

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option: Signaux et Communications

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

Conception et simulation d'un réseau d'antennes
microrubans circulaires pour les applications radar

Présenté par :
LALMI Hadda
Soutenu le : 01 Juin 2015

Devant le jury composé de :

Mr	BENAKCHA Abdelhamid	MCA	Président
Mme	HAMAIZIA Zahra	MCA	Encadreur
Mr	BOUKREDINE Salah Eddine	MAA	Examineur

Année universitaire : 2014 / 2015

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option: Signaux et Communications

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Conception et simulation d'un réseau d'antennes
microrubans circulaires pour les applications radar**

Présenté par :

LALMI Hadda

Avis favorable de l'encadreur :

Dr HAMAIZIA Zahra

Avis favorable du Président du Jury

BENAKCHA Abdelhamid

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière: Electronique
Option: Signaux et Communications

Thème :

Conception et simulation d'un réseau d'antennes microrubans circulaires pour les applications radar

Proposé par : Dr HAMAIZIA Zahra
Dirigé par : Dr HAMAIZIA Zahra

RESUME

Les communications et en particulier les communications sans fil sont aujourd'hui dans la pleine croissance. La transmission de données à haut débit, liée à la demande toujours croissante des dispositifs mobiles, a généré un grand intérêt pour les antennes microrubans et qui sont probablement les antennes les plus utilisées dans les conceptions commerciales compactes.

Dans ce travail, nous avons développé et conçu en premier lieu un seul patch de forme circulaire avec des encoches, puis nous avons ajouté des fentes de forme rectangulaire sur l'élément rayonnant. En second lieu, nous avons conçu deux réseaux d'antennes microrubans circulaires : le premier est formé par deux éléments rayonnants (1x2) et le deuxième constitué de quatre patches (1x4) imprimées sur un substrat de faible constante diélectrique $\epsilon=2.2$ permettant de rayonner à la fréquence 3.5 GHz, ces antennes pourraient être utilisées dans un très grand nombre d'application (communication sans fil, radar...etc).

Les différentes simulations des performances de ces antennes sont réalisées à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique Ansoft HFSS, les résultats de simulation (gain total (4-8 dB), un coefficient de réflexion $S_{11}<-10$ dB, bande passante (30- 124.3 MHz)) sont satisfaisants et acceptables et vérifient bien notre cahier de charge.

Mots clés : antenne microruban - patch - réseau d'antenne circulaire – gain – rayonnement – Le logiciel HFSS.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents mon père "Mohammed Rachid" et ma
mère.*

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements.*

A mes frères "Brahim et Hamada" et sœurs "Khaoula et Chaima".

A mon grand-père et à mes deux grandes-mères.

A tous les oncles et tantes.

*A mes chères amis intimes "Naceur Samah, Badi Fatima, Laiz
Khaoula et Hanan".*

A ma compatriote de carrière "Hassaine Samiha".

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire, du
moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

*A tous les étudiants de deuxième année de master de spécialité
signaux et communications promotion 2015.*

HADDA



REMERCIEMENTS

Ce travail a été proposé et dirigé par Mme. HAMAIZIA Zohra.

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui il m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur : Mme. HAMAIZIA Zahra pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury, le président : BENAÏCHA Abdelhamid et l'examineur : BOUKREDINE Salah Eddine pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Comme je tiens à remercier toutes les travailleurs du département du génie électrique, université de Biskra.

Je tiens également à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à tous mes collègues de notre promotion.

HADDA

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Les caractéristiques des types de polarisations.....	5
Tableau III.1: Types d'excitations proposées par HFSS.....	36
Tableau IV.1 : Paramètres géométriques de l'antenne circulaire conçue sur le Duroid 5880.....	40
Tableau IV.2 : Paramètres du l'antenne circulaire Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	41
Tableau IV.3 : Paramètres du l'antenne circulaire Duroid 5880 excitée par une sonde coaxiale pour h=1.6mm.....	43
Tableau IV.4 : Paramètres du l'antenne circulaire adaptée Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	46
Tableau IV.5 : Paramètres du l'antenne circulaire avec des slots Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	49
Tableau IV.6 : Paramètres d'un réseau d'antenne de deux patchs sur le Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	52
Tableau IV.7 : Les dimensions des les lignes microrubans.....	53
Tableau IV.8 : Paramètres d'un réseau d'antenne deux patchs adapté par l'encoche excitée par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	57
Tableau IV.9 : Les dimensions des les lignes microrubans	57
Tableau IV.10 : Paramètres d'un réseau d'antenne quatre patchs Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	60
Tableau IV.11 : Les dimensions des les lignes microrubans	60
Tableau IV.12 : Paramètres d'un réseau d'antenne de quatre patchs encochés sur le Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.....	63
Tableau IV.13: Les dimensions des les lignes microrubans	64
Tableau IV.14 : Comparaison les paramètres caractéristiques de patch par rapport les types d'alimentation.....	66
Tableau IV.15 : Comparaison les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de deux patchs par rapport un réseau de deux patchs avec encoche.....	67

Tableau IV.16 : Comparaison les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de quatre patchs par rapport un réseau de quatre patchs avec encoche.....68

Liste des Figures

Chapitre I : Généralité sur l'antenne microruban

Figure I.1 : Polarisation du champ électromagnétique.....	5
Figure I.2 : Représentation du diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.....	7
Figure I.3 : Représentation de l'angle d'ouverture et les lobes.....	7
Figure I. 4 : Ondes et bandes de fréquences.....	8
Figure I.5 : Structure de base d'une antenne microruban.....	9
Figure I.6 : Différentes formes d'antennes patches.....	11
Figure I.7 : Antenne micro ruban alimentée par ligne micro ruban.....	13
Figure I.8 : Alimentation du patch par ligne coplanaire.....	13
Figure I.9 : Antenne micro ruban alimentée par sonde coaxial.....	14
Figure I.10 : Antenne micro ruban alimentée par fente.....	15

Chapitre II : Les réseaux d'antennes circulaires

Figure. II.1 : patch antenne circulaire alimenté par sonde.....	17
Figure. II.2: patch antenne circulaire alimenté par ligne microruban.....	18
Figure. II.3 Réseau uniforme circulaire de rayon R.....	21
Figure. II.4 Réseau circulaire à 8 éléments, lobe principal dans la direction (90°, 45°).....	22
Figure. II.5 : Réseau linéaire.....	22
Figure. II.6 : Réseau planaire.....	23
Figure II.7 : Réseau circulaire.....	23
Figure. II.8 : Alimentation de série.....	24
Figure. II.9 : Alimentation de parallèle.....	25

Chapitre III : Le logiciel de simulation HFSS

Figure III.1 : Fenêtre de logiciel HFSS pour model 3D.....	27
Figure III.2: L'arbre de gestion d'une structure sous HFSS.....	28
Figure III.3: Représentation des propriétés.....	28
Figure III.4: Groupe de Matériel.....	29
Figure III.5: Fenêtre de barre d'outils.....	30
Figure III.6 : le processus HFSS.....	30
Figure III.7: Création des projets.....	31
Figure III.8 : la sélection des unités.....	32
Figure III.9 : Fenêtre de gestion des différentes modèles à dessiner sur HFSS.....	32
Figure III.10: Utilisation des variables dans HFSS.....	33
Figure III.11: Soustraction des objets.....	34
Figure III.12: Boite de dialogue du type de solution.....	34
Figure III.13: Des fenêtres pour création les ports.....	35
Figure III.14 : Création des conditions aux limites (boundary).....	36
Figure III.15: Création des conditions d'analyse Setup.....	37
Figure III.16: Représentation de la fréquence d'utilisation.....	37
Figure III.17 : Représentation la méthode converge	38
Figure III.18 : Représentation tous les options crée les résultats de simulation.....	39

Chapitre IV : Conception et simulation d'un réseau d'antenne circulaire

Figure IV.1 : Géométrie de l'antenne circulaire Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	41
Figure IV.2 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	42

Figure IV.3 : Impédance d'entrée du patch conçu Z (1,1).....	42
Figure IV.4 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain	42
Figure IV.5 : Diagramme de rayonnement 3D du gain.....	43
Figure IV.6 : Distribution du courant de surface sur le patch circulaire pour f=3.5GHz.....	43
Figure IV.7 : Géométrie de l'antenne circulaire Duroid 5880 en 3D alimentée par une sonde coaxiale.....	44
Figure IV.8 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	44
Figure IV.9 : Impédance d'entrée du patch conçu Z (1,1).....	45
Figure IV.10 : Diagramme de rayonnement 2D du gain.....	45
Figure IV.11 : Diagramme de rayonnement 3D du gain.....	46
Figure IV.12 : Géométrie de l'antenne circulaire par encoche Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	47
Figure IV.13: Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	47
Figure IV.14 : Impédance d'entrée de l'antenne Z(1,1).....	47
Figure IV.15 : Diagramme de rayonnement 2D du gain.....	48
Figure IV.16 : Diagramme de rayonnement 3D du gain.....	48
Figure IV.17 : Distribution du courant surfacique sur l'antenne circulaire pour f=3.5 GHz.....	48
Figure VI.18 : Géométrie de l'antenne circulaire avec des slots Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	49
Figure VI.19 : Coefficient de réflexion S ₁₁ en fonction de la fréquence.....	50
Figure IV.20 : Impédance d'entrée de l'antenne Z(1,1).....	50
Figure IV.21 : Diagramme de rayonnement 2D du gain.....	51
Figure VI.22 : Diagramme de rayonnement 3D du gain.....	51

Figure IV.23 : Géométrie d'un réseau d'antenne de deux patchs Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	52
Figure IV.24 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	53
Figure IV.25 : Impédance d'entrée de du réseau d'antennes 1x2 $Z(1,1)$	53
Figure IV.26 : Diagramme de rayonnement 2D du gain total.....	54
Figure IV.27 : Diagramme de rayonnement 3D du gain total.....	54
Figure IV.28 : Distribution du courant surfacique sur le réseau d'antenne circulaire 1x2 pour $f=3.5$ GHz.....	55
Figure IV.29 : Distribution des vecteurs du champ électrique E sur le réseau d'antenne circulaire 1x2 pour $f=3.5$ GHz.....	55
Figure IV.30 : distribution de l'intensité du champ électrique E sur le substrat pour $f=3.5$ GHz.....	56
Figure IV.31 : Géométrie d'un réseau d'antenne de deux patchs par l'encoche Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	57
Figure IV.32 : Le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	57
Figure IV.33 : Impédance d'entrée $Z(1,1)$	58
Figure IV.34 : Diagramme de rayonnement 2D du gain total.....	58
Figure IV.35 : Diagramme de rayonnement 3D du gain total.....	58
Figure IV.36 : Distribution du courant surfacique sur le réseau d'antenne de deux patchs circulaires adapté par les encoches.....	59
Figure IV.37 : Géométrie d'un réseau d'antenne de quatre patchs Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	60
Figure IV.38 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	60
Figure IV.39 : Résultat de l'impédance $Z(1,1)$	61
Figure IV.40 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.....	61
Figure IV.41 : Diagramme de rayonnement 3D du gain total.....	61

Figure IV.42 : Distribution du champ électrique E sur le réseau d'antenne de quatre patches circulaires pour la fréquence résonance 2.42 GHz.....	62
Figure IV.43 : Distribution des vecteurs du champ électrique E d'un réseau d'antenne de quatre patches circulaires pour la fréquence résonance 2.42 GHz.....	62
Figure IV.44 : Distribution de l'intensité du champ électrique E sur le substrat Duroid 5880 pour la fréquence résonance 2.42 GHz.....	63
Figure IV.45 : Géométrie d'un réseau d'antenne de quatre patches encochés Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.....	64
Figure IV.46 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	64
Figure IV.47 : Impédance d'entrée du réseau 1x4 Z(1,1).....	65
Figure IV.48 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.....	65
Figure IV.49 : Diagramme de rayonnement 3D du gain total pour freq=3.5 GHz.....	65
Figure IV.50 : Distribution du courant de surface sur le réseau d'antenne de quatre patches circulaires avec des encoches.....	66

Résumé

RESUME

Les communications et en particulier les communications sans fil sont aujourd'hui dans la pleine croissance. La transmission de données à haut débit, liée à la demande toujours croissante des dispositifs mobiles, a généré un grand intérêt pour les antennes microrubans et qui sont probablement les antennes les plus utilisées dans les conceptions commerciales compactes.

Dans ce travail, nous avons développé et conçu en premier lieu un seul patch de forme circulaire avec des encoches, puis nous avons ajouté des fentes de forme rectangulaire sur l'élément rayonnant. En second lieu, nous avons conçu deux réseaux d'antennes microrubans circulaire : le premier est formé par deux éléments rayonnants (1x2) et le deuxième constitué de quatre patches (1x4) imprimées sur un substrat de faible constante diélectrique $\epsilon=2.2$ permettant de rayonner à la fréquence 3.5 GHz, ces antennes pourraient être utilisées dans un très grand nombre d'application (communication sans fil, radar...etc).

Les différentes simulations des performances de ces antennes sont réalisées à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique Ansoft HFSS, les résultats de simulation (gain total (4-8 dB), un coefficient de réflexion $S_{11}<-10$ dB, bande passante (30- 124.3 MHz)) sont satisfaisants et acceptables et vérifient bien notre cahier de charge.

Mots clés : antenne microruban - patch - réseau d'antenne circulaire – gain – rayonnement – Le logiciel HFSS.

المخلص

الاتصالات وخاصة الاتصالات اللاسلكية هي الآن في النمو الكامل. نقل البيانات عالية السرعة، ويرجع ذلك إلى الطلب المتزايد للأجهزة النقالة، ولدت اهتماما كبيرا للهوائيات مي لثروشرطية وهي على الأرجح الأكثر استخداما في التصاميم التجارية للهوائيات المدمجة.

في هذا العمل، قمنا بتطوير وتصميم في المقام الأول رقعة دائرية واحد مع شقوق، ثم أضفنا فتحات مستطيلة على العنصر المشع.

ثانيا، قمنا بتصميم شبكتين من هوائيات ميكروشرطية دائرية: يتم تشكيل أول مرة من قبل اثنين من العناصر المشعة (1X2) والثانية تتكون من أربع بقع (1X4) مطبوعة على انخفاض ثابت العزل الكهربائي $\epsilon = 2.2$ الركيزة لتشع على التردد 3.5 GHz. ويمكن استخدام هذه الهوائيات في عدد كبير جدا من التطبيقات (الاتصالات اللاسلكية، الرادار، إلخ).

يتم إجراء المحاكاة المختلفة لأداء هذه الهوائيات باستخدام برنامج محاكاة الكهرومغناطيسية بناء النظم الميكانيكية الكهربائية HFSS، نتائج المحاكاة (الكسب الإجمالي (4 - 8 ديسيبل)، معامل انعكاس $S_{11} < -10$ ديسيبل، عرض النطاق الترددي (30 - 124.3 ميغاهيرتز)) مرضية ومقبولة وتحقق مواصفات المناقصة لدينا.

Sommaire

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciement

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Résumé

Sommaire

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralité sur l'antenne microruban

I.1 Introduction3

I.2 Définition et historique des antennes micro rubans (patch).....3

I.3 Caractéristiques des antennes.....3

I.3.1 Diagramme de rayonnement4

I.3.2 Polarisation4

I.3.3 Les coefficients réflexions S_{11} 6

I.3.4 Directivité.....6

I.3.5 Gain.....6

I.3.6 Ouverture et Rendement6

I.3.7 Angle d'ouverture d'une antenne6

I.3.8 Impédance d'entrée7

I.3.9 Les ondes et les bande de fréquences7

I.3.10 Adaptation9

I.4 Structure d'une antenne patch9

I.4.1 Substrat10

I.4.2 Plan de masse.....10

I.4.3 Élément rayonnant10

I.5 Technologies des antennes patches.....11

I.5.1 Les matériaux diélectriques.....11

I.5.2 Les matériaux conducteurs12

I.6 Avantages et inconvénients.....	12
I.6.1 Avantages des antennes microrubans.....	12
I.6.2 Inconvénients des antennes microrubans.....	12
I.7 Techniques d'alimentation	13
I.7.1 Alimentation par ligne micro ruban	13
I.7.2 Alimentation par ligne coplanaire	13
I.7.3 Alimentation par sonde coaxial.....	14
I.7.4 Alimentation par fente (ou par ouverture)	14
I.8 Application des antennes micro ruban	15
I.9 Conclusion	15

Chapitre II : Les réseaux d'antennes circulaires

II.1 Introduction	17
II.2 Antenne circulaire	17
II.3 Généralités sur les antennes réseaux	19
II.3.1 Contraintes de réalisation du réseau d'antennes	19
II.3.2 Lobes de réseau	20
II.3.3 Réseau circulaire.....	20
II.4 Type de réseaux d'antennes patches	22
II.4.1. Antenne en réseau linéaire.....	22
II.4.2. Antenne en réseau plan	23
II.4.3. Antenne en réseau circulaire.....	23
II.5 Avantages et inconvénients de la mise en réseau d'antennes	23
II.6 Géométrie de l'alimentation d'un réseau d'antennes microruban.....	24
II.6.1 Alimentation série.....	24
II.6.2 Alimentation parallèle.....	24
II.7 Conclusion	25

Chapitre III : Le logiciel de simulation HFSS

III.1 Introduction.....	26
III.2 Logiciel HFSS.....	26
III.2.1 Définition	26
III.3 Description générale des outils HFSS	26
III.3.1 Limites d'Ansoft.....	27
III.3.2 Project Manager.....	28
III.3.3 Fenêtre de la propriété.....	28
III.3.4 Modeleur 3D Design Arbre.....	29
III.3.5 Barres porte-outils.....	29
III.4 Processus de HFSS.....	30
III.5 Création des projets.....	30
III.5.1 Insérer une conception de HFSS dans un projet.....	31
III.5.2 Placement des unités du modèle de la mesure	31
III.5.3 Dessiner un modèle.....	32
III.5.3.a Utilisation des variables du projet.....	32
III.5.3.b Soustraction des objets.....	33
III.5.4 Types de solution dans HFSS.....	34
III.5.5 Excitation d'une structure.....	35
III.5.5.a Standards types d'excitation utilisée par HFSS.....	35
III.5.6 Conditions aux limites.....	36
III.5.7 Analyze Setup.....	37
III.5.8 Convergence.....	38
III.5.9 Résultats	39

III.6 Conclusion	39
------------------------	----

Chapitre IV : Conception et simulation d'un réseau d'antenne circulaire

IV.1 Introduction	40
IV.2 Conception d'un seul patch circulaire.....	40
IV.2.1 Calcul des paramètres géométriques de l'antenne.....	40
IV.2.2 Les résultats de simulation	40
IV.2.2.a Alimentation du patch par ligne microruban	41
IV.2.2.b Alimentation du patch par une sonde coaxiale.....	43
IV.2.2.c Un seul patch avec l'encoche alimenté par ligne microruban.....	46
IV.2.2.d Un seul patch avec les slots alimenté par ligne microruban.....	49
IV.3 Conception d'un réseau d'antennes circulaires	51
IV.3.1 Un réseau d'antenne de deux éléments rayonnants 1x2.....	51
IV.3.2 Un réseau d'antenne de deux éléments rayonnants adapté par encoche.....	56
IV.3.3 Un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants 1x4.....	59
IV.3.4 Un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants 1x4 avec les encoches.....	63
IV.4 Interprétation et discussion des résultats.....	66
IV.4.1 Récapitulation des résultats pour un seul patch	66
IV.4.2 Récapitulation des résultats pour un réseau d'antenne de deux éléments rayonnants...67	
IV.4.3 Récapitulation des résultats pour un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants...68	
IV.5 Conclusion.....	70
Conclusion générale	71
Bibliographie	73

Annexe

Introduction générale

Introduction générale

Les télécommunications se sont banalisées au cours de ces dernières années. Poussés par l'engouement du public, les systèmes de réception sont devenus portables et les antennes se sont miniaturisées, l'utilisation d'antennes imprimées est devenue usuelle dans les systèmes de radiocommunications [1].

Une antenne à éléments rayonnants circulaires, communément appelée « antenne patch », est une ligne microruban de forme particulière. Elle est importante par rapport aux appareils des communications (l'émetteur et récepteur), et en d'autres termes est le concepteur pour transporter et émettre les ondes électromagnétiques. Elle est également utilisée dans les systèmes tels que radiocommunications, réseaux de communications, satellites et systèmes de la détection et d'aviation civile et militaire et le radar. Aussi le concept de « structures imprimées rayonnantes » est apparu en 1953 avec Deschamps et les premières validations ont été réalisées vers 1970 par Maxwell et Nunson [2].

La technologie actuelle a bien exploité les antennes imprimées pour mettre en place des dispositifs et systèmes de plus en plus miniatures vu les exigences du marché industriel qui ne cesse d'imposer la notion de miniaturisation des circuits pour faire face aux besoins des diverses applications, notamment en aérospatiale, réseaux sans fils et applications radar [3].

Le principe du fonctionnement des radars est très simple. Les équipements du radar émettent les ondes électromagnétiques et évaluent la distance de la cible par la mesure du temps d'aller-retour du signal.

Les antennes élémentaires peuvent être assemblées en réseaux à une ou deux dimensions, augmentant ainsi le gain et la directivité. Le diagramme d'une antenne réseau peut être modulé en modifiant la phase et amplitude des excitations individuelles [4].

Un réseau d'antennes est un ensemble d'antennes identiques qui se déduisent les unes des autres par translation. Ce réseau est régulier ou non. Chaque antenne peut être connectée à un générateur, les réseaux de générateurs étant uniformes ou non. Le nombre total d'antennes constituant le réseau est en général grand devant [5].

Actuellement un réseau imprimé est largement utilisé puisqu'il permet de répondre à de nombreuses contraintes commandées par les systèmes. Il est caractérisé par le diagramme de rayonnement, la fonction caractéristique, l'angle d'ouverture, la dynamique d'une antenne, le

gain et la directivité. Les domaines d'utilisation privilégiés de ces antennes, sont trouvés dans de nombreux systèmes de communication tels que la téléphonie mobile, les systèmes multimédia sans fil (WIFI, Bluetooth) ou encore les communications spatiales. Elles trouvent également des applications dans certains systèmes radar ou de télé- détection et sont utilisées dans des bandes de fréquences allant de 1GHz jusqu'aux bandes millimétriques [6].

La technique modélisation des réseaux d'antennes microrubans est effectuée à l'aide d'outil de simulation HFSS (High Frequency Structure Simulator) qui est un logiciel électromagnétique 3D.

Ce mémoire sera organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre, se propose de présenter quelques les caractéristiques des antennes patches, technologies des antennes patches, ainsi les techniques d'alimentation des antennes.

Dans le deuxième chapitre, on a présenté la description d'antenne circulaire, la géométrie d'un réseau d'antenne microruban, ainsi leurs avantages et leurs inconvénients.

Le troisième chapitre, introduit l'outil de simulation HFSS (High High Frequency Structure Simulator) utilisé dans ce travail qui est un outil performant à onde électromagnétique (EM) commercial qui fait la simulation du champ d'un model arbitraires en 3D, utilisé pour calculer des paramètres tels que les paramètres S, la fréquence de résonance, et des champs électriques et magnétiques.

Concernant le quatrième chapitre, on a développe la phase de conception en présentant la structure de l'antenne réalisés ainsi les résultats de simulation pour des antennes à seul élément rayonnant de forme circulaire alimenté par deux méthode : par câble coaxiale et par ligne microruban, aussi les réseaux deux et quatre éléments circulaire.

Notre travail est finalisé par une conclusion générale

Chapitre I

*Généralité sur
L'antenne microruban*

I.1 Introduction

Une antenne microruban est constituée d'une ou plusieurs plaques métalliques de fine épaisseur de forme géométrique appropriée (carré, rectangle, disque ou d'autres formes plus complexes) formant l'élément rayonnant, déposée sur une face d'un substrat diélectrique tandis que l'autre face est déposée sur une métallisation complète constituant le plan de masse [7].

En ce chapitre, se propose de présenter quelques les caractéristiques des antennes patches, technologies des antennes patches, ainsi les techniques d'alimentation ces antennes.

I.2 Définition et historique des antennes micro rubans (patch)

Le concept d'antennes micro-rubans fait son apparition dans les années 50, mais c'est au cours des années 70 qu'elles ont été développées. Elles seront réservées à des applications militaires, aéronautiques et aérospatiales, par exemple. Aujourd'hui, avec l'explosion des télécommunications, les antennes imprimées sont implantées dans de nombreux dispositifs électroniques par exemple : les téléphones portables, les ailes des avions, etc... Ces antennes possèdent deux atouts majeurs à savoir leur faible coût de réalisation et leur capacité d'intégration [8].

Les antennes imprimées sont capables de prendre plusieurs formes géométriques et possèdent comme on l'a souligné une facilité d'intégration.

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique, ou inversement de convertir l'énergie électromagnétique en énergie électrique. Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur [9].

Le concept d'antennes imprimées a été proposé pour la première fois par Des champs en 1953 aux U.S.A, et en France par Baissinot et Gutton en 1955[9].

Une antenne microruban simple se compose d'un patch métallique très mince déposé sur un substrat diélectrique fixé sur un plan de masse métallique [10].

I.3 Caractéristiques des antennes

Les caractéristiques d'une antenne sont déterminées par rapport à une source de référence, une source ponctuelle qui rayonne sa puissance d'alimentation d'une façon identique dans toutes

les directions constituant la source de référence idéale. La puissance rayonnée par unité d'angle solide dans une direction définie par les deux angles (θ, Φ) s'écrit [11]:

$$P_0(\theta, \Phi) = P_a/4\pi \quad (\text{I.1})$$

Où P_a est la puissance d'alimentation.

I.3.1 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 $F(\theta, \Phi)$ de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée $P(\theta, \Phi)$ à la puissance P_{\max} de la direction où le rayonnement est maximal [11].

$$P_0(\theta, \Phi) = P_a/4\pi \quad (\text{I.2})$$

I.3.2 Polarisation

La polarisation d'une antenne est donnée par la direction du champ électrique \vec{E} . Si \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. Il existe, cependant, des antennes qui rayonnent un champ électrique dont la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné à polarisation circulaire ou elliptique. C'est le cas notamment des antennes utilisées en radar et en télécommunications spatiales.

C'est le cas de la majorité des antennes à éléments rayonnants linéaires. Notamment les antennes à dipôles rayonnants et qui sont utilisées en ondes métriques et décimétriques. [12]

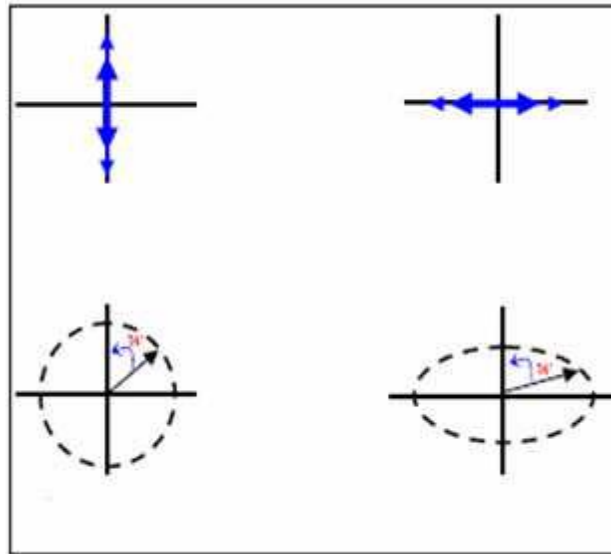


Figure I.1 : Polarisation du champ électromagnétique.

Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Circulaire
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Peu de bruit électrique. ❖ Meilleure sensibilité aux signaux faibles. ❖ Angle de rayonnement généralement plus élevé par rapport au sol favorisant ainsi de bons contacts locaux. ❖ Grands espaces requis pour le déploiement. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bruit électrique plus présent dans les bandes HF. ❖ Optimisation de l'espace occupé par l'antenne. ❖ Nécessite généralement un bon plan de terre (Ground, masse). ❖ Plus enclin à causer de l'interférence dans les bandes HF. ❖ Angle de rayonnement plus bas. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Génère deux polarisations en phase pour éviter les pertes en traversant l'ionosphère et pour compenser la rotation des satellites. ❖ Rarement utilisée pour des contacts au sol.

Tableau I.1: Les caractéristiques des types de polarisations.

I.3.3 Les coefficients réflexions S_{11}

Le coefficient réflexion S_{11} met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce coefficient que l'on se base lors de l'optimisation [13].

I.3.4 Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, Φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée [11].

$$D(\theta, \Phi) = 4\pi [P(\theta, \Phi)] / \eta P_{\alpha} \quad (\text{I.3})$$

θ et Φ sont l'azimut et l'élévation.

I.3.5 Gain

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte.

Si G est le gain, alors [13]:

$$G(\theta, \Phi) = \eta D(\theta, \Phi) \quad (\text{I.4})$$

I.3.6 Ouverture et Rendement

L'ouverture rayonnante d'une antenne est la surface géométrique rayonnante de cette antenne. C'est aussi la surface qui capte l'énergie des ondes électromagnétiques transmises.

La puissance rayonnée par l'antenne est généralement différente de la puissance d'alimentation de l'antenne. On définit alors le rendement d'une antenne comme étant le rapport entre la puissance totale P qu'elle rayonne et la puissance d'alimentation P_{α} de cette antenne [11].

$$\eta = P / P_{\alpha} \quad (\text{I.5})$$

I.3.7 Angle d'ouverture d'une antenne

L'angle d'ouverture est l'angle que font entre elles les deux directions du lobe principal selon lesquelles la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal. La figure I.2 présente un exemple de présentation diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes [11].

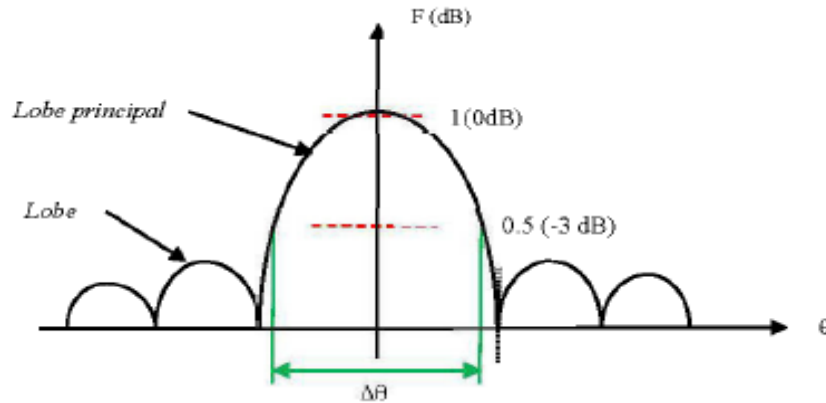


Figure I.2 : Représentation du diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.

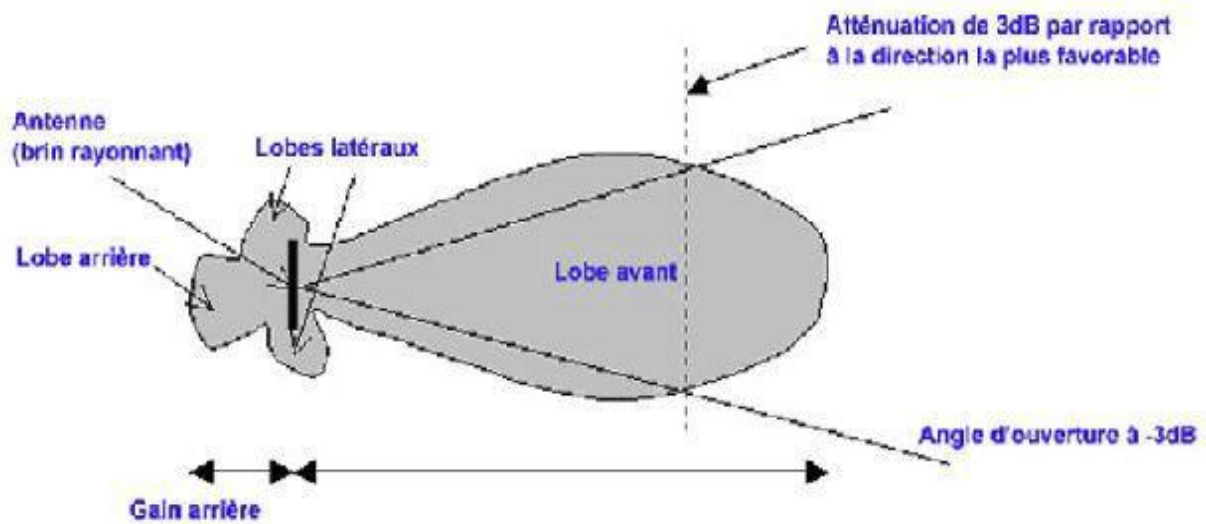


Figure I.3 : Représentation de l'angle d'ouverture et les lobes.

I.3.8 Impédance d'entrée [13]

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 :

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1+S_{11})}{(1-S_{11})} \quad (I.6)$$

Z_0 = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

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

I.3.9 Les ondes et les bande de fréquences [14]

Le spectre des ondes électromagnétiques s'étend jusqu'à des fréquences de l'ordre de 10^{24} Hz. Cette bande de fréquence très large est divisée en "sous bandes" afin de prendre en compte les différentes propriétés physiques des ondes qui la composent.

Le découpage en sous bandes a été effectué à l'origine selon des critères « historiques », modifiés ensuite pour respecter une nomenclature internationale (du moins occidentale!) aujourd'hui également obsolète. Cependant la désignation traditionnelle des sous bandes est régulièrement utilisée dans la littérature consacrée au sujet. En résumé nous considérerons les valeurs suivantes (Figure I.4):

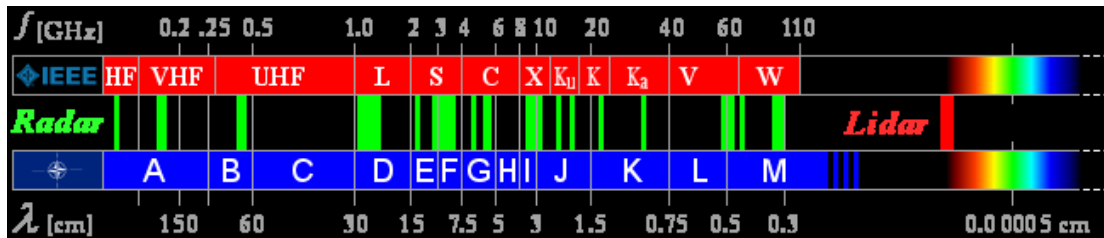


Figure I. 4 : Ondes et bandes de fréquences.

Les radars peuvent donc émettre dans une large bande de fréquences. Plus la fréquence d'un radar est haute, plus elle est affectée par des conditions météorologiques telles que la pluie ou les nuages. Mais une fréquence plus haute permet d'améliorer la précision de l'équipement radar qui l'émet.

On a quelque bande importante et qu'on utilise dans ce mémoire :

➤ Bande D (radar de bande L) :

Ces fréquences de 1 à 2 GHz sont préférées pour les radars de portée jusqu'à 400 km (250 milles nautiques). Ils peuvent émettre des impulsions de haute puissance ayant une largeur de bande importante et compressées. À cause de la courbure de la Terre, la portée maximale de détection est limitée à basse altitude et les cibles près du sol disparaissent sous l'horizon radar relativement rapidement.

Dans le domaine de la gestion de la circulation aérienne, les radars de longue portée pour les corridors aériens utilisent ces fréquences. Ils sont utilisés en tandem avec une antenne de radar secondaire mono-impulsion assez large, le tout tournant à une vitesse angulaire plus lente que les radars de plus courte portée.

➤ Bandes E et F (radar de bande S) :

L'atténuation atmosphérique de l'onde des bandes E et F est plus grande que dans la bande précédente sans être excessive et les radars utilisant ces fréquences doivent avoir une plus grande puissance pour obtenir une portée équivalente de la bande D. Par exemple, le radar MPR, de son nom en anglais Medium Power Radar, utilise une impulsion de 20 MWatts.

Les radars spéciaux de surveillance aérienne aux aéroports fonctionnant dans cette bande ont une portée de détection des avions, ainsi que de la météo, qui se situe généralement à l'intérieur de 100 km (50 à 60 milles nautiques). Cependant, les radars météorologiques de bande S, comme le WSR-88D du service météorologique américain, ont une portée de plus de 250 km.

➤ Bande G (radar de bande C) :

Ces fréquences sont utilisées par plusieurs radars mobiles de champs de bataille pour la surveillance aérienne et le contrôle de tir des missiles de courte et moyenne portée. Comme la résolution pour un même diamètre d'antenne est proportionnel à la fréquence, cette bande permet d'obtenir une bonne résolution avec une antenne réduite et facile à déplacer. Ces fréquences sont également utilisées par les radars météorologiques des régions plus nordiques, comme le Canada et le nord de l'Europe, à cause des coûts beaucoup plus faibles de l'antenne et du transmetteur.

I.3.10 Adaptation

Pour chaque système qui transforme l'énergie sur une ligne de transmission a besoin d'adaptation car la ligne transforme l'impédance de charge en une autre valeur d'impédance au droit de la source. Ce que voit la source dépend donc de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique [1].

I.4 Structure d'une antenne patch

La configuration la plus simple d'une antenne microbande est constituée d'un plan de masse, un substrat diélectrique caractérisé à la fois par une permittivité électrique ϵ_r , et une perméabilité magnétique μ_r , et un élément rayonnant de forme quelconque appelé patch [9].

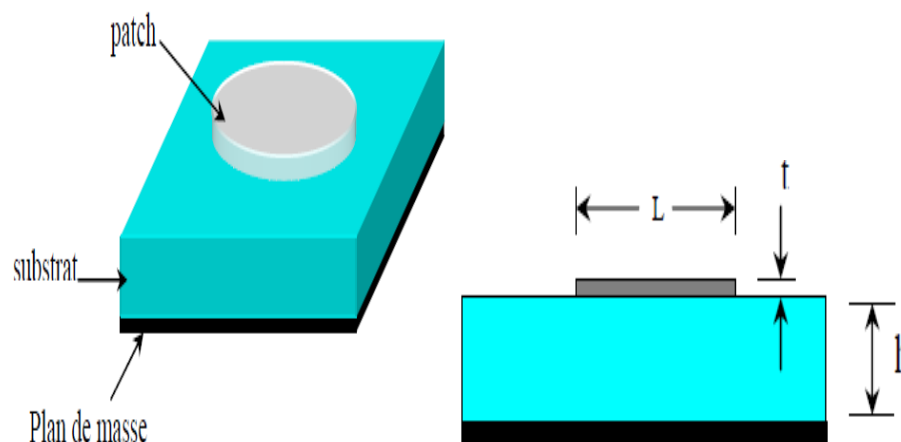


Figure I.5 : Structure de base d'une antenne microruban.

I.4.1 Substrat

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux. Leurs permittivités relatives varient de 1 pour l'air à des valeurs plus élevées [12]. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité, une large bande passante [7].

I.4.2 Plan de masse

Un plan de masse est situé en dessous du circuit sur lequel est placé un substrat mousse comprenant la ligne d'accès et un évidement complet qui servira de cavité pour confiner le cristal liquide (CL) [15].

I.4.3 Élément rayonnant

Dans la pratique, les formes des éléments rayonnants les plus souvent utilisées sont le carré, le rectangle, le disque et l'anneau. Des géométries plus élaborées sont toutefois employées pour répondre à des contraintes spécifiques sur l'antenne (en particulier pour générer de la polarisation circulaire).

L'élément rayonnant conducteur est en général cuivré. Il existe une grande variété de formes que peut prendre une antenne imprimée (Figure I. 6). Il y a tout d'abord le dipôle microruban, qui attire par sa petitesse quelques applications. Cependant son exploitation reste limitée à cause de sa bande passante étroite. Les plus souvent rencontrées, sont les antennes rectangulaires. C'est la configuration la plus simple. Elle fonctionne aux modes fondamentaux TM_{11} de la cavité rectangulaire. Sa bande passante très étroite limite son domaine d'application. La polarisation du champ est rectiligne si l'antenne est excitée en un seul point, mais la question de la pureté de la polarisation, se pose. La recherche théorique et expérimentale est abondante sur ce sujet. Souvent on ajoute une couche supplémentaire de diélectrique, mais cela entraîne une diminution de la fréquence de résonance. La bande passante peut être élargie en augmentant l'épaisseur du substrat, mais cela induit une diminution du rendement, à cause du phénomène des ondes de surface dont il faut tenir compte lors de l'analyse. Dans la littérature, il existe des formules simples donnant les valeurs approchées de la fréquence de résonance, de l'impédance d'entrée, du diagramme de rayonnement et du rendement.

Quant à l'antenne circulaire, ses performances sont comparables à celle de l'antenne rectangulaire. Généralement elle est utilisée à la fréquence du mode TM₀₁ ou TM₁₀ de la cavité cylindrique.

L'utilisation de la forme triangulaire a également été prise en considération par certains auteurs. L'élément triangulaire présente des caractéristiques de rayonnement semblables à celles du rectangle. En plus de cela, il a été établi que les éléments triangulaires déposés d'une certaine façon, permettent au constructeur de réduire de manière considérable le couplage entre éléments adjacents du réseau.

On trouve également d'autres formes plus complexes et plus difficiles à analyser. Elles résultent souvent de la combinaison de deux formes simples et sont utilisées dans certaines applications particulières [9].

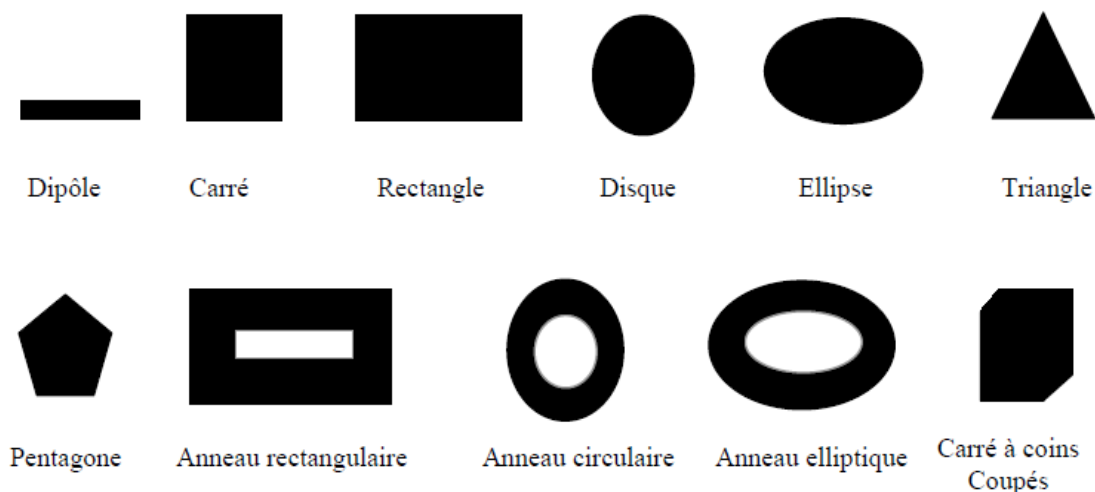


Figure I.6 : Différentes formes d'antennes patches.

I.5 Technologies des antennes patches

I.5.1 Les matériaux diélectriques

Les matériaux diélectriques sont utilisés comme couche intermédiaire entre l'élément rayonnant et le plan de masse. Les qualités qu'ils doivent avoir pour une utilisation en micro ruban sont [9] :

- Une résistance mécanique suffisante, car ils doivent souvent supporter la structure entière ;
- Une conductivité thermique suffisante pour éviter un échauffement excessif ;
- L'hydrophobie, car l'eau altère les performances du matériau ;
- Des pertes diélectriques très faibles ;
- Une dispersion faible ;

- Une faible anisotropie et un comportement linéaire ;
- Un usinage et une découpe faciles.

I.5.2 Les matériaux conducteurs

Dans une structure imprimée, les conducteurs se présentent sous la forme de ruban très mince découpé suivant différentes géométries. Les matériaux couramment employés sont le cuivre, l'argent, l'or ou l'aluminium du fait de la valeur de leur conductivité [16].

I.6 Avantages et inconvénients

Les antennes microrubans ont une structure plane. On peut donc exploiter tous les avantages de la technologie des circuits imprimés. Celles-ci présentent alors de nombreux avantages par rapport aux antennes conventionnelles.

I.6.1 Avantages des antennes microrubans

On peut énumérer les avantages suivants [9]:

- Faible poids, encombrement réduit, conformations possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse facile.
- Rayonnement en polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Antennes multi bandes, multipolarisations.
- Compatibilité avec les circuits hybrides (composants discrets rapportés sur le substrat) et les MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit, composants intégrés dans les substrats AsGa ou Si).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

I.6.2 Inconvénients des antennes microrubans [9]

- Bande passante étroite, souvent associée avec les problèmes de tolérances de fabrication.
- Généralement faible gain (6 dB).
- Sur un grand plan de masse, ces antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances (<100 W).
- Pertes de rayonnement par ondes de surfaces dans le substrat diélectrique

I.7 Techniques d'alimentation

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

I.7.1 Alimentation par ligne micro ruban

Dans ce cas d'alimentation, on relie une ligne microstrip au patch. Cette ligne lui amène de l'énergie. Il existe cependant un inconvénient dans ce type d'alimentation vu qu'elle génère un rayonnement parasite [1].

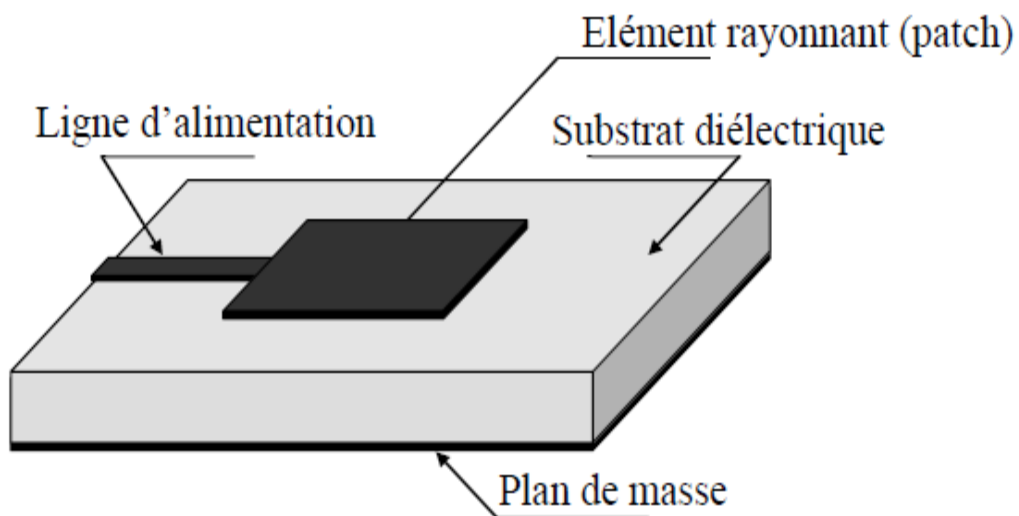


Figure I.7 : Antenne micro ruban alimentée par ligne micro ruban.

I.7.2 Alimentation par ligne coplanaire

L'élément rayonnant se trouve sur la face supérieure du substrat de fente rayonnante. La ligne d'alimentation et le plan de masse se trouvent à la même façade inférieure du substrat, figure I.8 [1].

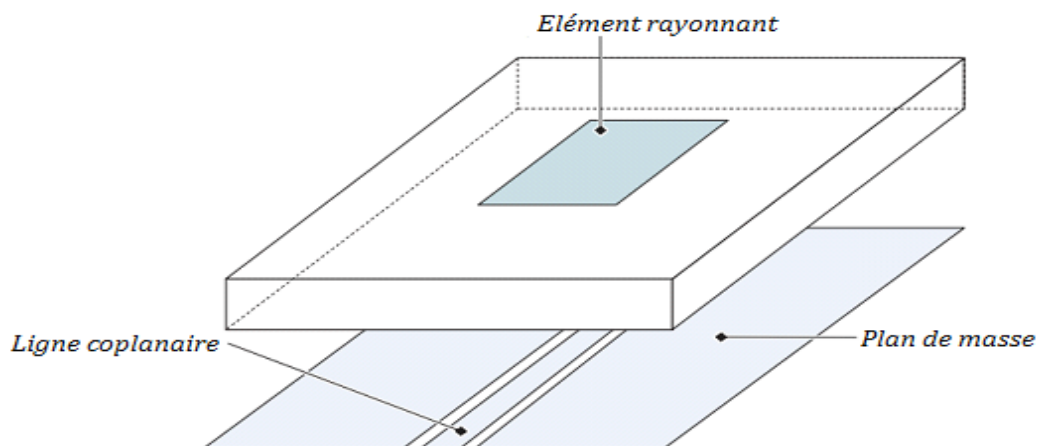


Figure I.8 : Alimentation du patch par ligne coplanaire.

I.7.3 Alimentation par sonde coaxial [8]

Un connecteur standard (SMA) est soudé au plan de masse. Ce dernier est perforé afin de permettre à l'âme centrale d'être reliée au patch en traversant le substrat diélectrique (figure I.9). Donc l'énergie est amenée par guide coaxiale. Ce genre d'antenne est facile à fabriquer, elle génère de faible rayonnement parasite et possède une faible bande passante mais comme inconvénient elle est difficile à modéliser.

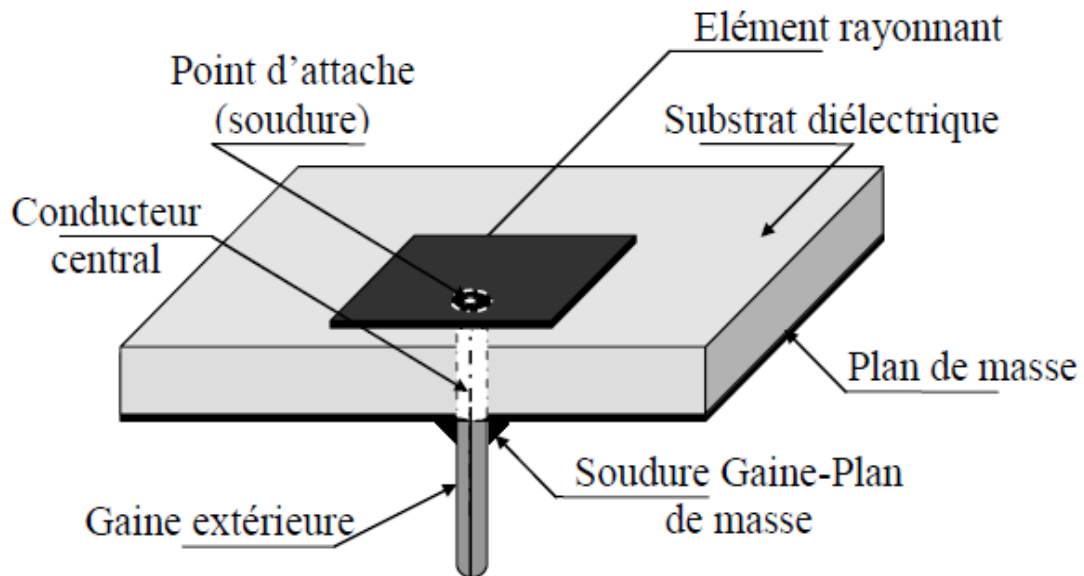


Figure I.9 : Antenne micro ruban alimentée par sonde coaxial.

I.7.4 Alimentation par fente (ou par ouverture)

Le transfert d'énergie de la ligne à l'élément se fait par couplage depuis la ligne à travers une fente (figure I.10). C'est une méthode dont le positionnement des différents éléments patch, fente, ligne micro-ruban est très délicat.

Mais elle apporte divers avantages [8] :

- isolation du circuit d'alimentation de l'antenne,
- diminution des rayonnements parasites au niveau de l'élément rayonnant,
- faible bande passante.

Mais également des inconvénients :

- difficile à mettre en œuvre,
- apparition d'un rayonnement arrière du fait que la fente se comporte comme un élément rayonnant. Pour éliminer cet inconvénient, on peut disposer sous la ligne, une plaque de substrat avec une partie métallisée sur sa face inférieure

pour créer un nouveau plan de masse.

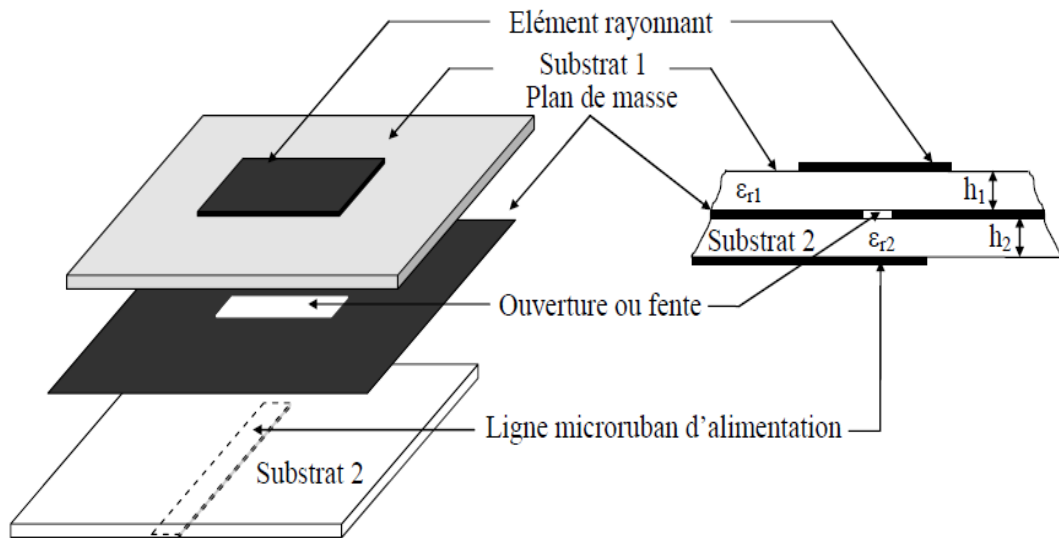


Figure I.10 : Antenne micro ruban alimentée par fente.

I.8 Application des antennes micro ruban

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimés, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications [9]. Parmi ces applications on cite [9]:

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

I.9 Conclusion

Le concept des antennes microrubans a été introduit brièvement dans ce chapitre, les avantages, les inconvénients et les caractéristiques de cette l'antenne sont déterminées par rapport à une source de référence.

Nous nous sommes également étalés sur l'étude de quelques techniques d'alimentation ont été énumérés. Quelques techniques améliorant les performances de ce type d'antennes ont été rapportées.

Chapitre II

*Les réseaux d'antennes
circulaires*

II.1 Introduction

Un réseau d'antennes est un ensemble d'antennes identiques qui se déduisent les unes des autres par translation. Ce réseau est régulier ou non. Chaque antenne peut être connectée à un générateur, aussi peuvent être assemblées en réseaux à une ou deux dimensions, augmentant ainsi le gain et la directivité et les réseaux de générateurs étant uniformes ou non [5].

Antenne de réseau circulaire, qui comprend une pluralité d'éléments d'antenne, les éléments d'antenne étant séparés les uns des autres. La technique la plus simple consiste à alimenter les éléments rayonnants par des lignes microbandes ou par sonde coaxial.

Dans ce chapitre nous présentons la description d'antenne circulaire, le géométrique d'un réseau d'antenne microruban, ainsi leurs avantages et leurs inconvénients.

II.2 Antenne circulaire

Une antenne patch microruban circulaire alimentée par sonde est présentée dans la figure II.1. Pour l'application de l'alimentation par sonde coaxial, l'épaisseur de substrat devrait être petite et la constante diélectrique devrait être assez grande de sorte que l'antenne devienne à bande étroite, en conséquence, n'importe quelle variation dans la fréquence de résonance de l'antenne deviendra plus claire, et facile à mesurer. L'alimentation par câble coaxiale est choisie pour isoler les résultats des changements physiques de l'alimentation. C'est parce que n'importe quel changement des dimensions de la structure d'antenne change la dimension de la ligne microruban et en conséquence, l'impédance d'alimentation et également la fréquence de l'antenne changera [17].

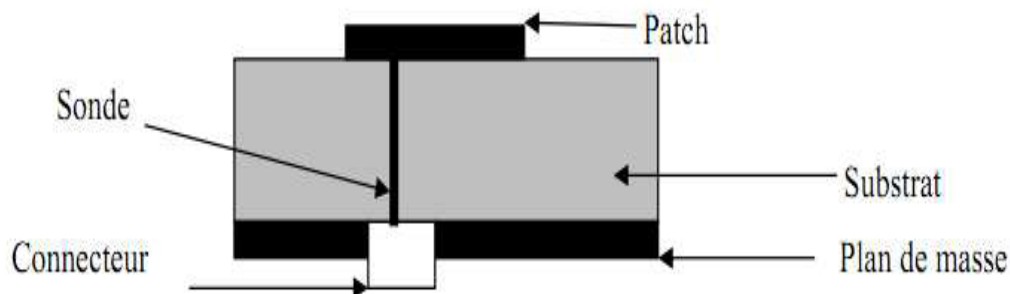


Figure. II.1 : patch antenne circulaire alimenté par sonde.

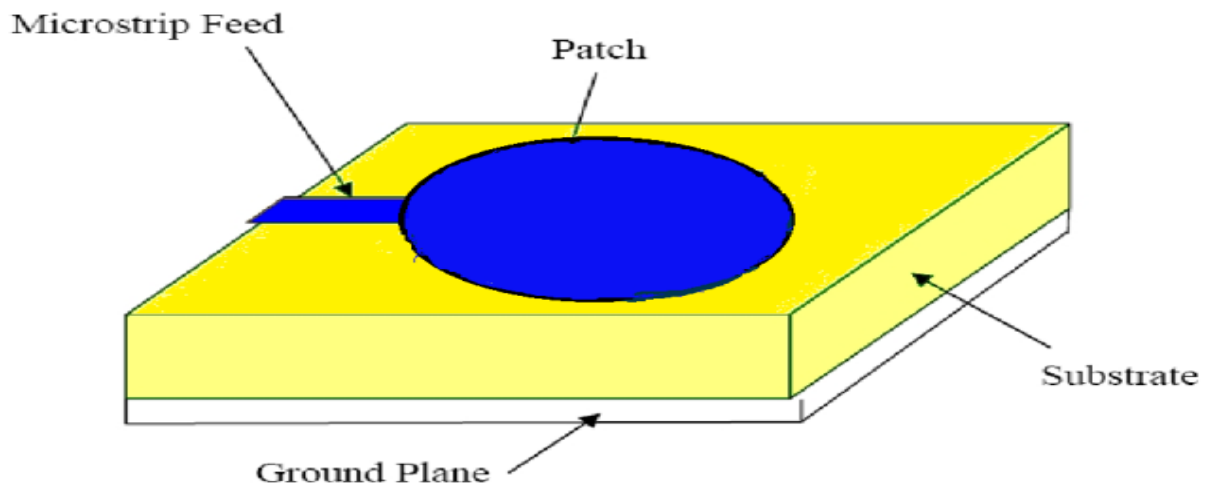


Figure. II.2: patch antenne circulaire alimenté par ligne microruban.

Du procédé de conception typique de l'antenne de microruban, la fréquence, l'épaisseur résonnante désirée et la constante diélectrique du substrat sont connus ou choisis au commencement. Dans cette conception d'antenne rectangulaire de microruban, le ϵ_r du substrat Duroid5880 diélectrique avec la tangente de perte diélectrique est choisi comme substrat avec la taille. Puis, une antenne de pièce rapportée qui fonctionne à la fréquence spécifique d'opération et peut être conçue en employant la ligne de transmission équation modèle. Insérer l'alimentation utilisée comme méthode d'alimentation [18].

Formules utilisées pour le rayon calculateur (a) [18] :

$$a = F \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi F \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{-1/2} \quad (\text{II.1})$$

Là où :

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{II.2})$$

Selon Balanis, la relation de la fréquence de résonance d'une antenne patch circulaire en fonction du rayon a, l'épaisseur de substrat h et la constante diélectrique relative ϵ_r , en son mode dominant TM_{110} [10]:

$$(f_r)_{110} = \frac{1.2412 c}{2 \pi a \epsilon \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{II.3})$$

Où : $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ est la vitesse de la lumière dans l'espace libre, et a_e est le rayon effectif de l'antenne.

$$a_{\text{eff}} = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln\left(\frac{\pi a}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{-1/2} \quad (\text{II.4})$$

II.3 Généralités sur les antennes réseaux

Afin d'appréhender l'effet "réseau", il semble nécessaire de définir quelques notions importantes à savoir le facteur de réseau, le pointage angulaire du faisceau principal et le gain du réseau.

Par définition, un réseau d'antennes est l'association régulière d'antennes identiques pour créer un rayonnement de forme particulière. La puissance rayonnée est donc plus grande car on multiplie le nombre d'éléments rayonnants. Le rayonnement résulte de l'addition en phase des champs provenant de chaque élément. Le facteur de réseau traduit la modification apportée au diagramme de rayonnement lors de la mise en réseau de plusieurs antennes identiques.

Le rayonnement d'antennes microruban isolées est peu directif. Pour des applications satellites qui demandent un fort gain, il est nécessaire d'augmenter les dimensions électriques de l'antenne en réalisant un réseau d'antennes. [17]

II.3.1 Contraintes de réalisation du réseau d'antennes

Plusieurs contraintes sur le réseau d'antennes sont à prendre en compte afin d'assurer la portabilité et le fonctionnement du système [17] :

- le nombre d'antennes du réseau doit être limité afin d'assurer une complète portabilité et la topologie de réseau doit être choisie pour être la plus compacte possible.
- la distance entre deux antennes successives doit être supérieure à $0.5\lambda_0$ afin de s'assurer que les sources de bruit au niveau de chaque récepteur soient bien décorrélées. On doit en outre s'assurer que cette distance est suffisante pour éviter un couplage entre les antennes qui dégraderait le diagramme de rayonnement.
- chaque branche est composée d'un sous-réseau d'antennes et non d'une antenne seule afin de favoriser le bilan de liaison.

Ces contraintes de réalisation du réseau d'antennes posées, on peut désormais s'intéresser aux différentes formes de réseaux afin de sélectionner celui qui convient pour l'application visée.

II.3.2 Lobes de réseau [2]

L'étude détaillée du facteur de réseau qui est à l'origine de l'apparition des lobes de réseau, nous permet de tirer quelques conclusions.

Il existe plusieurs lobes de réseau répartis périodiquement avec une largeur inversement proportionnelle au pas du réseau. Si ces lobes apparaissent simultanément dans le domaine visible, ils seront une source d'ambiguïté sur la direction de visée d'une cible. Ils sont appelés encore lobes d'ambiguïté, le choix d'un pas suffisamment petit, permettra de les éviter, cependant, ceci entraîne :

- une difficulté de réalisation due aux faibles dimensions de l'antenne,
- une augmentation du couplage entre éléments, ce qui peut altérer considérablement le diagramme de rayonnement du réseau.

Nous sommes amenés à chercher un compromis qui évite à la fois l'apparition des lobes d'ambiguïté tout en conservant le maximum d'indépendance des diagrammes élémentaires et permet un non chevauchement des sources. Cette condition est assurée par le choix du pas de réseau (d), généralement donné par :

$$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1 + \sin(\theta_{\max})} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

θ_{\max} : angle de l'ouverture maximale du domaine à explorer.

II.3.3 Réseau circulaire [19]

Soit le réseau d'antenne circulaire uniforme de la figure II.3, il se compose de M éléments isotopes uniformément espacés sur un cercle de rayon R . La pondération de chaque élément est donnée par :

$$W_l = A_l e^{j\alpha_l}, \quad l=1, 2, \dots, M \quad (\text{II.6})$$

A_l représente l'amplitude de l'élément l , $k = 2\pi/\lambda$ est le nombre d'onde et α_l est la phase de l'élément l . En tenant compte du fait que les éléments sont uniformément espacés, l'angle de chaque élément dans le plan horizontal est donné par :

$$\Phi = 2\pi \frac{(l-1)}{M}, \quad l=1, 2, \dots, M \quad (\text{II.7})$$

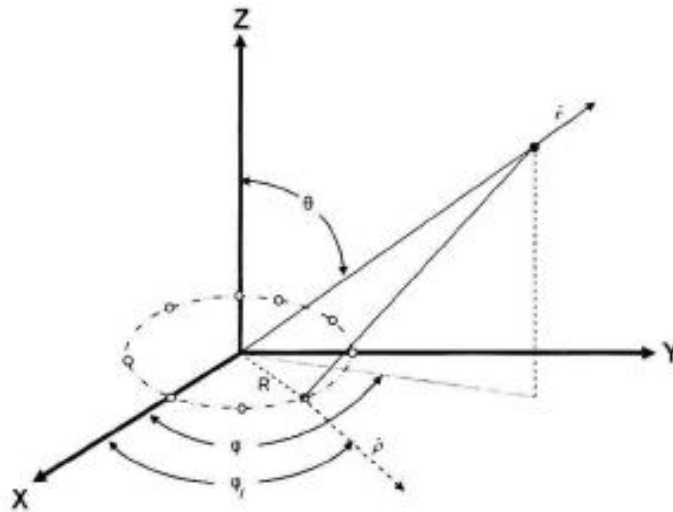


Figure. II.3 Réseau uniforme circulaire de rayon R.

En prenant le centre du réseau comme origine des phases, le facteur réseau FR est donné par :

$$FR(\theta, \varphi) = \sum_{l=1}^M A_l e^{j(\alpha_l - \beta_l)} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$\beta_l = -kR \cos(\varphi_0 - \varphi_l) \sin(\theta_0) \quad (\text{II.9})$$

Pour orienter le lobe principal du réseau circulaire vers un angle (θ_0, φ_0) , il suffit de choisir le déphasage de l'élément l comme :

$$\alpha_l = kR \cos(\varphi_0 - \varphi_l) \sin(\theta_0) \quad (\text{II.10})$$

Comme exemple, on considère un réseau circulaire de $M=8$ éléments et de rayon $0,5\lambda$ et on calcule la pondération de sorte à orienter le lobe principal vers l'angle $\varphi_0 = 45^\circ$ et $\theta_0 = 90^\circ$. Le facteur réseau résultant est illustré en trois dimensions dans la figure II.4.

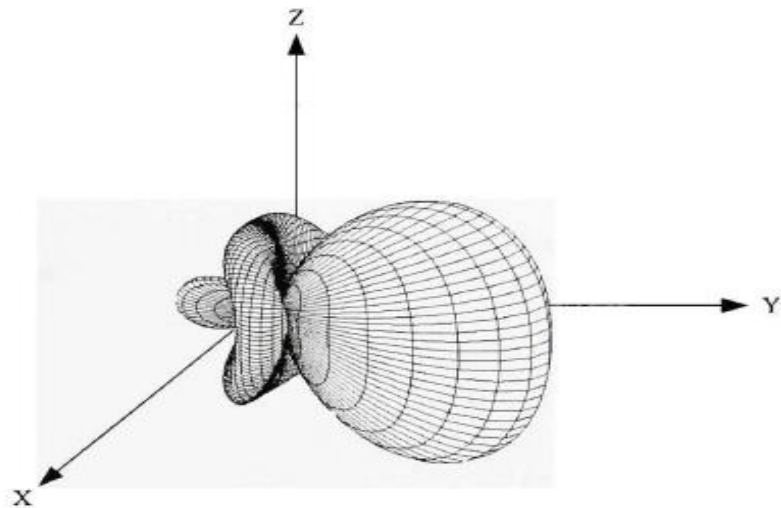


Figure. II.4 Réseau circulaire à 8 éléments, lobe principal dans la direction $(90^\circ, 45^\circ)$.

II.4 Type de réseaux d'antennes patches [9]

L'utilisation d'une antenne imprimée unitaire est insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposé, pour améliorer les performances de ces antennes, on utilise une structure multicouche pour augmenter la bande passante jusqu'à 70 % et associer les différents éléments rayonnants pour former un système appelé réseau, permettant de compenser les limitations des caractéristiques d'une antenne seule et jouer sur de nombreux facteurs tels que l'espacement et la phase des patches et la taille du plan de masse, pour avoir un gain plus élevé et un lobe principal conforme. La Figure II (5, 6, 7) montre trois configurations de réseaux d'antennes: réseaux linéaires, réseaux planaires et réseaux circulaires.

II.4.1. Antenne en réseau linéaire

Pour un réseau linéaire, les éléments rayonnants sont placés l'un après de l'autre par des déplacements parallèles sur une même droite comme montré dans la figure II.5 ci-dessous.

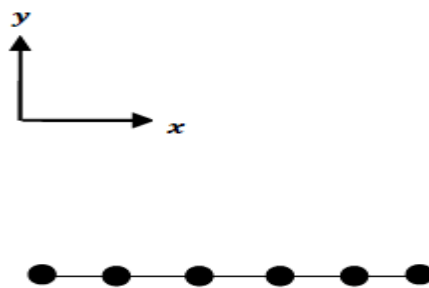


Figure. II.5 : Réseau linéaire.

II.4.2. Antenne en réseau plan

Pour un réseau plan, les éléments rayonnants se déduisent l'un de l'autre par des translations parallèles sur le même plan Figure II.6.

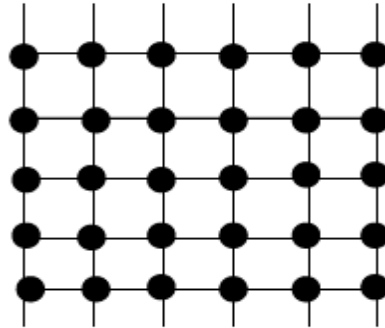


Figure. II.6 : Réseau planaire.

II.4.3. Antenne en réseau circulaire

L'antenne constituée d'un groupement d'éléments rayonnants identiques dans lesquels chaque ensemble de points est placé sur un cercle Figure II.7.

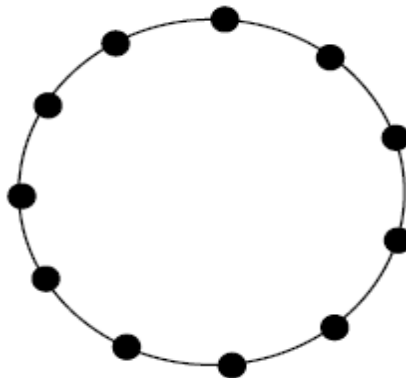


Figure II.7 : Réseau circulaire.

II.5 Avantages et inconvénients de la mise en réseau d'antennes

La mise en réseau d'antennes élémentaires présente quelques avantages intéressants, à savoir [17] :

- une augmentation du gain par rapport à l'antenne élémentaire
- une plus forte directivité que l'antenne élémentaire
- une possibilité de choisir le déphasage régulier entre les éléments pour fixer l'orientation du faisceau (pointage angulaire du faisceau principal)
- une flexibilité du mode d'alimentation avec la possibilité de faire varier son amplitude et sa phase pour ainsi obtenir un réseau d'antennes reconfigurables

Cependant, le couplage entre les éléments rayonnants est à analyser avec précaution car il modifie les caractéristiques du rayonnement et de l'adaptation. Par ailleurs, on constate que la bande passante d'un réseau d'antenne est supérieure à celle d'une antenne élémentaire du fait de ce couplage. Un autre inconvénient concerne la surface plus importante occupée par un réseau d'antenne, ce qui est assez contraignant du fait de la portabilité visée par notre application.

II.6 Géométrie de l'alimentation d'un réseau d'antennes microruban

II.6.1 Alimentation série

Dans la figure II. 8, nous avons une ligne de transmission excite en série les éléments rayonnants. Chaque ligne présente à son entrée un déphaseur, qui lui-même est lié de façon orthogonale à un guide commun d'alimentation.

La distance des branchements des lignes sur la ligne principale doit être uniforme, et les signaux doivent arriver en phase jusqu'aux déphaseurs pour ne pas s'induire dans des erreurs de phase [20].

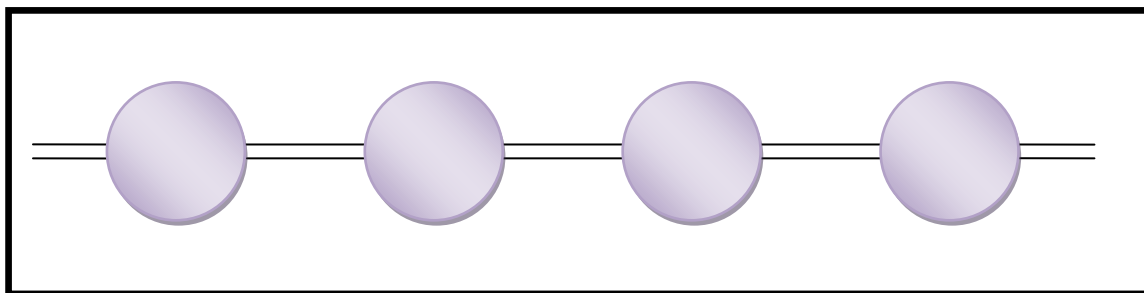


Figure. II.8 : Alimentation de série.

II.6.2 Alimentation parallèle

Un réseau parallèle (Figure II. 9), sera plus encombrant qu'un réseau série. De plus, il est à noter qu'un réseau parallèle présente des longueurs de lignes supérieures et un plus grand nombre de coudes ce qui engendre d'avantage de pertes, en particulier dans le domaine millimétrique. Un autre choix important dans la conception d'une antenne imprimée est celui du substrat diélectrique. Si la structure du réseau à 2^n éléments rayonnants qui peuvent être alimentés en parallèle par n étages de (2^{m-1}) diviseurs de puissance à chaque étage m . Afin que cette alimentation soit totalement adaptée, il est judicieux d'utiliser des diviseurs de type Wilkinson [20].

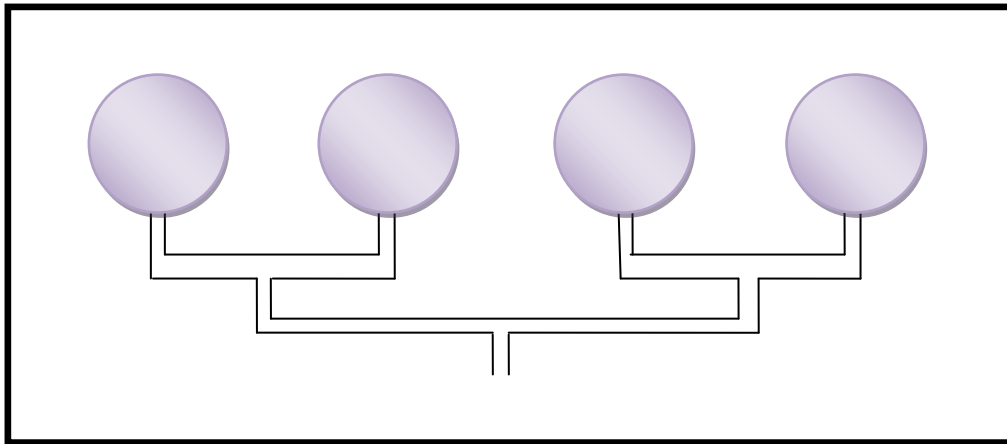


Figure. II.9 : Alimentation de parallèle.

L'alimentation parallèle est celle qui a été retenue pour notre étude car elle présente des avantages très intéressants, à savoir [17]:

- une large bande passante, les distances parcourues par chacun des éléments rayonnants sont identiques
- une possibilité d'insérer sur les voies d'accès aux éléments des composants discrets (déphaseurs, amplificateurs, atténuateurs...) afin de conformer (modifier) le diagramme de rayonnement
- une possibilité de placer le réseau d'alimentation d'un côté du plan de masse sachant que les éléments rayonnants se trouvent de l'autre côté du plan de masse (c'est le cas des antennes excités par couplage par fente).

II.7 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet de généralités sur les réseaux d'antennes qui permettent d'augmenter le gain par rapport à l'antenne élémentaire, leurs techniques d'alimentation les plus utilisées. Ainsi nous avons présenté les équations pour calcul les paramètres (fréquence, rayon et rayon effectif) d'antenne circulaire élémentaire.

Chapitre III

*Le logiciel de
simulation HFSS*

III.1 Introduction

Le logiciel que nous avons utilisé est le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) de la société ANSOFT [21] qui est un outil performant à onde électromagnétique (EM) commercial qui fait la simulation du champ d'un model arbitraires en 3D. Il intègre la simulation, visualisation, modélisation des solides, et l'automatisation dans un environnement facile à utiliser où les solutions des problèmes EM 3D sont obtenues rapidement et avec précision. HFSS emploie la méthode des éléments finis (FEM).

Nous pouvons faire avec cet outil: le calcul de paramètres S, la visualisation des champs E et H, la visualisation de diagrammes de rayonnement 3D, distribution du courant sur une surface.

Un projet HFSS est un dossier qui contient un modèle (ou plusieurs) appelé(s) **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 [22].

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à différents aspects de ce logiciel utilisé dans notre projet.

III.2 Logiciel HFSS

III.2.1 Définition

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un logiciel qui calcule le comportement électromagnétique d'une structure, pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des outils d'interprétation post-traitement [22].

III.3 Description générale des outils HFSS

ANSYS HFSS est le standard de l'industrie pour la simulation 3-D pleine onde de champs électromagnétiques. C'est l'outil indispensable pour la conception de composants haute-fréquence et haute-vitesse. HFSS propose plusieurs techniques de résolution utilisant soit la méthode éprouvée des éléments finis soit la méthode répandue des équations intégrales. Le solveur le plus approprié est sélectionné en fonction du type de simulation à effectuer [23].

III.3.1 Limites d'Ansoft

La fenêtre d'Ansoft HFSS a plusieurs panneaux facultatifs [24]:

1. Un chef de projet qui contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.
2. Un gestionnaire de messages qui nous permet de regarder toutes les erreurs ou les avertissements qui se produisent avant que nous commençons une simulation.
3. Une fenêtre de propriété qui nous montre et permet de changer les paramètres ou les attributs modèles.
4. Une fenêtre de progrès qui montre le progrès de solution.
5. Une fenêtre du modeler 3D qui contient le modèle et l'arbre de modèle pour la conception active.

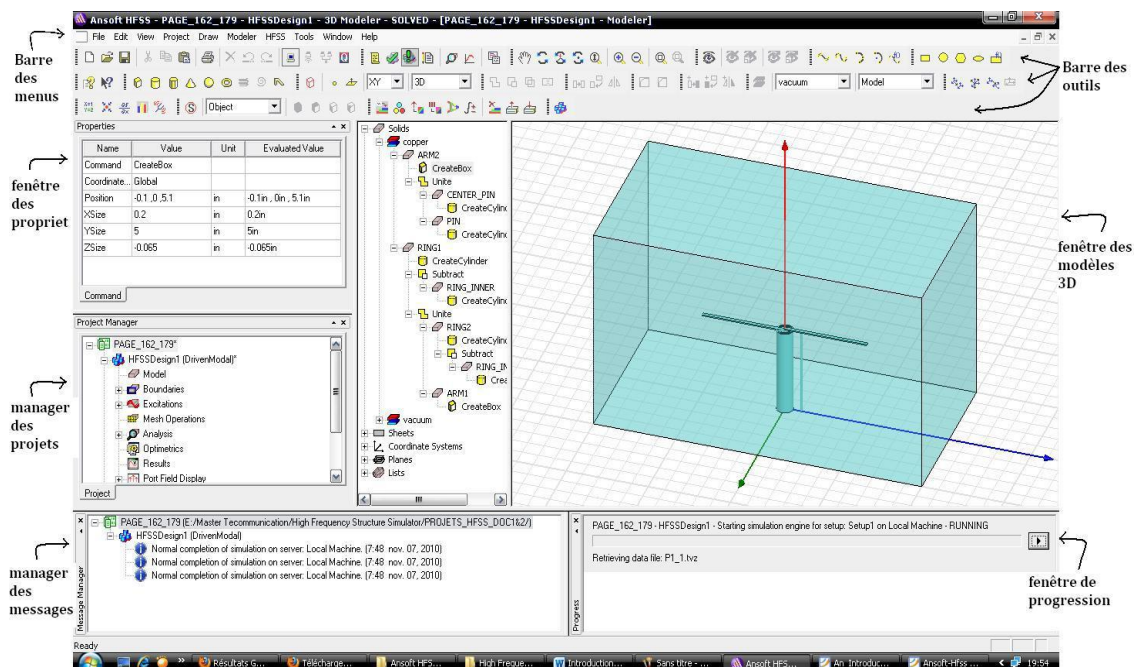


Figure III.1 : Fenêtre de logiciel HFSS pour model 3D.

III.3.2 Project Manager

Cette fenêtre regroupe toutes les étapes de conception d'une conception d'un modèle sous HFSS (Figure .III.2)

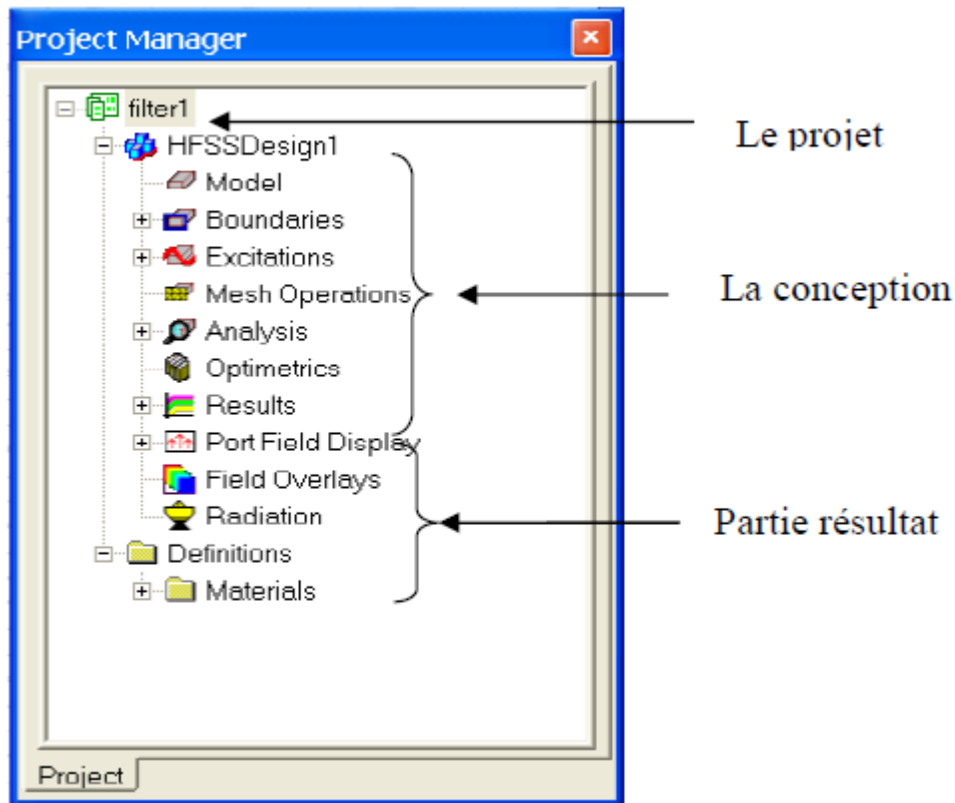


Figure III.2: Arbre de gestion d'une structure sous HFSS [25].

III.3.3 Fenêtre de la propriété

Cette fenêtre regroupe toutes les propriétés d'un modèle sous HFSS (Figure .III.3)

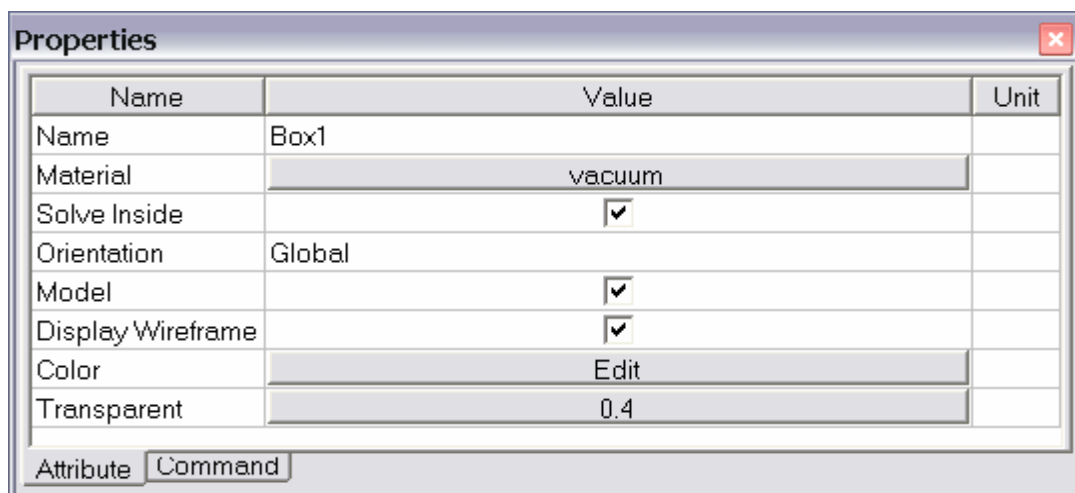


Figure III.3: Représentation des propriétés [24].

III.3.4 Modeleur 3D Design Arbre

Cette fenêtre regroupe toutes les Matériels d'un modèle sous HFSS (Figure .III.4)

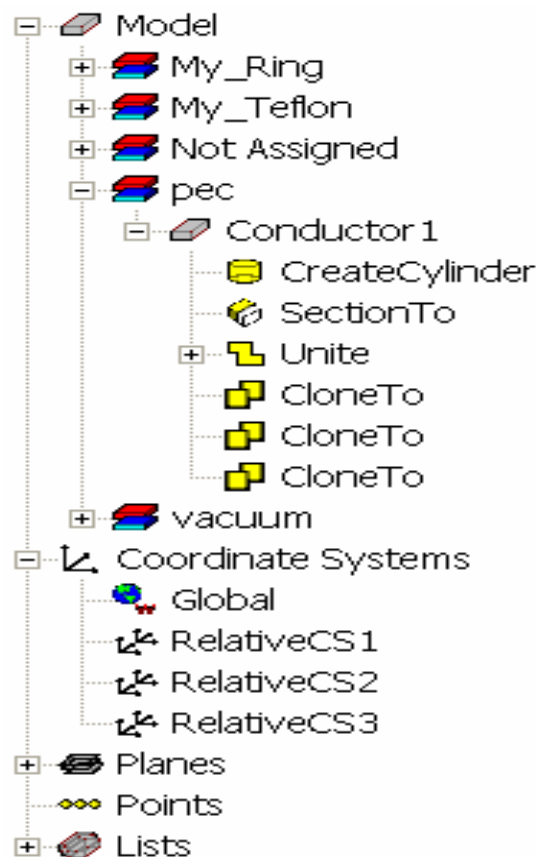


Figure III.4: Groupe de Matériel [24].

III.3.5 Barres porte-outils [24]

Les boutons de barre porte-outils sont des raccourcis pour des commandes fréquemment utilisées. La plupart des barres porte-outils disponibles sont montrées dans cette illustration de l'écran initial d'Ansoft HFSS, mais votre fenêtre d'Ansoft HFSS ne sera pas arrangée probablement de cette façon.

Nous pouvons adapter notre affichage de barre porte-outils d'une manière dont est commode pour nous. Quelques barres porte-outils sont toujours montrées ; d'autres barres porte-outils montrent automatiquement quand nous choisissons un document du type relatif. Par exemple, quand nous choisissons un 2D rapport à partir de l'arbre de projet, les 2D affichages de barre porte-outils de rapport.

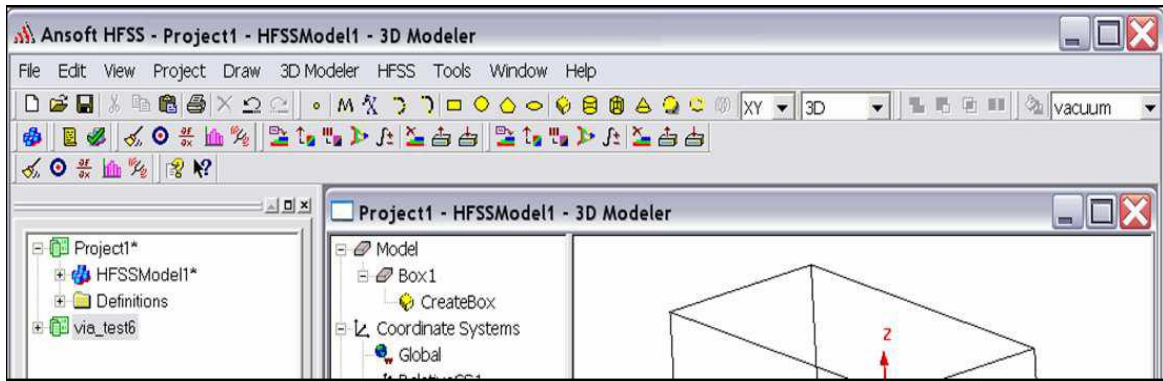


Figure III.5:Fenêtre de barre d’outils.

III.4 Processus de HFSS [25]

Le processus HFSS se déroule comme suit (figure III.6).

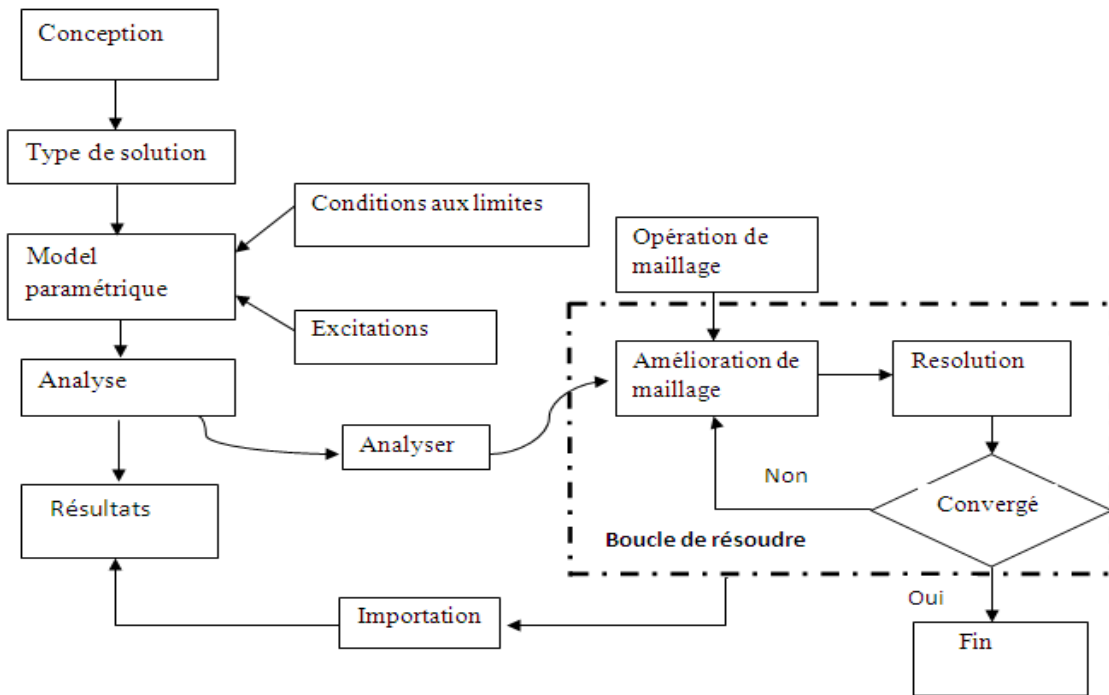


Figure III.6 : Processus HFSS.

III.5 Création des projets [25]

Sur le menu File, cliquer New. Nous spécifions le nom du projet quand nous le sauveons utiliser le chemin : File>Save ou File>Save As. Pour un projet précédemment sauvé on utilise la commande : File>Open.

Pour concevoir une structure sur HFSS, suivre ce procédé général. Noter qu'après avoir inséré une conception, nous n'avons pas besoin d'exécuter les étapes séquentiellement, mais elles doivent être accomplies avant qu'une solution puisse être produite.

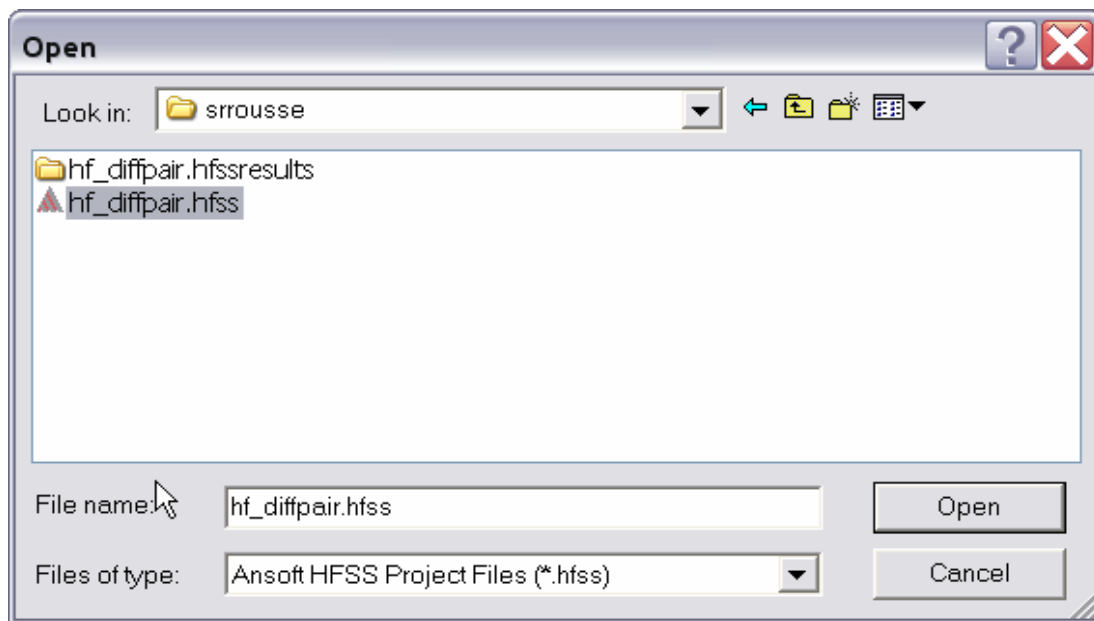


Figure III.7: Création des projets.

III.5.1 Insérer une conception de HFSS dans un projet

Sur le menu de projet, cliquer sur Insert HFSS Design.

La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet. Elle est appelée *HFSS Design* par défaut, où n est l'ordre dans lequel la conception a été ajoutée au projet. La fenêtre du modéliseur 3D apparaît à la droite de la fenêtre de gestion de projet. Nous pouvons maintenant créer modèle de la géométrie.

Nous pouvons choisir le **Rescale** à la nouvelle option d'unités pour adapter les dimensions aux nouvelles unités. Dégager le **Rescale** à la nouvelle option d'unités (par défaut) pour convertir les dimensions en nouvelles unités sans changer la structure. Cliquer sur OK pour appliquer les nouvelles unités au modèle.

III.5.2 Placement des unités du modèle de la mesure

Nous pouvons alors choisir de montrer les dimensions du modèle dans les nouvelles unités, ou adapter les dimensions du modèle aux nouvelles unités. Pour placer les unités du modèle de la mesure :

1. Sur le menu du modéliseur 3D, cliquer sur **units**. La zone de dialogue d'unités de modèle d'ensemble apparaît (figure III.8).
2. Choisir les nouvelles unités pour le modèle à partir de la liste déroulante d'unités choisies.

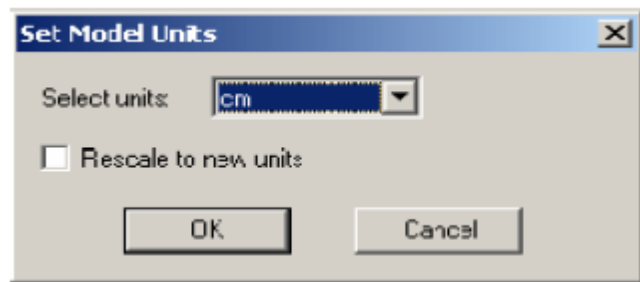


Figure III.8 : Sélection des unités.

III.5.3 Dessiner un modèle

Pour créer une structure en 3D il suffit de la dessiner avec les outils mis à disposition par le logiciel. Ici, nous ne décrivons que les parties les plus difficiles à mettre en œuvre.

Vous pouvez créer les objets 3D en employant les commandes de l'aspiration de HFSS (HFSS's>Draw> commands). Des objets sont dessinés dans la fenêtre du modéliseur 3D (figure III.9).

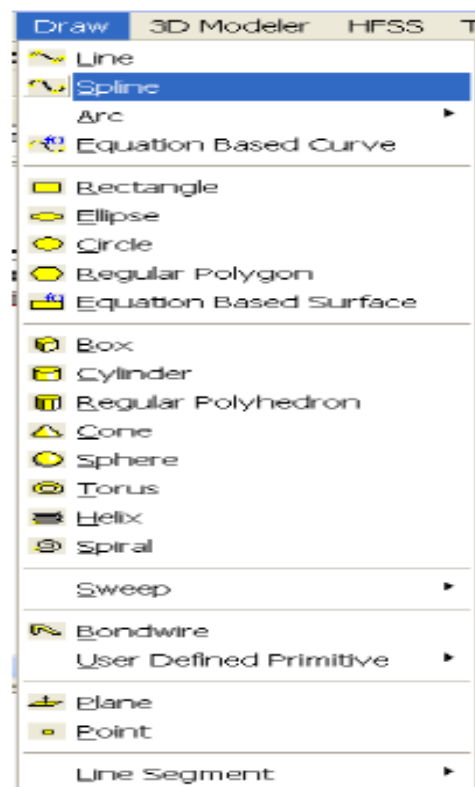


Figure III.9 : Fenêtre de gestion des différents modèles à dessiner sur HFSS.

III.5.3.a Utilisation des variables du projet

HFSS nous permet de définir les variables pour les associer à certains paramètres de la structure, comme les dimensions, les propriétés des matériaux... (Figure III.10).

L'utilisation des variables pour associer les dimensions simplifie les éventuels changements de ce dernier. Par exemple dans notre cas pour changer les excitations et dimensions du plot il suffit de changer la valeur de la variable correspondante.

Pour déterminer une variable, il faut sélectionner **Project > Project Variables** et entrer son nom, sa valeur et son unité. Une fois qu'une variable a été définie on peut utiliser son nom en place de sa valeur. HFSS nous permet aussi d'utiliser des fonctions mathématiques de variables définies.

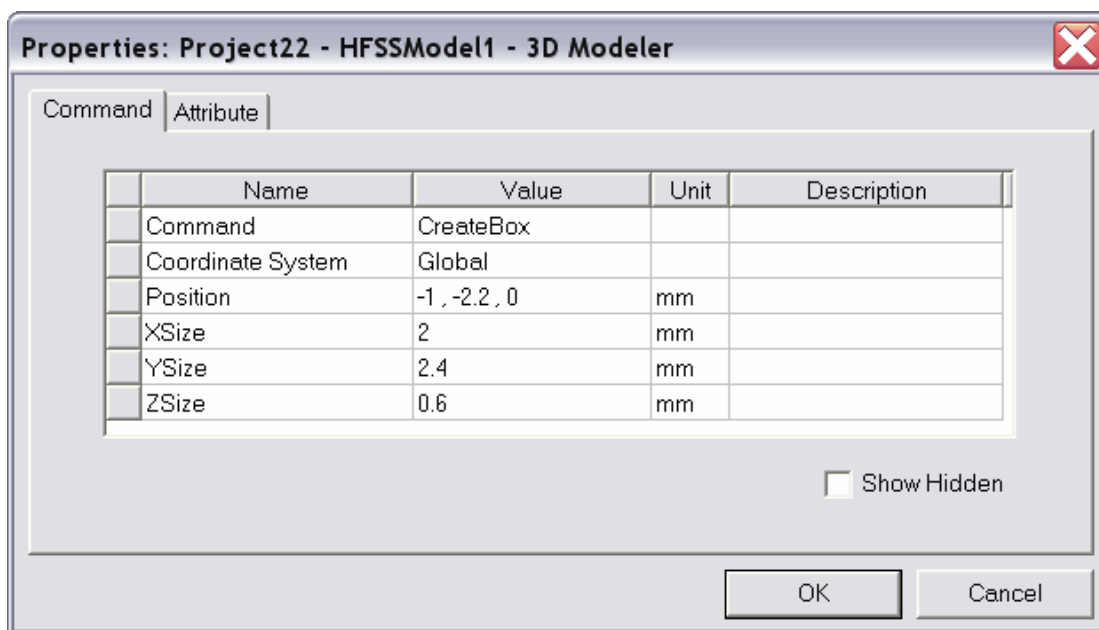


Figure III.10: Utilisation des variables dans HFSS.

III.5.3.b Soustraction des objets (figure III.11)

Il arrive souvent que l'on cherche à éliminer quelques parties d'un objet.

- On dessine l'objet principal ainsi que les objets qu'on souhaite soustraire de celui-ci.
- On sélectionne l'objet principal.
- En appuyant sur le bouton **CTRL** on sélectionne les objets que l'on veut soustraire.



- On clique sur **Subtract**
- Objets listés dans la partie "**Tool Parts**" sont à soustraire des objets listé sous "**Blank Parts**".
- Si l'on veut que HFSS garde une copie des objets soustraits on coche l'option **Clone tool objects before subtract**.
- On appuie sur **OK**.

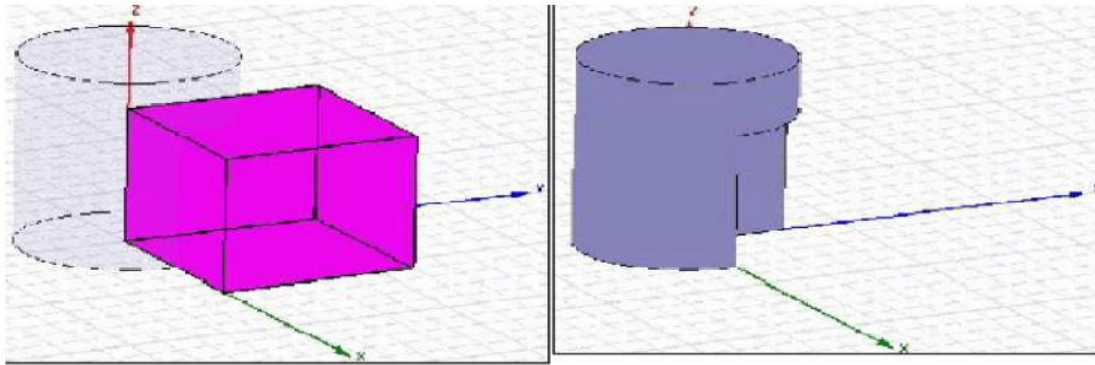


Figure III.11: Soustraction des objets.

III.5.4 Types de solution dans HFSS

La première étape de faire une simulation est de déterminer le mode de solution qu'on souhaite réaliser. Les types d'accès et les résultats obtenus dépendent du type de solution sélectionnée [22].

HFSS on son trois type de solution, chacun optimisé pour un problème spécifique [26]:

- **Driven Modal** : calcule des paramètres S. les solutions de la matrice S seront exprimés en termes de puissance incidente et réfléchié.
- **Driven Terminal** : calcule les paramètres S de ports multiconducteurs ligne de transmission. Les solutions de la matrice S seront exprimées en termes de tensions aux bornes et des courants.
- **Eigenmode** : calcule les modes propres, ou de résonances, d'une structure. La solution des Modes propre retourne les fréquences de résonance de la structure et les champs à ces fréquences de résonance.

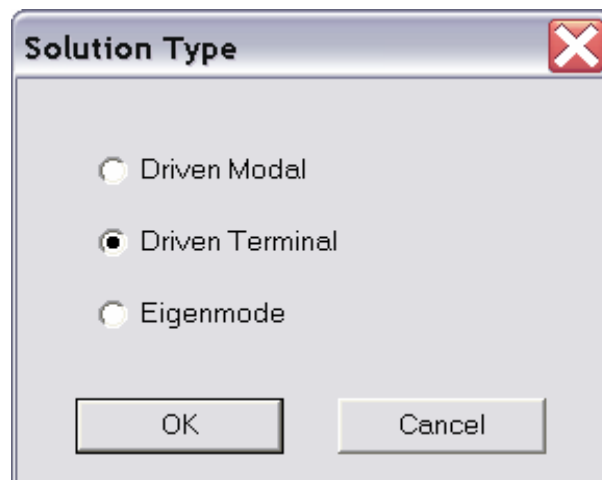


Figure III.12: Boite de dialogue du type de solution.

III.5.5 Excitation d'une structure

Après avoir dessinée une structure, pour que le logiciel soit capable de faire la simulation, il faut exciter la structure [22].

Wave Port /Lumped Port: les ports d'ondes ont pour rôle indiquer la zone où l'énergie entre et sort du conducteur comme une alternative à l'utilisation de ports d'onde (wave port) que vous pouvez appliquer ports localisés (Lumped port) à une structure, il applique une excitation interne utile au sein d'une structure [26].

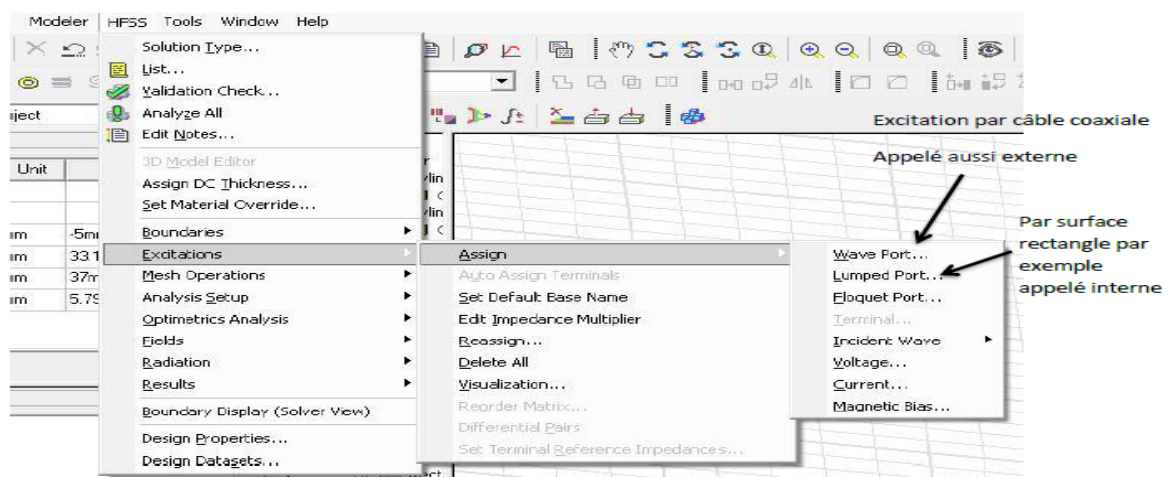


Figure III.13: Des fenêtres pour création les ports.

III.5.5.a Standards types d'excitation utilisée par HFSS [26]

Il existe différents types d'excitation, listés dans le tableau 1. Le plus souvent, on utilise des Wave Ports mais dans notre cas on ne peut pas utiliser ce type d'accès parce que les surfaces qui sont reliées aux excitations se trouvent dans la structure. Donc on utilise d'autre type d'accès (les accès localisés ou "Lumped Port" dans HFSS). Ces accès sont automatiquement adaptés aux générateurs internes et les charges de HFSS (50 ohm).

Types d'excitations	Descriptions
Wave Port	Représente la surface à travers laquelle un signal entre ou sort d'une structure.
Lumped Port	Représente la surface interne à travers laquelle un signal entre ou sort d'une structure.
Incident Wave	Représente une onde propageant impactant sur la structure.
Voltage	Représente un champ électrique constant à travers des points d'excitations.
Current	Représente un courant électrique constant à travers des points d'excitations.
Magnetic Bias	Utilisé pour définir un champ interne qui polarise un objet 3D en ferrite.

Tableau III.1: Types d'excitations proposées par HFSS.

III.5.6 Conditions aux limites

Clicker sur le bouton droit sur les surfaces ou les limites puis sélectionner [25]:

Assign boundary>(perfectE,PerfectH,Radiation,...) à savoir la structure à étudiée et ses conditions.

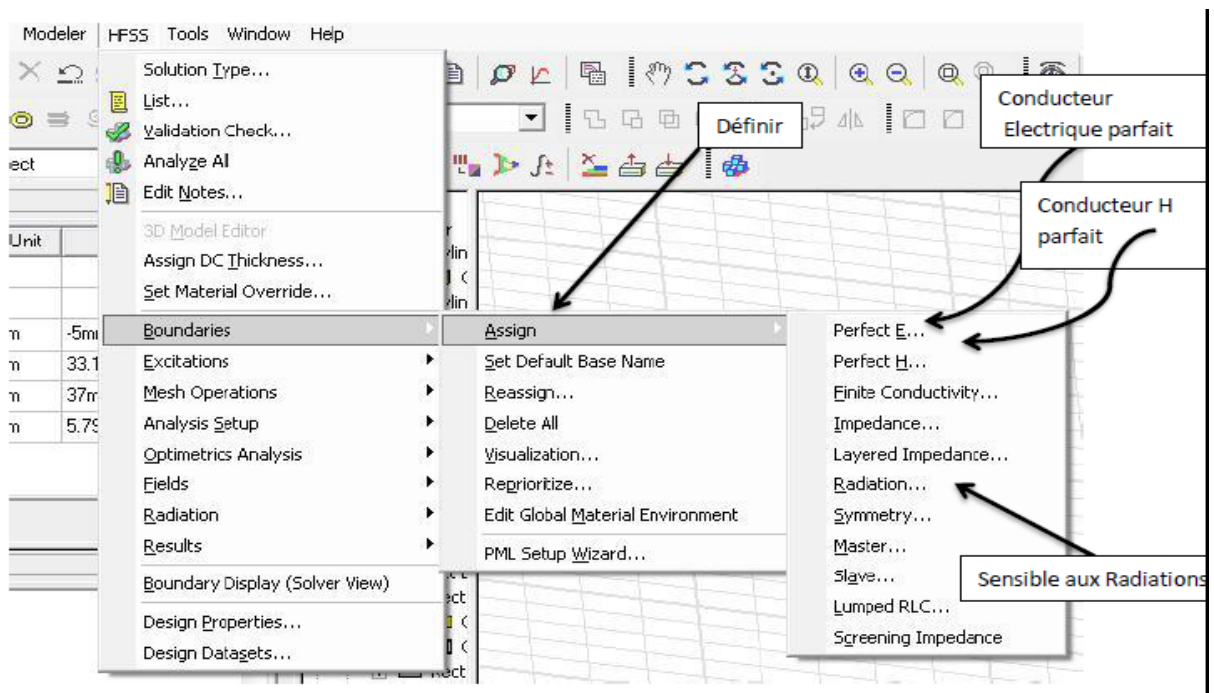


Figure III.14 : Création des conditions aux limites (boundary) [26].

III.5.7 Analyze Setup [26]

Les conditions d'analyse notamment la fréquence et son intervalle d'utilisation.

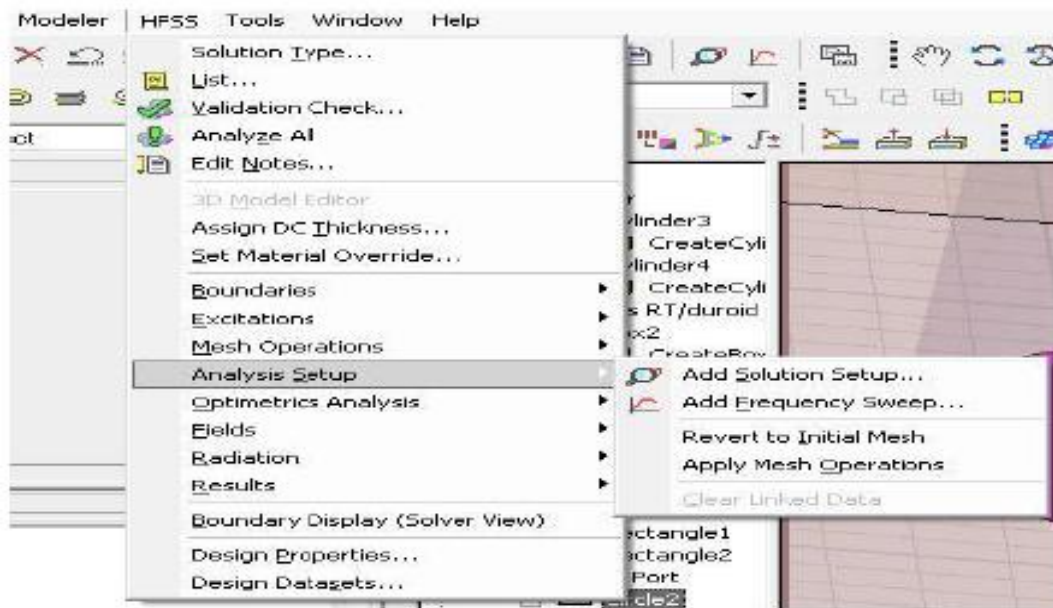


Figure III.15: Création des conditions d'analyse Setup.

✓ Add Solution Setup

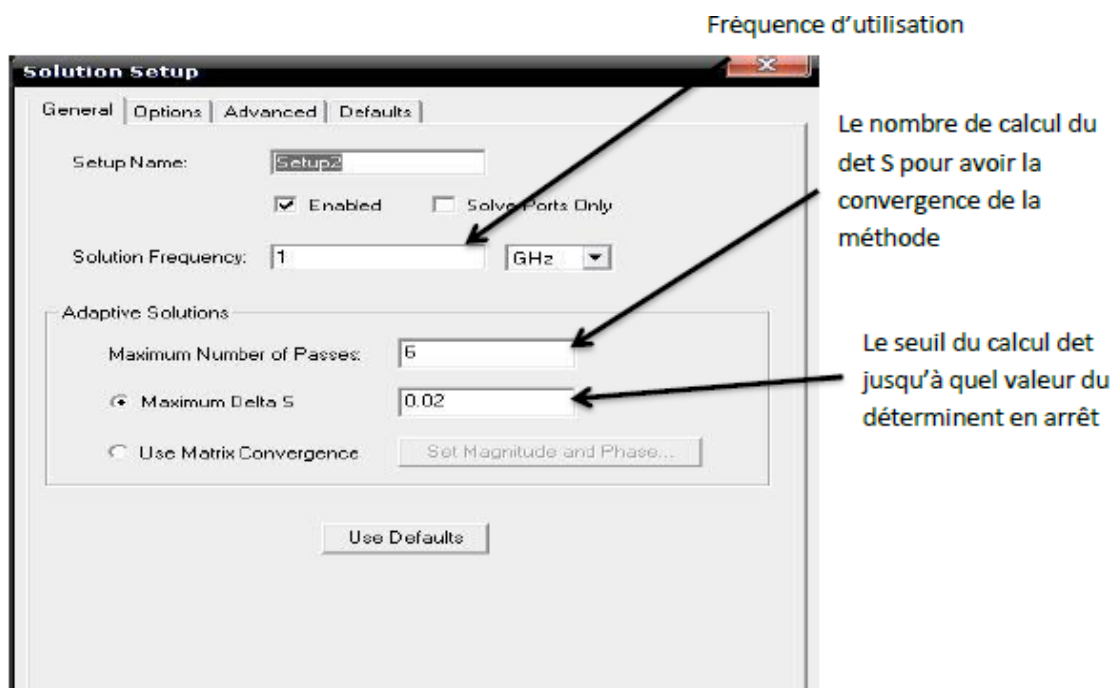


Figure III.16: Représentation de la fréquence d'utilisation.

III.5.8 Convergence

Après chaque passage adaptatif, HFSS compare le S-paramètres de la maille de courant aux résultats de la maille précédente. Si les réponses ne sont pas modifiées par la valeur définie par l'utilisateur ou Delta S, puis la solution a convergé et le maillage actuel ou précédent peut être utilisé pour effectuer un balayage de fréquence. Si la solution a convergé, alors techniquement, la maille précédente est aussi bon que le maillage actuel. Dans ce cas, Ansoft HFSS va utiliser la maille précédente pour effectuer des balayages de fréquence si elles ont été demandées [24].

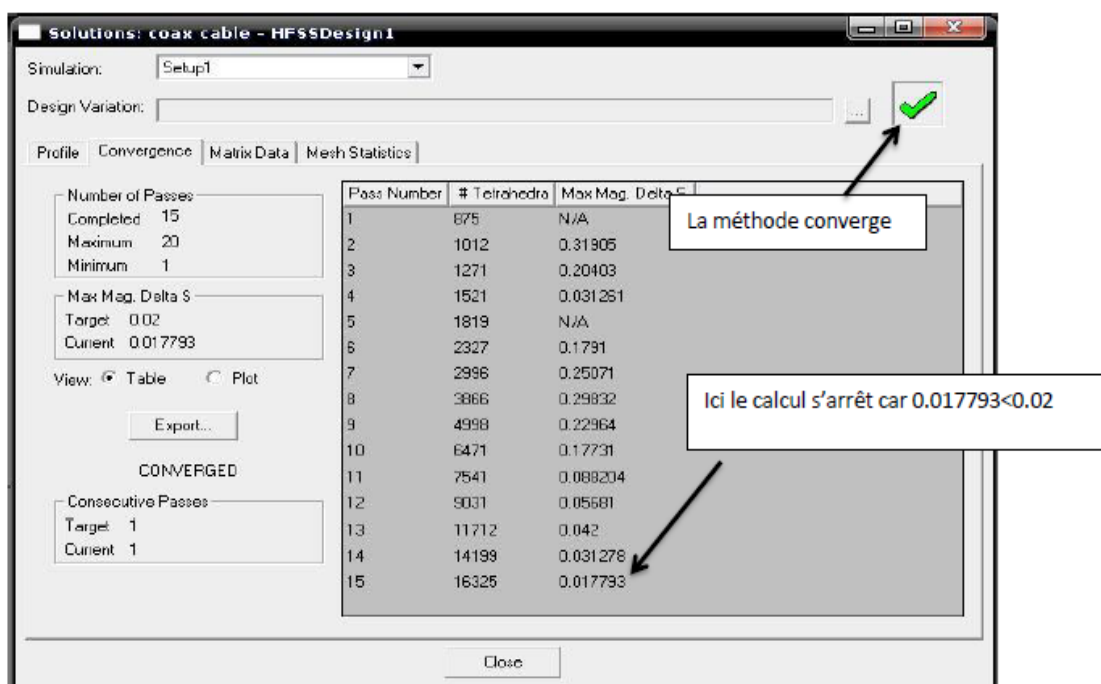


Figure III.17 : Représentation la méthode converge [26].

III.5.9 Résultats [26]

C'est la rubrique la plus intéressante parmi toutes les fonctionnalités de HFSS. Les données de traçage peuvent prendre diverses formes. Le format le plus souvent utilisé est le tracé cartésien en 2D, mais nous avons aussi la possibilité de mise au tracer en 3D.

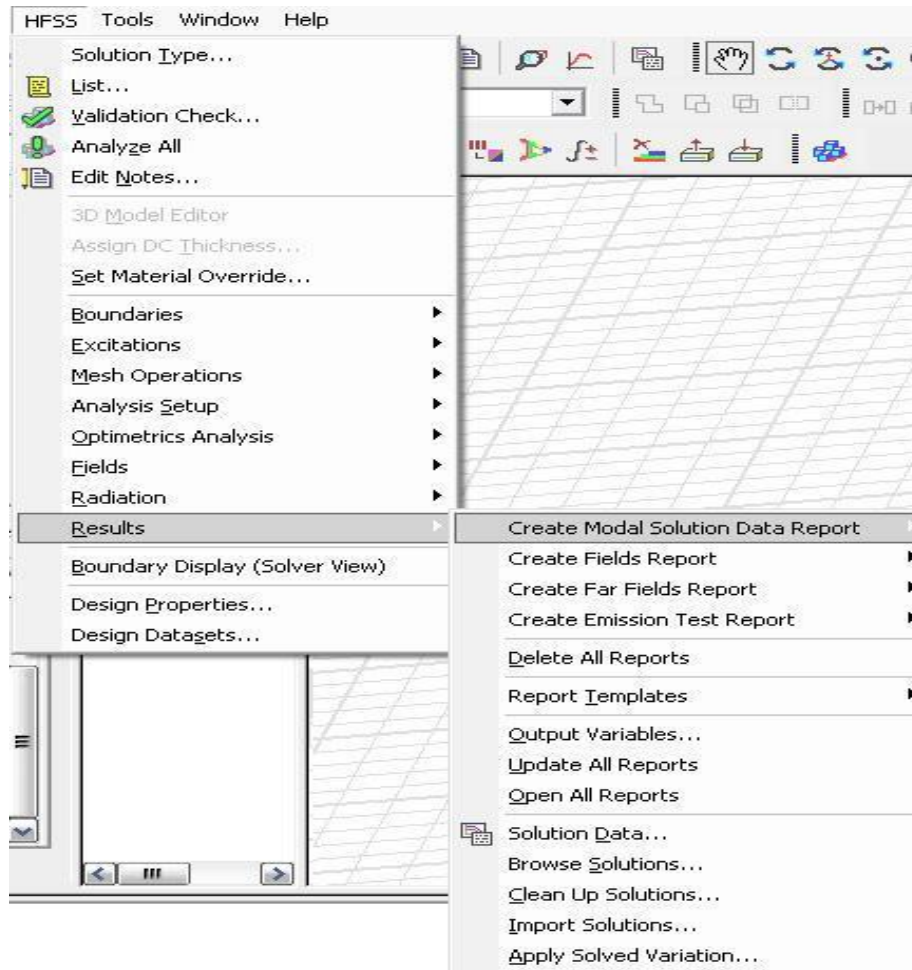


Figure III.18 : Représentation tous les options crée les résultats de simulation.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait un aperçu sur le logiciel de simulation 2D ou 3D en HFSS. Il peut paraître très convivial mais nous nous sommes rendu compte qu'il fallait rester prudent quant à son utilisation. En effet, comme nous avons pu le voir précédemment, les choix du type d'excitation, de la méthode de simulation et les interprétations doivent être maîtrisées pour obtenir des résultats valables dans un domaine de fréquence donné.

Chapitre IV

*Conception et
simulation d'un réseau
d'antenne circulaire*

IV.1 Introduction

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

Nous présentons dans ce chapitre la phase de conception des antennes à un seul élément rayonnant et d'un réseau d'antennes de forme circulaire sur un substrat de faible constante diélectrique ainsi que les résultats de simulation utilisant deux types d'alimentation : par câble coaxiale et par ligne microruban.

IV.2 Conception d'un seul patch circulaire

IV.2.1 Calcul des paramètres géométriques de l'antenne

Le substrat choisi dans ce travail est le Duroid 5880 dont la constante diélectrique est la plus basse ($\epsilon_r = 2.2$) avec des pertes très faibles et d'épaisseur 1.6 mm. La fréquence d'utilisation est de $f_r = 3.5$ GHz. On a calculé le rayon du patch circulaire en utilisant les équations (II.1) et (II.4) du chapitre II (tableau VI.1) et Matlab.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	Rayon a (mm)	Rayon effectif a _{eff} (mm)
Duroid 5880	2.2	1.6	15.963	17

Tableau IV.1 : Paramètres géométriques de l'antenne circulaire conçue sur le Duroid 5880.

IV.2.2 Résultats de simulation

Dans cette partie, on a conçu et simulé une antenne à un seul élément rayonnant sur le substrat Duroid 5880 en utilisant deux types d'alimentation (par ligne microruban et câble coaxial). Dans le but d'améliorer l'adaptation, la largeur de la bande passante (B.P) de l'antenne et augmenter le gain, on a réalisé des encoches et des fentes sur le patch.

IV.2.2.a Alimentation du patch par ligne microruban

Les paramètres géométriques et caractéristiques d'un seul patch alimenté par une ligne micro ruban sont présentés dans le tableau IV.2 et les figures IV.1-IV.6 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHz)	a_e (mm)	S(1,1) (dB)	Gain (dB)	Bande passante (B.P) (-10dB) (MHz)	Bande passante (B.P) (-3dB) (MHz)	Plan de masse (mm ²)	Rendement de rayonnement (η) (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.09	17	-22.10	2.88	109.3	380	60 x 70	95

Tableau IV.2 : Paramètres de l'antenne circulaire Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour $h=1.6\text{mm}$.

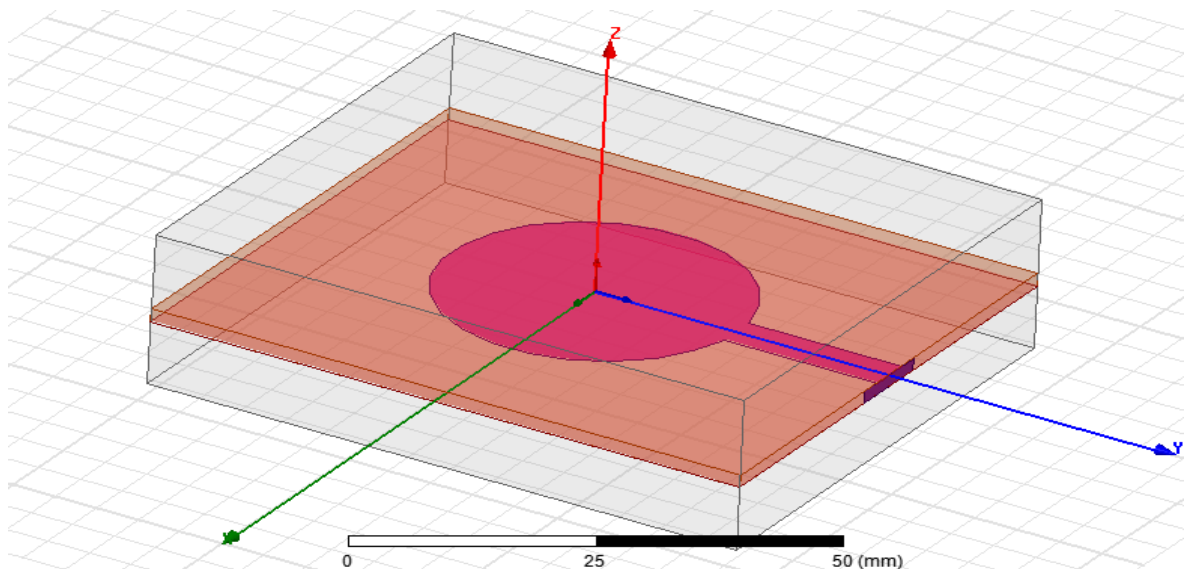


Figure IV.1 : Géométrie de l'antenne circulaire Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

- La largeur (W) et la longueur (L) pour la ligne microruban et l'impédance $Z_0=50 \Omega$ de ce patch sont:

$$\left\{ \begin{array}{l} W= 4.87 \text{ mm} \\ L= 20.2 \text{ mm} \end{array} \right.$$

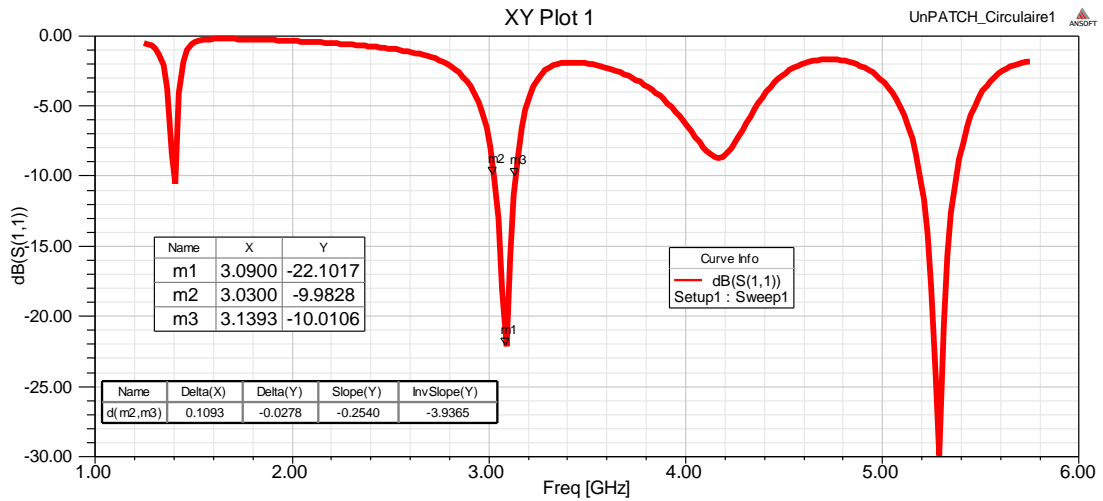


Figure IV.2 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

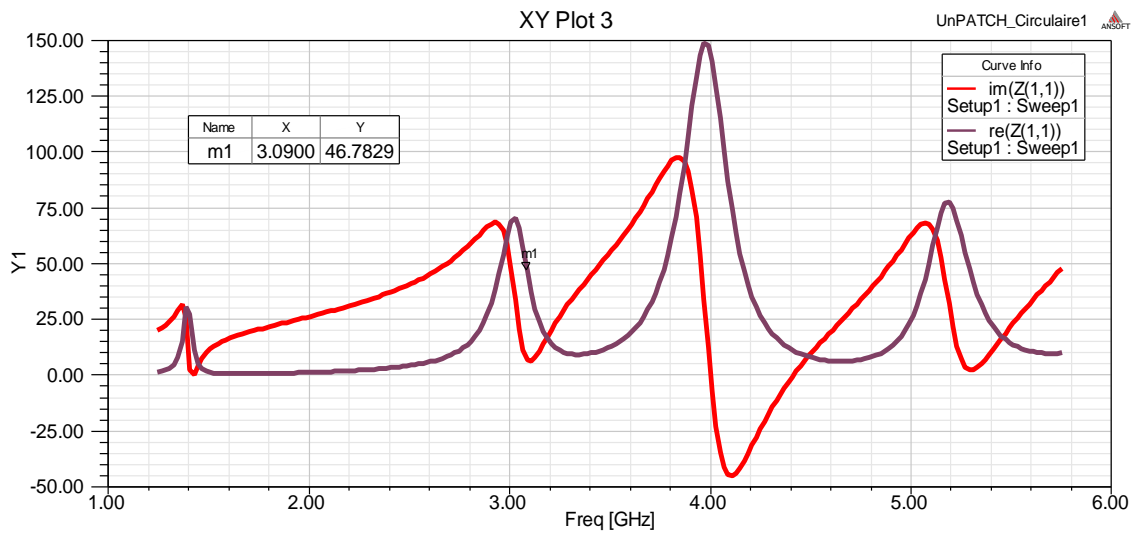


Figure IV.3 : Impédance d'entrée du patch conçu Z(1,1).

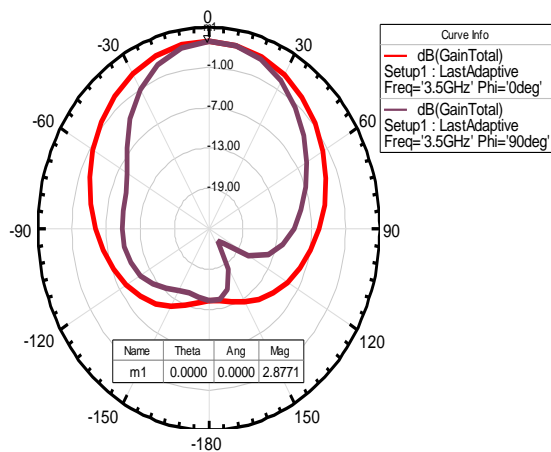


Figure IV.4 : Diagramme de rayonnement 2D du gain.

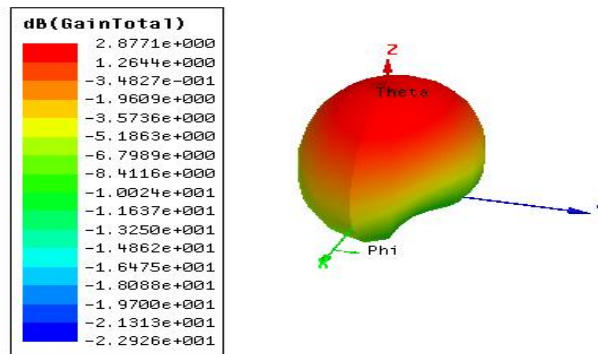


Figure IV.5 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain.

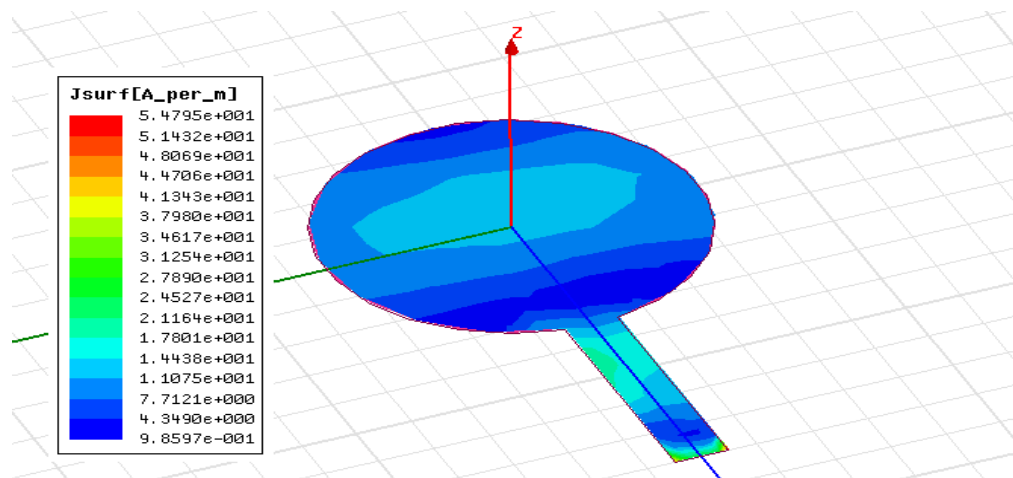


Figure IV.6 : Distribution du courant de surface sur le patch circulaire pour f=3.5GHz.

IV.2.2.b Alimentation du patch par une sonde coaxiale

Les paramètres géométriques et caractéristiques (le coefficient réflexion $S(1,1)$, la fréquence résonance, l'impédance d'entrée Z_{11} , le gain et le diagramme de rayonnement) d'un seul patch alimenté par une sonde coaxiale sont montrés dans le tableau IV.3 et les figures IV.7-IV.11 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{désire}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	S_{11} (dB)	a_e (mm)	Gain (dB)	B.P -10dB (MHZ)	B.P -3dB (MHZ)	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	4	-16.55	14.02	6.28	111.4	369.3	37.6x37.6	94

Tableau IV.3 : Paramètres de l'antenne circulaire Duroid excitée par une sonde coaxiale pour h=1.6mm.

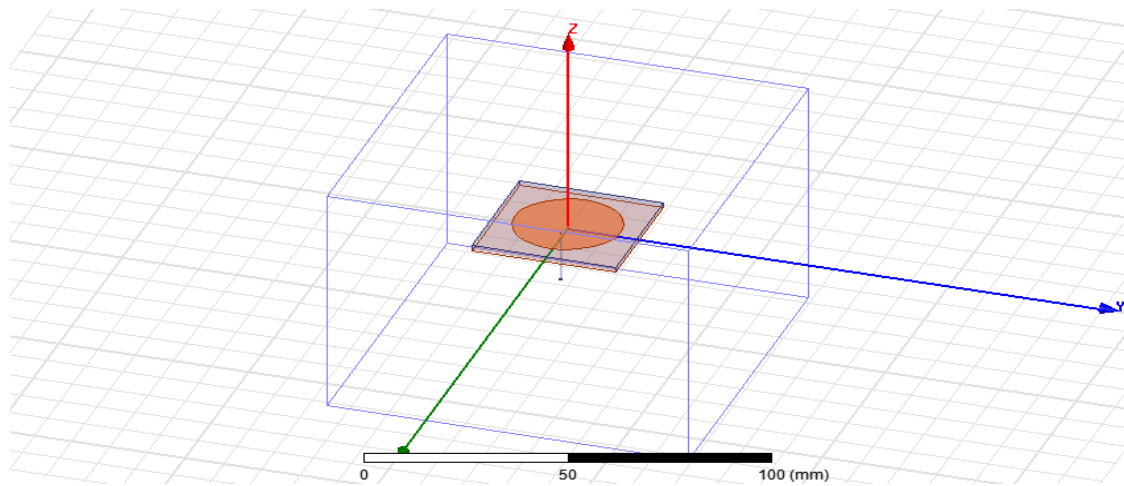


Figure IV.7 : Géométrie de l'antenne circulaire Duroid 5880 en 3D alimentée par une sonde coaxiale.

- Les dimensions de la ligne coaxiale (rayon extérieur et rayon intérieur + la longueur de la ligne coaxiale), sont :

- ┌ Rayon intérieur=0.071mm.
- ├ Rayon extérieur=0.243mm.
- └ La longueur de la ligne=14.29mm.

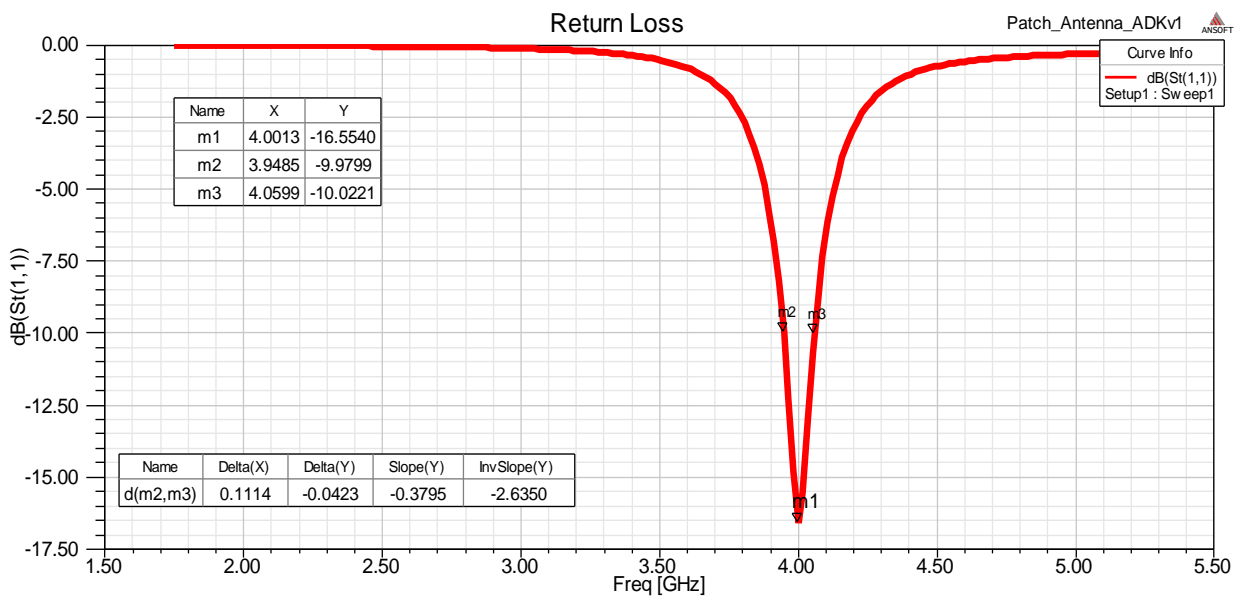


Figure IV.8 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

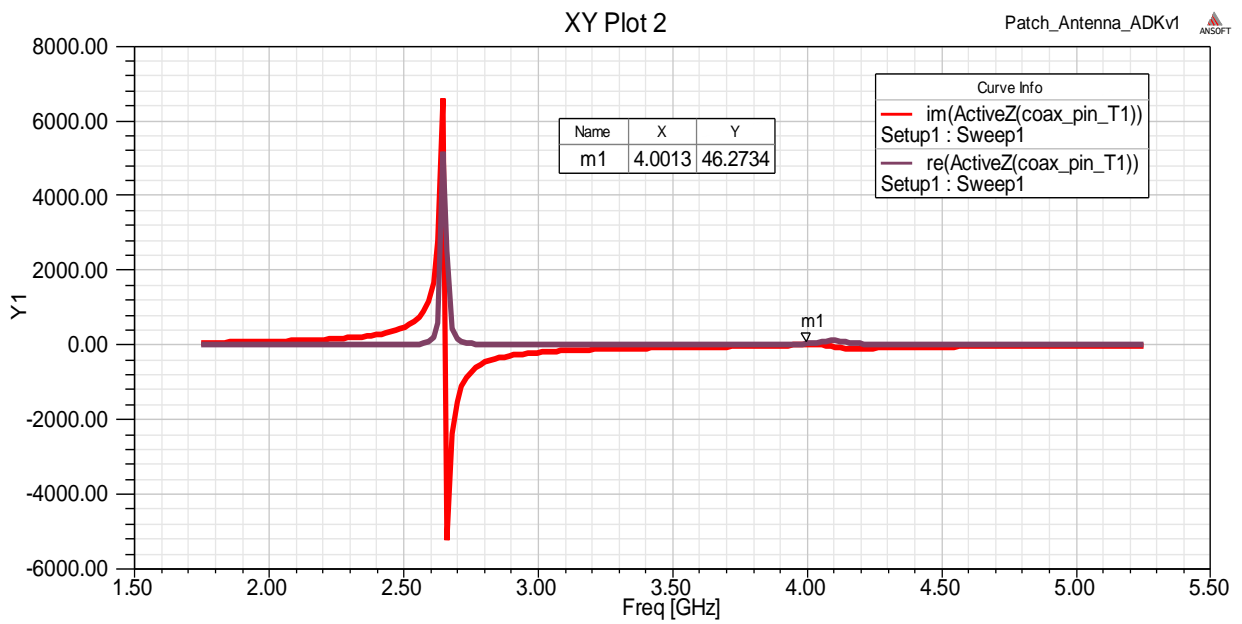


Figure IV.9 : Impédance d'entrée du patch conçu Z (1,1).

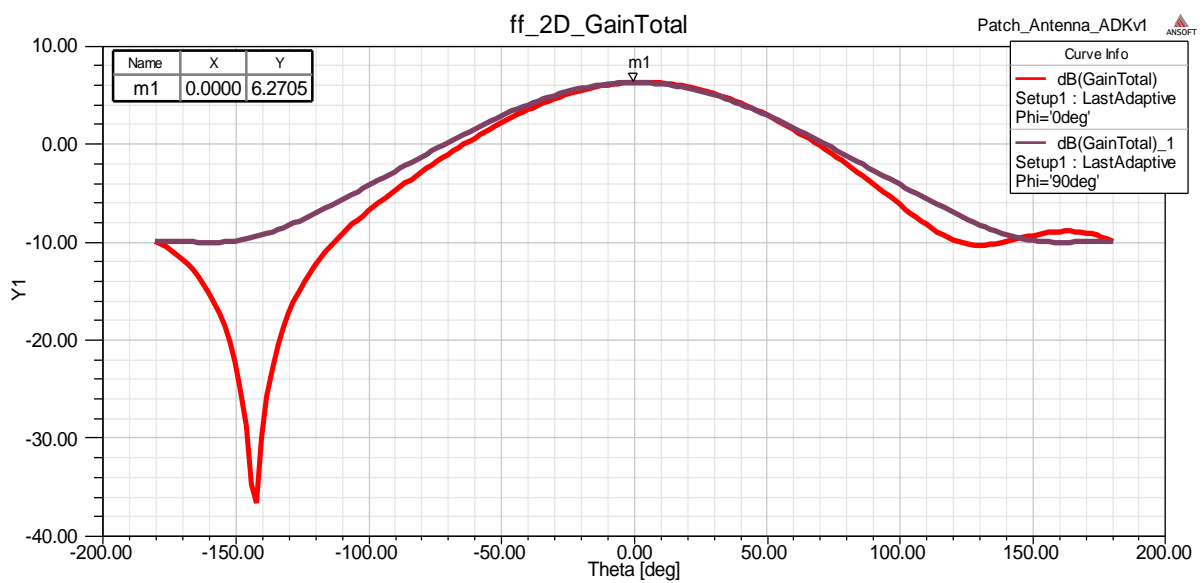


Figure IV.10 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.

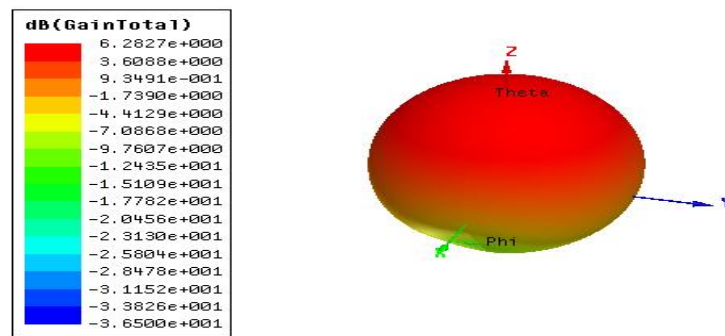


Figure IV.11 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain.

IV.2.2.c Un seul patch avec l'encoche alimenté par ligne microruban

Les résultats de simulation, les paramètres géométriques et caractéristiques (le coefficient réflexion $S(1,1)$, la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée, le gain et le diagramme de rayonnement) d'un seul patch encoché et alimenté par une ligne microruban sont présentés dans le tableau IV.4 et les figures IV.12-IV.17 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	$S(1,1)$ dB	Gain (dB)	a_e (mm)	B.P (-10dB) MHZ	B.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm^2)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.21	-21.17	5.48	17	81.1	404.5	60x70	98

Tableau IV.4 : Paramètres de l'antenne circulaire adaptée Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour $h=1.6\text{mm}$.

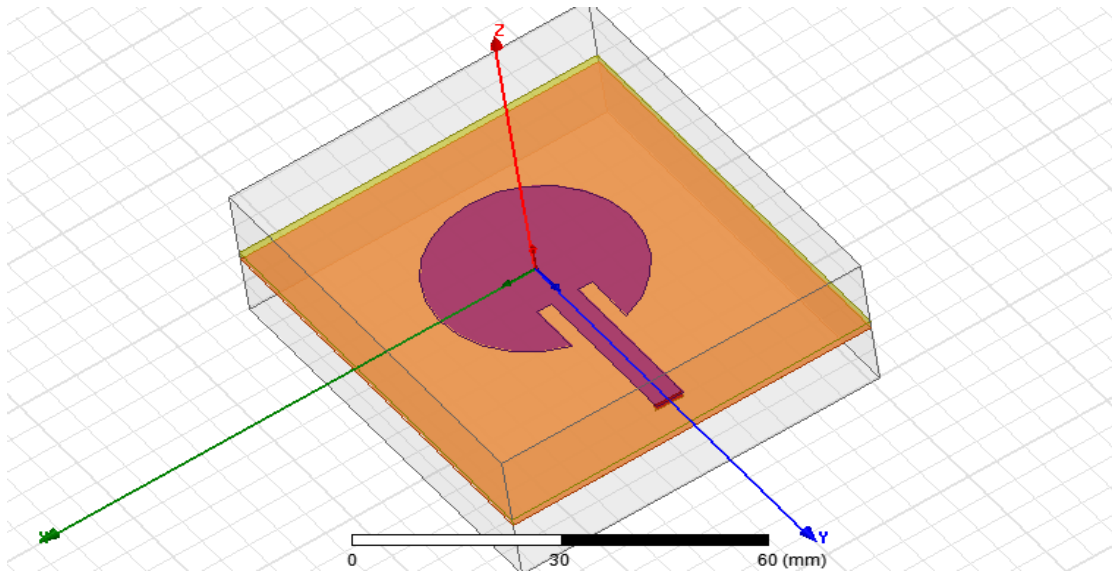


Figure IV.12 : Géométrie de l'antenne circulaire par encoche Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

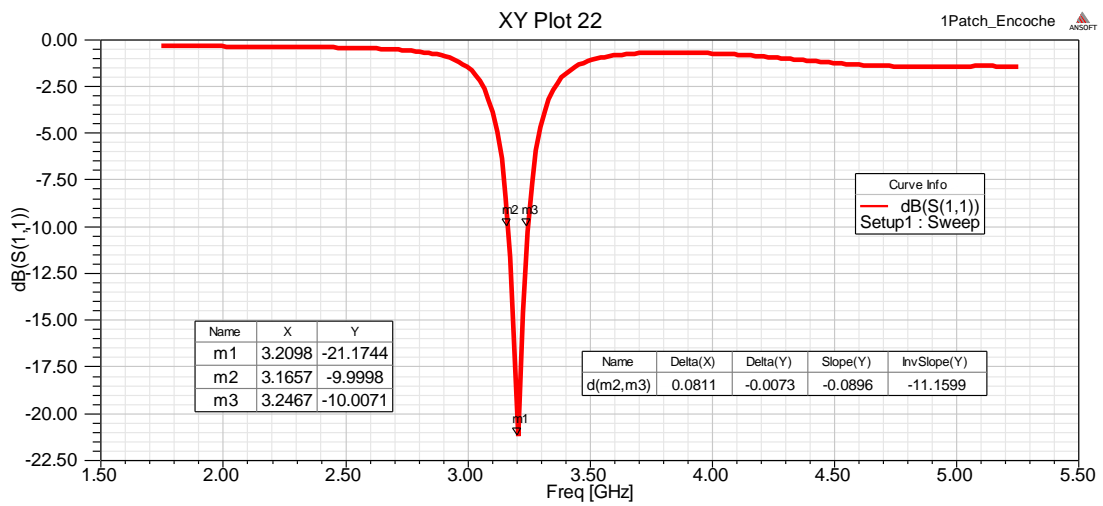


Figure IV.13: Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

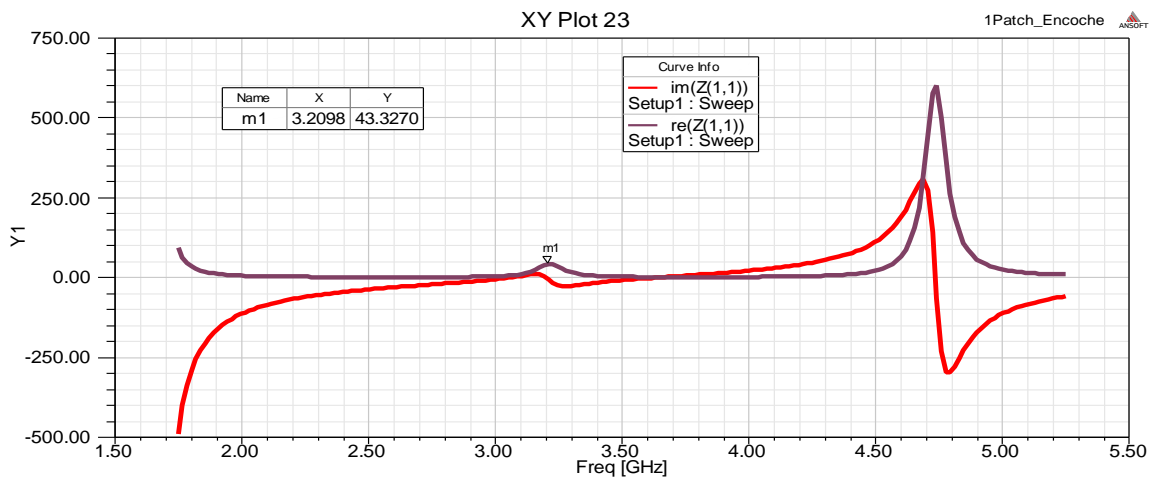


Figure IV.14 : Impédance d'entrée de l'antenne Z(1,1).

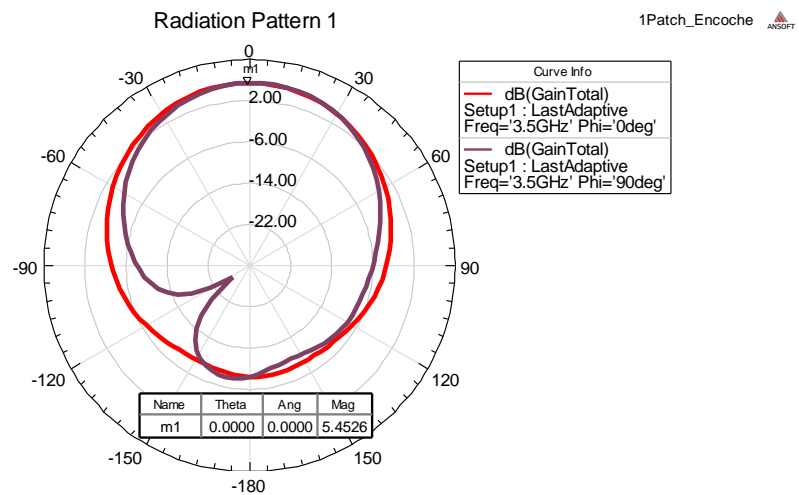


Figure IV.15 : Diagramme de rayonnement 2D du gain.

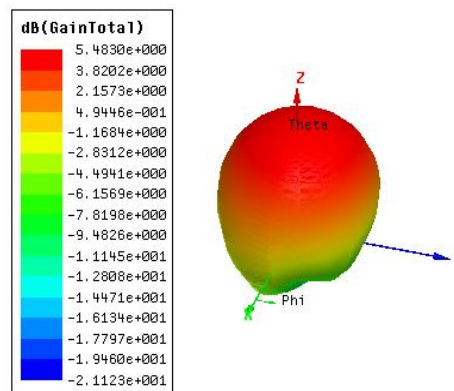


Figure IV.16 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain.

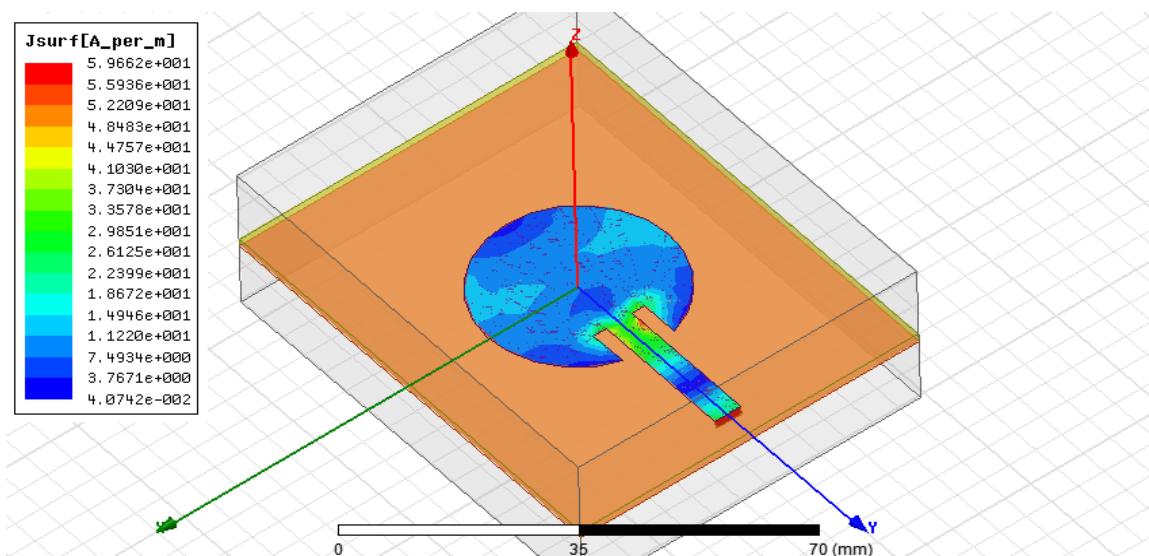


Figure IV.17 : Distribution du courant surfacique sur l'antenne circulaire pour $f=3.5$ GHz.

IV.2.2.d Un seul patch avec les slots alimenté par ligne microruban

Les résultats de simulation, les paramètres géométriques et les performances (le coefficient réflexion $S(1,1)$, la fréquence de résonance, le gain et le diagramme de rayonnement) d'un seul patch amélioré par les slots et alimenté par une ligne microruban sont présentés dans le tableau IV.5 et les figures IV.18-IV.22 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	$S(1,1)$ dB	Gain (dB)	a_e (mm)	Bande.P (-10dB) MHZ	Bande.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.19	-21.70	3.22	17	124.3	460	60x70	96

Tableau IV.5 : Paramètres de l'antenne circulaire avec des slots Duroid 5880 excitée par une ligne microruban pour $h=1.6\text{mm}$.

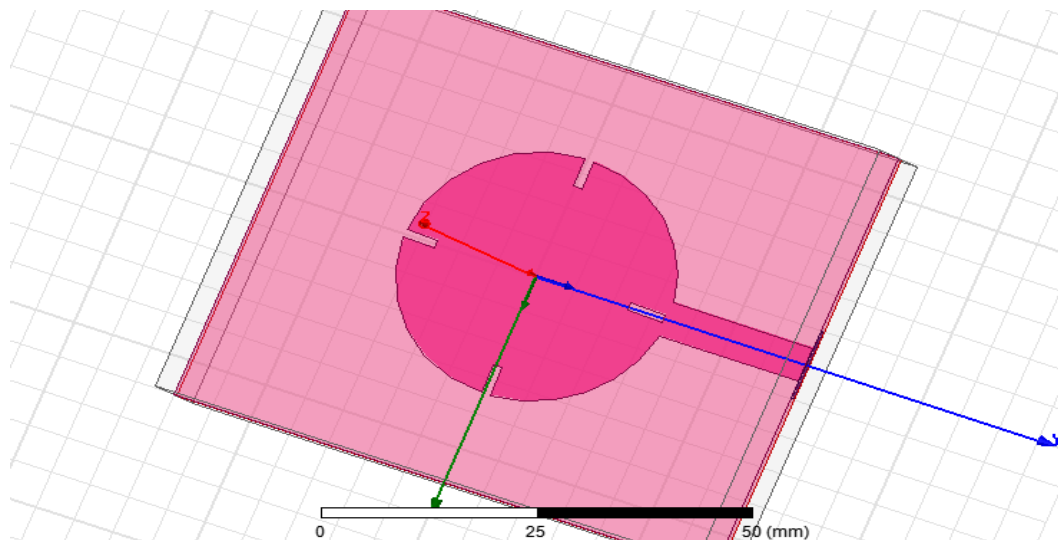


Figure VI.18 : Géométrie de l'antenne circulaire avec des slots Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

- La largeur (W) et la longueur (L) pour la ligne microruban et l'impédance $Z_0=50\ \Omega$ de ce patch sont:

$$\left\{ \begin{array}{l} W= 4.87 \text{ mm.} \\ L= 22 \text{ mm.} \end{array} \right.$$

Pour les slots on a :

- Leur largeur est, $w_0 = w_1 = w_2 = w_3 = 1.1$ mm.
- Leur longueur est, $l_0 = l_1 = l_2 = l_3 = 4.5$ mm.

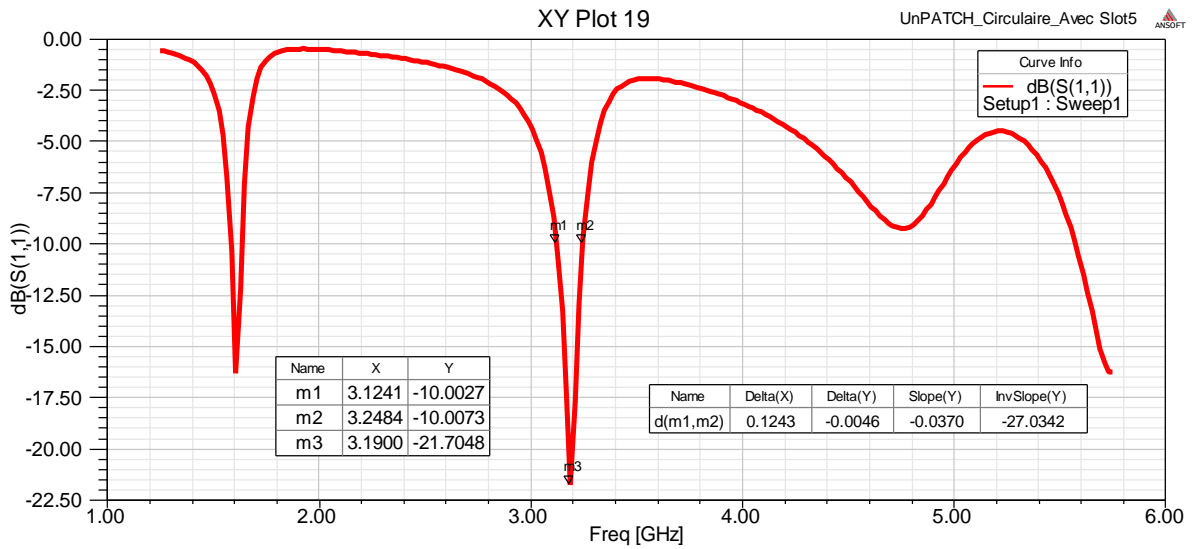


Figure VI.19 : Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

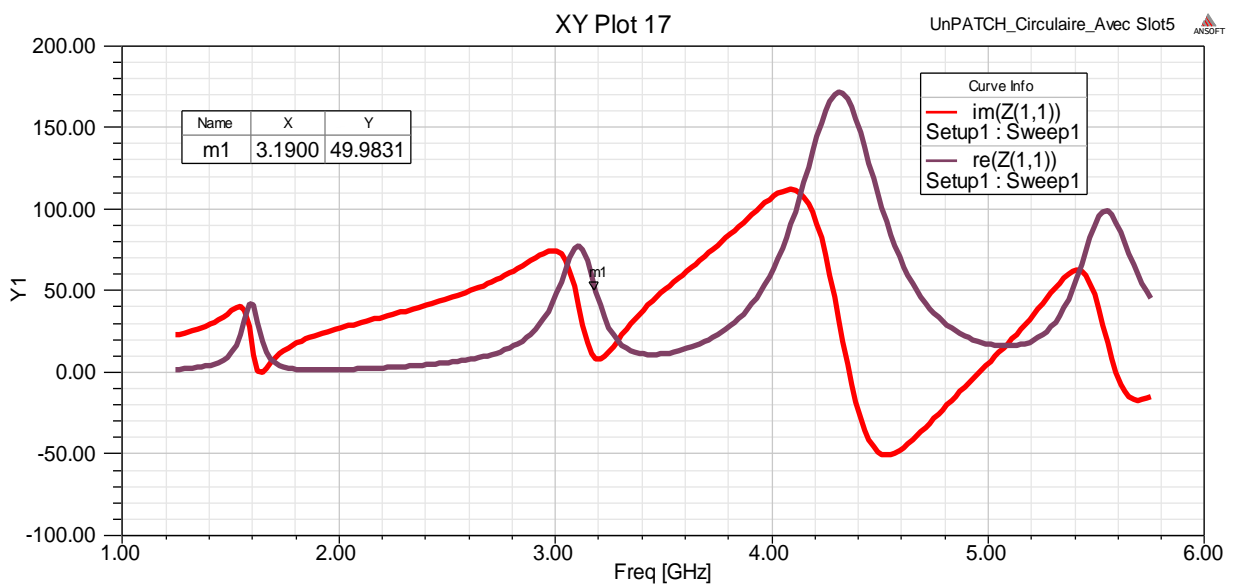


Figure IV.20 : Impédance d'entrée de l'antenne $Z(1,1)$.

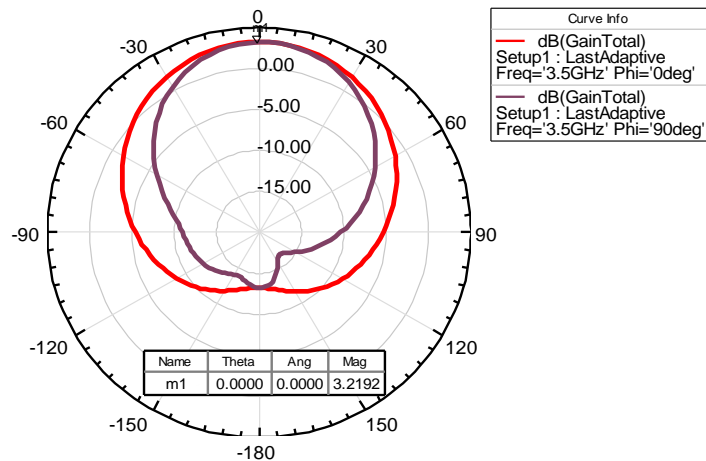


Figure IV.21 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.

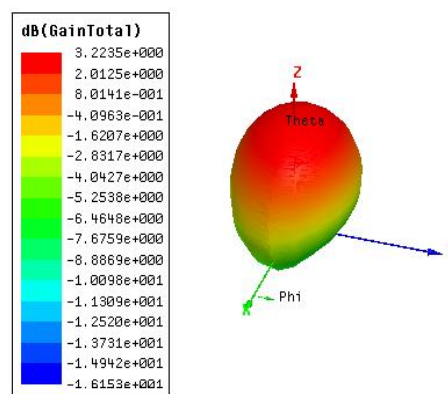


Figure VI.22 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain.

IV.3 Conception d'un réseau d'antennes circulaires

IV.3.1 Un réseau d'antenne de deux éléments rayonnants 1x2

Dans cette partie, nous simulons un réseau d'antennes constitué de deux patches circulaires alimentés par une ligne microruban.

Les résultats de simulation, les paramètres géométriques et les performances caractéristiques (le coefficient réflexion $S(1,1)$, la fréquence résonance, l'impédance d'entrée, le gain et diagramme de rayonnement) d'un réseau d'antenne deux éléments alimenté par une ligne microruban sont représentés dans le tableau IV.6 et les figures IV.23-IV.30 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	S(1,1) dB	Gain (dB)	a_e (mm)	B.P (-10dB) MHZ	B.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.24	-21.50	5.09	17	131	220	96x130	95.3

Tableau IV.6 : Paramètres d'un réseau d'antenne de deux patches sur le Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.

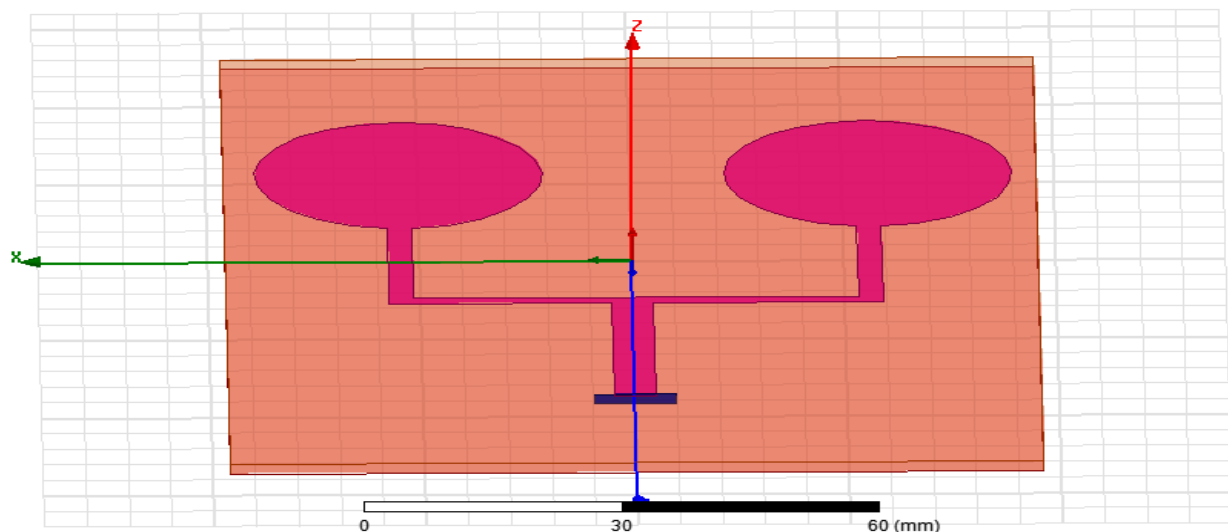


Figure IV.23 : Géométrie d'un réseau d'antenne de deux patches Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

La largeur (W) et la longueur (L) pour les lignes microrubans de ce réseau sont:

Impédance	W	L
$Z_0=70$	2.87 mm	34 mm
$Z_0=100$	1.57 mm	57 mm
$Z_0=50$	4.87 mm	30 mm

Tableau IV.7 : Dimensions des les lignes microrubans.

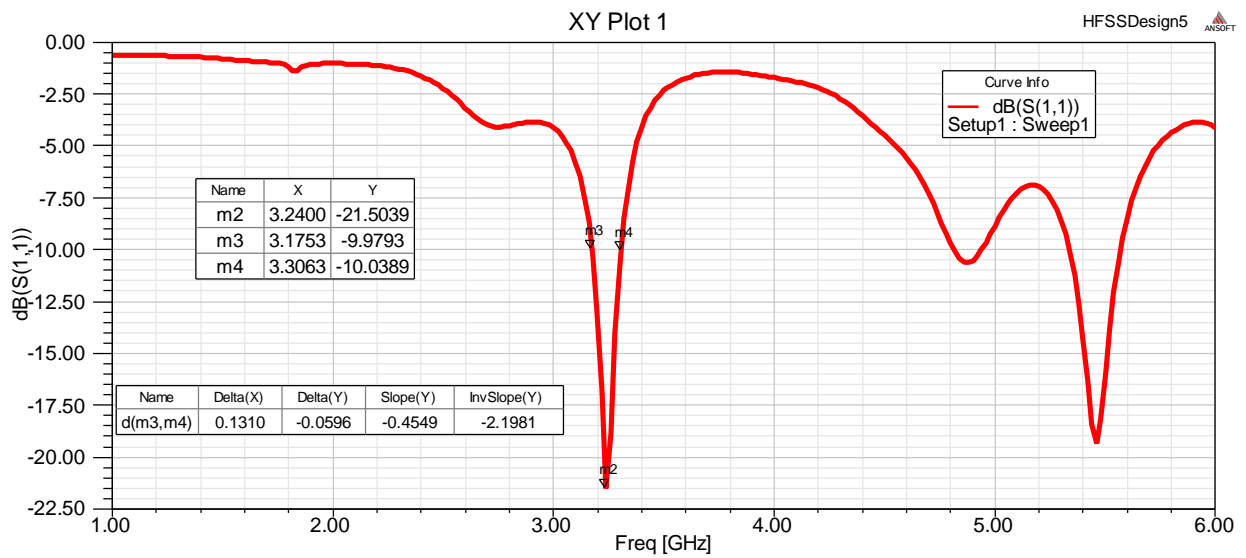


Figure IV.24 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

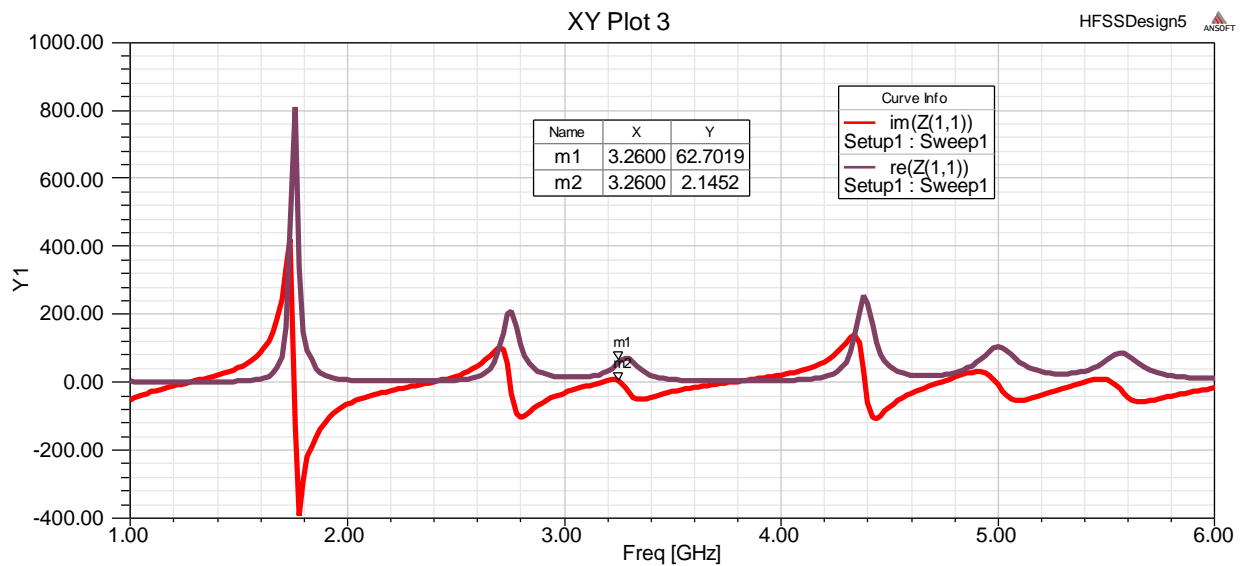


Figure IV.25 : Impédance d'entrée du réseau d'antennes 1x2 Z(1,1).

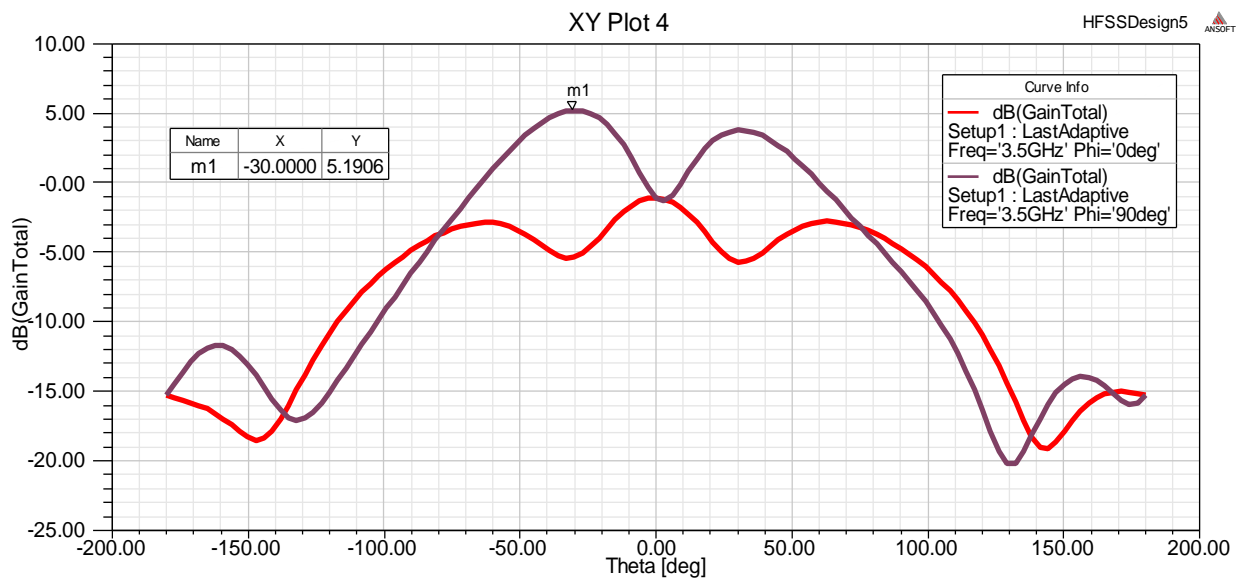


Figure IV.26 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain total.

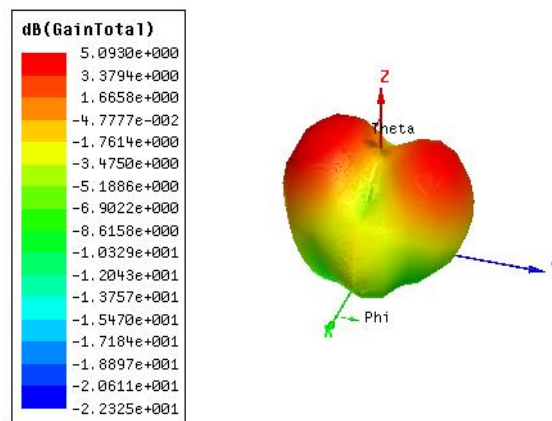


Figure IV.27 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain total.

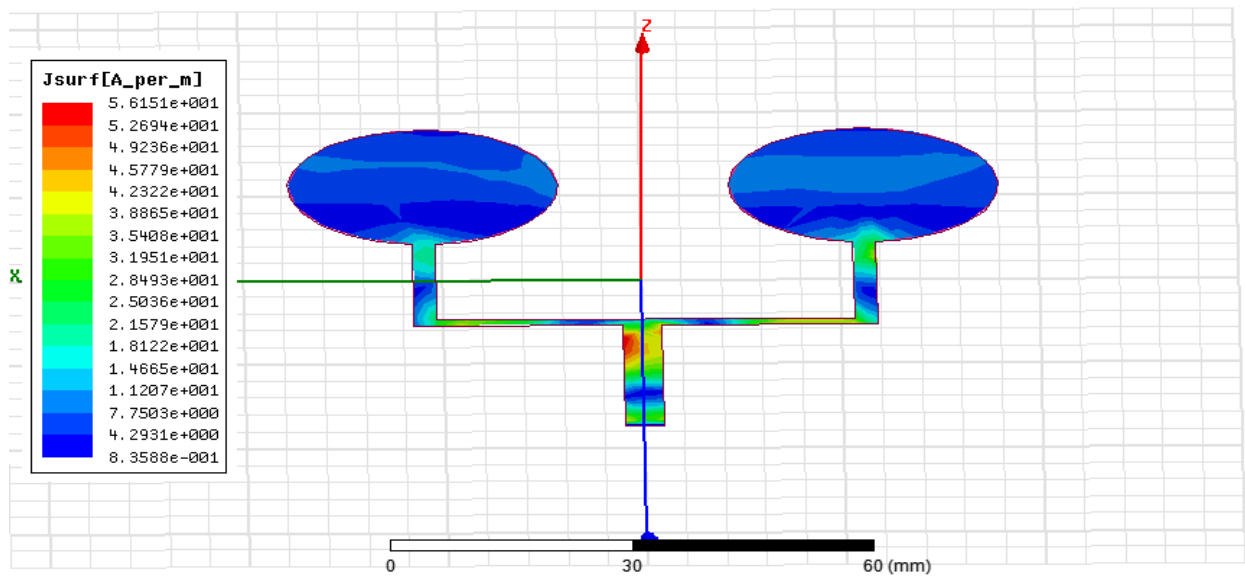


Figure IV.28 : Distribution du courant surfacique sur le réseau d'antenne circulaire 1x2 pour $f=3.5$ GHz.

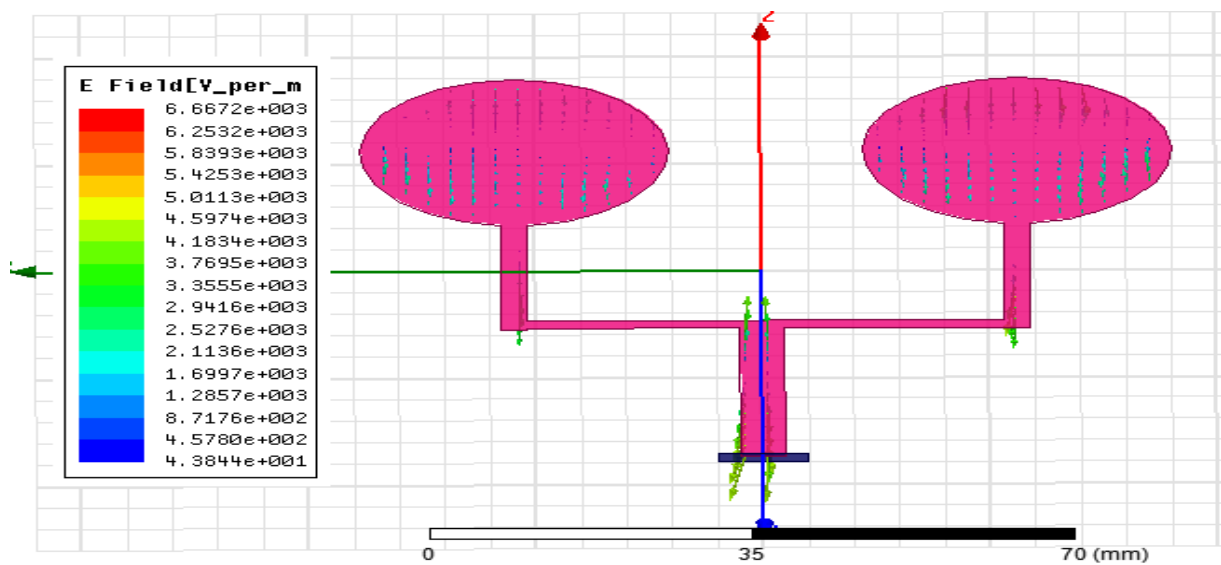


Figure IV.29 : Distribution des vecteurs du champ électrique E sur le réseau d'antennes circulaires 1x2 pour $f=3.5$ GHz.

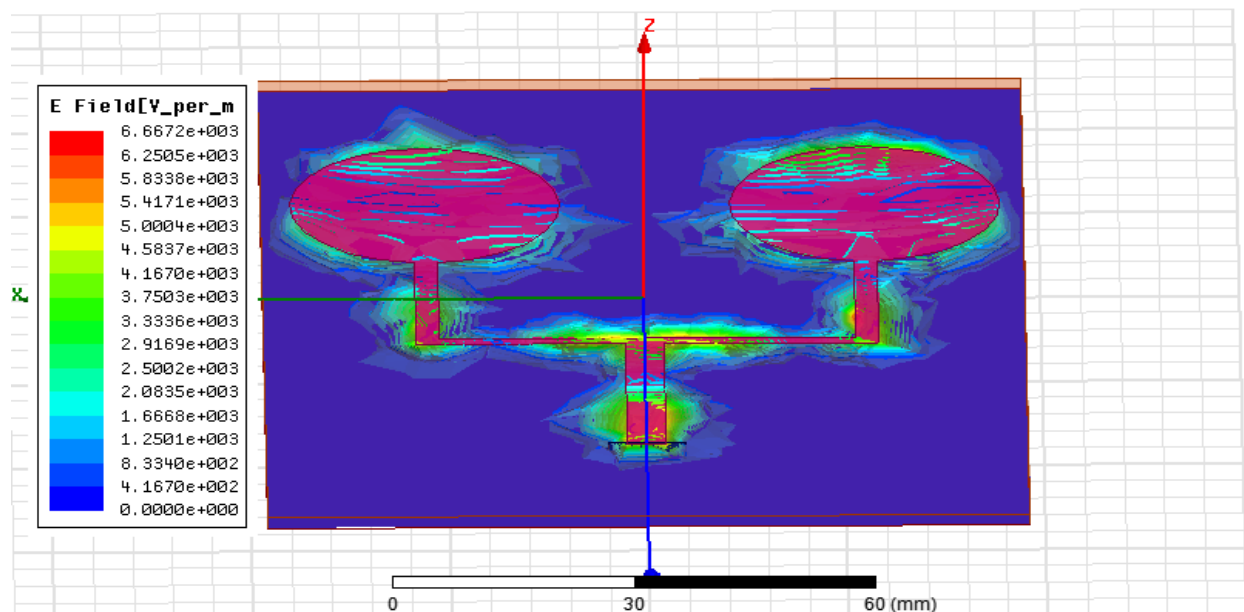


Figure IV.30 : distribution de l'intensité du champ électrique E sur le substrat pour $f=3.5$ GHz.

IV.3.2 Réseau d'antennes de deux éléments rayonnants adapté par encoche

Les résultats de simulation, les paramètres géométriques et les caractéristiques d'un réseau d'antennes de deux éléments rayonnants adapté par les encoches et alimenté par une ligne microruban sont présentés dans le tableau IV.8 et les figures IV.31-IV.36 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	S(1,1) dB	Gain (dB)	a_e (mm)	B.P (-10dB) MHZ	B.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.14	-29.64	6.69	17	122.2	400	90x100	95.3

Tableau IV.8 : Paramètres d'un réseau d'antennes deux patches adapté par l'encoche excitée par une ligne microruban pour $h=1.6$ mm

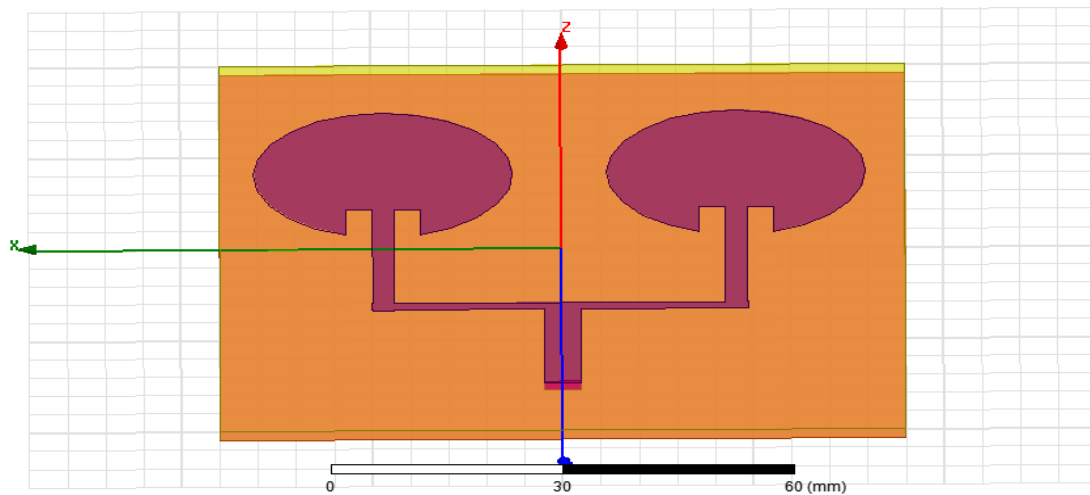


Figure IV.31 : Géométrie d'un réseau d'antenne de deux patches par l'encoche Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

La largeur (W) et la longueur (L) pour les lignes microrubans de ce réseau sont:

L'impédance	W	L	w_0 (pour l'encoche)	L_0 (pour l'encoche)
$Z_0=70$	2.87 mm	34 mm	9.74 mm	8 mm
$Z_0=100$	1.57 mm	57 mm		
$Z_0=50$	4.87 mm	30 mm		

Tableau IV.9 : Dimensions des les lignes microrubans.

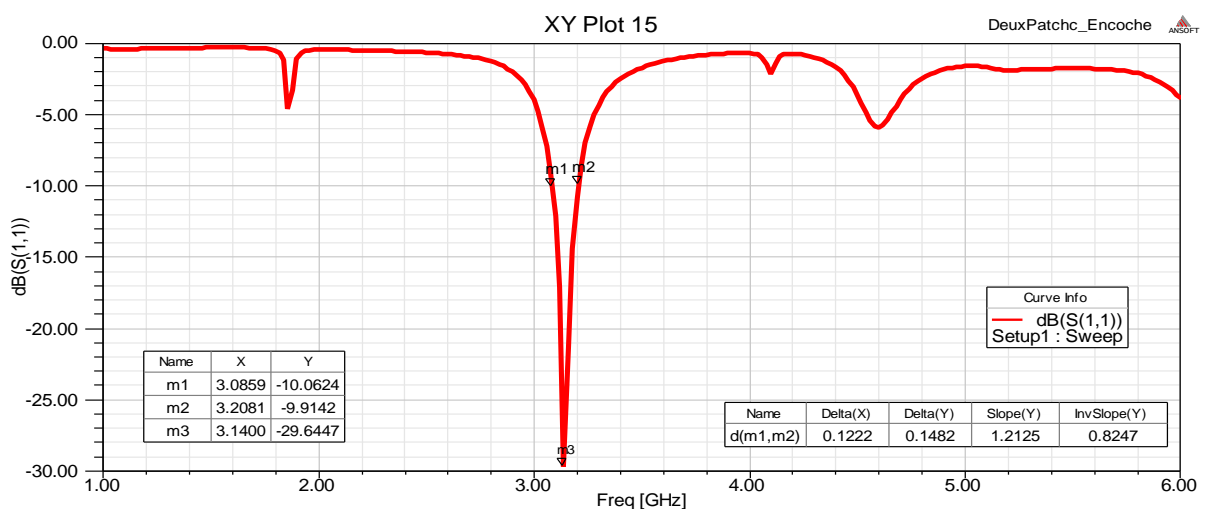


Figure IV.32 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

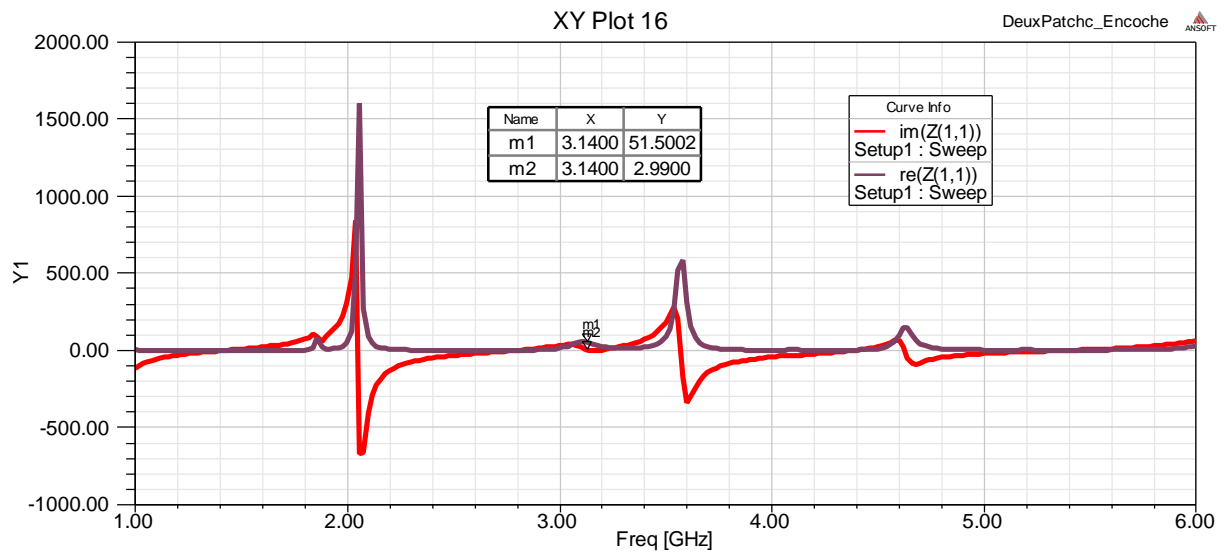


Figure IV.33 : Impédance d'entrée $Z(1,1)$.

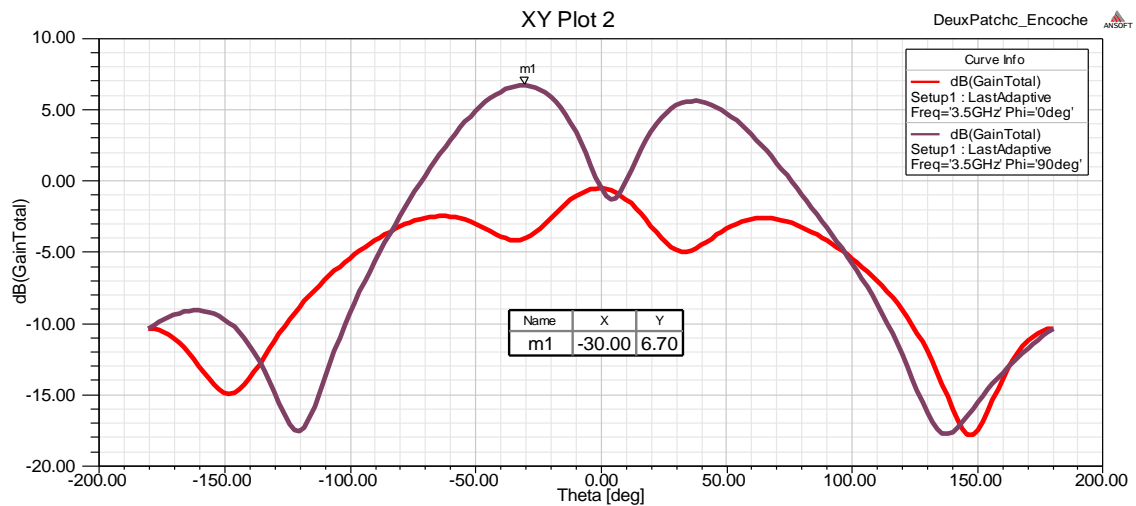


Figure IV.34 : Diagramme de rayonnement 2D du gain total.

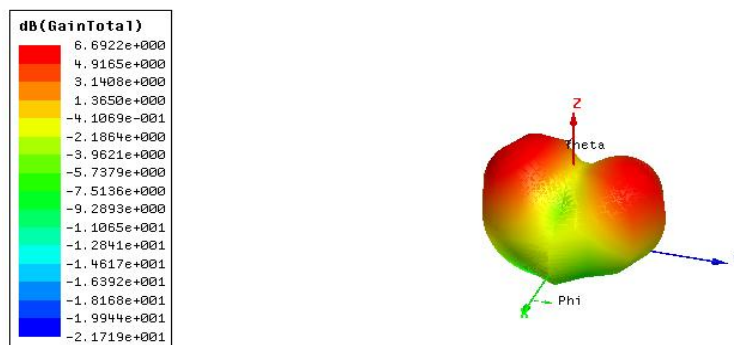


Figure IV.35 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain total.

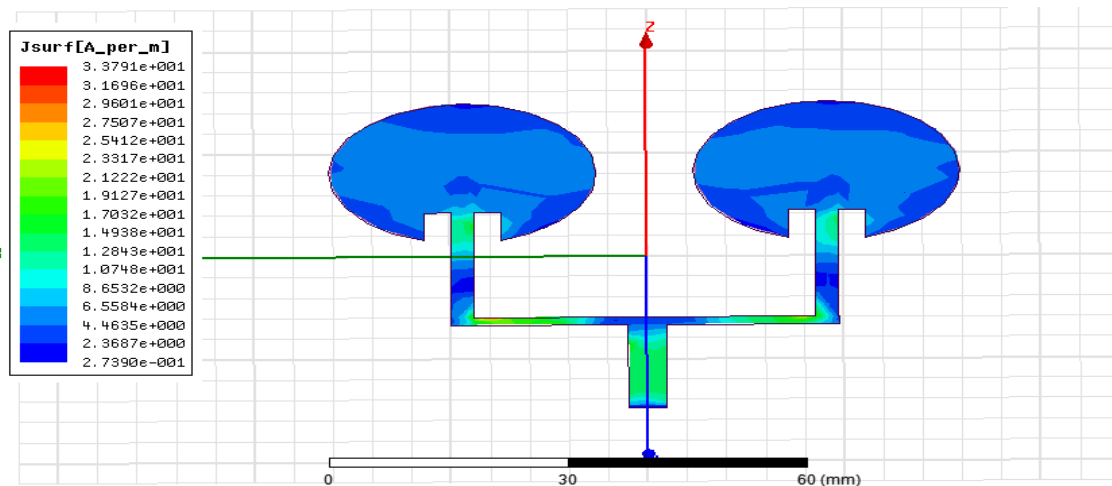


Figure IV.36 : Distribution du courant surfacique sur le réseau d'antenne de deux patches circulaires adaptés par les encoches.

IV.3.3 Réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants 1x4

Les figures IV.37-IV.44 illustrent le coefficient réflexion S_{11} , la fréquence résonance, le gain et diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne 1x4 alimentés par une ligne microruban respectivement. Le tableau IV.10 regroupe les paramètres de l'antenne.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{\text{désire}}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	S(1,1) dB	Gain (dB)	a_e (mm)	B.P (-10dB) MHZ	B.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.54	-12.27	7.37	17	23.9	120	280x180	99

Tableau IV.10 : Paramètres d'un réseau d'antenne quatre patches Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.

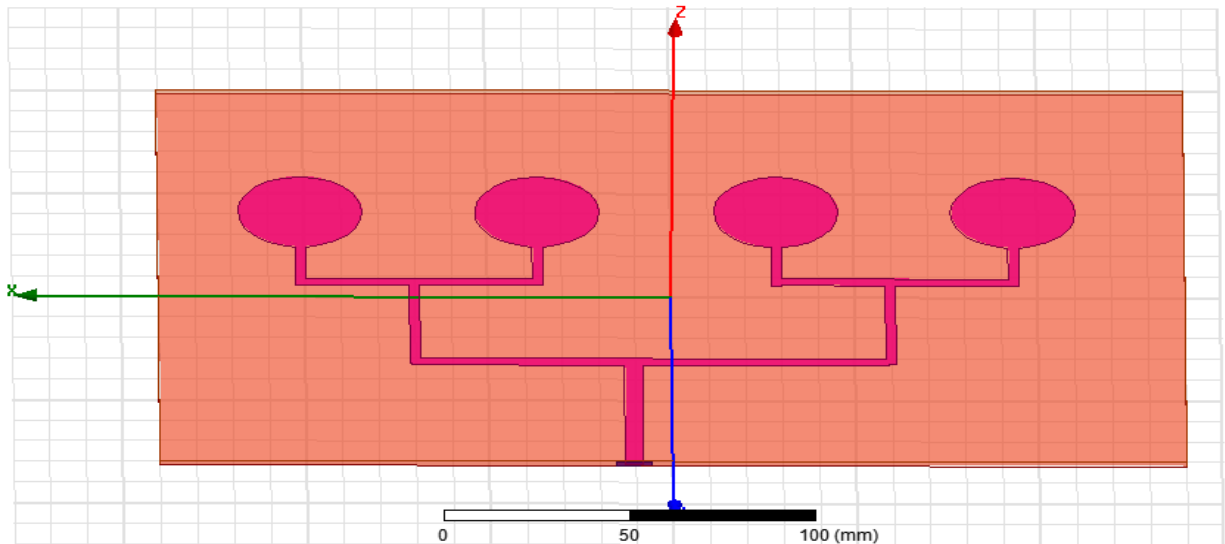


Figure IV.37 : Géométrie d'un réseau d'antenne de quatre patches Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

➤ La largeur (W) et la longueur (L) pour les lignes microrubans de ce réseau sont:

	W	L
$Z_0 = 70\Omega$	2.87 mm	28 mm
$Z_0 = 100\Omega$	1.57 mm	67 mm
$Z_0 = 70\Omega$	2.87 mm	41 mm
$Z_0 = 50\Omega$	4.87 mm	30 mm

Tableau IV.11 : Dimensions des lignes microrubans.

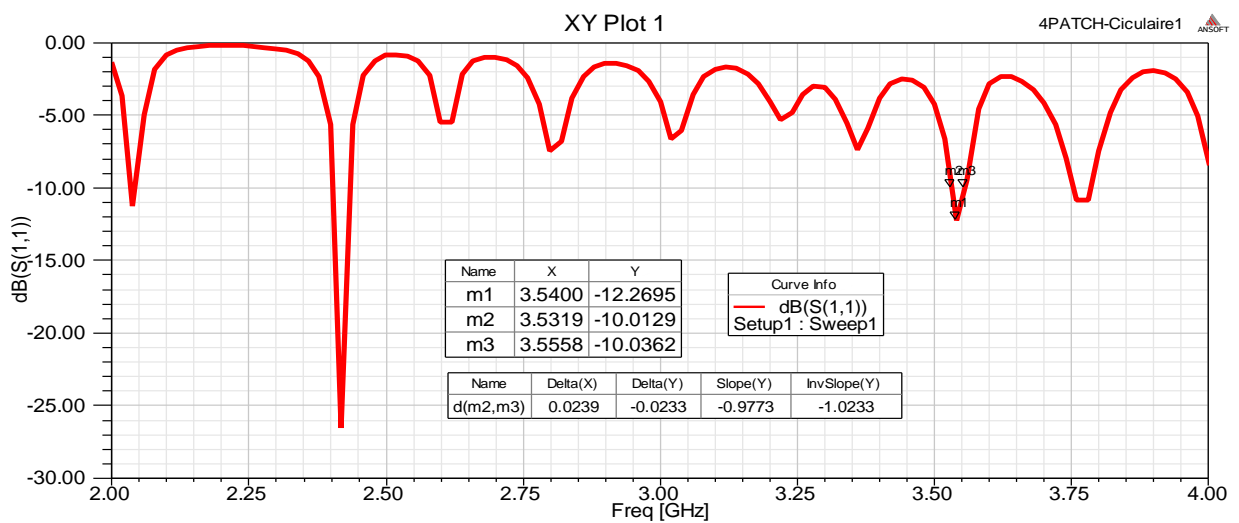


Figure IV.38 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

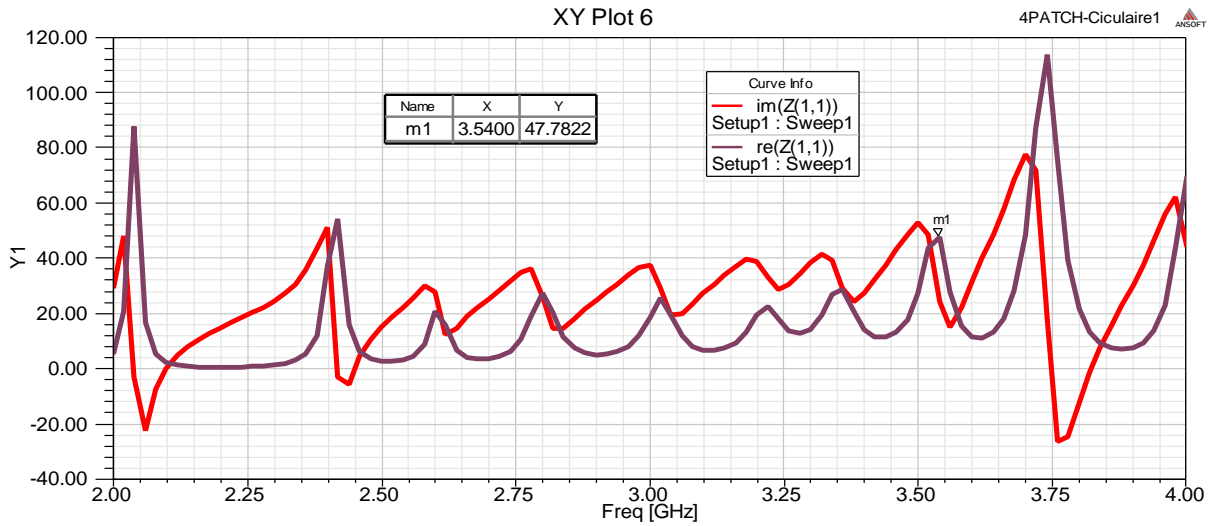


Figure IV.39 : Résultat de l'impédance $Z(1,1)$.

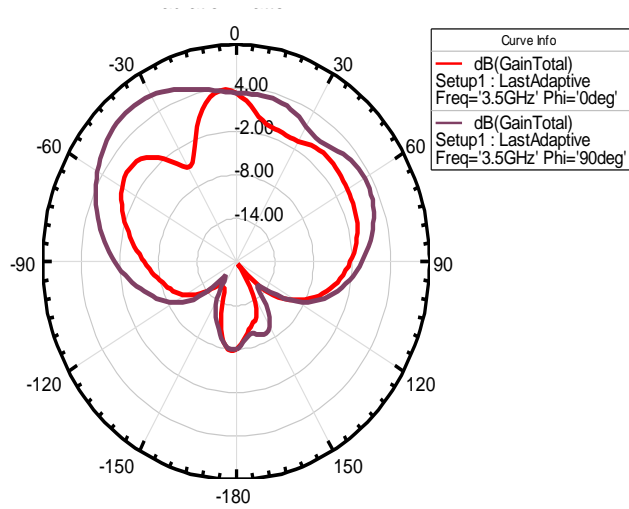


Figure IV.40 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.

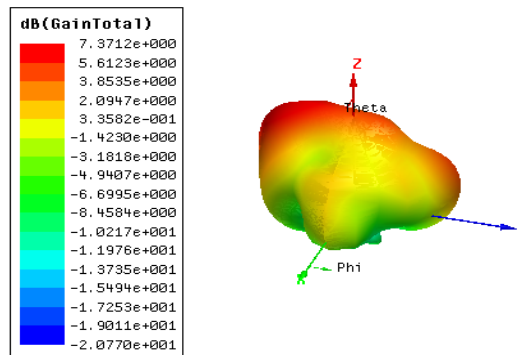


Figure IV.41 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain total.

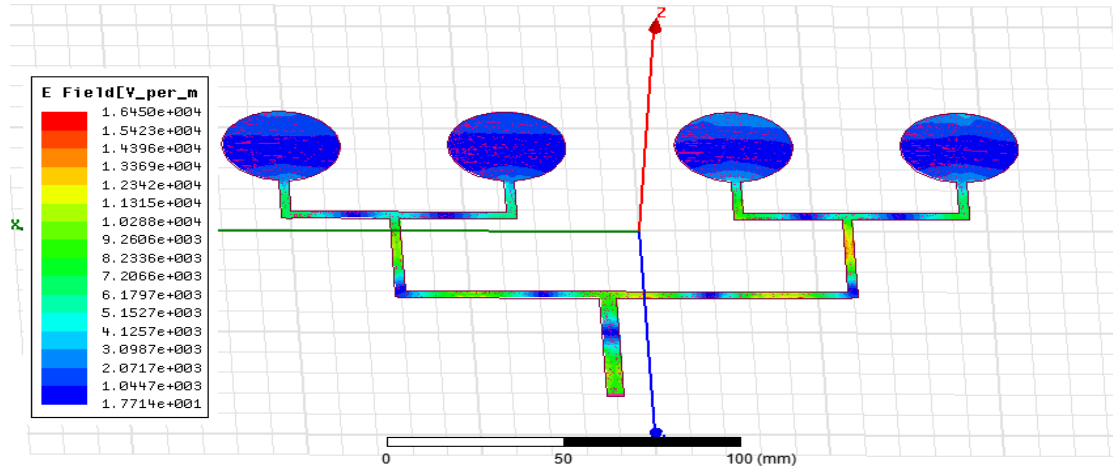


Figure IV.42 : Distribution du champ électrique E sur le réseau d'antenne de quatre patches circulaires pour la fréquence résonance 2.42 GHz.

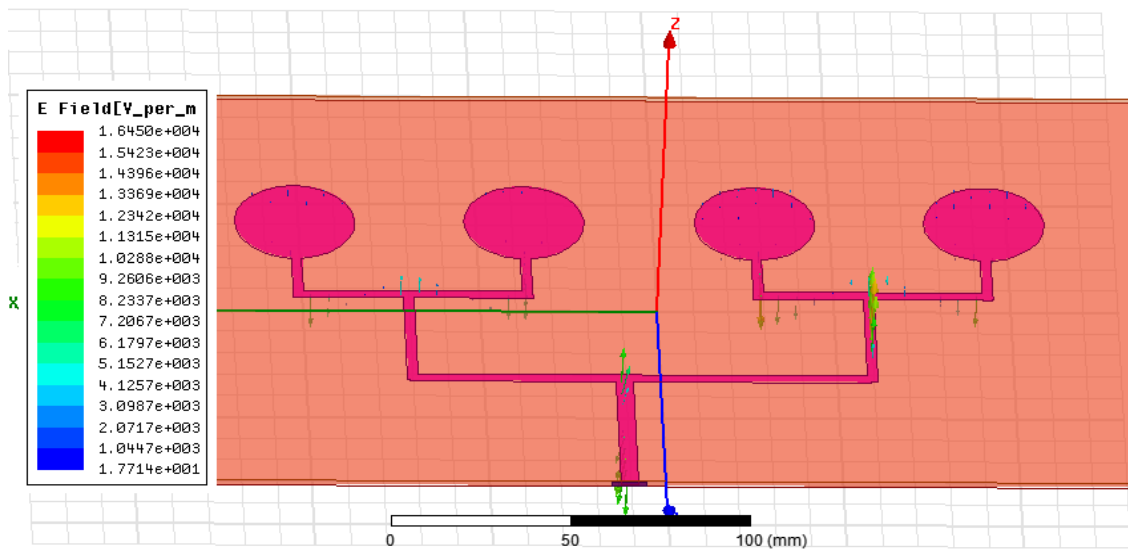


Figure IV.43 : Distribution des vecteurs du champ électrique E d'un réseau d'antenne de quatre patches circulaires pour la fréquence résonance 2.42 GHz.

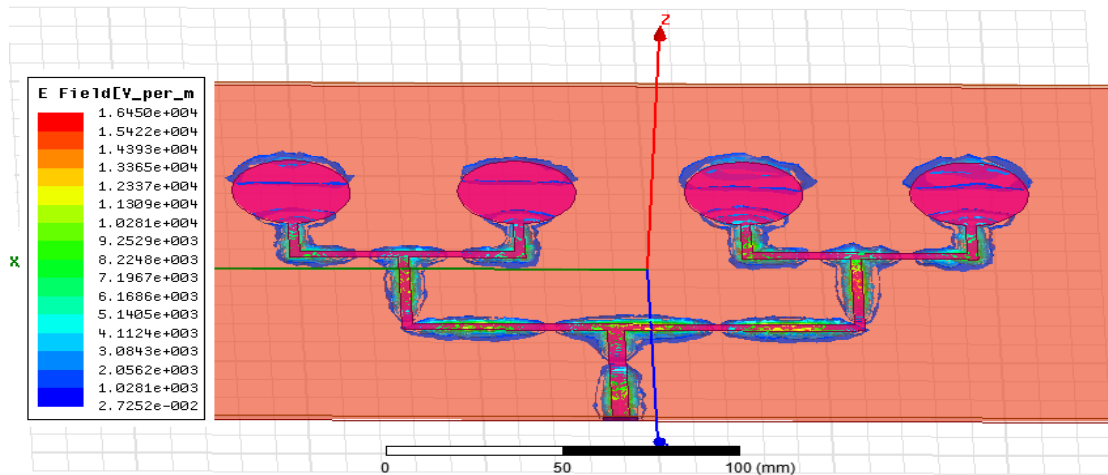


Figure IV.44 : Distribution de l'intensité du champ électrique E sur le substrat Duroid 5880 pour la fréquence résonance 2.42 GHz.

IV.3.4 Un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants 1x4 avec les encoches

Les paramètres géométriques et les performances du réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants avec encoche alimenté par une ligne microruban sont donnés en tableau IV.12 et les figures IV.45-IV.50 respectivement.

Substrat	ϵ_r	h (mm)	$f_{désire}$ (GHZ)	f_r (GHZ)	S(1,1) dB	Gain (dB)	a_e (mm)	B.P (-10dB) MHZ	B.P (-3dB) MHZ	Plan de masse (mm ²)	η (%)
Duroid 5880	2.2	1.6	3.5	3.15	-14.43	7.96	17	74.1	294.2	240x240	92

Tableau IV.12 : Paramètres d'un réseau d'antenne de quatre patchs encochés sur le Duroid 5880 excité par une ligne microruban pour h=1.6mm.

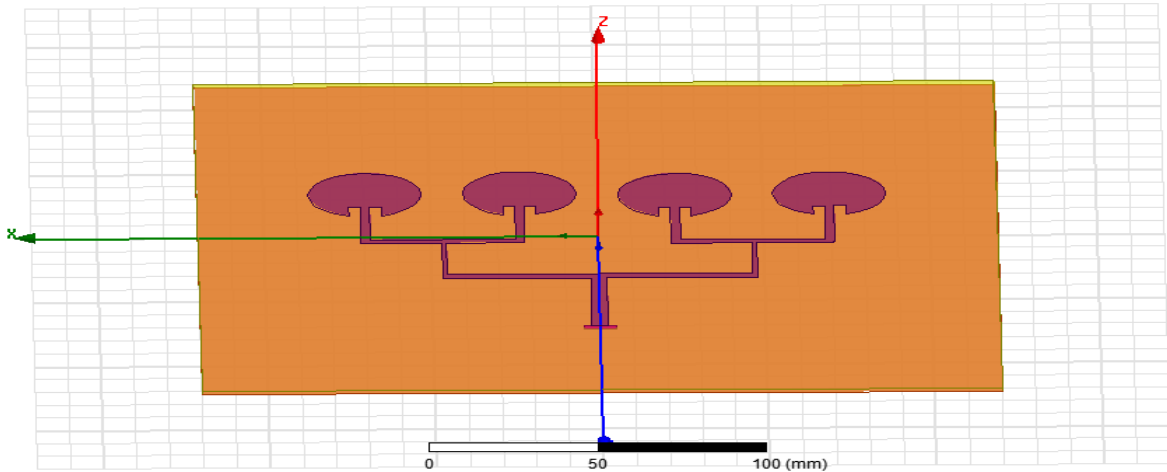


Figure IV.45 : Géométrie d'un réseau d'antenne de quatre patches encochés
Duroid 5880 en 3D alimentée par une ligne microruban.

➤ La largeur (W) et la longueur (L) pour les lignes microrubans de ce réseau sont:

	W	L		w ₀ (pour l'encoche)	L ₀ (pour l'encoche)
Z ₀ =70	2.87 mm	29 mm		9.74 mm	8 mm
Z ₀ =100	1.57 mm	29.5 mm			
Z ₀ =50	4.87 mm	38.91 mm			

Tableau IV. 13: Dimensions des les lignes microrubans.



Figure IV.46 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

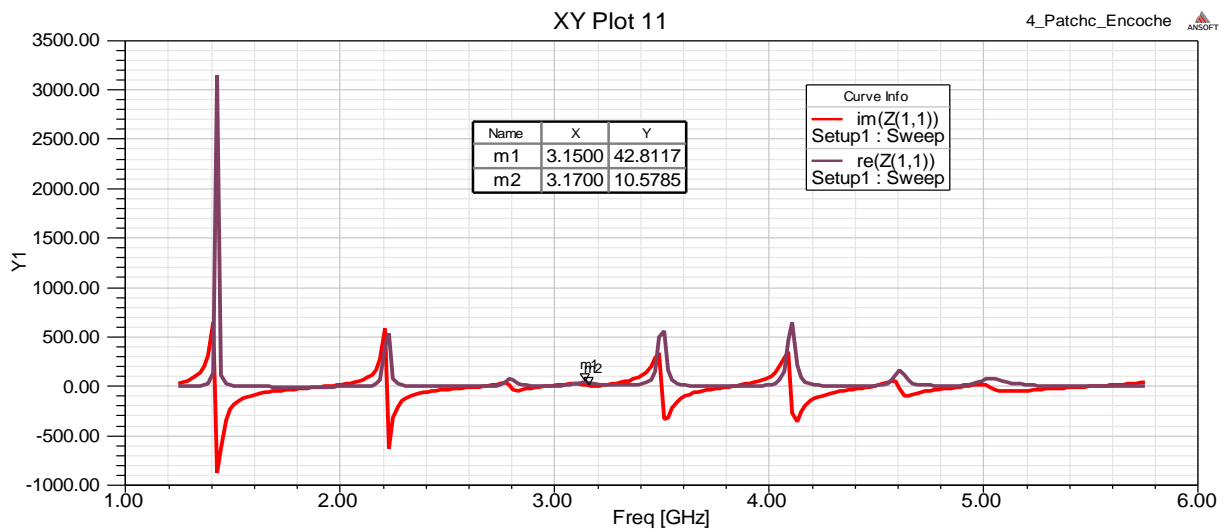


Figure IV.47 : Impédance d'entrée du réseau 1x4 Z(1,1).

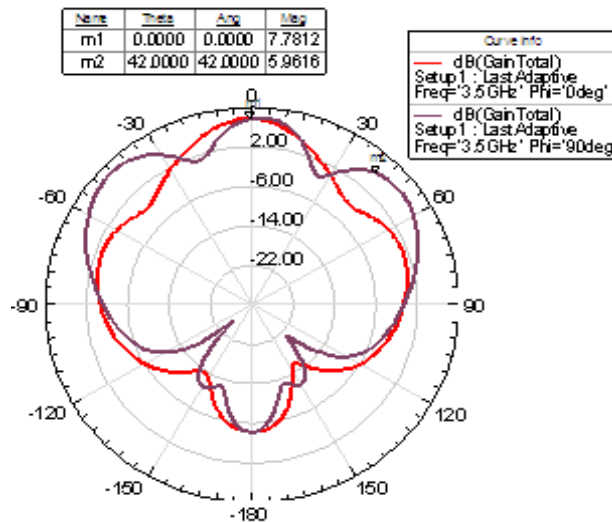


Figure IV.48 : Diagramme de rayonnement en 2D du gain.

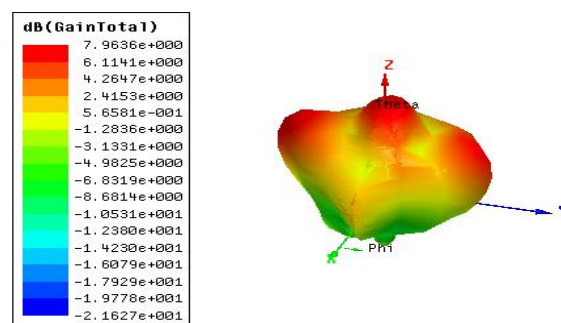


Figure IV.49 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain total pour fréq=3.5 GHz.

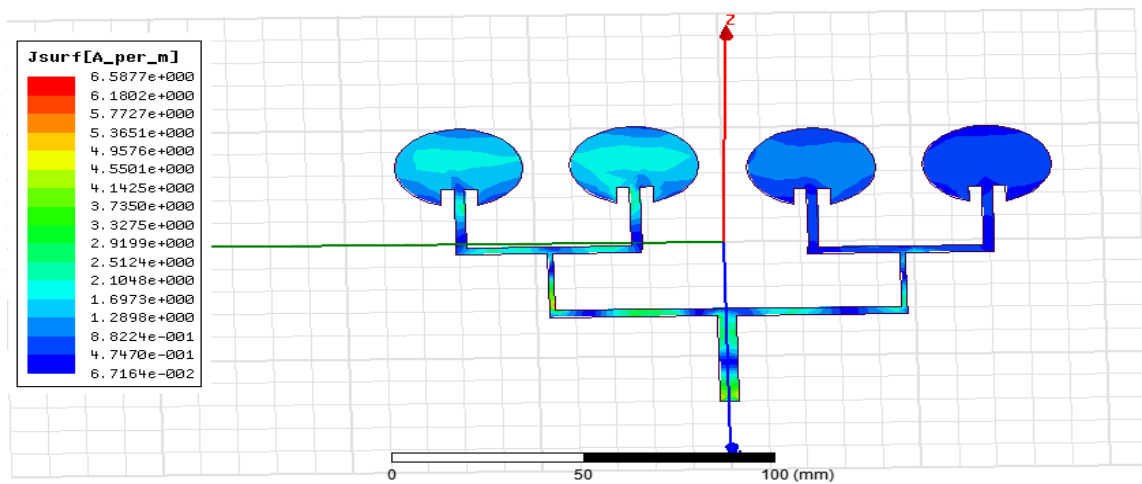


Figure IV.50 : Distribution du courant de surface sur le réseau d'antenne de quatre patches circulaires avec des encoches.

IV.4 Interprétation et discussion des résultats

IV.4.1 Récapitulation des résultats pour un seul patch

On récapitule les résultats pour un seul patch dans le tableau IV.10 suivant :

Les patches	Substrat	f_r (GHz)	Gain (dB)	S(1,1) (dB)	Z(1,1) max(Ω)	Champ E (v)	Directivité (dB)	BP (-10dB) (MHz)	BP en (%)
Un seul patch	Duroid 5880	3.09	2.88	-22.10	46.78	2.15	3.12	109.3	37.95 %
Un patch par coaxial	Duroid 5880	4	6.28	-16.55	46.27	6.72	6.52	111.4	27.85 %
Un patch avec encoche	Duroid 5880	3.20	5.48	-21.17	43.33	2.78	5.53	81.1	25.34 %
Un patch avec fentes	Duroid 5880	3.19	3.22	-21.70	49.98	7.17	3.39	124.3	38.97 %

Tableau IV.14 : Comparaison les paramètres caractéristiques de patch

par rapport les types d'alimentation

On a conçu une antenne et un réseau d'antenne sur le substrat Duroid 5880 d'épaisseur ($h=1.6\text{mm}$) et la permittivité ($\epsilon_r=2.2$).

L'antenne d'un seul patch alimenté par un câble coaxial présente une amélioration du gain (6.28 dB) par rapport à celui alimenté par ligne microruban (2.88 dB). Mais on remarque une dégradation du coefficient de réflexion S_{11} .

On constate qu'un seul patch circulaire de rayon 14 mm alimenté par ligne microruban avec des slots de forme rectangulaire sur ce substrat présente un bon résultat par rapport à un patch alimenté par un câble coaxial surtout pour le coefficient de réflexion ($S_{11} = -21.70\text{ dB}$) à une fréquence de résonance proche de la fréquence souhaitée qui est de l'ordre de 3.5 GHz (voir le tableau IV.14), aussi l'impédance d'entrée ($Z_{11}(\text{Re})=49.98\Omega$) plus amélioré et proche de l'impédance d'entrée utilisé généralement (50Ω), cela explique que notre patch est bien adapté.

Les résultats de simulation montrent que l'ajout des fentes sur l'élément rayonnant améliore l'adaptation de l'antenne. La modification remarquable est au niveau de la largeur de la bande passante (B.P), où on a obtenu une valeur de 124.3 MHz au lieu de 109 MHz pour l'antenne sans fentes.

Une meilleure adaptation est obtenue pour un seul patch avec fentes où l'antenne est totalement adaptée sur toute la bande passante de l'antenne (3.12-3.24GHz) avec un coefficient de réflexion inférieur à -10dB. Soit une bande passante de 38.97%.

Le diagramme de rayonnement d'antenne permet de visualiser les lobes en 2-D et 3-D, dans le plan ($\text{Phi}=0^\circ$) et le plan ($\text{Phi}=90^\circ$). Dans le courant, rouge est l'haut, la valeur maximale du rayonnement total égale (5.97 A) pour un seul patch alimenté par ligne microruban avec encoche. Ainsi dans le champ rouge haut, la valeur maximale du rayonnement total est égale (8.5 v) mais le courant rouge haut, la valeur maximale du rayonnement total (1.08 A), mais ce résultat est faible par rapport aux résultats des autres (Figure IV.5, 11, 16, et 22).

La distribution des courants surfaciques (figure IV.17) montre que pour la totalité des courants surfaciques sont centrés sur la ligne d'alimentation et les bords de l'élément rayonnant.

IV.4.2 Récapitulation des résultats pour un réseau d'antenne de deux éléments rayonnants

On présente les résultats d'un réseau d'antenne de deux patches dans le tableau IV.15 suivant :

Les réseaux	Substrat	f_r (GHz)	Gain (dB)	S(1,1) (dB)	Z(1,1) max	Champ E (v)	Directivité (dB)	B.P (-10dB) MHz	B.P en (%) MHz
Deux patchs sans encoches	Duroid 5880	3.24	5.09	-21.5	62.7	6.67	5.39	131	40%
Deux patchs avec encoche	Duroid 5880	3.14	6.69	-29.64	51.5	1.45	6.90	122.2	38.9%

Tableau IV.15 : Comparaison les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de deux patchs par rapport un réseau de deux patchs avec encoche

D'après le tableau IV.15 et les résultats de la simulation du réseau d'antenne microruban 1x2, nous remarquons une amélioration des performances : (le gain total maximal est de 6.69 dB) ; une meilleure adaptation $S_{11} = -29.64$ dB (figure IV.23 et IV.30). D'après la simulation, notre antenne est directive (gain important ≈ 7 dB, tableau IV.15) et les résultats sont meilleures par rapport à ceux d'un seul patch.

Les résultats obtenus du réseau d'antennes 1x2 avec des encoches sont meilleures par rapport à ceux du réseau d'antenne sans encoche. Nous pouvons constater que la distribution des courants surfaciques est importante aux bords de la ligne d'alimentation.

Les résultats de simulations du coefficient de réflexion du réseau d'antenne 1x2 figure IV.24), montrent que le réseau sans encoches couvre une bande passante allant de (3.175-3.306 GHz) pour un $S_{11} < -10$ dB soit une bande passante de 40%.

IV.4.3 Récapitulation des résultats pour un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants

On résume les résultats d'un réseau d'antenne de quatre patchs dans le tableau IV.16 suivant :

Les réseaux	Substrat	f_r (GHz)	Gain (dB)	$S(1,1)$ (dB)	$Z(1,1)$ max	Champ E (v)	Directivité (dB)	Bande.P (-10dB)	Bande.P en (%)
Quatre patchs sans encoches	Duroid 5880	3.54	7.37	-12.27	47.78	1.65	6.64	23.9	6.75%
Quatre patchs avec encoche	Duroid 5880	3.15	7.96	-14.43	42.81	2.31	7.98	74.1	23.52%

Tableau IV.16 : Comparaison les paramètres caractéristiques d'un réseau d'antenne de quatre patchs par rapport un réseau de quatre patchs avec encoche

Les résultats simulés d'un réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants de forme circulaire alimenté par la ligne microruban avec encoche sont bons par rapport à ceux que présente le réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants sans encoche. Les performances sont le coefficient de réflexion ($S_{11} = -14.43$ dB), le diagramme rayonnement en 3-D total et 2-D pour le gain égal 7.96 dB et la directivité égale 7.98 dB respectivement (tableau IV.16).

Donne un gain égal 7.96 dB et une directivité égale 7.98 dB dans le plan $\phi=0^\circ$ respectivement (tableau IV.16), donc l'antenne est directive dans le plan $\phi=0^\circ$.

Mais le réseau 1x4 encoché présente le réel de son impédance d'entrée ($Z_{11}(\text{Re}) = 42.81 \Omega$) inférieur à celle du réseau 1x4 sans encoche qui a une impédance d'entrée proche de l'impédance d'entrée utilisé généralement (50Ω).

Les résultats de simulations du coefficient de réflexion du réseau d'antenne 1x4 (figure IV.45), montrent que le réseau encochés couvre une bande passante allant de (3.123-3.197 GHz) pour un $S_{11} < -10\text{dB}$ soit une bande passante de 23.5% qui est étroite.

Pour palier le problème de l'étroitesse de la bande passante on ajoute de fentes sur le patch.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons représenté la conception et la simulation d'un seul patch, d'un réseau d'antenne à deux éléments rayonnants et d'un réseau d'antenne microruban à quatre éléments rayonnants circulaires sur un substrat de faible constante diélectrique.

Nous avons introduit des modifications sur la géométrie du patch par l'ajout des encoches et des fentes dans le patch qui a amélioré considérablement l'adaptation et la largeur de la bande passante. L'étude de différentes structures étudiées ont été réalisées avec le logiciel de simulation électromagnétique HFSS d'Ansoft. Dans chaque étape de cette étude les performances de l'antenne : gain, impédance d'entrée, coefficient de réflexion et diagramme de rayonnement et la bande passante ont été présentés et analysés

Nous avons remarqué que le choix de la technique d'alimentation et la position de la ligne d'alimentation (soit par la sonde coaxial, soit ligne microruban) et les dimensions du plan de masse influencent considérablement sur les performances sur les antennes.

Les propriétés directionnelles ou omnidirectionnelles de rayonnement sont nécessaires selon l'utilisation pratique. Les diagrammes omnidirectionnels (gain faible) sont normalement souhaitables dans les systèmes mobiles et portatifs. Pour les systèmes de radar et d'autres systèmes directionnels où un gain élevé est désiré, des caractéristiques de rayonnement directionnelles sont préférées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique à la cour des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les applications de ce domaine qui ont attiré plus d'attentions- sont les antennes. Elles sont des éléments importants et nécessaires pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. L'antenne est un des points clés des réseaux sans fil puisque cet élément est le dernier maillon de la chaîne permettant l'émission, la transmission et la réception du signal et donc de l'information contenue dans celui-ci. Elles sont présentées dans tous les systèmes de communication sans fil. Radiocommunication et réseaux de communications (téléphone cellulaire, radar, système de la détection, d'aviation civile et militaire).

Ce projet consiste à développer et concevoir un réseau d'antennes micro ruban de forme circulaire permettant de rayonner à la fréquence 3.5 GHz.

Dans ce travail, nous avons simulé sous HFSS deux patchs : un seul patch alimenté par deux façons, par câble coaxial et l'autre par ligne microruban. Egalement, nous avons conçu deux réseaux d'antennes circulaires, le premier réseau d'antennes microruban constitué de deux éléments rayonnants de forme circulaire, et l'autre de quatre éléments rayonnants sur le substrat Duroid 5880 dont les paramètres géométriques sont : l'épaisseur $h = 1.6$ mm, la constante diélectrique $\epsilon_r = 2.2$, pour permettant de prévoir les performances des antennes coefficient de réflexion, impédance d'entrée, gain, directivité, et diagramme de rayonnement.

Nous remarquons qu'un seul patch alimenté par la ligne microruban avec des slots de forme rectangulaire sur ce substrat présente un bon résultat par rapport au patch alimenté par câble coaxial pour le coefficient de réflexion à une fréquence de résonance proche de la fréquence théorique, le gain total est augmenté et l'impédance d'entrée est amélioré et proche de l'impédance d'entrée utilisé généralement (50Ω). D'après le diagramme de rayonnement, le patch est directif, il a donné un gain faible. La bande passante pour $S_{11} < -10$ dB est large par rapport à l'antenne élémentaire alimenté par câble coaxial sans slot.

En observant les performances (le coefficient de réflexion, le gain, et la directivité) des réseaux d'antenne de deux et quatre éléments rayonnants de forme circulaire, nous constatons qu'elles sont meilleures par rapport à celles d'une seule antenne élémentaire.

L'inconvénient du réseau d'antenne conçu est qu'il fournit une bande passante étroite, Le réseau d'antenne de quatre éléments rayonnants présente un gain fort par rapport au réseau d'antenne de deux éléments rayonnants.

Les résultats de simulation montrent que l'ajout des encoches et des fentes sur l'élément rayonnant améliore l'adaptation de l'antenne et la largeur de la bande passante à -10 dB.

Enfin, Les différentes simulations des performances de ces antennes réalisées à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique Ansoft HFSS, ont donné les performances suivantes : un gain total compris entre 3dB et 8 dB, un coefficient de réflexion $S_{11} < -10$ dB à la fréquence d'intérêt, une largeur de la bande passante comprise entre 74MHz – 124.3 MHz (24% à 38.97 %) qui sont satisfaisants et acceptables et vérifient bien notre cahier de charge et pourraient être utilisées dans un très grand nombre d'application (communication sans fil, radar...etc).

En conclusion, une antenne avec un gain faible tend à être omnidirectionnelle, alors qu'une antenne avec un gain élevé tend à être plus directive et rayonne une grande partie de sa puissance dans certaines directions. Les propriétés directionnelles ou omnidirectionnelles de rayonnement sont nécessaires selon l'utilisation pratique. Les diagrammes omnidirectionnels sont normalement souhaitables dans les systèmes mobiles et portatifs. Pour les systèmes de radar et d'autres systèmes directionnels où un gain élevé est désiré, des caractéristiques de rayonnement directionnelles sont préférées.

A partir de ces travaux, quelques perspectives peuvent être envisagées.

- Une des perspectives serait d'utiliser des fentes de forme U, V et croix sur l'élément rayon et aussi sur le plan de masse afin de palier le problème de l'étroitesse de la bande passante.
- Etude de l'influence de la forme et la position de la fente sur la caractéristique de l'antenne, et principalement sur le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement. et la largeur de la bande passante
- Utilisation de l'alimentation par ligne coplanaire CPW
- Etude des antennes ultra large bande UWB.

Bibliographie

Bibliographie

[1] BENAMANE Fouad « Conception d'un Patch Microstrip », Master Télécoms hyperfréquence, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) Maroc, Maroc, 2011.

[2] CHAKER Hichem «CONCEPTION ET OPTIMISATION DE RESEAUX D'ANTENNES IMPRIMEES A FAISCEAUX MULTIPLES APPLICATION DES RESEAUX DE NEURONES», Thèse doctorat, Faculté de technologie, Université Abou-Bekr, Tlemcen, 2012.

[3] TEBACHE Soufiane «Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées», Magister, Faculté des Sciences et de la technologie, Université Mohamed Khider, Biskra, 2013.

[4] Zo Evina jean- Stève« Antennes et propagation : les radiofréquences et la santé. Les cas du cameroun », Rapport de Stage, Faculté des Technologies de L'information et de la Communication, Université protestante d'Afrique Centrale, Cameroun, 2012.

[5] Bolomey Jean-Charles et Bournel Arnaud «STOM - Antennes », Maîtrise EEA, ENS Cachan - Université Paris XI, 2004.

[6] CHOUTI Leila« Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage », Magister, Faculté des Sciences de L'ingénieur, Université Mentouri, Constantine, 2009.

[7] HMEYDI Yazid « Réalisation et mise au point d'un système de brouillage GSM 900-1800», Projet de fin d'études, Institut supérieur des études technologiques en communications, Tunis, Tunisie, 2009.

[8] KADRI Boufeldja «Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non Périodiques d'antennes microrubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou », Doctorat, Faculté de Technologie, Université Abou-Bekr, Tlemcen, 2011.

[9] MEKIMAH Boualem « Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patchs microbandes empilés et excentrés », Magister en Electronique, Faculté des sciences et de la technologie et des sciences de la matière, Université Kasdi Merbah, Ouargla.

[10] ARAB Tarek « Etude des matériaux composites (Titanate oxyde) : application pour la réalisation des substrats d'antennes miniatures », Magister, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas de Sétif-1 UFAS, Algérie, 2014.

[11] CHORFI Hamid « CONCEPTION D'UN NOUVEAU SYSTÈME D'ANTENNE RÉSEAU CONFORME EN ONDE MILLIMÉTRIQUE », Mémoire, Bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 2012.

[12] AMEZIANE Djamel « Etude et Optimisation d'Antennes Fractales Plaquées », Magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen, 2009.

[13] Alaeddine AL-FAWAL « Conception et Réalisation de Réseaux d'Antennes pour les Mesures de Propagation et de Transmission Application aux Réseaux de Communication sans Fil UMTS, WLAN, WLL ET HIPERLAN/2 », Diplôme d'Ingénieur en Electricité et Electronique, Faculté de Génie I, Université Libanaise, Beyrouth, Liban, 2001.

[14] Radartutorial (www.radartutorial.eu/index.fr.html). Chapitre 2

[15] Noham MARTIN « Réalisation d'antennes patch reconfigurables sur substrat mousse à base de cristal liquide », Fiche n°8 de la conférence, Laboratoire d'Etude et des Matériaux pour l'Electronique (LEMCEL) à Calais : Redouane DOUALI. Bretagne, 17 décembre 2004. pdf

[16] KEBBAB Radhwane « CONCEPTION D'ANTENNES ULTRA LARGE BANDE EN TECHNOLOGIE IMPRIMEE », Thèse de Magister, Département de Génie Electronique et Electrique, Université Abou bakr Belkaid, Tlemcen, 2010.

[17] FOUQUE Andrée « Contribution à la conception d'un récepteur mobile faible coût et faible consommation dans la bande Ku pour le standard DVB-S », Thèse, Ecole Doctorale des Sciences Physiques et de L'ingénieur, Université Bordeaux 1, 2012.

[18] Arun Singh Kirar, Veerendra Singh Jadaun, Pavan Kumar Sharma (2013), Design a Circular Microstrip Patch Antenna for Dual Band, International Journal of Electronics Communication and Computer Technology (IJECCCT), Department of Electronics, MITS, Gwalior, India, March.

[19] JABER Zouhair « CONCEPTION D'UNE ANTENNE INTELLIGENTE A FAISCEAU COMMUTABLE ASSISTÉE PAR UN SYSTÈME DE LOCALISATION DES MOBILES », Mémoire, Ecole de Technologie Supérieure, Université du Québec, 2008.

[20] BARKAT Ouarda « Etude et Synthèse des Caractéristiques de Réseaux d'antennes Imprimées Supraconductrices dans la Bande Millimétrique », Thèse doctorat en science, Département d'Electronique, Université Mentouri, Constantine, 2009.

[21] CETSIS'2007, Bordeaux, 2007. Approche pédagogique sur l'innocuité des technologies de réseaux sans fil. François Demontoux, Rafael Hidalgo Muñoz, Université Bordeaux, 29-31 octobre 2007.

[22] Simulation 3D HFSS de filtres. Hamid MEGHDADI & Jean-Charles POUX. ETI-2, Novembre 2005 – Mai 2006. PDF

[23] Logiciel de Simulation de Champ électromagnétique/ 3D ANSOFT HFSS

[24] Ansoft HFSS – V10 - User Guide, book, © 2005 Ansoft Corporation. 225 West Station Square Drive Suite 200 Pittsburgh, PA 15219, USA. Edition: REV1.0, 21 June 2005

[25] Mohammed El amine CHAIB « Modélisation et caractérisation de fonctions électroniques générées par des dispositifs à métamatériaux », Magister, Faculté de Technologie, Université Abou bakr Belkaid, Tlemcen, Février 2012.

[26] BENAMRANE Fouad. Logiciel HFSS.PDF

ANNEXE

Annexe A

Les Bandes de fréquences couramment utilisées

En fonction des applications, un radar peut émettre des formes d'ondes très diverses. Ces signaux sont généralement à bande étroite Δf centrée autour d'une fréquence porteuse f_0 , dont la longueur d'onde associée est notée λ_0 .

Les bandes de fréquence suivent une classification conventionnelle mise en place durant la seconde Guerre Mondiale par les Alliés pour catégoriser leurs propres systèmes et ceux des Allemands. Cette classification est utilisée par la société savante IEEE (standard IEEE 521-1984) et l'Union Internationale des Télécommunications. Le tableau présente quelques unes de ces bandes, couramment utilisées en radar. Des bandes de plus hautes et de plus basses fréquences existent, mais elles ne sont pas mentionnées car nous n'y faisons pas référence dans ce travail.

Bande	f_0	λ_0	Commentaire
HF	3-30 MHz	10-100 m	Radars trans-horizons
P	<300 MHz	>1 m	Pour "Previous", utilisé a posteriori pour nommer les bandes utilisées par les radars primitifs anglais du dispositif Chain Home.
VHF	50-330 MHz	0,9-6 m	Radars à très longue portée ou à pénétration de sol.
UHF	300-1000 MHz	0,3-1 m	Radars à longue portée, également pour la pénétration de sol ou de feuillage.
L	1-2 GHz	15-30 cm	Pour "Long". Utilisé sur Seasat, et pour les systèmes GPS/Galileo/Glonass, WiFi, GSM.
S	2-4 GHz	7,5-15 cm	Pour short (court). Utilisée par les radars de trafic aérien local, les radars météorologiques et navals.
C	4-8 GHz	3,75-7,5 cm	Pour "Compromise", compromis entre la bande S et la bande X pour les transpondeurs satellitaires et les radars météorologiques ; également utilisé expérimentalement en imagerie radar océanique.
X	8-12 GHz	1,67-2,5 cm	Utilisée pour les autodirecteurs de DCA (X pour "crosshair", viseur). Bande très souvent utilisée en radar de surveillance maritime.
Ku	12-18 GHz	1,67-2,5 cm	Bande en dessous de la bande K (l'indice "u" étant pour under, en anglais), pour la cartographie à haute résolution
K	18-27 GHz	1,11-1,67 cm	De l'allemand Kurz, court. Très utilisée en radar météorologique pour détecter les gouttelettes d'eau en suspension dans

			l'atmosphère.
Ka	27-40 GHz	0,75-1,11 cm	Bande Kurz. Utilisé pour les radars à haute résolution de courte portée : vélocimétrie sur route, radar anti-collision automobile.

Tableau : Bandes couramment utilisées en radar.

Annexe B

RT/duroid® 5880

High Frequency Laminates

RT/duroid® 5880 glass microfiber reinforced PTFE composite is designed for exacting stripline and microstrip circuit applications.

Glass reinforcing microfibers are randomly oriented to maximize benefits of fiber reinforcement in the directions most valuable to circuit producers and in the final circuit application.

The dielectric constant of RT/duroid 5880 laminates is uniform from panel to panel and is constant over a wide frequency range. Its low dissipation factor extends the usefulness of RT/duroid 5880 to Ku-band and above.

RT/duroid 5880 laminate is easily cut, sheared and machined to shape. It has excellent dimensional stability and is resistant to all solvents and reagents, hot or cold, normally used in etching printed circuits or in plating edges and holes.

Normally supplied as a laminate with electrodeposited copper of 1/4 to 2 ounces/ ft. On both sides, RT/duroid 5880 composites can also be clad with rolled copper foil for more critical electrical applications. Cladding with aluminum, copper or brass plate may also be specified.

When ordering RT/duroid 5880 laminates, it is important to specify dielectric thickness, tolerance, rolled or electrodeposited copper foil, and weight of copper foil required.

(See reverse for product data)

RT/duroid 5880 Properties:

The following table shows the substrate Duroid 5880 properties:

PROPERTY	TYPICAL VALUE		DIRECTION	UNITS	CONDITION	TEST METHOD
Dielectric Constant, ϵ_r	2.20 ± 0.02 spec.		Z Z	-	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650 2.5.5.3 10 GHz IPC-TM-650 2.5.5.5
Dissipation Factor, $\tan \delta$	0.0004 0.0009		Z Z	-	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650 2.5.5.3 10 GHz IPC-TM-650 2.5.5.5
Volume Resistivity	2 X 10 ⁷		Z	Mohm cm	C93/35/90	ASTM D257
Surface Resistivity	3 X 10 ⁸		Z	Mohm	C93/35/90	ASTM D257
Tensile Modulus	Test at 23 C 1070 (156) 860 (125)	Test at 100 C 450 (65) 380 (55)	X Y	MPa (kpsi)	A	ASTM D638
ultimate stress	29 (4.2) 27 (3.9)	20 (2.9) 18 (2.6)	X Y	MPa (kpsi)		
ultimate strain	6.0 4.9	7.2 5.8	X Y	%		
Compressive Modulus	710 (103) 710 (103) 940 (136)	500 (73) 500 (73) 670 (97)	X Y Z	MPa (kpsi)	A	ASTM D695
ultimate stress	27(3.9) 52 (7.5)	22 (3.2) 21 (3.1) 43 (6.3)	X Y Z	MPa (kpsi)		
ultimate strain	8.5 7.7 12.5	8.4 7.8 17.6	X Y Z	%		
Deformation Under Load	Test at 150 C 1.0		Z	%	24 hr/14 MPa (2kpsi)	ASTM D621
Water Absorption Thickness = 0.8 mm (0.031) Thickness = 1.6 mm (0.062)	0.9 (0.02) 13 (0.015)			mg (%)	D24/23	ASTM D570
Specific Gravity	2.2					ASTM D792
Heat Distortion Temperature	>260 (>500)		X, Y	C (F)	1.82 MPa (264 psi)	ASTM D648
Specific Heat	0.96 (0.23)			J/g/K (BTU/lb/ F)		Calculated
Thermal Conductivity	0.20		Z	W/m/K		ASTM C518

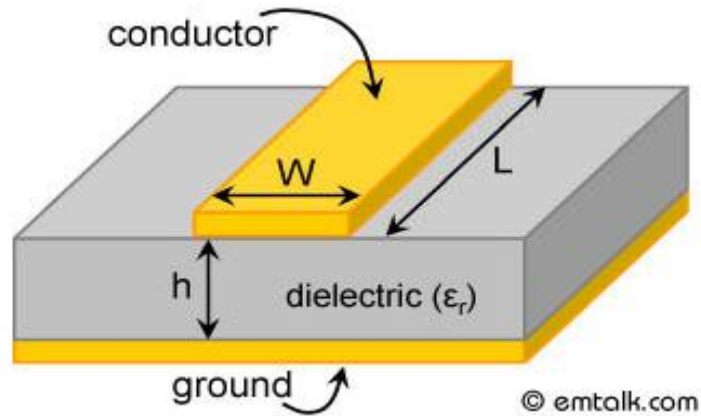
Thermal Expansion	X	Y	Z	<<<	mm/m		ASTM D3386 (10K/min) (Values given are total change from a base temperature of 35 C)
	-6.1	-8.7	-18.7			-100 C	
	-0.9	-1.8	-6.9			15	
	-0.5	-0.9	-4.5			25	
	1.1	1.5	8.7			75	
	2.3	3.2	28.3			150	
	3.8	5.5	69.5			250	

Table: Representation of RT/duroid 5880 Properties.

Annexe C

<http://www.emtalk.com/mscalc.php>

Microstrip Line Calculator:



Substrate Parameters :

Dielectric Constant (ϵ_r):

Dielectric Height (h):

Frequency: GHz

Electrical Parameters :

Z_0 : Ω

Elec. Length: deg

Physical Parameters :

Width (W):

Length (L):

Description :

The microstrip calculator determines the width and length of a microstrip line for given characteristic impedance (Z_0) and electrical length or vice versa. The substrate parameters (ϵ_r and h) and the frequency of interest are required.

Synthesize:

Enter values for Z_0 and Electrical Length to determine the physical width and length of the microstrip line. Press Synthesize to see the results.

Analyze:

Enter values for W and L for a microstrip line to determine its Z_0 and Electrical Length. Press Analyze to see the results.