban	Alimentation par câble coaxiale	Alimentation couplée par proximité
Rayonnement parasite d'alimentation	plus	plus	Minimum
Fiabilité	Meilleure	Bonne	Faible à cause de la soudure
Facilité de fabrication	Facile	Nécessite une soudure et un perçage	Nécessité d'alignement
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	13%

Tableau II.1 : Comparaison des différentes techniques d'alimentation. [9]

Une comparaison entre l'alimentation avec contacte (ligne micro-ruban et câble coaxial) et l'alimentation sans contacte (couplage par proximité ou par ouverture) se résume dans le tableau (II.2) suivant :

Méthode		Avantages	Inconvénients
Alimentation avec contact	Câble coaxial	- Pas de pertes de rayonnement de ligne. - sélection possible d'un mode privilégié. - obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde. - prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats de faible hauteur. - Technique de perçage simple jusqu'à 10GHz.	- Dans le cas de substrat épais, la réactance inductive supplémentaire apportée par la sonde affecte de la bande passante. - technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique. - la difficulté d'excitations de chaque élément d'un réseau seul.
	Ligne Micro-ruban	- procédé technologique le plus simple par gravure su la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation. - adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant.	- rayonnement parasite de la discontinuité ligne-aérienne. - rayonnement parasite possible du circuit de distribution en millimétriques. - structure figée après gravure.
Alimentation Sans contact	Par couplage	- dessin du circuit modifiable par aux aériens. - bande passante plus large par augmentation de la hauteur.	- deux couches du substrat requises. - difficulté pour l'intégration des dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur.

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentation. [9]

II.9 Méthode d'analyse :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'analyse des antennes imprimées. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans deux catégories :

- Méthodes approximatives (analytiques).
- Méthodes rigoureuses (Numériques). [2]

II.9.1 Méthode approximatives (analytiques) :

Les méthodes approximatives prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle en question. Parmi ces méthodes, on cite :

- ✓ Le modèle de la ligne de transmission.
- ✓ Le modèle de la cavité. [18]

II.9.1.1 Le modèle de la ligne de transmission :

Le modèle de la ligne de transmission est considéré comme le plus simple. Ce modèle exploite l'analogie qui existe entre un patch d'une antenne imprimée et un tronçon d'une ligne de transmission ayant deux bords rayonnants. Ce modèle prend en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle. Dans le modèle de la ligne de transmission, l'inconnu à déterminer est la constante de propagation. Les pertes par rayonnement sont incluses dans le coefficient d'atténuation de la constante de propagation. Cependant, cette technique ne rend pas compte des effets des modes d'ordre supérieur. [13]

La Figure (II.9) représente l'antenne patch rectangulaire par deux fentes de largeur « **W** » et de hauteur « **h** » séparée par une ligne de transmission de longueur « **L** ». Le micro-ruban est essentiellement une ligne non homogène de deux diélectriques, généralement le substrat et L'air.

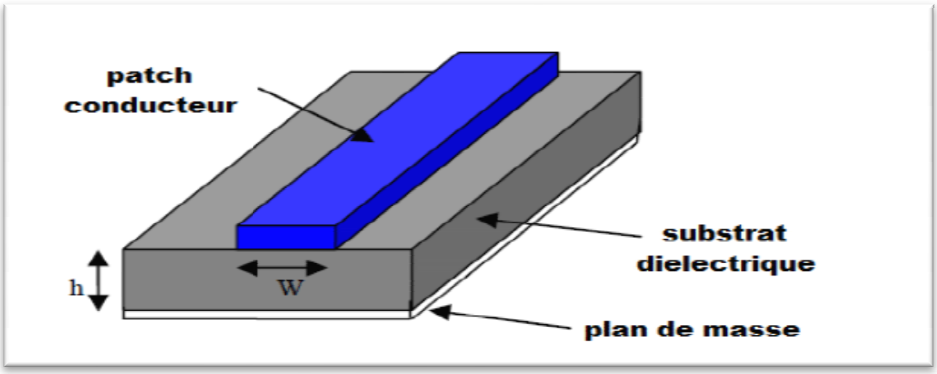


Figure II.9: ligne micro-ruban.

La Figure (II.10) qui montre une antenne patch rectangulaire de longueur« **L** » et de largeur « **W** » reposant sur un substrat de hauteur « **h** ».

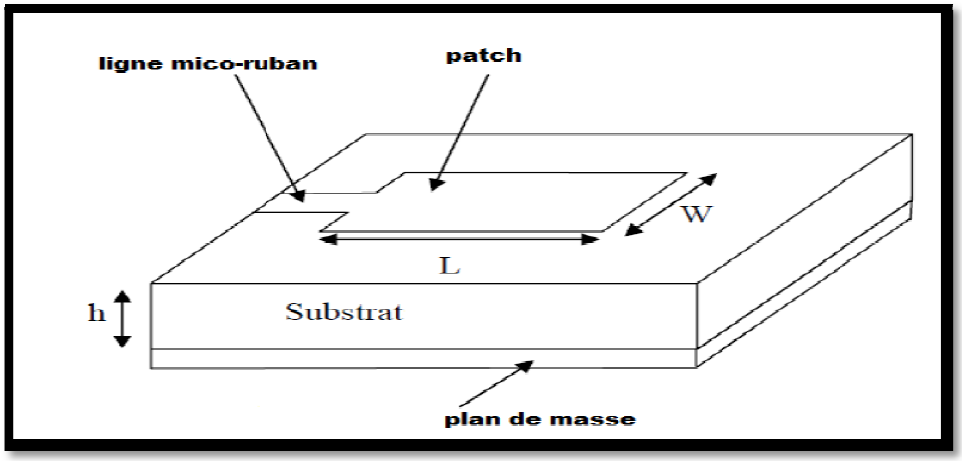


Figure II.10: antenne patch rectangulaire.

Les dimensions du patch sur toute sa longueur sont étendues à chaque extrémité par une distance ΔL qui est donnée empiriquement par :

$$\Delta L = 0.412\frac{\left(\varepsilon_{reff}+0.3\right)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{\left(\varepsilon_{reff}-0.258\right)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \qquad \text{(II.6)}$$

Et la longueur effective L_{eff} du patch devient :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \qquad \text{(II.7)}$$

Pour une fréquence de résonance f_r, la longueur effective est donnée par :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \qquad \text{(II.8)}$$

Et pour un rayonnement efficace la largeur est donné par Bahal et Bhartia comme : [15]

$$W = \frac{I_c}{2f_r\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}} \qquad \text{(II.9)}$$

II.9.1.2 Le Modèle de la cavité :

Un autre modèle qui est le modèle de la cavité utilisant le courant d'alimentation uniforme donne de bons résultats seulement pour les épaisseurs du substrat inférieur à 0.001λ [5].

La structure imprimée peut être assimilée à une cavité limitée en haut par une plaque conductrice, en bas par un plan de masse et entourée par une surface latérale. Les deux plans

conducteurs représentent des murs électriques et la surface latérale constitue le mûr magnétique.

Dans ce modèle l'inconnu est le système des modes préparatifs et leurs fréquences de résonance [6].

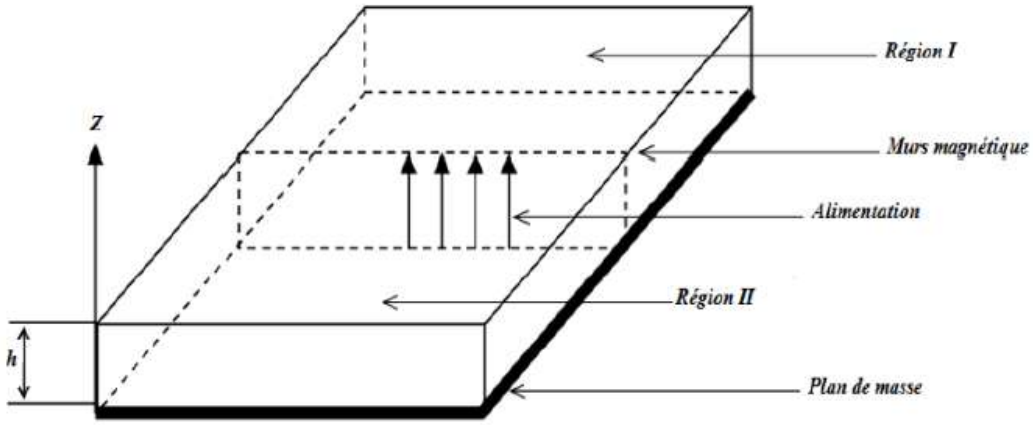


Figure II.11 : Modèle de la cavité [18].

II.9.2 Méthodes rigoureuses (Numériques) :

Ces méthodes sont les plus utilisées récemment. Elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur. Parmi ces méthodes, on peut citer [14] :

- ✓ Méthode des éléments finis.
- ✓ Méthode des différences finies.
- ✓ Méthode des moments.
- ✓ Méthode d'analyse spectrale.

II.9.2.1 Méthodes des éléments finis(FEM) :

La méthode des éléments finis basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode. Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électriques qui minimisent la fonction d'énergie. La méthode des éléments finis est implémentée dans quelques codes commerciaux tels que le fameux logiciel HFSS d'Ansoft. [18]

II.9.2.2 Méthode des différences finies (FDTD) :

La méthode des différences finies dans le domaine temporel la FDTD (Finite Différence Time Domain) est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel dans une structure uniformément maillée. La méthode consiste à approcher les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles qui

apparaissent dans les équations de Maxwell par des différences finies centrées. Les composantes électrique et magnétique sont décalées d'une demi-cellule spatiale et calculées d'une manière alternative et itérative, à des multiples pairs et impairs du demi-pas temporel.

Cette technique a l'avantage de permettre une caractérisation dans une large bande de fréquence d'une structure en une seule simulation [15].

II.9.2.3 La Méthode des moments :

Dans les antennes microbandes, la technique de résolution la plus efficace est l'application de la méthode des moments. Cette méthode opère dans le domaine spectral, et elle est qualifiée comme étant rigoureuse. Cette procédure de résolution consiste à trouver le zéro du déterminent de la matrice impédance. La caractéristique de cette méthode est son indépendance de la source d'excitation. Mais malgré ses avantages cette méthode soufre de quelque inconvénient [24] :

- Le temps de calcul qui est important.
- La précision exigée pour déterminer les éléments de la matrice impédance.
- L'existence des solutions parasites.

II.9.2.4 Méthode d'analyse spectrale :

Ce modèle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique, dans le domaine spectral. Cette méthode permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales dans le domaine spatial. Elle est basée sur la connaissance des champs électromagnétiques dans chaque région, le système d'équations à résoudre peut s'écrire sous la forme matricielle, le choix de la condition de continuité surfacique et le vecteur de courant sur le patch permet de réduire une relation entre les composantes tangentielles des champs électromagnétiques et les courants surfaciques. L'approche de l'équation intégrale dans le domaine spectral est largement utilisée dans l'analyse et la conception de structures imprimées. [15]

II.10 Applications des antennes microbandes :

Remplacer les antennes classiques par des antennes patchs avec des performances équivalentes est le souci principal des concepteurs des systèmes de télécommunication, vu le besoin et les exigences du marché industriel. Il existe différentes applications réussies démontrant la possibilité de cette transition:

- télécommunication satellitaires.
- commande et contrôle.
- télémétrie (télémesure) par missile.
- équipements portatifs.
- éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- antenne d'émission utilisée en médecine.

- récepteur satellite de navigation. [25]

II.11 Les avantages et les inconvénients :

L'antenne microbande présente de nombreux avantages par rapport aux antennes microondes classiques, on peut citer entre autres **:**

- Faible poids, encombrement réduit, faible profile et structure plane.
- S'adapte facilement aux surfaces planes et non planes.
- Facile à fabriquer en masse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible coût.
- Facile à intégrer avec les circuits MMICs sur un même substrat.
- Polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- Antennes multi-bandes multi-polarisations possibles.

Toutefois, elle présente certains inconvénients limitant son efficacité à savoir:

- Bande passante étroite.
- Faible gain.
- Supporte uniquement des faibles puissances.
- Faible efficacité de rayonnement.
- Faible pureté de polarisation.

Pour y remédier à ces inconvénients plusieurs travaux de recherches ont été menés et ont abouti à des progrès considérables améliorant les performances de ces antennes. [21]

II.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref historique sur les antennes imprimées et montré le rôle et l'évolution technologique des patches, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Nous avons montré également quelques différentes techniques d'alimentation, ainsi que les méthodes d'analyses les plus utilisées à des structures microbandes de forme quelconque. Aucune de ces méthodes numériques citées n'est parfaite. Elles présentent toutes des avantages et des inconvénients.

Chapitre III

Simulation et discussion des résultats.

III.1 Introduction :

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

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un logiciel de modélisation électromagnétique, analyse des circuits passifs et des structures tridimensionnelles. Il aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure tels que les caractéristiques de rayonnement et de la dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Dans ce qui suit, nous présentons la structure physique de l'antenne à étudier et le projet HFSS correspondant avec quelques illustrations graphiques.

Dans ce chapitre, nous avons étudié et conçu l'antenne microbande pour plusieurs formes et en réseaux à (2, 4, 6, 8, 9) antennes. Une étude des résultats obtenus par ce logiciel HFSS sera effectuée.

III.2 Présentation du logiciel d'Ansoft HFSS :

III.2.1 Définition HFSS :

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un logiciel de simulation qui permet de calculer le comportement électromagnétique d'une structure. Pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des différents outils d'interprétation telle que les paramètres S, les fréquences de résonances et les champs et le diagramme de rayonnement.

Un projet HFSS est un dossier qui contient un ou plusieurs modèles appelés design, chaque modèle contient une structure géométrique, ses conditions aux limites et les matériaux utilisés, ainsi que les solutions de champs électromagnétiques et les interprétations post-traitement.

Tous ces composants peuvent être atteints par la fenêtre Project Manager dans l'environnement HFSS. [26]

Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S, VSWR(TOS), Z en fonction de la fréquence.

III.2.2 Réalisation d'un projet sous HFSS :

L'environnement de conception d'Ansoft HFSS est représenté par la fenêtre ci-dessous qui contient plusieurs blocs comme indiqué sur la figure (III.1):

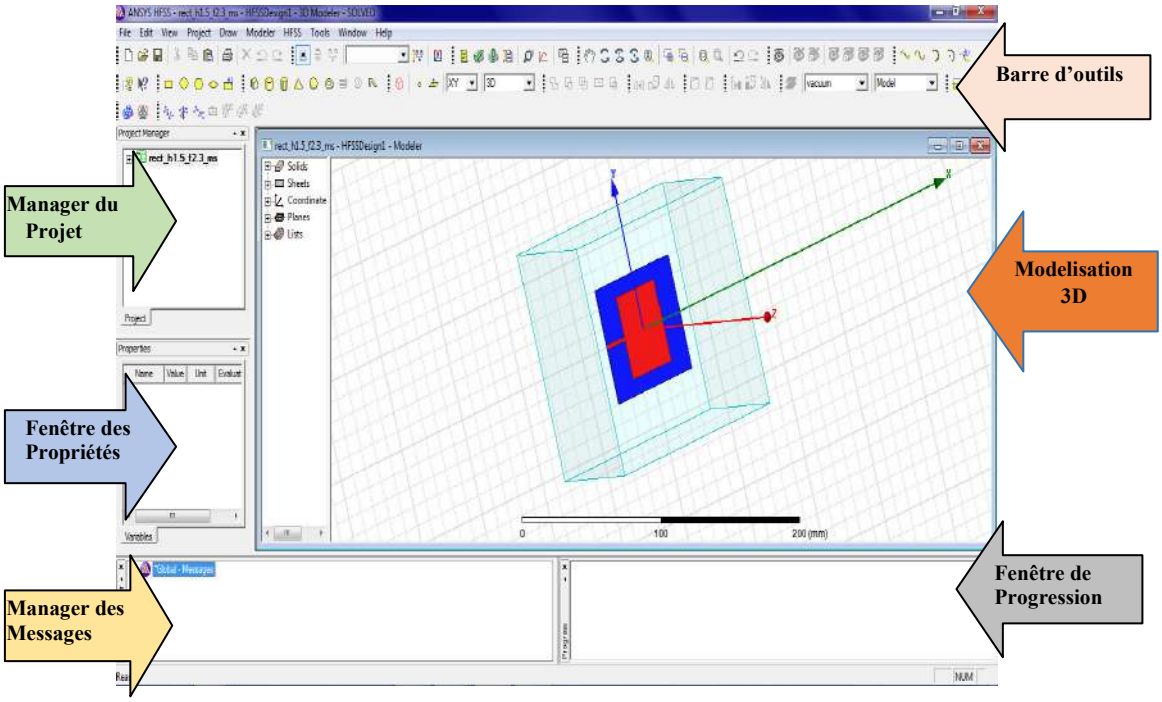


Figure III.1: La fenêtre principale du logiciel HFSS.

- **La barre d'outil :** contient les diverses fonctionnalités nécessaires pour le HFSS.
- **Le Manager du projet:** contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.
- **Le Manager des messages :** permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.
- **La fenêtre des propriétés:** pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle.
- **La fenêtre de progression:** affiche les progressions de la solution.
- **La fenêtre espace de modélisation 3D :** contient le modèle et son arbre pour la conception active L'organigramme suivant résume les étapes à suivre : [21]

L'organigramme de la figure (III.2) suivante, présente les différentes étapes de la conception et la modélisation des structures d'antennes microbande.

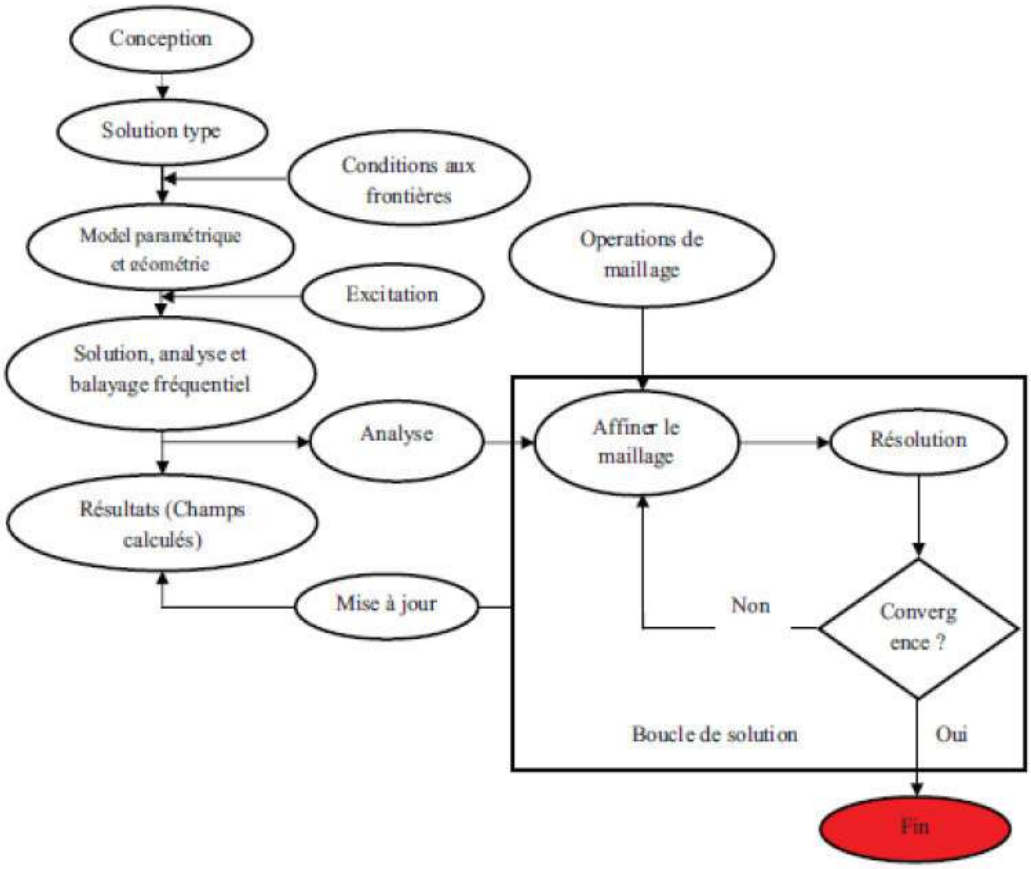


Figure III.2: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS. [26]

III.3 Paramètres des antennes microbandes à concevoir :

Notre projet est subdivisé en deux parties :

1. La première partie consiste à la conception des antennes simple de divers formes (rectangulaire, circulaire, polygone) pour des fréquences (2.3GHz, 3GHz, 4.6GHz) et pour des épaisseurs du substrat h = (1.5mm, 2.5mm) et pour des dimensions L, W, R et A en fonction de la fréquence **f**.

Où, la longueur **L** et la largeur **W** de la microbande sont fonction de la longueur d'ondes $\boldsymbol{\lambda}$, tel que : $\mathbf{W} <= \frac{\lambda}{6} \text{Et } \frac{\lambda}{6} =< \mathbf{L} <= \frac{\lambda}{2}$ pour une épaisseur **h** donnée.

Avec : $\boldsymbol{\lambda} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{f}}$ Pour que : $\mathbf{c} = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ et **f** : variable.

D'autre part,

- La surface du Substrat et plan de masse est $A = (\text{a} \times \text{a})\text{mm}^2$
- Matériau diélectrique utilisé est de type époxy_FR4 de permittivité relative $\varepsilon_r = 4.4$ qui présente un bon rapport Prix/Qualité. [22]
- Matériau de la Grande plane d'une antenne microbande est de type Copper.

2. La deuxième partie consiste à la conception des réseaux (à 2, 4, 6, 8 et 9) d'antennes de divers formes (rectangulaire, circulaire, polygone) pour les mêmes paramètres d'étude précédents.

III.4 Description des modules à réaliser :

- ✓ Comme une première approche, les dimensions du patch vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative$\boldsymbol{\varepsilon_r}$, l'épaisseur **h**) et le choix de la fréquence de résonnance. L'alimentation sera faite à l'intermédiaire d'une ligne microbande.
- ✓ Les extrémités du diélectrique doivent être éloignées à partir de l'antenne, alors l'espacement du plan de masse situé au fond du diélectrique est inclus. Pour le choix de l'épaisseur du substrat, une bonne épaisseur favorise l'extension des champs alors la radiation vers l'extérieur.
- ✓ Le choix du type de matériau que le FR4-EPOXY ayant une permittivité relative de 4.4 ce qui est parfait car il présente un bon rapport Prix/Qualité. [22]

III.5 Conception des antennes microbandes :

Le logiciel HFSS, nous permet d'obtenir des schémas en toute finesse, comme la montre les figures ci-dessous :

- ➢ Les figures (III.3, 4,5) montrent la conception des trois d'antennes microbandes de formes (rectangulaire, circulaire, polygone).
- ➢ Les figures (III.6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) montrent la conception des réseaux d'antenne microbandes de diverses formes (rectangulaire, circulaire, polygone).

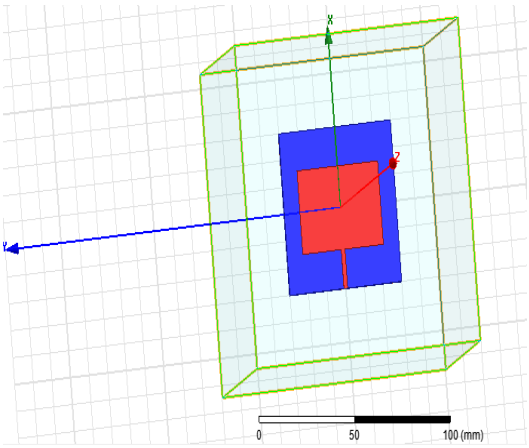


Figure III.3: antenne microbande rectangulaire.

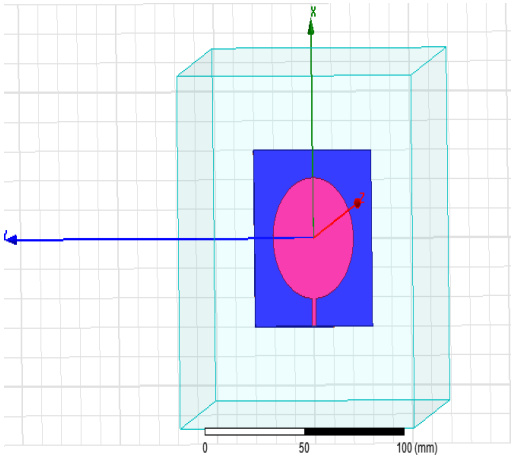


Figure III.4: antenne microbande circulaire.

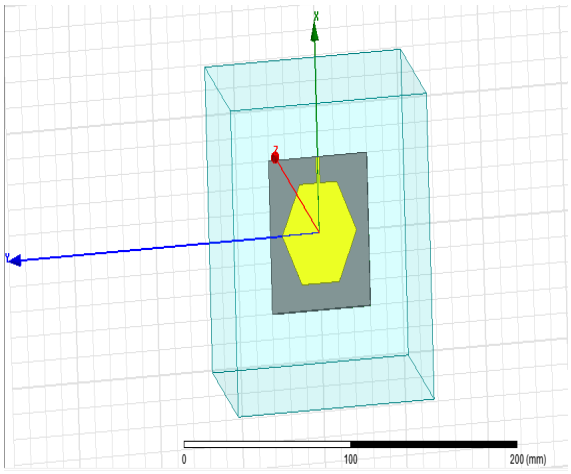


Figure III.5: Antenne microbande polygone.

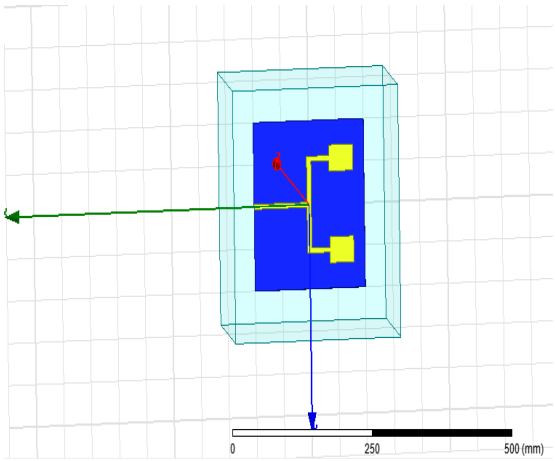


Figure III.6: Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires.

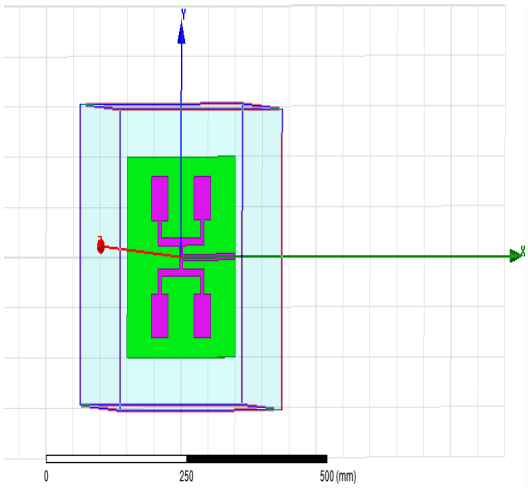


Figure III.7: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes rectangulaires.

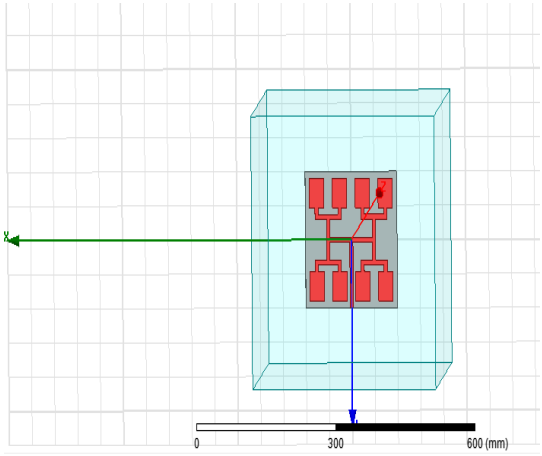


Figure III.8: Réseaux à huit (08) antennes microbandes rectangulaires.

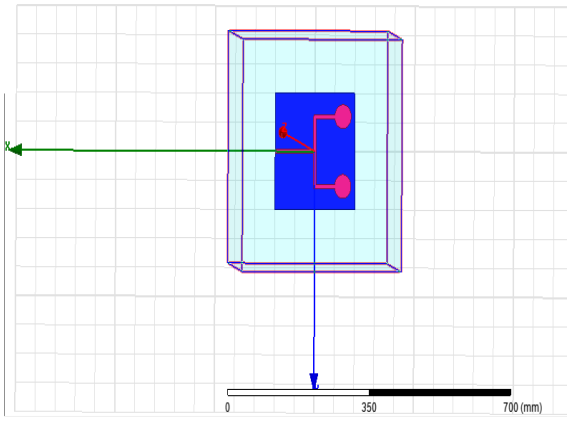


Figure III.9: Réseaux à deux (02) antennes microbandes circulaires.

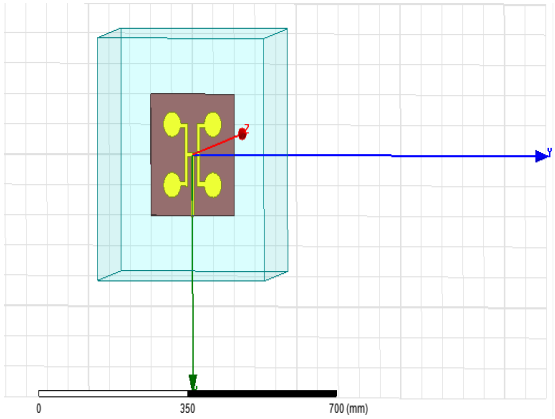


Figure III.10: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes circulaires.

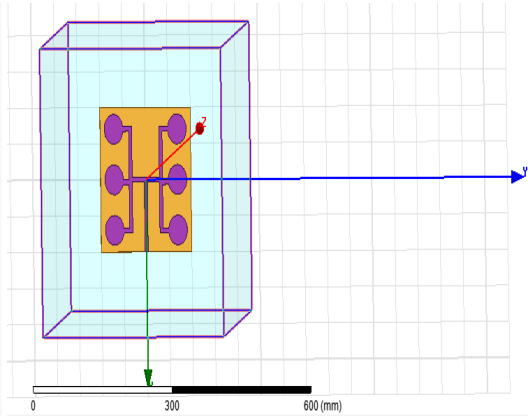


Figure III.11: Réseaux à six (06) antennes microbandes circulaires.

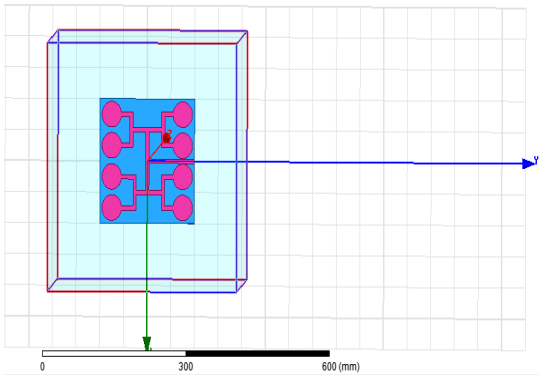


Figure III.12: Réseaux à huit (08) antennes microbandes circulaires**.**

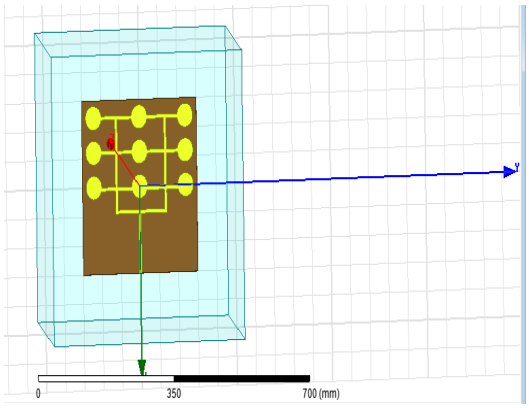


Figure III.13: Réseaux à neuf (09) antennes microbandes circulaires.

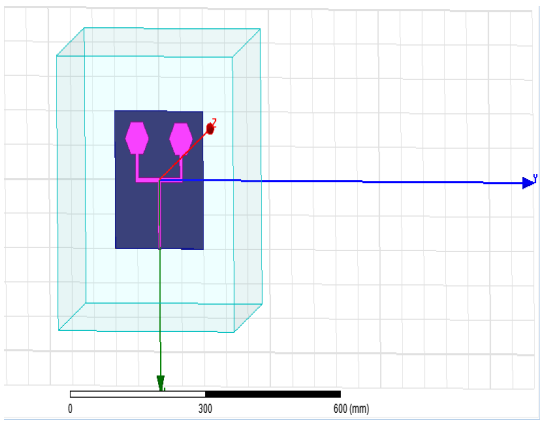


Figure III.14: Réseaux à deux (02) antennes microbandes polygones.

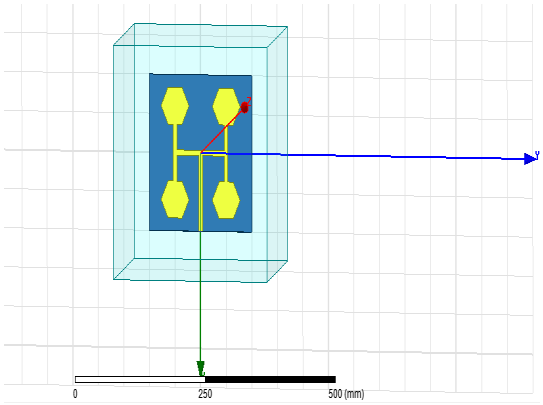


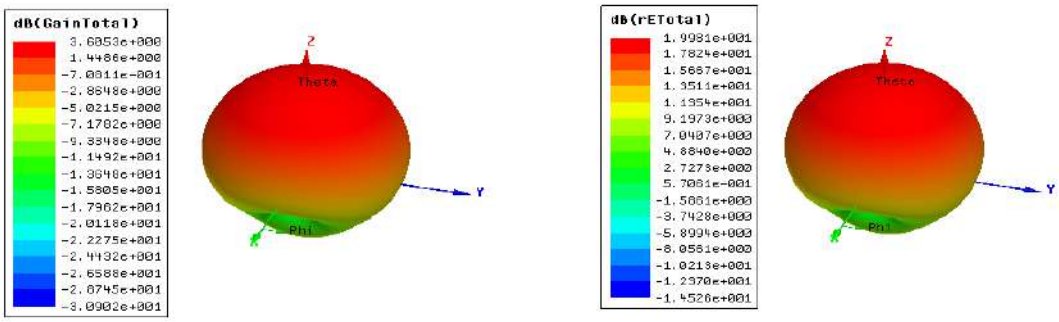
Figure III.115: Réseaux à quatre (04) antennes microbandes polygones**.**

III.6 Présentation et discussion des résultats de simulation des antennes microbandes simples:

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats de simulation des diverses antennes microbandes simples de diverses formes (rectangulaire, circulaire, polygone) pour les fréquences 2.3GHz et 4.6GHz:

III.6.1 Simulation des antennes simples de formes pour la fréquence f=2.3GHz et épaisseur h=1.5mm.

A. Forme rectangulaire (de longueur : L=43.3mm, largeur : W=31mm**):**



(a) (b)

Figure III.16: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) Le champ électrique.

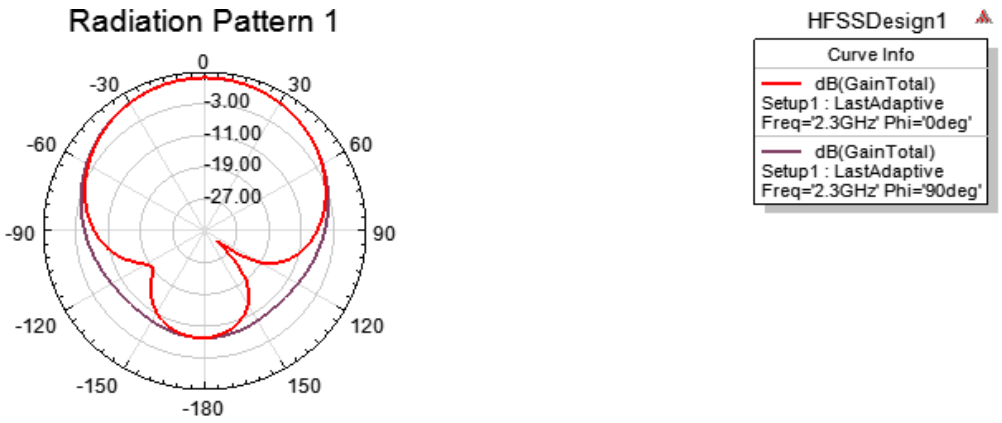


Figure III.17: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

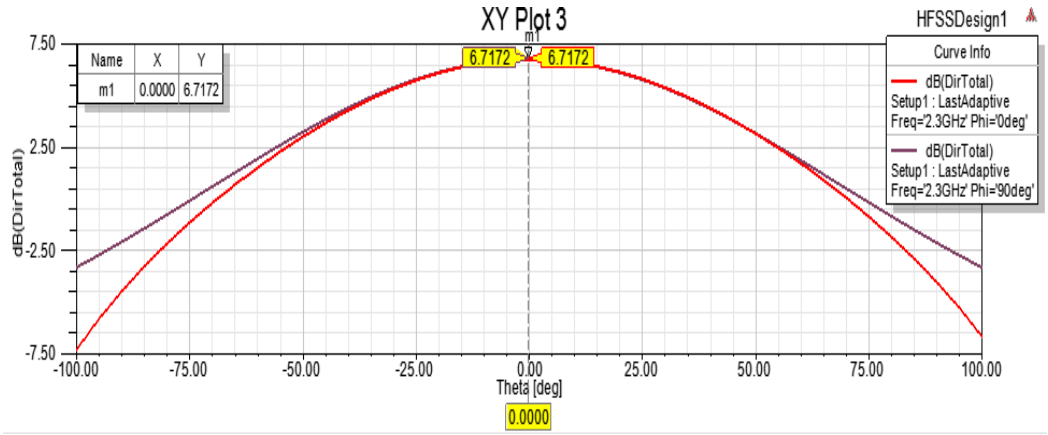


Figure III.18: Diagramme de rayonnement de la directivité totale

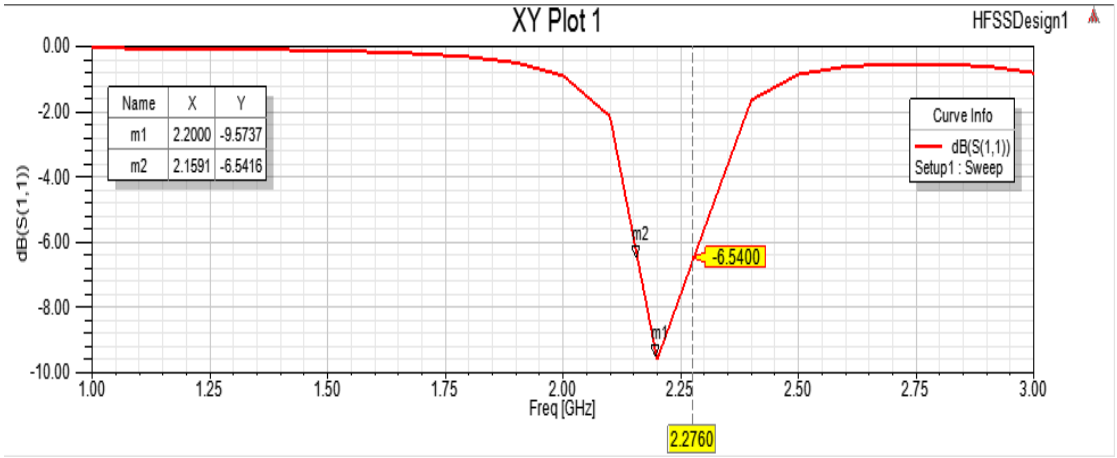


Figure III.19: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

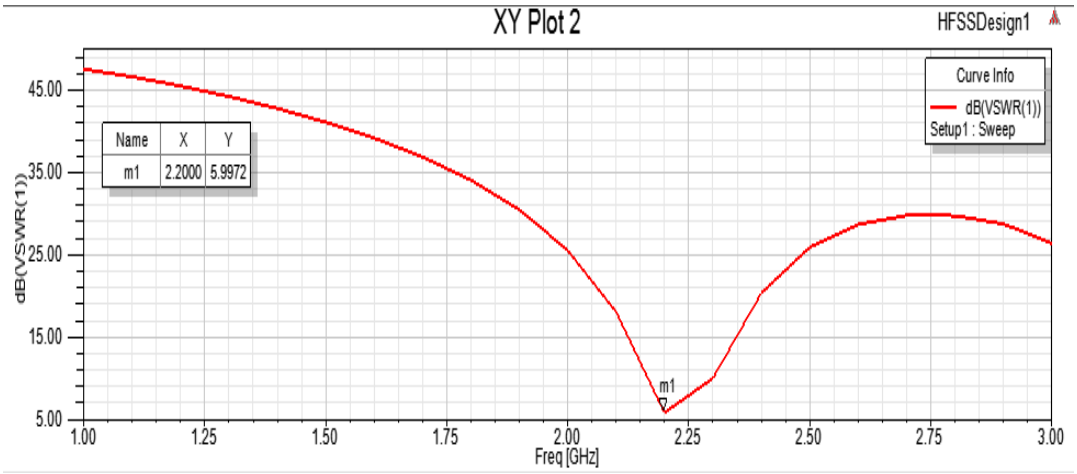


Figure III.20: Le VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

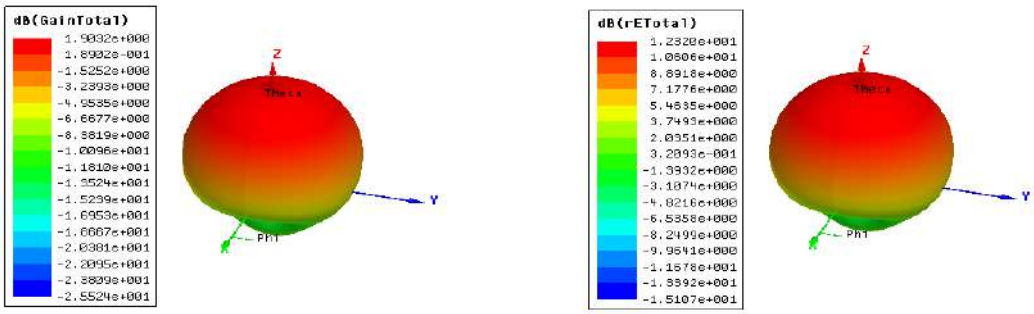
Tableau III.1: Les caractéristiques d'une antenne microbande rectangulaire.

caractéristique	Coeff de réflexion S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0° (dB)	Rendement (%)	BP (GHz) et (MHz) à -3dB
Forme rectangulaire	-9.5737	5.9972	3.6053	19.981	6.7172	53.67	0.1169GHz = 116.9MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.1), on constate que cette antenne rectangulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z.
- Une bande passante étroite de l'ordre de 116.9MHz,
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -9.5737 dB correspondant à la fréquence 2.20 GHz.

B. Forme Circulaire (de dimensions : **R**=20.67mm**) :**



(a) (b)

Figure III.21: Diagramme de rayonnement 3D : (a) Le gain, (b) le champ électrique.

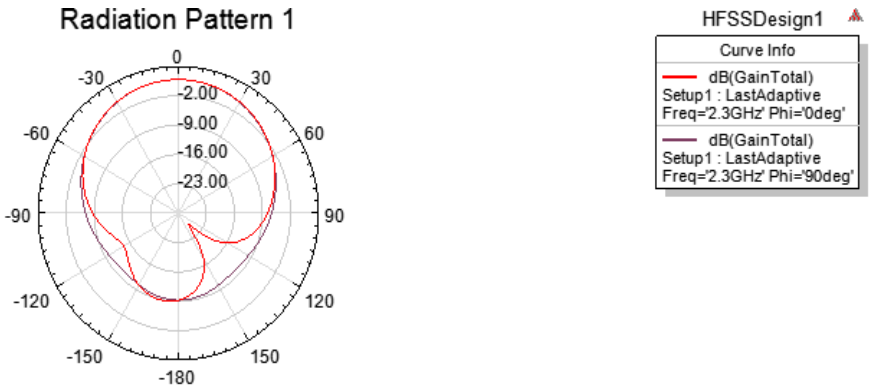


Figure III.22: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

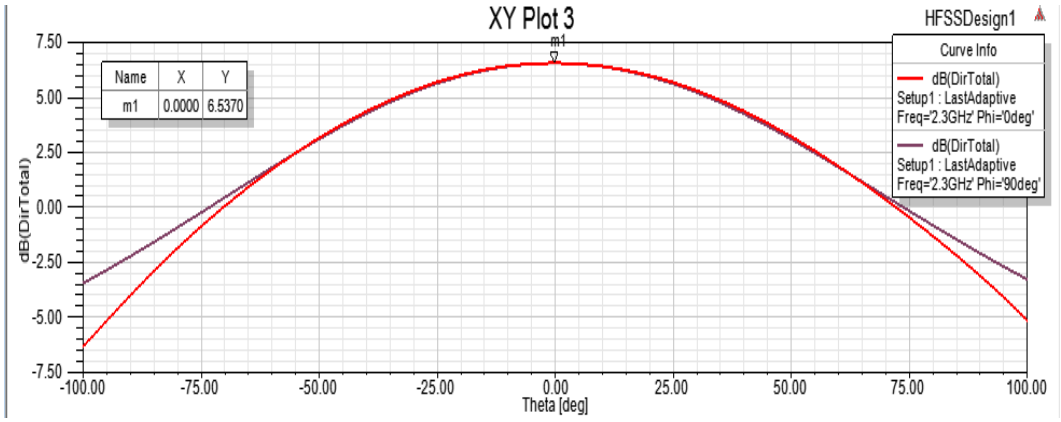


Figure III.23: Diagramme de rayonnement (Directivité totale de l'antenne).

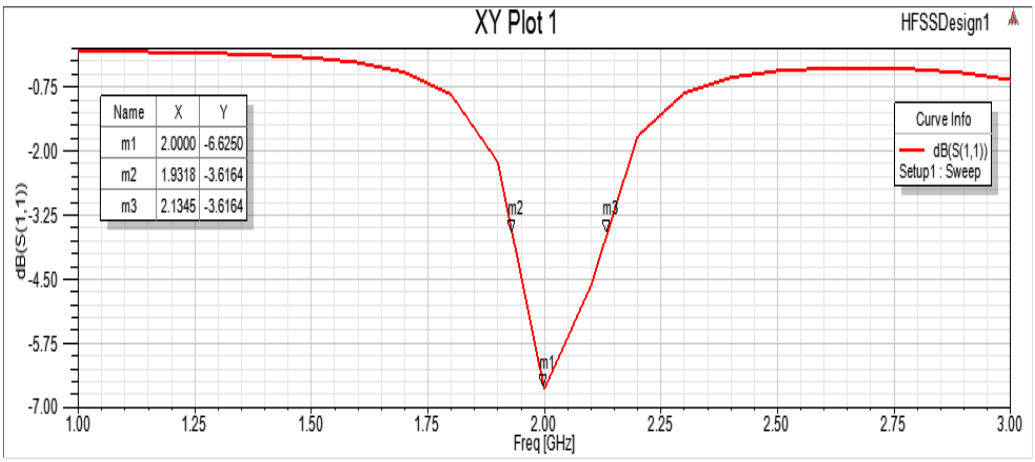


Figure III.24: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

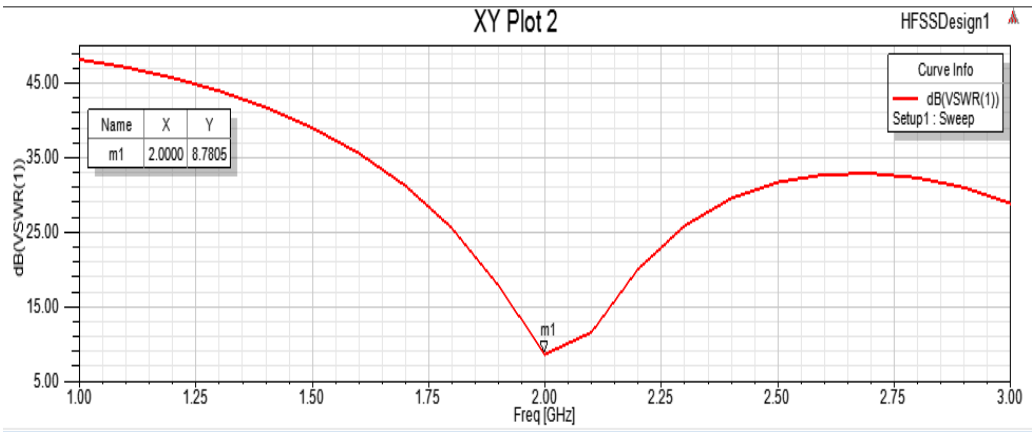


Figure III.25: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence

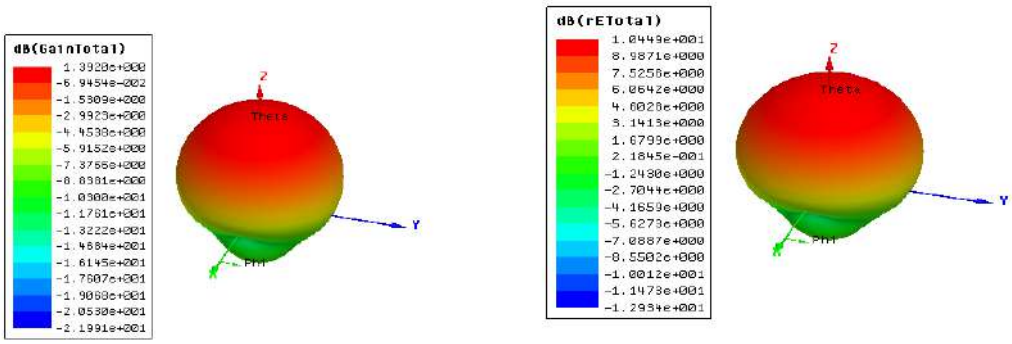
Tableau III.2: Les caractéristiques d'une antenne microbande circulaire.

caractéristiques	Coeff de réflec S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0° (dB)	Rendement (%)	BP à -3dB (GHz) et (MHz)
Forme circulaire	-6.625	8.7805	1.9032	12.320	6.5370	29.11	0.2027GHz = 202.7MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.2), on constate que cette antenne Circulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z ; avec un gain faible (1.9032 dB) par rapport à celui de l'antenne rectangulaire (3.6053 dB).
- Une bande passante étroite de l'ordre de 202.7 MHz mais un peu large par rapport à celle de l'antenne rectangulaire (116.9MHz),
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -6.625 dB correspondant à la fréquence 2.00 GHz.

C. Forme polygone (d'arrêts : **a**=22.73mm) **:**



(a) (b)

Figure III.26: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) le champ électrique.

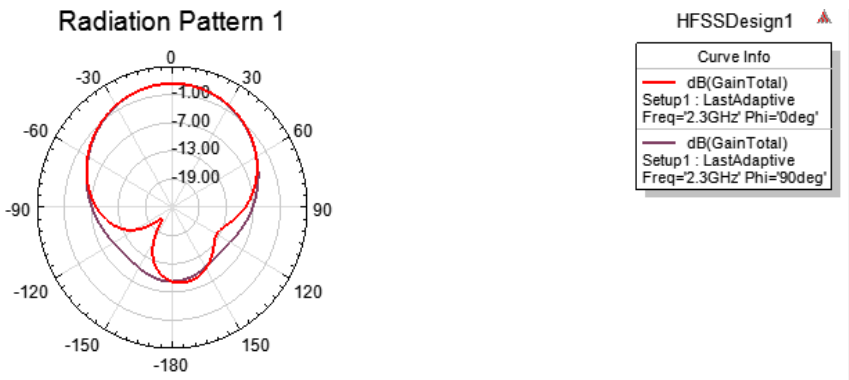


Figure III.27: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

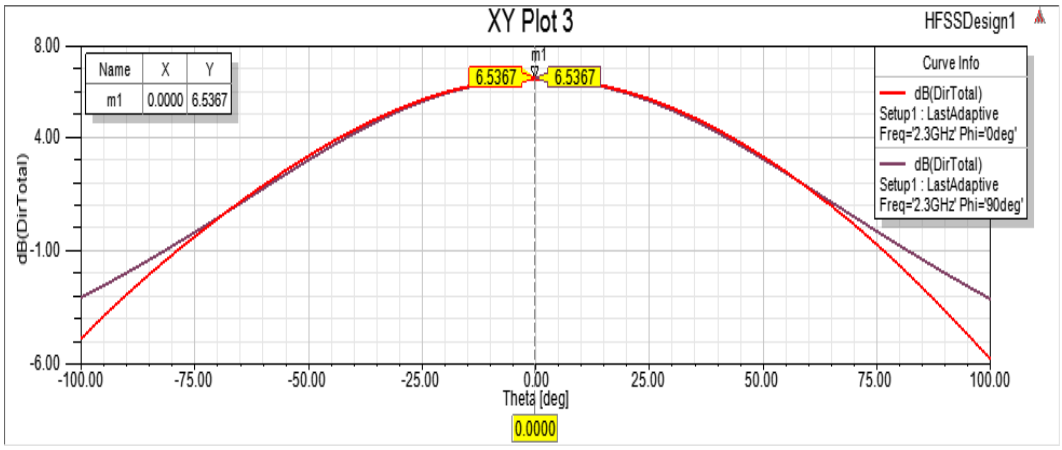


Figure III.28: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

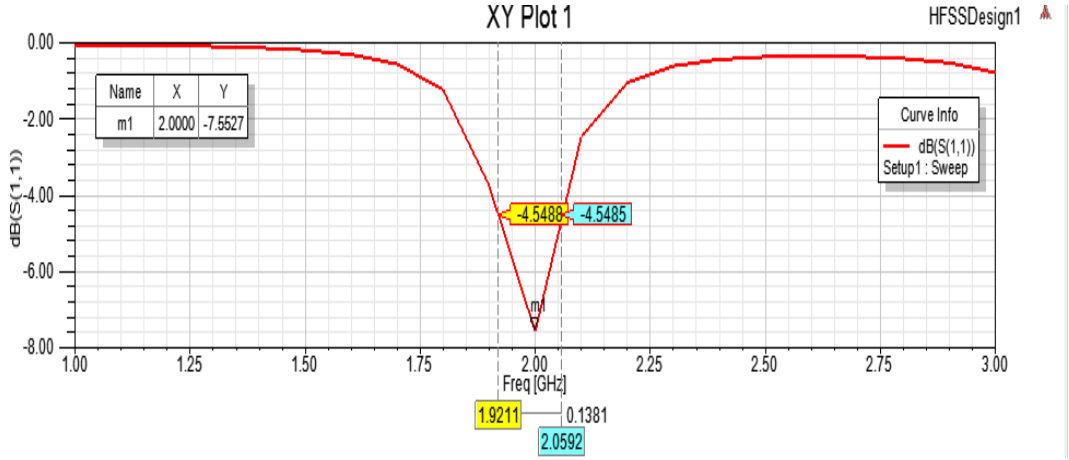


Figure III.29: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

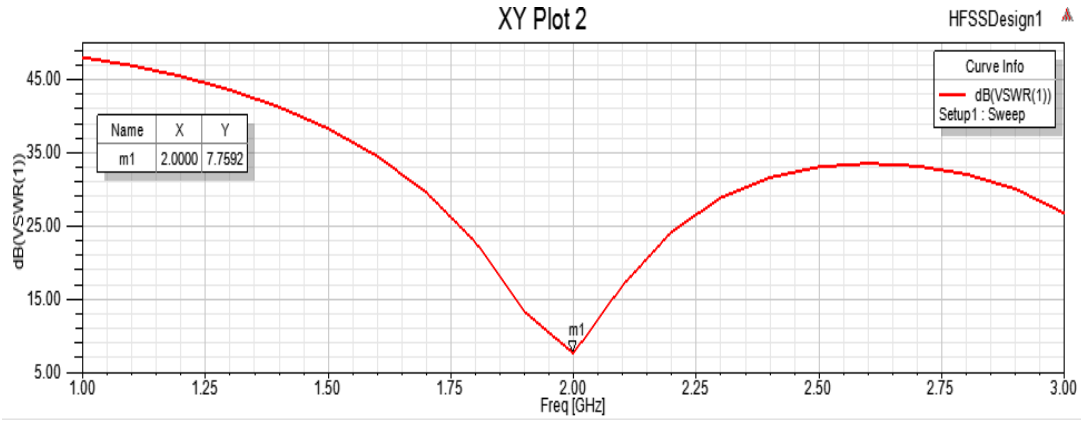


Figure III.30: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.3: Les caractéristiques d'une antenne microbande polygone**.**

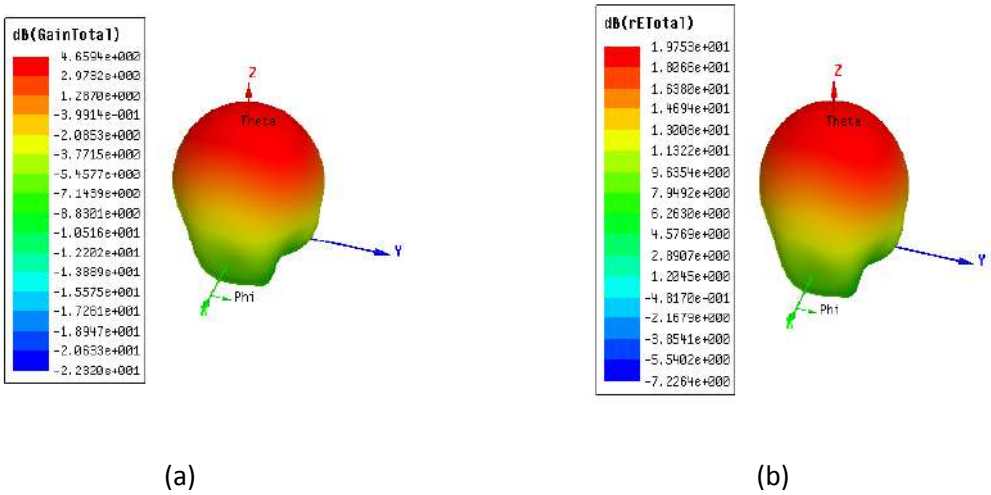
caractéristiques	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Forme polygone	-7.5527	7.7592	1.3920	10.449	6.5367	21.29	0.1381GHz et 138.1MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.3), on constate que cette antenne polygone a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z ; avec un gain faible (1.392 dB) par rapport à celui de l'antenne Rectangulaire (3.6053 dB).
- Une bande passante étroite de l'ordre de 138.1 MHz, un peu proche à celle de l'antenne rectangulaire (116.9MHz),
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -7.5527 dB correspondant à la fréquence 2.00 GHz.

III.6.2 Simulation pour la fréquence f=4.6GHz et épaisseur h=1.5mm.

A. Forme rectangulaire : (Longueur : **L**=21.7mm; Largeur : **W**=16mm).



(a) (b)

Figure III.31: Diagramme de rayonnement 3D : (a) le gain, (b) le champ électrique.

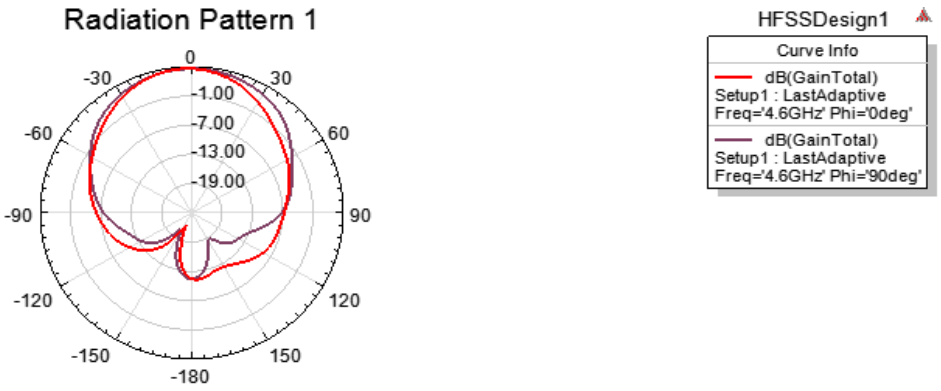


Figure III.32: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

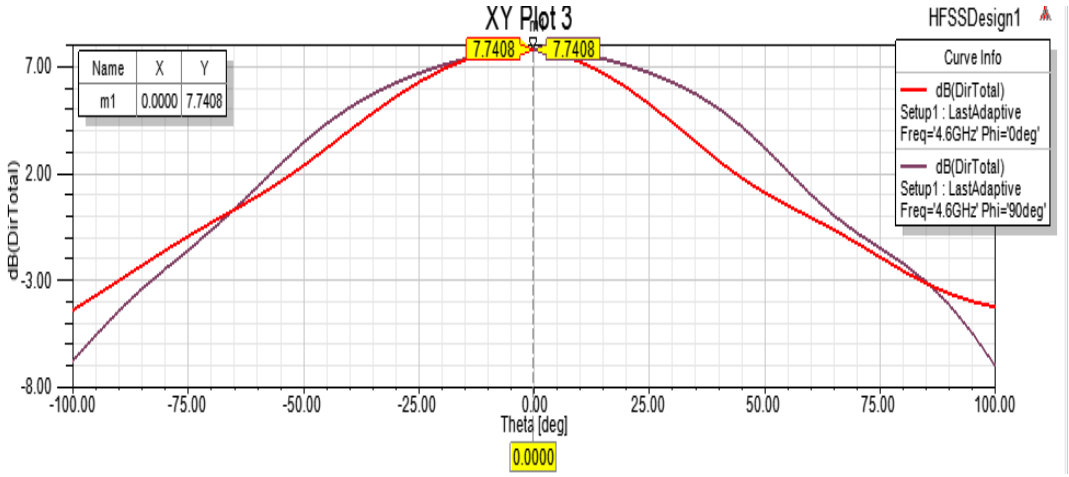


Figure III.33: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

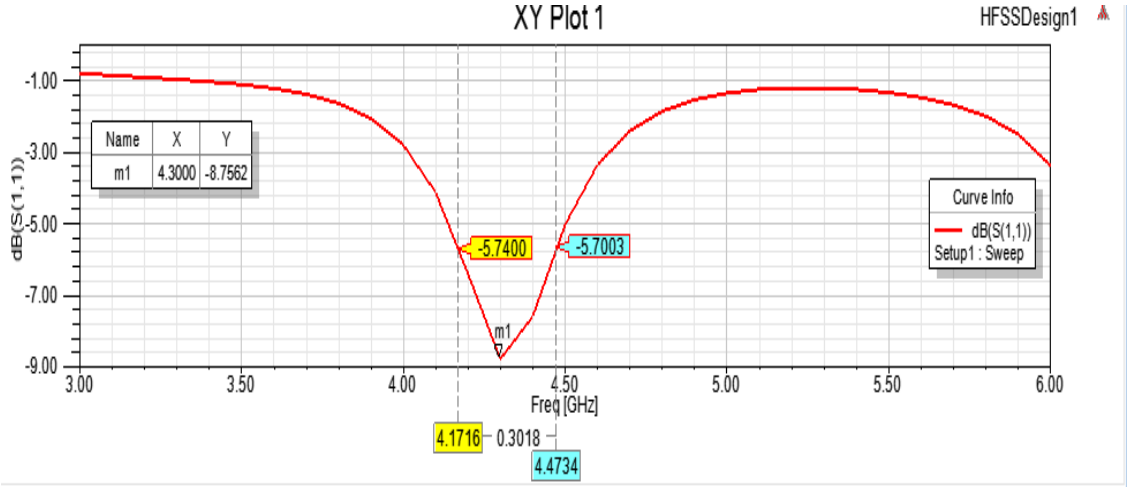


Figure III.34: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

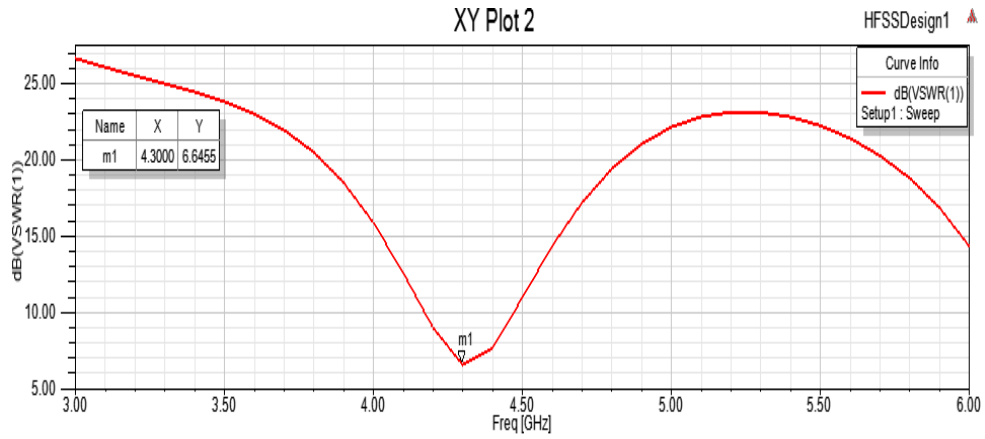


Figure III.35: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

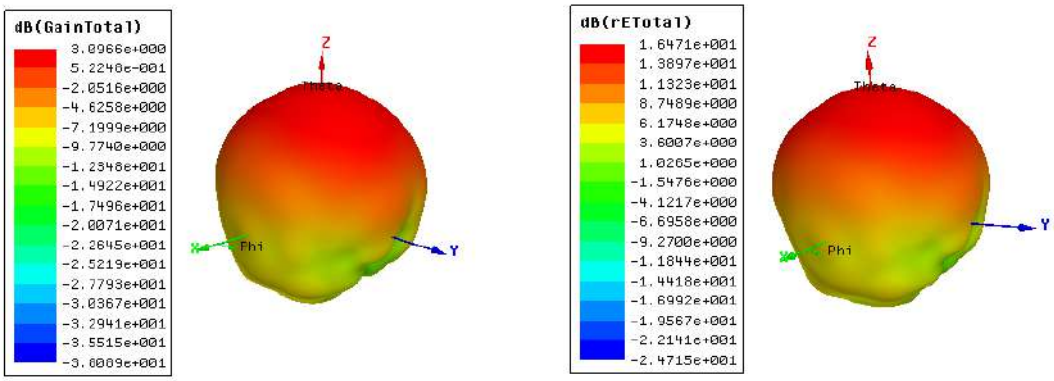
Tableau III.4: Les caractéristiques d'une antenne microbandes rectangulaire.

caractéristiques	Coeff de réflec S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Forme rectangulaire	-8.7562	6.6455	4.6594	19.753	7.7408	60.19	0.3018 GHz et 301.8 MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.4), on constate que cette antenne Rectangulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z ; avec un gain (4.6594 dB) améliorée par rapport à celui du premier cas.
- Une bande passante étroite de l'ordre de 301.8 MHz, améliorée par rapport à celui du premier cas.
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -8.7562 dB correspondant à la fréquence 4.30 GHz.
- Un rendement de 60.19% amélioré par rapport à celui du premier cas étudié.
  Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z.

B. Forme circulaire (de Rayon : **R**=10.51mm).



(a) (b)

Figure III.36: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

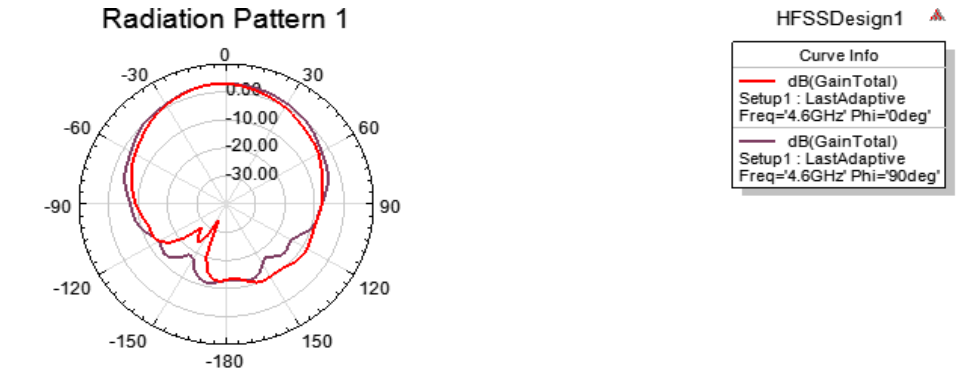


Figure III.37: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

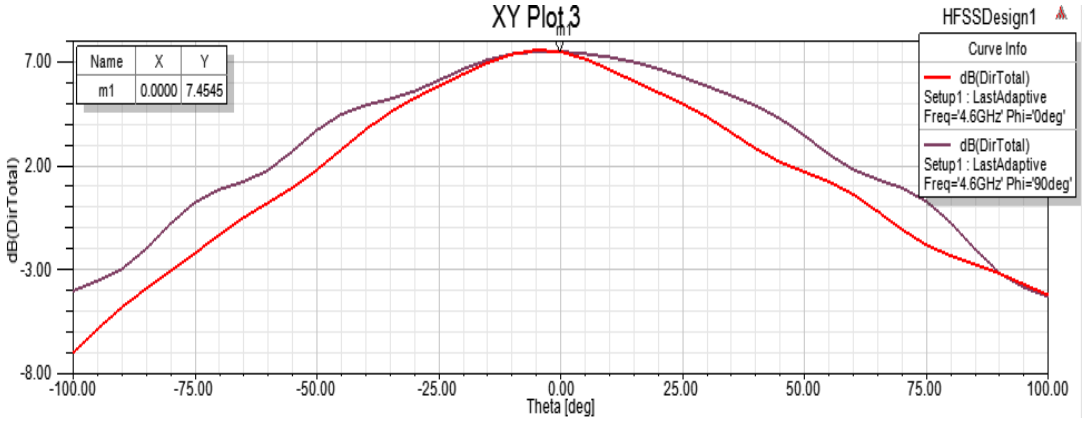


Figure III.38: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

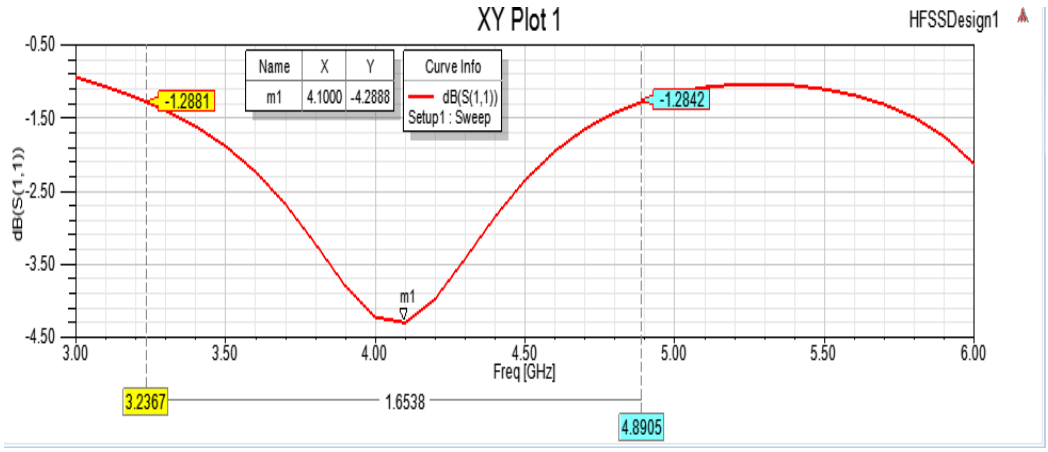


Figure III.39: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

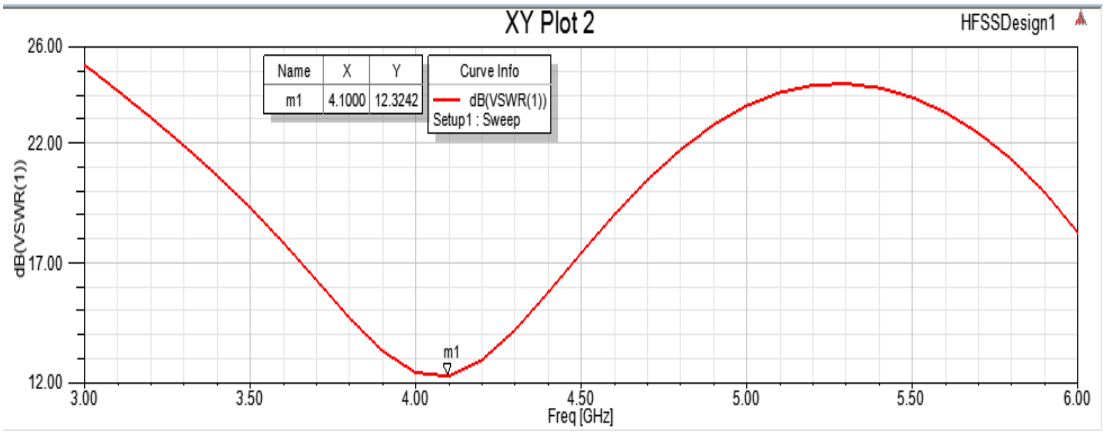


Figure III.40: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.5:Les caractéristiques d'une antenne microbande circulaire.

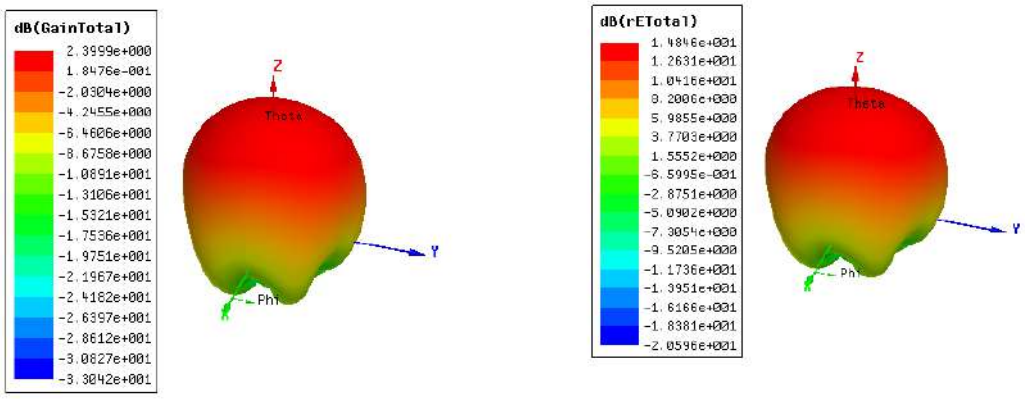
caractéristiques	Coeff de réflec S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Forme circulaire	-4.2888	12.3242	3.0966	16.471	7.4545	41.54	1.6538 GHz et 1653.8 MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.5), on constate que cette antenne circulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z avec un gain (3.0966dB) améliorée par rapport à celui du premier cas.
- Une bande passante étroite de l'ordre de 1653.8 MHz, améliorée par rapport à celui du premier cas.

- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -4.2888 dB correspondant à la fréquence 4.10 GHz.
- Un rendement de 41.54% amélioré par rapport à celui du premier cas étudié.

C. Forme polygone (d'arrêt : **a**=11.56mm).



(a) (b)

Figure III.41: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique

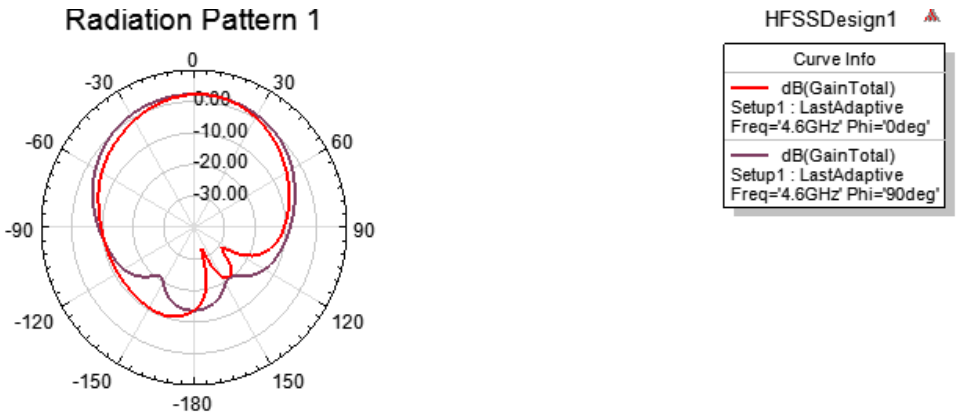


Figure III.42: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

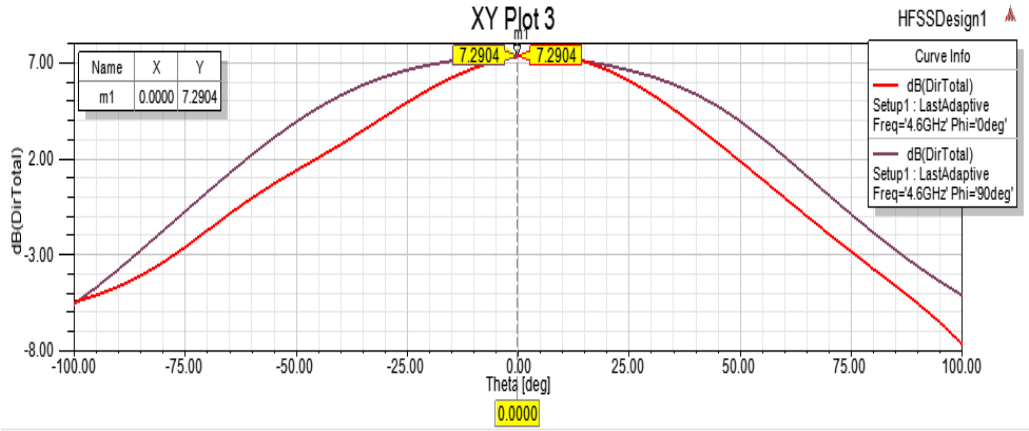


Figure III.43: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

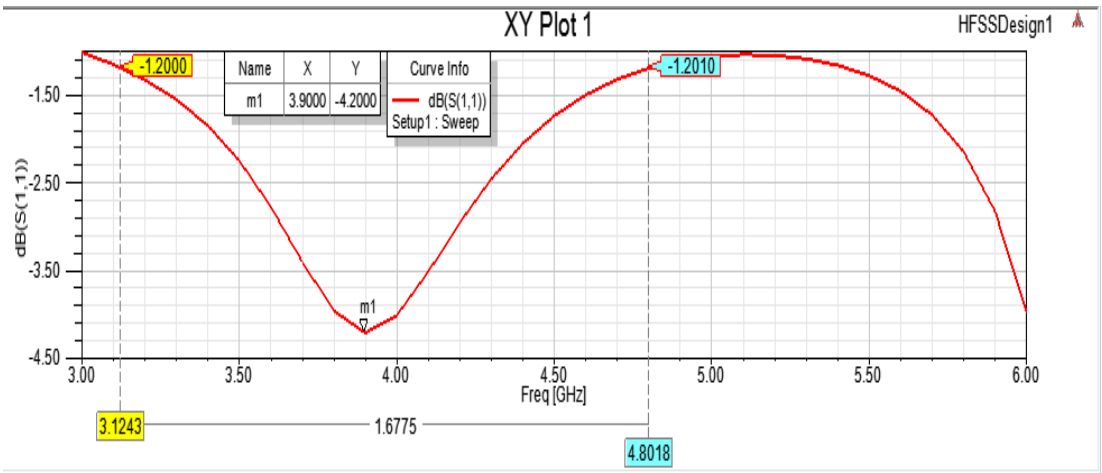


Figure III.44: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

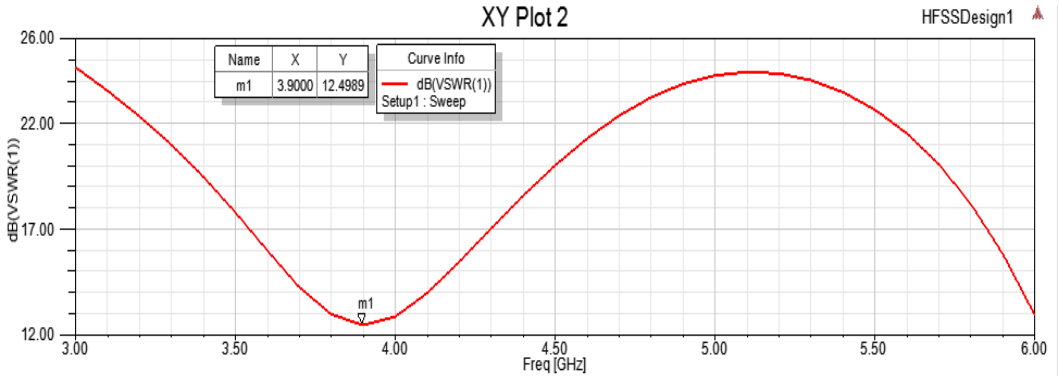


Figure III.45: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.6: Les caractéristiques d'une antenne microbandes polygone.

caractéristiques	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Forme polygone	-4.2000	12.4989	2.3999	14.846	7.2904	32.91	1.6775 GHz et 1677.5 MHz

D'après les diagrammes de rayonnement et le tableau (III.6), on constate que cette antenne polygone a :

- Une bonne directivité suivant l'axe Z avec un gain (2.3999dB) améliorée par rapport à celui du premier cas.
- Une bande passante large de l'ordre de 1677.8 MHz, améliorée par rapport à celle du premier cas.

- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -4.200 dB correspondant à la fréquence 3.90 GHz.
- Un rendement de 32.91% amélioré par rapport à celui du premier cas étudié.

Remarque :

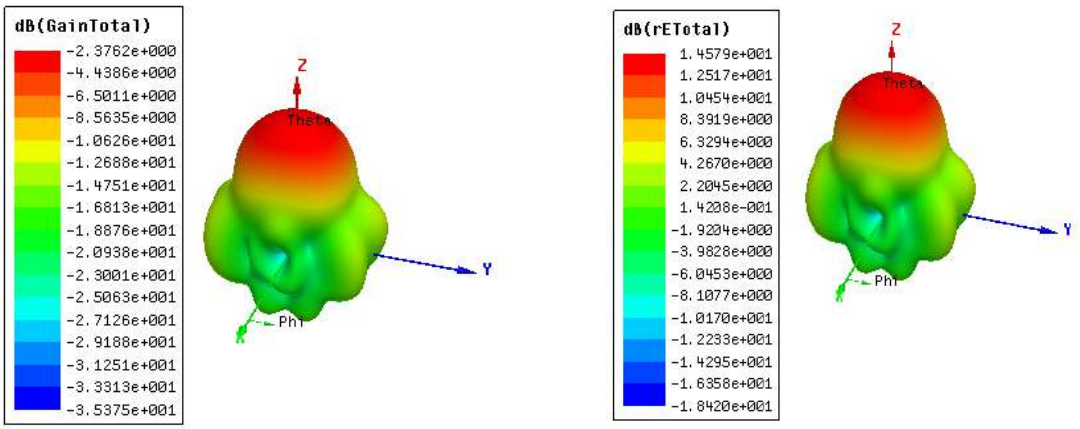
D'après les résultats obtenus on constate que les paramètres des antennes conçues se diffèrent selon la forme et selon la fréquence. D'une part, les antennes microbandes rectangulaires présentent des meilleures performances par rapport aux autres formes. D'autre part, les antennes microbandes circulaires présentent des meilleures performances par rapport aux antennes de forme polygone.

III.7 Résultats de simulation des réseaux d'antennes microbandes de divers formes (rectangulaire, circulaire, polygone) :

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats de simulation des diverses réseaux d'antennes microbandes de diverses formes (rectangulaire, circulaire, polygone) pour les fréquences 2.3GHz et 3GHz :

III.7.1 Réseaux d'antennes microbandes de forme rectangulaire :

A. Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm):Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm.



(a) (b)

Figure III.46: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique**.**

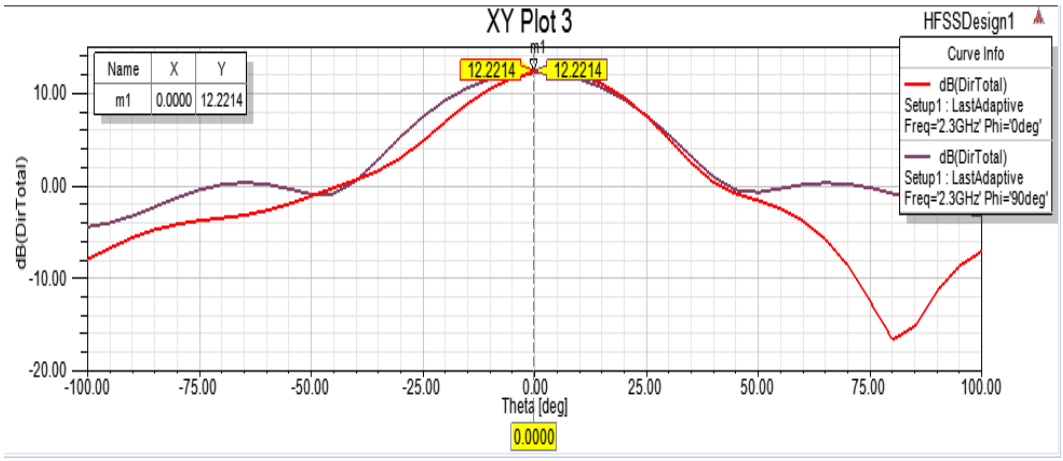


Figure III.47: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

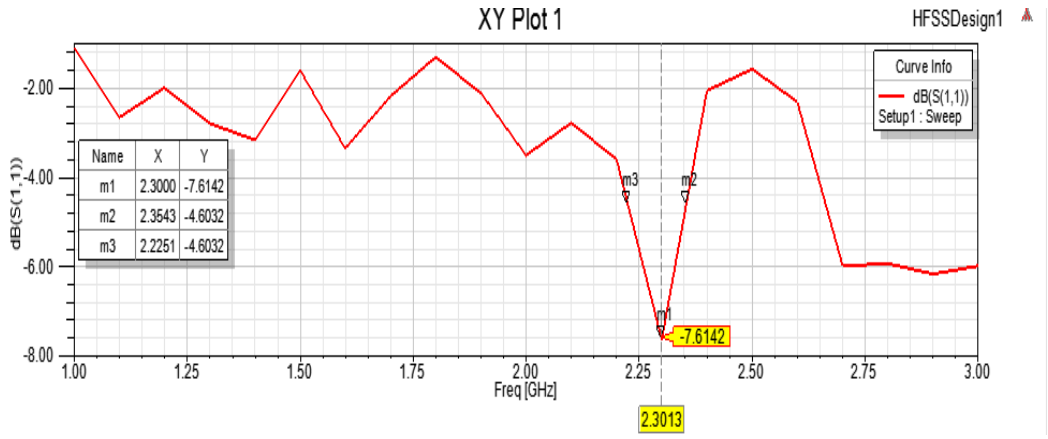


Figure III.48: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

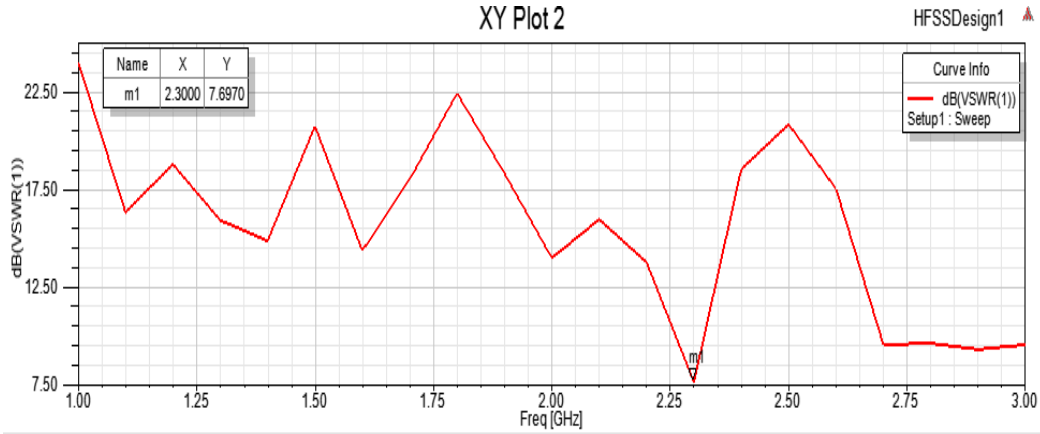


Figure III.49: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

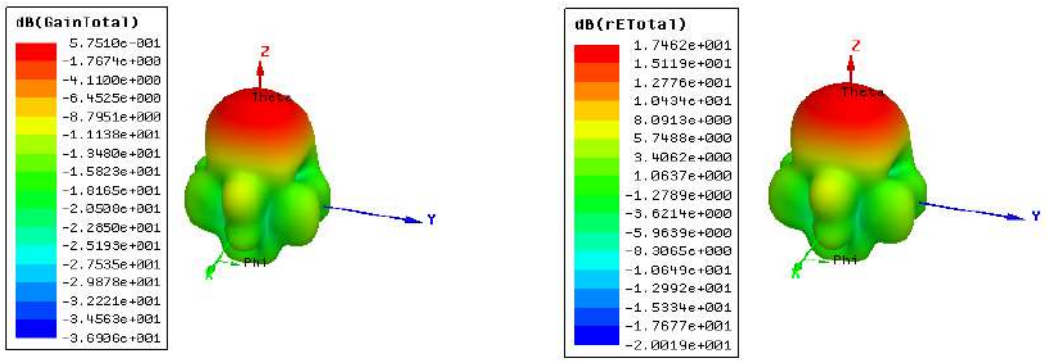
Tableau III.7: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02)antennes microbandes rectangulaire.

Caractéristiques **Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm.**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne. 2-P	-7.6142	7.6970	-2.3762	14.579	12.2214	19.44	0.1292 GHz et 129.2 MHz

D'après les résultats de simulation, on constate que le réseau à deux antennes microbandes a :

- Une bonne directivité suivant l'axe **Z,** avec un gain de -2.3762dB.
- Une bande passante faible 129.2 MHz.
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -7.6142 dB.
- Un rendement faible de 19.44%.

B. Réseaux à deux (02) antennes microbandes rectangulaires (L=43.3 mm**, W**=31 mm**): (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm.)**



(a) (b)

Figure III.50: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

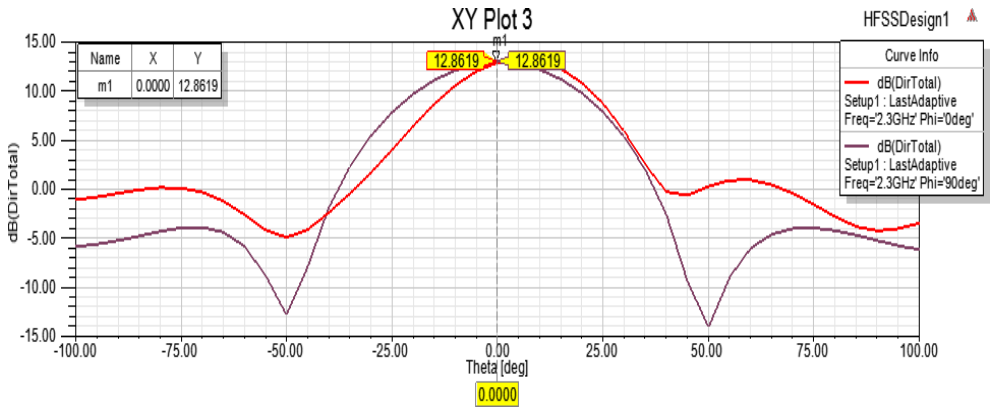


Figure III.51: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

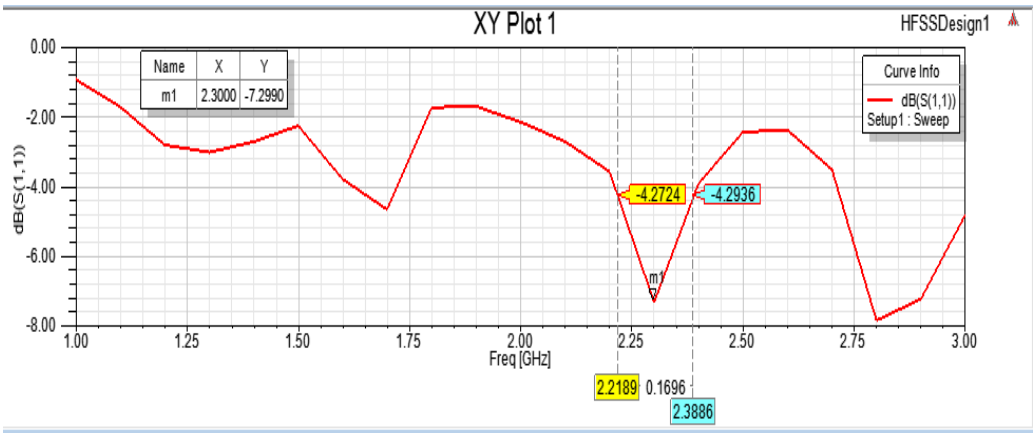


Figure III.52: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

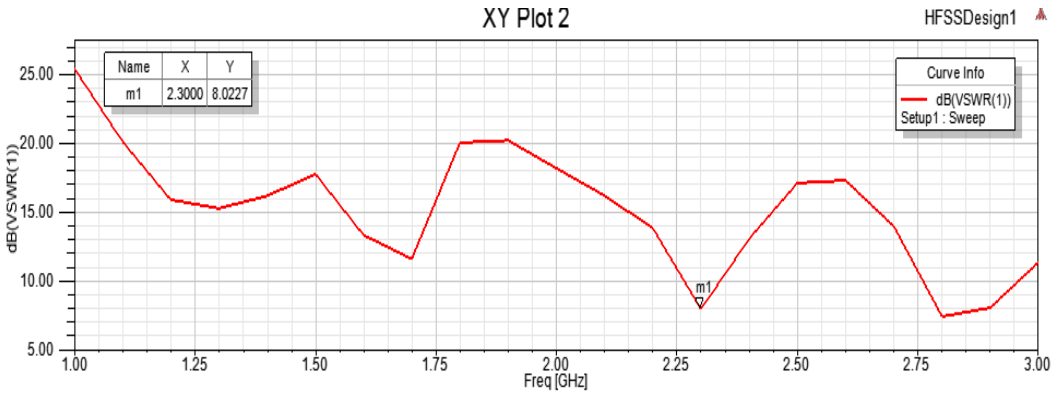


Figure III.53: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

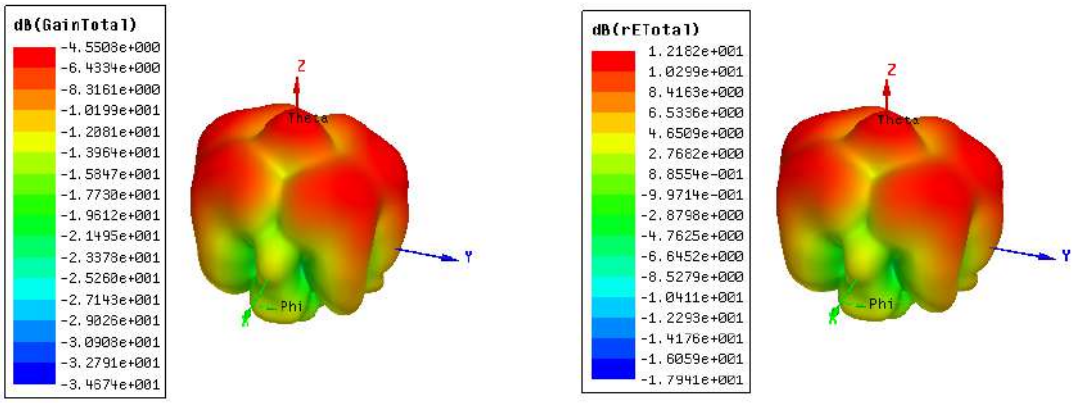
Tableau III.8: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire.

Caractéristiques **Pour fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm.**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.2-P	-7.2990	7.4939	0.5751	17.462	12.8619	4.471	0.1697 GHz et 169.7 MHz

D'après les résultats de simulation, on constate que le réseau à deux antennes microbandes rectangulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe **Z,** avec un gain de 0.5751dB.
- Une bande passante faible améliorée 169.7 MHz.
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -7.299 dB.
- Un rendement très faible de 4.471%.

C. Réseaux à deux (02) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3mm, W=24mm): (Pour la fréquence f=3GHz et h=1.5mm).



(a) (b)

Figure III.54: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique

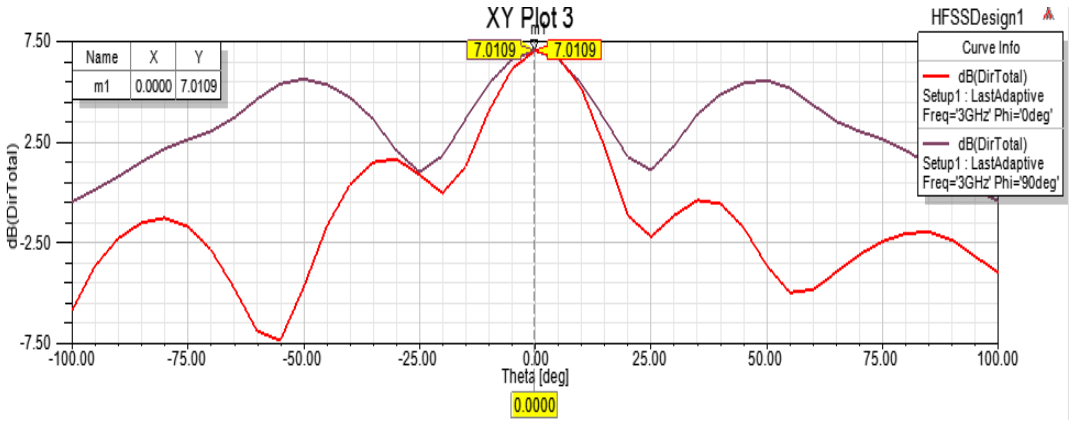


Figure III.55: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

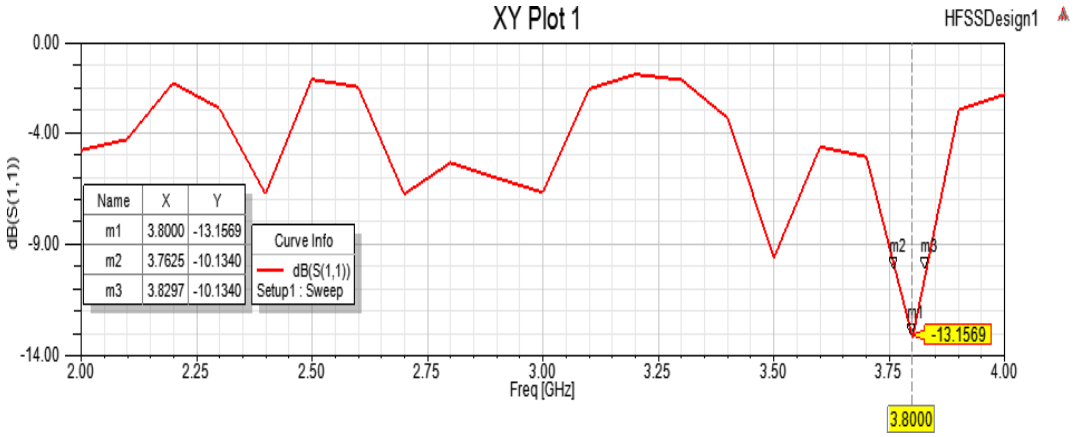


Figure III.56: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

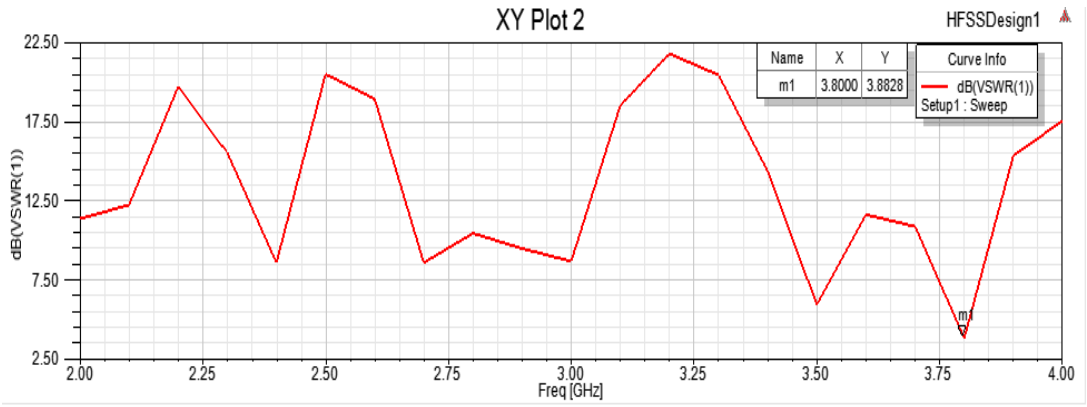


Figure III.57: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

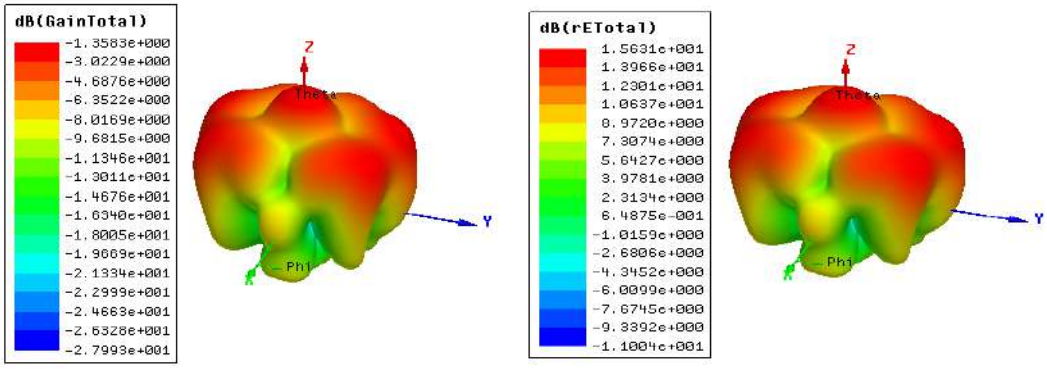
Tableau III.9: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire.

Caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.2-P	-13.1569	3.8828	-4.5508	12.182	7.0109	64.91	0.0672 GHz et 67.2 MHz

D'après les résultats de simulation, on constate que le réseau à deux antennes microbandes rectangulaire a :

- Une bonne directivité suivant l'axe **Z,** avec un gain faible de -4.5508dB.
- Une bande passante très faible 67.2 MHz.
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de –13.1569 dB.
- Un rendement assez bien de 64.91%.

D. Réseaux à deux (02) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3mm, W=24mm) : (Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm).



(a) (b)

Figure III.58: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

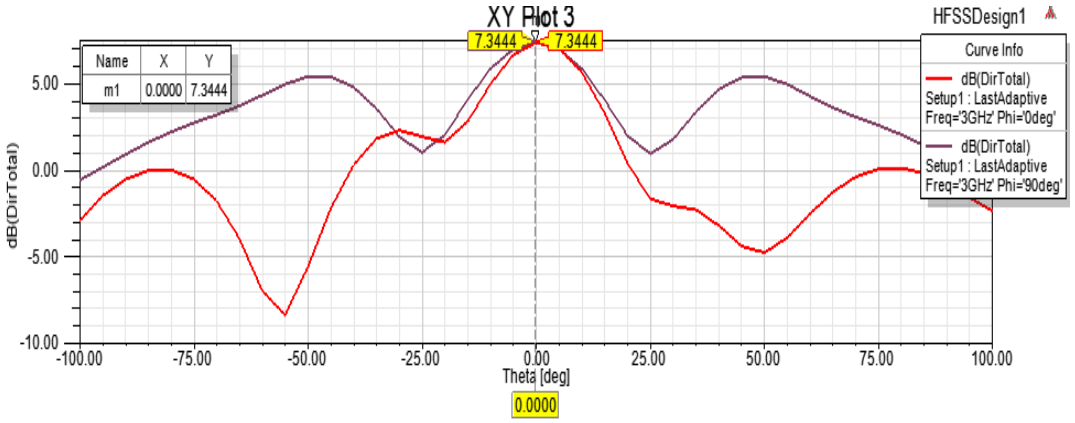


Figure III.59: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

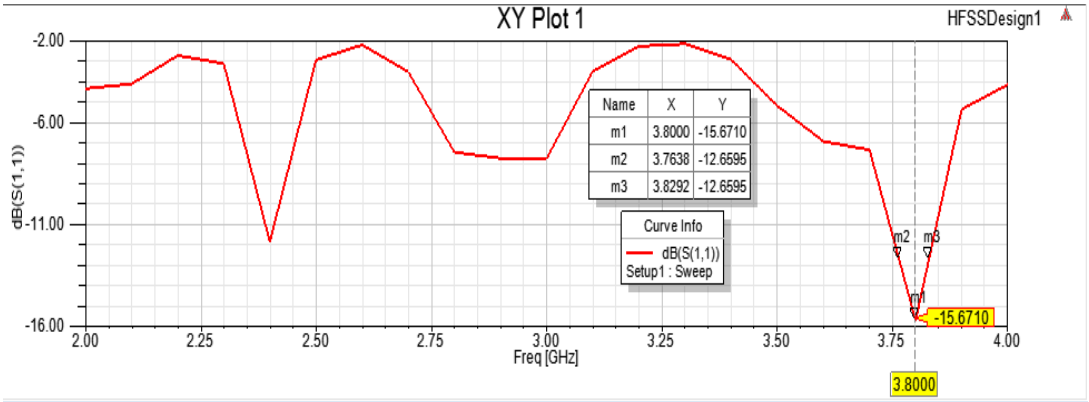


Figure III.60: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

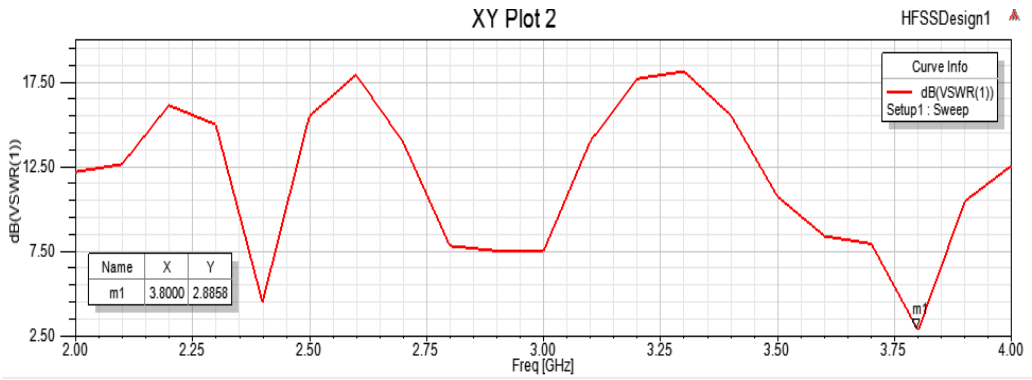


Figure III.61: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.10: Les caractéristiques d'un réseau à deux antennes microbandes rectangulaire.

Caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=2.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.2-P	-15.6710	2.8858	-1.3583	15.631	7.3444	18.49	0.0654 GHz et 65.4 MHz

D'après les résultats de simulation, on constate que le réseau à deux antennes microbandes Rectangulaires a :

- Une bonne directivité suivant l'axe **Z,** avec un gain faible de -1.3583dB.
- Une bande passante très faible 65.4 MHz.
- Une bonne adaptation pour un coefficient de réflexion de -15.6710 dB.
- Un rendement assez faible de 18.49%.

➢ **Diagrammes de rayonnement du gain des réseaux à deux antennes microbandes:**

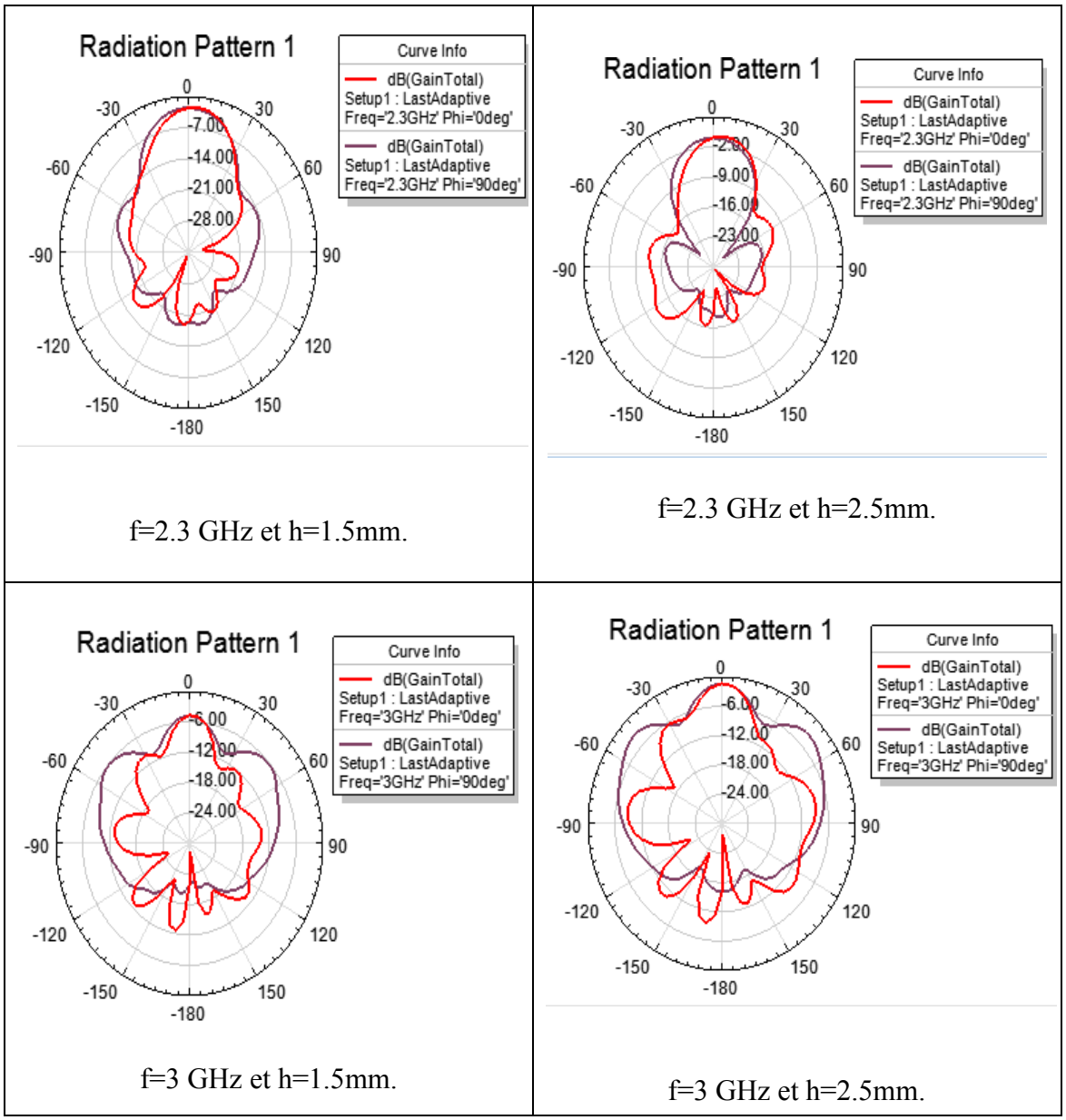
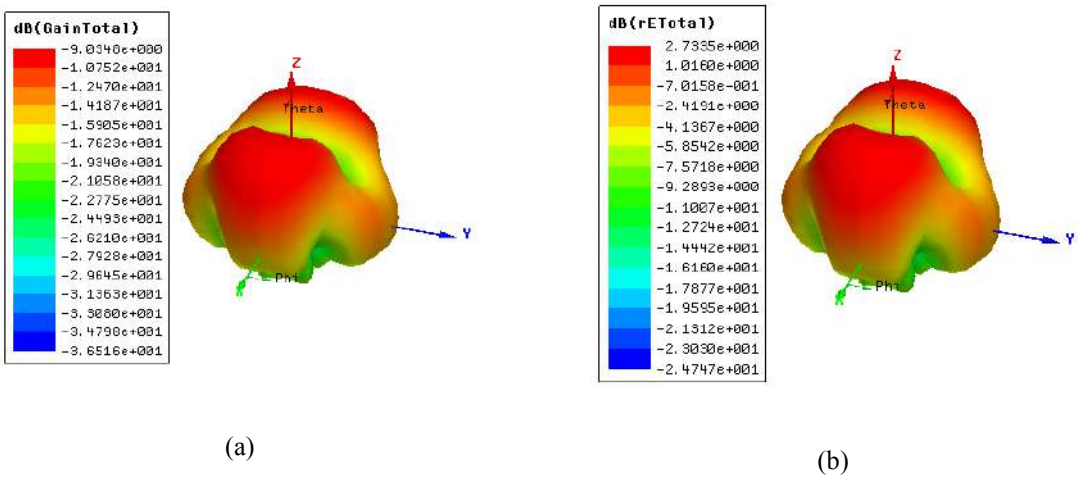


Figure III.62: diagramme de rayonnement du gain.

E. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm) (Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm) :



(a) (b)

Figure III.63: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique**.**

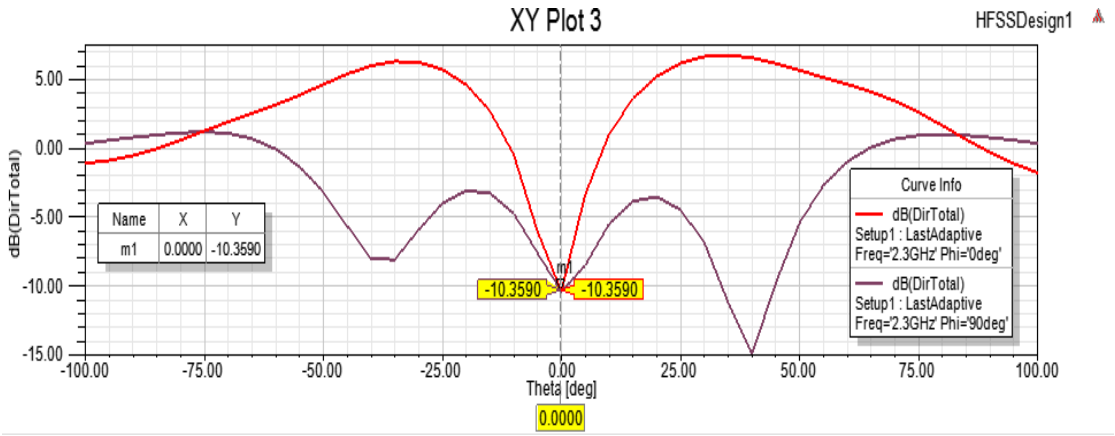


Figure III.64: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

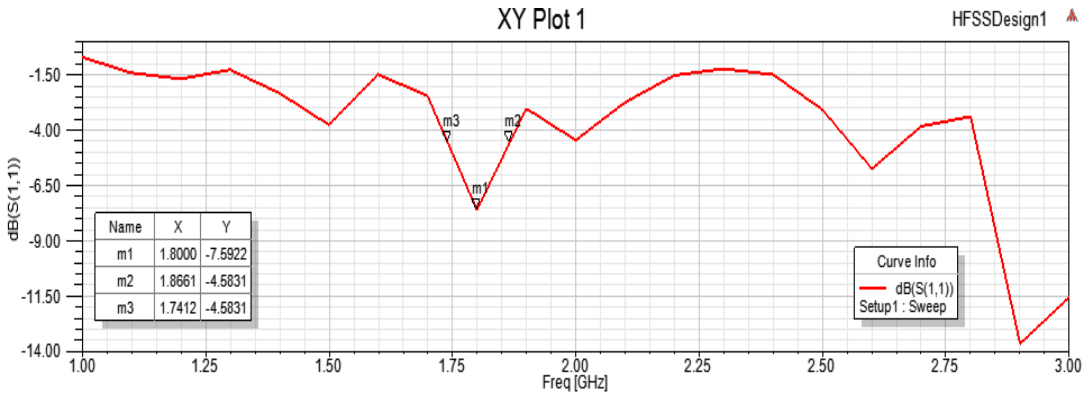


Figure III.65: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

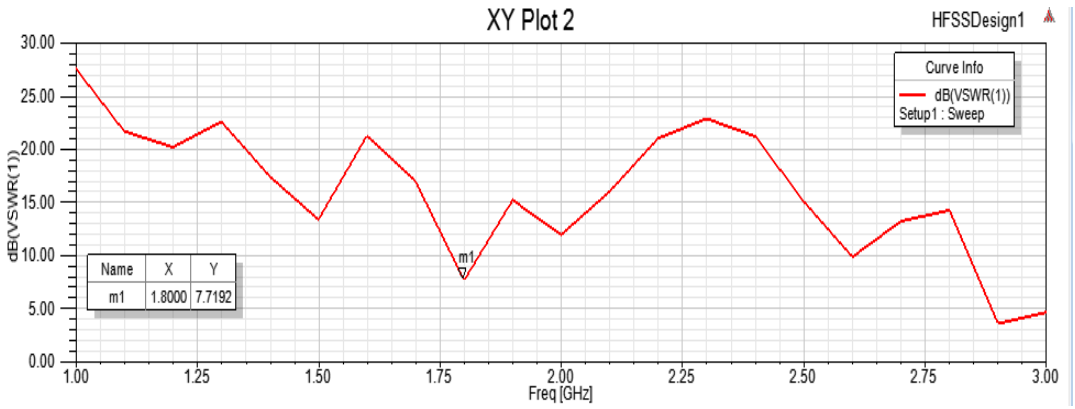


Figure III.66: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

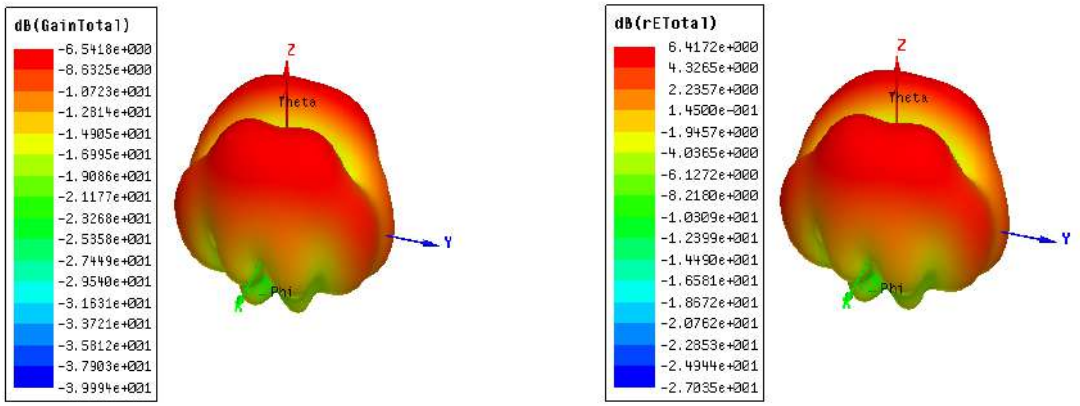
Tableau III.11: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-7.5922	7.7192	-9.0348	2.7335	-10.3590	87.21	0.1249 GHz et 124.9 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 04 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant deux directions d'angles symétriques par rapport à l'axe Z, tels que $\theta_1(-30°)$ et $\theta_2(30°)$, avec un gain de -9.0348dB
- Une bande passant de l'ordre de 124.9 MHz.
- Une bonne adaptation de -7.5922 dB.
- Un très bon rendement de 87.21%

F. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Rectangulaires (L=43.3 mm, W=31 mm) (Pour la fréquence f=2.3GHz et h=2.5mm) :



(a) (b)

Figure III.67: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

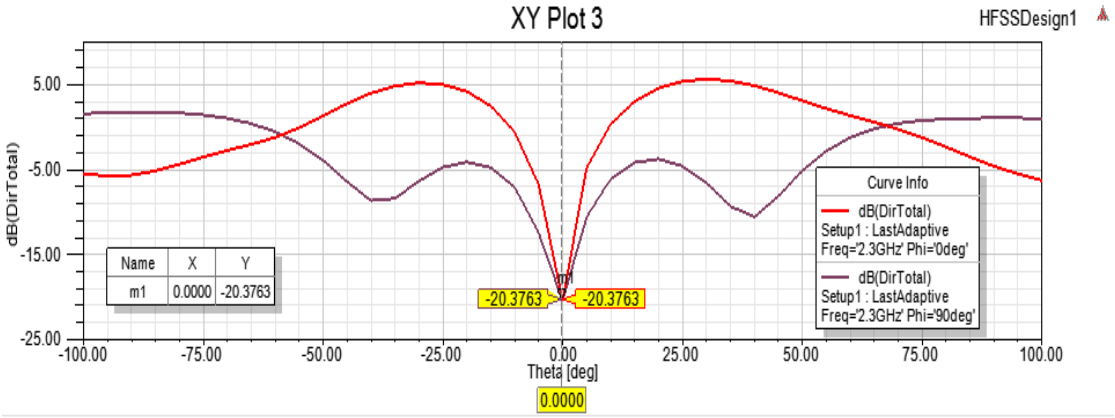


Figure III.68: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

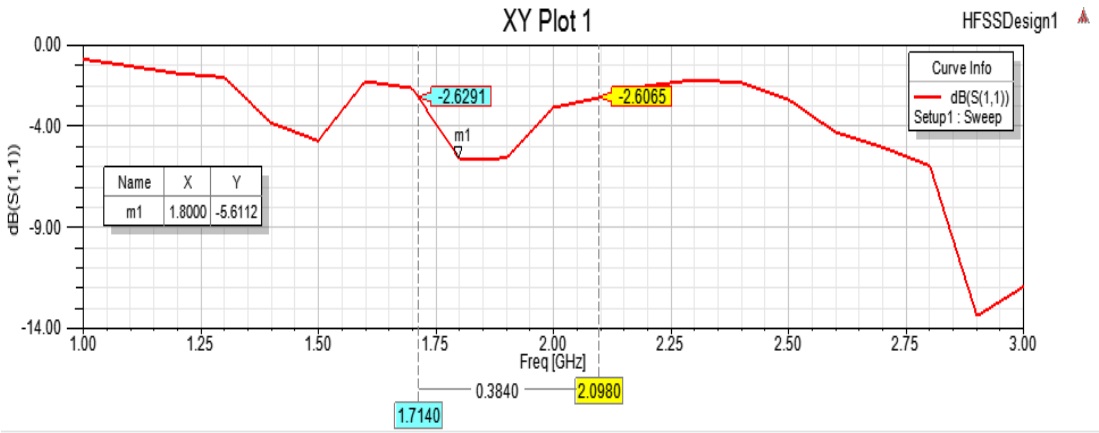


Figure III.69: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

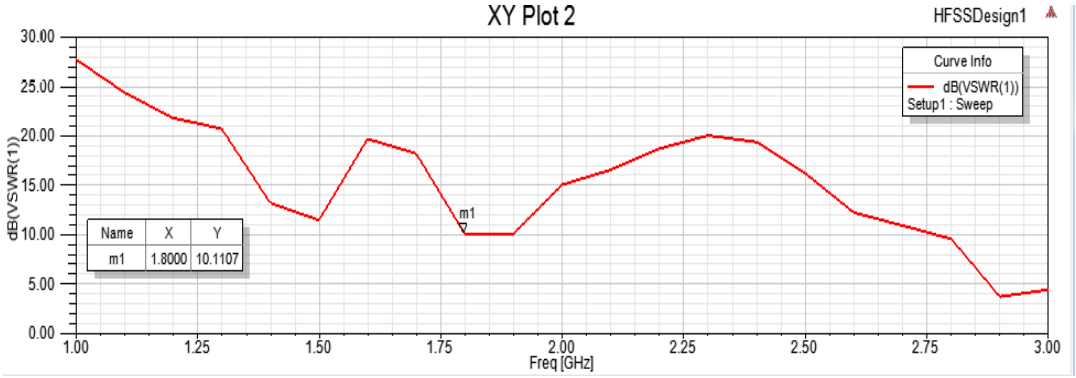


Figure III.70: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.12: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire.

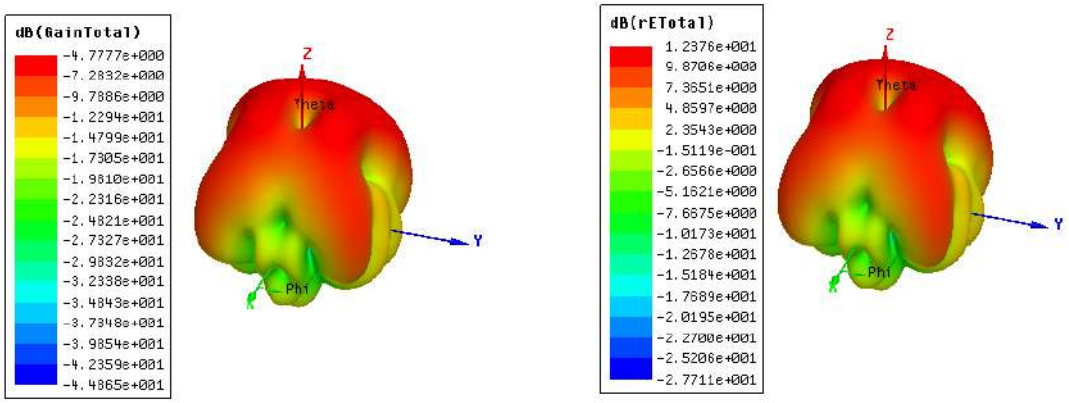
Caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=2.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-5.6112	10.1107	-6.5418	6.4172	-20.3763	32.10	0.384 GHz et 384 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 04 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant deux directions d'angles symétriques par rapport à l'axe Z, tels que $\theta_1(-30°)$ et $\theta_2(30°)$, avec un gain de -6.5418dB.
- Une bande passant de l'ordre de 384 MHz.
- Une bonne adaptation de -5.6112dB.
- Un faible rendement de 32.10%

G. Réseaux à quatre(04) antennes microbandes Rectangulaires (L=33.3 mm, W=24 mm) :

G.1 Pour la fréquence f=3 GHz et h=1.5mm :



(a) (b)

Figure III.71: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

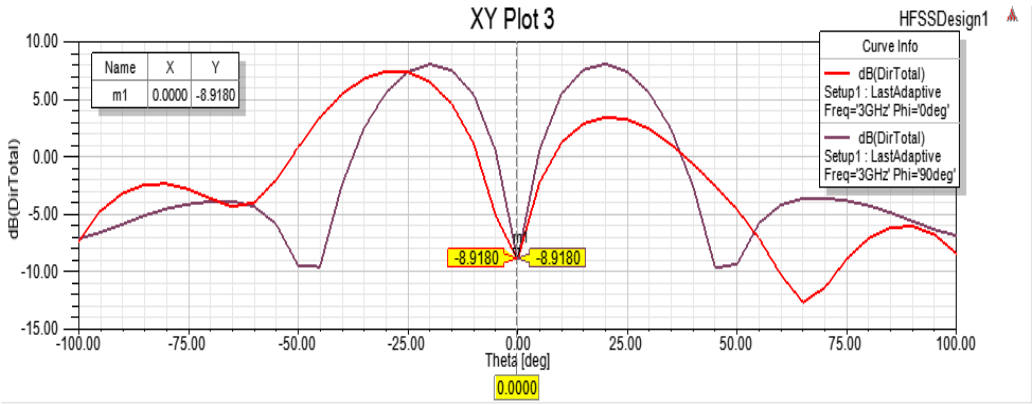


Figure III.72: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

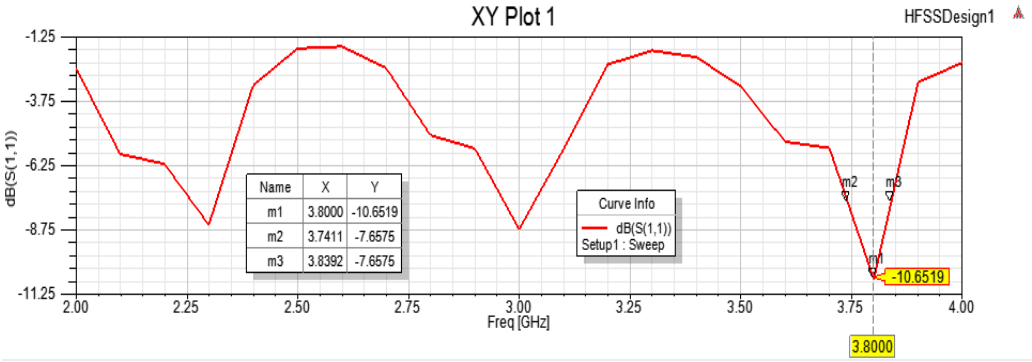


Figure III.73: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

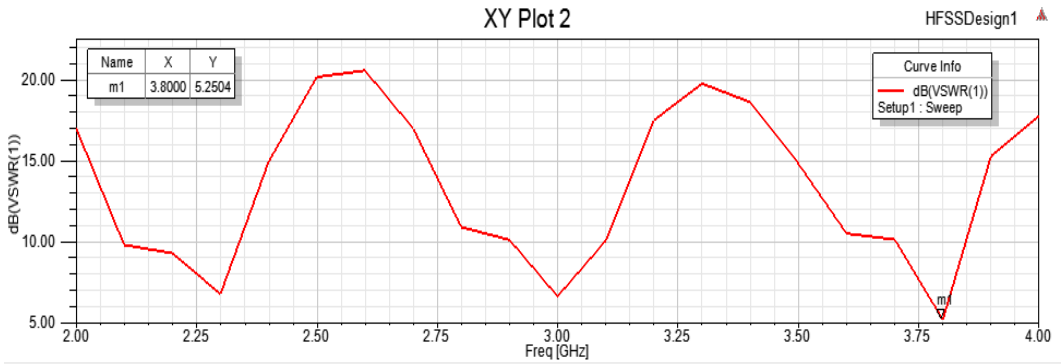


Figure III.74: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

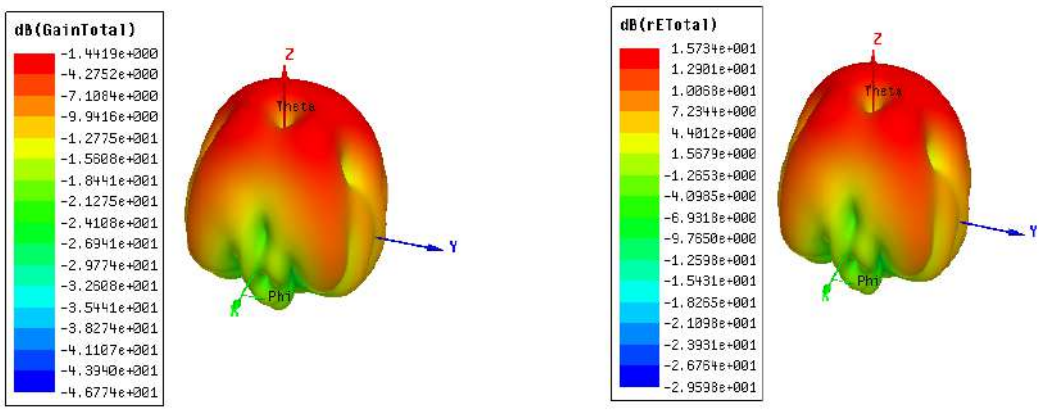
Tableau III.13: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-10.6519	5.2504	-4.7777	12.376	-8.9180	53.57	0.0981 GHz et 98.1 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 04 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant deux directions d'angles par rapport à l'axe Z, tels que $\theta_1(-25°)$ et $\theta_2(20°)$, avec un gain de -4.7777dB.
- Une bande passant de l'ordre de 98.1 MHz.
- Une bonne adaptation de -10.6519 dB.
- Un rendement moyen de 53.57 %.

G.2 Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm :



(a) (b)

Figure III.75: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique**.**

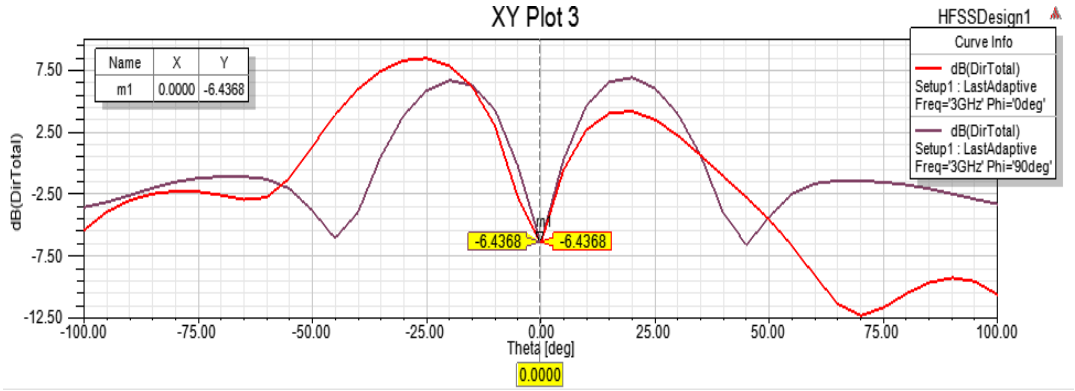


Figure III.76: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

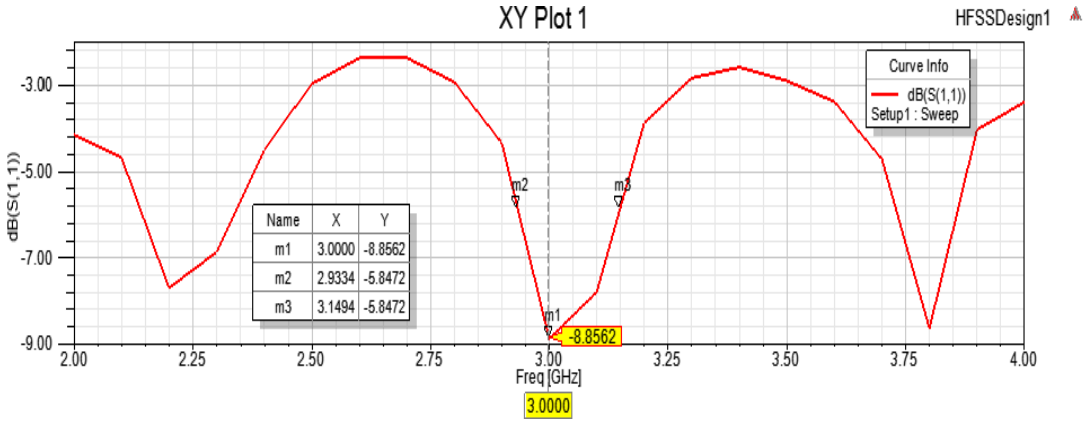


Figure III.77: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

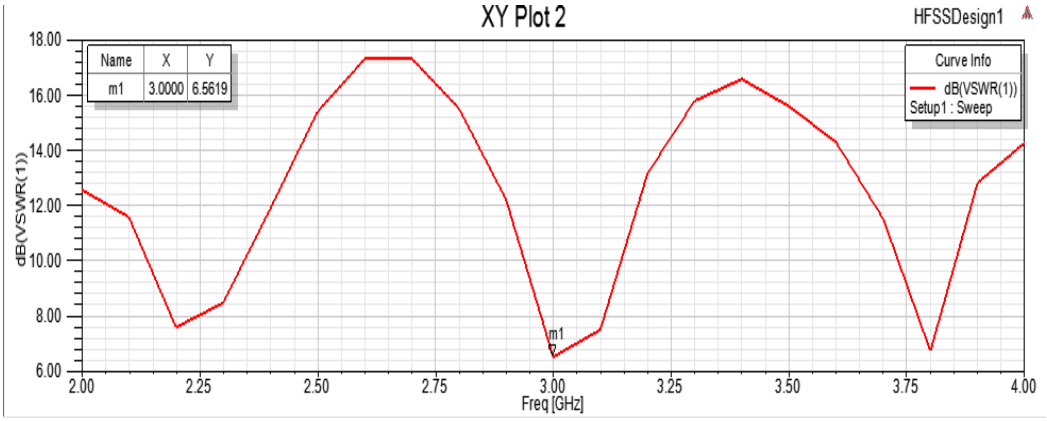


Figure III.78: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.14: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=2.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-8.8562	6.5619	-1.4419	15.734	-6.4368	22.40	0.216 GHz et 216 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 04 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant deux directions d'angles par rapport à l'axe Z, tels que $\theta_1(-30°)\ et\ \theta_2(20°)$, avec un gain de -1.4419dB.
- Une bande passant de l'ordre de 216MHz.
- Une bonne adaptation de -8.8562dB.
- Un faible rendement de 22.40%

➢ **Les diagrammes de rayonnement du gain des réseaux à 4 antennes microbandes:**

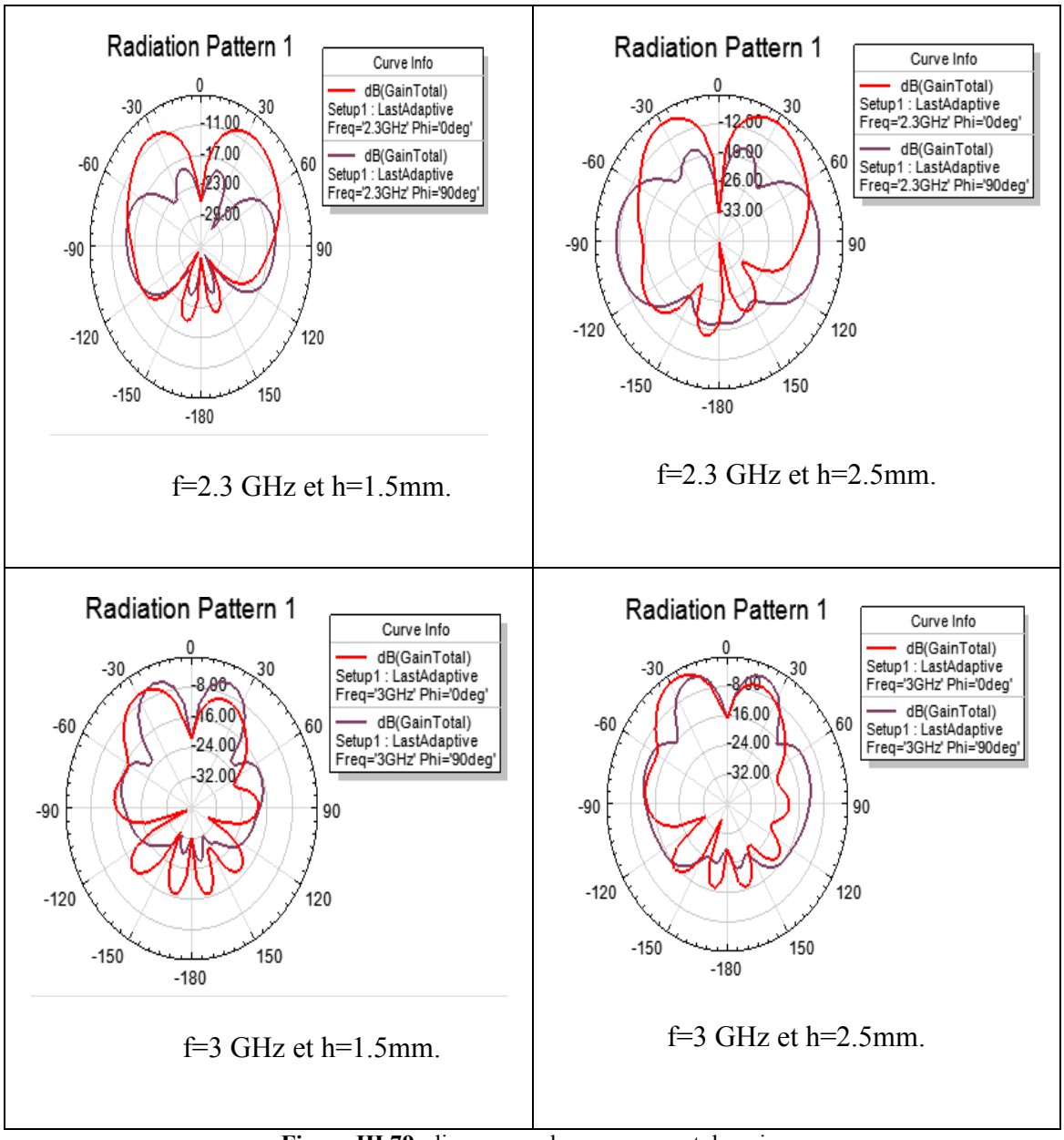
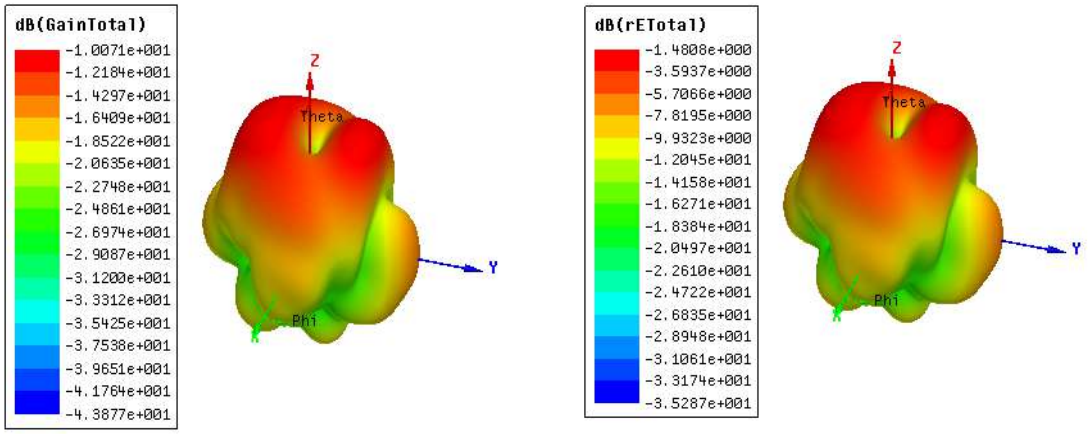


Figure III.79: diagramme de rayonnement du gain.

H. Réseaux à Huit (08) antennes microbandes (dimensions : L=43.3 mm, W=31 mm):

H.1 Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm :



(a) (b)

Figure III.80: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.



Figure III.81: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

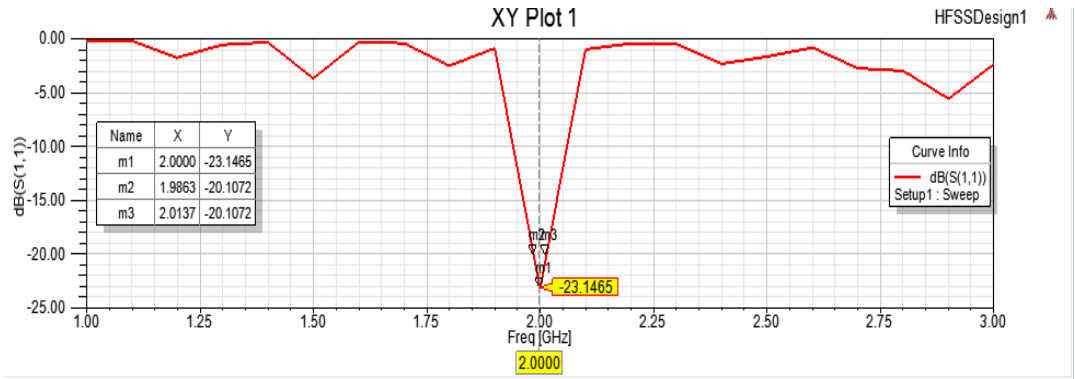


Figure III.82: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

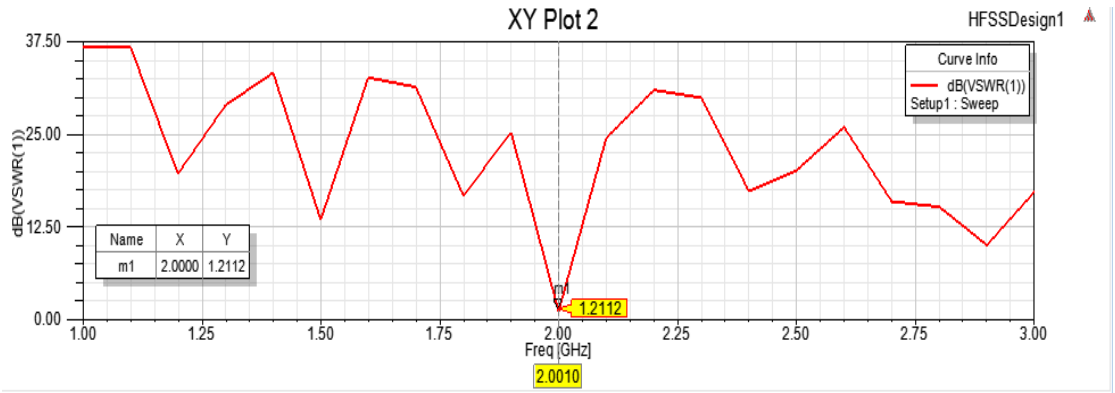


Figure III.83: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

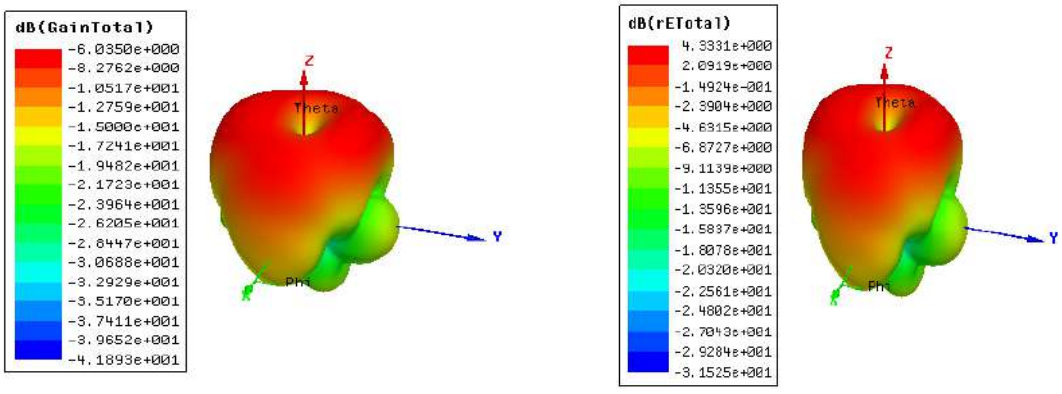
Tableau III.15: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne .8-P	-23.1465	1.2112	-10.071	-1.4808	-3.2569	20.82	0.0274 GHz et 27.4 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 04 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant les directions, d'angles 25° aux tours de l'axe Z, tels que $\theta_1(-25°)$ *et* $\theta_2(25°)$, avec un gain de -10.071dB
- Une bande passant de l'ordre de 27.4MHz.
- Une bonne adaptation de -23.1465dB.
- Un très faible rendement de 20.82%

H.2 Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=2.5mm :



(a) (b)

Figure III.84: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

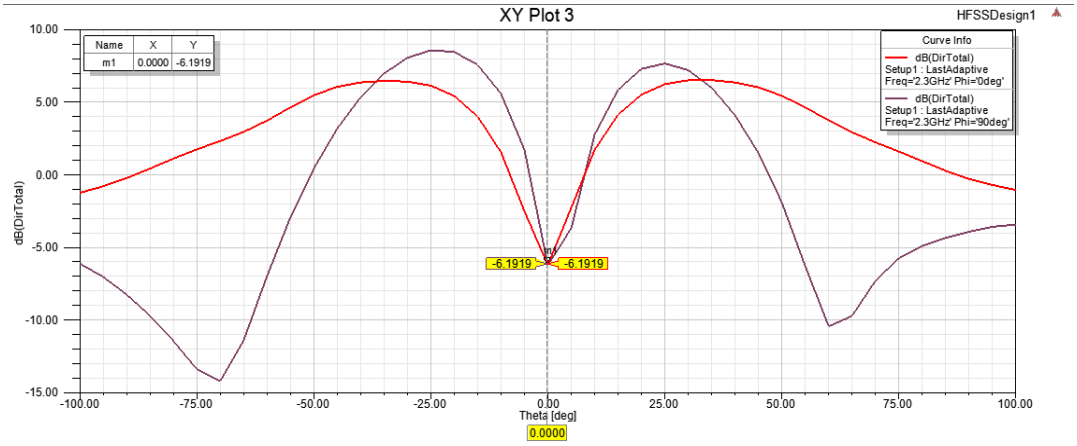


Figure III.85: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

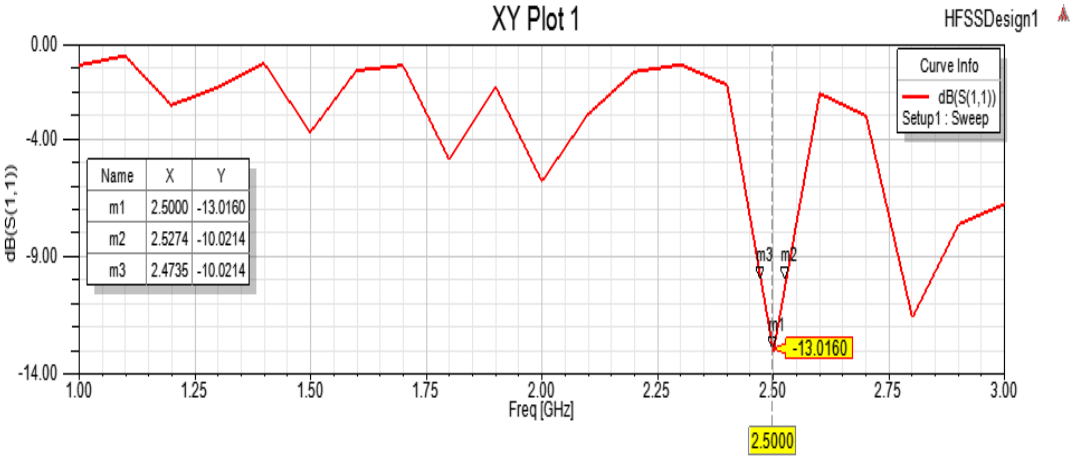


Figure III.86: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

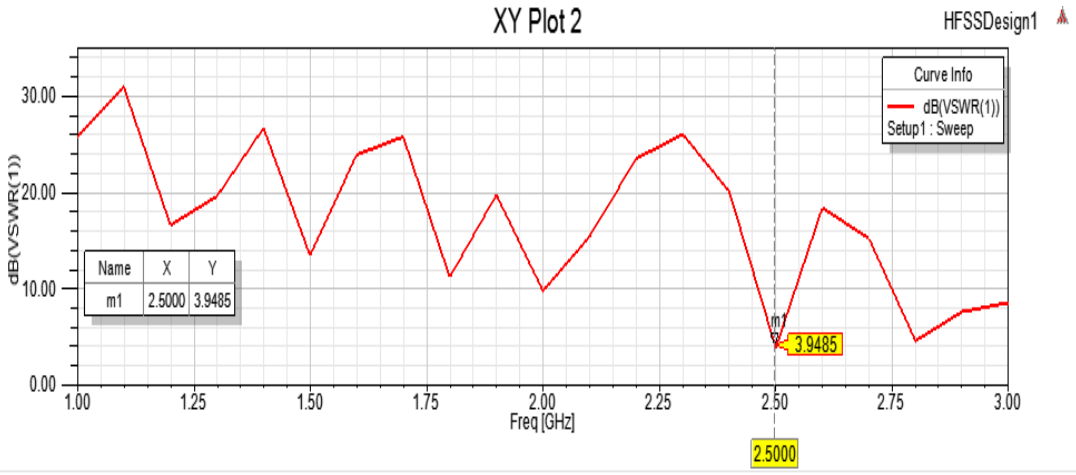


Figure III.87: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.16: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire.

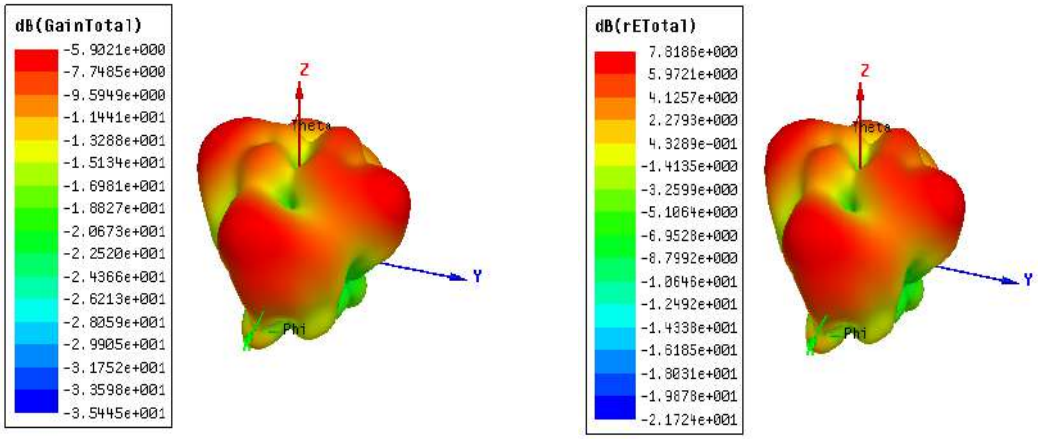
caractéristiques **pour f=2.3 GHz et h=2.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.8-P	-13.0160	3.9485	-6.0350	4.3331	-6.1919	97.46	0.0539 GHz et 53.9 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à Huit (08) antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant les directions, d'angles 25° aux tours de l'axe Z, tels que $\theta_1(-25°)\ et\ \theta_2(25°)$, avec un gain de -6.035dB
- Une bande passant de l'ordre de 53.9MHz.
- Une bonne adaptation de -13.016 dB.
- Un très bon rendement de 97.46%.

I. Réseaux à Huit (08) antennes microbandes Rectangulaires (dimensions : L=33.3 mm, W=24 mm):

I.1 Pour la fréquence f=3 GHz et h=1.5mm :



(a) (b)

Figure III.88: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique

.

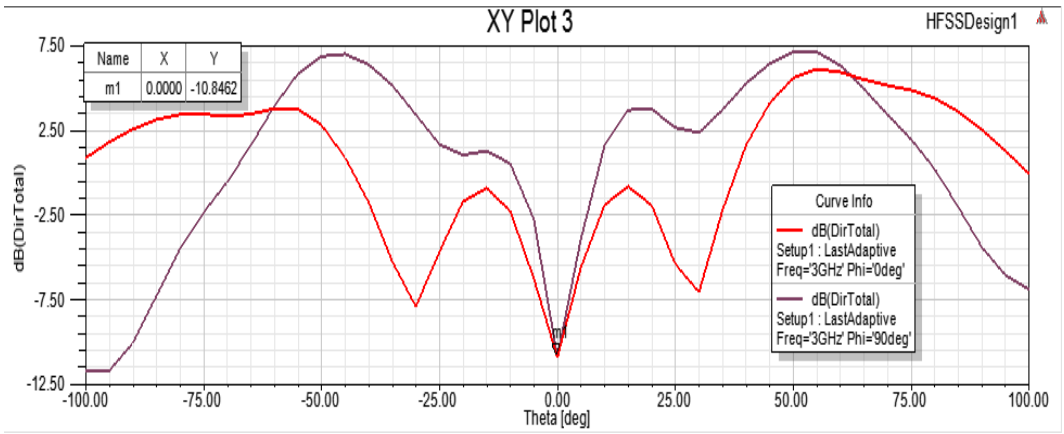


Figure III.89: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

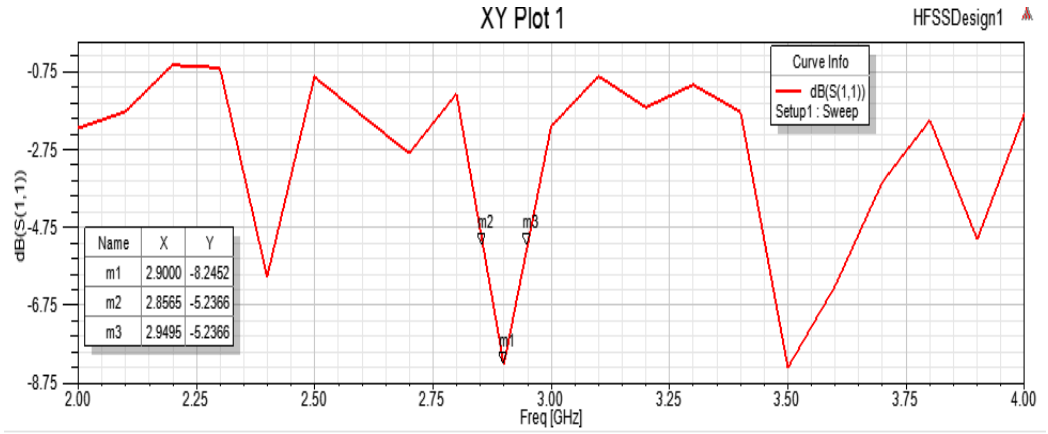


Figure III.90: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

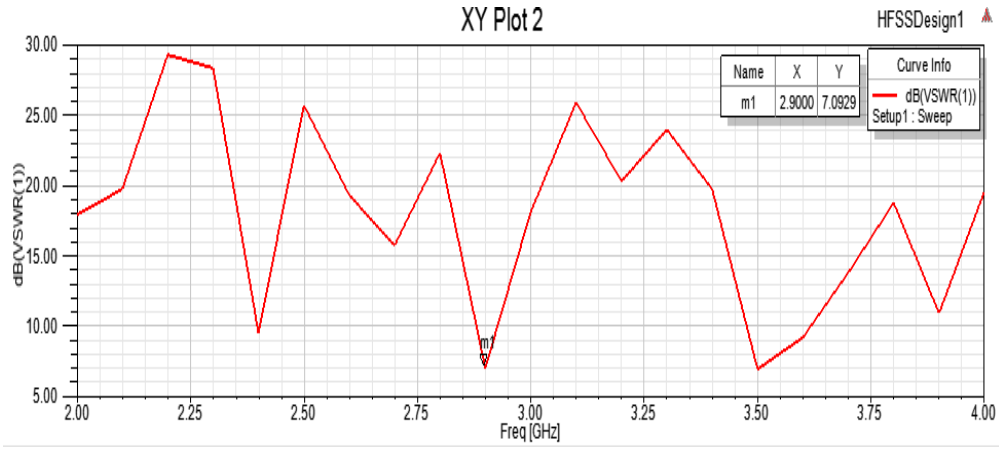


Figure III.91: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

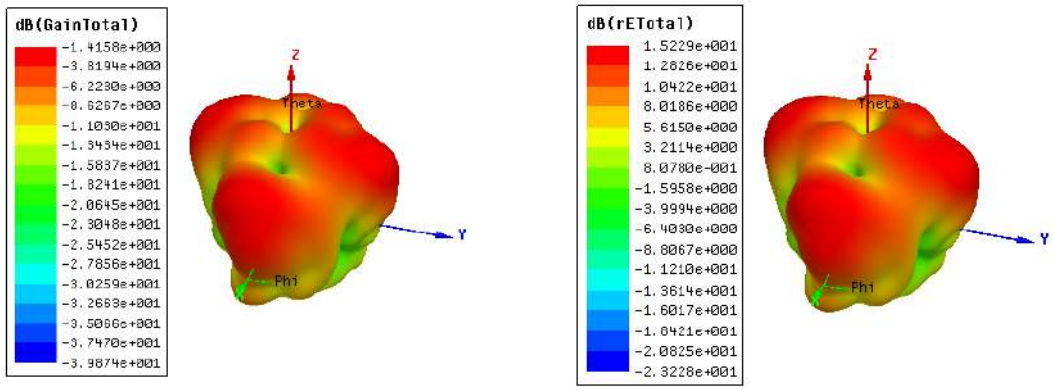
Tableau III.17: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.8-P	-8.2452	7.0929	-5.9021	7.8186	-10.8462	54.41	0.093 GHz et 93 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 08 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant les directions, d'angles 55° par rapport à l'axe Z, tels que : $\theta_1(-55°)\ et\ \theta_2(55°)$, avec un gain de -5.9021 dB
- Une bande passant de l'ordre de 93MHz.
- Une bonne adaptation de -8.2452dB.
- Un rendement moyen de 54.41 %.

I.2 Pour la fréquence f=3 GHz et h=2.5mm :



(a) (b)

Figure III.92: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

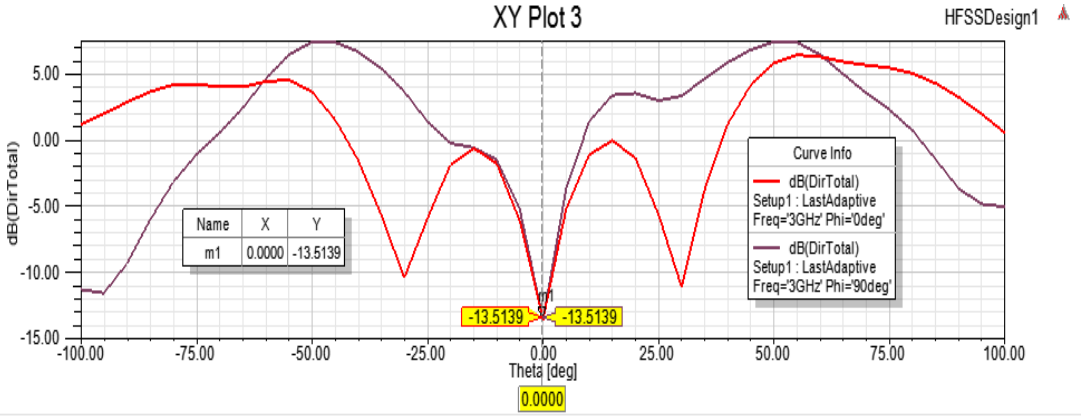


Figure III.93: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

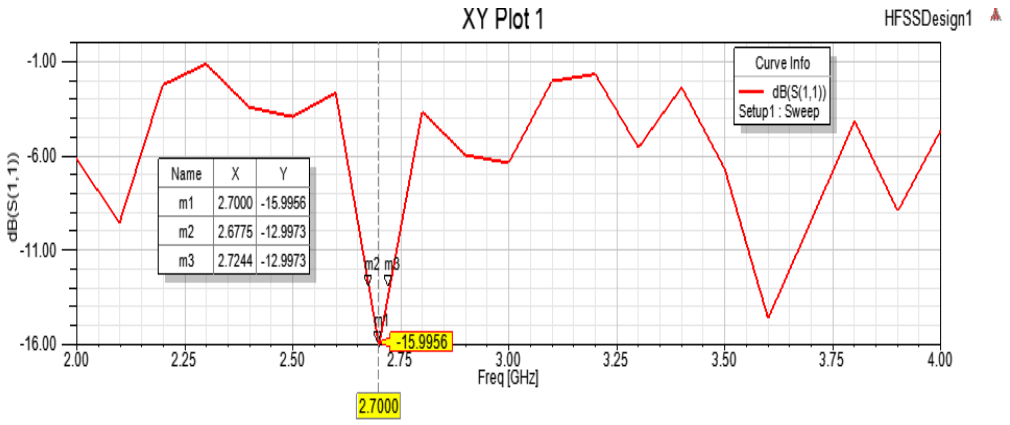


Figure III.94: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

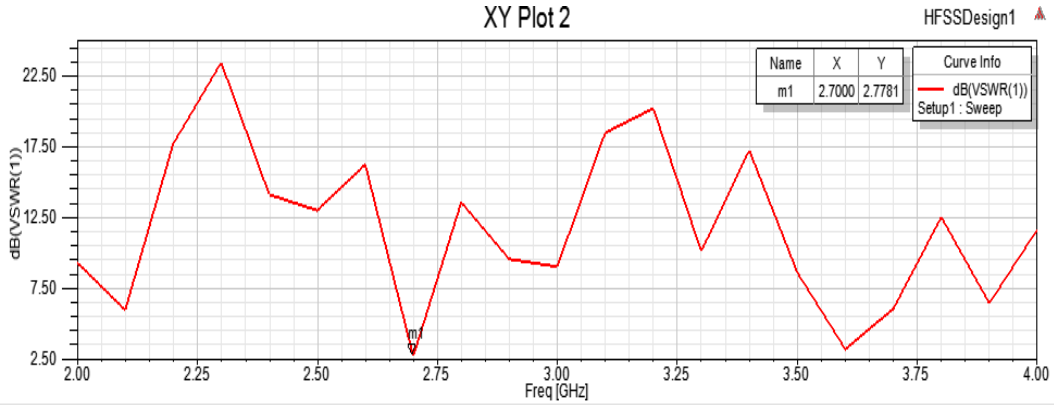


Figure III.95: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.18: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes rectangulaire.

caractéristiques **Pour f=3 GHz et h=2.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.8-P	-15.9956	2.7781	-1.4158	15.229	-13.5139	10.47	0.0469 GHz et 46.9 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à 08 antennes microbandes rectangulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant les directions, d'angles 55° par rapport à l'axe Z, tels que : $\theta_1(-55°)$ et $\theta_2(55°)$, avec un gain de -1.4158dB.
- Une bande passant de l'ordre de 46,9 MHz.
- Une bonne adaptation de-15.9956 dB.
- Un très faible rendement de 10.47 %.

- **Le diagramme de rayonnement des divers réseaux à huit (08) antennes microbandes :**

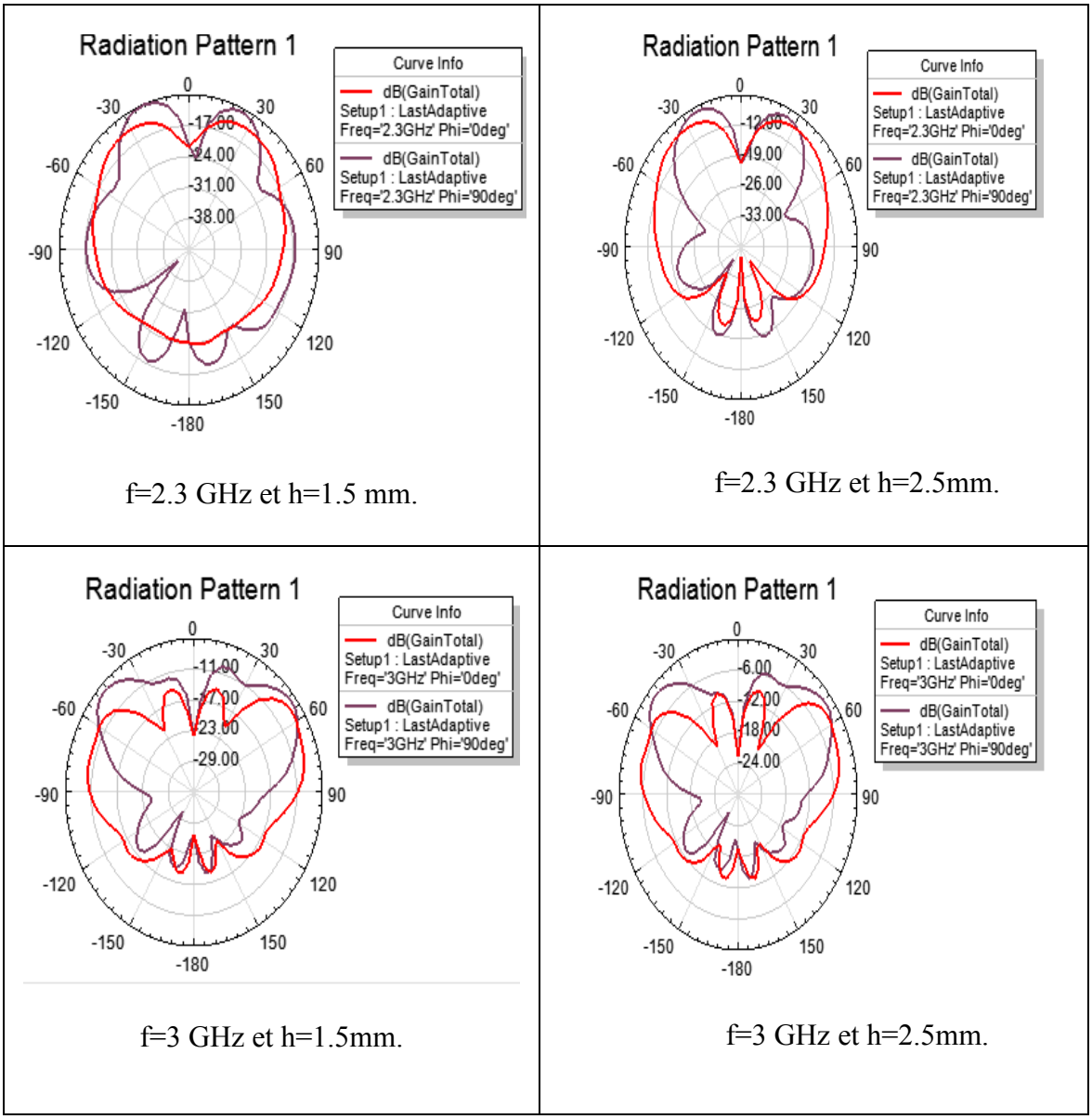
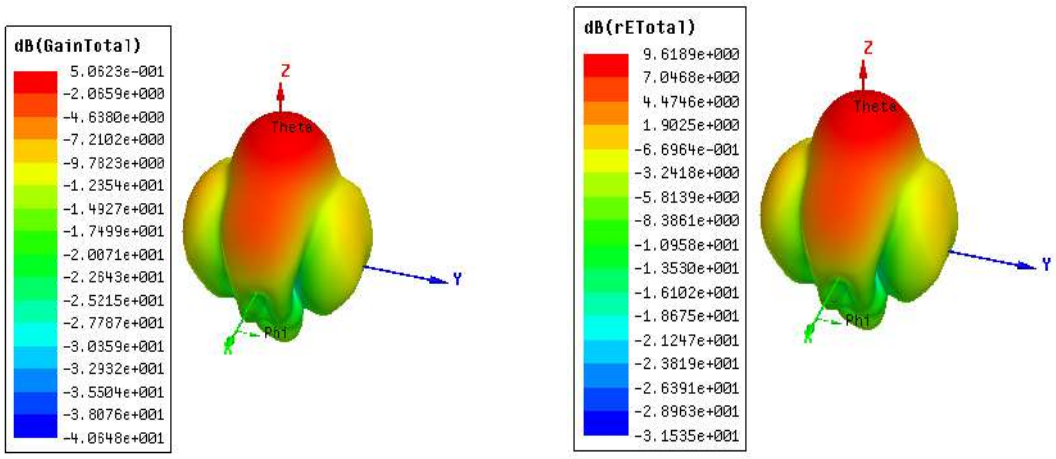


Figure III.96: diagramme de rayonnement du gain.

III.7.2 Réseaux d'antennes microbandes de forme Circulaire:

A. Réseaux à deux antennes microbandes Circulaires (rayon : **R=20.67** mm**): (Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.97: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

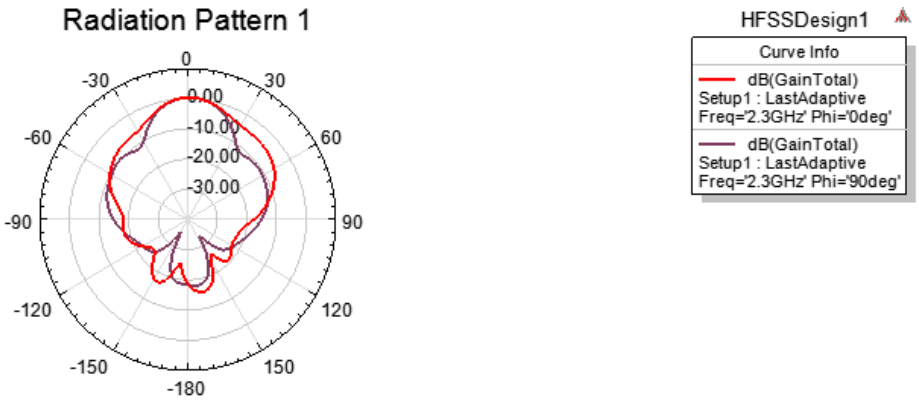


Figure III.98: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

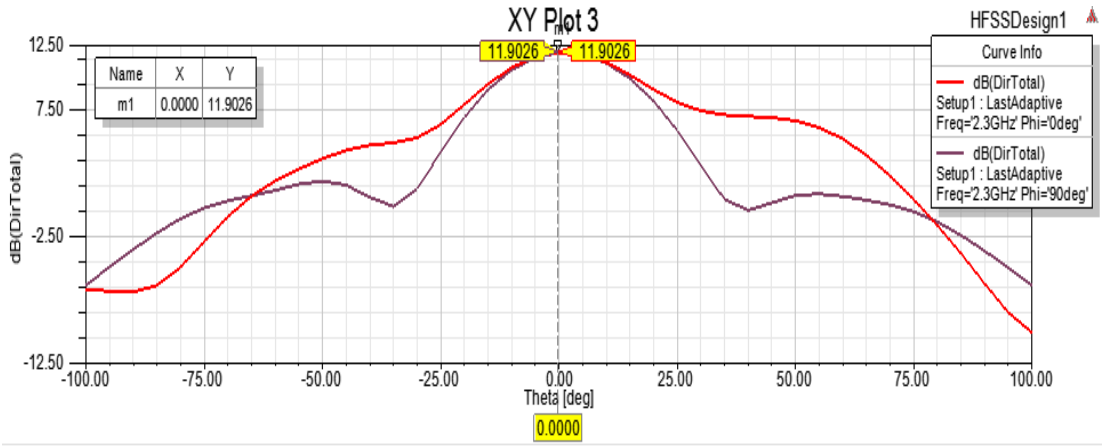


Figure III.99: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

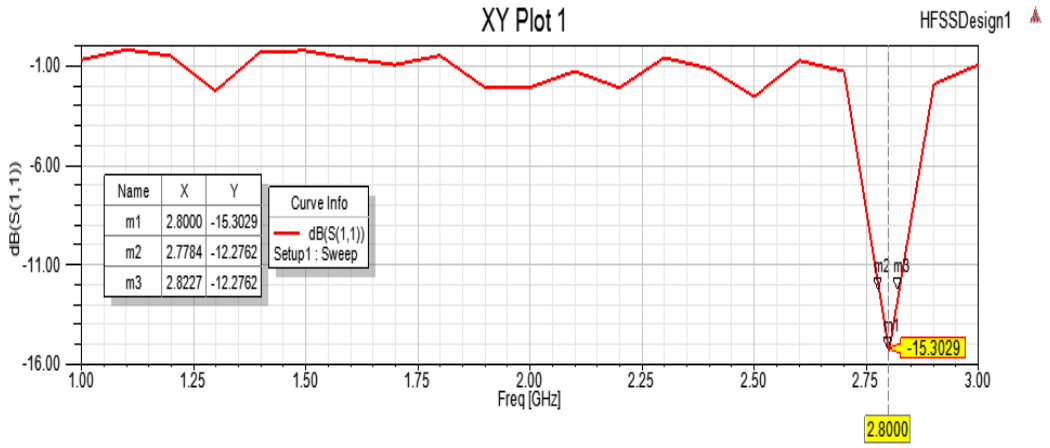


Figure III.100: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

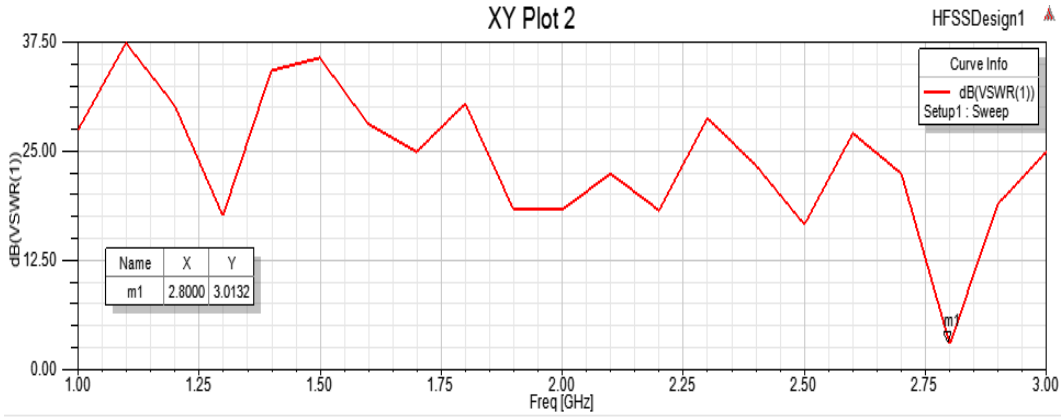


Figure III.101: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

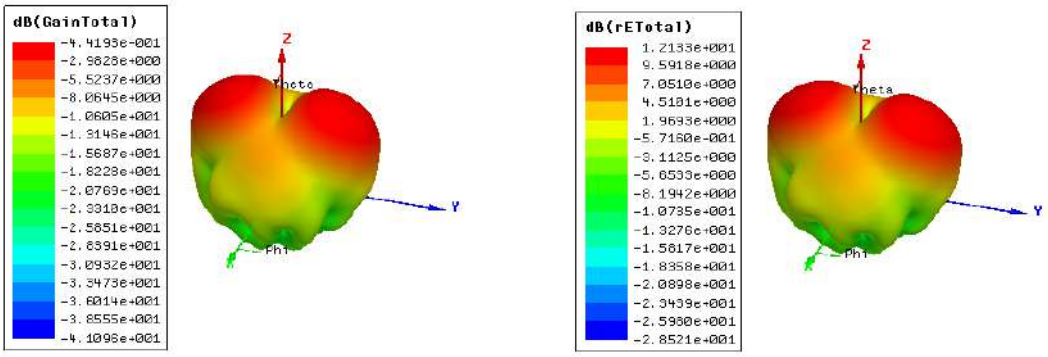
Tableau III.19: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02) antennes microbandes circulaire.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.2-P	-15.3029	3.0132	0.50623	9.6189	11.9026	4.25	0.0443 GHz et 44.3 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à deux (02) antennes microbandes Circulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de 0.50623 dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 44.3MHz.
- Une bonne adaptation de -15.3029 dB.
- Un très faible rendement de 4.25 %.

B. Réseaux à quatre antennes microbandes Circulaires (R=20.67 mm**):**
(Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).



(a) (b)

Figure III.102: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

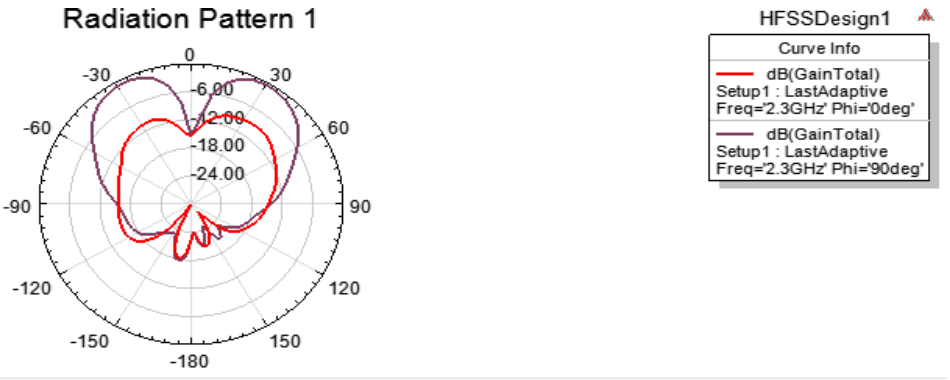


Figure III.103: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

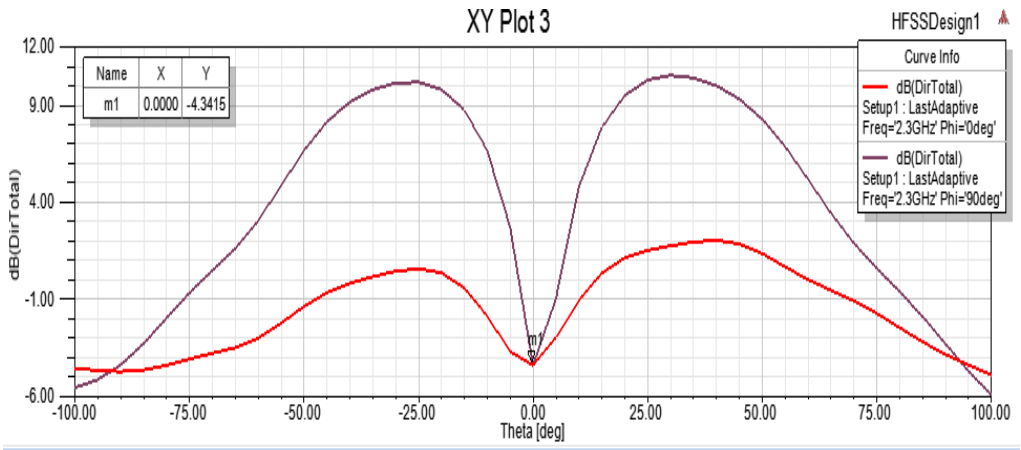


Figure III.104: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

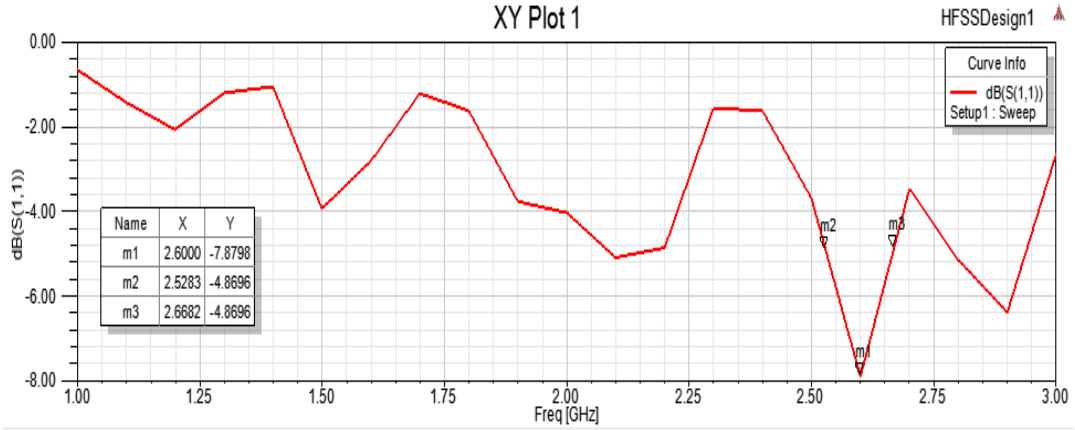


Figure III.105: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

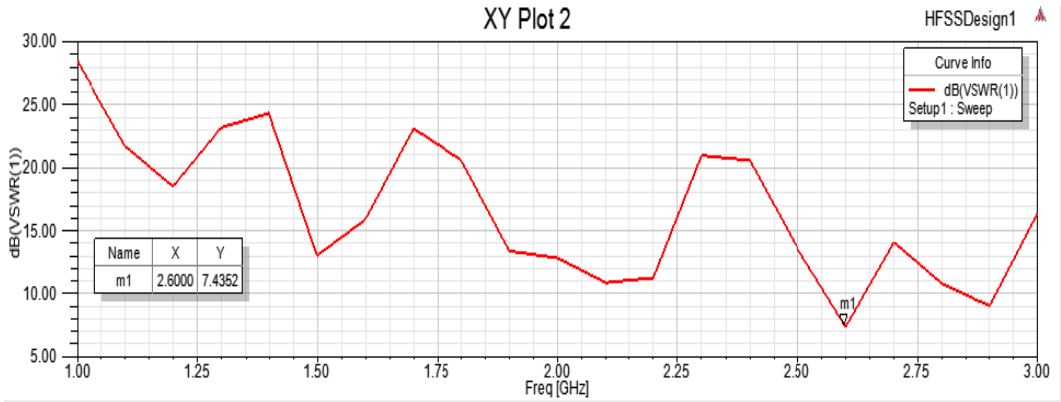


Figure III.106: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

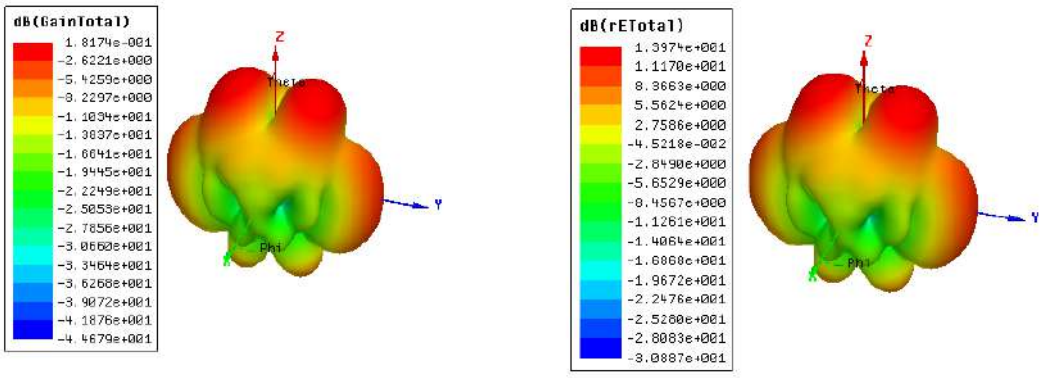
Tableau III.20: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes circulaire.

Caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-7.8798	7.4352	-0.4419	12.133	-4.3415	10.17	0.1399 GHz et 139.9 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à Quatre (04) antennes microbandes Circulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de -0.4419 dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 139.9MHz.
- Une bonne adaptation de -7.8798 dB.
- Un très faible rendement de 10.17 %.

C. Réseaux à six antennes microbandes Circulaires (dimensions **: R=20.67** mm**) : (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.107: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

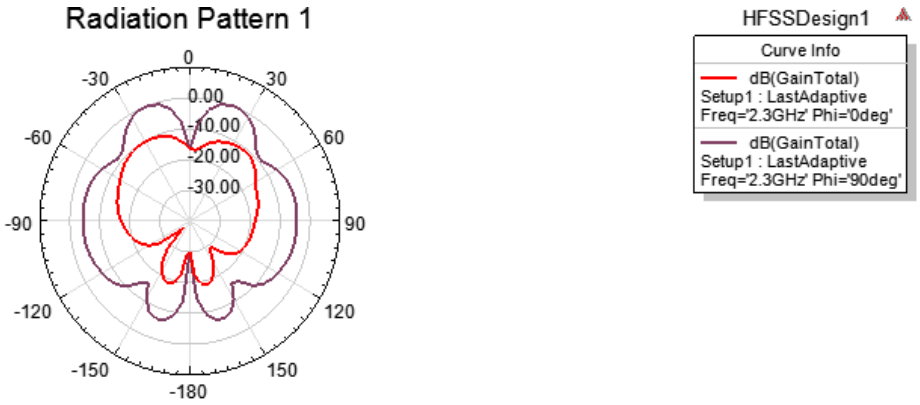


Figure III.108: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

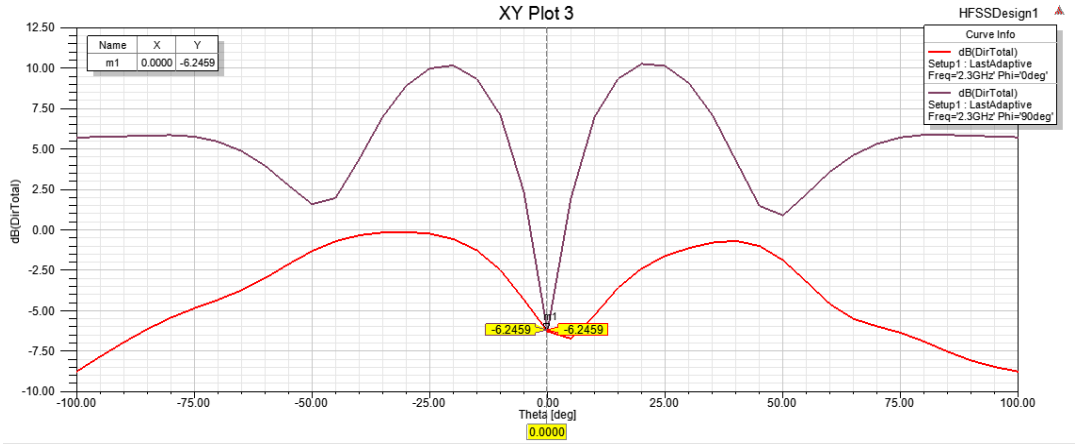


Figure III.109: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

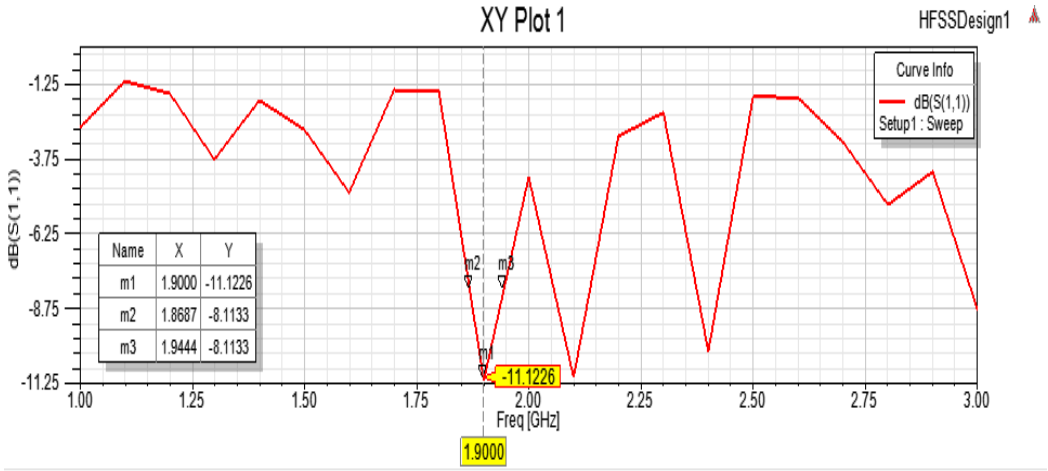


Figure III.110: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

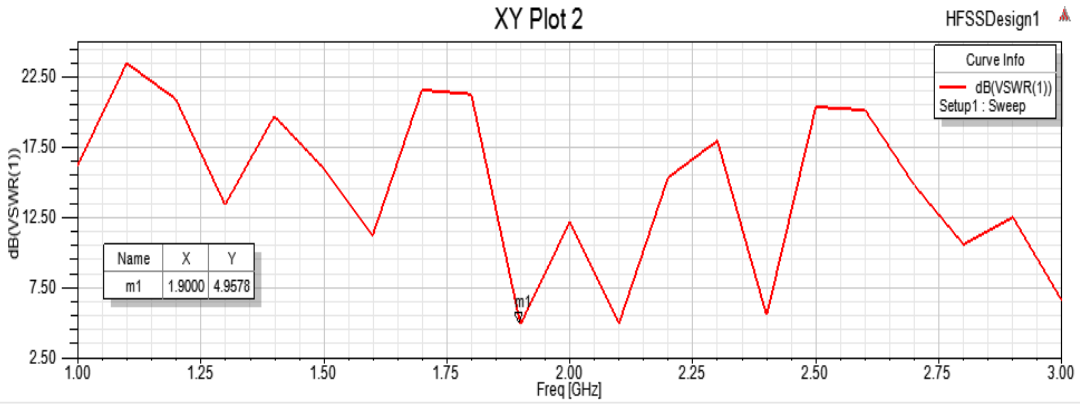


Figure III.111: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

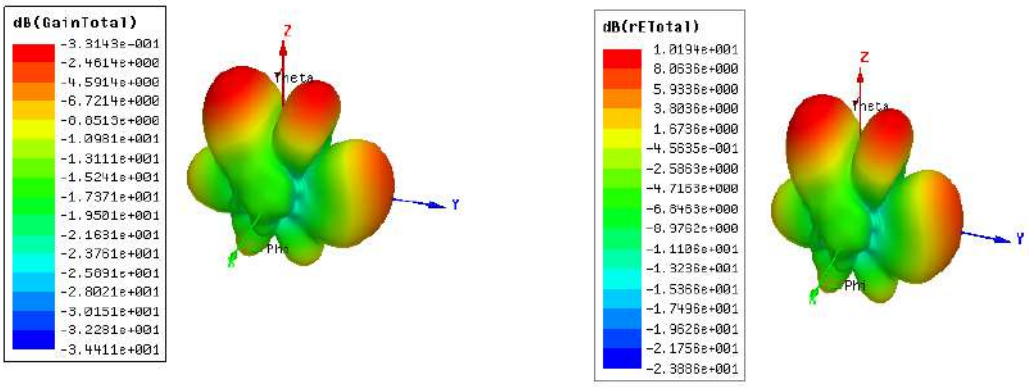
Tableau III.21: Les caractéristiques d'un réseau à six (06) antennes microbandes circulaire.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.6-P	-11.1226	4.9578	0.18174	13.974	-6.2459	2.90	0.0757 GHz et 75.7 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à Six (06) antennes microbandes Circulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de 0.1817dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 75.7MHz.
- Une bonne adaptation de -11.1226 dB.
- Un très faible rendement de 2.9 %.

D. Réseaux à Huit antennes microbandes circulaire (dimensions **: R=20.67** mm**) : (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.112: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

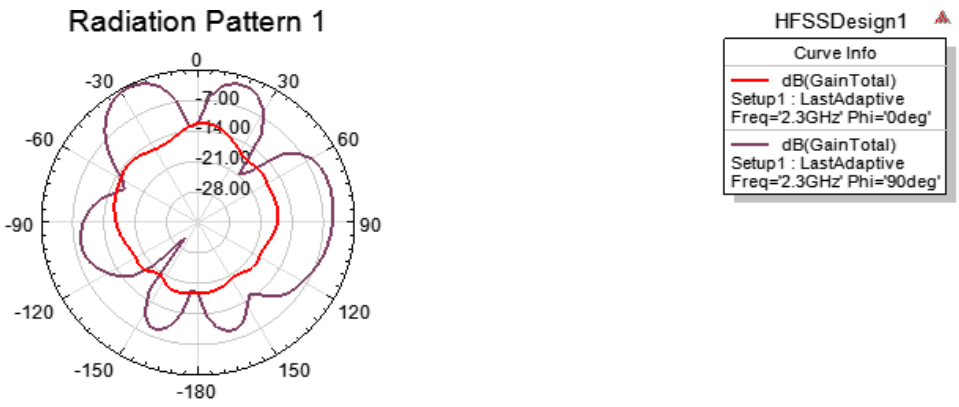


Figure III.113: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

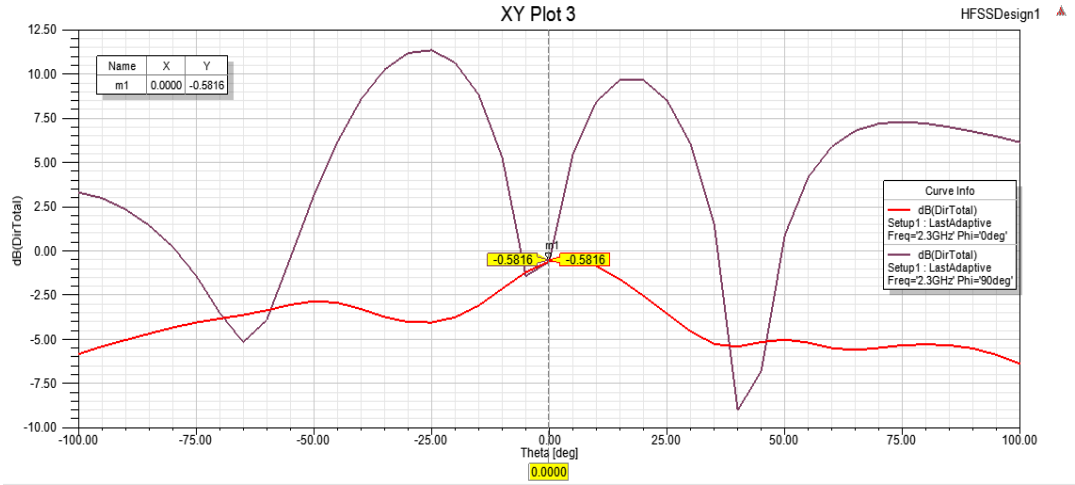


Figure III.114: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

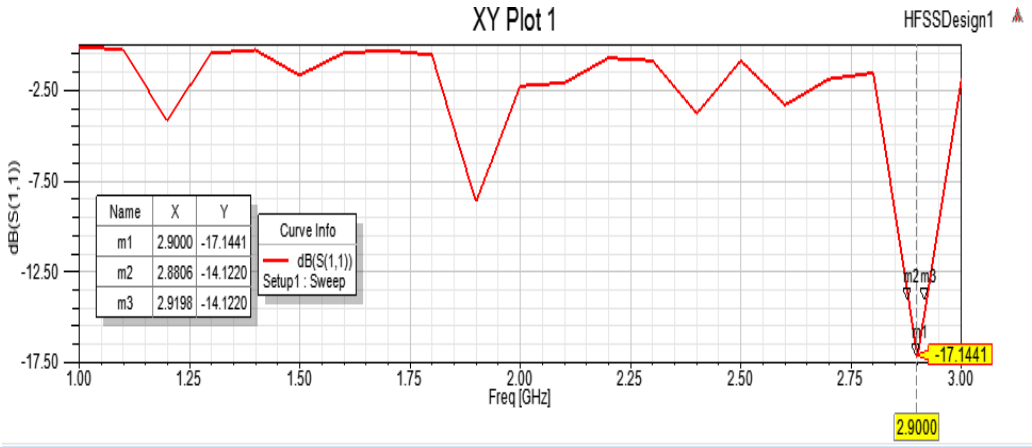


Figure III.115: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

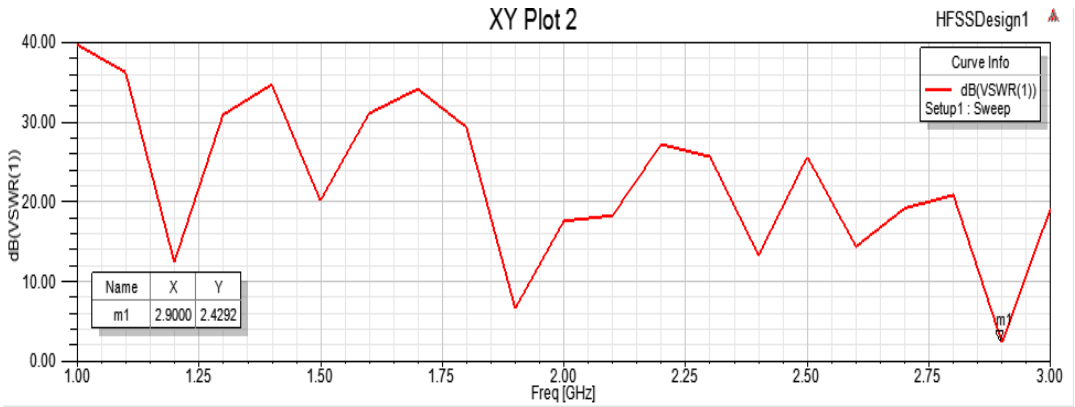


Figure III.116: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

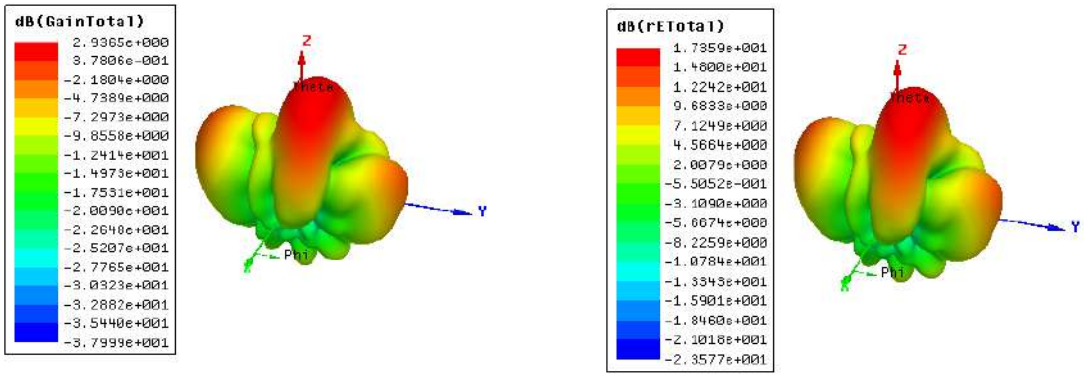
Tableau III.22: Les caractéristiques d'un réseau à huit (08) antennes microbandes circulaire.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.8-P	-17.1441	2.4292	-0.3314	10.194	-0.5816	56.98	0.0392 GHz et 39.2 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à Huit (08) antennes microbandes Circulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de -0.3314dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 39.2MHz.
- Une bonne adaptation de -17.1441 dB.
- Un rendement moyen de 56.98 %.

E. Réseaux à Neuf antennes microbandes circulaires (dimensions **: R=20.67** mm**) : (Pour la fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.117: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique

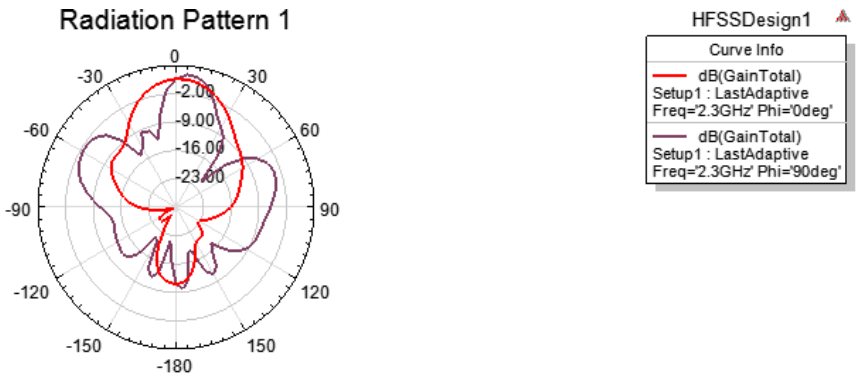


Figure III.118: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

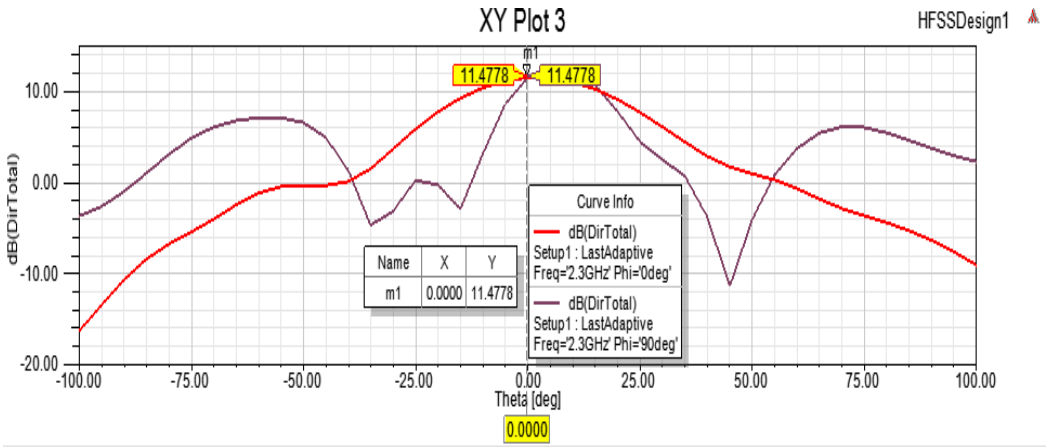


Figure III.119: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

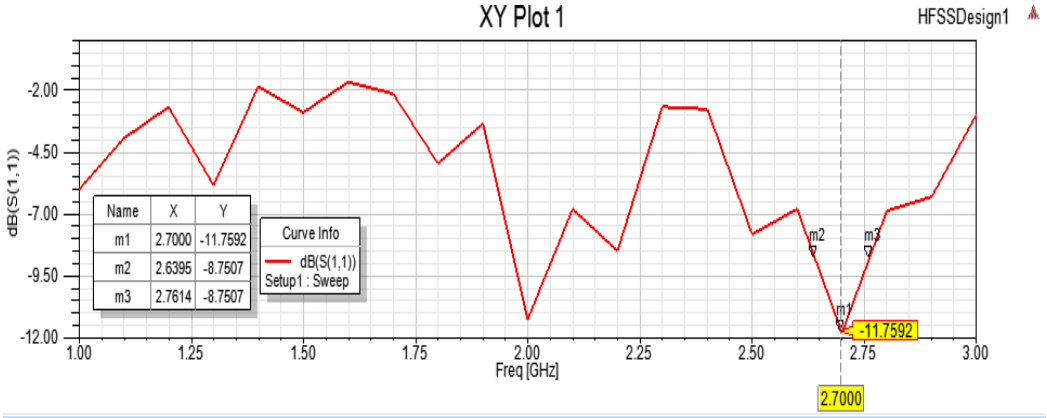


Figure III.120: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

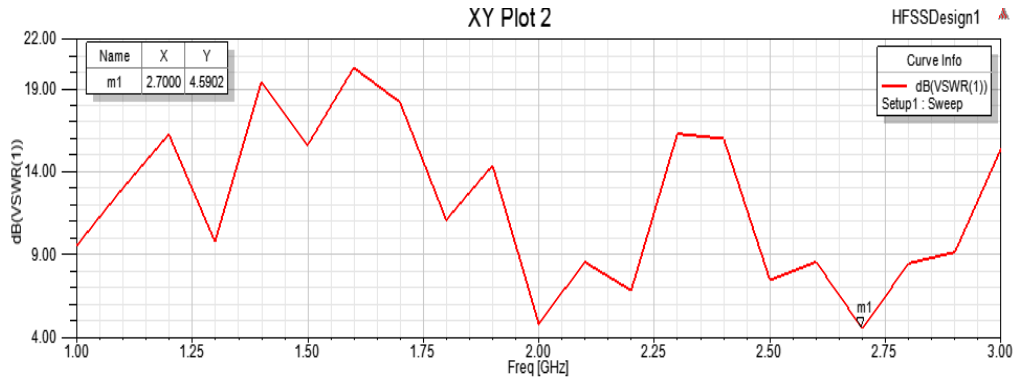


Figure III.121: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.23: Les caractéristiques d'un réseau à neuf (09) antennes microbandes circulaire.

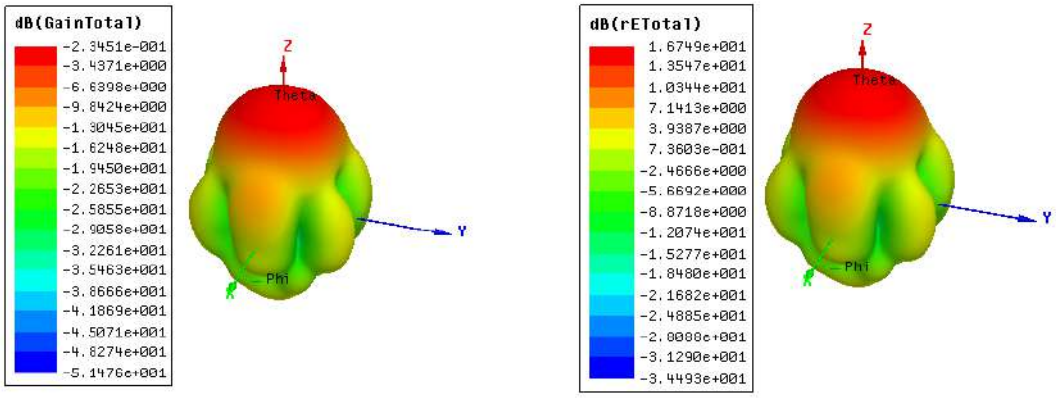
caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP à -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.9-P	-11.7592	4.5902	2.9365	17.359	11.4778	25.58	0.1219 GHz et 121.9 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à Neuf (09) antennes microbandes Circulaire a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de 2.9365dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 121.9MHz.
- Une bonne adaptation de -11.7592 dB.
- Un faible rendement de 25.58 %.

III.7.3 Réseaux d'antennes microbandes de forme Polygone :

A. Réseaux à deux antennes microbandes Polygone (Arrêt : a=22.73 mm.**): (Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.122: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

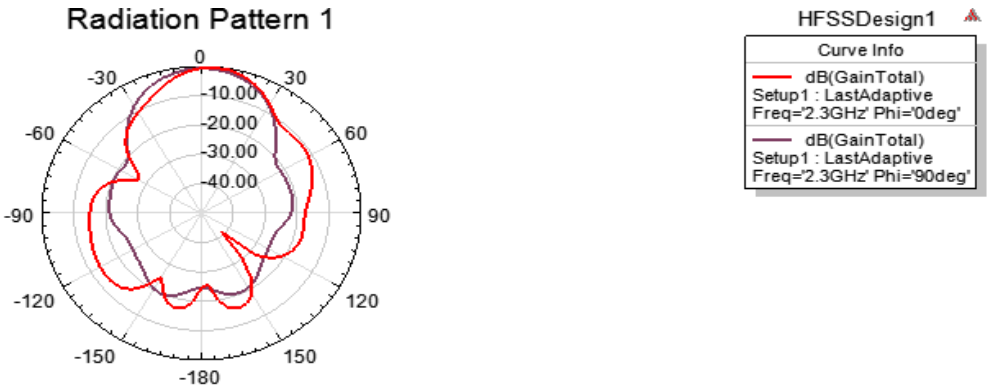


Figure III.123: diagramme de rayonnement (Evolution du gain en fonction de phi).

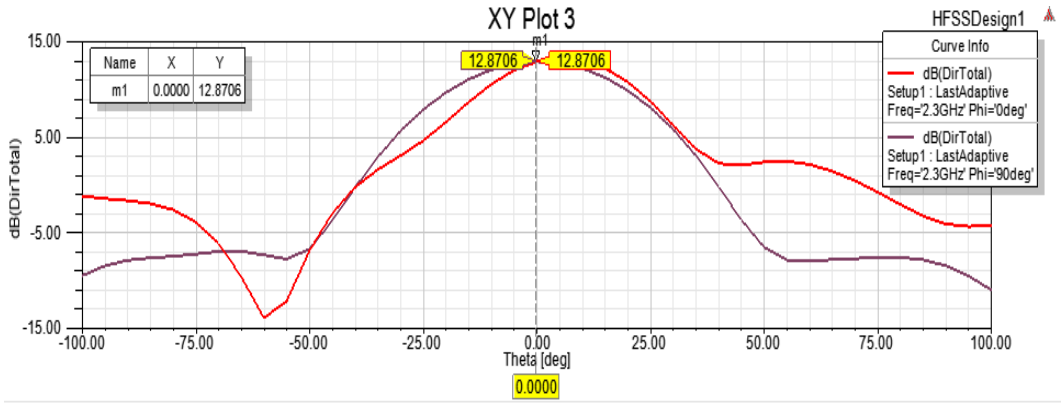


Figure III.124: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

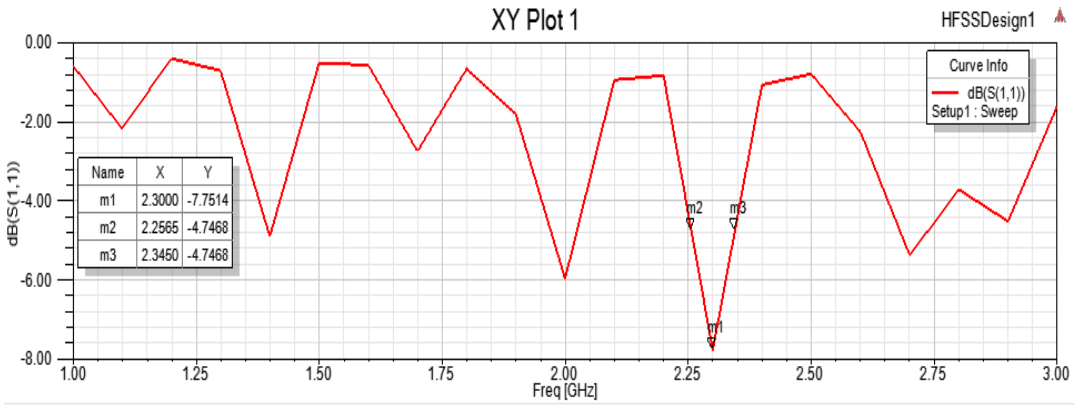


Figure III.125: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

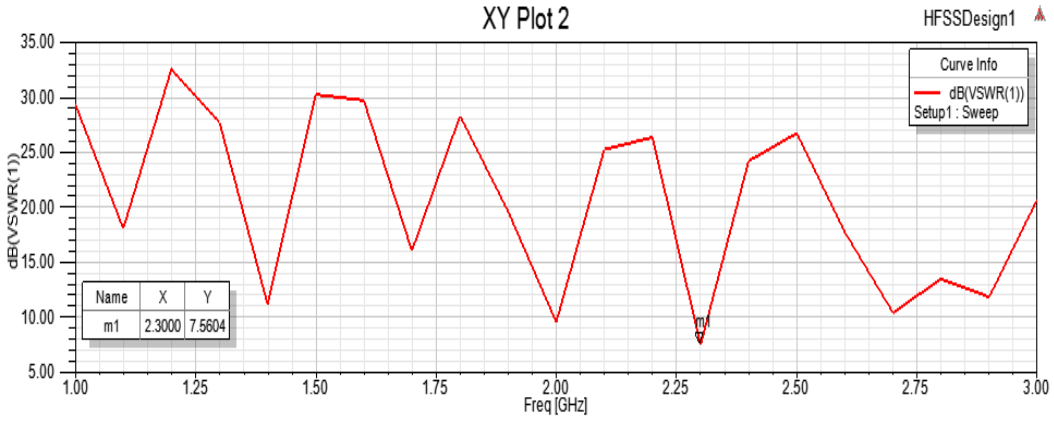


Figure III.126: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence

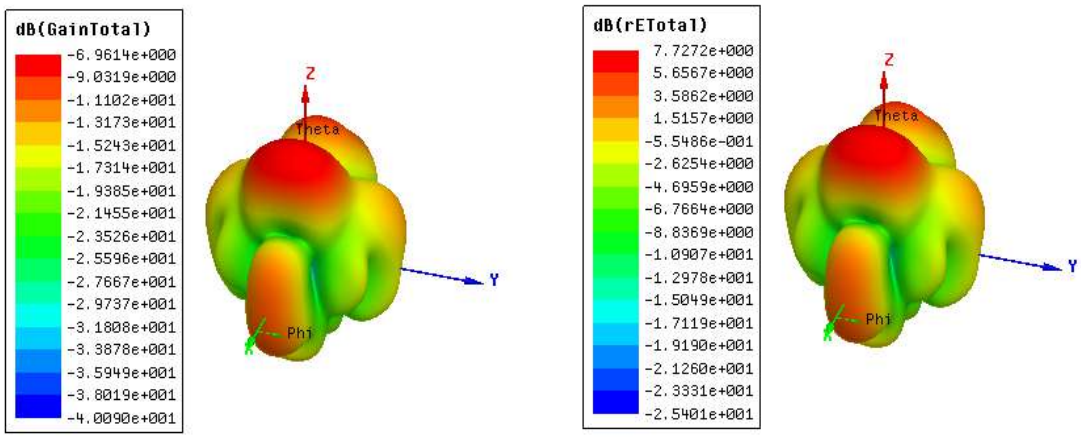
Tableau III.24: Les caractéristiques d'un réseau à deux (02) antennes microbandes polygone.

Caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP a -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.2-P	-7.7514	7.5604	-0.2345	16.749	12.8706	1.822	0.0885 GHz et 88.5 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à deux (02) antennes microbandes polygones a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de -0.2345dB
- Une bande passant étroite de l'ordre de 88.5 MHz.
- Une bonne adaptation de -7.7514 dB.
- Un rendement très faible de 1.822 %.

B. Réseaux à quatre (04) antennes microbandes Polygone (Arrêt : a=22.73 mm.)**: (Pour fréquence f=2.3 GHz et h=1.5mm).**



(a) (b)

Figure III.127: Diagramme de rayonnement 3D : (a) du gain, (b) du champ électrique.

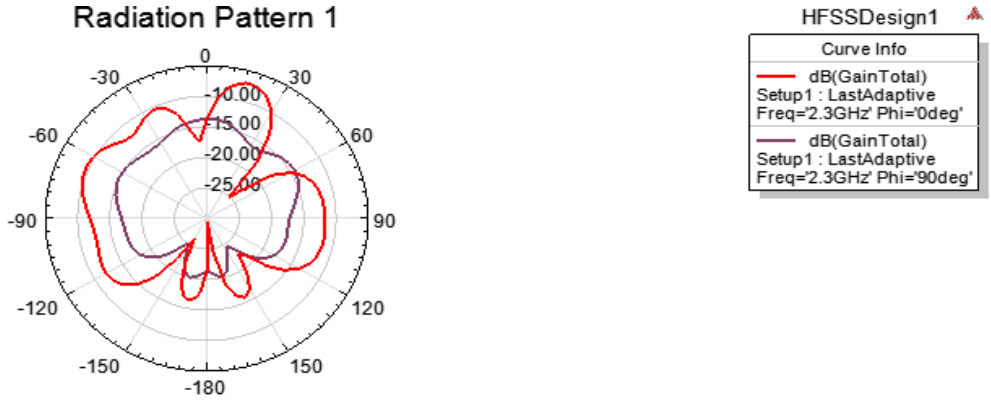


Figure III.128: Diagramme de rayonnement : (Evolution du gain suivant l'angle phi).

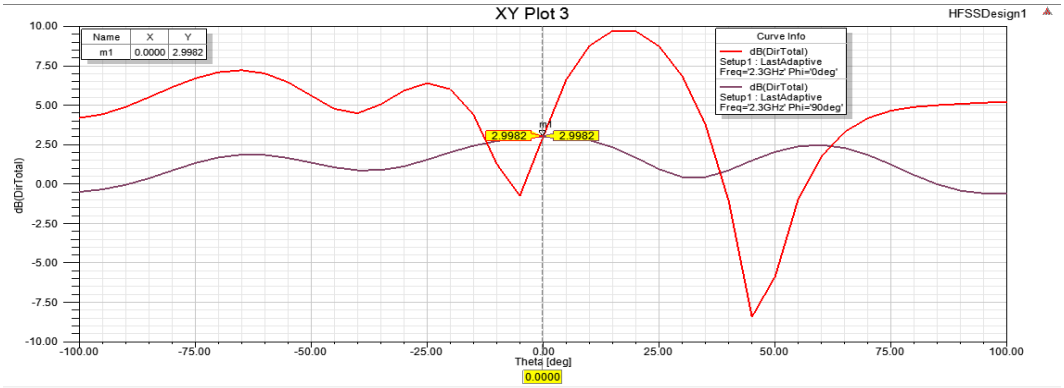


Figure III.129: Diagramme de rayonnement de la directivité totale.

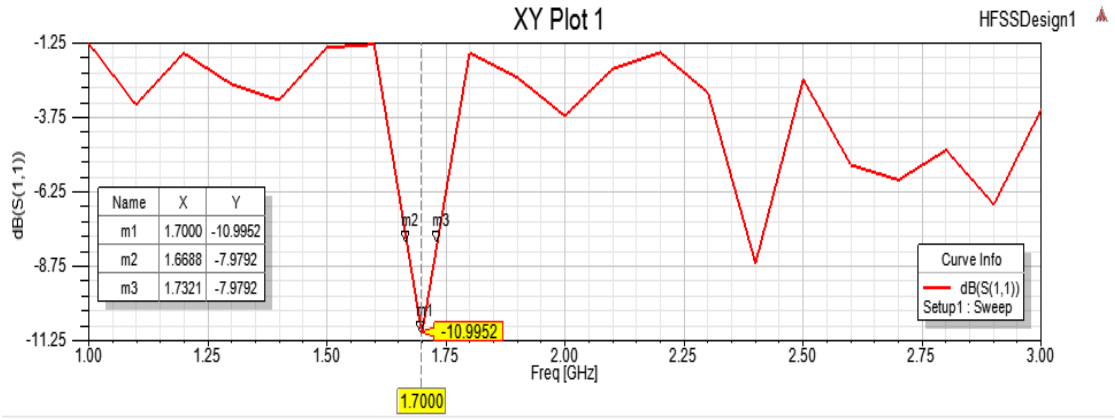


Figure III.130: Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

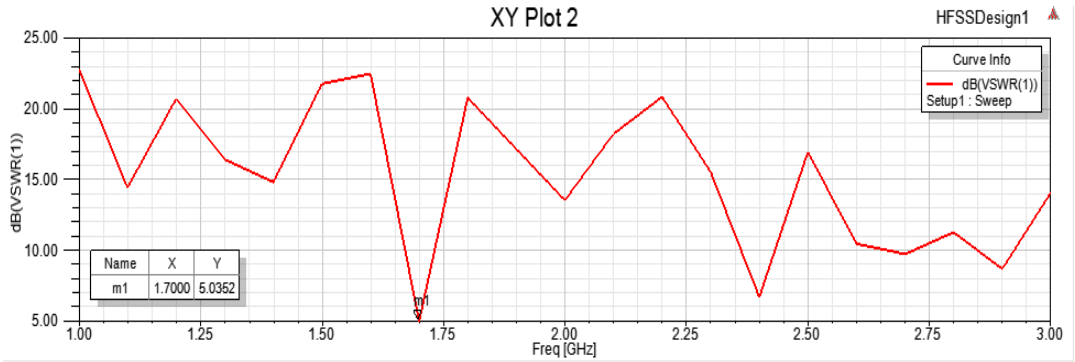


Figure III.131: Résultat du VSWR (taux d'onde stationnaire) en fonction de la fréquence.

Tableau III.25: Les caractéristiques d'un réseau à quatre (04) antennes microbandes polygone.

caractéristiques **Pour f=2.3 GHz et h=1.5mm**	Coeff de réflex S_{11} (dB)	VSWR (TOS) (dB)	Gain (dB)	Champ électrique (dB)	Directivité à thêta=0°	Rendement (%)	BP a -3 dB (GHz) et (MHz)
Réseau d'antenne.4-P	-10.9952	5.0352	-6.9614	7.7272	2.9982	10.09	0.0633 GHz et 63.3 MHz

D'après les résultats obtenus dans cette partie, on constate que les paramètres de ce réseau à quatre (04) antennes microbandes polygones a :

- Une directivité de rayonnement suivant l'axe Z avec un gain de -6.9614 dB.
- Une bande passant étroite de l'ordre de 63.3 MHz.
- Une bonne adaptation de -10.9952 dB.
- Un rendement très faible de 10.09 %.

III.8 Etude comparative :

Le tableau III.26 résume les résultats de simulations des trois formes d'antennes microbandes simples.

Tableau III.26: Tableau comparatif entres les trois (03) différentes formes d'antennes microbandes pour différentes fréquences.

Caractéristiques	Les formes d'antennes pour h=1.5mm					
	Rectangulaire		Circulaire		Polygone	
	f=2.3GHz	f=4.6GHz	f=2.3GHz	f=4.6GHz	f=2.3GHz	f=4.6GHz
S_{11} (dB)	-9.5737	-8.7562	-6.6250	-4.2888	-7.5527	-4.2000
VSWR (dB)	5.9972	6.6455	8.7805	12.3242	7.7592	12.4989
Gain (dB)	3.6053	4.6594	1.9032	3.0966	1.3920	2.3999
champ électrique (dB)	19.981	19.753	12.320	16.471	10.449	14.846
Directivité à thêta=0° (dB)	6.7172	7.7408	6.5370	7.4545	6.5367	7.2904
Rendement (%)	53.67	60.19	29.11	41.54	21.29	32.91
BP(GHz) a -3dB	0.1169	0.3018	0.2027	1.6538	0.1381	1.6775

Le tableau III.27 résume les résultats de simulation des trois structures d'un réseau d'antennes microbandes de forme rectangulaire.

Tableau III.27: Tableau comparatif entre les trois (03) différents réseaux antennes de forme rectangulaire.

Caractéristiques	Réseau d'antenne pour f=2.3 GHz.					
	2 patches		4 patches		8 patches	
	h=1.5mm	h=2.5mm	h=1.5mm	h=2.5mm	h=1.5mm	h=2.5mm
S_{11} (dB)	-7.6142	-7.2990	-7.5922	-5.6112	-23.1465	-13.0160
VSWR (dB)	7.6970	7.4939	7.7192	10.1107	1.2112	3.9485
Gain (dB)	-2.3762	0.5751	-9.0348	-6.5418	-10.071	-6.0350
champ électrique (dB)	14.579	17.462	2.7335	6.4172	-1.4808	4.3331
Directivité à thêta=0° (dB)	12.2214	12.8619	-10.3590	-20.3763	-3.2569	-6.1919
Rendement (%)	19.44	4.471	87.21	32.10	20.82	97.46
BP(GHz) a -3dB	0.1292	0.1697	0.1249	0.384	0.0274	0.0539

Le tableau III.28 résume les résultats de simulation des cinq structures d'un réseau d'antennes microbandes de forme circulaire.

Tableau III.28: Tableau comparatif entre les cinq (05) différents réseaux antennes de forme circulaire.

caractéristiques	**Réseau d'antenne circulaire pour f=2.3 GHz et h=1.5 mm.**				
	2 patches	**4 patches**	**6 patches**	**8 patches**	**9 patches**
S_{11} (dB)	-15.3029	-7.8798	-11.1226	-17.1441	-11.7592
VSWR (dB)	3.0132	7.4352	4.9578	2.4292	4.5902
Gain (dB)	0.50623	-0.44193	0.1817	-0.3314	2.9365
champ électrique (dB)	9.6189	12.133	13.974	10.194	17.359
Directivité à thêta=0° (dB)	11.9026	-4.3415	-6.2459	-0.5816	11.4778
Rendement (%)	4.25	10.17	2.90	56.98	25.58
BP(GHz) a -3dB	0.0443	0.1399	0.0757	0.0392	0.1219

Le tableau III.29 résume les résultats de simulation des deux structures d'un réseau d'antennes microbandes de forme polygone.

Tableau III.29: Tableau comparatif entre les deux (02) différents réseaux antennes de forme polygone.

Caractéristiques	**Réseau d'antenne polygone pour f=2.3 GHz et h=1.5 mm.**	
	2 patches	**4 patches**
S_{11} (dB)	-7.7514	-10.9952
VSWR (dB)	7.5604	5.0352
Gain (dB)	-0.2345	-6.9614
champ électrique (dB)	16.749	7.7272
Directivité à thêta=0° (dB)	12.8706	2.9982
Rendement (%)	1.822	10.09
BP(GHz) a -3dB	0.0885	0.0633

Le tableau III.30 résume les résultats de simulation à une structure d'un réseau d'antennes microbandes des trois formes différentes.

Tableau III.30: Tableau comparatif entre les trois (03) formes différentes à réseau d'antenne d'un 2 patch.

Caractéristiques	Réseau d'antenne pour f=2.3 GHz et h=1.5 mm.		
	2 patches		
	Rectangulaire	Circulaire	Polygone
S_{11} (dB)	-7.6142	-15.3029	-7.7514
VSWR (dB)	7.6970	3.0132	7.5604
Gain (dB)	-2.3762	0.5062	-0.2345
champ électrique (dB)	14.579	9.6189	16.749
Directivité à thêta=0° (dB)	12.2214	11.9026	12.8706
Rendement (%)	19.44	4.25	1.822
BP(GHz) a -3dB	0.1292	0.0443	0.0885

Le tableau III.31 résume les résultats de simulation des simples et des réseaux d'antennes microbandes des formes différents.

Tableau III.31: Tableau comparatif entre les simples et des réseaux d'antennes des déférentes formes.

Caractéristiques	Réseau d'antenne pour f=2.3 GHz et h=1.5 mm.					
	Rectangulaire		Circulaire		Polygone	
	1 patch	2 patches	1 patch	2 patches	1 patch	2 patches
S_{11} (dB)	-9.5737	-7.6142	-6.6250	-15.3029	-7.5527	-7.7514
VSWR (dB)	5.9972	7.6970	8.7805	3.0132	7.7592	7.5604
Gain (dB)	3.6053	-2.3762	1.9032	0.5062	1.3920	-0.2345
champ électrique (dB)	19.981	14.579	12.320	9.6189	10.449	16.749
Directivité à thêta=0° (dB)	6.7172	12.2214	6.5370	11.9026	6.5367	12.8706
Rendement (%)	53.67	19.44	29.11	4.25	21.29	1.822
BP(GHz) a -3dB	0.1169	0.1292	0.2027	0.0443	0.1381	0.0885

III.9 Discussion et interprétation des résultats on générale :

D'après les résultats de simulation des antennes microbandes simples sur le substrat FR4.Epoxy Obtenu pour diverses formes et fréquences.

Pour la fréquence f=2.3 GHz ; on constate que le gain satisfaisant avec une bande passante étroite par rapport à ceux obtenus pour la fréquence f=4.6 GHz, nous en concluons que la bande passante et le gain est sont augmentés pour la fréquence f=4.6 GHz.

D'après le tableau III.26; la forme rectangulaire donne une bonne adaptation(le coefficient de réflexion) S_{11}=-9.5737 dB à une fréquence de résonance proche de la fréquence souhaitée qui est de l'ordre de f=2.3 GHz et pour l'épaisseur h=1.5mm.

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

Pour la forme polygone à f=4.6 GHz et h=1.5mm donne une bonne bande passante à -3dB est de 1.6775 GHz autour de la fréquence de résonance (3.90 GHz) dans l'intervalle [3.1243 GHz, 4.8018 GHz].

D'après les résultats de simulation des réseaux d'antennes microbandes obtenu pour diverses formes, et changer la fréquence et l'épaisseur.

D'après le tableau III.27 ; on constate pour réseau d'antenne d'un 8 patch de forme rectangulaire donne une bonne adaptation S11=-23.1465 dB à une fréquence de résonnance proche de la fréquence souhaite qui est de l'ordre de f=2.3 GHz et l'épaisseur h=1.5mm.

D'après le tableau III.27 ; on remarque qu'une diminué dans la bande passante et le gain pour fixe l'épaisseur h=1.5mm, la fréquence f=2.3 GHz et changer dans les réseaux d'antennes (2 patches, 4 patches, 8 patches).

D'après le tableau III.28 ; on remarque que le réseau d'antenne d'un 9 patch donne un bon résultat par rapport à autre les réseaux pour fixe la fréquence et l'épaisseur.

D'après le tableau III.29 ; on remarque que le réseau d'un 4 patch à une diminué dans le gain, la directivité et la bande passante pour fixe la fréquence et l'épaisseur par rapport à réseau d'un 2 patch.

On remarque que l'augmentation du nombre patches effectue considérablement sur la bande passante et le gain.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal (phi=0° ou dans le plan vertical phi=90°) incluant le lobe le plus important.

En observant les diagrammes de rayonnement 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement va dans la direction z.

Les antennes simulées dans ce travail sont directives, il a un gain important maximum.

A la fin ; on remarque pour une petite fréquence et une augmentation de l'épaisseur nous obtenons une augmentation du gain et de la bande passante et la directivité et d'autre part

pour une plus grande fréquence et augmentation d'épaisseur nous obtenons une diminution de la bande passante et augmentation dans le gain, alors on va remarquer que le changement de fréquence dans une antenne microbande il va changer la bande passante.

III.10 conclusion :

Dans ce chapitre est une représentation de la conception et la simulation des antennes microbandes simples et des réseaux de diverses formes (rectangulaire, circulaire et polygone) par le logiciel de la simulation HFSS.

Nous concluons que les résultats de simulation des réseaux d'antennes microbandes présente de meilleur performances d'où le gain, la directivité, la bande passante et aussi le coefficient de réflexion par rapport les résultats de simulation des antennes microbandes simples.

D'autre part, les résultats obtenus à partir de la forme rectangulaire montrent que cette forme est meilleure et plus précise par rapport aux autres formes (circulaire, polygone).

A la fin ; nous concluons que la fréquence qui affecte les dimensions des différentes formes incluant (L et W, R, a) de microbande ainsi que l'épaisseur h du substrat, la position des patches et les lignes d'alimentation influent considérablement sur les performances de l'antenne (gain, la bande passante, coefficient de réflexion S_{11} et le diagramme de rayonnement).

Conclution Génerale

Conclusion générale :

L'objectif essentiel de notre travail était la conception et la simulation des réseaux d'antennes microbandes de diverses formes (rectangulaire, circulaire, et polygone) qui permettent l'émission et la réception à des fréquences 2.3 GHz, 3 GHz et 4.6 GHz.

Pour cet objectif, nous avons utilisé un logiciel de simulation électromagnétique 3D HFSS (High frequency structure simulator), qui est un outil performant à onde électromagnétique (EM) commercial qui fait la simulation du champ E/M d'un model arbitraires en 3D. Il intègre la simulation, visualisation, modélisation des solides, et l'automatisation dans un environnement facile à utiliser ou les solutions des problèmes EM 3D sont obtenues rapidement et avec précision.

Dans un premier temps, Nous avons simulé sous HFSS, des antennes microbandes simple de diverses formes (rectangulaire, circulaire, polygone) : 3 antennes patches pour fréquence f=2.3 GHz à bande étroite, et 3 antennes patches pour fréquence f=4.6 GHz à large bande, tous sur le même substrat l'époxy-FR4 de permittivité relative $\varepsilon_r = 4.4$ et l'épaisseur h=1.5mm. La présentation et la discussion des résultats obtenus ont montré que les antennes microbandes simples rectangulaires ont été de meilleures performances par rapport aux formes circulaires et polygonales, de point de vu directivité, gain, et coefficients S11.

Dans un second temps, nous avons simulé sous HFSS sur le même substrat l'époxy-FR4 de permittivité relative ε_r=4.4, des divers réseaux d'antennes microbandes de diverses formes (rectangulaire, circulaire, polygone), pour les différents paramètres (nombre des patchs, fréquence de résonance, épaisseur h et dimension).

D'une part, nous avons simulé douze(12) réseaux d'antennes microbandes de forme rectangulaire, pour deux fréquences (2.3 GHz à bande étroite, et 3 GHz à large bande), et pour l'épaisseur (h=1.5mm, h=2.5mm). D'autre part, nous avons simulé Cinq(05) réseaux d'antennes microbandes de forme circulaire pour fréquence f=2.3 GHz et l'épaisseur h=1.5mm. Et, Deux(02) réseaux d'antennes microbandes de forme polygone pour fréquence f=2.3 GHz et l'épaisseur h=1.5mm.

La présentation et la discussion des résultats obtenus ont montré que les caractéristiques des réseaux d'antennes se changent d'un cas à un autre par amélioration où dégradation, selon le nombre des antennes associées au réseau étudié, la fréquence et l'épaisseur h. D'après l'étude comparative entre les diverses simulations, on a constaté que la forme rectangulaire est la meilleure forme pour obtenir des meilleurs performances des antennes simples et des réseaux d'antennes. D'autre part, plus on augmente la fréquence, plus on aura des diagrammes de rayonnement sélectifs.

L'inconvénient majeur des simulations est le temps d'exécution de la simulation qui dépend de la bande fréquentielle de localisation de la fréquence de résonance qui peut atteindre 24h00 de calcul, surtout dans le cas des réseaux d'antennes.

Pour d'autres études aux futures promotions, nous proposons des études des performances par type d'antennes sous différents paramètres.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] Odile Picon et coll ; "Les antennes Théorie, conception et applications"; DUNOD, Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1, préface de Maurice Bellanger.

[2] Alexandre Boyer ; « ANTENNES, support de cours Enonce de travaux diriges » ;

(INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE). www.alexandre-boyer.fr, alexandre.boyer@insa-toulouse.fr.

[3] J. Q. Howell, ―Micro strip Antennas, in Dig. Int. Symp. Antennas Propogat. Soc., Williamsburg, VA, Dec. 1972, pp. 177-180.

[4] James, J. R., and P. S. Hall (Eds), Handbook of Micro strips Antennas, Peter Pereginus, London, UK, 1989.

[5] J. P. Damino, A. Papiernik; "Survey of analytical numerical models for probfed

microstrip antenna "; IEEE prose microwave antenna propagation. Vol 141, N°1, 15-22,

02/1994.

[6] Y. T. Lo, D. Soloman, W. F. Richards; "Theory and experiment on microstrip antennas

", IEEE trans. antennas Propagut., Vol.AP-27, pp.137-145, 03/1979.

[7] Ahmed BENOMAR ; « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications. » ; Mémoire présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'université de Tlemcen et Docteur de l'université de Limoges ; Discipline de télécommunications ; université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2015.

[8] Méjri Fathi ; « Modélisation électromagnétique des structure active planaires par une méthode itérative avec une source auxiliaire localisée » ; Thèse de doctorat ENIT ; Soutenue le 4 février 2006.

[9] M. Diblang ; « Développement du concept de l'antenne a résonateur BIE pour la génération de la polarisation circulaire » **;** Université de Limoges ; Thèse de doctorat ; 20 mars 2006.

[10] Mr. REFICE MOHAMED LAMINE ; « Modélisation et simulation des antennes en onde millimétrique à base de méta matériaux » ; magister en micro-ondes ; option communication ; spécialité électronique ; soutenu le : 24/05/2014.

[11] ROUIBAH Ammar ; «Etude d'une Antenne Micro ruban de forme Arbitraire par la méthode FDTD » ; Mémoire de magister ; Université Farhat abbas setif ; 2009.

[12] Soltane Samia ; « Etude et Caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra-large bande » ; Mémoire de MAGISTER ; université Mohamed khider- Biskra ; 17/11/2015.

[13] M. BELHEDRI.A ; « Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique » ; mémoire de Magister ; Université de Ouargla ; 2013.

[14] A. BEHLOUL ; " Contribution à l'étude des antennes microstrip Supraconducteur de forme triangulaire " ; Mémoire de Magister ; Institut d'électronique ; Université de Constantine ; 2010.

[15] Melihi souhila, Fengal Tine-hinane ; « Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation » ; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en télécommunication ; université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia ; 2016.

[16] Benabadji Selma, Lallam Chafika; " Conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en Télécommunications ; Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ; 2012.

[17] MEDDOUR Meriem ; « caractérisation des antennes micro rubans par l'approche d'onde unique » ; mémoire de Master ; Université d'Elhadj Lakhder, Batna ; 2015.

[18] BENKEDDA Siham, MEDDOUR Meriem ; « Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz » ; mémoire Master Académique ; université Kasdi Merbah Ouargla ; 2017.

[19] Baalouj Oualid ; « Etude de l'éffet du matériau du substrat sur les caractéristiques d'une antenne patch micro ruban » ; Mémoire de Master ; Université Larbi Tebessi-Tébessa ; 2016.

[20] Gasmi naamat allah ; «contribution à l'étude d'un réseaux d'antennes imprimées pour les télécommunications son fil » ; Mémoire de Master ; université Mohamed khider Biskra ; 2013.

[21] Deghfel walid et Marzougui rami ; « Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB a bande rejetée » ; Mémoire de Master ; Université mohamed Boudiaf M'sila ; 2016-2017.

[22] Touati Mohamed Houssem Eddine ; « Conception et simulation d'une antenne micro-ruban circulaire » ; Mémoire de MASTER ; université Mohamed khider Biskra ; 05/06/2014.

[23] Haoued Mouissa Nawel, Madoui souad ; « L'effet d'une cellule AMC sur la bande passante d'une antenne patch » ; Mémoire MASTER ACADEMIQUE ; université Kasdi Merbah Ouargla ; 2017.

[24] Daouia BELGUELLAOUI ; « Analyse et conception des antennes microrubans alimentées par guide d'onde coplanaire » ; Mémoire de Master ; universite mohamed boudiaf-M'SILA ; 2016.

[25] Zaoui Bachir ; «Modélisation d'une antenne micro ruban compacte » ; Master Académique ; Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED ; 2014-2015.

[26] Daouia Belguellaoui ; « Analyse et conception des antennes microrubans alimentées par guide d'onde coplanaire » ; Mémoire de Master ; Universite mohamed boudiaf - m'sila ; juin 2016.

Annexe

Annexe :

❖ Procédure d'installation :

- ✓ La première étape : nous plaçons le fichier « HFSS_V15.0win 64 » sur le bureau.
- ✓ Ouvrir le fichier « HFSS installé ».
- ✓ Apres avoir cliqué sur « HFSS installé », nous trouvons un autre fichier « Ansoft.HFSS.win 64.15.0.2 » sur lequel nous cliquons.
- ✓ Cliquez sur le fichier « HFSS 15 Win 64 » puis sur le dossier « autorun.exe ».
- ✓ Cliquez sur « INSTALLER UN LOGICIEL ».
- ✓ Après avoir cliqué sur « INSTALLER UN LOGICIEL », suivez les instructions qui apparaissent en cliquant sur « OUI ». Puis quand l'écran apparait « information client », écrivez « abc » sur le cadre « nom de la compagnie » et cliquez sur « suivant » puis encore sur « suivant ».
- ✓ Choisir « cette installation locale » et cliquez sur « suivant ».
- ✓ Nous continuons à cliquer sur « suivant » jusqu'à ce que l'écran apparaisse « information sur la licence », nous choisissons le cadre « j'ai un nouveau fichier de licence » et cliquez sur « suivant » alors « Feuilleter ».
- ✓ On clique sur le bureau puis sur « HFSS installé » puis sur « Ansoft.HFSS.win 64.15.0.2 » puis sur « fissure » puis sur « licence.lic » puis sur « ouvrir » puis sur « suivant ».
- ✓ Sur l'écran qui appariation choisit le cadre « pilote Install d'ongle USB (FLExide-9) » puis cliquez sur « suivant » puis sur « suivant » puis sur « sortie » puis sur « terminer ».
- ✓ Cliquez sur « HFSS installé » puis sur « Ansoft.HFSS.win 64.15.0.2 » puis sur « fissure ».
- ✓ Nous copions « licence.lic » et nous allons à disque C et on clique sur « fichiers de programme » puis sur « AnsysEM » puis sur « admin » et nous collons.
- ✓ Copier les deux fissure « fissure HFSS 15.x(x64).Exe et fissure maxwell 16.x(x64).Exe » en suite nous allons à disque C, cliquez sur « fichiers de programme » puis sur « AnsysEM » puis sur « HFSS 15.0 » puis sur « Win 64 » et nous collons.
- ✓ Cliquez sur « les deux fissure » en suite, nous cliquons sur le bouton droit de la souris et cliquez sur « exécuter en tant qu'administrateur ».
- ✓ Logiciel d'ansoft HFSS situé sur le bureau.