



الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية
الشعبية



Republique Algerienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي
التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi- Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

En : *Télécommunications*

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : Zga Hanane

Sujet

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH TRI-BANDE A ALIMENTATION PAR SONDE COAXIALE.

Présenté et soutenu publiquement, le 11 / 06 / 2022 ,devant le jury composé de :

Mme Djellab Hanane

MCA

Président

Mme Ouacifi Malika

MAA

Rapporteur

M Bentahar Tarek

MCA

Examineur

Promotion : 2021/2022

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

***A celui qui m'a appris le vrai sens de la vie, et
qui n'a pas hésité à m'encourager ma chère sœur***

***Sousou qui ont toujours été à mes cotés pour me
soutenir et m'aider à faire des choix importants.***

***A mes chers frères : Taki Eddine, Sofiane, Adem,
Dyhia Eddine***

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le tout puissant sans sa volonté rien n'est possible, Parce que cela m'a donné la force, la volonté et le courage et de la patience afin d'accomplir pour réaliser ce travail.

J'adresse le grand remerciement à notre encadreur Mme Dr. Ouacifi Malika d'avoir proposé et dirigé le thème de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les membres de jury, Dr. DJELLAB HANANE, pour ce grand honneur que vous nous faites, en acceptant de présider ce jury. je remercie également à Dr. BENTAHAR TAREK pour avoir accepté d'être examinateur de ce mémoire .

Je tenons à remercier Tous ceux qui m'ont encouragé de près ou de loin dans la réalisation de ce projet.

Liste des symboles

- ✓ S_{11} : Le coefficient de réflexion.
- ✓ dB : Décibel.
- ✓ f_0 : Fréquence centrale.
- ✓ f_1 : Fréquence minimale.
- ✓ f_2 : Fréquence maximale.
- ✓ η : Le rendement
- ✓ θ : Angle l'azimutal.
- ✓ φ : Angle d'élévation
- ✓ $G(\theta, \varphi)$: Gain de l'antenne dans la direction (θ, φ) .
- ✓ $D(\theta, \varphi)$: Directivité de l'antenne dans la direction (θ, φ) .
- ✓ λ : La longueur d'onde.
- ✓ W : largeur de l'élément rayonnant
- ✓ ϵ_r : La constante diélectrique du substrat
- ✓ \mathbf{J}_D : Courant de déplacement.
- ✓ \mathbf{J}_t : Courant de surface.

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur les antennes patch

Tableau I.1 : Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation.....	15
---	-----------

Chapitre III : Simulations et résultats

Tableau III.1: Paramètres de l'antenne patch microstrip 5.5GHz.....	57
Tableau III.2: Résultats d'antenne conventionnelle.....	61
Tableau III.3: Plage de variation de slot rectangulaire.....	62
Tableaux III.4: Performances de l'antennes triple bande avec une fente rectangulaire....	69
Tableau III.5: Bandes de fréquences et utilisations.....	69
Tableau III.6: Plage de variation des fentes.....	71
Tableau III.7: Dimensions de fentes après optimisation.....	72
Tableaux III.8: Performances de l'antenne triple bande avec une fente de forme 8.....	77
Tableau III.9: Bandes de fréquences et utilisations.....	77
Tableau III.10: Etude comparative des trois antennes.....	78

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les antennes patch

Figure I.1 : Système de transmission.....	6
Figure I.2: Configuration de base d'une antenne patch.....	7
Figure I.3: Différentes formes du patch.....	8
Figure I.4: Bande passante et coefficient de réflexion.....	9
Figure. I.5: Diagramme de rayonnement de surface et de courant.....	10
Figure I.6: Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne.....	11
Figure I.7: Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale.....	12
Figure I.8: Alimentation du patch rectangulaire par une ligne micro ruban.....	13
Figure I.9: Alimentation couplée par ouverture.....	14
Figure I.10: Alimentation du patch rectangulaire par couplage.....	15
Figure I.11 : Distribution de charge du champ dans l'antenne patch.....	16
Figure I. 12 : Configuration du champ électrique du radiateur.....	16

Chapitre II : Présentation du logiciel HFSS

Figure II.1: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS.....	20
Figure II.2 : Les outils de HFSS.....	22
Figure II.3 : Manager des projets.....	23
Figure II.4 : Fenêtre des propriétés.....	24
Figure II.5 : les paramètres (hauteur, largeur) du model.....	24
Figure II.6 : type de solution.....	26
Figure II.7 : compiler le projet.....	26
Figure II.8 : Création des conditions aux limites (boundary).....	27
Figure II.9: types d'excitations.....	29
Figure II.10: Analyze Setup.....	29
Figure II.11: Solution setup.....	30
Figure II.12: Sélection de type de solution.....	31
Figure II.13 : Sélection des unités.....	32
Figure II.14 : Position et dimensions de Box.....	32
Figure II.15: Matière de substrat.....	33
Figure II.16 : Substrat diélectrique.....	34

Figure II.17 : Plan de mass (inf_gnd)	34
Figure II.18: Perfect E	35
Figure II.19 : Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse	35
Figure II.20: Cut_out	36
Figure II.21 : création de patch	38
Figure II.22 : Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le patch	38
Figure II.23 : dessin du coaxial	40
Figure II.24 : l'âme du coaxial	41
Figure II.25 : Excitation wave-port	42
Figure II.26: Sonde (probe)	44
Figure II.27 : Boitier d'air	45
Figure II.28 : Assignement des frontières	46
Figure II.29: Configuration du rayonnement	47
Figure II.30 : Solution d'analyse (fréquentielle)	48
Figure II.31: Plage de fréquence et type d'analyse	49
Figure II.32 : Vérification des étapes de simulation	49
Figure II.33: Affichage des résultats	50
Figure II.34: Affichage S11	51
Figure II.35: Affichage VSWR	51
Figure II.36: Affichage de diagramme de rayonnement	52

Chapitre III : Simulations et résultats

Figure III.1 : Géométrie de l'antenne monobande de 5.5Ghz	56
Figure III.2 : Coefficient de réflexion S11(dB) à bande unique de 5,5 GHz	58
Figure III .3: Rapport d'onde stationnaire (VSWR) à bande unique de 5,5 GHz	59
Figure III.4: Diagramme de rayonnement en 2-D à bande unique de 5,5 GHz	60
Figure III.5: Diagramme de rayonnement en 3-D à bande unique de 5,5 GHz	60
Figure III.6: Géométrie de l'antenne tri-bande à une fente rectangle	61
Figure III.7: Coefficient de réflexion S_{11} avec variation de dimensions de la fente rectangulaire	62
Figure III.8 : Coefficient de réflexion (S11) en fonction de la fréquence	64

Figure III .9: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence	65
Figure III.10 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 4.3166GHz(a)2D (b) 3D.....	66
Figure III .11 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 7.85 GHz : (a) 2D, (b) 3D.....	67
Figure III.12 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 10.17 GHz : (a) 2D, (b) 3D.....	68
Figure III.13: Antenne Patch rectangulaire alimenté par câble coaxial avec une fente en forme de numéro 8.....	70
Figure III.14 : Coefficient de réflexion S_{11} avec variation de dimensions des fentes	71
Figure III.15 : Coefficient de réflexion (S_{11}) en fonction de la fréquence avec une fente en forme de numéro 8.....	72
Figure III.16: VSWR en fonction de fréquence	73
Figure III.17 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 3.26GHz : (a)2D, (b) 3D.....	74
Figure III.18 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 7.85 GHz : (a)2D, (b) 3D.....	75
Figure III.19 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 8.73 GHz(a)2D (b) 3D.....	76

Résumé

Ces dernières années, le nombre de communications cellulaires a connu une croissance exponentielle. Ce dernier a bénéficié de l'amélioration des composants électroniques permettant aux terminaux portables de rester compacts. Les diverses applications des dispositifs de communication nécessitent des fréquences de fonctionnement distinctes. En fonction des exigences de conception, la géométrie des antennes microruban peut être ajustée pour résonner à plusieurs fréquences. Dans ce mémoire, nous proposons la conception d'une antenne rectangulaire microruban à fentes à l'aide d'une technique d'alimentation par sonde coaxiale. Le concept de conception consiste à incorporer des fentes dans le patch rayonnant d'une antenne patch microstrip conventionnelle de 5,5 GHz afin de créer trois bandes de fréquences. Deux géométries de fentes sont insérées, une fente rectangulaire et une fente de forme 8. Les positions et les dimensions des fentes sont déterminées à l'aide d'une analyse paramétrique pour atteindre les objectifs requis.

Mots clés: Antenne patch, tri-bande, fentes, miniaturisation.

Abstract

In recent years, the number of cellular communications has grown exponentially. This latter has benefited from the improvement of electronic components allowing portable terminals to remain compact. Variety of applications in communication devices require separate operating frequencies. Depending on the design requirement, microstrip antennas geometry can be adjusted to resonate at multiple frequencies. In this work we propose a design of a triple-band microstrip rectangular antenna with slots using coaxial probe-feed technique. The design concept is to incorporate slots into the radiating patch of a conventional 5.5 GHz microstrip patch antenna in order to create three frequency bands. Two slot geometries are inserted, a rectangular slot and an 8-shape slot. The positions and dimensions of the slots are determined using parametric analysis to achieve the required objectives.

Keywords: Patch antenna, tri-band, slots, miniaturization.

ملخص

في السنوات الأخيرة تطورت الاتصالات الخلوية بشكل كبير. وقد استفادت هذه الأخيرة من تحسين المكونات الإلكترونية التي تسمح للمحطات المحمولة بأن تظل مدمجة، تتطلب التطبيقات المختلفة لأجهزة الاتصالات ترددات تشغيل منفصلة. اعتماداً على متطلبات التصميم، يمكن ضبط هندسة هوائيات الشريط الصغير بحيث يتردد صداها على ترددات متعددة في هذه الأطروحة، نقترح تصميم هوائي ميكروstrip مستطيل الشكل مع فتحات باستخدام تقنية تغذية مسبار محوري. يتمثل مفهوم التصميم في دمج الفتحات في التصحيح المشع لهوائي تصحيح ميكروstrip التقليدي 5.5 جيجا هرتز لإنشاء ثلاثة نطاقات تردد يتم إدخال فتحتين هندسيتين، فتحة مستطيلة وشق على شكل 8. يتم تحديد مواضع وأبعاد الفتحات باستخدام التحليل البارامتري لتحقيق الأهداف المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: هوائي التصحيح، النطاق الثلاثي، الفتحات، التصغير.



Table des Matières

Table des Matières

<i>Dédicacs</i>	<i>I</i>
<i>Remerciements</i>	<i>II</i>
<i>Liste des symboles</i>	<i>III</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>VI</i>
<i>Résumés</i>	<i>VIII</i>
<i>Table des matières</i>	<i>X</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
Chapitre I : Généralités sur les antennes patchs	
<i>I.1 Introduction</i>	<i>5</i>
<i>I.2 Définition d'une antenne</i>	<i>5</i>
<i>I.2.1 Antenne d'émission</i>	<i>5</i>
<i>I.2.2 Antenne de réception</i>	<i>5</i>
<i>I.3 Antennes microbandes</i>	<i>6</i>
<i>I.3.1 Description des antennes microbande</i>	<i>6</i>
<i>I.4 Les caractéristiques des antennes</i>	<i>8</i>
<i>I.4.1 Le coefficient de réflexion S_{11}</i>	<i>8</i>
<i>I.4.2 La bande passante</i>	<i>8</i>
<i>I.4.3 La directivité</i>	<i>9</i>
<i>I.4.4 Rendement de l'antenne</i>	<i>9</i>
<i>I.4.5 Le gain</i>	<i>10</i>
<i>I.4.6 L'impédance d'entrée de l'antenne</i>	<i>10</i>
<i>I.4.7 Diagramme de rayonnement</i>	<i>10</i>
<i>I.5 Les avantages et inconvénient</i>	<i>11</i>
<i>I.6 Les techniques d'alimentations</i>	<i>11</i>
<i>I.6.1 Alimentation par sonde coaxiale</i>	<i>12</i>
<i>I.6.2 Alimentation par ligne micro-ruban</i>	<i>13</i>
<i>I.6.3 Alimentation couplée par ouverture</i>	<i>13</i>
<i>I.6.4 Alimentation par le couplage par proximité</i>	<i>14</i>
<i>I.7 Comparaison entre les types d'alimentation</i>	<i>15</i>
<i>I.8 Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch</i>	<i>16</i>
<i>I.9 Les applications des antennes</i>	<i>17</i>

<i>I.10 Conclusion</i>	17
------------------------------	----

Chapitre II : Présentation du logiciel HFSS

<i>II.1 Introduction</i>	19
<i>II.2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS</i>	19
<i>II.3 avantages et inconvénients du hfss</i>	20
<i>II.4 Comment commencer HFSS</i>	21
<i>II.5 Comment ouvrir un nouveau projet</i>	21
<i>II.6 Sauvegarder le projet</i>	21
<i>II.7 Description générale des outils HFSS</i>	21
<i>II.8 Etapes de simulation par HFSS</i>	30
<i>II.9 Exemple d'étapes de simulation d'antenne Patch rectangulaire alimenté Par câble coaxial par HFSS</i>	31
<i>II.9.1 Créer le substrat</i>	32
<i>II.9.2 Créer le plan de masse infini</i>	34
<i>II.9.3 Attribuer une frontière perfect E au plan de masse infini</i>	35
<i>II.9.4 Créer le plan de masse infini Cut Out</i>	35
<i>II.9.5 Créer le Patch</i>	36
<i>II.9.6 Attribuer un champ perfect E pour le patch</i>	38
<i>II.9.7 Créer le câble coaxial</i>	38
<i>II.9.8 Créer l'âme du coaxial</i>	40
<i>II.9.9 Créer le port d'onde (wave port)</i>	42
<i>II.9.10 Attribuer une excitation au port d'onde</i>	42
<i>II.9.11 Création de la sonde (probe)</i>	43
<i>II.9.12 Créer l'Air</i>	44
<i>II.9.13 Assigner les conditions aux limites (Radiation Boundary)</i>	46
<i>II.9.14 Créer une configuration du rayonnement (radiation setup)</i>	46
<i>II.9.15 Créer une installation d'analyse (analysis setup)</i>	47
<i>II.9.16 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep)</i>	48
<i>II.9.17 Analyse</i>	49
<i>II.9.18 Créer les rapports</i>	50
<i>II.10 Conclusion</i>	53

Chapitre III : Simulations et résultats

<i>III.1 Introduction</i>	55
<i>III.2 Antenne patch monobande (conventionnelle)</i>	56
<i>III.2.1 Antenne patch tri-bande à fente rectangulaire</i>	61
<i>III.2.2 Antenne patch tri-bande à fente de forme 8</i>	69
<i>III.3 Etude comparative</i>	77
<i>III.4 Conclusion</i>	78
<i>Conclusion générale</i>	80
<i>Références</i>	83



**Introduction
Générale**

Introduction générale

Le développement rapide des systèmes de communication sans fil ont conduit à de nombreuses améliorations au niveau des dispositifs et des systèmes sans fil pour répondre aux exigences des applications multimédia. L'antenne est l'un de ces dispositifs qui joue un rôle important dans l'amélioration des performances des systèmes. une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique[1].

Il existe plusieurs types d'antennes telles que les antennes paraboliques, les antennes patchs, les antennes Yagi, les antennes dipôles, etc. L'antenne patch ou micro ruban est l'une des antennes les plus utilisées dans les communications sans fil. Elle est destinée à de nombreuses applications dans différents domaines tels que les communications par réseau local sans fil (WLAN), les communications par satellite, les récepteurs radar et elle peuvent être utilisées dans d'autres produits sans fil [2].

Les antennes micro-rubans sont très populaires en raison de leurs caractéristiques telles que la taille réduite, la facilité d'intégration, le faible poids, la fabrication à faible coût, etc. Dans un autre côté, ces antennes imposent divers inconvénients, tels qu'une bande passante étroite, un gain faible et faible rendement . À ce jour, des recherches sont en cours pour réduire ces inconvénients.

Actuellement, la multiplication et la diversité des standards de communications radio-mobiles tels que : GSM, DCS, UMTS, WLAN, Bluetooth, TV Numérique,.....etc. ont créé un besoin pressant pour des antennes compactes multifréquences et/ou large bande permettant notamment d'assurer la compatibilité des différentes normes ou accéder à de nombreux services à partir du même appareil ce qui incité les chercheurs à trouver des modèles d'antennes de plus en plus complexes faisant généralement appel à des structures court-circuitées ou avec des fentes rayonnantes qui permettent d'abaisser les modes supérieurs. Nous définissons une "fente" comme une ouverture découpée dans une surface conductrice métallique obligeant les courants de surface à allonger leur trajet pour la contourner. L'insertion de fente dans l'élément rayonnant constitue une solution intéressante pour la réduction de taille des antennes.

Lorsque les courants circuleront sur l'élément rayonnant, l'insertion d'une fente pourra créer de nouvelles résonances. Le choix de la forme et de la longueur de ces fentes

Introduction générale

détermineront les fréquences de fonctionnement de l'antenne et les impédances d'entrée[3].

L'objectif de ce mémoire est la Conception et simulation d'une Antenne rectangulaire microruban à des fentes à l'aide d'une technique d'alimentation par sonde coaxiale par le logiciel Ansoft HFSS . Le concept de conception consiste à incorporer des fentes dans le patch rayonnant d'une antenne patch microstrip conventionnelle de 5,5 GHz afin de créer trois bandes de fréquences. Pour atteindre cet objectif, le présent travail est réparti sur trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une définition générale des antennes et leurs caractéristiques, plus particulièrement les antennes patchs, nous présenterons également leur configuration de base, leurs techniques d'alimentation, leurs mécanismes de rayonnement, ainsi leurs avantages et inconvénients et enfin nous citerons leurs domaines d'application.

De nos jours les études et les recherches sur le domaine des antennes sont très évoluées, que ce soit sur le plan théorique ou pratique, ce qui veut dire l'établissement de nouvelles conceptions ; le but principal des chercheurs est de les miniaturiser tout en gardant leurs propriétés voir même les optimiser. Pour économiser les ressources destinées à la conception, on fait appel à la simulation électromagnétique (EM) qui est un outil essentiel dans la conception moderne des filtres et des antennes. Les techniques de simulation EM ont évolués rapidement pour atteindre un niveau de précision très important. Ces outils de simulation ont permis d'accélérer le processus de conception, permettant de concevoir des prototypes virtuels. On prend comme exemple le logiciel **HFSS (High Frequency Structure Simulation)** qui est l'un des plus performants sur le marché, est le logiciel choisi dans notre projet ses fonctionnalités sont présentées dans notre deuxième chapitre.

le troisième chapitre est dédié à la conception d'une antenne rectangulaire microruban à fentes en utilisant la technique d'alimentation par sonde coaxiale simulé à l'aide du logiciel de Simulation électromagnétique HFSS. Le concept de conception consiste à incorporer des fentes dans le patch rayonnant d'une antenne patch microstrip conventionnelle de 5,5 GHz afin de créer trois bandes de fréquences. Deux géométries de fentes sont insérées, une fente rectangulaire et une fente de forme 8. Les positions et les dimensions des fentes sont déterminées à l'aide d'une analyse paramétrique. En effet, une technique d'optimisation, en utilisant un algorithme Matlab, est exploitée pour

Introduction générale

sélectionner la meilleur géométrie de l'antenne qui corresponde au meilleur comportement triple bandes. les résultats de simulation et la discussion sont mentionnés sur ce chapitre.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale et une bibliographie



CHAPITRE I:
Généralités sur les antennes patches

I.1 Introduction

Dans tous les systèmes de communication sans fil, les antennes jouent un rôle très important dans l'amélioration de ses performances. Pour tels systèmes, les antennes constituent des éléments indispensables pour assurer le couplage entre les équipements et le milieu de propagation [4]. Les antennes varient entre elles à travers plusieurs choses telles que la taille, la forme, la bande de fréquences, le gain, la polarisation,...etc. Ceci tout dépend du domaine d'application.

Aujourd'hui, la technologie est très intéressée par le développement d'antenne patch, qui est actuellement utilisé dans de nombreux appareils électroniques (téléphone mobile, ordinateur, GPS, Radar,...etc).

Dans ce chapitre, nous présenterons une définition générale des antennes et leurs caractéristiques, plus particulièrement les antennes patches, nous présenterons également leur configuration de base, leurs techniques d'alimentation, leurs mécanismes de rayonnement, ainsi leurs avantages et inconvénients et enfin nous citons leurs domaines d'application.

I.2 Définition d'une antenne

L'antenne est un élément essentiel dans les systèmes de télécommunication. Selon la définition standard IEEE des termes relatifs aux antennes, une antenne est définie comme une moyenne de rayonner ou de recevoir des ondes radio [5]. En d'autre terme, l'antenne est un dispositif qui fait le couplage entre les ondes guidées, issue d'un générateur de puissance et les ondes rayonnées dans l'espace libre (convertisseur et transformateur de puissance). Elle est utilisée pour émettre et pour recevoir les ondes électromagnétiques.

I.2.1 Antenne d'émission

Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée (transducteur) [1].

I.2.2 Antenne de réception

Est le rôle inverse d'une antenne d'émission. Elle est utilisée pour capter et transformer la puissance rayonnée électromagnétique en une puissance électrique. Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission

avec les mêmes propriétés rayonnantes on dit que son fonctionnement est réciproque [1].

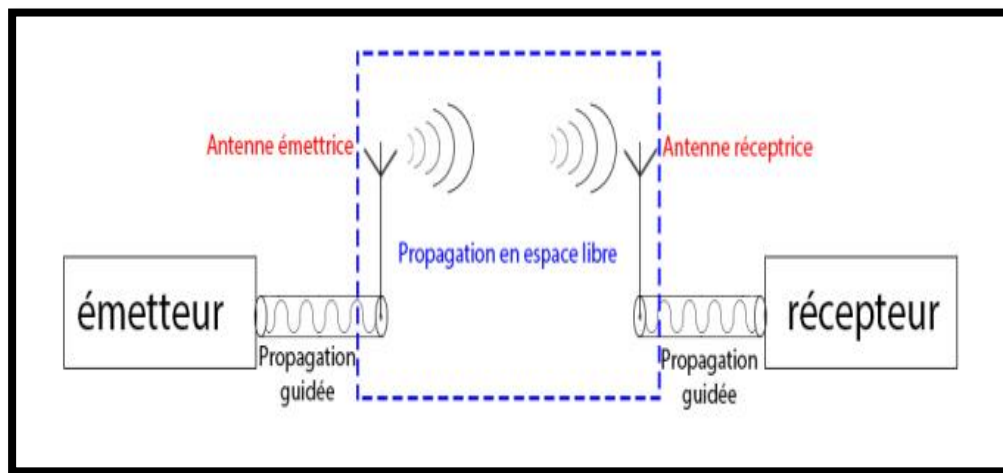


Figure I.1 : Système de transmission.

I.3 Antennes microbandes

Le concept d'antenne micro-ruban, ou antenne imprimée, a été proposé par Deschamps en 1953[6], mais au milieu des années 70, les premières véritables contributions au domaine de la technologie des micro-rubans ont été apportées. Les antennes micro-ruban ont attirées l'attention d'un grand nombre de chercheurs et des ingénieurs et ont été largement utilisées dans les systèmes Radio fréquences et hyperfréquences. C'est un type d'antenne qui a un faible volume, un faible poids, un faible coût, hautes performances et facilité de mise en œuvre.

I.3.1 Description des antennes microbande

Une antenne à éléments rayonnants imprimés « **Figure I.2** », communément appelée antenne patch est une ligne micro-ruban (micro-strip) de forme particulière.

Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'antenne de manière générale, il s'agit bien du rayonnement (émission) et de la réception d'une onde électromagnétique

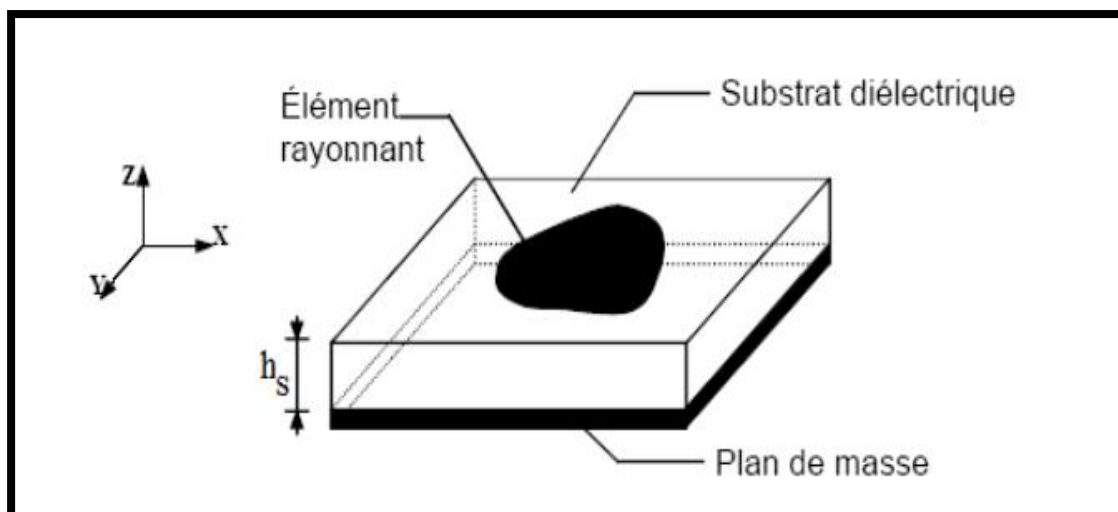


Figure I.2: Configuration de base d'une antenne patch [7].

Cette antenne se compose de :

Le plan de masse (ground plane) : est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.

Un substrat diélectrique (dielectric substrate) : composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative ($2,2 < \epsilon_r < 12$). Il est utilisé pour augmenter la puissance.

L'élément rayonnant (patch) : est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire ...etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit être adaptée d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion.

Les différentes formes d'une antenne patch

Le patch et le plan de masse sont généralement en cuivre. Le patch peut prendre différentes formes, telles que le rectangle, le carré, l'ellipse, le cercle, le triangle, l'anneau, le pentagone, ...etc.[8]

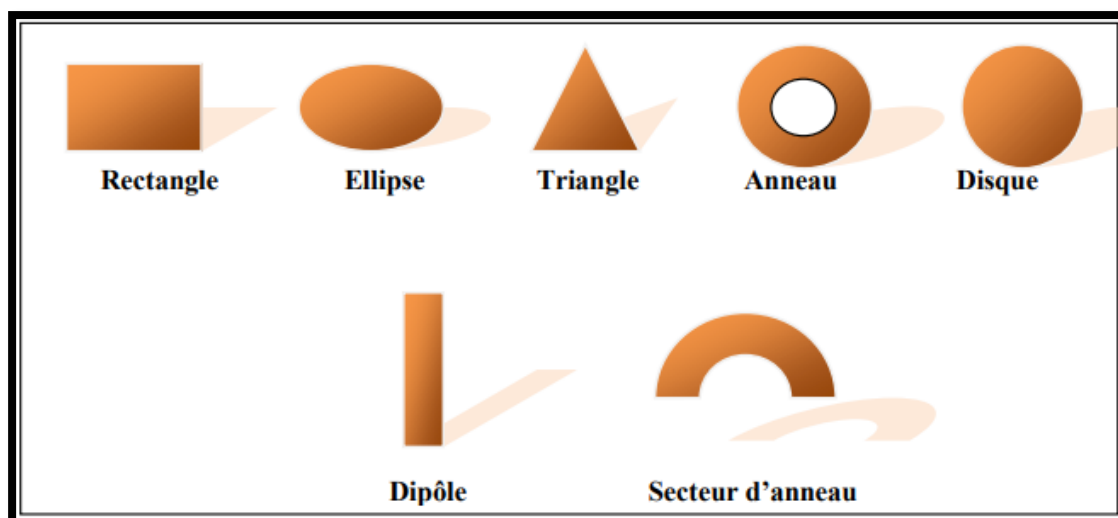


Figure I.3: Différentes formes du patch.

Le choix de la forme du patch dépend des caractéristiques souhaitées, comme la polarisation, le gain, la directivité, largeur de bande passante,...etc. D'une manière générale, les caractéristiques de l'antenne sont définies par les modes de fonctionnement excités[8] qui dépendent de la forme et la dimension du patch, du substrat diélectrique et de son épaisseur, et de dispositif d'alimentation.

I.4 Les caractéristiques des antennes :

I.4.1 Le coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne.

Les discontinuités présentées par l'antenne peuvent être caractérisées par le coefficient de réflexion, qui est lié à l'impédance d'entrée par la relation (I.1) :

$$S_{11} = \frac{Z_r - Z_c}{Z_r + Z_c} \quad (\text{I.1})$$

Où : Z_c est l'impédance de normalisation, en générale égale à 50Ω . Ce paramètre permet de caractériser l'adaptation de l'antenne.[10].

1.4.2 La bande passante

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion.

Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB sur la bande passante ou un VSWR inférieur à 2 [11].

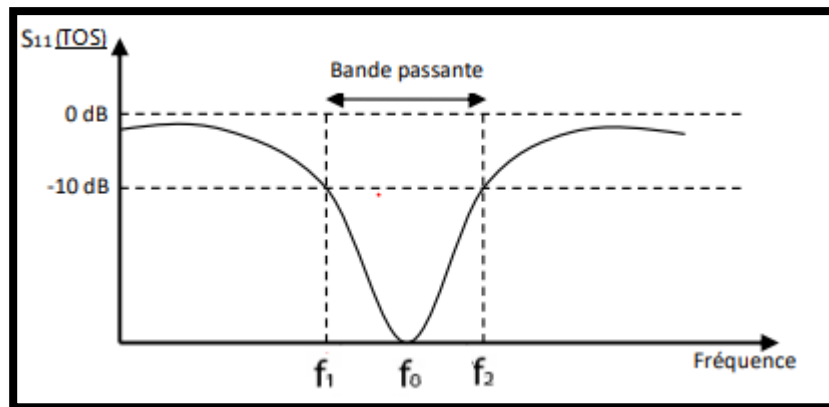


Figure I.4: Bande passante et coefficient de réflexion[17].

La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BP = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (I.2)$$

I.4.3 La directivité

caractérise la concentration du rayonnement dans une direction donnée [10].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{(\frac{1}{4\pi}) \int_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega} \quad (I.3)$$

Avec :

- ✓ $P(\theta, \varphi)$: densité de la puissance reçue de l'émetteur.
- ✓ $(\frac{1}{4\pi}) \int_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega$: densité de puissance moyenne rayonnée dans toute l'espace.
- ✓ $D(\theta, \varphi)$: la directivité de l'antenne.

I.4.4 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne [9].

$$\eta = \frac{p_r}{p_f} \quad (I.4)$$

Avec :

- P_r : la puissance rayonnée par l'antenne.

➤ P_f : la puissance fournie à l'antenne.

I.4.5 Le gain

est le résultat de la directivité sur de la perte [9].

$$G(\theta, \varphi) = \eta * D(\theta, \varphi) \quad (I.5)$$

- ❖ η : le rendement de l'antenne
- ❖ $D(\theta, \varphi)$: la directivité de l'antenne
- ❖ $G(\theta, \varphi)$: le gain de l'antenne

I.4.6 L'impédance d'entrée de l'antenne

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 [10] :

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

I.4.7 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne, présente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans différentes directions de l'espace. Il indique la direction dans l'espace dans laquelle la puissance rayonnée est maximal [12] .

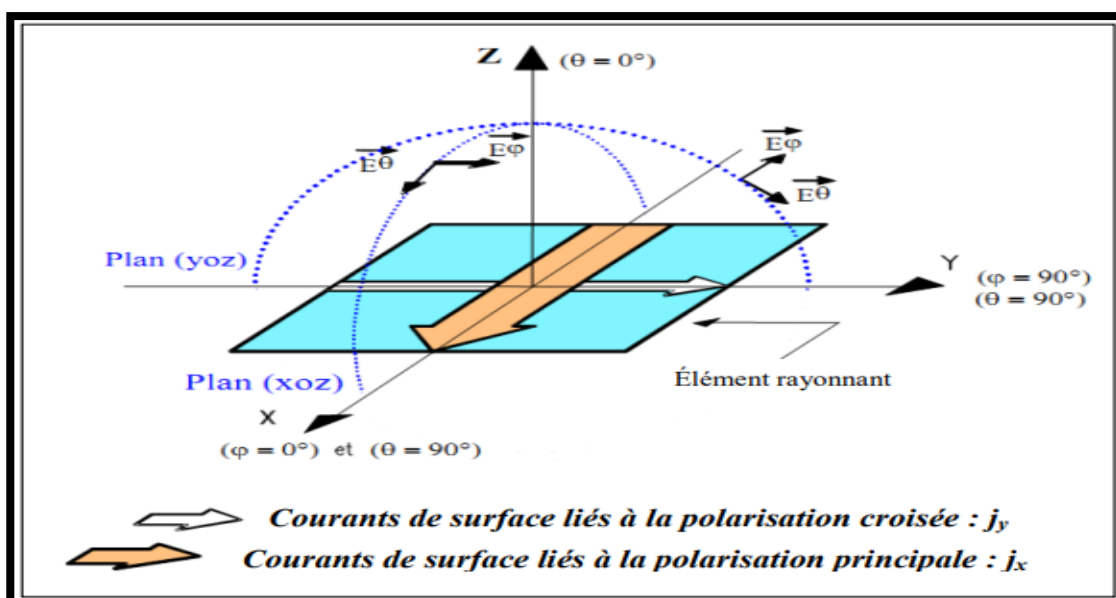
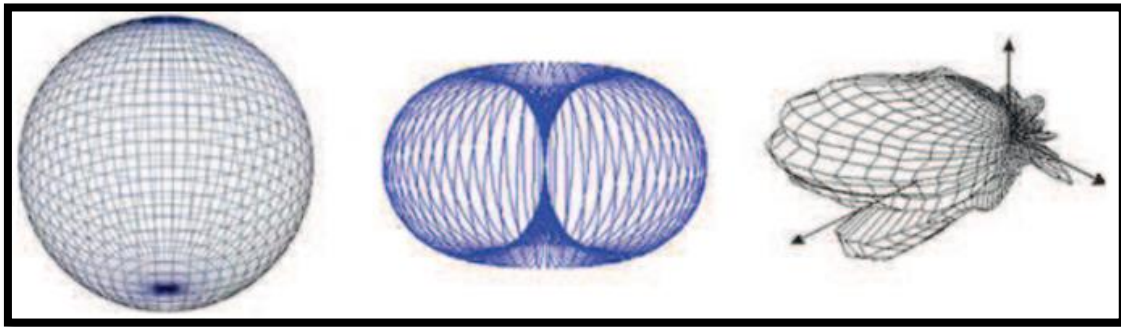


Figure. I.5: Diagramme de rayonnement de surface et de courant[13].

La Figure I.6 ci-dessous présente une représentation en trois dimensions des formes de diagrammes de rayonnement que nous venons de présenter.



a – isotrope

b - omnidirectionnel

c - directif

Figure I.6: Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne [14].

Il est donné par la relation suivante :

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P(\theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{I.7})$$

I.5 Les avantages et inconvénients

Les antennes imprimées comportent plusieurs avantages, les plus importants sont les suivants [15] :

- Faible poids.
- encombrement réduit.
- conformations possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse facile.
- Rayonnement en polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Antennes multi-bandes, multi-polarisations.
- Compatibilité avec les circuits hybrides.

Les antennes imprimées présentent un nombre non négligeable d'inconvénients:

- Faible efficacité de rayonnement.
- Supporte uniquement des faibles puissances.
- Impureté de la polarisation.
- Rayonnement parasite de l'alimentation et des ondes de surface.
- Faible gain.
- Bande passante étroite.

I.6 Les techniques d'alimentations

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

I.6.1 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation par sonde est une technique très connue, utilisée pour alimenter les antennes plaques. Le conducteur intérieur du connecteur coaxial s'étend à travers le diélectrique et il est soudé au patch, alors que le conducteur extérieur est relié au plan de masse « **Figure I.7** ».

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être placée à n'importe quel endroit désiré du patch afin d'assurer l'adaptation d'impédance. Cette méthode d'alimentation est facile à fabriquer et a un rayonnement parasite faible. Cependant, son inconvénient principal est qu'elle fournit une bande passante étroite et elle est difficile à modéliser puisqu'un trou doit être foré dans le substrat et le connecteur sort en dehors du plan de masse, cela ne la rend pas complètement plane pour les substrats épais ($h > 0.002 \lambda_0$) [7].

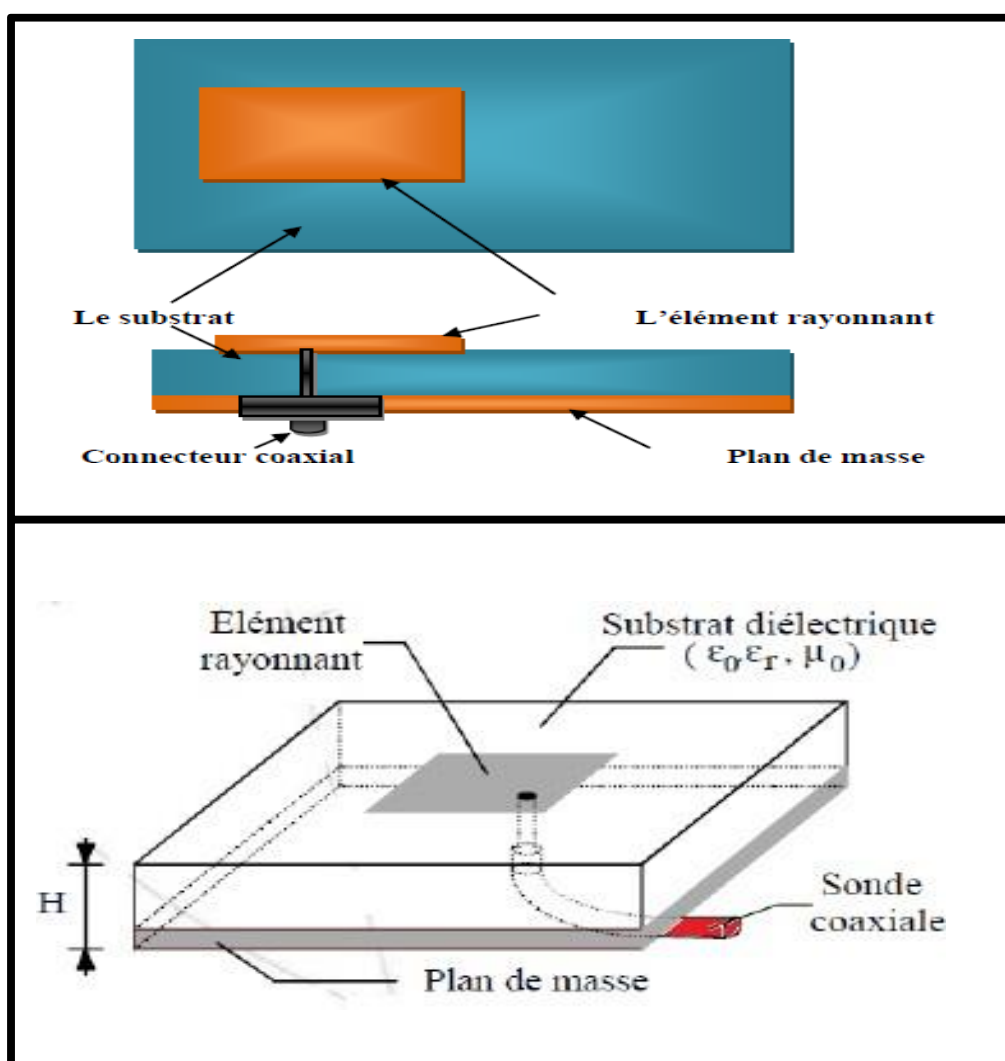


Figure I.7: Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale[16].

I.6 .2 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 .

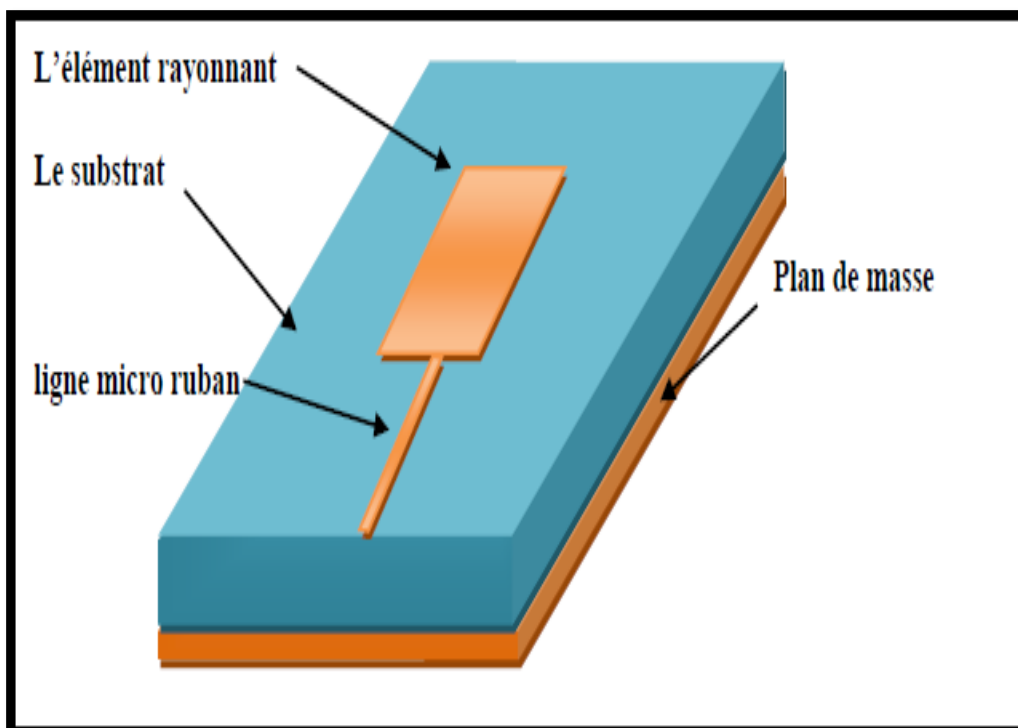


Figure I.8: Alimentation du patch rectangulaire par une ligne micro ruban [16].

I.6 .3 Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont séparés par le plan de masse comme représentée dans la « **Figure I.9** ». Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est assuré par une fente ou une ouverture dans le plan de masse.

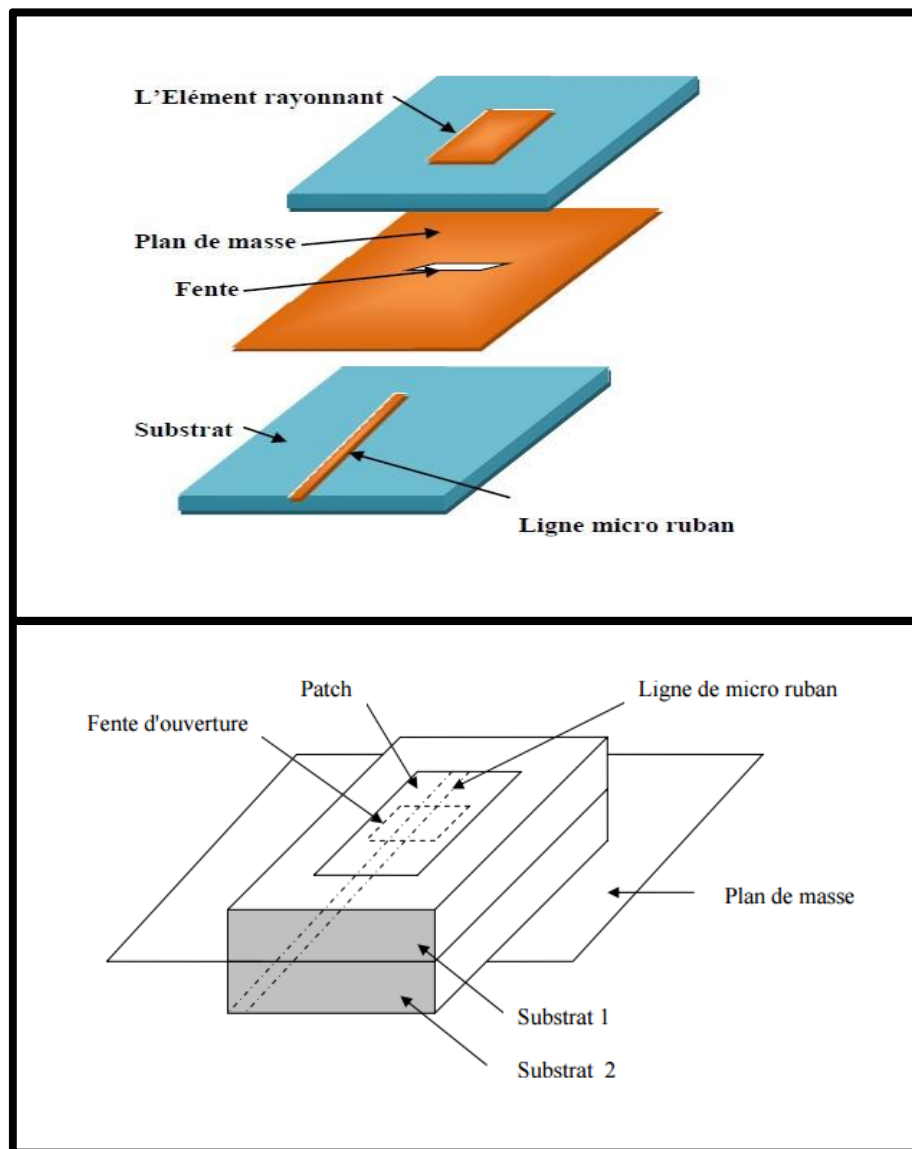


Figure I.9: Alimentation couplée par ouverture[16].

I.6.4 Alimentation par le couplage par proximité

Ce type d'alimentation Offre la meilleure bande passante, il est facile à modéliser et présente un rayonnement parasite faible. La distance entre la ligne d'alimentation et le patch peut être utilisé pour adapter l'impédance de l'antenne. Le principal inconvénient de ce type d'alimentation est qu'il est difficile à mettre en œuvre.

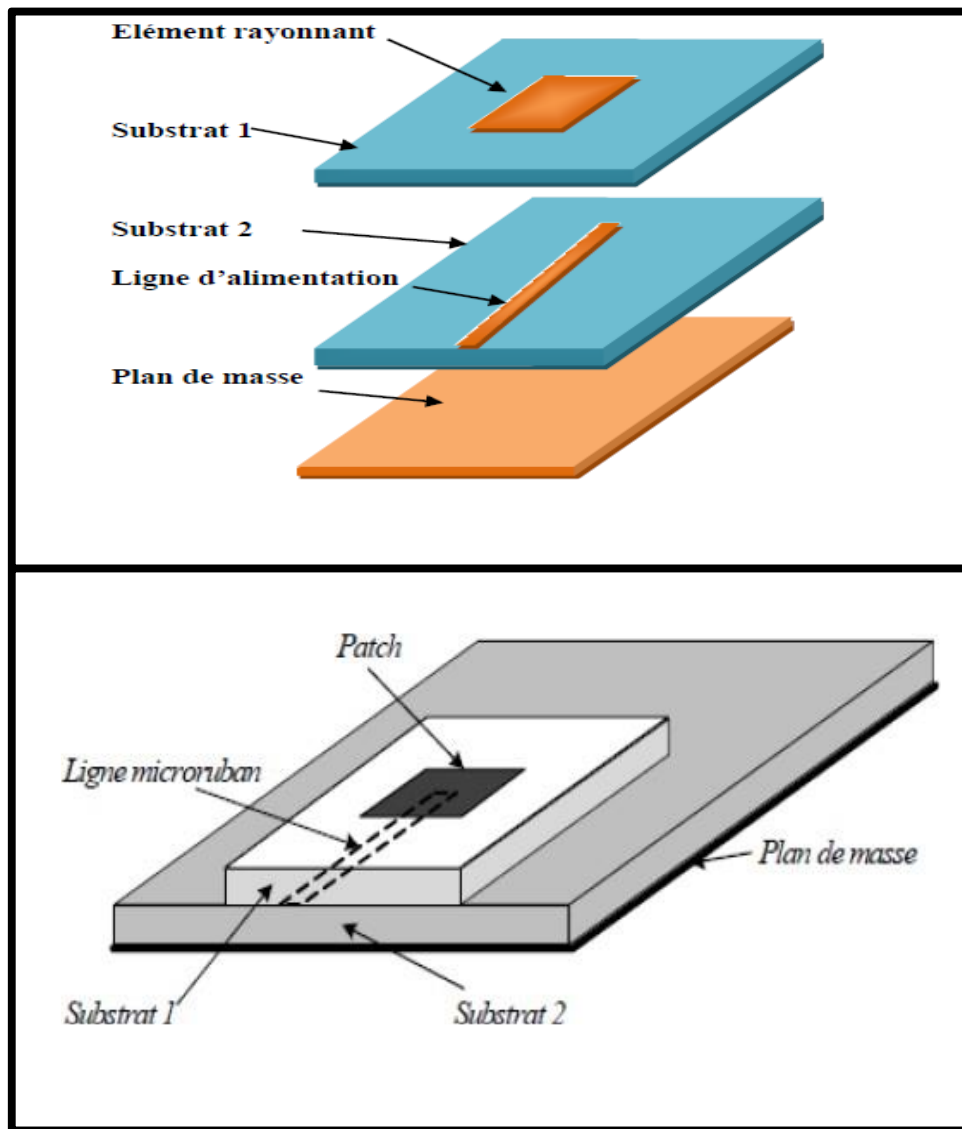


Figure I.10: Alimentation du patch rectangulaire par couplage[16].

I.7 Comparaison entre les types d'alimentation

Les types d'alimentation les plus utilisés sont l'alimentation par câble coaxial et l'alimentation par ligne micro ruban, à cause de facilité de mise en oeuvre, par contre les autres types sont plus complexes. Le tableau suivant présente une comparaison entre les différents types d'alimentation

Caractéristiques	Alimentation par micro ruban	Alimentation coaxiale	Alimentation par ouverture	Alimentation par proximité
Rayonnement parasite	plus	plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et Forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Bande passante	2 à 5%	2 à 5%	2 à 5%	13%

Tableau I.1 : Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation [17].

I.8 Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch, se comprend à partir de sa forme géométrique [17]. Ce rayonnement d'antenne patch produit à partir des champs frangeants entre le bord du conducteur de l'antenne patch et le plan de masse (**Figure I.11(b)**). Lorsque on excite la ligne d'alimentation, il y a une onde électromagnétique qui va se propager sur cette dernière pour rencontrer l'élément rayonnant qui est généralement plus large que la ligne, à cause de distribution de charge s'établir sur et sous le composant rayonnant et entre le plan de masse et le substrat. Ce phénomène est illustré par la **Figure I.11 (a)**.

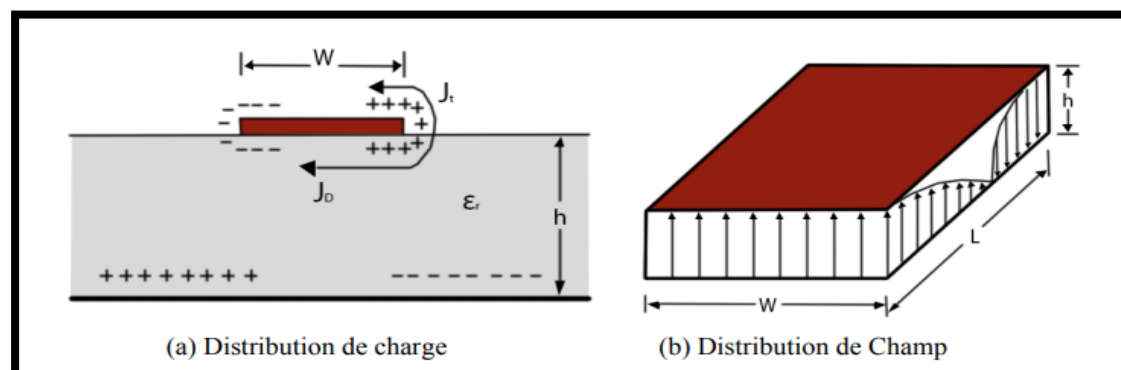


Figure I.11 : Distribution de charge du champ dans l'antenne patch.

Avec, J_D est le courant de déplacement, et J_t le courant de surface.

En supposant qu'il n'y ait aucune variation du champ électrique le long de la largeur et de l'épaisseur de la structure à micro ruban, la configuration du champ électrique du radiateur peut être représentée comme indiqué sur la **Figure I.12**. Les champs varient par la variation de la longueur du patch, ce qui correspond à environ une demi-longueur d'onde ($\lambda/2$) pour le mode fondamental.

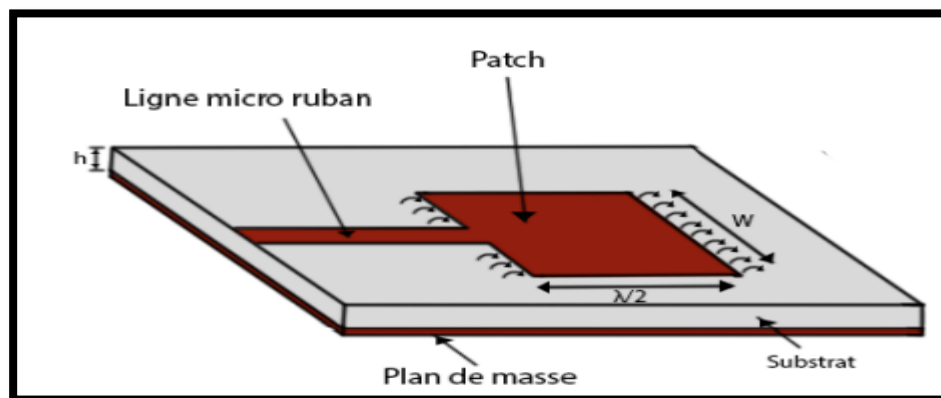


Figure I. 12 : Configuration du champ électrique du radiateur.

I.9 Les applications des antennes

Grâce à leurs nombreux avantages, par rapport aux quelques inconvénients, les antennes imprimées sont utilisées dans beaucoup de domaines : de l'électronique grand public aux systèmes technologiques de pointe. Parmi ces domaines, on peut mentionner : la télémétrie et les antennes de communication sur les missiles, le radar, l'aviation, les liaisons de communication entre les navires ou les satellites géostationnaires, les armes intelligentes, les systèmes GPS....

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un contexte général sur les antennes patchs. Nous avons commencé par leurs caractéristiques, après nous avons vu leurs techniques d'alimentation, leurs mécanismes de rayonnement, leurs avantages et inconvénients, et ainsi leurs domaines d'application. Les performances d'une antenne patch peuvent être contrôlées par ses paramètres constitutifs, tels que le type d'alimentation, la forme et les dimensions d'élément rayonné (patch) et du plan de masse, ainsi que l'épaisseur et le type de substrat. Dans le chapitre suivant on va donner une description du logiciel HFSS et son environnement de travail dans le quel on va implémenter les différentes structures à étudier.

Chapitre II

Présentation du logiciel HFSS

II.1 Introduction

HFSS est un logiciel de modélisation électromagnétique et d'analyse des circuits passifs et des structures tridimensionnels. Il aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure tels que les caractéristiques de rayonnement et de la dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Ce chapitre est consacré à la présentation du logiciel **HFSS** (**H**igh **F**requency **S**tructure **S**imulator), ses fonctionnalités et présenter de façon générale le rôle de chaque fonction que nous allons utiliser pour réaliser nos simulations.

II.2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) version 19.20 de Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule des champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Pour cela,(type de matériau, taille, épaisseur, ...). Il est également nécessaire de spécifier les sources électromagnétiques.

Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S, Y, Z en fonction de la fréquence. Les principales étapes d'un "Design" HFSS sont illustrées par l'organigramme suivant :

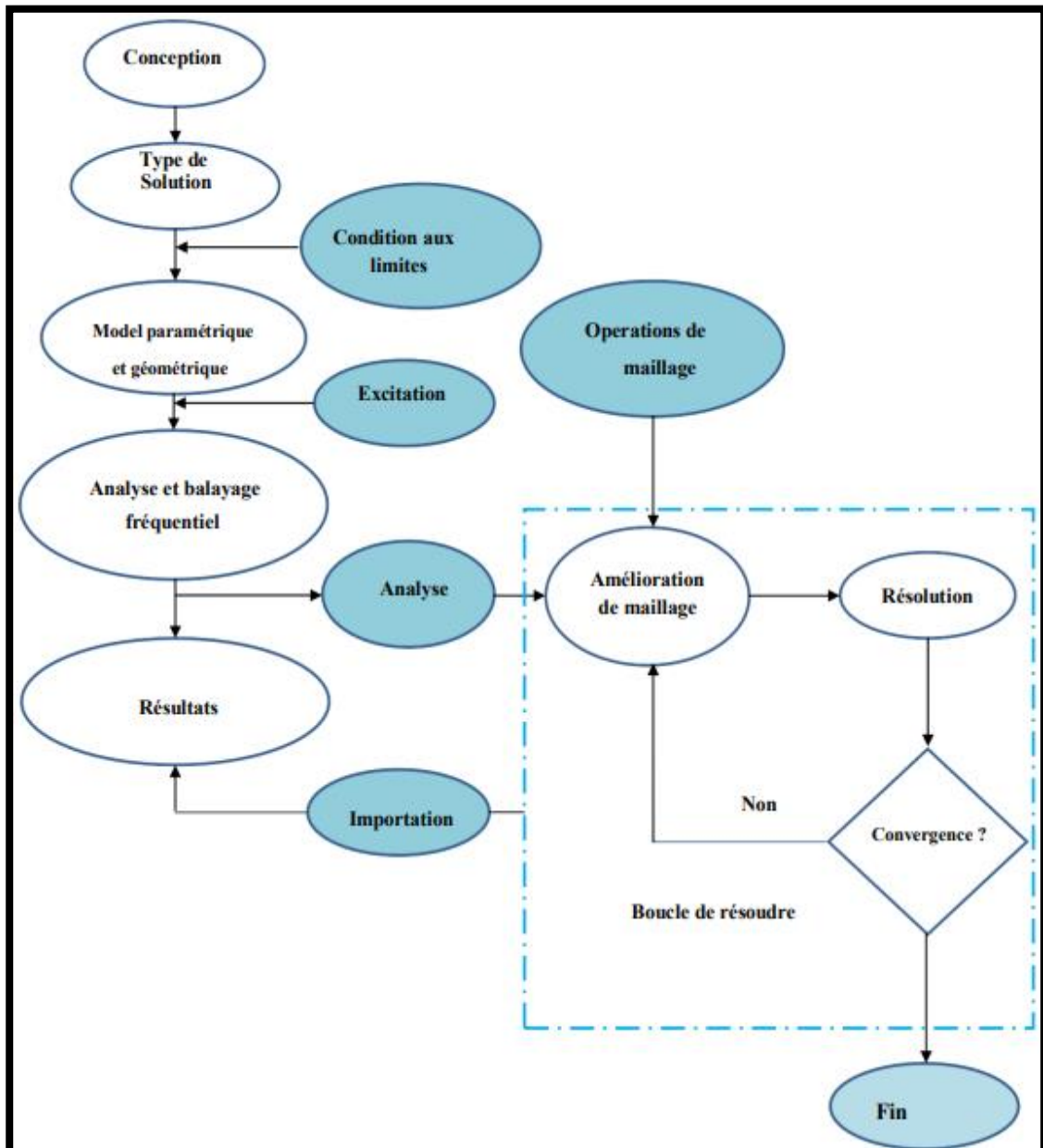


Figure II.1: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS [18]


II.3 avantages et inconvénients du HFSS

Les avantages et les inconvénients de ce logiciel sont:

- Complexité de travail et de création des structures (plusieurs détails de conception).
- La nécessité d'avoir maîtrisé l'utilisation du logiciel, avant d'aborder le projet, parce qu'on est obligé de se servir des opérations booléennes parfois, pour dessiner des surfaces ou formes n'ayant pas une forme géométrique bien définie.
- En plus on doit faire attention aux frontières (Boundaries), il ne faut pas avoir des conflits entre une surface de radiation par exemple et une surface conductrice.

- La simulation pourra prendre une durée de plusieurs heures jusqu'aux plusieurs jours parfois, surtout si le projet à simuler est d'un volume relativement grand, et présente beaucoup de détails. [19]

II.4 Comment commencer HFSS

HFSS devrait être installé sur l'ordinateur que vous travaillez dessus. Il devrait y avoir une icône de HFSS () sur l'ordinateur de bureau que vous pouvez double-cliquer pour lancer HFSS [19].

II.5 Comment ouvrir un nouveau projet

Quand vous commencez HFSS v 19.20, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé project1 par défaut. Des définitions de projet, telles que la tâche matérielle, des états de frontière, et des ports d'excitation sont stockées sous le nom de projet.

II.6 Sauvegarder le projet

Sur le menu fichier, cliquer **Save As**, employer le navigateur de dossier pour localiser le dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme **C:\Ansoft\HFSS19\Projects**, et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer **Save** .

II.7 Description générale des outils HFSS

La fenêtre d'Ansoft HFSS a plusieurs panneaux facultatifs :

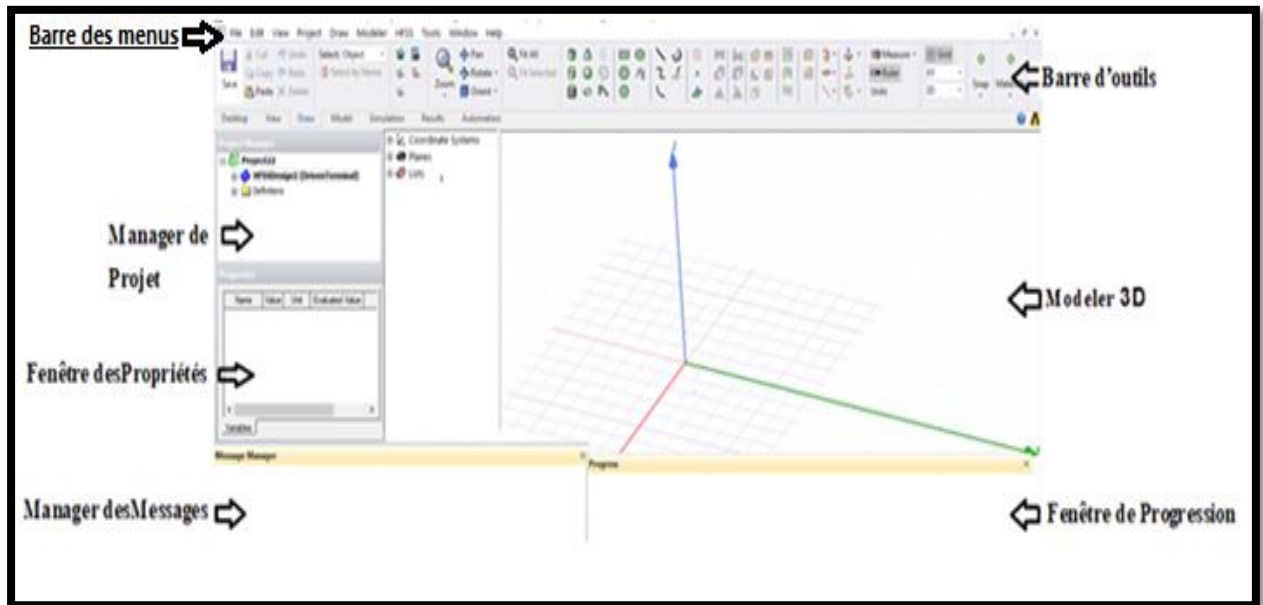
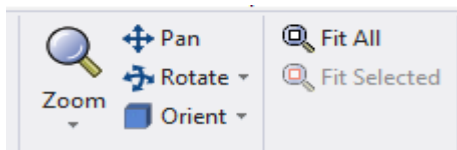


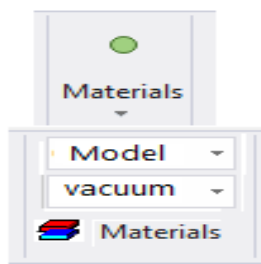
Figure II.2 : Les outils de HFSS.

✓ **Barre des outils** : Elle englobe tous les outils pour créer un modèle :

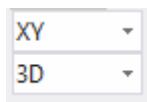
- Rotation et zoom du modèle



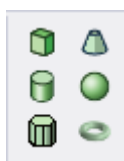
- Type du matériau utilisé



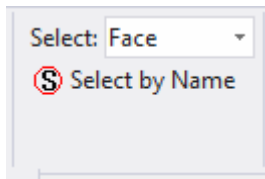
- Le plan dans lequel on dessine l'objet



- Raccourci des modèles du carré jusqu'au cône :



- Sélectionner une face :



- ✓ **La fenêtre de 3D Modeler:** contient le modèle et son arbre pour la conception.
- ✓ **Gestionnaire de projet arborescent (Manager des projets)**

Contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet

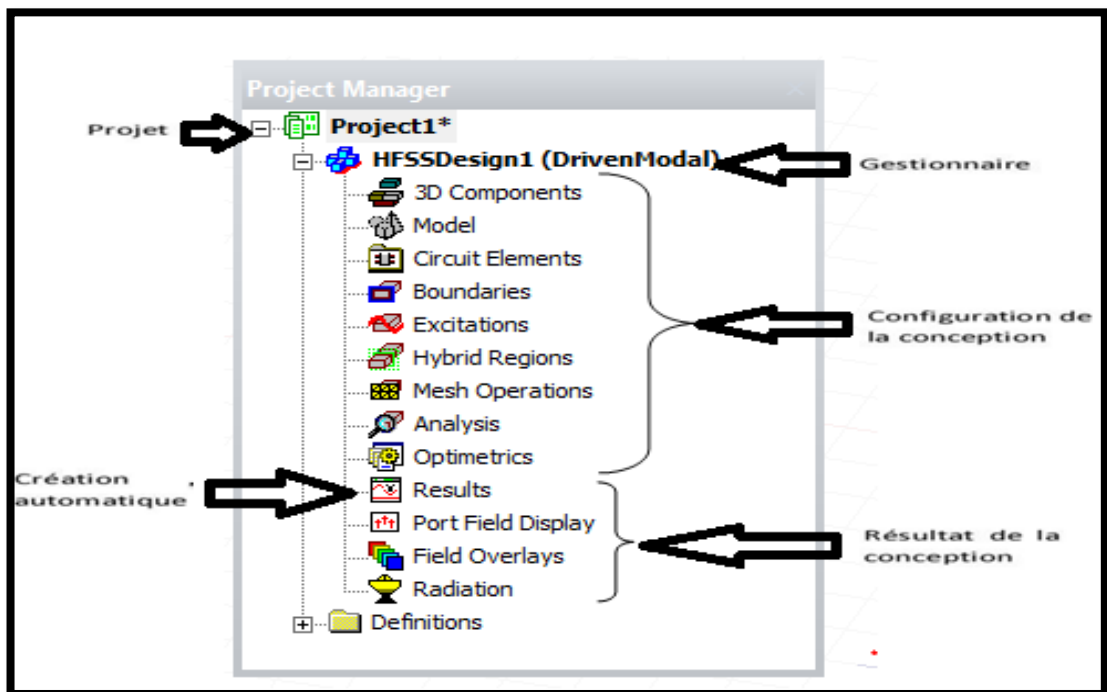
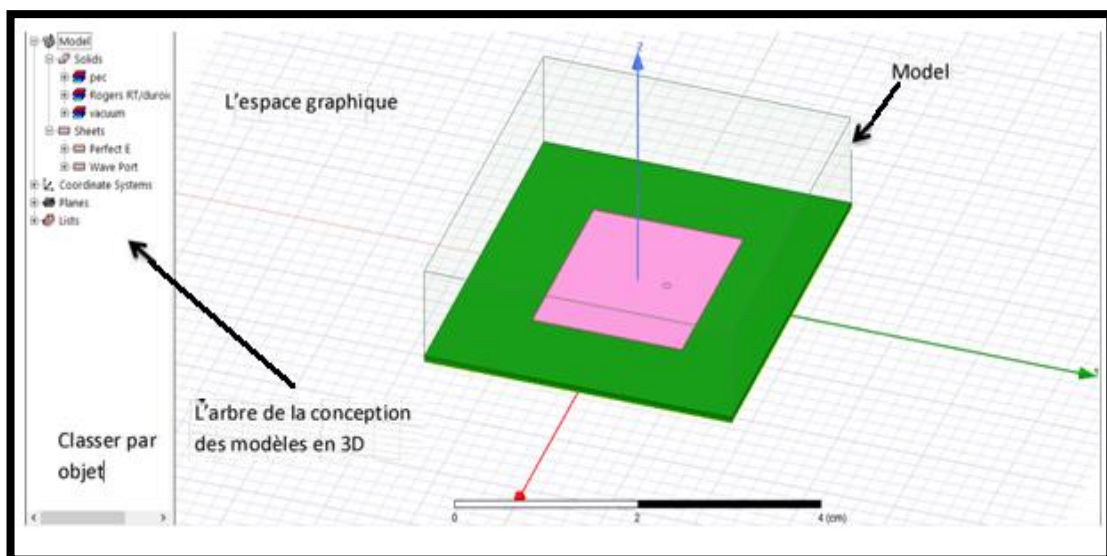


Figure II.3 : Manager des projets.

- ✓ **La fenêtre de Propriétés:** nous permet d'attribuer le nom, le matériau, la couleur...etc.

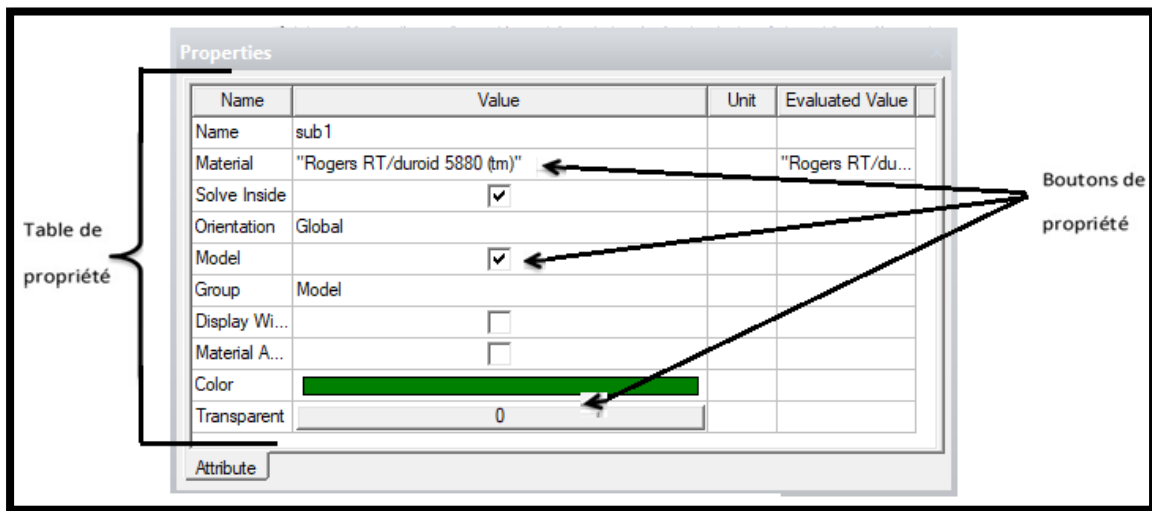


Figure II.4 : Fenêtre des propriétés.

Commandes : on trouve la position et les paramètres (hauteur, largeur) du model, on peut les modifier à n'importe quel moment durant le travail.

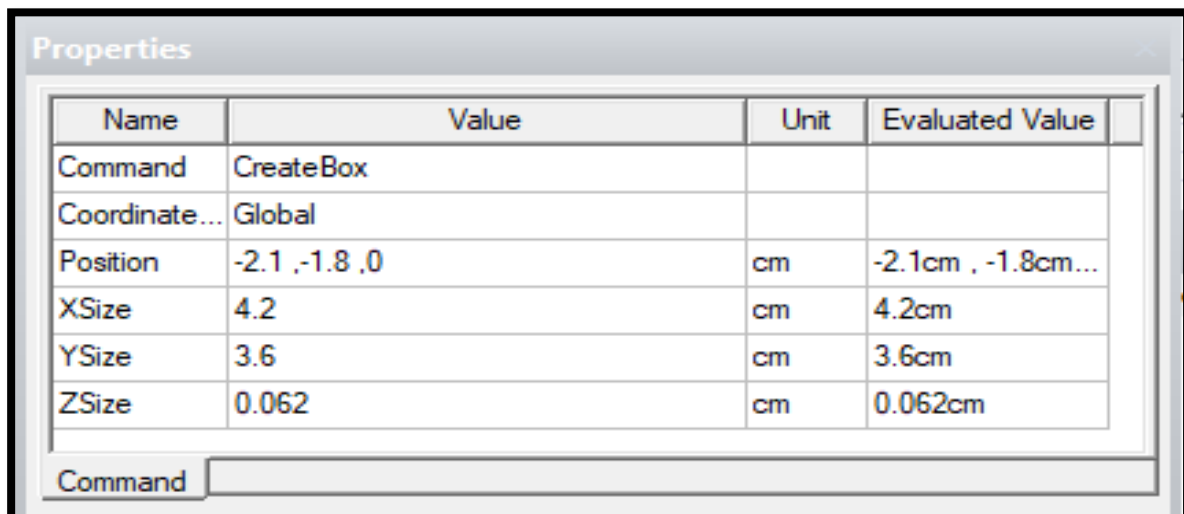


Figure II.5 : les paramètres (hauteur, largeur) du model.

- ✓ **Le Message Manager:** permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.
- ✓ **La fenêtre de Progress:** affiche les progressions de la solution.
- ✓ **Barre des menus :** Elle contient toutes les options d'HFSS notamment :

HFSS>>Edit :

Arrange >

Move : tradater un élément de la structure le long d'un vecteur.

Rotate : déplacer un élément de la structure par un angle.

Mirror : faire tradater un objet choisi autour d'un plan spécifié.

Offset: Effectue une échelle uniforme en x, y et z.

Duplicate>

Along lines : Créer des copies multiples d'un objet le long d'un vecteur.

Around axis : créer des copies multiples d'un objet en rotation par un angle fixe autour de x,y ou z.

Mirror : Fixer l'image d'un objet autour d'un plan spécifié et créer son double.

Draw: Regroupe tous les modèles, rectangle, ellipse, cercle, boîte.....

HFSS : contient les fonctionnalités principales :

Solution Type (type de la solution):

- ✓ **Modal** : Permet de calculer S11 d'une structure en haute fréquence en fonction des ondes incidentes et réfléchies [18].
- ✓ **Terminal** : nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les micro rubans, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source [18].
- ✓ **Eigenmode** : Permet de calculer la fréquence de résonance de la structure et les champs à ces fréquences [18].

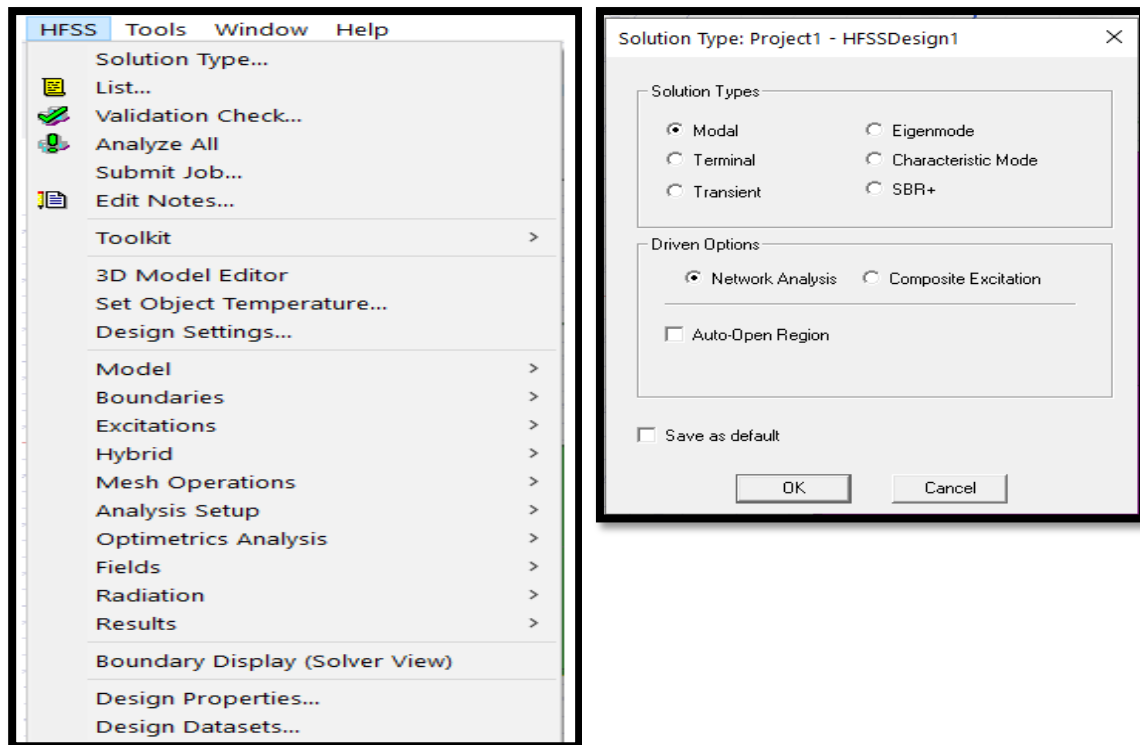



Figure II.6 : type de solution.

✚ **Validate** :  (compiler le projet) si tout est bon la fenêtre ci-dessous apparaît :

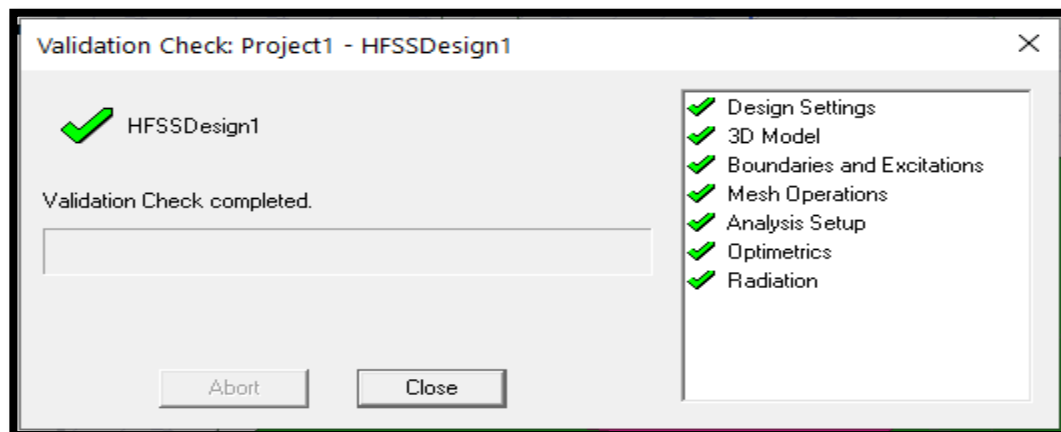




Figure II.7 : compiler le projet.

Pour voir s'il ya des erreurs ou des warnings veuillez consultez le message manager qui se trouve en bas de la fenêtre.

✚ **Analyze all** :  ça prendra de 5-20min pour faire l'analyse ça dépendra de votre machine.

Une barre de progression va paraître en vert à la fin de l'analyse vous aurez ce message :

 Normal completion of simulation on server: Local Machine.

Boundaries (conditions aux limites)

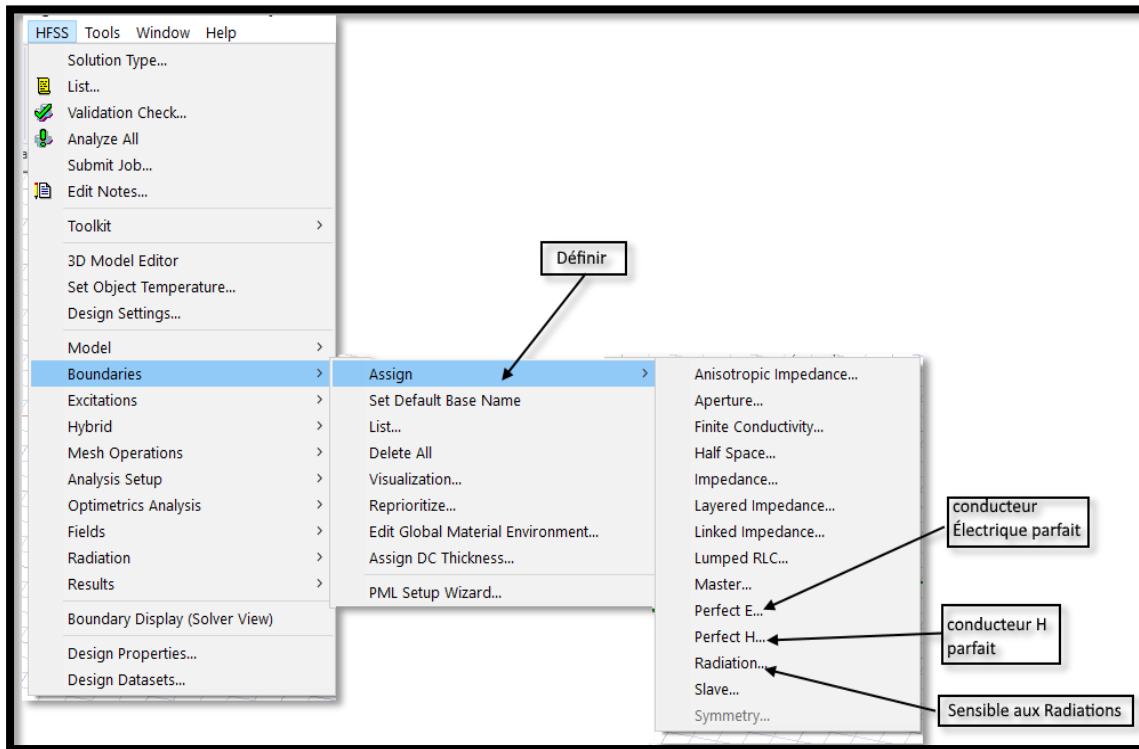


Figure II.8 :Création des conditions aux limites (boundary).

- **Perfect E** : également appelé conducteur parfait ce type de limite le champ électrique est perpendiculaire à la surface. Il y a également deux affectations définissant un conducteur automatiquement parfait
 - Toute surface de l'objet qui touche le fond est automatiquement définie comme une limite parfaitement conductrice et donné le nom de condition aux limites extérieures.
 - Tout objet assigné par un matériel PEC (Perfect Electric conductor) il est automatiquement attribué à la condition aux limites électriquement parfait.
- **Perfect H** : est un conducteur magnétiquement parfait, il est tangentiel à la surface du champ E.
- **Finite Conductivity**: limite de conductivité finie, vous permet de définir la surface d'un objet comme un conducteur avec perte (imparfait).
- **Impedance** : surface résistive qui calcule le comportement des champs et des pertes en utilisant des formules analytiques($R_s + jX_s$). Avec R_s : résistance, X_s : réactance.
- **Layered Impedance** : plusieurs couches minces dans une structure peuvent être

modélisées comme une surface d'impédance

- **Lumped RLC** : une combinaison en parallèle des résistances localisées, inductance, et /ou de la surface du condensateur, la simulation est similaire à celle d'une impédance.
- **Radiation** : limites de rayonnement, aussi appelé frontières absorbantes, vous permettent de modéliser une surface électriquement ouverte: ondes peuvent alors sortir de la structure et s'arrêter vers la limite du rayonnement.

Excitations

Pour le type de solution "Driven Model" nous avons les types d'excitations suivantes :

- **Wave Port** : Représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.
- **Onde Incidente** : Représente la propagation d'une onde incidente sur la géométrie.
- **Lumped Port** : Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.
- **Incident Wave** : Représente un champ électrique constant à travers les points d'une alimentation.
- **Volotage Source** : Représente un courant électrique constant à travers les points d'une alimentation.
- **Current** : Représente un courant électrique constant à travers des points d'excitations.
- **Magnetic Bias** : Utilisé pour définir le champ intérieur net qui influe sur un objet de matériau ferromagnétique en 3D.

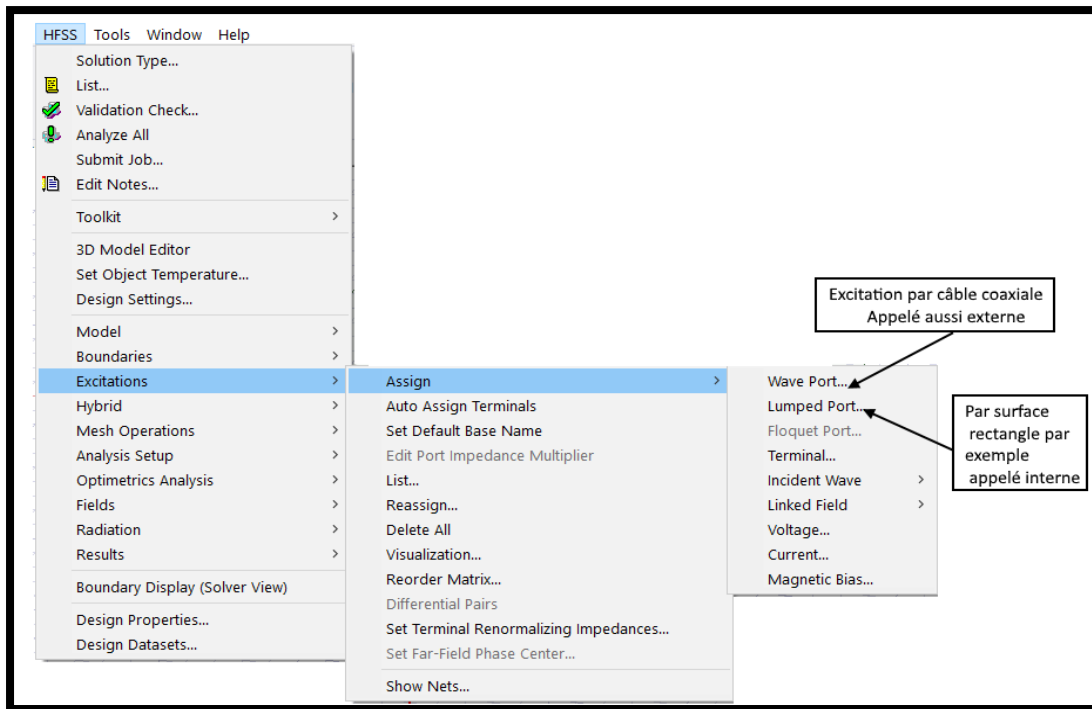


Figure II.9: types d'excitations.

✚ **Analyze Setup:** les conditions d'analyse notamment la fréquence et son intervalle d'utilisation.

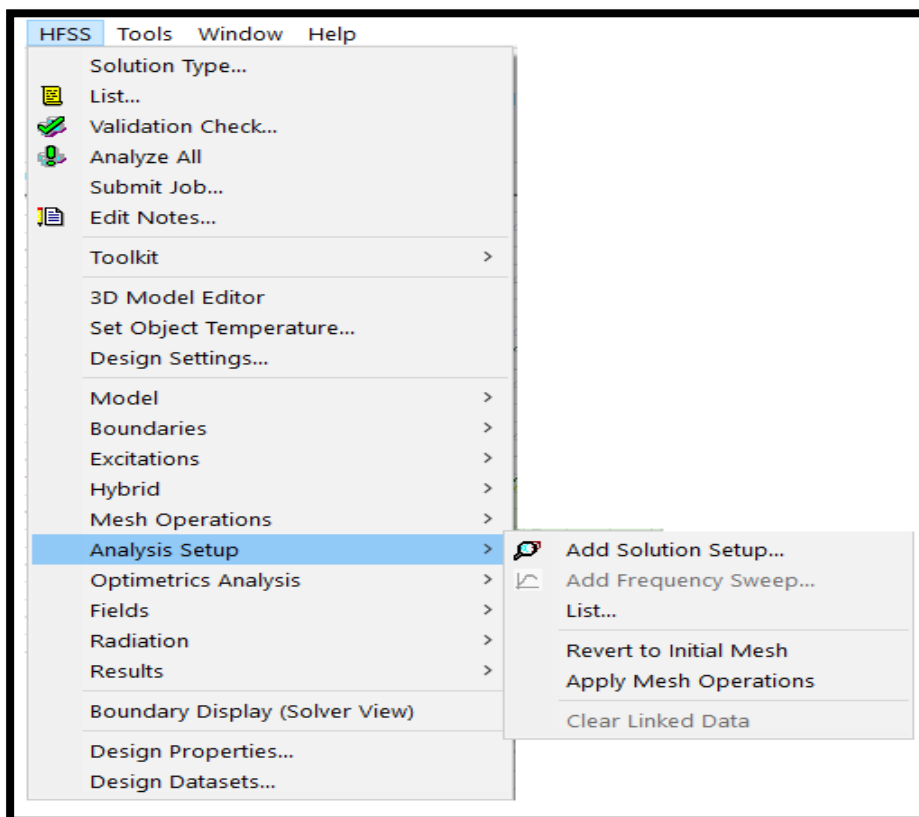


Figure II.10: Analyze Setup.

- **Add Solution Setup :**

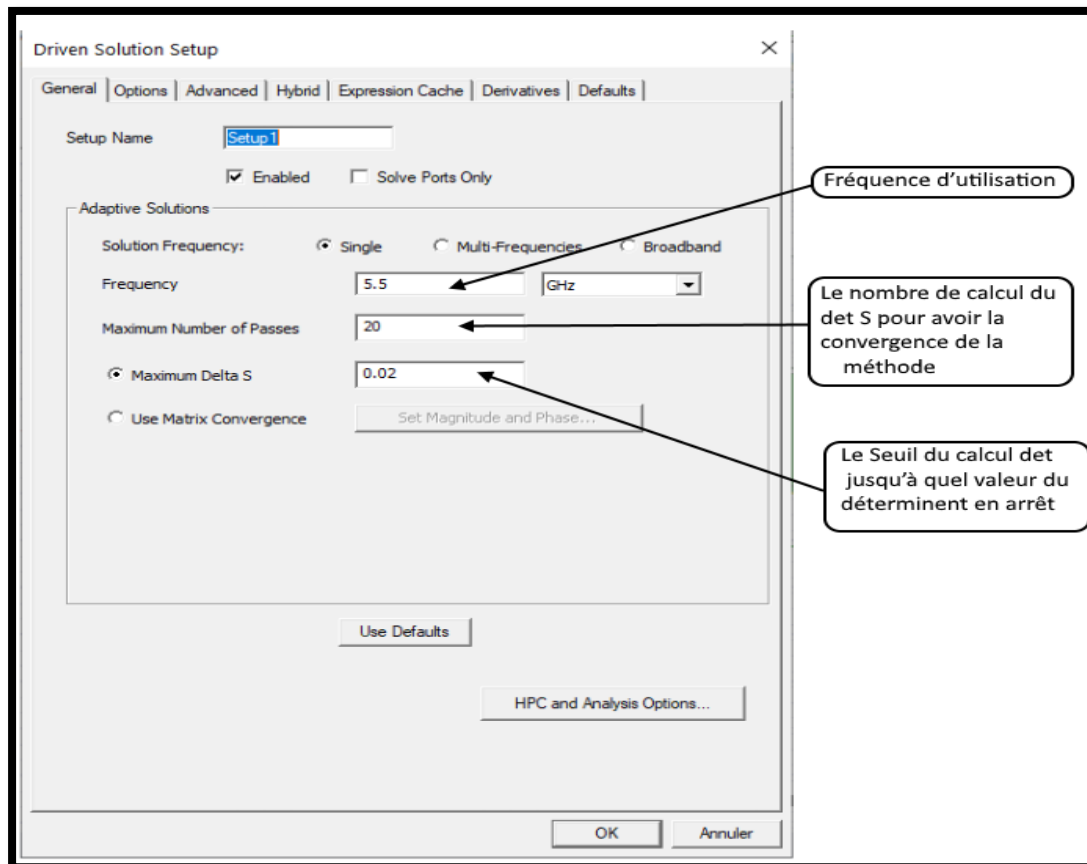


Figure II.11: Solution setup.

II.8 Etapes de simulation par HFSS

Pour simuler une antenne patch en utilisant le simulateur HFSS, il faut passer par un certain nombre d'étapes résumées comme suit :

1. schématiser la structure réelle de la structure : dimensions géométriques des différents objets.
2. Spécification des matériaux pour chaque objet : choix du matériau, constantes diélectriques, conductivité des matériaux ...
3. Identification des sources et (ou) ports d'entrée/sortie : Manière d'exciter la structure, consiste à injecter la puissance sous forme d'onde électromagnétique à travers la porte d'alimentation déjà définie.
4. Spécification des conditions aux limites : La résolution des équations d'ondes dans une structure quelconque exige la spécification des conditions aux frontières. En effet, le comportement des champs électromagnétiques dans le milieu en question dépend

étroitement des frontières de la structure utilisée. Pour les types de frontières: CCE, CCM, rayonnantes.

5. Configuration des paramètres de simulation : Fréquence(s) de maillage, paramètres de convergence.

6. Analyse des solutions à un ou plusieurs fréquences : Après avoir vérifié la conformité de la structure aux exigences du HFSS, les conditions aux frontières et l'excitation, la simulation sera prête à être lancée. La durée de cette simulation dépend essentiellement de

a. La vitesse du ordinateur (ordinateur) utilisé.

b. La complexité de la structure (volume, dimensions etc.)

c. La bande de fréquence de l'analyse.

7. Visualisation des résultats : Le diagramme de rayonnement dans les plans E et H. paramètres S (+paramètres z, y etc.).

8. Discussion et exploitation des résultats par l'utilisateur.

II.9 Exemple d'étapes de simulation d'antenne Patch rectangulaire alimenté Par câble coaxial

La simulation de cette antenne est réalisée en utilisant le logiciel HFSS.

- Ouvrir un nouveau projet et nommer le Project1 :
- HFSS > Solution Type Terminal

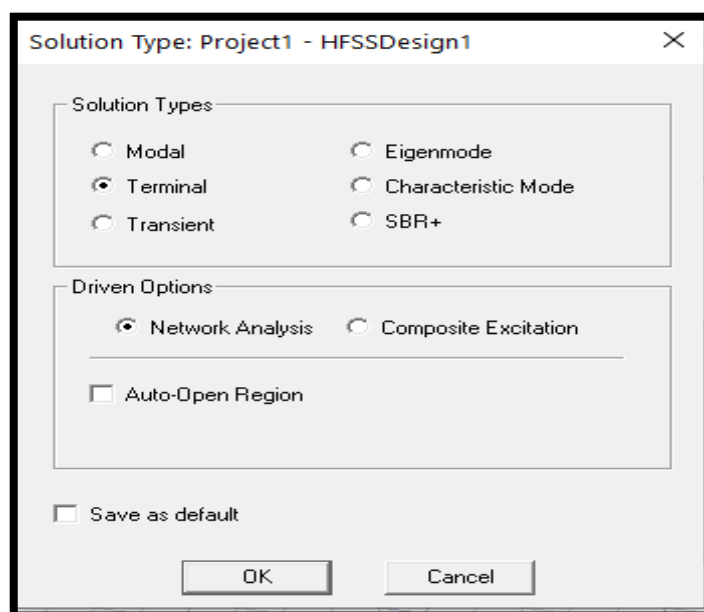


Figure II.12: Sélection de type de solution.

- Choisir l'unité dans la fenêtre Modeler > Units > cm puis OK.

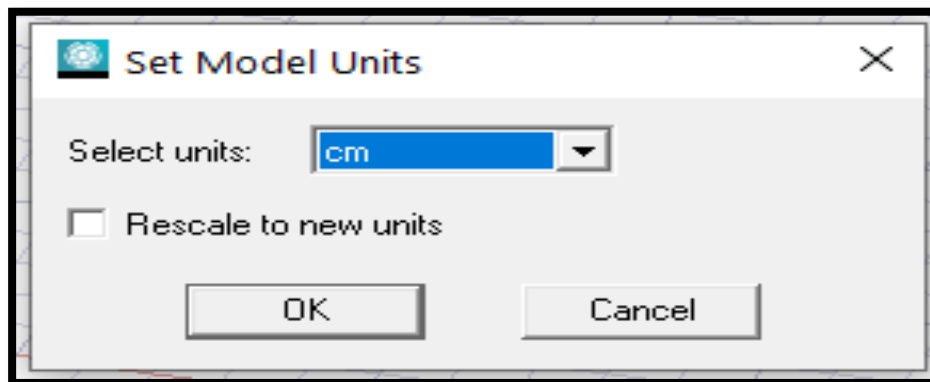



Figure II.13 : Sélection des unités.

II.9.1 Créer le substrat

Draw>Box ou clique sur 

Pour dessiner le substrat, cliquer dans la barre d'outils. Dessiner alors une boîte.

En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de Box comme montré dans la figure suivante :

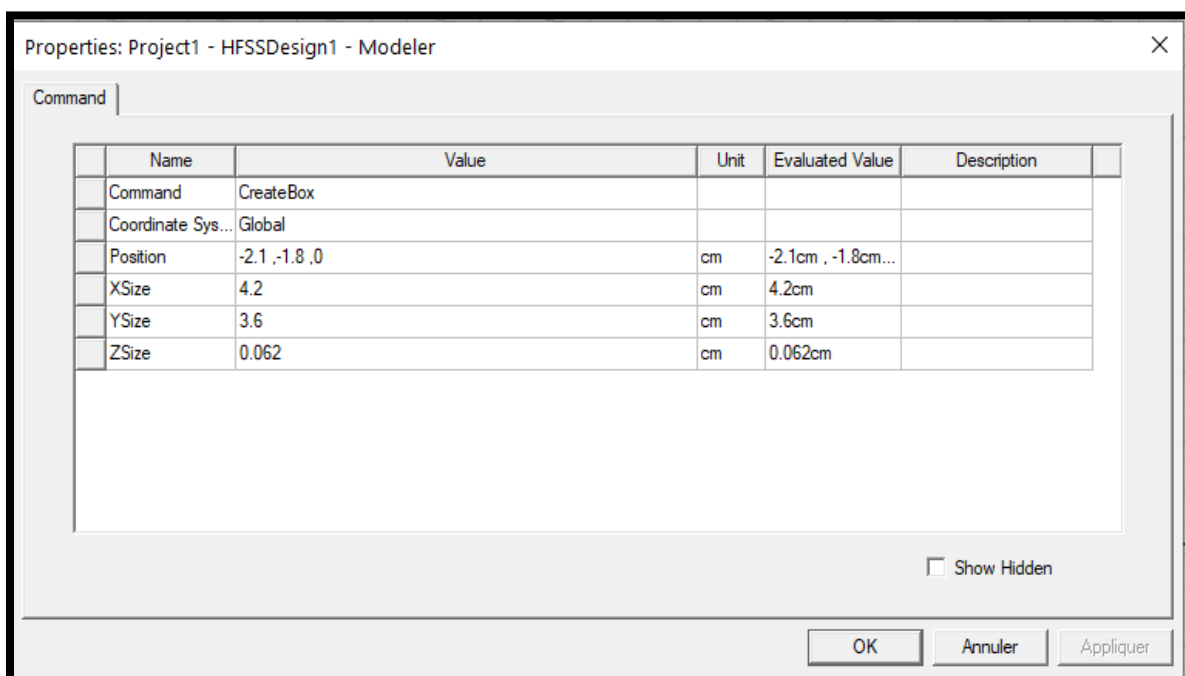


Figure II.14 : Position et dimensions de Box.

Ecrire le nom et choisir la matière de substrat :

1-Choisir la case Attribut à partir de la fenêtre de Properties

2- Pour la Valeur du type **Name: sub1**.

3- Pour la Valeur du type Material: ("**RogersRT/douroid5880(tm)**")

4-Cliquer sur le Bouton **OK**

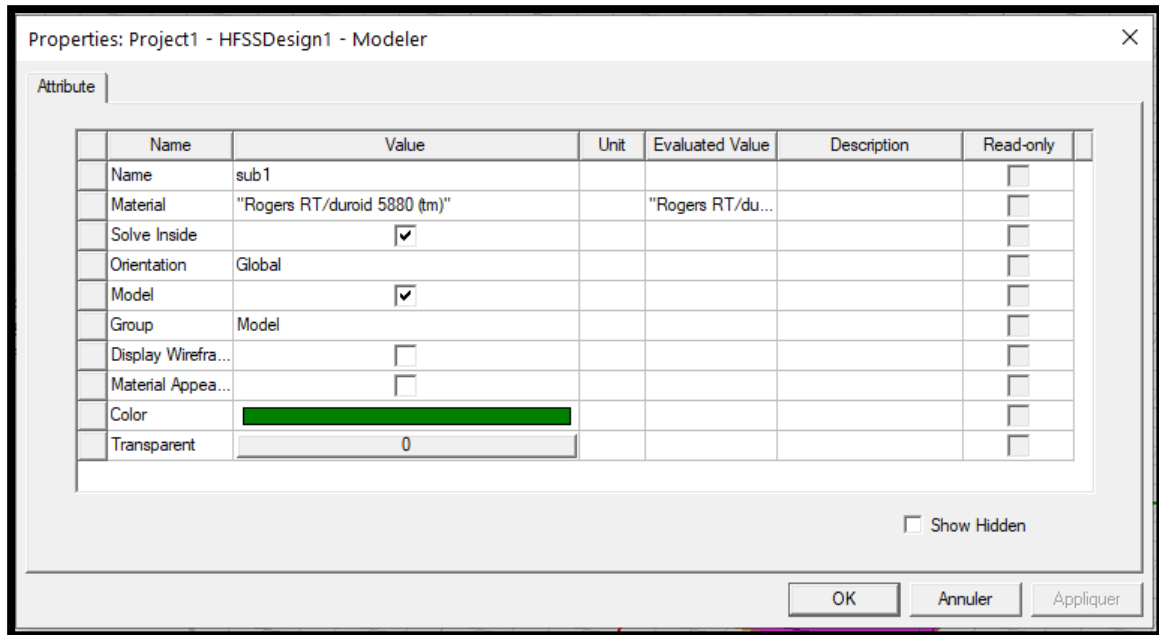


Figure II.15: Matière de substrat.

Adapter la vue:

Choisir dans le menu View> Fit All > Active View, ou appuyer sur les touches Ctrl + D (Raccourci). Le substrat est illustré dans la **Figure III .16** :

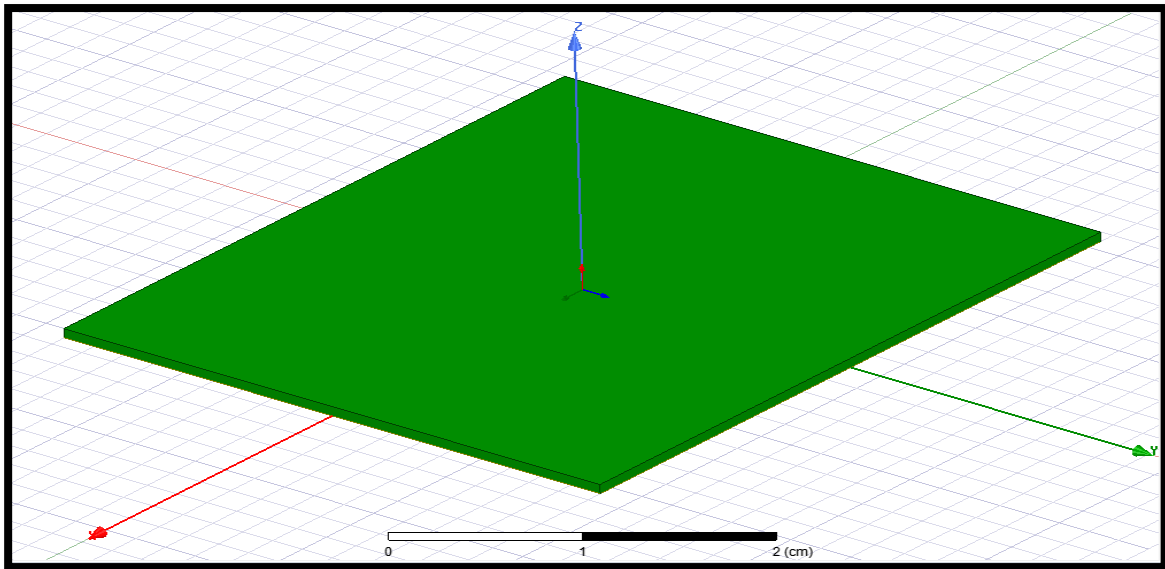


Figure II.16 : Substrat diélectrique.

II.9.2 Créer le plan de masse infini

Draw>Rectangle

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position du rectangle.

X: -2.1, Y: -1.8, Z: 0.0, appuyez sur la touche Entrée.

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez le coin opposé du rectangle:

Dx : 3.6, dy: 4.2, dZ: 0.0, appuyez sur la touche Entrée.

Nommé le : inf_gnd .La figure ci-dessous montre le résultat :

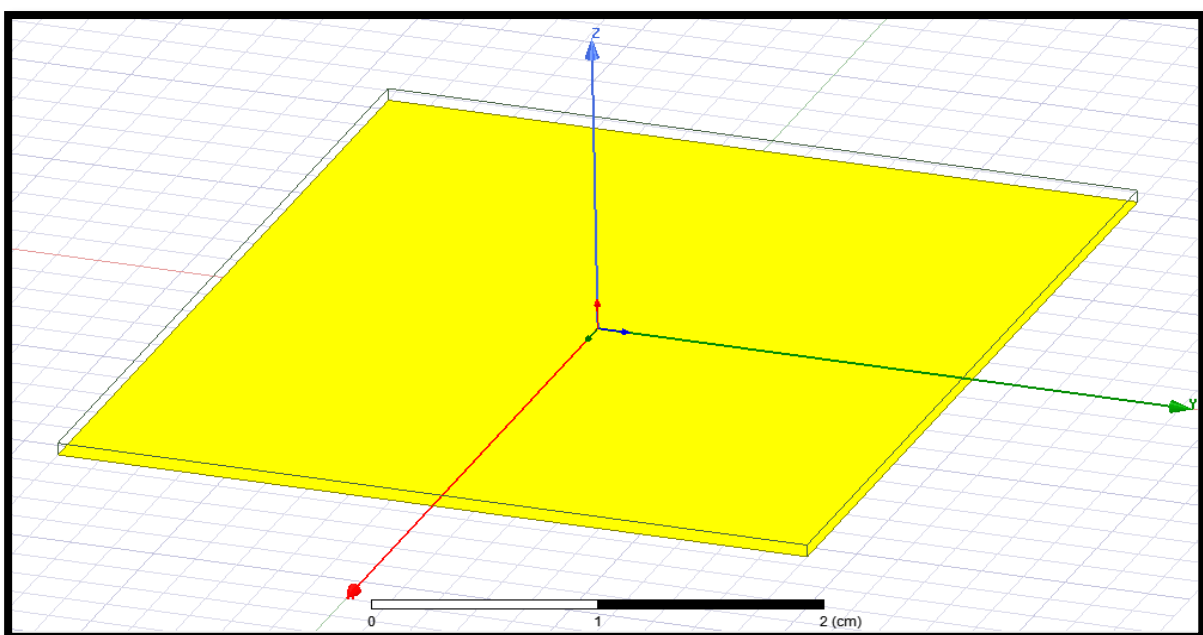


Figure II.17 : Plan de mass (inf_gnd).

II.9.3 Attribuer une frontière perfect E au plan de masse infini

Edit>Select>By Name On sélectionne: inf_gnd

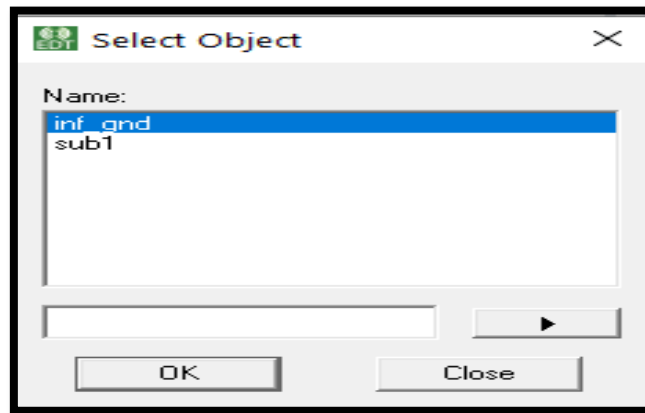


Figure II.18: Perfect E

HFSS>Boundaries>Assign>Perfect E

La fenêtre s'ouvre, entrez le nom suivant : PerfE1

La radiation est illustrée ci-dessous :

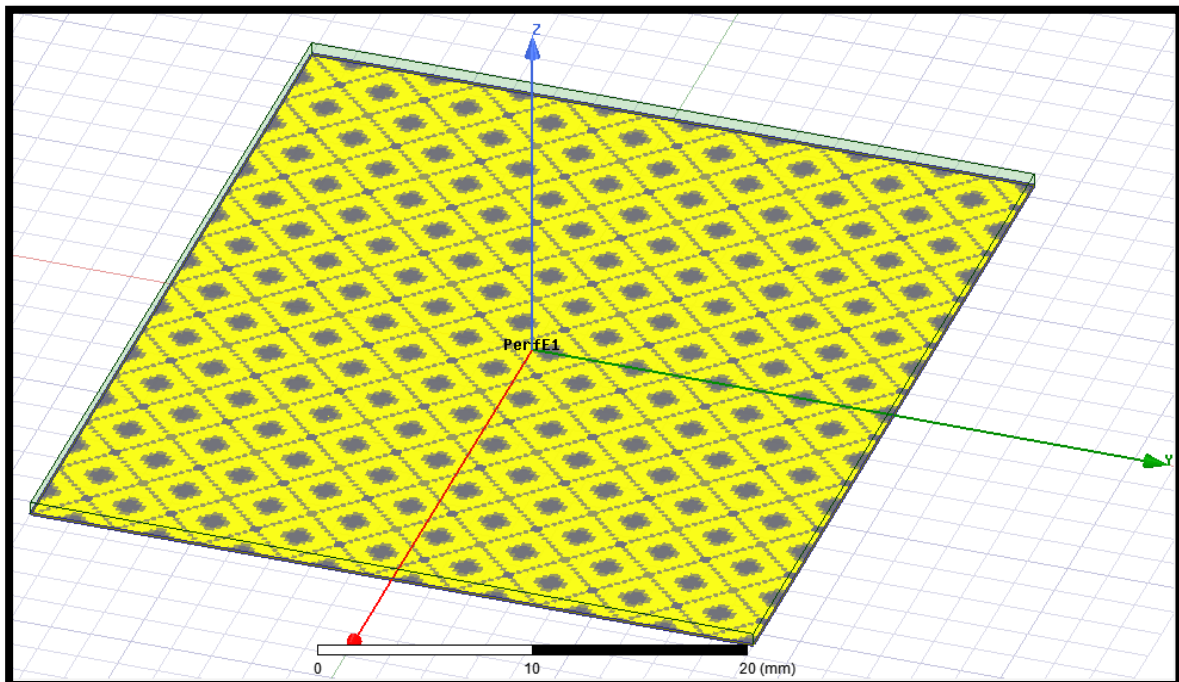


Figure II.19 : Assignment de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse.

II.9.4 Créer le plan de masse infini Cut Out

Draw>Circle

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position

X: 0.0, Y: 0,34, Z: 0.0, appuyez sur la touche Entrée

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez le rayon:

Dx : 0.155, dy: 0.0, dZ: 0.0, appuyez sur la touche Entrée

Définir le nom: Cut_Out

Sélectionnez les deux objets inf_gnd et Cut_Out:

Modeler>Boolean>Subtract:

Blank Parts: inf_gnd Tool Parts: Cut_Out

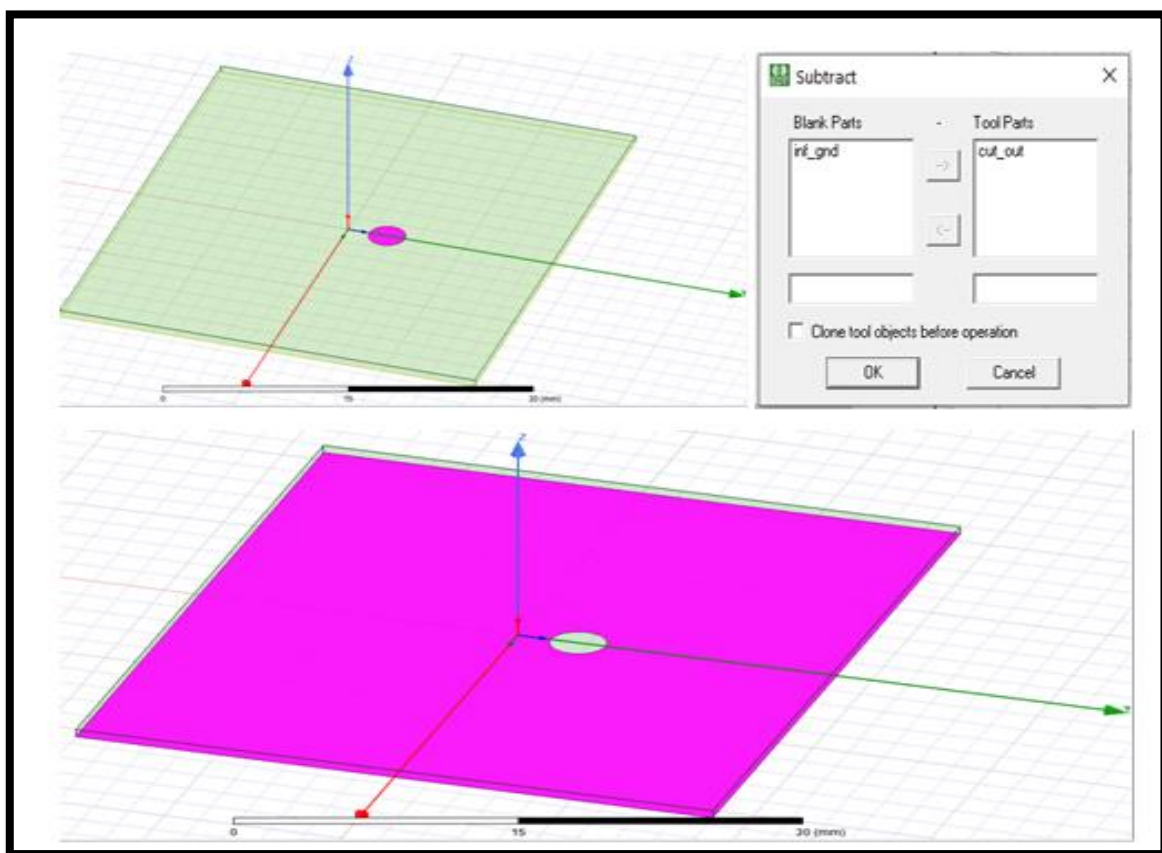


Figure II.20: Cut_out.

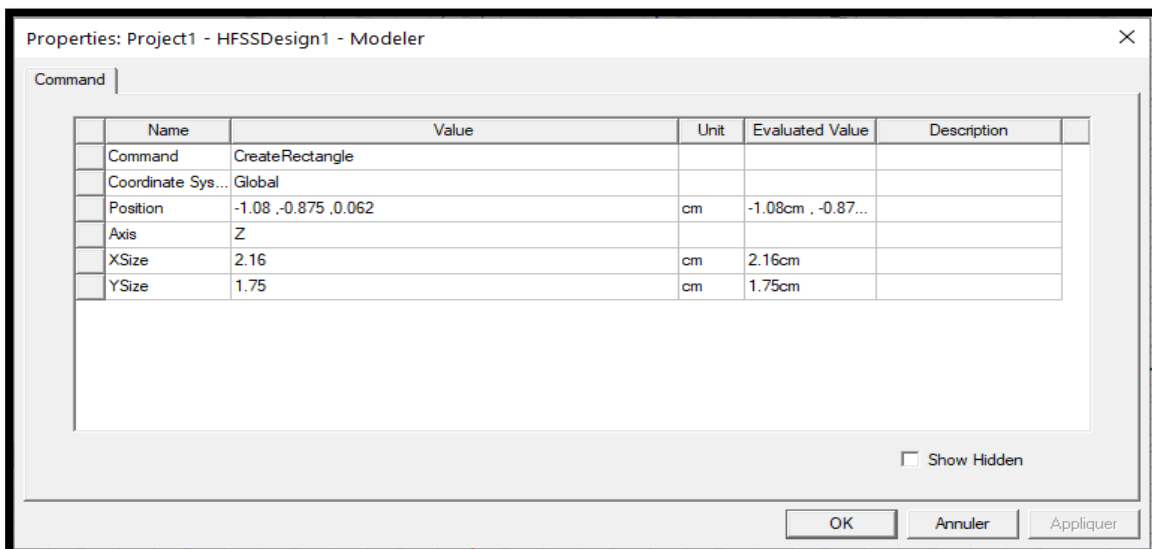
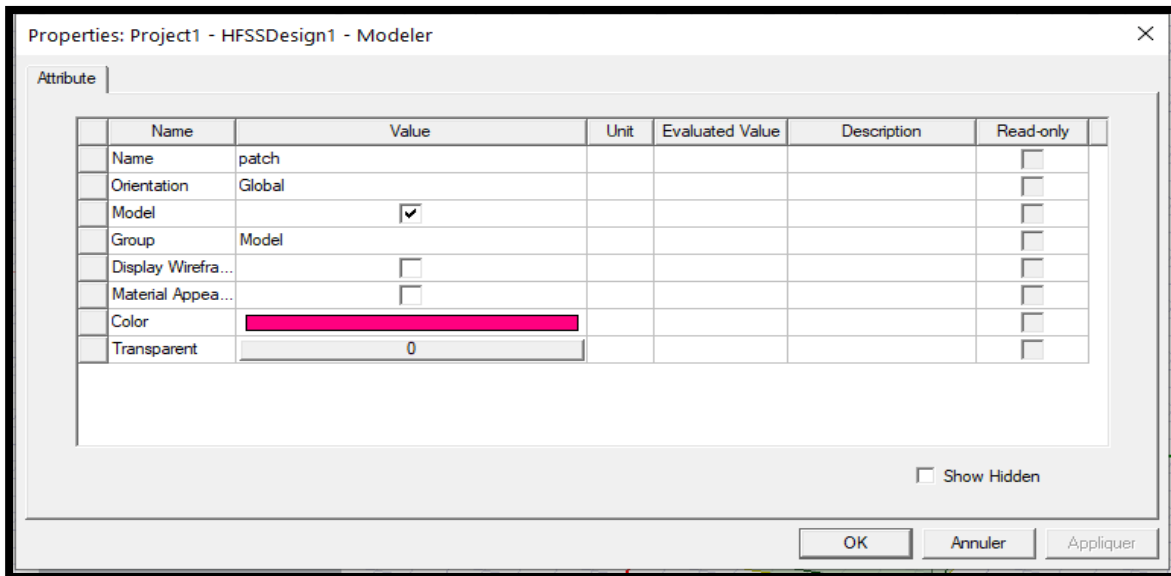
II.9.5 Créer le Patch

Draw>Rectangle

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position du rectangle X: -1.08, Y: -0.875 Z: 0.062, appuyez sur la touche Entrée.

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez le coin opposé du rectangle: dx : 2.16, dy: 1.75, dZ: 0.0, appuyez sur la touche Entrée.

La fenêtre des propriétés s'ouvre automatiquement entrez le nom: Patch



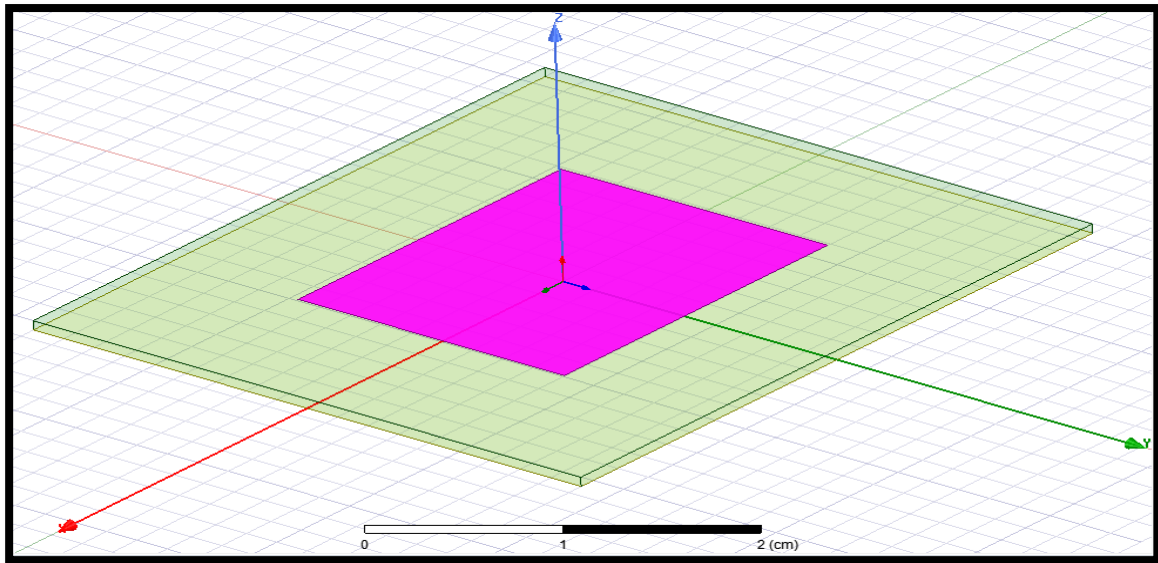


Figure II.21 : création de patch.

II.9.6 Attribuer un champ perfect E pour le patch

Sélectionnez le patch allez vers HFSS>Boundaries>Assign>Perfect E

Nommé: PerfE 2 cliquez sur OK.

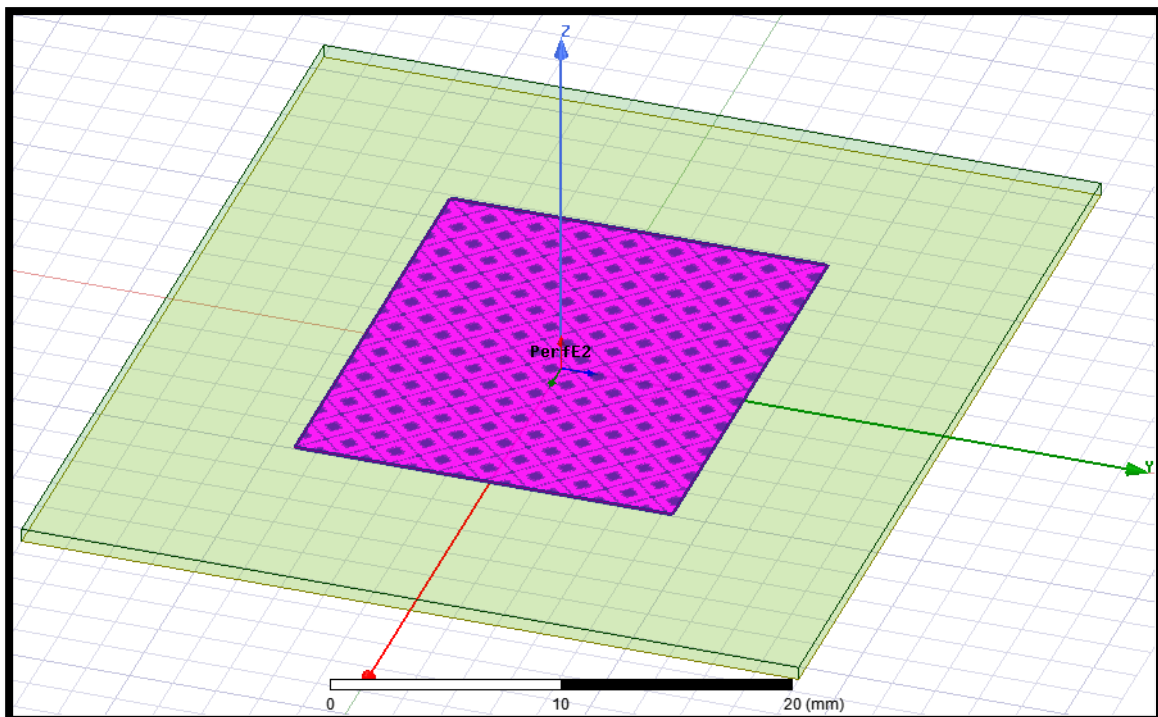


Figure II.22 : Assignment de la condition "Conducteur parfait" pour le patch.

II.9.7 Créer le câble coaxial

Pour le dessin du coaxial:

Draw>Cylinder

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position du cylindre X: 0.0, Y: 0.34, Z: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

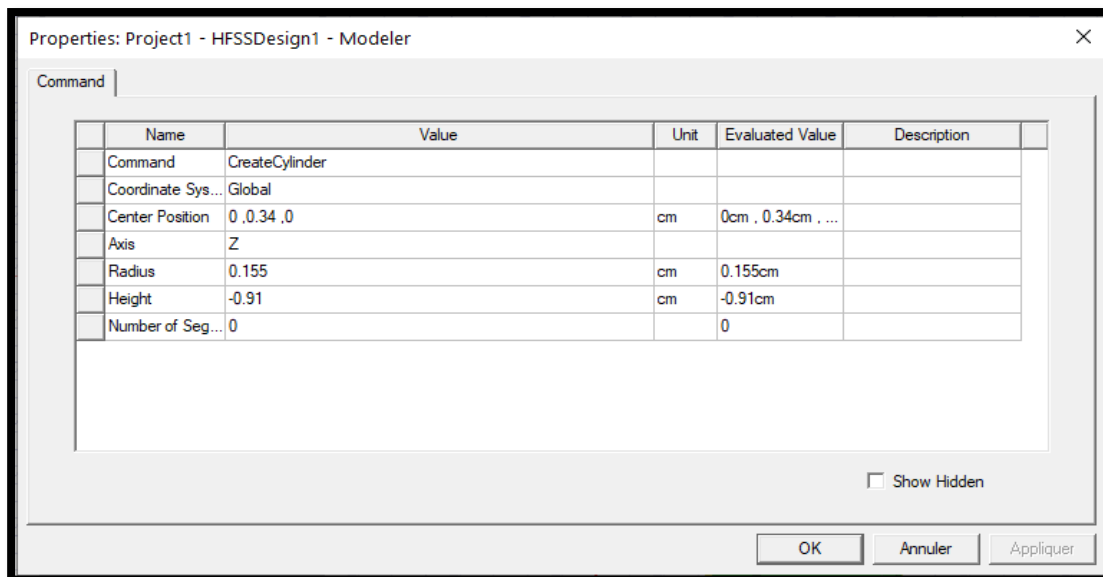
À l'aide des champs de saisie des coordonnées, entrez le rayon: dX: 0.155, dY: 0.0, dZ: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

Utiliser les champs de saisie des coordonnées, entrez la hauteur: dX: 0.0, dY: 0.0, dZ: -0.91 Appuyez sur la touche Entrée.

Material: vacuum.

Nommé : Coax.

cliquez sur Ok.



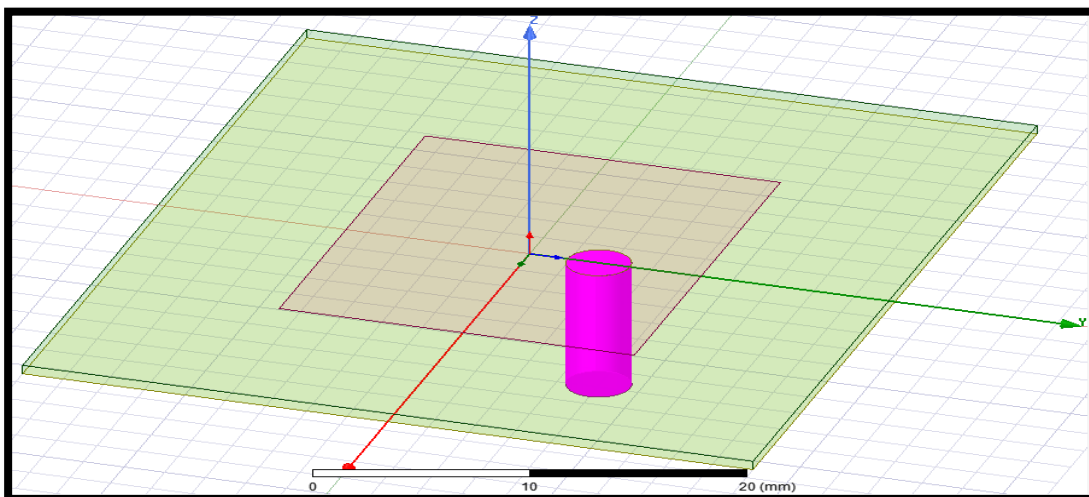
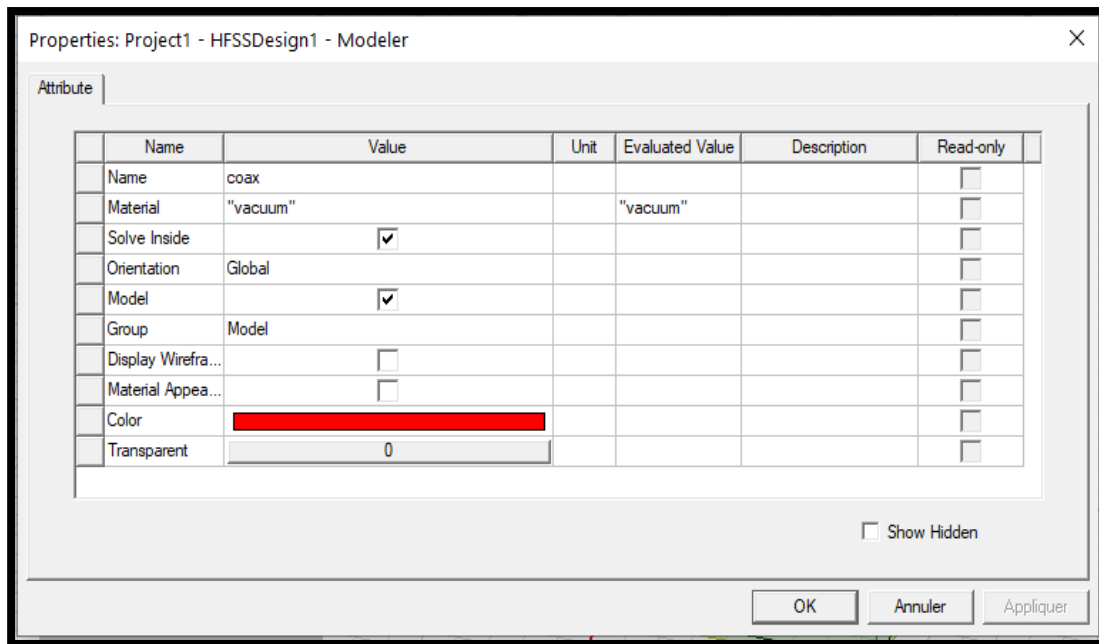


Figure II.23 : dessin du coaxial.

II.9.8 Créer l'âme du coaxial

Draw>Cylinder

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position du cylindre X: 0.0, Y: 0.34, Z: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

À l'aide des champs de saisie des coordonnées, entrez le rayon DX : 0.045, dy: 0.0, dZ: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

Utiliser les champs de saisie des coordonnées, entrez la hauteur:DX 0.0, dy: 0.0, dZ: -0.91 Appuyez sur la touche Entrée.

Nommé: Coax_Pin.

Material: pec

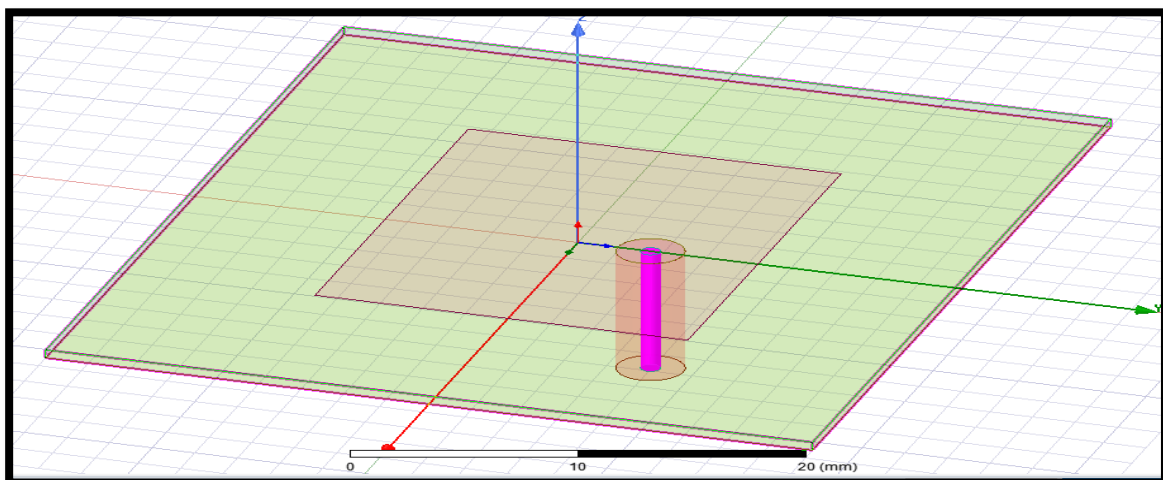
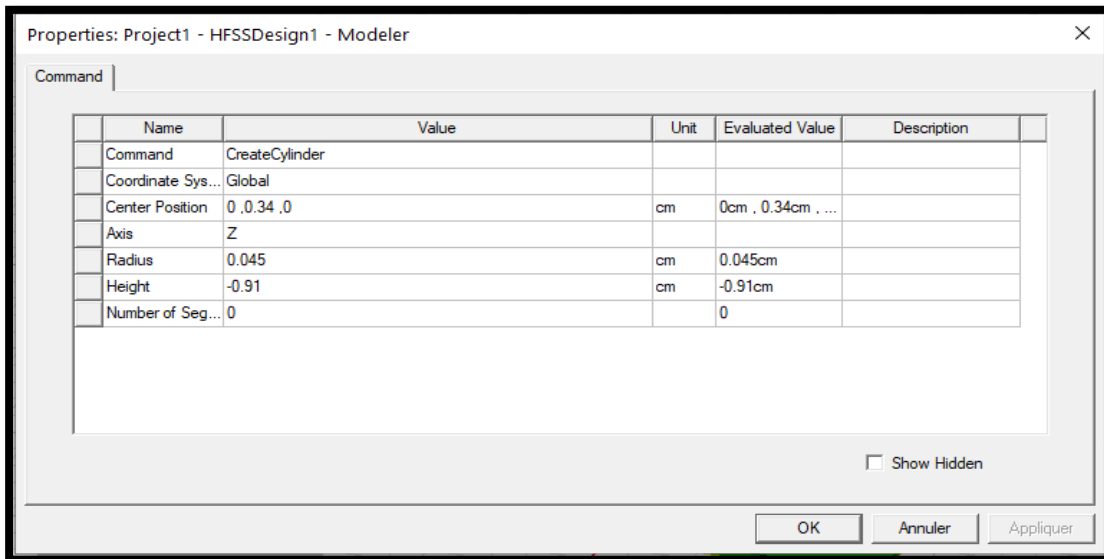
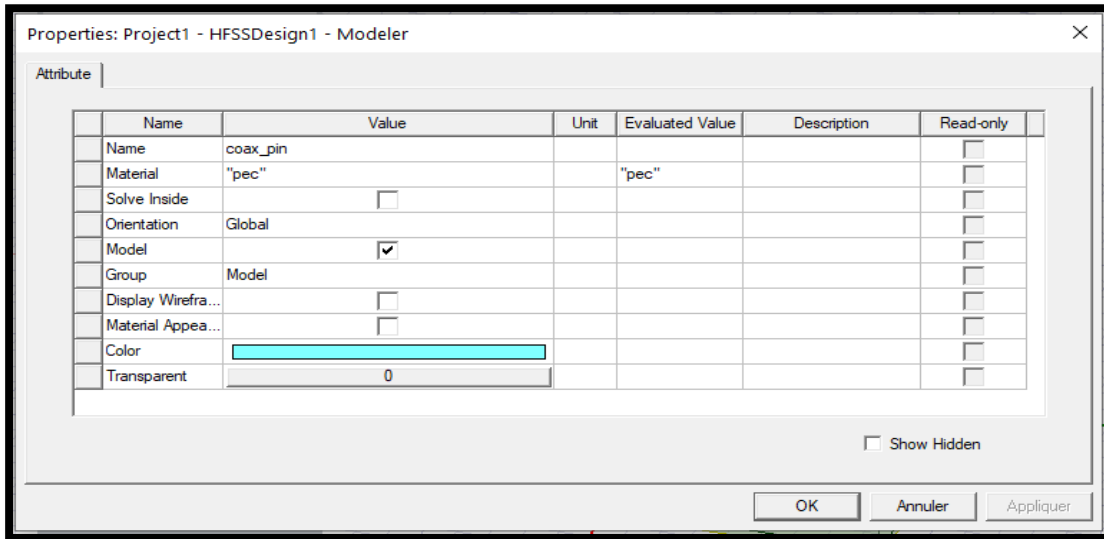


Figure II.24 : l'âme du coaxial.

II.9.9 Créer le port d'onde (wave port)

Pour créer un cercle qui représente le port:

Cliquez sur Draw> Cercle

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position X: 0.0, Y: 0,34, Z: -0.91 Appuyez sur la touche Entrée.

À l'aide des champs de saisie des coordonnées, entrez le rayon du cercle DX :0.155, dy: 0.0, dZ: 0.0: Appuyez sur la touche Entrée .

Dans la fenêtre Propriétés

nom: Port1.

cliquez sur le bouton OK.

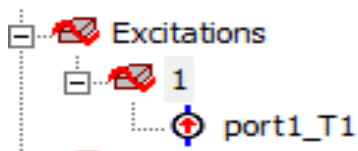
Sélectionnez: Port1.

II.9.10 Attribuer une excitation au port d'onde

HFSS>Excitations>Assign>Wave Port

Spécifié le nom: 1

Le terminal est p1 dans l'arborescence du projet.



L'excitation est illustrée ci dessous:

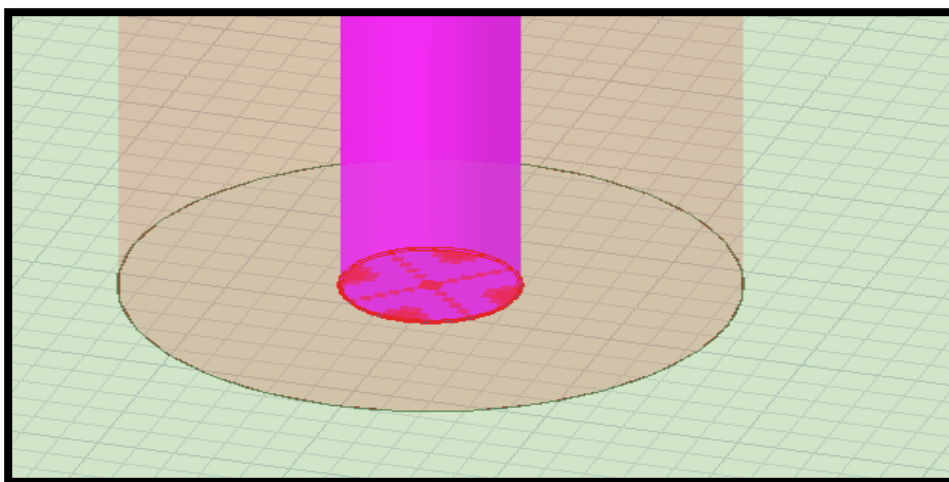


Figure II.25 : Excitation wave-port.

II.9.11 Création de la sonde (probe)

Cliquez sur Draw> Cylinder

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position du cylindre X: 0.0, Y: 0,34, Z: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

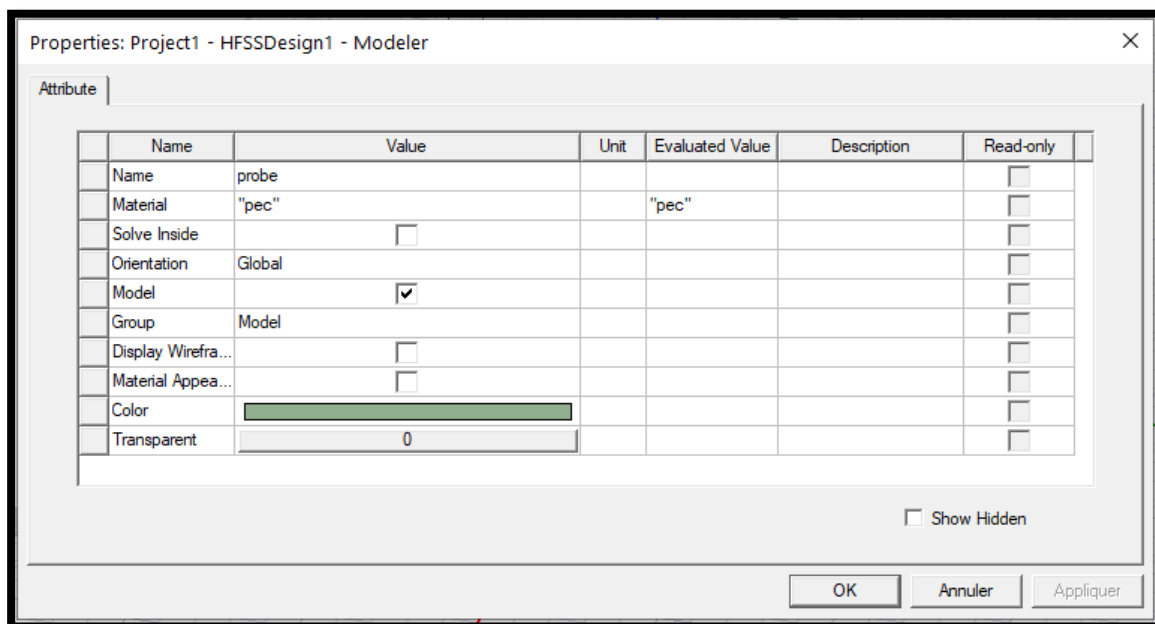
À l'aide des champs de saisie de coordonnées, entrez le rayon: Dx : 0.07, dy: 0.0, dZ: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

Dx : 0.045, dy: 0.0, dZ: 0.0 Appuyez sur la touche Entrée.

Utiliser les champs de saisie des coordonnées, entrez la hauteur: DX 0.0, dy: 0.0, dZ: 0,062 Appuyez sur la touche Entrée.

Dans la fenêtre Propriétés nom: Probe.

Matériel: pec.



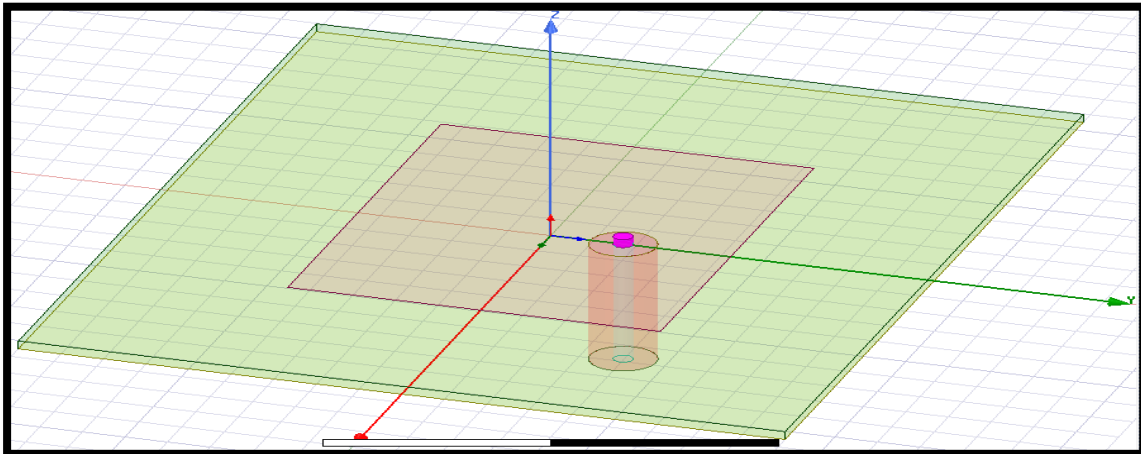
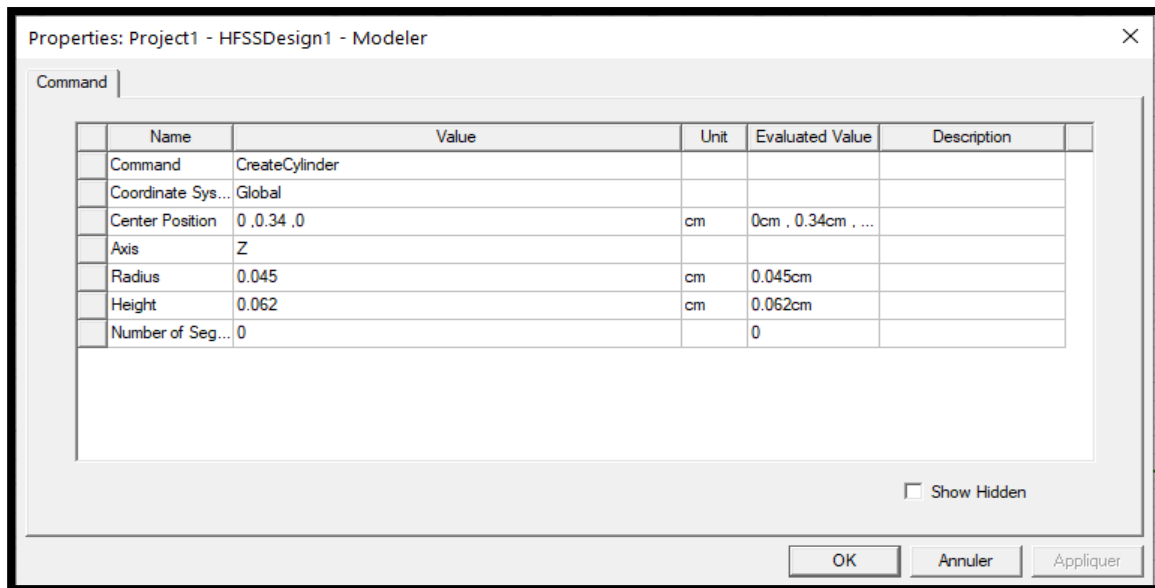


Figure II.26: Sonde (probe).

II.9.12 Créer l'Air

Cliquez sur Draw>Box

En utilisant les champs de saisie des coordonnées, entrez la position de la boîte X: -2.1, Y: -1.8, Z: 0.0, appuyez sur la touche Entrée.

À l'aide des champs de saisie des coordonnées, entrez le coin opposé de la boîte DX :4.2, dy: 3.6, dZ: 1.062.

Définir le nom: air_box.

Pour s'adapter à la vue: Cliquez sur View>Fit All>Active View

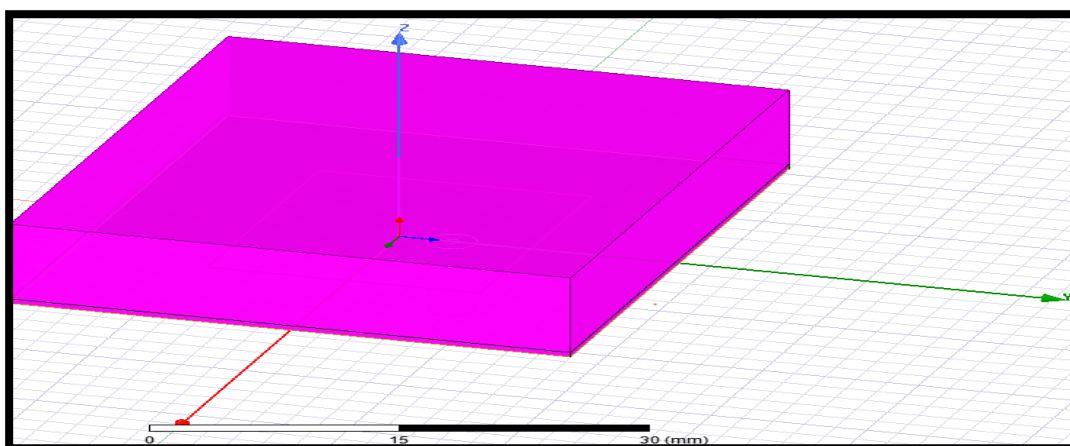
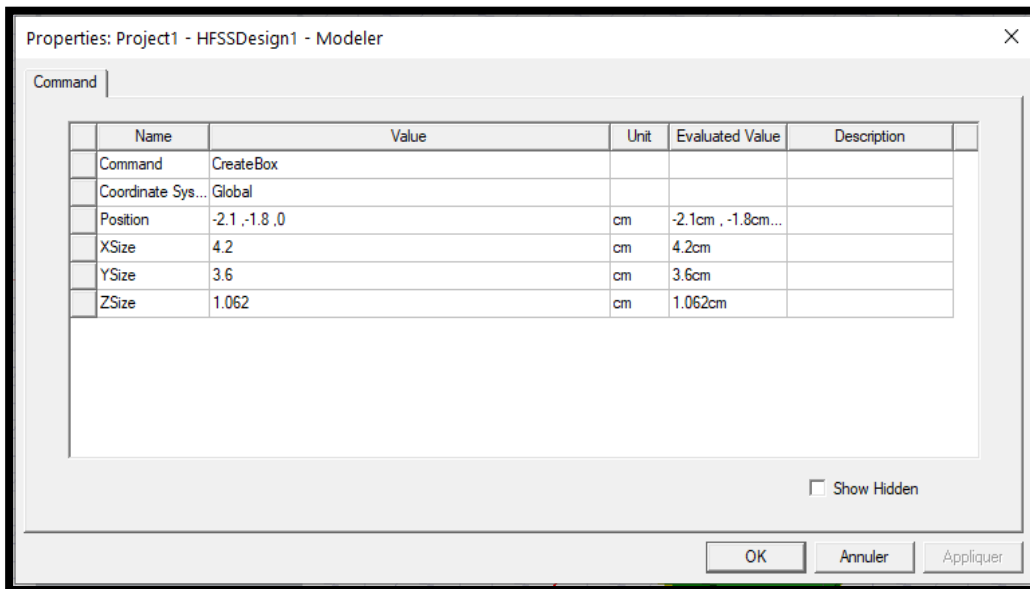
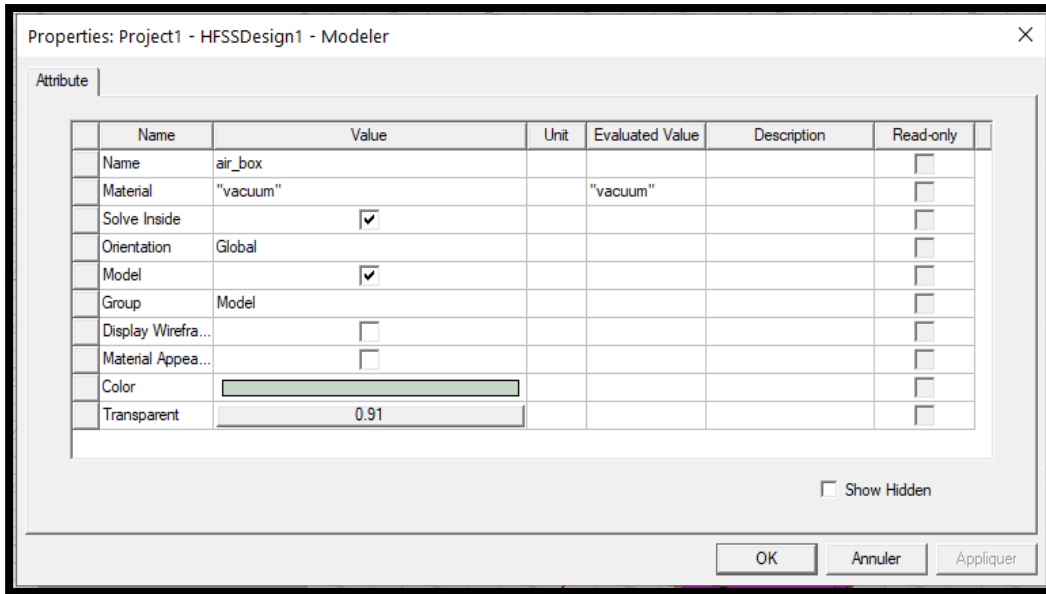


Figure II.27 : Boitier d'air.

II.9.13 Assigner les conditions aux limites (Radiation Boundary)

Sélectionnez les faces :

Cliquez sur Edit>Select>Faces

Sélectionner graphiquement toutes les faces de l'objet, sauf la face à $Z = 0.0\text{cm}$ (le fond).

Pour créer une limite de rayonnement HFSS>Boundaries>Assign >Radiation

La boîte de dialogue des limites des rayonnements s'ouvre, nommé: Rad1

La radiation est illustrée ci dessous:

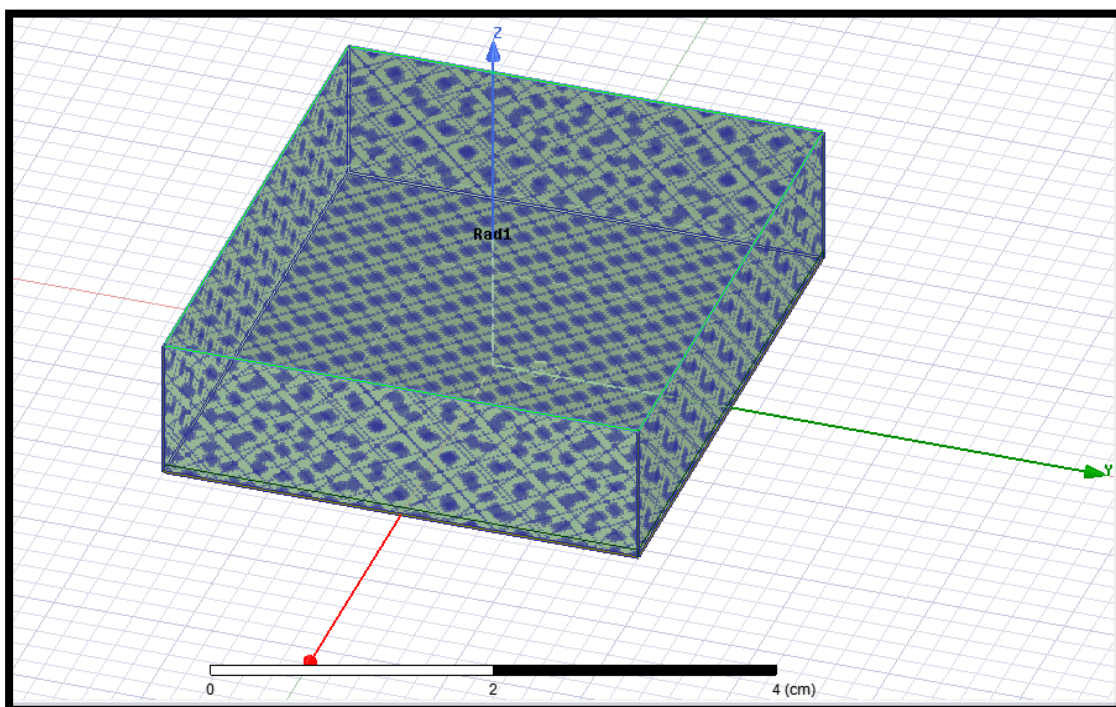


Figure II.28 : Assignement des frontières.

II.9.14 Créer une configuration du rayonnement (radiation setup)

Pour définir la configuration de rayonnement

HFSS>Radiation>Insert Far Field Setup>Infinite

La boîte de dialogue Far Field Radiation Sphere Setup s'ouvre

Sélectionnez l'onglet sphère infinie :

Nom: Infinite Sphere1

Phi: (Début: 0, Arrêt: 90, Step Taille: 90)

Theta: (Début: -180, Arrêt: 180, Step Taille: 2)

Cliquez sur OK.

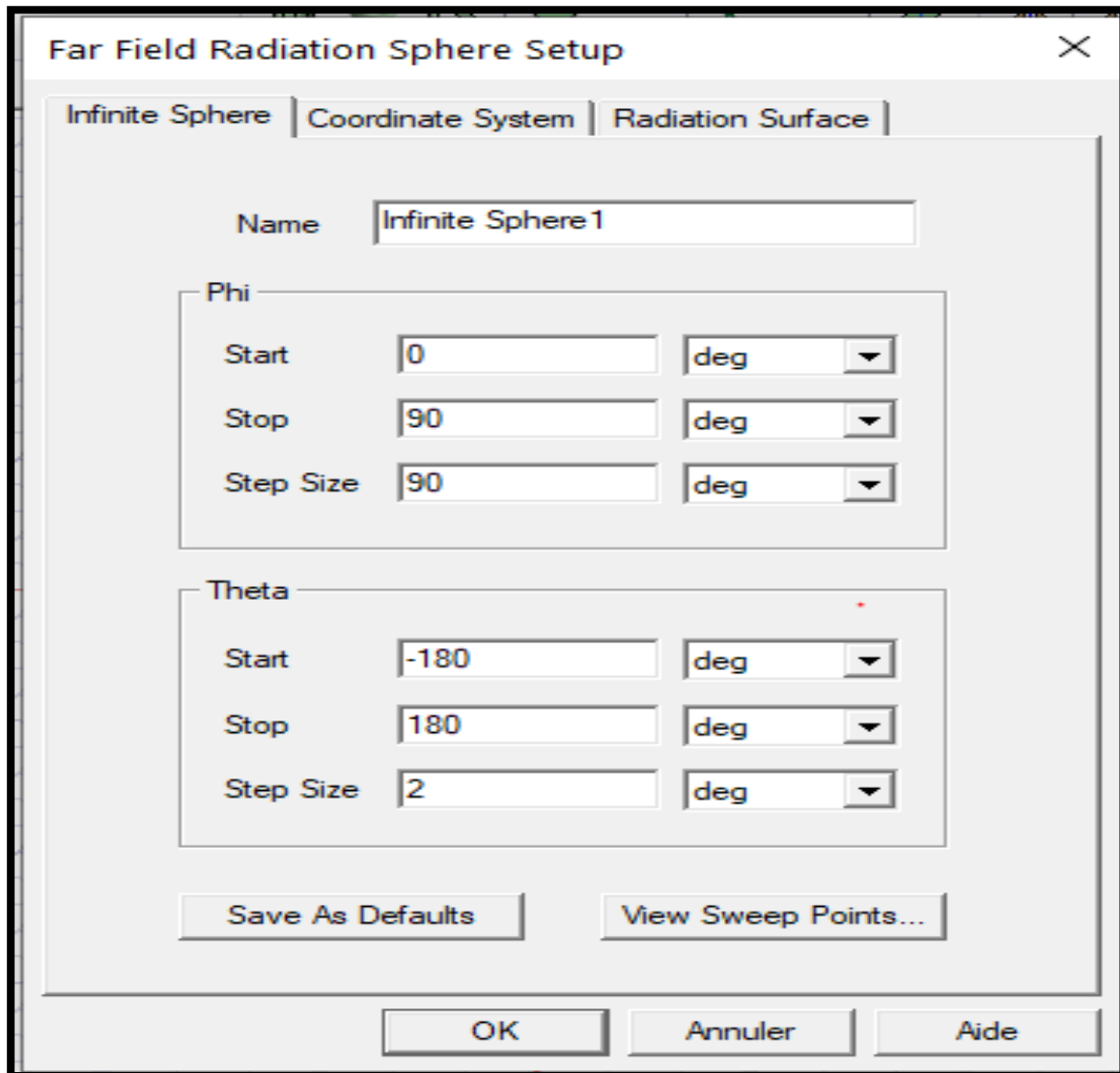


Figure II.29: Configuration du rayonnement.

II.9.15 Créer une installation d'analyse (analysis setup)

Choisir „**Add Solution Setup**” dans le menu **HFSS >Analysis Setup >Add Solution Setup**.

1) Dans la Fenêtre de **Solution Setup**

➤ Cliquer sur la case **General**:

- Solution fréquence: 5, 5 GHz
- Nombre maximum de passes: 20

Delta maximale: 0.02

➤ Cliquer sur le Bouton **OK**.

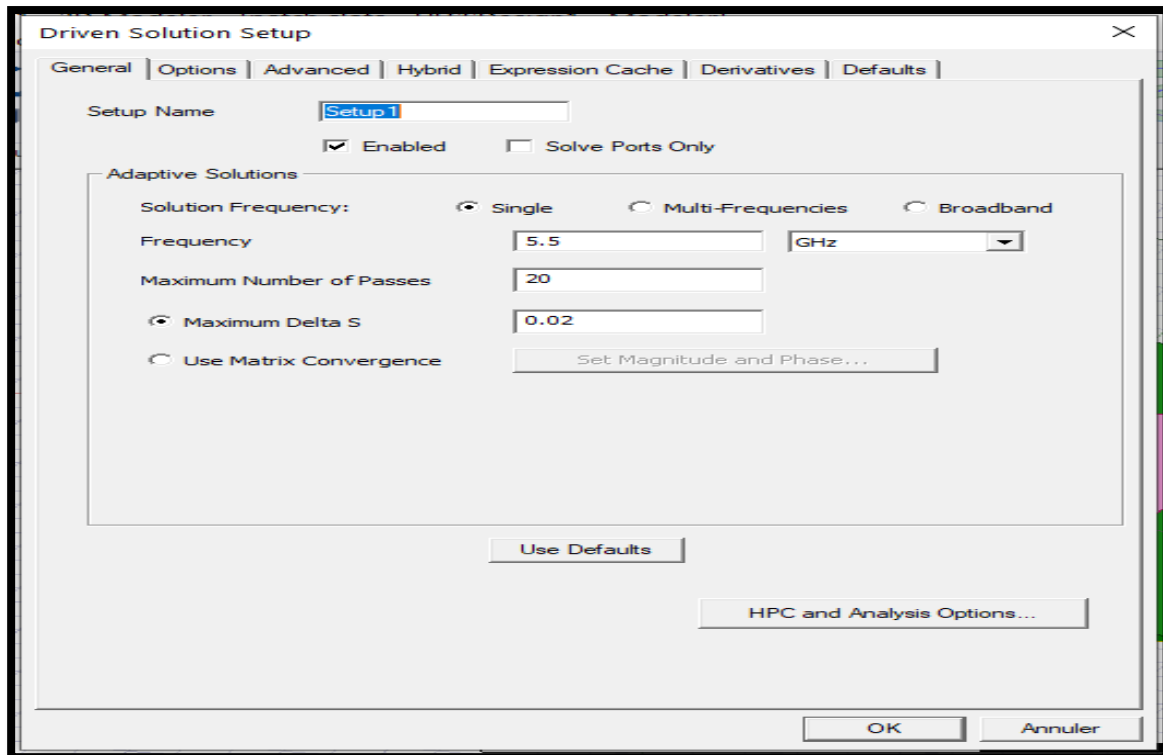


Figure II.30 : Solution d'analyse (fréquentielle).

II.9.16 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep)

Pour ajouter un champ de fréquence, choisir (**Add Sweep**) dans le menu **HFSS** >**Analysis Setup** >**Add Sweep**. Choisir la solution pour installer :Setup1. Cliquer le bouton **OK**. La fenêtre du type de champ de fréquence s'active alors : **Fast, Frequency Linear Count**, Start: 3 GHz, Stop: 7 GHz, Count: 200. Cliquez **OK**

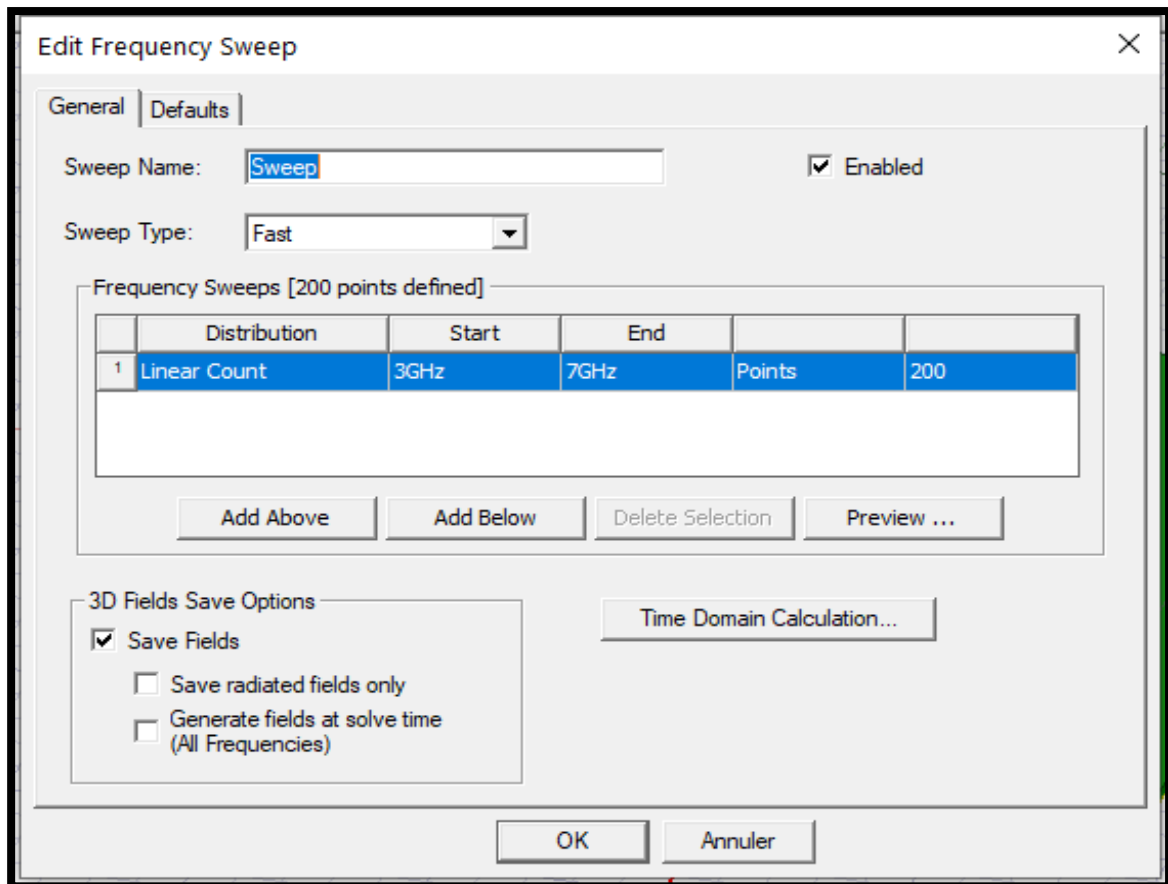


Figure II.31: Plage de fréquence et type d'analyse.

II.9.17 Analyse

Pour valider le modèle:

1. Choisir **Check** dans le menu **HFSS > Validation > Check**.
2. Cliquer sur le Bouton **Close**.

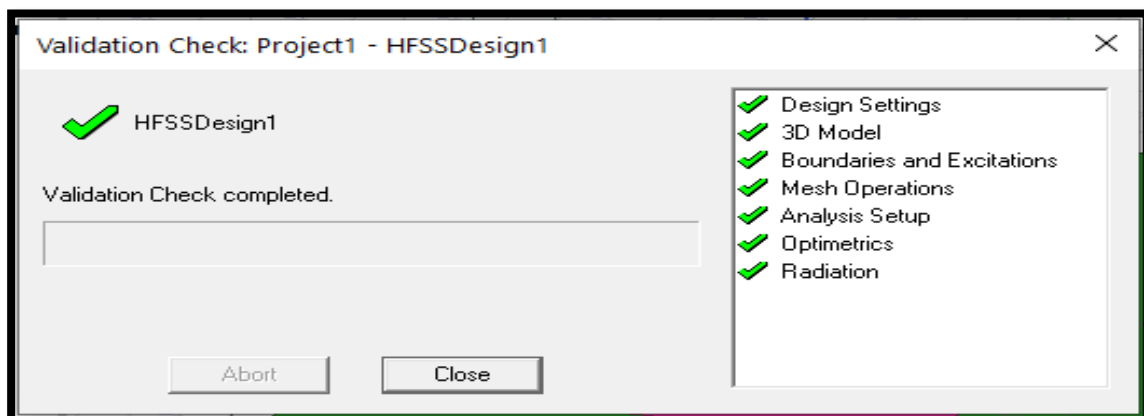
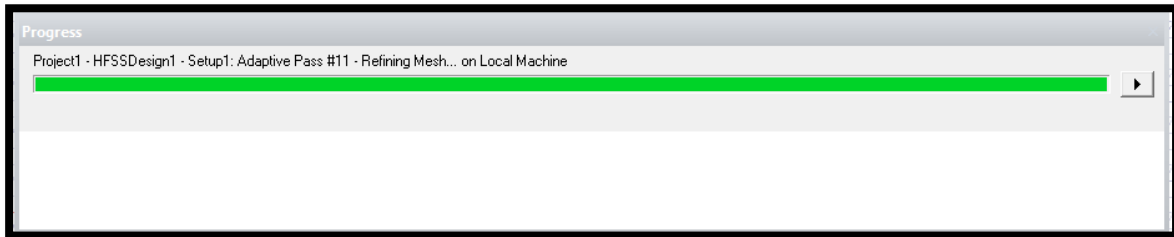


Figure II.32 : Vérification des étapes de simulation.

Pour commencer le processus de solution:

Choisir dans le menu **HFSS >Analyze All**



II.9 .18 Créer les rapports

Après la simulation, pour créer le rapport de données de solution, il faut suivre les étapes suivantes : **HFSS >Result>CreateReport**.

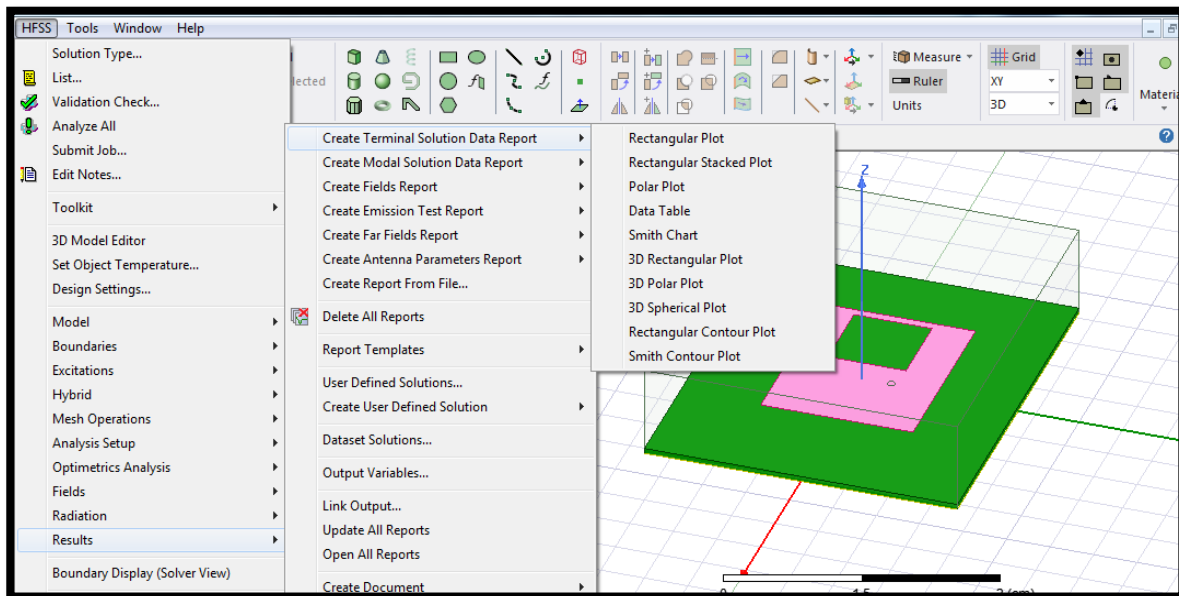


Figure II.33: Affichage des résultats.

Pour afficher le coefficient de réflexion S_{11} suivre les étapes suivantes comme illustré sur la **Figure II.34**.

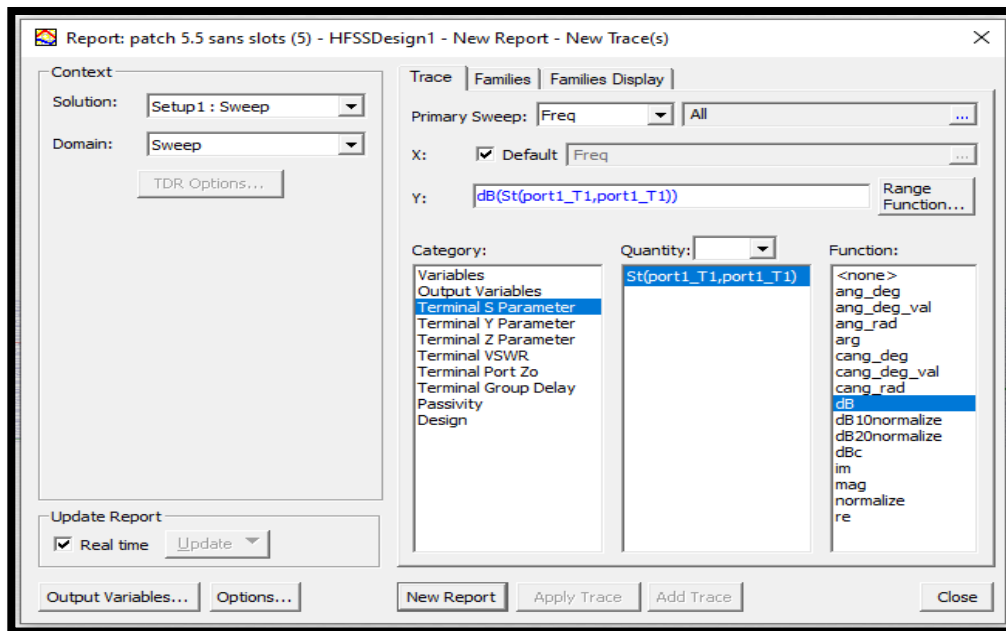


Figure II.34: Affichage S11.

Pour afficher le rapport d'onde stationnaire VSWR suivre les étapes suivantes comme illustré sur la figure

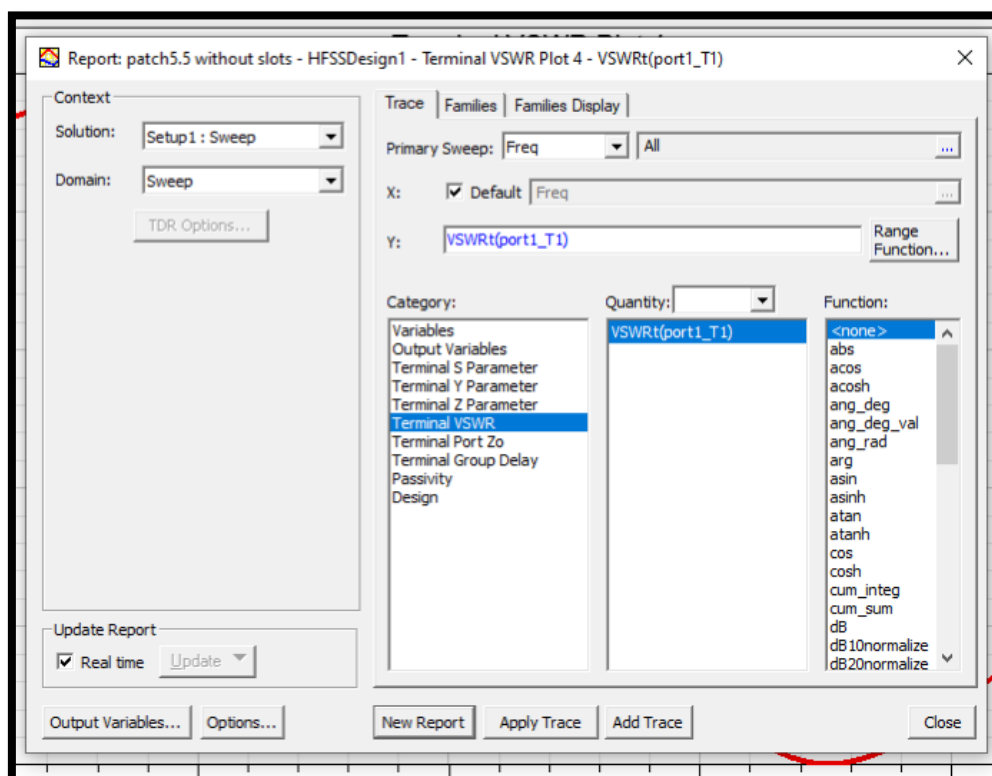


Figure II.35: Affichage VSWR.

Le diagramme de rayonnement est obtenu en suivant les étapes suivantes:

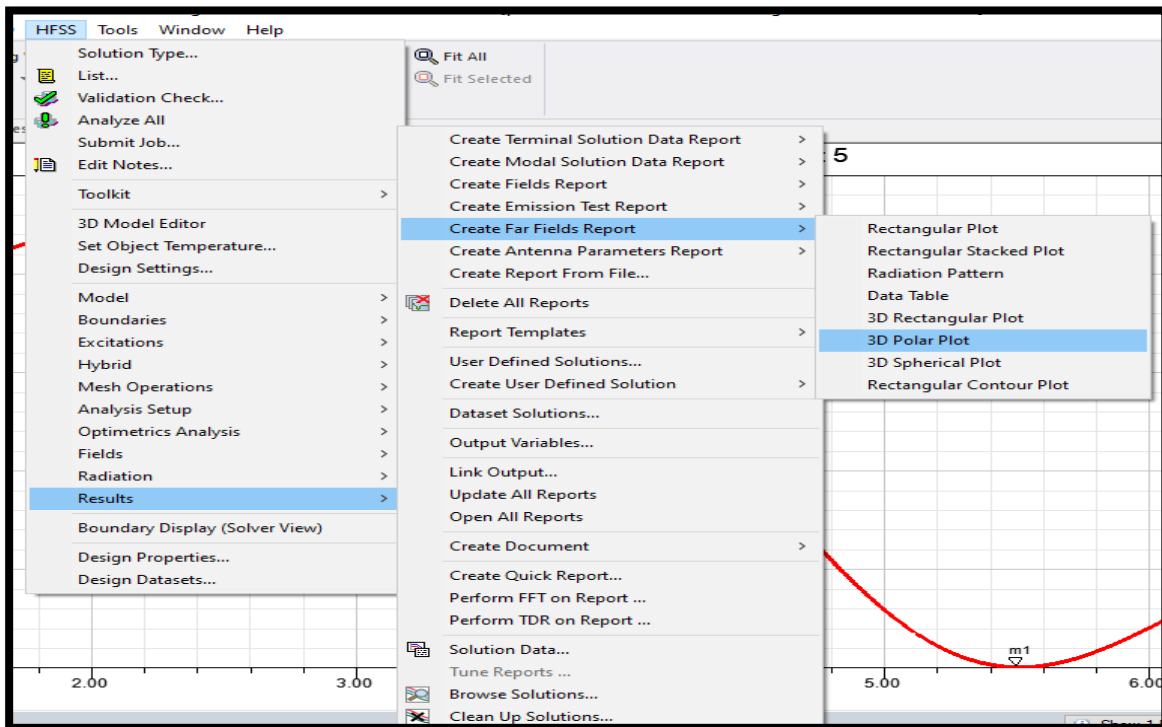
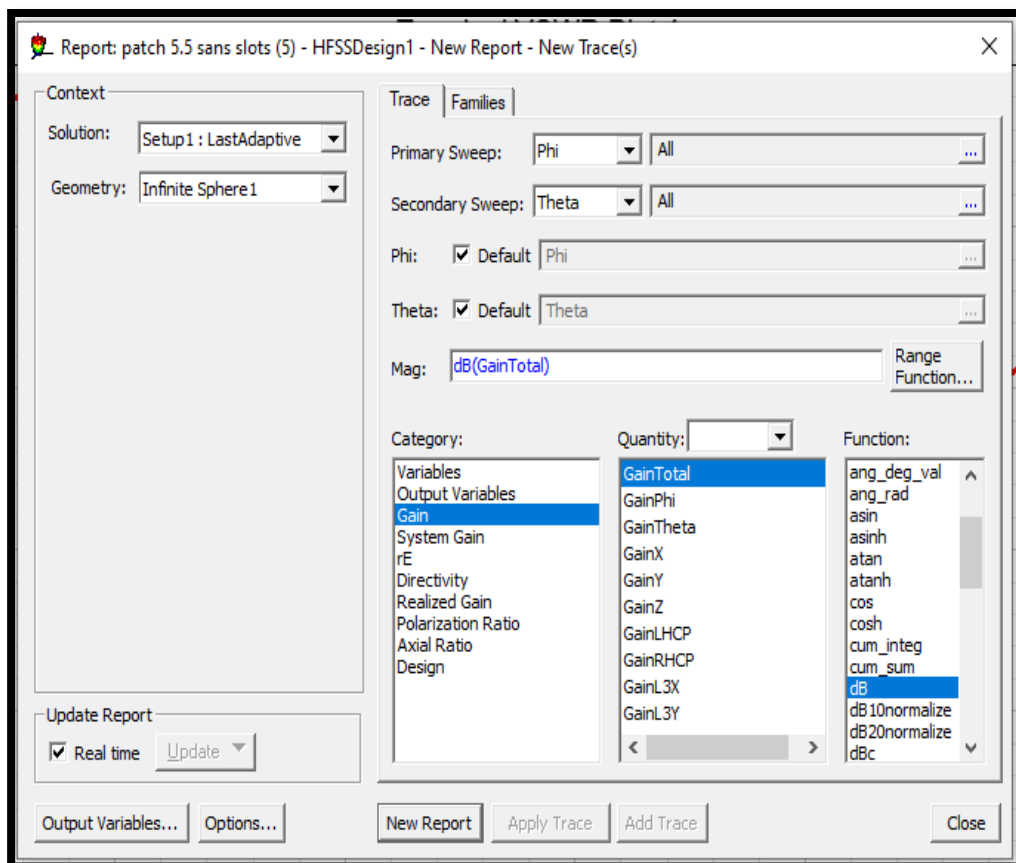


Figure II.36: Affichage de diagramme de rayonnement.



Les résultats de simulation de cette antenne (S_{11} , VSWR et diagramme de rayonnement) sont mentionnés au chapitre 3.

II .10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des informations sur un logiciel (HFSS) et expliqué les différentes étapes de création d'un design HFSS et la descriptions générales des différents outils : barre d'outils, barres des menus, Fenêtre, Manager des projets, Etapes de simulation etc .Nous avons pris un exemple de simulation d'antenne patch rectangulaire alimentée par un câble coaxiale, Après cette description nous Sommes prêts à réaliser le projet, c'est ce que nous verrons dans le troisième chapitre.

Chapitre III

Simulations et résultats

III.1 Introduction

Plusieurs techniques ont été proposées pour réduire la taille des antennes et créer des fréquences de fonctionnement multiples, parmi ces techniques l'incorporation de fentes dans le patch rayonnant de l'antenne. Ces fentes modifient le diagramme de rayonnement de l'antenne [21, 22].

Le fonctionnement multibande peut être obtenu en utilisant plusieurs antennes, mais le problème du couplage dégrade les performances des antennes. De plus, l'utilisation de plusieurs antennes augmente la complexité et le coût du dispositif. Il est bien connu que l'efficacité fournie lorsqu'une antenne résonne dans plusieurs fréquences est supérieure à l'efficacité de l'utilisation d'une antenne pour chaque bande de fréquences.

La modification de la géométrie de l'antenne, de manière à ce qu'elle puisse être exploitée pour les communications sans fil multibandes, est une solution alternative. Dans ce chapitre, nous proposons d'incorporer des fentes dans le patch rayonnant d'une antenne patch microstrip conçue pour un fonctionnement à 5,5 GHz à l'aide du logiciel HFSS. L'objectif est de concevoir une antenne de taille miniature avec trois bandes de fréquence. Les positions et les dimensions des fentes affectent les fréquences de fonctionnement de l'antenne, c'est pourquoi une analyse paramétrique est menée pour atteindre les objectifs requis.

En effet, une technique d'optimisation, en utilisant un algorithme Matlab est exploitée pour sélectionner la meilleure géométrie de l'antenne qui correspond au meilleur comportement triple bandes.

Ce chapitre est divisé en trois parties:

- Conception d'une antenne patch rectangulaire conventionnelle à une fréquence de résonance de **5.5GHz**.
- Conception d'une antenne triple-bande par l'insertion d'une fente rectangulaire dans l'élément rayonnant.
- Conception d'une antenne triple-bande par la création d'une fente de forme 8 dans l'élément rayonnant.

III.2 Antenne patch monobande (conventionnelle)

Afin de créer une configuration d'antenne tri-bande, nous concevons d'abord une antenne patch rectangulaire de fréquence 5,5 GHz alimenté par câble coaxial avec une seule fréquence de résonance à l'aide des équations d'antennes patch à microruban données ci-dessous

La géométrie de l'antenne patch monobande de 5,5 GHz est illustrée sur la **Figure III.1**.

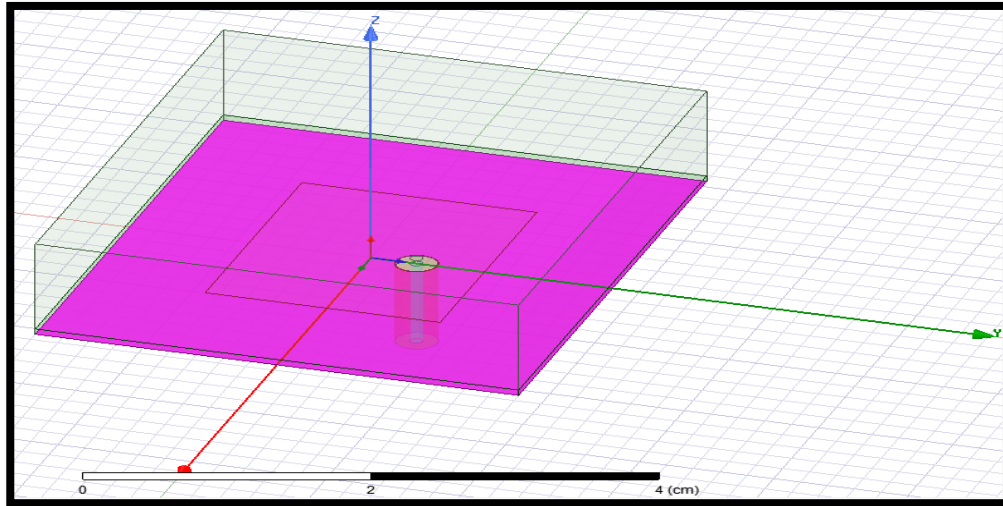


Figure III.1 : Géométrie de l'antenne monobande de 5.5Ghz.

Le substrat exploité dans cette étude est Rogers RT Durio 5880 avec une constante diélectrique $\epsilon_r = 2.2$, une tangente de perte $\tan \delta = 0.0009$, une taille de $42 \times 36 \text{ mm}^2$ et une hauteur $h = 0.62 \text{ mm}$. La technique d'alimentation par sonde coaxiale est utilisée dans l'antenne conçue. La largeur (W) et la longueur (L) du patch sont calculées à l'aide des équations suivantes :

$$W = \frac{v_0}{2 f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r}} \quad \text{III.1}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad \text{III.2}$$

$$L_{eff} = \frac{v_0}{2 f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \text{III.3}$$

$$\Delta L = 0.412 h ((\epsilon_{eff} + 0.3)((W/h) + 0.264)) / (\epsilon_{eff} - 0.258)((W/h) + 0.8) \quad \text{III.4}$$

$$\epsilon_{eff} = ((\epsilon_r + 1)/2) + ((\epsilon_r - 1)/2) * (1 + (12 h / W))^{-1/2} \quad \text{III.5}$$

où

v_0 est la vitesse de la lumière en espace libre, f_r est la fréquence de résonance centrale, L_{eff} est la longueur effective, ΔL est la longueur de frange, et ϵ_{reff} est la constante diélectrique effective.

Les paramètres de l'antenne patch monobande de fréquence de fonctionnement de 5,5 GHz sont illustrés dans le **Tableau III.1**.

Paramètre	Valeur (mm)
Longueur du patch (L)	21.6
Largeur du patch (W)	17.5
Longueur du substrat (Lg)	42
Largeur du substrat (Wg)	36
Hauteur du substrat (h)	0.62
Position d'avance X (Xf), position d'avance Y (Yf)	0, 3.4

Tableau III.1 : Paramètres de l'antenne patch microstrip 5.5GHz

➤ Résultats de Simulations

Dans cette section nous présentons les performances de l'antenne conventionnelle à savoir ; coefficient de réflexion S_{11} , VSWR, bande passante ,diagrammes de rayonnement, et gain.

Coefficient de réflexion (S11) :

Le coefficient de réflexion met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. Les discontinuités présentées par l'antenne peuvent être caractérisées par le coefficient de réflexion, Ce paramètre permet de caractériser l'adaptation de l'antenne.

Le coefficient de réflexion imposé selon les normes doit être inférieur à -10dB, et il caractérise le taux de réflexion des ondes stationnaire sur la structure.

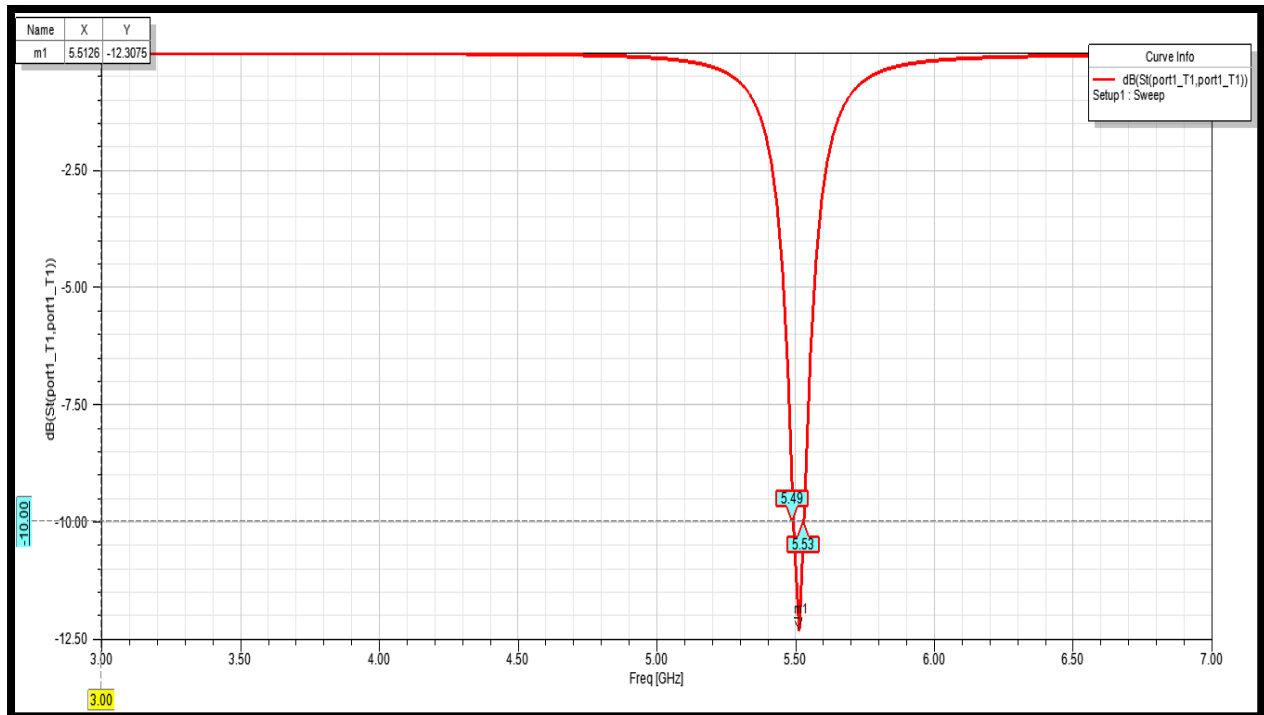


Figure III.2 : Coefficient de réflexion S11(dB) à bande unique de 5,5 GHz

Figure III.2 représente le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence de l'antenne conventionnelle de 5.5 GHz. D'après cette figure nous remarquons que le paramètre S11 a diminué jusqu'à la valeur de -12.30 dB (< -10 dB)

La bande passante à -10dB est :

BP=40MHz ($f_1 = 5.49$ GHz, $f_2 = 5.53$ GHz)

Rapport d'onde stationnaire (VSWR) :

Le Rapport d'Onde Stationnaire (en anglais : **V**oltage **S**tanding **W**ave **R**atio) traduit l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre la ligne d'alimentation (câble coaxial) et l'antenne. Ce rapport prend des valeurs entre 1 et l'infini. En pratique, une bonne adaptation est réalisée lorsque le taux d'onde stationnaire est compris entre 1 et 2.

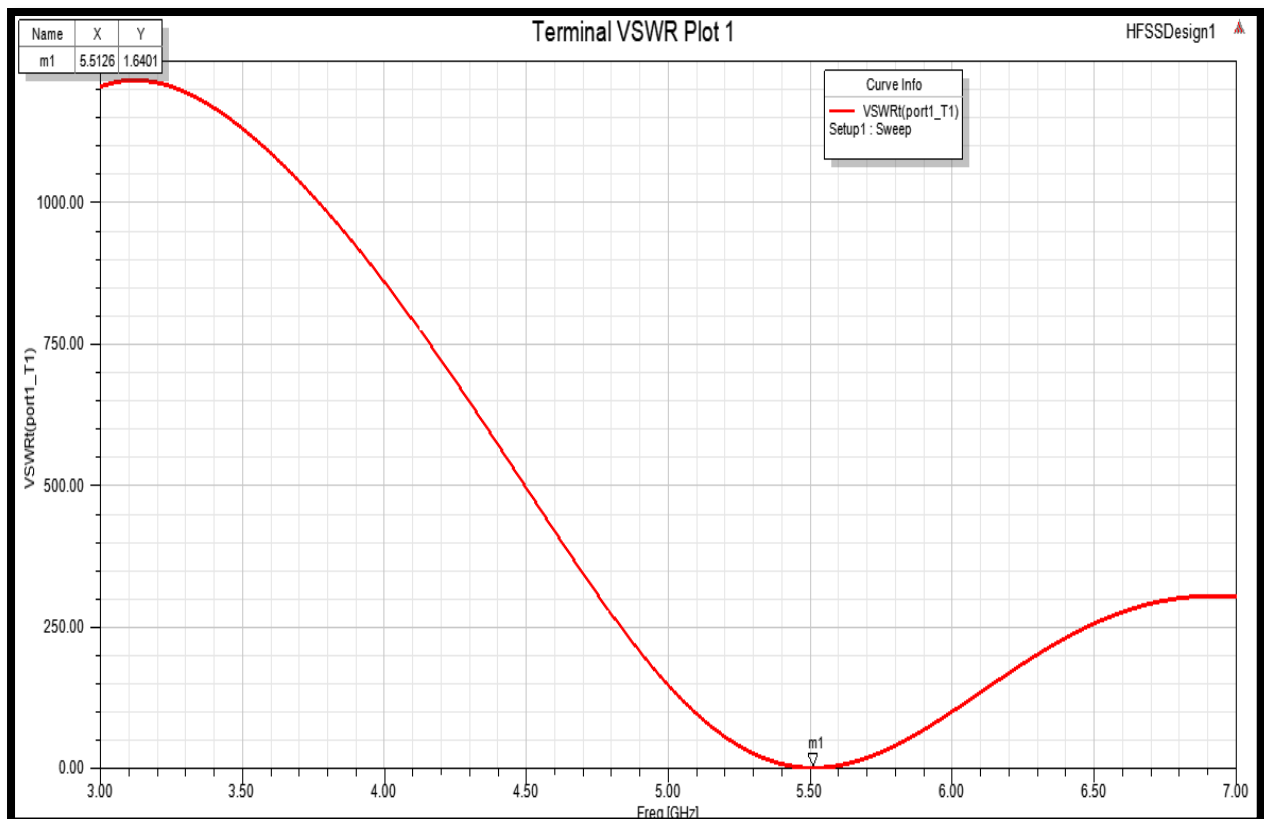


Figure III .3: Rapport d'onde stationnaire (VSWR) à bande unique de 5,5 GHz.

Figure III.3 représente le VSWR dans la gamme de fonctionnement de l'antenne étudiée. D'après cette figure, nous remarquons que le taux d'ondes stationnaires est égale 1.64 (inférieure à 2) pour la fréquence de fonctionnement (5.5GHz) donc l'antenne est bien adaptée.

Diagramme de rayonnement (2D et 3D):

La propriété de rayonnement la plus préoccupante est la distribution spatiale à deux ou à trois dimensions (2D ou 3D) de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un chemin ou d'une surface de rayon constant.

Le rendement des antennes à polarisation linéaire est habituellement décrit en termes des deux plans E et H. Le plan E est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ électrique et la direction du rayonnement maximal tandis que le plan H est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ magnétique et la direction du rayonnement maximal.

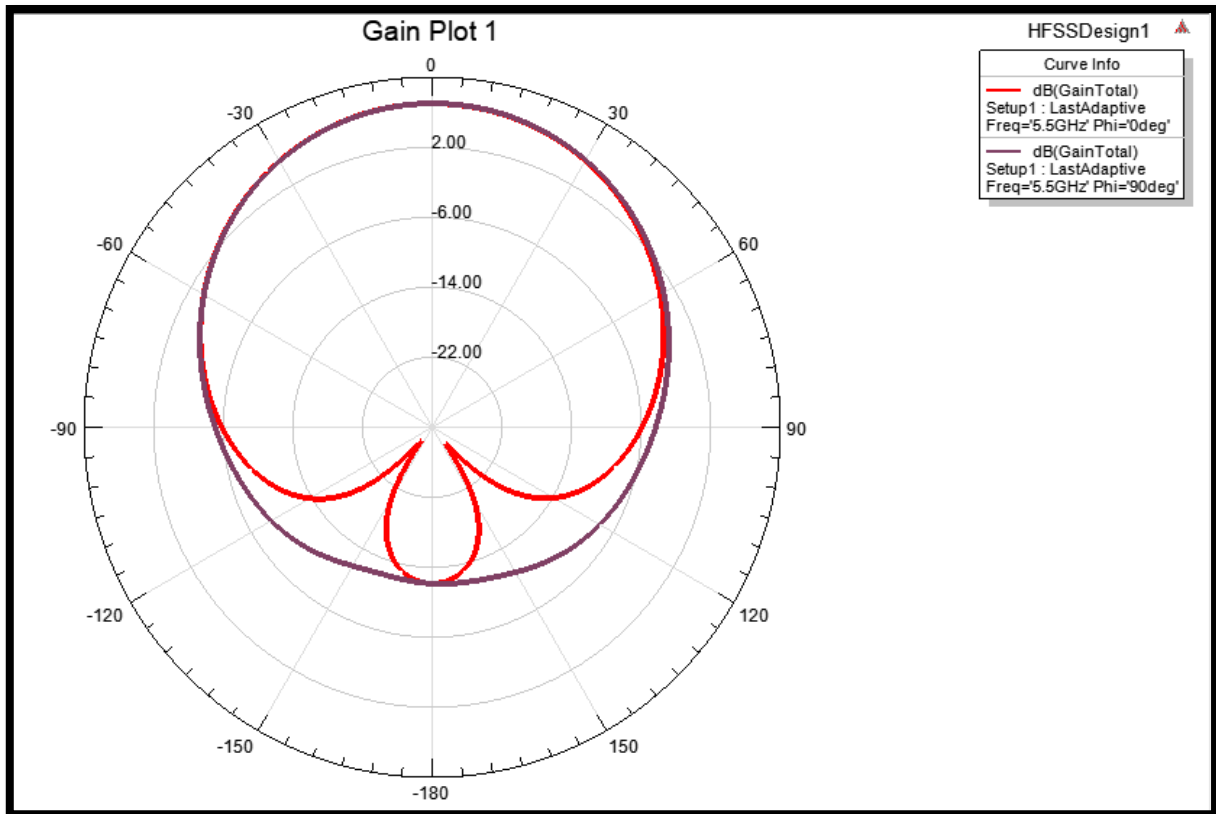


Figure III.4: Diagramme de rayonnement en 2-D à bande unique de 5,5 GHz.

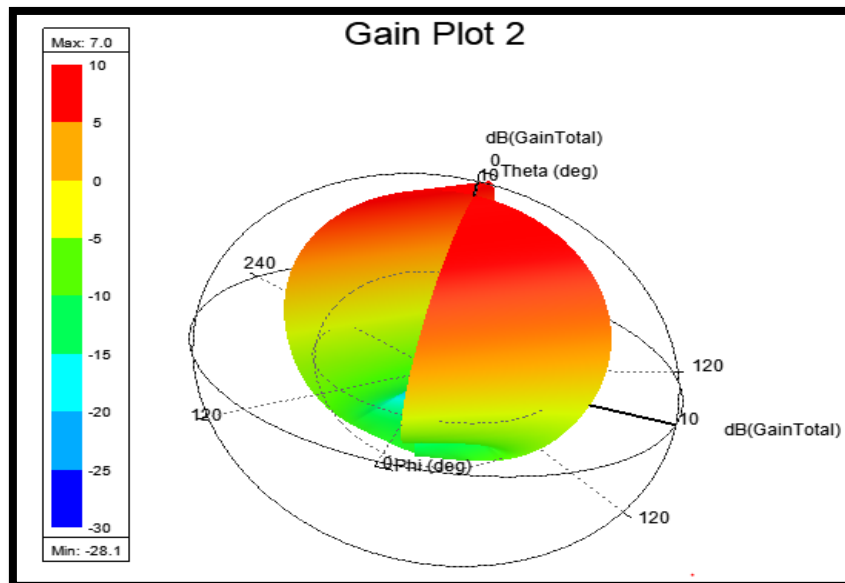


Figure III.5: Diagramme de rayonnement en 3-D à bande unique de 5,5 GHz.

Les **Figures III.4** et **III.5** indiquent les diagrammes de rayonnement en 2-D et en 3-D dans les plans $\phi = 0^\circ$ (E-Plan) et $\phi = 90^\circ$ (H-Plan), respectivement pour une fréquence de résonance 5.5GHz. Ces diagrammes nous donne un gain maximal égal à 7.0 dB. On remarque que le rayonnement dans le plan H est omnidirectionnel, alors qu'il presque omnidirectionnel dans le

plan E.

Les résultats peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Fréquence de résonance (GHz)	Coefficient de réflexion S_{11} (dB)	Bande passante (MHz)	Taux d'onde stationnaire VSWR	Gain (dB)	Domaine d'utilisation
5.5	-12.30	40	1.64	7.0	bande WI-FI

Tableau III.2: Résultats d'antenne conventionnelle.

III.2.1 Antenne patch tri-bande à fente rectangulaire

La géométrie de l'antenne monobande (conventionnelle) trouvée ci-dessus est modifiée pour créer trois bandes de fréquences. Dans cette section une fente de forme rectangulaire est insérée dans l'élément de l'antenne monobande.

La géométrie de l'antenne tri-bande à fente rectangulaire est illustrée à la **Figure III.6**.

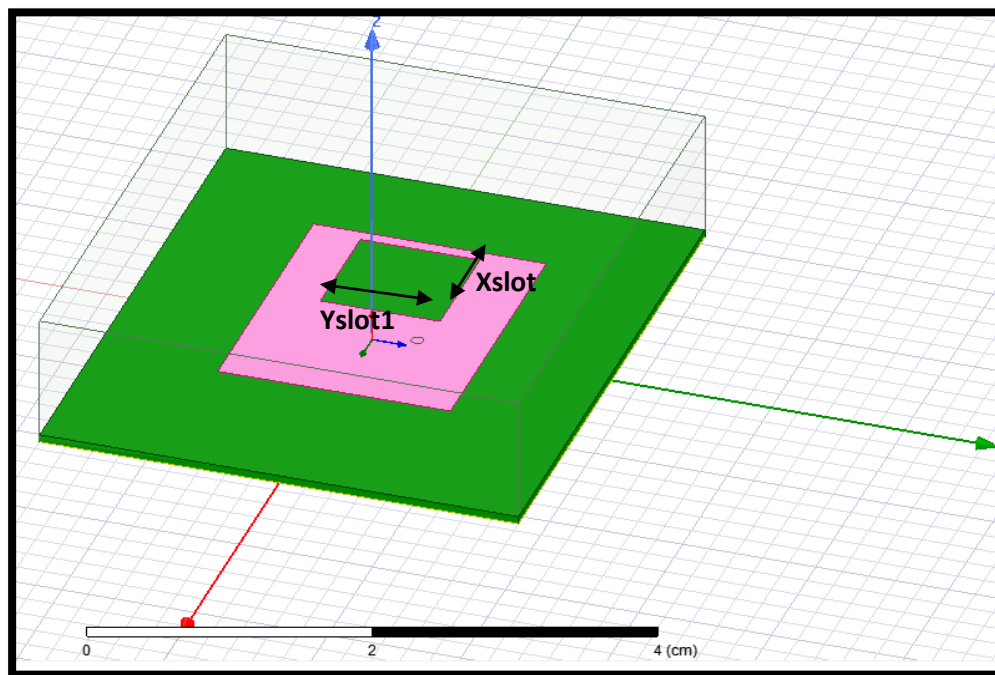


Figure III.6: Géométrie de l'antenne tri-bande à une fente rectangle.

Une fentes est découpée dans la zone du patch rayonnant afin de créer simultanément trois fréquences de fonctionnement différentes dans l'antenne conçue. Les dimensions de la fente ainsi que leur position affectent les fréquences de résonance de l'antenne conçue. Plusieurs conceptions sont étudiées afin de créer trois bandes de fréquences. Les dimensions et les positions de la fente sont mentionnés dans le **Tableau III.3**.

Position du slot (cm)	Nom de variable	Intervalle pour les variables (cm)	Le pas (cm)
X:-1.2,	Xslot1	$0.1 \leq X_{slot1} \leq 0.9$	0.1
Y:-0.49	Yslot1	$0.1 \leq Y_{slot1} \leq 0.9$	0.1

Tableau III.3: Plage de variation de slot rectangulaire

Une analyse paramétrique est utilisée pour créer trois bandes de fréquences, cette étude est très importante car elle permet de mieux appréhender l'influence de changement la taille de la fente sur les performances de l'antenne proposée.

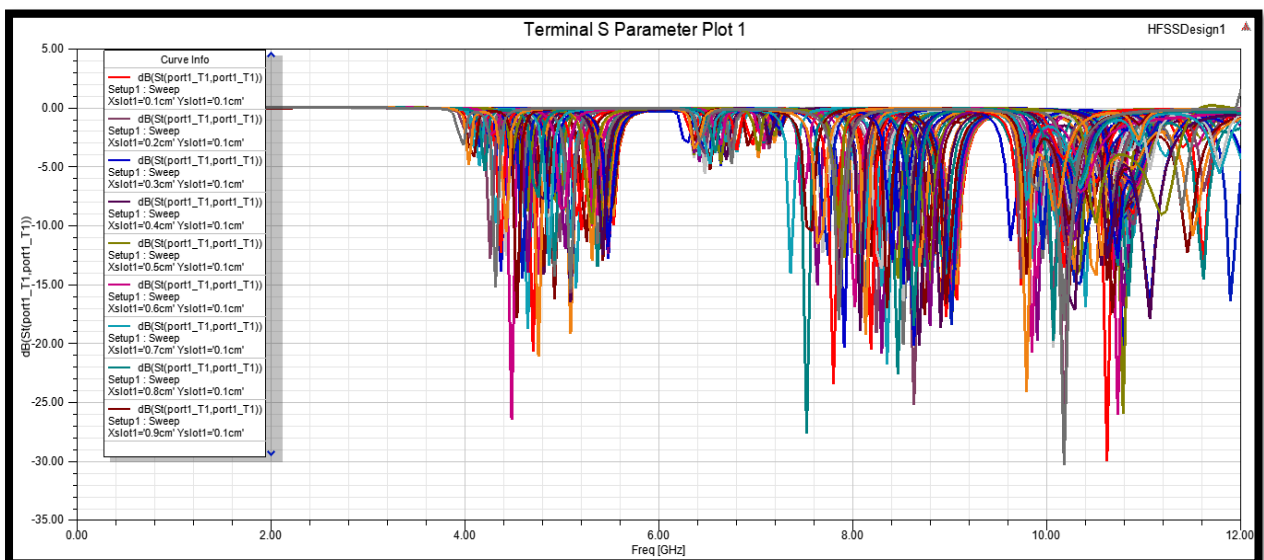


Figure III.7: Coefficient de réflexion S_{11} avec variation de dimensions de la fente rectangulaire

La **Figure III.7** représente la variation du coefficient S_{11} , pour différentes valeurs de X_{slot1} et Y_{slot1} (la longueur et la largeur de la fente rectangulaire) en fonction de fréquence.

Pour choisir les paramètres optimaux de l'antenne nous avons modifiés les dimensions de la fente rectangulaire comme illustré dans le **Tableau III.3** ce qui donne 201 combinaisons possibles implique 201 courbes de S_{11} . Le choix manuel de la meilleure géométrie est impossible, c'est pour cette raison que nous avons opté à l'optimisation en utilisant un programme Matlab.

Début

Entrée : lire la base de donnée

Pour i vari de 1 à 201 **faire**

Si $S_{11}(i)$ coupe la droite de -10dB en six points

Affecter à *Condition_1* la valeur 6

Si les valeurs des trois minima sont < -12

Affecter à *Condition_2* la valeur 3

Fin de si

Fin de si

Si $Condition_1=6$ & $Condition_2=3$

Affecter à x les valeurs de i qui satisfaits $Condition_1=6$ & $Condition_2=3$

Fin de si

Fin de pour

Sortie :

Tracer la courbe de $S_{11}(x)$

Trouver $X_{slot1}(x)$ et $Y_{slot1}(x)$

Après avoir chargé la base de données, nous ballions les 201 courbes de S_{11} qui constituent cette base.

Condition_1 : On cherche les courbes qui coupe la droite de -10dB en **six** points, cette condition est utilisée pour trouver les géométries des antennes qui ont un comportement triple bande (voir **Figure III.8**). Si la courbe coupe -10dB en 2 ou 4 points par exemple le comportement est mono ou double bandes respectivement.

Condition_2 : est utilisée pour optimiser les valeurs de coefficient de réflexion. On cherche un comportement triple bandes dont les valeurs de S_{11} pour les trois bandes sont inférieurs à -12dB.

En suite, on chercher les valeurs de X_{slot1} et Y_{slot1} qui correspondent au meilleur comportement triple bandes

La meilleure courbe (meilleur S_{11}) satisfait les deux conditions précédentes (meilleur comportement triple bandes) est représentée par la **Figure III.8** dont les valeurs de $X_{slot1}=Y_{slot1}=0.9$ cm sont sélectionnées.

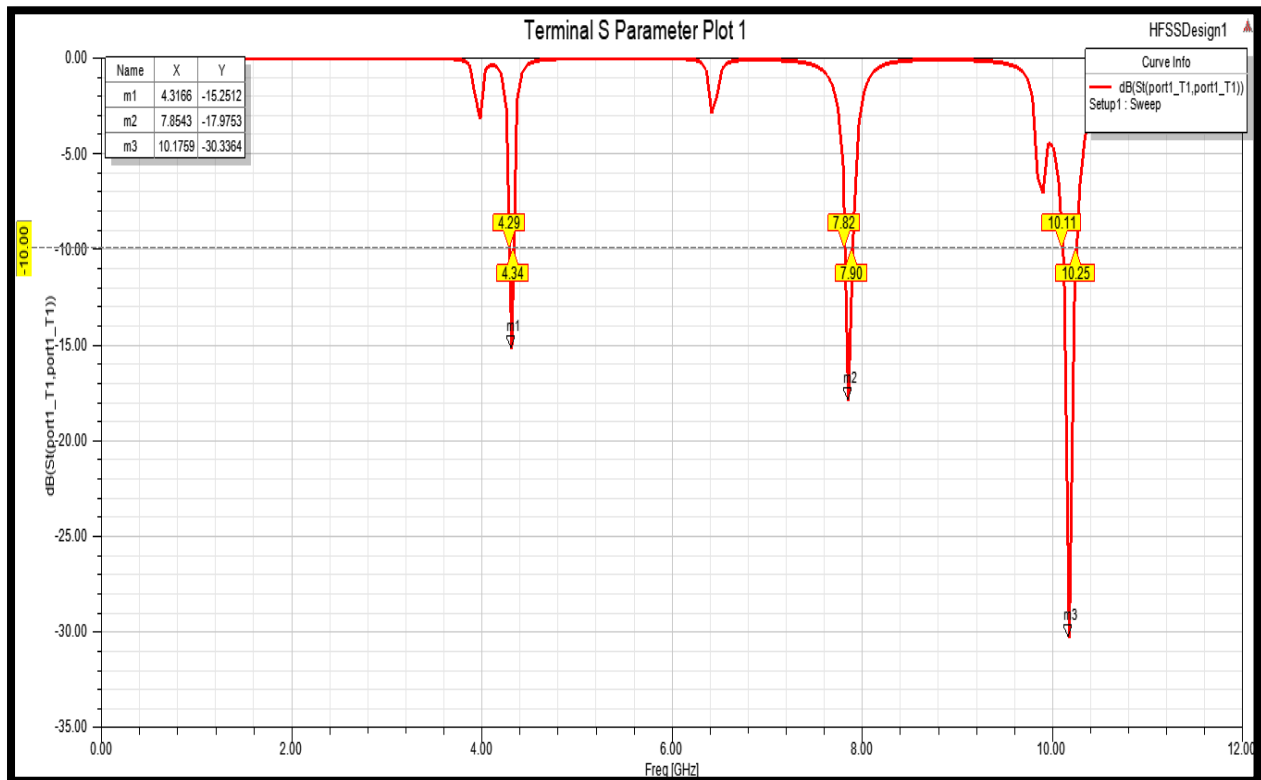


Figure III.8 : Coefficient de réflexion (S_{11}) en fonction de la fréquence.

L'antenne optimisée présente les trois bandes de fréquences suivantes:

- $f_1 = 4.31$ GHz (valeur de $S_{11} \cong -15.25dB$), et une bande passante de 4.34-4.299=50MHz.
- $f_2 = 7.85$ GHz (valeur de $S_{11} \cong -17.97dB$), et une bande passante de 7.90-7.82=80MHz.
- $f_3 = 10.17$ GHz (valeur de $S_{11} \cong -30.33dB$), et une bande passante de 10.25-10.11=140 MHz.

On remarque que la fréquence f_3 présente la meilleure valeur du coefficient de réflexion (valeur minimale). Pour les trois fréquences de fonctionnement des bandes passantes acceptables sont trouvées.

➤ Rapport d'onde stationnaire

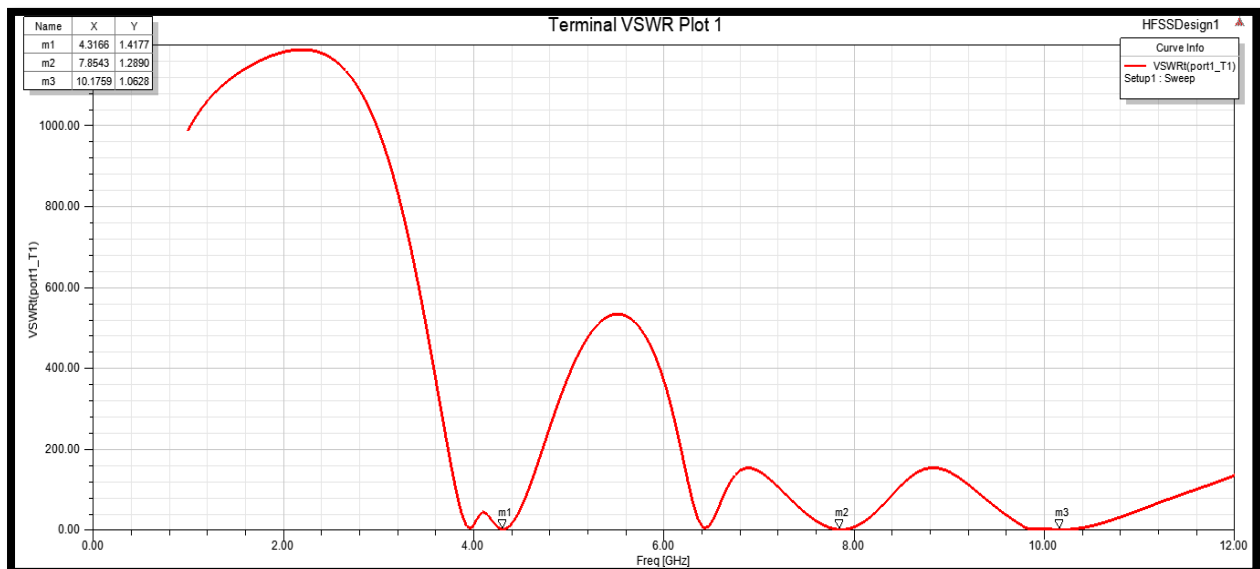


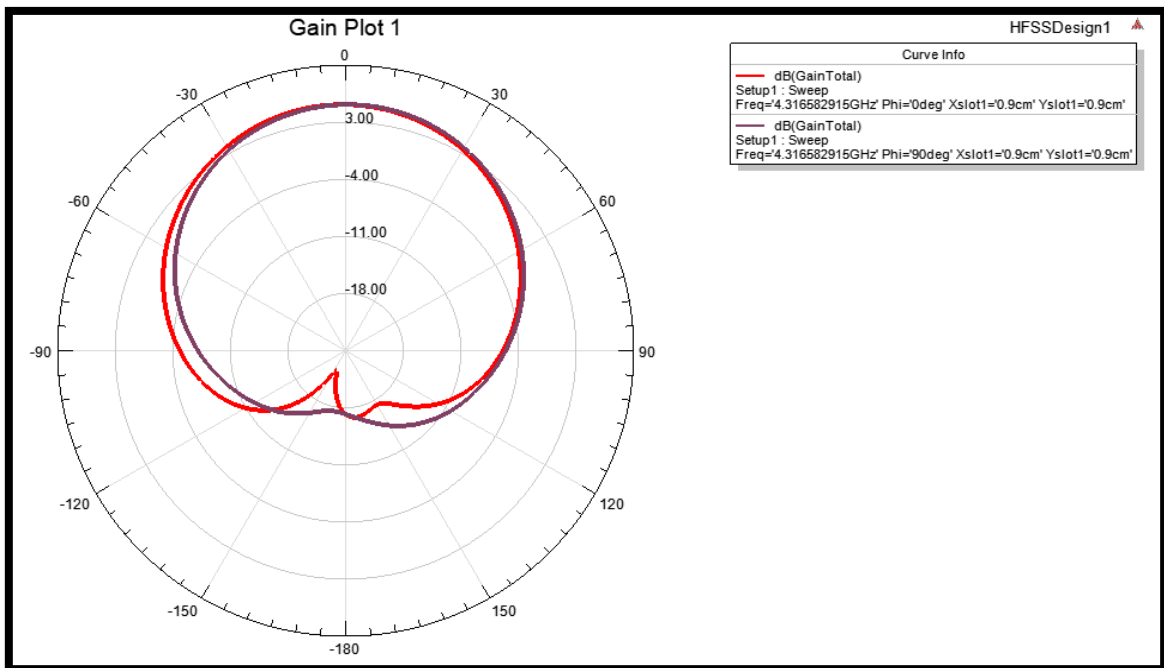
Figure III .9: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

La **Figure III .9** montre le diagramme du VSWR en fonction de fréquence pour l'antenne triple bande optimisée. Cette dernière présente des valeurs de VSWR de 1.41, 1.28 et 1.06 aux fréquences centrales de 4.31 GHz, 4,49 GHz et 10.17 GHz, respectivement. Les résultats obtenus démontrent que l'antenne résonne dans la limite du VSWR qui se situe entre 1 et 2 ce qui indique qu'une bonne adaptation d'impédance entre la ligne d'alimentation de l'antenne et le patch rayonnant est obtenue.

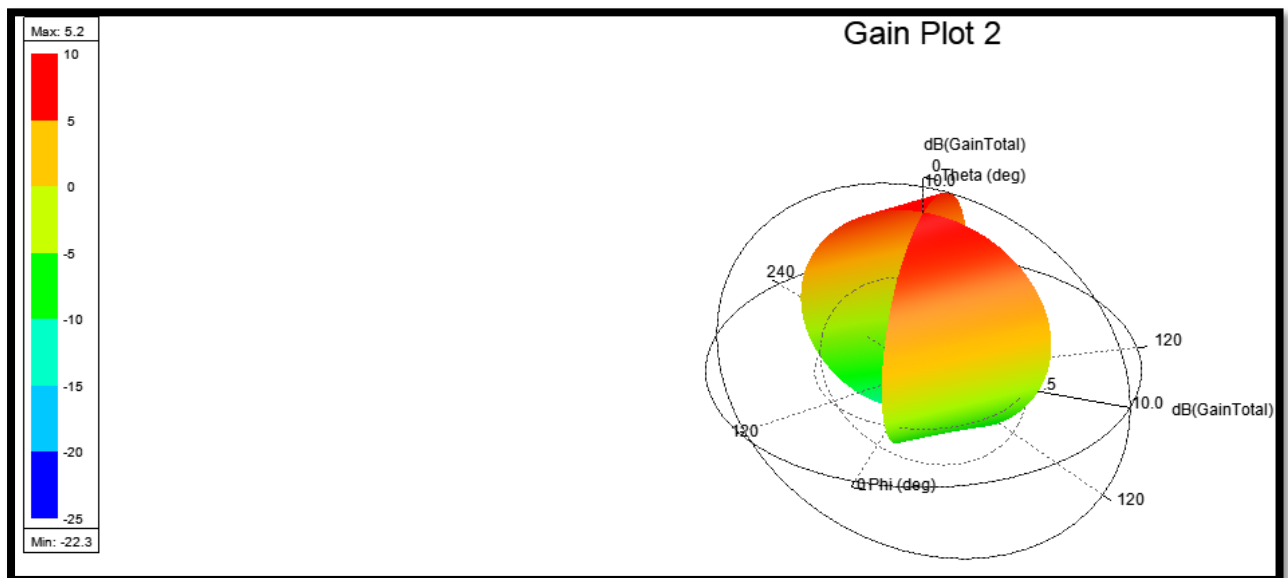
➤ Diagramme de rayonnement

Les **Figures III.10, III.11** et **III.12** représentent le diagramme de rayonnement simulé dans le plan E ($\phi = 0$) et dans le plan H ($\phi = 90^\circ$) pour différentes fréquences (4.3166 GHz, 7.8543 GHz et 10.1759GHz).

❖ Pour $F_1 = 4.31\text{GHz}$:



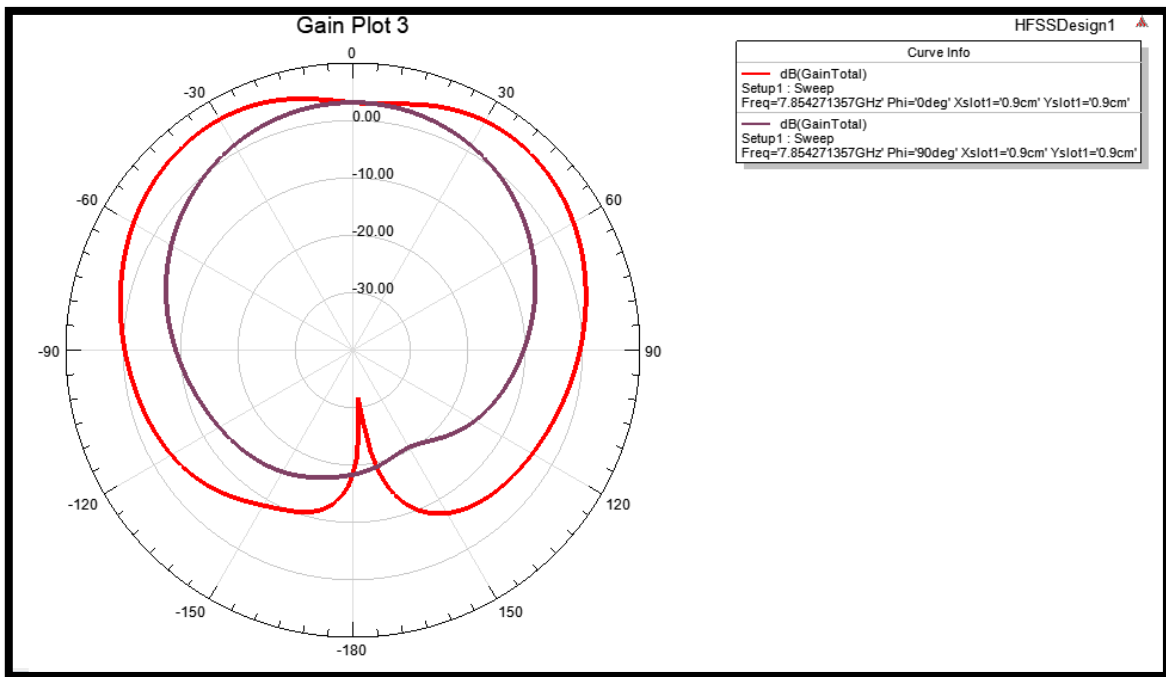
(a)



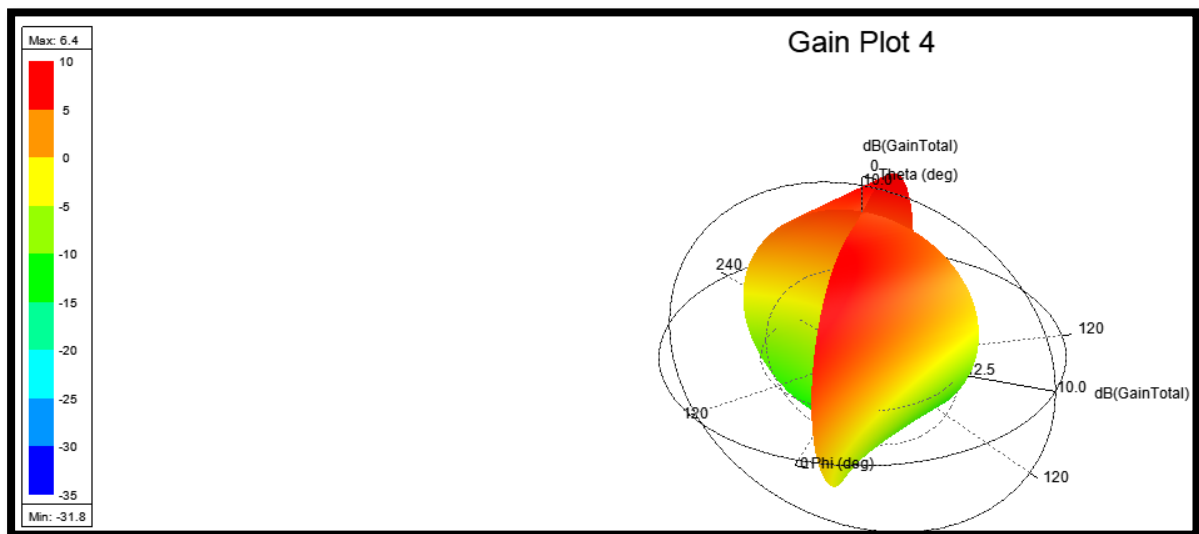
(b)

Figure III.10 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 4.3166GHz(a)2D (b) 3D.

❖ Pour $F_2 = 7.85 \text{ GHz}$:



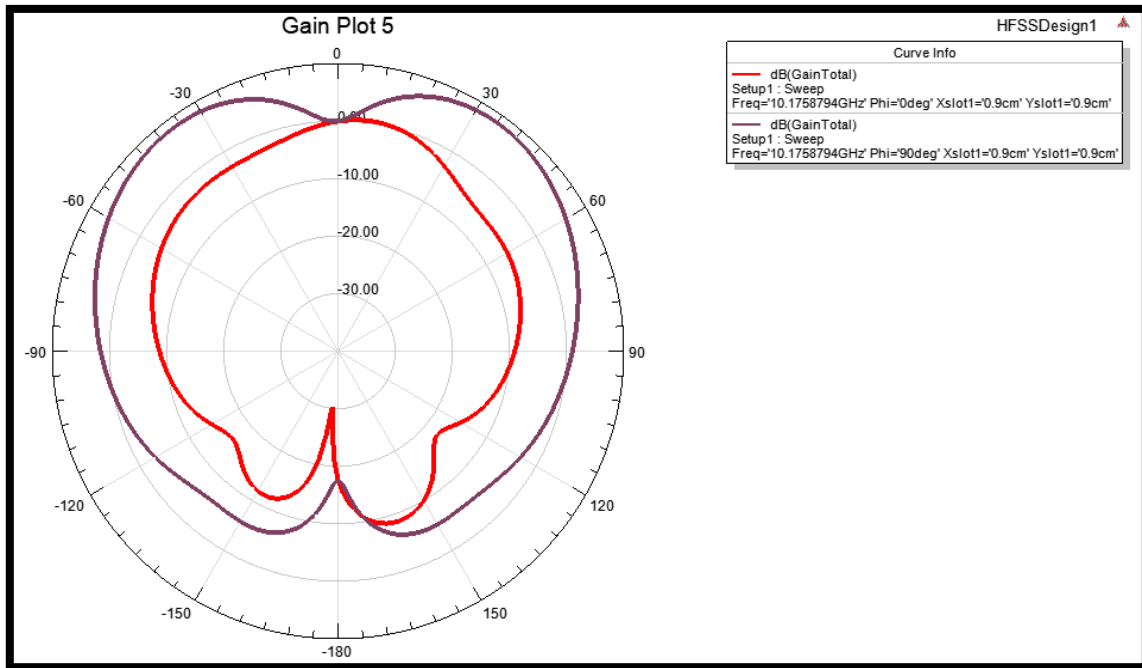
(a)



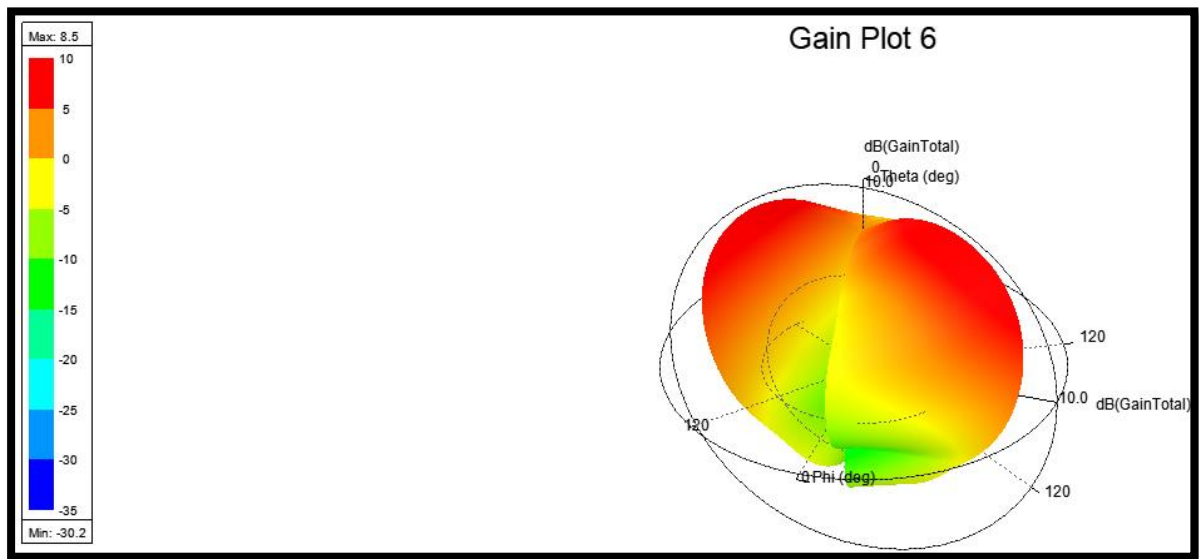
(b)

Figure III .11 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 7.85 GHz : (a) 2D, (b) 3D.

❖ Pour $F_3 = 10.17$ GHz:



(a)



(b)

Figure III.12 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 10.17 GHz : (a) 2D, (b) 3D.

D'après les **Figure III .10, III .11** et **III.12**, on remarque que le rayonnement est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch ($\theta = 0^\circ$). L'antenne présente des valeurs de gain très acceptables de 5.2 dB, 6.4 dB et 8.5 dB pour les trois fréquence de fonctionnement 4.31 GHz, 7.85 GHz et 10.17 GHz respectivement.

Les performances de l'antenne triple bande avec une fente rectangulaire sont résumées dans le

tableau suivant :

Fréquence de résonance (GHz)	coefficient de réflexion S_{11} (dB)	bande passante (MHz)	taux d'onde stationnaire VSWR (dB)	Gain (dB)
4.31	- 15.25	50	1.41	5.2
7.85	- 17.97	80	1.28	6.4
10.17	- 30.33	140	1.06	8.5

Tableaux III.4: Performances de l'antennes triple bande avec une fente rectangulaire

L'utilisation de chaque fréquence est illustrée dans le tableau suivant :

Bande de fréquence (GHz)	Nom	Service satellitaires
4.31 € [4 à 8 GHz]	Bande C	Diffusion de radio, données, TV mobiles.
7.85 € [4 à 8 GHz]	Bande C	Diffusion de radio, données, TV mobiles.
10.17 € [8 à 12 GHz]	Bande X	Utilisée pour les radars, les communications par satellite et réseaux informatiques sans fil.

Tableau III.5: Bandes de fréquences et utilisations.

III.2.2 Antenne patch tri-bande à fente de forme 8 :

Dans cette section, nous présentons l'étude et la conception une autre antenne Triple bandes, cette fois la géométrie de l'antenne monobande (conventionnelle) est modifiée pour créer trois bandes de fréquences. Une fente de forme 8 est insérée dans l'élément rayonnant de l'antenne monobande.

La géométrie de l'antenne tri-bande à fente de forme 8 est illustrée à la **Figure III.13**.

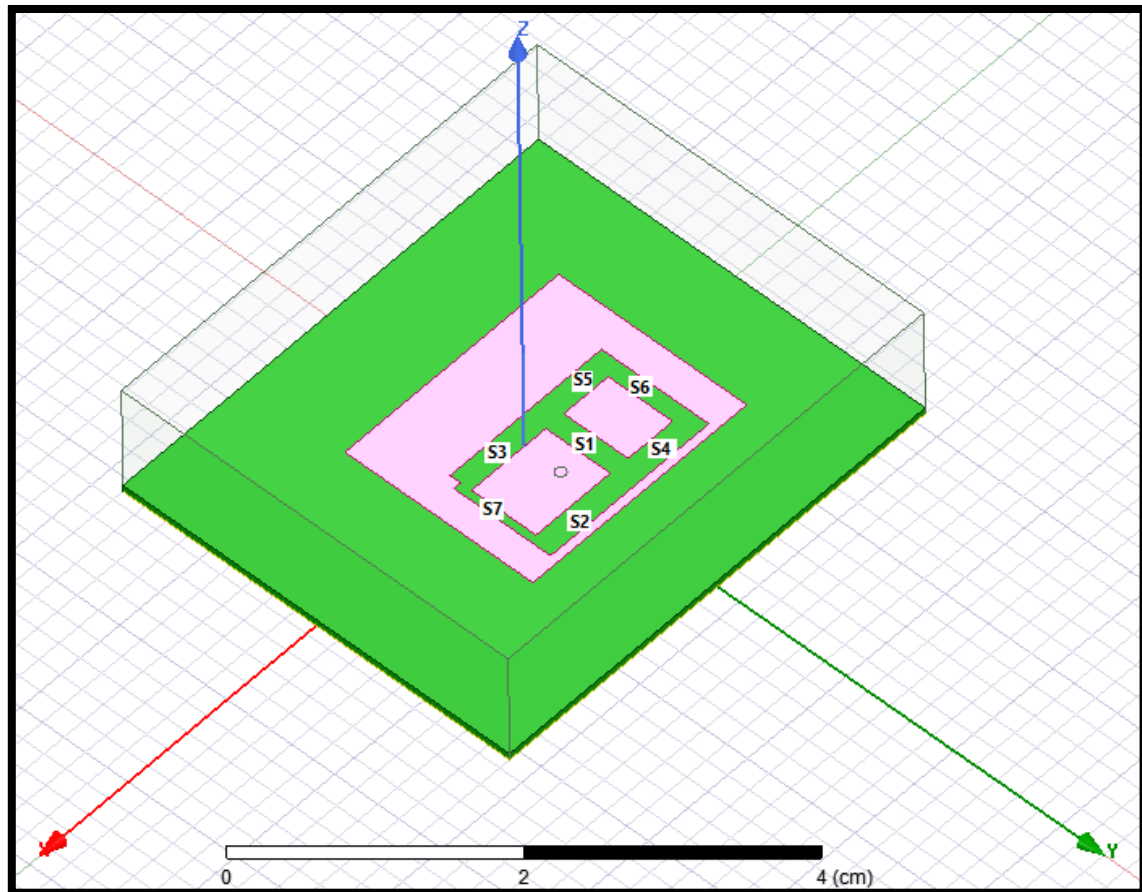


Figure III.13: Antenne Patch rectangulaire alimenté par câble coaxial avec une fente en forme de numéro 8.

Plusieurs fentes sont découpées dans l'élément rayonnant de l'antenne pour de créer simultanément trois fréquences de fonctionnement différentes dans l'antenne conçue. Les dimensions des fentes ainsi que leurs positions affectent les fréquences de résonance de l'antenne conçue. En effet, une analyse paramétrique est utilisée afin de créer trois bandes de fréquences dans l'antenne conçue. Plusieurs conceptions sont étudiées, les dimensions et les positions des fentes sont mentionnés dans le **Tableau III.6**.

Fente	position du Fente (X, Y, Z) (cm)	Nom de variable	Valeurs des variables (cm)	le pas (cm)
S1	-0.22 ,0 ,0.062	xslot1	$0.02 \leq X_{SLOT1} \leq 0.1$	0.15
		yslot1	$0.8 \leq Y_{SLOT1} \leq 0.8$	0.5
S2	-0.31 ,0.8 ,0.062	xslot_1	$0.1 \leq x_{slot_1} \leq 0.91$	0.5
		yslot_1	$-1.2 \leq y_{slot_1} \leq -0.2$	0.75
S3	-0.38 ,0 ,0.062	/	X= 0.91 Y =-0.2	/
S4	-1 ,0.8 ,0.062	/	X = 0.91 Y = -0.2	/
S5	-1 ,0 ,0.062	/	X = 0.91 Y= 0.2	/
S6	-0.85 ,0 ,0.062	/	X = -0.15 Y= 0.6	/
S7	0.53,-0.1 ,0.062	/	X = 0.07 Y= 0.8	/

Tableau III.6: Plage de variation des fentes

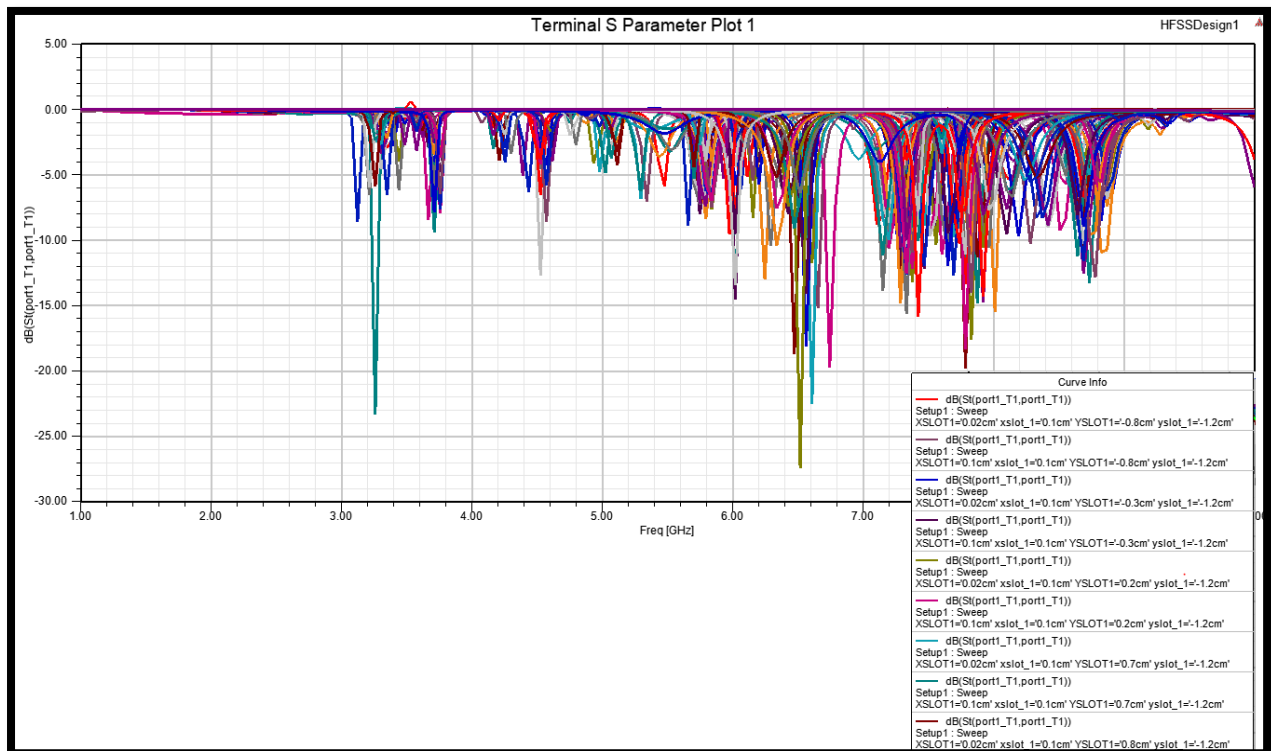


Figure III.14 : Coefficient de réflexion S₁₁ avec variation de dimensions des fentes.

La **Figure III.14** représente la variation du coefficient S_{11} en fonction des dimensions des fentes. Un choix manuel (à l'œil nu) de la meilleure géométrie est pratiquement impossible, c'est pour cette raison que nous avons opté à l'optimisation en utilisant un programme Matlab. Ce dernier est illustré dans section précédente.

Après optimisation, les dimensions des fentes correspondant au meilleur comportement triple bandes sont représentées dans le **Tableau III.7**.

Fentes	Valeurs des variables (cm)
S1	xslot1=0.1 yslot1=-0.8
S2	xslot_1=0.1 yslot_1=-0.2
S3,S4 et S5	DX : 0.91 DY :-0.2
S6	DX : -0.15 DY : 0.6
S7	DX : 0.07 DY : 0.8

Tableau III.7: Dimensions de fentes après optimisation.

La **Figure III.15** représente le coefficient de réflexion (S_{11}) en fonction de la fréquence de l'antenne triple bandes optimisée avec une fente en forme de numéro 8.

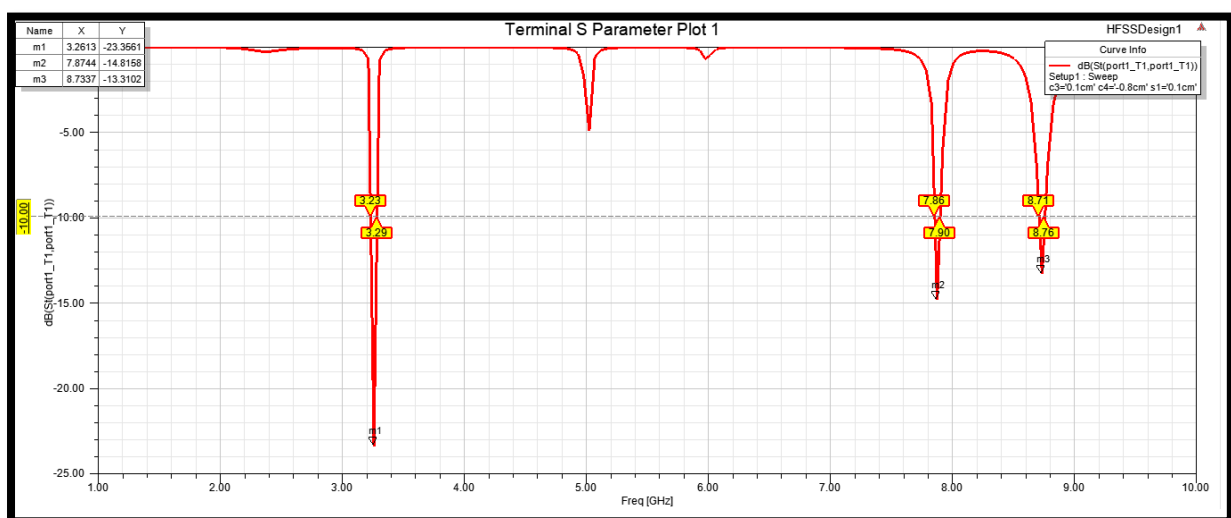


Figure III.15 : Coefficient de réflexion (S_{11}) en fonction de la fréquence avec une fente en forme de numéro 8.

L'antenne triple bandes proposée présente les trois bandes de fréquences suivantes:

- $f_1 = 3.26$ (bande S) (valeur de $S_{11} \cong -23.35$ dB), et une bande passante de $3.29-3.23=60$ MHz.
- $f_2 = 7.87$ GHz (bande C) (valeur de $S_{11} \cong -14.81$ dB), et une bande passante de $7.90-7.86=40$ MHz.
- $f_3 = 8.73$ GHz (bande X) (valeur de $S_{11} \cong -13.31$ dB), et une bande passante de $8.76-8.71=50$ MHz.

Il est à noter que la fréquence f_1 correspond au meilleur coefficient de réflexion (valeur minimale). Pour les trois fréquences de fonctionnement des bandes passantes acceptables sont trouvées.

➤ Rapport d'onde stationnaire

Le rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence est présenté dans la **Figure III. 16**.

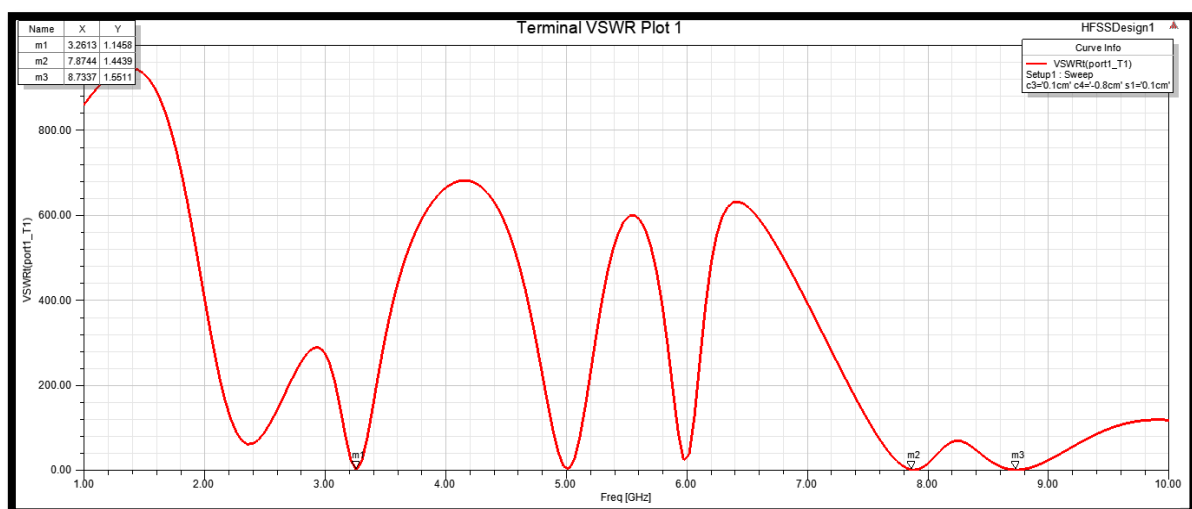


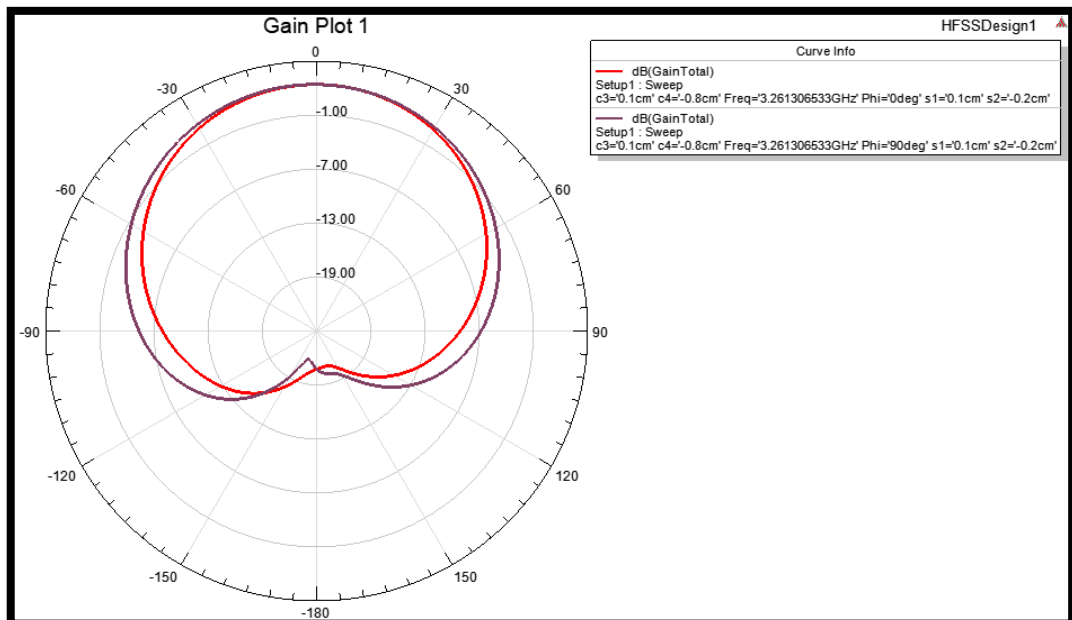
Figure III.16: VSWR en fonction de fréquence.

La **Figure III.16** présente la courbe du taux d'onde stationnaire en fonction de fréquence pour l'antenne triple bande proposée. Cette antenne présente des VSWR 1.14, 1.44 et 1.55 pour les fréquences de résonances de 3.26 GHz, 7.85 GHz et 8.73 GHz, respectivement. Les résultats obtenus démontrent que l'antenne résonne dans la limite du VSWR qui se situe entre 1 et 2 ce qui indique qu'une bonne adaptation d'impédance entre la ligne d'alimentation de l'antenne et le patch rayonnant est obtenue.

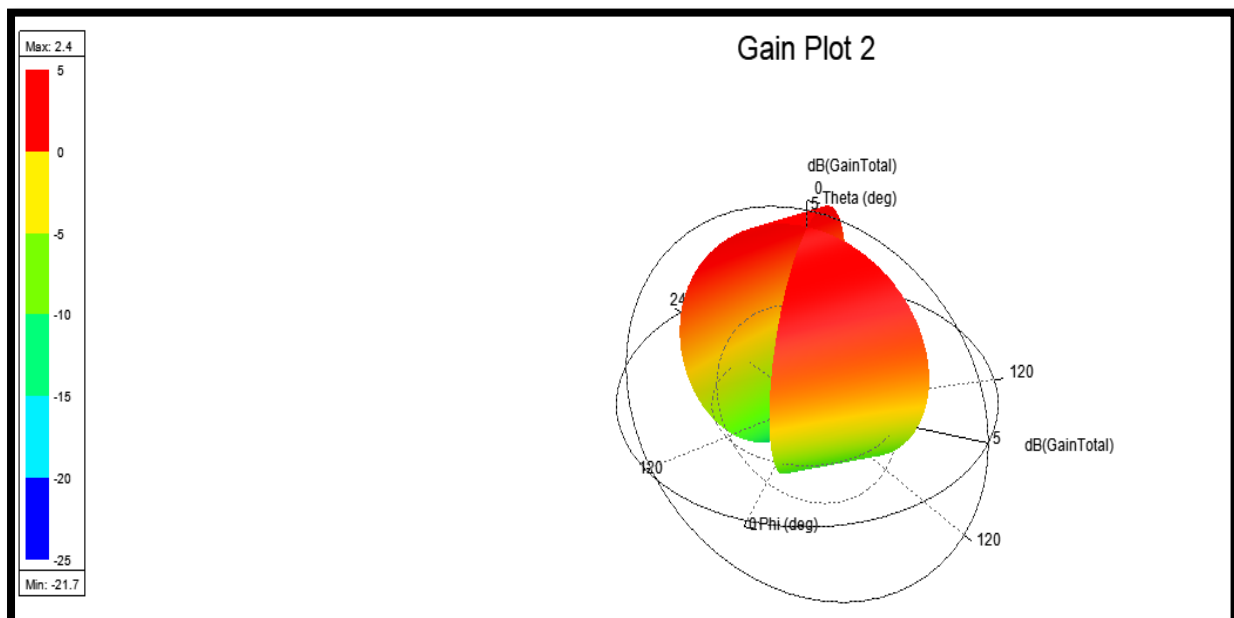
➤ **Diagramme de rayonnement**

Les diagrammes de rayonnement dans les deux plans E ($\phi = 0^\circ$) et H ($\phi = 90^\circ$), pour les trois fréquences de fonctionnement, sont représentés dans les figures III.17, III.18 et III.19.

❖ **Pour $F = 3.26$ GHz :**



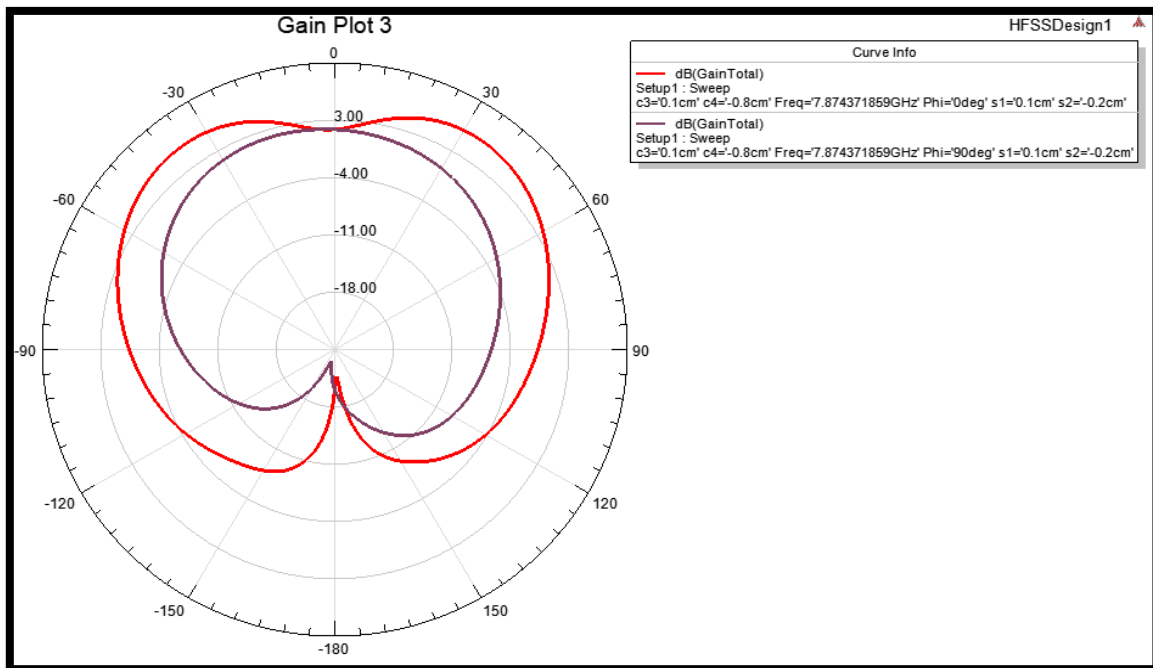
(a)



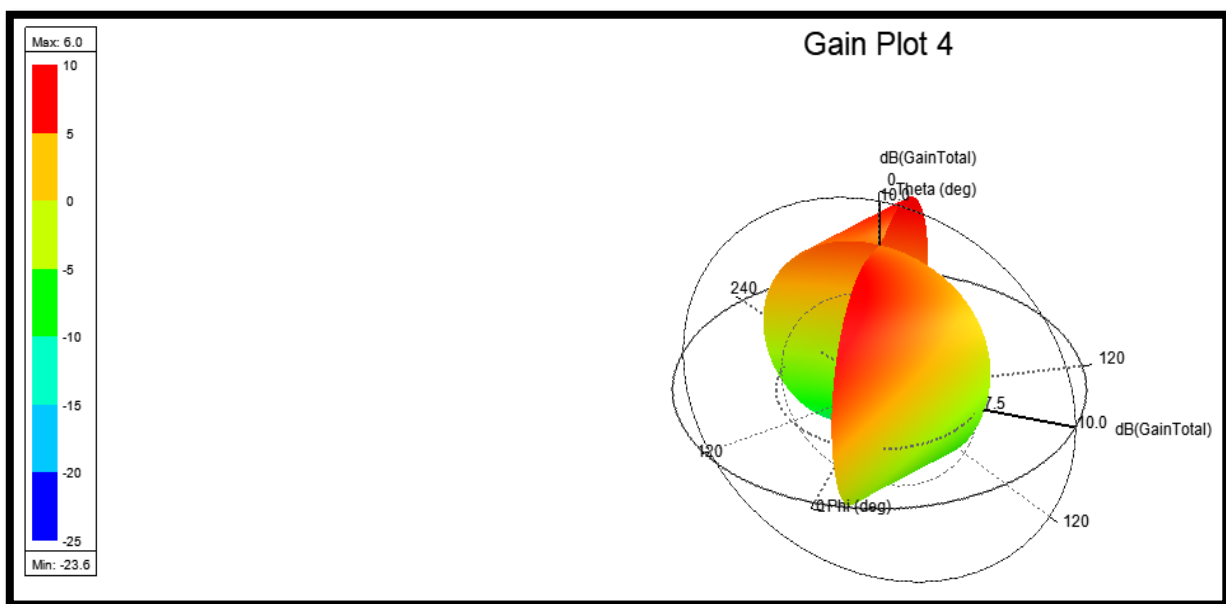
(b)

Figure III.17 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 3.26GHz : (a)2D, (b) 3D.

❖ Pour $F = 7.85$ GHz :



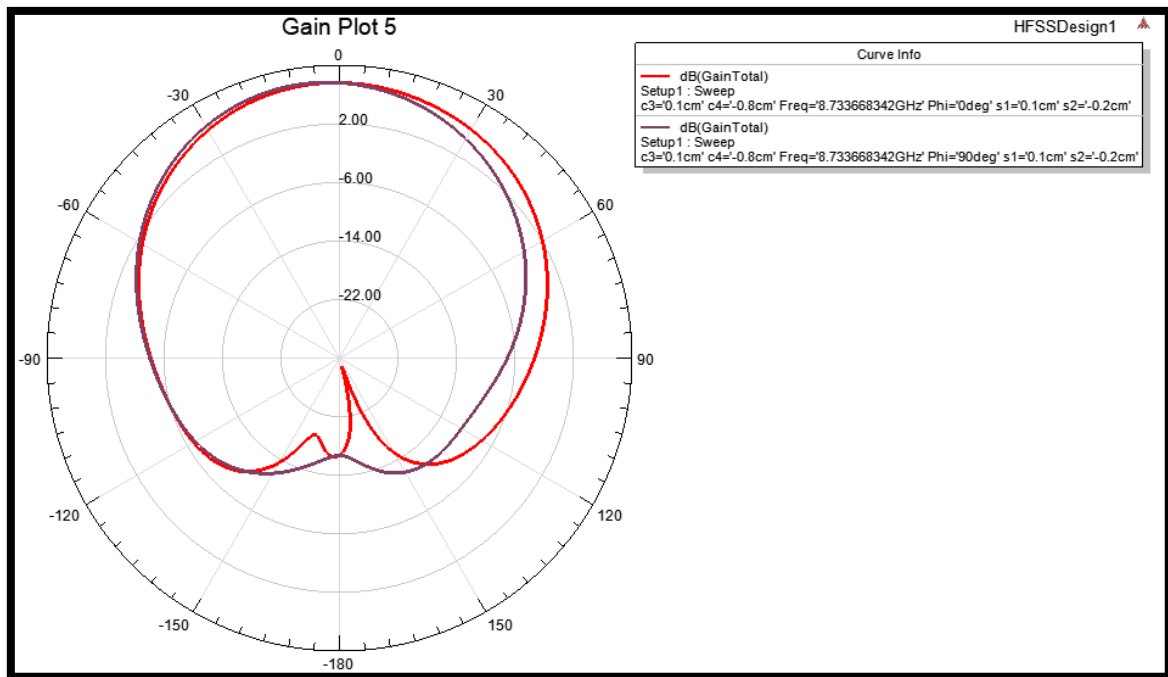
(a)



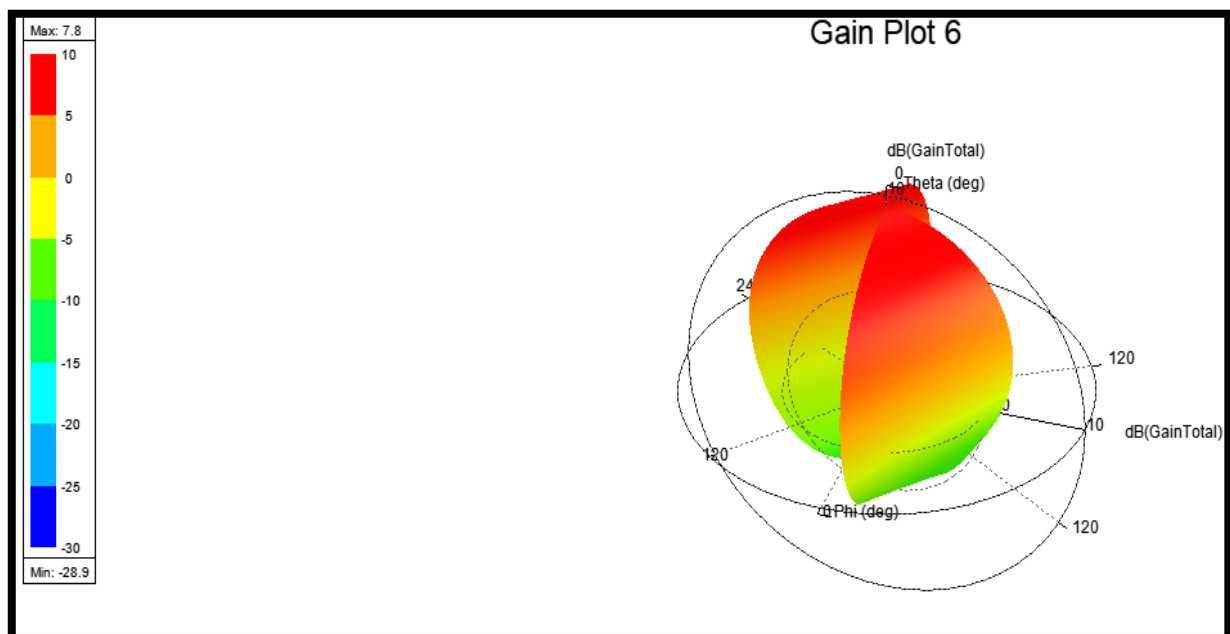
(b)

Figure III.18 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 7.85 GHz : (a)2D, (b) 3D.

❖ Pour $F= 8.73$ GHz :



(a)



(b)

Figure III.19 : Diagramme de rayonnement à la fréquence 8.73 GHz(a)2D (b) 3D.

D'après les **Figure III .17**, **III .18** et **III.19**, on constate que rayonnement est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch ($\theta = 0^\circ$). Des gains très acceptables de 2.4 dB, 6 dB et 7.8 dB sont trouvés avec cette antenne pour les trois fréquence de résonances 3.26 GHz, 7.85 GHz et 8.73 GHz, respectivement.

Les performances de l'antennes triple bande avec une fente de forme 8 sont résumées dans le tableau suivant :

Fréquence de résonance (GHz)	Coefficient de réflexion S_{11} (dB)	Bande passante (MHz)	Taux d'onde stationnaire VSWR (dB)	Gain (dB)
3.26	- 23.35	60	1.14	2.4
7.87	- 14.81	40	1.44	6.0
8.73	- 13.31	50	1.55	7.8

Tableaux III.8: Performances de l'antenne triple bande avec une fente de forme 8.

L'utilisation de chaque fréquence est illustrée dans le tableau suivant :

Bande de fréquence (GHz)	Nom	Services
3.26 € [2 à 4 GHz]	Bande S	Diffusion de TV, radio, données
7.87 € [4 à 8 GHz]	Bande C	Diffusion de radio, données, TV mobiles
8.73 € [8 à 12 GHz]	Bande X	Utilisée pour les radars, les communications par satellite et réseaux informatiques sans fil

Tableau III.9: Bandes de fréquences et utilisations.

III.3 Etude comparative

Les performances des deux antennes triples bandes proposée dans ce mémoire ainsi que les performances de l'antenne conventionnelle sont illustrées dans le **Tableau III.10**.

En utilisant une antenne conventionnelle qui fonctionne à une fréquence de résonance de 5.5GHz, nous avons réussi de concevoir deux antennes triple bandes.

Il est à noter que l'antenne avec une fente rectangulaire présente un gain et une bande passante relativement élevé par rapport à l'antenne avec fente de forme 8. Mais cette dernière travail sur trois type de bandes différentes (S, C et X) par rapport à l'antenne avec fente rectangulaire qui opère dans deux type de bandes (C et X).

Par rapport à l'antenne conventionnelle, les deux antennes proposées présentent une amélioration significative en terme de coefficient de réflexion, bande passante et adaptation (VSWR).

	Fréquence de résonance (GHz)	Coefficient de réflexion S11 (dB)	Bande passante (MHz)	taux d'onde stationnaire VSWR (dB)	Gain (dB)	Utilisations
Antenne conventionnelle	5.5	-12.30	40	1.64	7.0	WI-FI
Antenne avec fente rectangulaire	4.31	-15.25	50	1.41	5.2	Bande C
	7.85	-17.97	80	1.28	6.4	Bande C
	10.17	-30.33	140	1.06	8.5	Bande X
Antenne avec fente de forme 8	3.26	-23.35	60	1.14	2.4	Bande S
	7.87	-14.81	40	1.44	6.0	Bande C
	8.73	-13.31	50	1.55	7.8	Bande X

Tableau III.10: Etude comparative des trois antennes

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre et afin de créer une configuration d'antenne tri-bande, nous avons conçu d'abord une antenne patch rectangulaire alimenté par câble coaxial avec une seule fréquence de résonance à l'aide des équations d'antennes patch à microruban. Ensuite, la géométrie de l'antenne monobande (conventionnelle) est modifiée pour créer trois bandes de fréquences. Deux géométries de fentes sont insérées dans l'élément rayonnant de l'antenne monobande, une fente rectangulaire et une fente de forme 8. Les positions et les dimensions des fentes sont déterminées à l'aide d'une analyse paramétrique.

Les deux antennes proposées présentent des bonnes performances à savoir ; un gain élevé, une bande passante acceptable et une bonne adaptation. Les bandes de fonctionnement offrent de nombreuses applications potentielles dans les communications sans fil d'aujourd'hui, en particulier la transmission des données dans les radars, les communications par satellite et les réseaux informatiques sans fil.

De plus, une technique d'optimisation est proposée, cette dernière nous a permis de sélectionner les meilleurs géométries d'antennes qui correspondent au meilleurs comportements triple bandes.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Les appareils sans fil faisant désormais partie intégrante de la vie de la plupart des gens, l'intégration de technologies telles que WLAN, WiMAX, Bluetooth, etc. dans un seul appareil est une solution parfaite pour améliorer les avancées commerciales. Bien qu'une antenne large bande ou ultra-large bande [3] puisse être une solution possible, les systèmes équipés de telles antennes ont besoin de filtres supplémentaires pour éliminer les interférences des systèmes de communication fonctionnant dans les bandes voisines. Dans un tel scénario, une antenne multibande [22], [23] s'avère être une solution rentable car elle élimine les filtres en supprimant les bandes inutiles et permet ainsi d'intégrer plusieurs normes de communication sans fil dans un seul système, améliorant ainsi la portabilité d'un terminal sans fil.

L'antenne planaire, en raison de ses caractéristiques attrayantes, notamment son profil et son poids réduits, son faible coût et sa structure polyvalente permettant un mode de résonance double ou multiple et des caractéristiques de rayonnement souhaitables, est devenue un candidat privilégié parmi les autres prototypes d'antennes. Cependant, les concepteurs d'antennes sont confrontés à un grand défi lorsqu'il s'agit de réduire la taille d'une antenne tout en augmentant le nombre de bandes de fréquences opérationnelles.

Dans ce mémoire nous proposons deux configurations d'antenne triple bandes. La stratégie est d'étudier l'insertion des fentes dans l'élément rayonnant d'une antenne conventionnelle (une seule bande de fréquence) afin d'obtenir une antenne tri-bande.

Comme première étape nous avons présenté la conception d'antenne patch rectangulaire (conventionnelle) alimentée par une ligne coaxiale qui rayonne à une fréquence de résonance de 5.5 GHz simulé à l'aide du logiciel de Simulation électromagnétique HFSS.

Ensuite, nous avons incorporé deux géométries de fentes, une fente rectangulaire puis une fente de forme 8. Les positions et les dimensions des fentes sont déterminées à l'aide d'une analyse paramétrique pour atteindre les objectifs requis. En effet, une technique d'optimisation, en utilisant un algorithme Matlab, est exploitée pour sélectionner la meilleur géométrie de l'antenne qui corresponde au meilleur comportement triple bandes.

L'antenne proposée avec une fente rectangulaire de taille miniature ($42 \times 36 \text{ mm}^2$) offre un gain directif de 5.2 dB, 6.4 dB et 8.5 dB aux fréquences de résonance de 4.31 GHz, 7.85 GHz et 10.17 GHz, respectivement. Les rapports perte de retour/onde stationnaire correspondants (S_{11}/VSWR) sont de -15.25 dB/1.41, -17.85dB/1.28, et -30.33dB/1.06 pour les trois bandes de fréquences citées précédemment.

Le deuxième antenne proposée avec une fente de forme 8 offre un gain directif de 2.4 dB, 6.0 dB et 7.8 dB aux fréquences de résonance de 3.26 GHz, 7.87 GHz et 8.73 GHz, respectivement. Les rapports perte de retour/onde stationnaire correspondants (S_{11}/VSWR) sont de -23.35dB/1.14, -14.81dB/1.44, et -13.31dB/1.55 pour les trois bandes de fréquences citées précédemment.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que l'incorporation de fentes dans le patch rayonnant offre une solution prometteuse pour la miniaturisation des antennes ainsi que pour la création de plusieurs bandes de fréquences opérationnelles. Les antennes proposées sont donc adaptées à la couverture de plusieurs bandes de communication sans fil utiles (bande S, bande C et bande X) telles que les applications WiMAX et WLAN.

Dans le cadre de travaux futurs, nous avons l'intention d'utiliser des plans de masses partiels dans la conception des antennes proposées afin d'améliorer les bandes passantes.



Bibliographie

Références

- [1]: COLL, Odile Picon Et, et al. Antennes Théorie conception et application. Préface de Maurice Bellanger, 2009.
- [2]: SARWAR, Azeem, PATEL, Ankit Kumar, CHANDRA, Girish, et al. Vernal design of microstrip patch antenna for 2.4 GHz/5 GHz wlan applications. international journal of advanced research research article, 2016, vol. 4, no 2, p. 689-693.
- [3]: RIZVI, Syed Naheel Raza, AWAN, Wahaj Abbas, et HUSSAIN, Niamat. Design and characterization of miniaturized printed antenna for UWB communication systems. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2021, vol. 16, no 2, p. 1003-1010.
- [4]: MATIN, Mohammad Abdul (ed.). Wideband, Multiband, and Smart Antenna Systems. Springer, 2021.
- [5]: CHEN, Zhi Ning et CHIA, Michael Yan Wah. Broadband planar antennas: design and applications. John Wiley & Sons, 2006.
- [6]: A. Boufrioua, "Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant", Thèse de doctorat présentée à l'université de Constantine, Algérie, 2006.
- [7]:CHRISTINA, G. A Review on Microstrip Patch Antenna Performance Improvement Techniques on Various Applications. Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology, 2021, vol. 3, no 03, p. 175-189..
- [8]:SAADI, Mustafa Ahmed. Review on Size Reduction Techniques of the Microstrip Patch Antenna. Journal of Millimeterwave Communication, Optimization and Modelling, 2021, vol. 1, no 2, p. 34-36.
- [9]:AL-AMOUDI, Mohamed Abdulrahman. Study, Design, and Simulation for Microstrip Patch Antenna. International Journal of Applied Science and Engineering Review (IJASER), 2021, vol. 2, no 2, p. 1-29.
- [10]:BELKHIRI, Hossam Eddine et SEGHIRI, Oussama. Conception et simulation d'un réseau d'antennes micro-rubans triangulaires à BIE à deux éléments. 2020. Thèse de doctorat. Univ M'sila.

Références

- [11]:BOURAIYOU, Abdelouahab. Etude d'une antenne microruban excitée par une ligne imprimée. 2018. Thèse de doctorat. Université de Batna 2.
- [12]:CHORFI, Hamid. Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique. Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (Canada), 2012.
- [13]:LISSARD, Pierre. Etude de l'antenne fil-plaque coplanaire: Application au domaine de l'automobile. 2004. Thèse de doctorat. Limoges.
- [14]:DREINA, Emmanuel. Conception, optimisation et intégration RF d'un système d'antennes miniatures multicapteurs utilisant la diversité en vue d'augmenter les performances radio d'un terminal mobile 4G. 2010. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- [15]:MERCY, P. Michael. Triple Band Slotted Microstrip Patch Antenna for Both C-Band and X-Band Applications. ECS Transactions, 2022, vol. 107, no 1, p. 16149.
- [16]:Tahar BOUGOUTAIA, Analyse et conception des antennes microstrip a base de métamatériaux. 2018, Thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila..
- [17]:DIDA Houdaifa et BOUGHRARI Ala Eddine“ Conception et simulation d’antenne micro ruban à polarisation circulaire pour les applications WIFI”UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA,2019.
- [18]: Ansoft HFSS – User Guide, HFSS Release: 11.1, Copyright © 2008 SAS IP, Inc, Published Date: February 20, 2009.
- [20]: Touati Mohamed Houssein Eddine, Conception et Simulation d’une antenne micro-ruban circulaire. 2014, Université Mohamed Khider Biskra.
- [20]: SOLTANE, Samia. Etude et caractérisation d’antennes imprimées pour système ultra-large bande. 2015. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [21]: SINGH, Prem P. et SHARMA, Sudhir K. Design and Fabrication of a Triple Band Microstrip Antenna for WLAN, Satellite TV and Radar Applications. Progress In Electromagnetics Research C, 2021, vol. 117, p. 277-289.
- [22]: FATIMA, Izzat, AHMAD, Aqsa, ALI, Saqib, et al. Triple-band circular polarized antenna for WLAN/Wi-Fi/Bluetooth/WiMAX applications. Progress in Electromagnetics Research C, 2021, vol. 109, p. 65-75.

Références

[23]:AHMAD, Gulzar, SULTAN, Asif, BABAR, M. Inayatullah Khan, et al. Fabrication and Analysis of a Triple Band Patch Antenna: Fabrication and Analysis of a Triple Band Patch Antenna. Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A. Physical and Computational Sciences, 2018, vol. 55, no 3, p. 45-51.

.